

Forschung: Dass im Erdinneren gigantische Temperaturen herrschen, ist bereits erforscht – doch wie es dort in den Tiefen aussieht, kann bis dato nur vermutet werden

Wie Wissenschaftler den Erdkern fotografieren wollen

Wissenschaftler planen den Bau eines „Antineutrino-Fotoapparates“, der Bilder aus dem Erdinneren liefern soll. Er wird aus zehn über die gesamte Erdoberfläche verteilten Empfangsstationen bestehen. Als erster Standort wurde Curaçao gewählt.

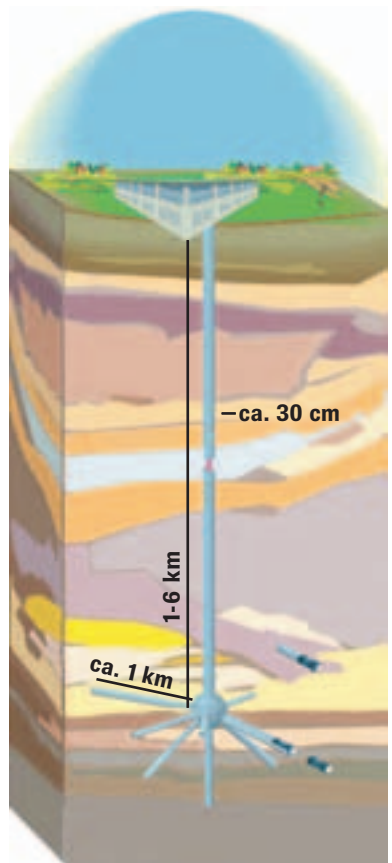
Von unserem Mitarbeiter
Axel Tillemans

Wenn man etwas fotografieren möchte, braucht man Licht. Genauer: Man benötigt Licht, das entweder von dem Objekt, das fotografiert werden soll, reflektiert wird oder das von ihm selbst ausgesandt wird und dann auf die Kamera trifft. Fotos vom Erdinneren sind auf diese Weise natürlich nicht möglich. Denn die Erde ist nun mal nicht durchsichtig – jedenfalls nicht für Licht.

Doch es gibt winzige physikalische Teilchen, für die die Erde tatsächlich durchsichtig ist: Die sogenannten Antineutrinos durchqueren die Erde, als ob sie aus Glas wäre. Das von niederländischen Wissenschaftlern initiierte EARTH-Projekt will Antineutrinos, die durch radioaktiven Zerfall im Erdinneren entstehen, mit zehn über die gesamte Erdoberfläche verteilten Empfangsstationen auffangen und daraus Bilder vom Inneren der Erde machen.

Erst 2005 entdeckt

Das EARTH-Projekt ist äußerst ehrgeizig. Denn erst im Jahr 2005 war es japanischen Forschern zum ersten Mal gelungen, Antineutrinos aus dem Erdinneren überhaupt aufzufangen. „Die japanischen Kollegen waren nur mit Mühe und Not dazu in der Lage, die aus dem Erdinneren kommenden Antineutrinos von denen zu unterscheiden, die aus Kernkraftwerken auf der Erde stammen“, erläutert der 66-jährige Physikprofessor Rob de Meijer, der bis zu seiner Pensionierung an den Universitäten Groningen und Eindhoven unterrichtete, wo er und seine Kollegen auch das EARTH-Projekt aus der Taufe gehoben haben. Heute ist de Meijer Direktor des EARTH-Projekts und lehrt an der südafrikanischen Universität des Westkaps in Bellville, einem Vorort von Kapstadt.



So oder ähnlich könnte einmal die Empfangsstation aussehen.



Wie es im Inneren der Erde aussieht, wüssten nicht nur Wissenschaftler gerne. Hier die Vision eines Fotografen.

BILD: WILLEMSSEN

Bis zur vollständigen Funktionsfähigkeit der Empfangsstationen hat de Meijers Team noch einige Hürden zu überwinden. Die bisher gebräuchlichen Detektoren, mit denen die Antineutrinos aufgefangen werden, konnten nicht feststellen, aus welcher Richtung die Antineutrinos kommen. Das wäre, als ob man einen Fotofilm auf den Tisch legt, sich darüber beugt, ihn angrinst und darauf hofft, ein Bild des eigenen Gesichts auf dem Film zu finden. Tatsächlich wird das „Bild“ aber schwarz sein, ein Beweis dafür, dass Licht auf den Film gefallen ist – mehr nicht. Um sein Gesicht abzubilden, müsste man schon dafür sorgen, dass nur das Licht auf den Film trifft, das vom Gesicht reflektiert wird.

