

Vom Werden und Vergehen der Kontinente

PLATTENTEKTONIK



Erdgeschichte

Leben durch Krustenrecycling

Zirkone

Zeugen der Frühzeit

Seismologie

Deutschland ist Erdbebenland



Daniel Lingenhöhl
E-Mail: lingenhoehl@spektrum.de

Liebe Leserin, lieber Leser,
wo rohe Kräfte sinnvoll walten, da kann sich ein Gebild gestalten – bitte verzeihen Sie mir, dass ich Friedrich Schiller etwas abwandle. Doch bei der Plattentektonik sind wirklich gewaltige Kräfte am Werk, die unseren Planeten formen. Und ohne die es wohl auch kein Leben auf der Erde gäbe. Erst im 20. Jahrhundert konnte Alfred Wegener eine schlüssige Theorie der Kontinentalverschiebung vorlegen, die sich auch erst nach seinem Tod durchsetzte. Bis heute füttern Geowissenschaftler wichtige Details nach und zeichnen das Bild unserer dynamischen Erde auf. Denn fest gemauert ist darin nichts.

Einen kraftvollen Lesegenuss wünscht

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 12.08.2019

Folgen Sie uns:



CHEFREDAKTEURE: Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.)

REDAKTIONSLEITER: Dr. Daniel Lingenhöhl

ART DIRECTOR DIGITAL: Marc Grove

LAYOUT: Oliver Gabriel, Marina Männle

SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle

BILDREDAKTION: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe

PRODUKTMANAGEMENT DIGITAL: Antje Findeklee,

Dr. Michaela Maya-Mrschik

VERLAG: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH,

Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600,

Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114,

USt-Id-Nr. DE229038528

GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle

MARKETING UND VERTRIEB: Annette Baumbusch (Ltg.),

Michaela Knappe (Digital)

LESER- UND BESTELLSERVICE: Helga Emmerich, Sabine Häusser,

Ilona Keith, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

BEZUGSPREIS: Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer

ANZEIGEN: Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an service@spektrum.de.

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2019 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

SEITE
04

ZIRKONE
Zeugen der frühen
Erdgeschichte



DANYSKAR / STOCK.ADOBE.COM

SEITE
21

ERDGESCHICHTE
Leben durch Plattentektonik



PHOTOSEBIA / STOCK.ADOBE.COM

SEISMOLOGIE
Erdbebenwarnung am Himmel

SEITE
56



PAVEL / STOCK.ADOBE.COM

ERDSTÖSSE
Deutschland ist Erdbebenland

SEITE
65



STEVECOLLENDER / GETTY IMAGES / ISTOCK

- 12 Wann begann die Plattentektonik?
- 14 Die Erde war lange Zeit ohne Gebirge
- 16 Treibt der Erdkern die Kontinente mit an?
- 18 So sah die Erde vor 2,4 Milliarden Jahren aus
- 32 Wie Europas Meeresboden zerreißt
- 35 Großbritannien europäischer als gedacht
- 36 Jüngster Kontinent sitzt auf ältestem Gestein
- 38 Was macht kanadische Erdkruste in Australien?
- 40 Ein Stück Grand Canyon in Tasmanien
- 41 »Verlorene« Kontinente in der Antarktis aufgespürt
- 44 Eine gigantische Wasserbahn ins Erdinnere
- 46 Existieren Platten unter den Erdplatten?
- 48 Mexikobeben brach komplette Erdplatte
- 51 Ein Beben wie kein anderes
- 54 Rätselhaftes Erdbeben ist wohl aufgeklärt

ZIRKONE

Zeugen der **frühen Erdgeschichte**

von Donald R. Prothero

Zirkone sind winzige Kristalle, die praktisch nicht verwittern und Jahrmilliarden überdauern können. Einschlüsse in ihnen liefern Hinweise darauf, wann die Erde eine feste Kruste bildete und die ersten Ozeane ihre Oberfläche bedeckten.

Zirkonia ist ein beliebter Schmuckstein, der Diamanten ähnelt, jedoch deutlich erschwinglicher ist. Der synthetische Kristall wird aus Zirkonumdioxid (ZrO_2) hergestellt. Ebenfalls als Diamantersatz taugen natürlich vorkommende Zirkoniumsilikate ($ZrSiO_4$), besser bekannt als Zirkone. Große Kristalle dieses Minerals bilden Oktaeder, die zwei an der Basis zusammengeklebten Pyramiden gleichen. Man findet sie – je nach Kristallstruktur und Verunreinigung – in vielen verschiedenen Farben, von Violett über Rot bis Gelb. Manche sind auch durchsichtig.

