

An der Grenze des Lebens

Würmer, Rädertierchen, Pilze: Kilometertief im Erdinneren finden Wissenschaftler immer mehr Organismen, die Hitze und hohem Druck trotzen. Manche von ihnen hausen in jahrtausendealtem Wasser. Gibt es unter uns eine bislang unbekannt Welt?

VON BENJAMIN VON BRACKEL

Gaetan Borgonie tastet sich mit seiner Stirnlampe durch den dunklen staubigen Schacht, 1,3 Kilometer unter der Erde Südafrikas. Der belgische Mikrobiologe ahnt an diesem Tag Ende 2008 noch nicht, dass er den Beweis in der Hand hält, nach dem er so lange gesucht hat. Ein Jahr hat er nach Wasseradern in der Beatrix-Goldmine gebohrt, einem der tiefsten begehbaren Orte der Welt. Mehr als 30 000 Liter Wasser aus dem Gestein ließ er durch ein feines Sieb in einem Plastikzylinder laufen. Seine fixe Idee: Selbst hier, kilometertief unter der Erde, müsse Leben zu finden sein.

Er weiß, dass er zu dem Zeitpunkt mit seiner Meinung ziemlich allein ist. Auch in den Lehrbüchern steht etwas anderes: Es sei zu heiß, der Druck zu hoch, der Sauerstoffgehalt zu gering. Nichts würde in dieser Tiefe überleben. Aber als Borgonie an jenem Abend mit dem Auto im 150 Kilometer entfernten Labor der Universität des Freistaats Bloemfontein ankommt und durch das Mikroskop auf die Probe blickt, erkennt er einen kleinen, verkrüppelten Wurm, gerade mal einen halben Millimeter lang. Dem Forscher fällt eine Last von den Schultern. „Die bisher gültigen Vorstellungen vom Leben unter der Erde waren falsch“, erklärt er.

Mephisto, so taufte er den Fadenwurm mit dem gebrochenen Schwanz aus Schacht 3, Level 26, Korridor 28. „Ich verbrachte mein gesamtes Wochenende damit, zu ihm zu sprechen: Bitte stirb nicht, bitte stirb nicht! Leg ein paar Eier, leg ein paar Eier!“, erzählt der 49-Jährige.

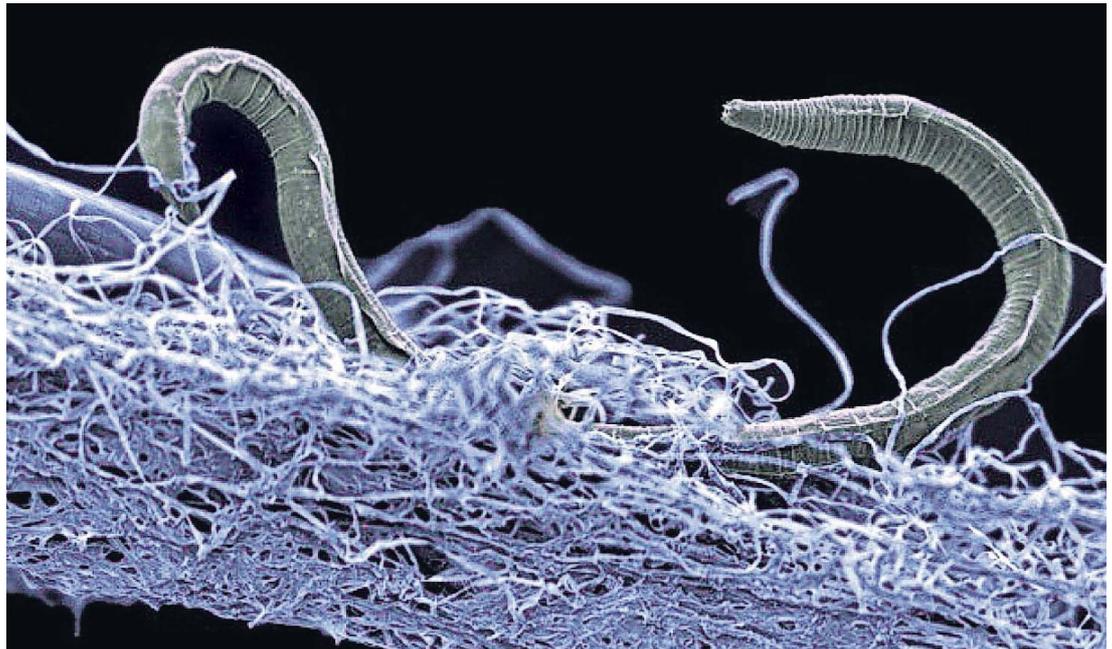
Mikrobiologen und Geochemiker loten seither die Grenzen des Lebens neu aus. Längst überholt ist die Ansicht, der Erdboden sei nur bis zur Tiefe von Baumwurzeln oder eines Hasenbaus belebt. In der engen und heißen Welt in Kilometern Tiefe findet sich nicht nur ein unbekanntes Reich an Kleinstlebewesen, die sich besser an widrige Lebensbedingungen anpassen können, als man das bislang für möglich gehalten hat. Es könnten sich dort auch Hinweise auf die Ursprünge des Lebens finden, sogar auf mögliches Leben auf anderen Planeten.