Entsprechend muss das EARTH-Projekt sicherstellen, dass die Detektoren nur Antineutrinos aus dem Erdinneren registrieren, die von den Forschern inzwischen „Geoneutrinos“ getauft wurden, um keinen Zweifel über ihre Herkunft zu lassen. Dabei reicht es nicht, nur die grobe Richtung zu kennen, sondern wenn man aus den registrierten Geoneutrinos wirklich so etwas wie ein Bild rekonstruieren will, dann muss die Richtung möglichst genau bekannt sein. „Und wenn wir darüber hinaus auch noch ein dreidimensionales Bild erhalten wollen, dann müssen wir die Geoneutrinos aus verschiedenen Richtungen einfangen“, ergänzt de Meijer. „Deshalb verteilen wir die zehn Empfangsstationen über den gesamten Erdball.“ Zudem werden die Detektoren die Energie der Antineutrinos messen. Das erlaubt zu unterscheiden, ob sie beispielsweise beim Zerfall von Uran oder Thorium ausgesandt wurden. Beide Elemente kommen in Spuren im Inneren der Erde vor.

Kernkraftwerke würden stören

Um ein klares Bild aus dem Erdinneren zu erhalten, sollte es außerdem keine störenden „Lichteinflüsse“ in Gestalt anderer Antineutrino-Quellen geben. Das heißt, es dürfen keine Kernkraftwerke in der Nähe der Empfangsstationen vorhanden sein, weil diese ebenfalls die für Menschen und andere Lebewesen ungefährlichen Antineutrinos ausstrahlen. „Mit einer genügend guten Richtungsempfindlichkeit unserer De-

tektoren könnten wir die Störeinflüsse herausfiltern“, erklärt de Meijer.

Doch diese Detektoren werden derzeit erst vom EARTH-Team entwickelt. „Da wir noch nicht wissen, wie gut sie sein werden, haben wir entschieden, mit unseren Empfangsstationen einen Mindestabstand von 1000 Kilometern zum nächsten Kernkraftwerk einzuhalten. In Europa und in den USA ist solch ein Standort nicht leicht zu finden, aber in der Karibik, auf Hawaii, in Australien, Neuseeland, Südamerika und Südafrika sollte es nicht so schwierig sein.“

Die Wahl der Forscher für den ersten der zehn Standorte fiel auf die Karibik, genauer auf die Insel Curaçao, die 60 Kilometer vor der Küste Venezuelas liegt. „Es gibt zwar Kernkraftwerke auf Puerto Rico und Kuba, aber die sind stillgelegt. Die nächsten Kernkraftwerke, die sich in Betrieb befinden, sind in Florida. Wir erwarten somit keine Störeinflüsse“, sagt de Meijer und fügt verschmitzt hinzu: „Es sei denn, ein atomgetriebenes U-Boot käme Curaçao zu nahe.“

Viele Gründe für Curaçao

Ein weiteres Kriterium für die Wahl von Curaçao war, dass sich dort keine großen Granitformationen befinden. Denn diese enthalten in der Regel die radioaktiven Elemente Thorium oder Uran und strahlen somit ebenfalls Antineutrinos ab. Nicht zuletzt hat bei der Entscheidung für Curaçao eine Rolle gespielt, dass die Insel zu den Niederländischen Antillen und damit zum Hoheitsgebiet der Niederlande gehört.

Doch der Hauptschauplatz der Aktivitäten des EARTH-Teams liegt derzeit in Südafrika. Denn hier arbeiten Physiker der Universität Kapstadt und des Laboratoriums iThemba LABS an der Entwicklung der richtungssensitiven Antineutrino-Detektoren. De Meijer rechnet mit der Fertigstellung der ersten Prototypen in zwei Jahren. Die Detektoren sollen dann zuerst im Kernkraftwerk Koeberg, 25 Kilometer nördlich von Kapstadt getestet werden.

