

Wissenschaft

Gewusel am Feuerring Leben unter dem Grund des Pazifiks

Nicht nur auf dem, sondern auch im Gestein nahe heißer Tiefseequellen kann es von Leben nur so wimmeln. Das hat ein Forschungsteam bei einer Expedition zu einem Unterwasservulkan am Pazifischen Feuerring in 2500 Metern Tiefe entdeckt.

Hohlräume im Gestein seien dort von Röhrenwürmern, Schnecken und weiteren Lebensformen besiedelt, berichtet das Team um Monika Bright von der Universität Wien. Der Pazifische Feuerring ist eine der aktivsten Vulkanregionen der Welt, er umrahmt den Pazifik im Osten, Norden und Westen.

Hydrothermale Schlote sind Unterwasserquellen, die durch Risse in der Erdkruste im Zuge von Bewegungen der Erdplatten entstehen. Heißes, mineralienhaltiges Wasser tritt dort aus. Die Schlote können von bestimmten Mikroorganismen als Energiequelle genutzt werden, die wiederum anderen Lebewesen als Nahrung dienen. So entstehen unabhängig von der durch Sonnenlicht angetriebenen Photosynthese ganze Ökosysteme.

Die Expedition suchte solche Schlote an einem Unterwasservulkan am Ostpazifischen Rücken vor Mittelamerika auf. Bei den Experimenten wurden unter anderem Teile der Vulkankruste umgedreht und die Tiere und Bakterien im Inneren entdeckt, umspült von 25 Grad warmem Wasser. „Mit dieser Entdeckung hat sich unser Verständnis des tierischen Lebens in



Röhrenwürmer leben im neuentdeckten Ökosystem in der Tiefsee.

den Hydrothermalquellen der Tiefsee erheblich erweitert“, erklärte Bright. „Es gibt zwei dynamische Lebensräume in den Quellen. Tiere oberhalb und unterhalb der Erdoberfläche gedeihen gemeinsam, abhängig von der Thermalflüssigkeit von unten und dem Sauerstoff im Meerwasser von oben.“

Die Existenz von Leben an Hydrothermalquellen ist bereits bekannt. Leben im Gestein darunter sei nun erstmals nachgewiesen worden, hieß es. Laut den Forschern könnte es in vielen Gebieten eine Ausbreitung von Arten über Risse und Höhlen im Meeresgrund geben. Die Daten sollen in den nächsten Monaten darüber Aufschluss geben. (dpa)



Mit Transmutation ließen sich schädliche radioaktive Substanzen „entschärfen“ und zudem Energie gewinnen. Doch noch gibt es etliche Probleme.

Von der Altlast zum Rohstoff Strom und Wärme aus Atommüll

Von Ralf Nestler

Im April ist Deutschland aus der Stromerzeugung mittels Kernenergie ausgestiegen. Was bleibt, sind hochradioaktive Abfälle. Eigentlich sollte bis 2031 ein Ort für ihre Endlagerung gefunden sein, was Fachleute jedoch schon länger bezweifelten. Ende vergangenen Jahres teilte die Bundesgesellschaft für Endlagerung mit, dass es damit in einem schnellen Szenario bis 2046 klappen könnte, in einem langsamen erst 2068. Kalkuliert man weitere Verzögerungen ein – etwa durch fehlende Akzeptanz der Bevölkerung – und den eigentlichen Bau der Untertagedeponie, ist klar: Es wird noch etliche Jahrzehnte dauern, ehe der Atommüll fortgeschafft ist.