Der erste Fund war eine Mikrobe. Dann entdeckten die Forscher den Fadenwurm Mephisto

Die Mission von Gaetan Borgonie begann mit einer Tragödie. Im Jahr 2003 stürzte die US-Raumfähre *Columbia* ab, die Besatzung starb. Später fand man Reste eines Experiments an Bord: Fadenwürmer. Sie hatten überlebt. Borgonie gab das zu denken. Vier Jahre später stieß er in einer mexikanischen Höhle auf Mikroben, die in purer Säure lebten. „Deshalb dachte ich: Warum sollte ich nicht in die Bergwerke nach Südafrika“, erzählt der Forscher von der Organisation *Extreme Life Isyensya* (Eli) in Gent.

Wenn er in einer der Minen mit dem Aufzug den Schacht hinabfuhr, spürte er, wie sich Druck auf die Ohren aufbaute, ganz wie im Flugzeug. Die Kilometer durch die Korridore transportierte er die Instrumente zu Fuß, mit einem Zug oder einem Bügelfift. Wegen der Hitze und dem Wasser, das steig aus dem Felsen tropfte, herrschten Bedingungen wie in einer Sauna. „Es ist sehr heiß, dunkel, staubig und dreckig“, erzählt Borgonie. „Aber es ist ein sehr großer, beeindruckender Ort.“ Die Minenarbeiter verstanden zwar nicht, was er dort tat, ließen ihn aber seine Arbeit machen, nachdem er sie beruhigt und erklärt hatte, dass die Würmer nicht gefährlich seien.

Sein erster großer Fund war eine Mikrobe, die in 3,2 Kilometer Tiefe hauste: *Bold Traveler*, kühner Reisender. 2008 folgte mit *Halicephalobus mephisto* ein Vielzeller. Der Fadenwurm, der einem Strumpf in Miniaturformat ähnelt, pflanzt sich einge-



Ein Exemplar des Fadenwurms *Halicephalobus mephisto* wurde 1,3 Kilometer unter der Erdoberfläche gefunden.

FOTOS: GAETAN BORGONIE - EXTREME LIFE ISYENSYA, BELGIUM

schlechtlich fort und fühlt sich im Erdbo- den bei 37 Grad am wohlsten – auf einem Biofilm aus dem Sekret von Bakterien. Borgonie prüfte zunächst, ob der Wurm nicht über einen Bergarbeiter in die Tiefe gekommen war. Er nahm Proben des Bodens rund um die Bohrlöcher und des Minenwassers – und fand keine Fadenwürmer. Isotopenanalysen zeigten, dass das Wasser, in dem Mephisto lebte, zwischen 3 000 und 12 000 Jahre alt sein musste.