Zwar haben Zirkone einen geringeren kommerziellen Wert als Diamanten, dafür ist ihr wissenschaftlicher Informationsgehalt umso größer, was sie für Geologen besonders kostbar macht. Zirkone bilden sehr

Donald R. Prothero ist außerordentlicher Professor für Geologie an der California State Polytechnic University in Pomona, außerordentlicher Professor für Astronomie und Geowissenschaften am Mt. San Antonio College in Los Angeles sowie wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Wirbeltierpaläontologie am Natural History Museum im Los Angeles County. Der vorliegende Artikel ist ein redigierter Auszug aus dem 2018 bei Columbia University Press erschienenen Buch »The Story of the Earth in 25 Rocks«.

harte Kristalle, die praktisch nicht verwittern, und zwar vor allem in granitischem Magma, wenn dieses abkühlt. Zirkoniumatome sind recht groß, so dass sich bei der Kristallbildung leicht Elemente wie Uran und Thorium einlagern, die in anderen Mineralen keinen Platz finden. Geowissenschaftler nutzen deshalb Zirkone, um anhand des Zerfalls des radioaktiven Urans in stabile Bleiatome das Alter von Gesteinsproben zu bestimmen.

Es gibt nur wenige natürlich vorkommende radioaktive Elemente, die so langsam zerfallen, dass sie sich für die Datierung sehr alter Gesteine eignen. Dazu gehören die Uranisotope 238 und 235, die mit einer Halbwertszeit von 4,468 beziehungsweise 0,704 Milliarden Jahren die Bleiisotope 207 und 206 bilden. Kennt man sowohl die Menge der Mutteratome (Uran) und Tochteratome (Blei) als auch die des ursprünglich in einer Probe vorhandenen Bleis, kann man aus dem Verhältnis der radioaktiven zu den stabilen Isotopen berechnen, wie lange der Zerfall bereits andauert, sprich, wann das Uran im Kristall eingeschlossen wurde. Die konventionelle Uran-Blei-Datierung ist jedoch schwierig bei Gesteinen, die mehr als vier Milliarden

AUF EINEN BLICK

Das älteste Mineral der Erde

- 1 Zirkone, winzige, nahezu unverwüstliche Kristalle aus Zirkoniumsilikat, können Jahrmilliarden überdauern. Sie enthalten oft Einschlüsse von Fremdstoffen, etwa Uran. Diese erlauben es Wissenschaftlern zum Beispiel, das Alter von Gesteinen abzulesen.
- 2 Gesteinsdatierungen anhand von Zirkonen sowie die Analyse darin eingeschlossener Gase zeigen, dass die junge Erde rasch abkühlte. Offenbar hatte sie bereits vor mehr als vier Milliarden Jahren eine dünne Kruste, und Ozeane bedeckten ihre Oberfläche.
- 3 In 4,1 Milliarden Jahre alten Zirkonen haben Geologen zudem Spuren von Graphit gefunden, der biologischen Ursprungs sein könnte. Womöglich ist also das Leben auf der Erde deutlich früher entstanden, als Forscher bislang vermutet haben.

Jahre alt sind, da diese kaum noch messbare Mengen Uran enthalten. Oft erfassen Forscher daher lediglich die Zerfallsprodukte und nutzen die unterschiedlichen Zerfallsgeschwindigkeiten der verschiedenen Uranisotope, um das Alter der Probe zu bestimmen.