Verläuft der Test positiv, dann könnten die Forscher in drei bis vier Jahren mit dem Bau der ersten Empfangsstation auf Curaçao beginnen.

Das Projekt EARTH

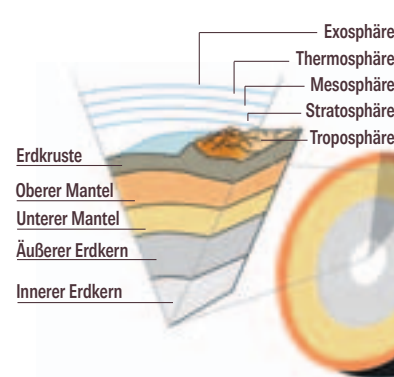
Das Projekt EARTH (Earth Antineutrino Tomography) haben niederländische Wissenschaftler ins Leben gerufen.

Sie versuchen, die durch radioaktiven Zerfall entstehenden Antineutrinos aus dem Erdinneren zu messen und ihren Ursprung zu lokalisieren.

Dazu sollen in den kommenden Jahren zehn Empfangsstationen auf die gesamten Erdoberfläche verteilt werden. Wenn man die Messergebnisse dieser Stationen verbindet, bekommt man ein Bild vom Inneren unseres Planeten.

Aus diesen Bildern können dann Informationen über unterirdische

Lavaströme, Drehung des Erdkerns (und damit die Erzeugung des unschützenden Magnetfeldes) und Reaktionen für die Produktion der Hitze des Planeten gewonnen werden. ipw



Wenn dort Geoneutrinos aus dem Erdinneren erfolgreich empfangen werden, dann wollen die Forscher in etwa zehn Jahren mit dem Bau der anderen Empfangsstationen anfangen.

Die Fragen, deren Beantwortung sich de Meijer vom EARTH-Projekt erhofft, sind vielfältig. Neuere Forschungsergebnisse weisen darauf hin, dass sich an der Grenze zwischen Erdkern und Erdmantel – etwa 2900 Kilometer unter der Erdoberfläche – hohe Konzentrationen der radioaktiven Elemente Uran und Thorium befinden. „Wenn das stimmt, dann stellt sich die Frage, ob diese radioaktiven Elemente gleichmäßig über die gesamte Kern-Mantel-Grenze hinweg verteilt oder ob sie auf kleine Gebiete konzentriert sind“, sagt de Meijer. Anhand der von diesen Elementen ausgesandten Antineutrinos könnte man ihre Verteilung ermitteln.

Wenn die radioaktiven Elemente auf ein kleines Gebiet konzentriert wären, könnten sie dort ohne Zutun von Menschenhand einen natürlichen Kernreaktor gebildet haben. „Das könnte das mysteriöse Vorkommen des Heliumisotops He-3 im Erdinneren erklären“, sagt de Meijer. Dieses Heliumisotop hat in seinem Atomkern ein Neutron weniger als das gewöhnliche Helium He-4. Ein wissenschaftliches Rätsel ist noch, warum He-3 nur als radioakti-

ves Zerfallsprodukt von super-schwerem Wasserstoff entsteht, der wiederum nur in Kernreaktoren mit einer bestimmten Mindestmasse und Mindestmenge an Uran erbrütet werden kann. Die einzige alternative Erklärung wäre, dass das He-3 bereits bei der Entstehung der Erde vorhanden war. In den solaren Urnebel, aus dem unser Sonnensystem entstanden ist, müsste es durch die Explosion eines Sterns gelangt sein, der es vorher in seinem Inneren erbrütet hat.

Auswirkungen auf Magnetfeld?