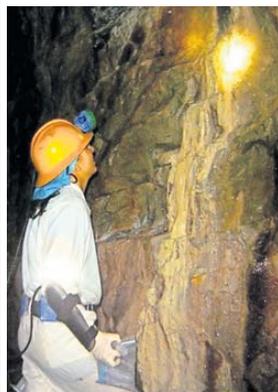
Borgonie und sein Team entdeckten zwar weitere Würmer, aber immer nur einen pro 12 000 Liter. Also änderte der Belgier seine Strategie und ließ den Filter an einer Bohrstelle in einem verlassenen Korridor zwei volle Jahre lang durchspülen – mit nur zwölf Millionen Litern. „Als ich den Filter öffnete, fand ich einen ganzen Zoo“, erzählt der Mikrobiologe. Nicht nur die zähen Fadenwürmer, sondern Ringelwürmer, Plattwürmer, Rädertierchen, Pilze. „Wir haben ernsthaft unterschätzt, dass das Leben viel robuster ist, als wir gedacht haben.“

Die Würmer atmen den Rest an Sauerstoff, der in der Tiefe noch übrig geblieben ist, und fressen Bakterien, die ihrerseits die verendeten Würmer verspeisen. Das größte Problem ist die Hitze bis zu 50 Grad. „Wenn die Würmer das bewältigen, geht es ihnen ziemlich gut“, erklärt Borgonie. Er hält es für gut möglich, dass die Funde in Südafrika nur einen Ausschnitt abbilden: eines Ökosystems rund um die Welt. Auch im Untergrund Kanadas, Schwedens oder Indonesiens hätten Forscher Leben gefunden. „Wir sollten den Untergrund nicht als abgetrennten Teil ansehen“, sagt Borgonie. „Es gibt einen durchgehenden Kontakt zur Oberfläche, Tiere wandern jeden Tag hinunter.“

Dabei darf man sich den Untergrund keinesfalls als komprimierten Fels vorstellen, sondern eher als zerklüfteten Gesteinsbruch, durch den ständig Wasser rinnt – und zwar hunderte Male so viel, wie alle Flüsse und Seen an der Oberfläche zusammen fassen. Noch gibt es viel zu wenige Proben, um den Anteil der Tiere unter der Erde zu bemessen. US-amerikanische Wissenschaftler schätzen aber, dass die Biomasse

im Untergrund schwerer ist als die auf der Oberfläche.

Mit einer Publikation im Fachblatt *Nature Communications* Ende 2015 sorgte Borgonie für einigen Wirbel in der Fachwelt. Der schwedische Mikrobiologe Karlsten Pedersen sieht sich durch Borgonies Entdeckungen in seiner These bestätigt, dass das Leben nicht auf der Oberfläche oder in den Meeren begann, sondern im Untergrund. Dort herrschten zwar extreme, aber dafür stabile Bedingungen. Auch die kanadische Geochemikerin Barbara Sherwood Lollar hält das für möglich. Das Leben sei zu ihrer Zeit entstanden, als sich die Erdkruste noch formte und Asteroideneinschläge sie immer wieder aufrissen. „Das Leben muss nicht unbedingt in Darwins kleinem warmen Teich an der Oberfläche entstanden sein“, sagt die Professorin des Fachbereichs Erdgeschichte an der Universität Toronto. „Ein ähnlich plausibles Szenario wäre ein kleiner warmer Gesteinsbruch unterhalb der Oberfläche, wo es beschützt gewesen sein könnte.“



Einer der tiefsten begehbaren Orte der Welt: die Beatrix-Goldmine in Südafrika.

Ob es möglicherweise so war, versucht Sherwood Lollar gerade herauszufinden. Den Blick in die Frühzeit der Erde ermöglicht ihr eine ungeheure Entdeckung aus dem Jahr 2007. In einer kanadischen Kupfermine unterhalb der Kleinstadt Timmins in Ontario war die Forscherin auf die Suche nach Wasser gegangen, das Millionen Jahre im Gestein eingesperrt war. Mit einer Gruppe Studenten schnüffelte sie sich buchstäblich durch die Korridore der Kidd Creek Mine, denn das uralt Wasser ist mit schwefelhaltigem Gas vermischt, das nach faulen Eiern riecht. In 2,4 Kilometer Tiefe bemerkten sie, wie etwas aus dem Fels sickerte. Probebohrungen von Bergarbeitern hatten das bis dahin isolierte Wasser freigesetzt. Sie entnahmen eine Probe und schickten sie den britischen Geochemikern Chris Ballentine und Greg Holland von den Universitäten Oxford und Manchester zur Edelgasuntersuchung.