Daher könnte sich eine alternative Methode der Abfallbehandlung lohnen: die Transmutation. Noch ist sie technisch nicht ausgereift, aber mit etwas Zeit, Forschungsarbeit und Kapital könnte sie die Endlagerung zumindest vereinfachen, sagen Verfechter. Bei diesem Verfahren werden bestimmte instabile Elemente aus verbrauchten Brennelementen herausgelöst und mit Neutronen beschossen, worauf sie sich durch radioaktiven Zerfall in andere Elemente umwandeln: transmutieren. So ließe sich zusätzliche Energie und Wärme gewinnen und zugleich die Menge an radioaktivem Abfall erheblich verringern, weil die Spaltprodukte weniger lange

„
Dank unserer Technologie würde das Endlager kurzlebiger und billiger.“

Guido Houben, stellvertretender Geschäftsführer von Transmutex

oder gar nicht strahlen. Endlager könnten kleiner gebaut werden und müssten nur noch einige Jahrhunderte dichten, statt einer Million Jahre.

Neutronen aus dem Teilchenbeschleuniger

Die Idee für eine solche Entschärfung von Atommüll ist alt und es gibt diverse Konzepte. Besonders hohe Sicherheit versprechen sogenannte unterkritische Reaktoren. In einem gewöhnlichen Kernreaktor ist die Menge an spaltbarem Material überkritisch. Das heißt, die Kernspaltung erhält sich selbst aufrecht. Bei jeder Spaltung entstehen Neutronen, die weitere Spaltungen auslösen: eine Kettenreaktion. Unterkritischen Reaktor beziehen die Neutronen, die für die Kernspaltung nötig sind, nur teilweise aus den Brennstäben. Der maßgebliche Anteil stammt aus einem separaten Teilchenbeschleuniger. Reißt der Partikelstrom ab, „verhungert“ der Reaktor und geht in einen sicheren Ruhezustand über, versprechen die Entwickler.

Die Tücke steckt jedoch im Detail. Die Beschleuniger müssen viel zuverlässiger arbeiten als sie es derzeit tun, damit die Anlage läuft und nicht ständig ausgeht. Denn es dauert viele Stunden, bis sie nach einem kurzen Stopp wieder einsatzbereit wäre. Aktuell werden in Europa zwei verschiedene Ansätze vorangetrieben. Der

eine ist „Myrrha“ aus dem belgischen Mol. Der Name steht für „Mehrzweck-Hybrid-Forschungsreaktor für Hightech-Anwendungen“ und lässt bereits erkennen, dass die Transmutation nur eines von mehreren Forschungszielen ist. Derzeit konzentriert sich das Team auf das Design des Linearbeschleunigers, der Protonen auf einen Mix aus flüssigem Blei und Wismut schießt, wo schließlich die erwünschten Neutronen frei werden. Das Design für den zweiten Teil, den Reaktor, ist noch nicht festgelegt. Etwa 2036 soll Myrrha laufen.

Transmutex will 2032 erste Anlagen fertigstellen

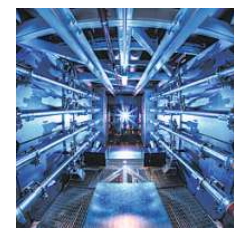
Das Genfer Unternehmen Transmutex will es schneller schaffen. Bereits 2032 könnte die erste Anlage fertig sein, sagt der stellvertretende Geschäftsführer Guido Houben. „Wir planen keine Forschungseinrichtung, sondern kompakte Industrieanlagen, die mit überschaubarem Aufwand einsatzbereit sind, um Atommüll zu eliminieren und als positiven Nebeneffekt klimafreundlich Wärme und medizinische Radioisotope erzeugen“, also radioaktive Substanzen, die für diagnostische und therapeutische Zwecke eingesetzt werden.