Sollte es solche Gebiete mit hoher Konzentration an radioaktiven Elementen an der Kern-Mantel-Grenze geben, dann würden sie wegen der großen Wärmeproduktion die Fließbewegungen des flüssigen Eisens im äußeren Erdkern beeinflussen und hätten damit Auswirkungen auf das Magnetfeld der Erde. Zusammenfassend bringt de Meijer es so auf den Punkt: „Die Vorstellungen, die wir heute vom Erdinneren haben, könnten sich mit Hilfe der Geoneutrinos drastisch verändern.“

EARTH IM NETZ

Infos über das Projekt Earth Antineutrino Tomography (EARTH): www.geoneutrino.nl/index2.htm

GLOSSAR ZUM THEMA

Neutrinos

Neutrinos sind elektrisch neutrale Elementarteilchen. Sie werden nur durch die Schwache Wechselwirkung und durch die Gravitation beeinflusst. Zu jedem Neutrino gibt es auch ein Antiteilchen, das Antineutrino. Als erstes wurde mit Hilfe der Neutrinos das Innere der Sonne erforscht. Später nutzte man sie auch zur Beobachtung von kosmischen Objekten und Ereignissen jenseits unseres Sonnensystems. Neutrinos sind nämlich die einzigen bekannten Teilchen, die nicht wesentlich von interstellarer Materie beeinflusst werden. Ebenfalls eine wichtige Rolle spielen Neutrinos bei der Beobachtung von Supernovae, die etwa 99 Prozent ihrer Energie in einem Neutrinoausbruch freisetzen.

Geoneutrinos

Antineutrinos aus dem Erdinneren werden von Forschern auch Geoneutrinos genannt. Ihre Existenz entdeckten erstmals 2005 Geophysiker im japanischen Kamioka. Möglich wurde dies durch den sogenannten KamLand-Detektor (Kamioka Liquid-scintillator Anti-Neutrino Detector), der in einer alten Mine im Berg Ikenoyama rund einen Kilometer unter der Erdoberfläche installiert worden war. Mit seiner Hilfe wurde festgestellt, dass im Erdinneren – ähnlich wie in einem gigantischen Kernreaktor – radioaktive Elemente zerfallen, wobei nicht nur mindestens 20 Terawatt Hitze freigesetzt werden, sondern auch fast masselose Teilchen – die Geoneutrinos – entstehen.

Erdkern

Der Erdkern ist die Materie im und um den Mittelpunkt der Erde. Er unterteilt sich in den festen inneren Erdkern, der aus Eisen besteht, und den flüssigen äußeren Erdkern. Der innere Erdkern hat einen Durchmesser von rund 2600 Kilometern und ist 6700 Grad Celsius heiß (rund 900 Grad heißer als die Oberfläche unserer Sonne). Der äußere Erdkern ist etwa 2900 Grad heiß und besteht aus einer schnell fließenden Nickel-Eisen-Legierung.

Forschungsansätze

Eine direkte Erforschung des Erdkerns ist bislang nicht möglich. Aber Forscher sind bekanntlich findig und haben Visionen – wie David Stevenson vom California Institute of Technology (CALTECH) in Pasadena. Er stellt sich vor, eine Messsonde mit Hilfe eines Keils aus 100.000 Tonnen flüssigem Eisen in den Erdkörper zu versenken, um Informationen aus dem Erdinneren zu erhalten. Das flüssige Eisen würde quasi als „Fahrstuhl“ dienen, in dem die mit Messensoren ausgestattete Sonde von der Größe einer Grapefruit mit Tempo 30 zum Erdkern vordringt und von dort dann alle möglichen Daten zur Erdoberfläche schickt.

Andere Forscher wiederum wollen mit Hilfe von Bohrungen dem Erdkern näher rücken. Geologen in den USA zum Beispiel planen, in der San-Andreas-Spalte ein zwei Kilometer tiefes Loch bohren, um mehr Informationen über (beginnende) Erdbeben direkt aus dem Erdinneren zu erfahren. Bohrungen haben allerdings ihre Grenzen: Die tiefste Bohrung, die je durchgeführt wurde, fand in Russland auf der Halbinsel Kola statt und führte bis in eine Tiefe von zwölf Kilometern. Hier konnte die oberste Schicht der kontinentalen Kruste erforscht werden. Eine weitere Bohrung, die so genannte Kontinentale Tiefenbohrung (KTB), wurde in der Oberpfalz vorgenommen. Dort wollte man ebenfalls eine Tiefe von mindestens zwölf, möglicherweise 14 Kilometern erreichen. Doch bereits nach 9101 Metern (September 1994) erreichte der Bohrkopf fast 280 Grad heißes plastisches und fast schon fließendes Gestein, womit die Grenze des technisch Machbaren erreicht war und die Bohrung eingestellt werden musste. ipw