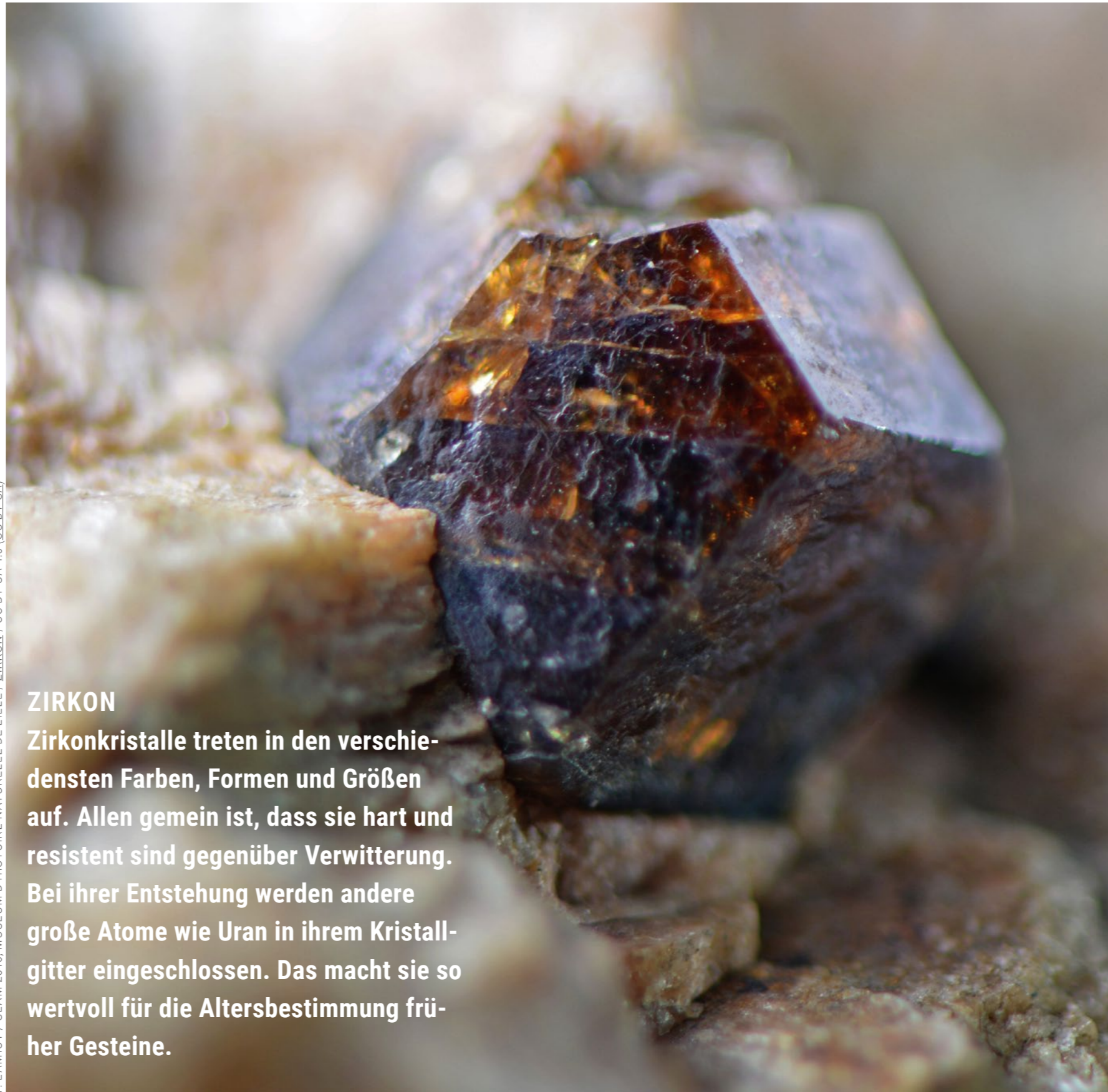
Zirkone sind derart widerstandsfähig, dass man sie nur mit roher Gewalt aus Granitgestein extrahieren kann. In der Regel dient dafür ein so genannter Brecher, eine Zerkleinerungsmaschine, die große Brocken zu einem feinen Pulver zermahlt. Dieses versetzt man anschließend mit Flusssäure, einer der ätzendsten Säuren überhaupt. Sie löst nahezu jedes Mineral auf – abgesehen von Zirkon. Nach dem Säurebad der pulverisierten Gesteinsprobe bleiben nur die konzentrierten Zirkonkristalle übrig, bereit zur Analyse.

Zirkone erweisen sich nicht nur im Labor als äußerst resistent, sondern auch in der Natur, etwa wenn aus Gestein durch Regen, Frost, Hitze oder chemische Prozesse Sandkörner werden, die Flüsse mit sich führen. Selbst in extrem verwittertem Sand, der zu etwa 99 Prozent aus Quarz besteht, findet man eine gewisse Menge an Zirkon. Tatsächlich nutzen Geologen den

F. LAMIOT / GLAM 2016, MUSEUM D'HISTOIRE NATURELLE DE LILLE / ZIRKON / CC BY-SA 4.0 (CC BY-SA)

ZIRKON

Zirkonkristalle treten in den verschiedensten Farben, Formen und Größen auf. Allen gemein ist, dass sie hart und resistent sind gegenüber Verwitterung. Bei ihrer Entstehung werden andere große Atome wie Uran in ihrem Kristallgitter eingeschlossen. Das macht sie so wertvoll für die Altersbestimmung früher Gesteine.



Anteil an Zirkon sowie an den ebenfalls harten Minerale Turmalin und Rutil – den so genannten ZTR-Index –, um den Grad der Verwitterung von Sand oder Sandstein zu bestimmen.

Zirkone können ungemein hilfreich sein, ganz unterschiedliche geowissenschaftliche Fragen zu beantworten. Besonderen Wert haben sie für Geochronologen, weil sie die Datierung sehr alter Gesteine ermöglichen. So konnten Forscher mit Hilfe dieses Minerals etwa das Alter einiger Meteoriten und Mondgesteine ermitteln. Und es erlaubt Geologen, Gesteine aus der Frühzeit der Erde einzuordnen. Hierfür analysieren sie nicht nur Uran- und Bleiisotope, sondern messen etwa auch den radioaktiven Zerfall von in Zirkonen eingeschlossenem Rubidium zu Strontium.