Auch Transmutex setzt auf einen beschleunigergetriebenen Reaktor. Houben sagt: „Das Gefahrenpotenzial ist viel geringer als bei her-

Trotz Durchbruch bei Kernfusion Die saubere Energiequelle bleibt ein Traum



Jetzt lesen – Exklusiv für Abonnenten



kömmlichen Reaktoren. Liefert der Beschleuniger keine Neutronen, stoppt die Kettenreaktion binnen zwei Millisekunden.“ Zwar steige die Temperatur im Innern vorübergehend an, doch das genüge nicht, um die Kühlung aus flüssigem Blei zum Sieden zu bringen. Geringere Gefahr, weniger teure Sicherheitsvorkehrungen, einfachere Genehmigung – mit dieser Formel will Houben Zeit und Kosten sparen. Statt eines 400 Meter langen Linearbeschleunigers, wie er bei Myrrha geplant ist, favorisiert Transmutex ein platzsparendes Zyklotron und kooperiert dazu mit dem Paul-Scherrer-Institut in Villigen in der Schweiz, das Erfahrung mit solchen Geräten hat.

Der Reaktor soll mit Thorium betrieben werden, weil es „demokratischer“ verteilt sei als Uran und proliferations sicher, wie Houben erklärt. Vorkommen gibt es unter anderem in Australien, Norwegen, Indien sowie in der Asche von Kohlekraftwerken und Nebenprodukte werden nicht für Nuklearwaffen verwendet. Zusätzlich könnten im Reaktor Spaltprodukte aus alten Brennstäben „verbrannt“ werden, sagt Houben, etwa Plutonium, Neptunium, Americium, Curium sowie Iod und Technetium. Am Ende blieben geringe Mengen langlebiger strahlender Abfall, die in ein Endlager müssen.

Derzeit arbeitet die Firma an einem „digitalen Zwilling“ des ersten Kraftwerks, um Entwicklung und Genehmigung voranzubringen. Wo es stehen wird, ist noch unklar. „Gerne in Deutschland an den Standorten der alten AKW, wo der Atommüll gelagert wird“, sagt Houben. „Wir führen auch Gespräche in Schweden, Indien, den USA und anderen Ländern.“ Die Kosten für den Prototypen schätzt er auf rund eine Milliarde Euro. 20 Millionen seien bereits durch private Kapitalgeber beisammen. Den Rest sollen weitere Finanzierungsrunden bringen.

Weniger Atommüll durch eine Transmutation

Holger Podlech von der Goethe-Universität Frankfurt ist führend am Beschleuniger für Myrrha beteiligt und sieht beim Zyklotron der Genfer „erhebliche technische Herausforderungen“, um die erforderliche Leistung und insbesondere Zuverlässigkeit zu erreichen. „Diese in zehn Jahren zu bewältigen halte ich nicht für ausgeschlossen, aber doch für sehr ambitioniert.“ Ein Linearbeschleuniger sei geeigneter, weil redundante Systeme eingebaut werden können, die bei einem Ausfall schnell einspringen. Auch ließen sich höhere Strahlströme erzielen und der Teilchenstrahl besser fokussieren.

Allerdings ist Myrrha auf Forschung ausgerichtet. Daraus eine industrielle Anlage zu entwickeln bräuhete noch mehr Zeit. Aus Podlechs Sicht lohnt sich der Weg dennoch. Zum einen wegen des vorhandenen Atommülls. Allein in Deutschland sind es gut 17.000 Tonnen hoch radioaktives Material. „Mit Transmutation ließe sich

„

Es wäre klug, beide Wege – Transmutation und Endlagerung – parallel voranzutreiben.

Dirk Bosbach vom Forschungszentrum Jülich und Sprecher des Helmholtz-Programms „Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung“

die Menge erheblich reduzieren.“ Das Endlager könnte kleiner sein und müsste nicht mehr über geologische Zeiträume halten, sondern lediglich historische. „Es ist sehr wahrscheinlich, dass auch in 500 Jahren noch Leute da sind, die einen dicken Betonbunker in – sagen wir – 50 Meter Tiefe bewachen können, wie eine militärische Anlage.“ Sein zweites Argument ist die Energie, die in Form spaltbaren Materials in alten Brennelementen steckt. „Ich würde deutlich mehr elektrische Energie aus der Anlage herausholen als ich für ihren Betrieb, einschließlich des Beschleunigers, aufwenden muss.“