Monate später klingelte bei Sherwood Lollar das Telefon. „Wir müssen alles noch einmal wiederholen“, sagte Ballentine. „Wir haben noch nie eine Probe wie diese gesehen.“ Da wusste Sherwood Lollar, dass sie auf etwas Faszinierendes gestoßen war. „Dieses Wasser hatte den höchsten radio-genen Edelgas-Gehalt, der jemals in einem frei fließenden Wasser entdeckt worden war“, erzählt sie. Die Geochemiker hatten unter anderem den Gehalt der Edelgase Helium, Neon, Argon und Xenon in den Proben analysiert. Wegen ihrer Trägheit und Inaktivität lässt sich das Alter von Flüssigkeiten mit ihrer Hilfe extrem weit zurückbestimmen. Ein neuer Durchlauf zeigte: Das Wasser war zwischen 1,1 und 2,7 Milliarden Jahren alt.

Die spannende Frage war: Würden sie in diesem Wasser Leben finden? Und was, wenn nicht? Wasser, in dem theoretisch Leben existieren könnte, es aber noch nicht tut – einen größeren Schatz kann sich Sherwood Lollar kaum vorstellen. Denn das könnte Hinweise darauf geben, wie das Leben auf der Erde entstanden ist. Noch immer dauert die Analyse an. Die Forscher müssen Biomasse aufspüren und Kontaminationen isolieren. Zudem kämpfen sie mit dem hohen Salzgehalt, der die Instru-

mente zerfrisst, mit denen sie das Wasser untersuchen. „Die Geochemie des Wassers teilt uns aber bereits eines mit“, sagt Sherwood Lollar. „Die Biologie ist nicht der dominante Prozess. Die Berührung durch das Leben ist sehr schwach.“ Das heißt: Geologische Reaktionen dominieren in dem Wasser wie in der Frühzeit der Erde. Darauf deutet der hohe Wasserstoffanteil von etwa zehn Millionen Mol hin, der durch Wasser-Gestein-Reaktionen entstanden ist. „Mengen in dieser Größenordnung bestehen nicht allzu lange, wenn es hungrige Mikroben in der Nähe gibt“, sagt Sherwood Lollar. „Das ist ein Beweis für die Dominanz von abiotischen Reaktionen.“

Womöglich entstanden die ersten Aminosäuren tief unter der Erdoberfläche

Möglicherweise könnten die einst zur Entstehung von Leben beigetragen haben – etwa der Bildung von Aminosäuren oder der Entstehung von Bausteinen der DNA. Sherwood Lollar sieht den Prozess nicht nur auf die Erde beschränkt. „Wenn wir zeigen können, dass kilometertief in Milliarden Jahre altem Fels Wasser ist, das geschützt wurde und voll ist mit Energie, die das Leben unterstützen kann – dann ist es sehr plausibel, dass die gleiche Art von energiereichem Wasser im Untergrund des Mars gefunden werden kann.“

Auch Borgonie plant, fremden Wesen auf die Spur zu kommen – allerdings auf der Erde selbst. Nur eben in einer Tiefe, in der noch keiner nachgesehen hat. Die Frage, die ihn antreibt: Wenn es so viele Organismen in drei Kilometer Tiefe gibt, warum sollten sie sich nicht in Millionen Jahren an noch extremere Bedingungen in noch größerer Tiefe angepasst haben. „Dann würde man tatsächlich eine komplett neue Biosphäre finden“, sagt er. „Ich denke, sie müssen dort sein, da muss noch etwas anderes sein, viel tiefer.“ Es klingt verrückt. Aber Borgonie kann zumindest auf die Petrichale in seinem Labor verweisen, in der sich Tausende kleine Würmer tummeln. Der Nachwuchs von Mephisto.