Mit rund 3,8 Milliarden Jahren hielten die so genannten Amitsoq-Gneise des Grünsteingürtels an der Südwestküste Grönlands lange Zeit den Altersrekord. Sie gehören zu den ersten Krustengesteinen der Erde und enthalten Teile der kontinentalen Urkruste, aus der der gebänderte Gneis hervorging; zudem uralte ozeanische Kruste (Grünstein) und Reste des frühen Erdmantels. Da die Gesteine jedoch

durch wechselnde Temperatur- und Druckbedingungen stark verändert (metamorphosiert) sind, könnte ihr wahres Alter sogar noch höher liegen.

Auf der Suche nach der Urkruste des Planeten werden Forscher in Kanada gleich zweimal fündig

Die Amitsoq-Gneise haben Wissenschaftlern einiges über die junge Erdkruste verraten: Demnach trieben zu jener Zeit kleine Blöcke kontinentalen Materials in einer dünnen, heißen ozeanischen Kruste. Diese bildete sich aus so genannter komatiitischer Lava, die aus dem Mantel an die Oberfläche drang und dort zu Komatiit erstarrte – einem Gestein, das Mantelminerale wie Olivin, ein grünliches Silikat, enthält. Komatiitische Laven sind deutlich reicher an Magnesium und Eisen als basaltische und traten lediglich in der Frühzeit der Erde auf. Inzwischen haben sich Temperatur sowie chemische Zusammensetzung des oberen Mantels verändert, so dass der Ozeanboden heute aus Basalt besteht. Da Komatiit einen hohen Schmelzpunkt hat, muss die Erde damals noch sehr heiß gewesen sein und wies vermutlich eine mobile Kruste auf, die leicht wieder schmolz.

Auch gab es wohl keine Plattentektonik, da die Protokontinente vergleichsweise klein und dünn waren.

Im Jahr 1999 stellte der Acasta-Gneis einen neuen Altersrekord auf: 4,031 Milliarden Jahre. Dieser Gesteinskomplex im Nordwesten Kanadas ist ebenfalls ein Überbleibsel der kontinentalen Urkruste. Doch kaum zehn Jahre später präsentierten Wissenschaftler einen Gesteins-Methusalem mit noch früherem Geburtsjahr: Auf 4,28 und 4,321 Milliarden Jahre vor heute datierten sie Proben aus dem Nuvvuagittuq-Grünsteingürtel am Ostufer der kanadischen Hudson Bay, indem sie den Zerfall des radioaktiven Elements Samarium zu Neodym untersuchten. Die Altersbestimmungen sind jedoch umstritten. Viele Forscher glauben, dass es sich dabei nicht um das Alter der Lavagesteine selbst handelt, sondern um das des Ausgangsmaterials, das aufgeschmolzen wurde und sich wieder verfestigte. Uran-Blei-Datierungen von Zirkonen legen nahe, dass die Gesteine »nur« rund 3,78 Milliarden Jahre alt sind. Dennoch deuten sie auf die womöglich allererste Bildung kontinentaler Kruste vor mehr als vier Milliarden Jahren hin.



ACASTA-GNEIS

Dieses Gestein aus dem Nordwesten Kanadas hat bereits einige Jahre auf dem Buckel. Der Acasta-Gneis – benannt nach dem Fluss Acasta – gehört zu den ältesten Gesteinsformationen der Erde und ist ein Überbleibsel der frühen kontinentalen Kruste, die sich vor mehr als vier Milliarden Jahren bildete.

Die ältesten bekannten Gesteine in unserem Sonnensystem – Mondgestein und Meteoriten – existieren bereits seit mehr als 4,5 Milliarden Jahren. Warum sind die der Erde über 200 Millionen Jahre jünger? Die Antwort auf diese Frage lautet zum einen Verwitterung und zum anderen: Plattentektonik. Die Erdoberfläche wird ständig recycelt, indem die tektonischen Platten in den Subduktionszonen in den

Erdmantel abtauchen und aufschmelzen und sich entlang der Mittelozeanischen Rücken durch emporsteigende basaltische Lava neue Kruste bildet. Die Oberfläche des Mondes ist hingegen starr, ohne driftende Platten. Daher findet man dort noch heute Gesteine aus der Zeit kurz nach seiner Geburt vor gut 4,5 Milliarden Jahren. Meteoriten aus dem frühen Sonnensystem sind seit ihrer Abkühlung ebenfalls

unverändert und nochmals um einige hundert Millionen Jahre älter.

Doch auch auf der Erde gibt es Material, das älter ist als die kanadischen Gesteine. 2014 fanden Geologen in den Jack Hills in Westaustralien eingeschlossen in relativ jungem Sandstein eine Hand voll Zirkone. Anschließend Datierungen der winzigen Kristalle mittels der Uran-Blei-Methode ergaben Alter von bis zu 4,404 Milliarden