Ein Endlager wäre trotzdem noch nötig

Friederike Frieß von der Universität für Bodenkultur Wien ist Hauptautorin eines Gutachtens zum Thema, das für das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) in Berlin erstellt wurde. Sie meint: „Für Länder mit einem großen Kernenergieprogramm wie Russland oder Frankreich könnte die Transmutation eine Option sein“. Für Deutschland könne sie sich das nicht vorstellen. Schließlich müssten neue kerntechnische Anlagen gebaut werden. Und: „Die Technologie ist noch nicht erprobt und extrem teuer“, sagt Frieß. Atommüll müsste mehrere Male hintereinander wiederaufgearbeitet werden, das sei aufwändig und erhöhe das Proliferationsrisiko. „Am Ende brauchen wir trotzdem ein Endlager.“ Ob es kleiner würde, sei für die Mehrheit der Bevölkerung unerheblich, meint sie. „Da geht es darum, ob eines kommt oder nicht.“

Houben bezweifelt das. Ein Endlager mit extrem verkürzter Verweilzeit dürfte eher akzeptiert werden, meint er und erinnert an Untertagedeponien für hochgiftige Chemikalien, an denen sich auch kaum jemand störe. Für den deutschen Markt, bei dem es in erster Linie um eine Lösung für den Atommüll geht, sieht er eine Nachnutzung der vorhandenen kerntechnischen Einrichtungen vor. Stark vereinfacht ginge das so: Kuppel auf, alter Reaktor raus, kleiner neuer hinein und los geht's. Freilich ohne Strompro-

duktion, die aussichtslos erscheint. Transmutex würde stattdessen die Abwärme aus dem Prozess vermarkten, etwa für Fernwärmenetze an ehemaligen AKW-Standorten in Lingen oder Landslut. Houben sieht noch weitere Geschäftsfelder: Die großen Wärmemengen könnten für die effiziente Wasserstoffproduktion mittels Hochtemperatur-Elektrolyse verwendet werden. Am Beschleuniger und Reaktor wiederum könnten Radionuklide für die Medizin produziert werden.

Ob sich der Reaktor allein mit Wärme, Wasserstoff und Radionukliden finanzieren ließe, ist fraglich. Houben hofft zusätzlich auf Mittel aus dem „Endlagerfonds“, wörtlich Fonds zur Finanzierung der kerntechnischen Entsorgung (Kenfo), der 24 Milliarden Euro umfasst. „Schließlich würde dank unserer Technologie das Endlager kurzlebiger und billiger.“

Transmutation benötigt weitere Forschung

Dass die Rechnung so einfach ausgeht, glaubt Dirk Bosbach vom Forschungszentrum Jülich und Sprecher des Helmholtz-Programms „Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung“ nicht. „Es gibt etliche Punkte, die dafür sprechen, die beschleunigergetriebene Transmutation weiterzuerforschen“, sagt er und nennt als Beispiel die langlebigen Spaltprodukte Technetium-99 und Iod-129 im Atommüll. „Im Endlager sind sie problematischer als Uran, weil sie wasserlöslich sind und leichter austreten könnten.“ Viele Transmutationskonzepte kümmern sich nicht darum, sodass die Elemente als Gefahrstoff erhalten bleiben. „Wenn es wirklich gelingt, Technetium und Iod umzuwandeln und zu entschärfen, wäre das ein Gamechanger.“

Bosbach nennt darüber hinaus in Glas eingeschmolzene Reste aus der Wiederaufarbeitung, die in Deutschland gut ein Drittel des stark strahlenden Abfalls ausmachen. Bislang kann und will niemand etwas mit den Gläsern anfangen, sie müssten ebenso endgelagert werden – und gelten daher als Gegenargument zur Transmutation. „Neuere Forschungen legen nahe, dass man diese Gläser doch auflösen und die einzelnen Elemente herauslösen kann“, berichtet der Wissenschaftler. Mit großem Aufwand zwar, aber es sei nicht unmöglich. Auch Transmutex arbeitet an entsprechenden Verfahren.

Drittens sei das alte Argument, die Transmutation käme eh zu spät, obsolet. Da die Endlagersuche sich um Jahrzehnte verzögere, gewinne man Zeit und sollte sie nutzen, meint Bosbach. „Ich würde nicht mein ganzes Geld auf die Transmutation setzen, aber ich würde sie weiter verfolgen, bis ich fundiert entscheiden kann, ob sie sich lohnt oder nicht.“ Noch lasse sich diese Frage nicht klar beantworten. „Daher wäre es klug, beide Wege – Transmutation und Endlagerung – parallel voranzutreiben.“

In Kürze

PASSGENAUE THERAPIE

Mit KI den Krankheitsverlauf bei Magersucht vorhersagen

Dresdner Forscher des Zentrums für Essstörungen wiesen in einer Studie nach, Magersucht zu längerfristigen Gehirnveränderungen führt. Eine KI-Auswertung der Veränderungen der Hirnstruktur eröffne die Chance, Behandlungen von Betroffenen anzupassen. Die Veränderungen seien besonders auffällig bei Patient:innen, die nach einem Jahr rückfällig oder schlechter Gesundheit waren. Diejenigen, die ihr Gewicht langfristig erfolgreich wiederhergestellt hatten, zeigten diese Veränderungen nicht. Geschätzt sind bundesweit 50.000 Jugendliche zwischen 12 und 17 Jahren von einer Essstörung betroffen, etwa 80 Prozent davon Mädchen. (KNA)

ZU TROCKEN FÜR GEWITTER

So wenig Blitze wie seit 30 Jahren nicht mehr

2022 hat es in Deutschland die geringste Zahl an Blitzen seit 30 Jahren gegeben. Kempten im Allgäu ist Blitzhauptstadt. Das hat der Blitz-Informationssdienst der Firma Siemens (BLIDS) am Montag in München bekannt gegeben. Insgesamt registrierten die Experten 242.000 Erdblitze in ganz Deutschland, dies ist knapp die Hälfte des Vorjahreswertes. Für die geringe Blitzdichte machen die Wissenschaftler die im vergangenen Juni und August herrschende extreme Trockenheit bei hohen Temperaturen über 35 Grad verantwortlich. Die Haupt-Gewittertätigkeit in ganz Deutschland lag 2022 im Juni. Dass auch dieses Jahr die südlichen Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg wieder an der Spitze der Gewittergeschehnisse lagen, sei der Nähe zur alpinen Vorgebirgslandschaft zuzuschreiben. (KNA)

GEMEINSCHAFTSLEISTUNG

Älteste Wasserleitungen Chinas ausgegraben

Ein Fund keramischer Wasserleitungen in China zeigt, dass Menschen der Jungsteinzeit auch ohne eine zentralisierte Autorität zu komplexen technischen Leistungen fähig waren. Ein Forschungsteam vom University College London beschreibt in der Fachzeitschrift „Nature Water“ das rund 4000 Jahre alte System aus Wasserrohren und Entwässerungsgräben in der chinesischen Festungsanlage Pingliangtai. Die Gemeinschaft weise kaum Anzeichen einer sozialen Hierarchie auf. Die Menschen hätten bei Bau und Instandhaltung des Entwässerungssystems zusammengearbeitet. Die entlang von Straßen und Mauern verlaufenden Rohre wurden aus Segmenten zusammengesetzt und dienten in der Monsunzeit dazu Regenwasser abzuleiten. (pei)

17.000

Tonnen

Atommüll haben deutsche Atomkraftwerke produziert



Beschleunigergetriebene Reaktoren sollen weniger gefährlich sein, da die Kernspaltung auf Knopfdruck zum Stillstand käme.