

Was ist Leben?

Ob wir fremde Lebensformen immer erkennen würden, ist fraglich.

Von Robert Hazen

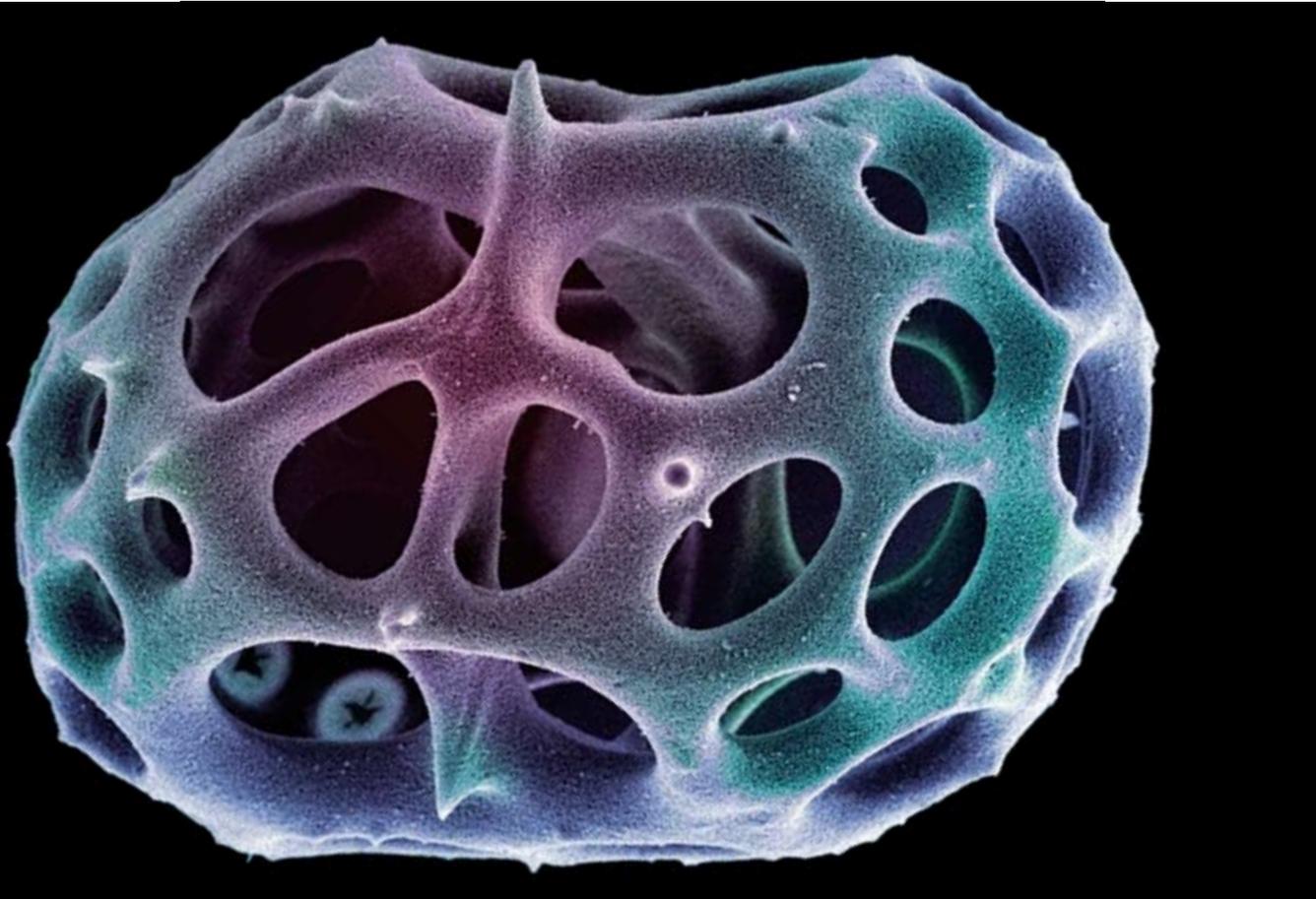
Wohl keine Entdeckung hätte tiefere Nachwirkungen, als wenn wir eine »zweite Schöpfung« fänden – Lebendigkeit, die unabhängig vom irdischen Leben entstand. Bisher kennen wir nur diese eine belebte Welt. Noch könnte es sein, dass unsere Biosphäre einzigartig ist, dass wir im Universum wirklich allein sind. Sollten wir allerdings ein anderes Leben aufspüren, hieße das: Leben ist ein universales Prinzip. Obwohl noch niemand beweisen konnte, dass es im Kosmos von Leben wimmelt, sind sich viele dessen sicher. So manchen von uns drängt es darum zur jungen Disziplin der Astrobiologie. »Die einzige Wissenschaft ohne Gegenstand« nannte ein Schelm dieses Forschungsfeld.

Dem Irdischen verhaftete Biologen verstehen sich vorzüglich darauf, Lebensspuren zu erkennen. Ihnen genügt hierfür eine einzige Zelle, ein Schnipselchen DNA, eine eigenständige Ansammlung von Kohlenstoffmolekülen. Nur handelt es sich um hiesige Erscheinungen. Was, wenn fremdes Leben anders aussähe, wenn es sowohl äußerlich wie biochemisch völlig exotisch daherkäme? – »Ich

erkenne so etwas, wenn ich es sehe!« Was der amerikanische Richter Potter Stewart 1964 über Pornografie behauptete, dürfen wir uns bei außerirdischem Leben nicht anmaßen. Was bleibt uns also?

Weil Forscher Wert auf klare Verhältnisse legen, diskutieren sie wichtige Angelegenheiten auf Kongressen. Vor nicht langer Zeit trafen sich zum Thema »Was ist Leben?« einige hundert Naturwissenschaftler mit Philosophen und Theologen. Die Anschauungen prallten aufeinander. Die hitzigsten Dispute lieferten sich allerdings die Naturwissenschaftler selbst. Ein ehrwürdiger Lipidforscher setzte auseinander, Leben habe mit der ersten semipermeablen Lipidmembran begonnen. Eine ebenbürtige Autorität der Stoffwechselforschung konterte, es habe mit dem ersten Stoffwechselzyklus angefangen, der sich selbst in Gang hielt. Wieder eine völlig andere Auffassung vertraten einige Molekularbiologen. Ihres Erachtens stellte ein RNA-ähnliches genetisches System die erste Lebensform dar, das biologische Information trug und verdoppelte. Vergleichsweise wenige Anhänger fand ein Mineraloge mit seinem Vorschlag, sich selbst replizierende Mineralien hätten den Anfang gemacht.

Es ist wie in der Geschichte von den Blinden, die einen Elefanten beschreiben sollen: Jeder bekommt etwas anderes zu fassen



AG. FOCUS / SPL, STEVE GSCHMEISSNER

Diese Debatte kocht weiter. Sie erinnert an die Geschichte von den Blinden, die einen Elefanten beschreiben sollen. Weil jeder einen anderen Körperteil zu fassen bekommt, entwerfen die Männer völlig verschiedene Tiere. Keines der Bilder trifft zu, weil keines den ganzen Elefanten zeichnet. Dennoch enthält jede Beschreibung etwas Richtiges. Vielleicht ist es bei unserem Thema ähnlich. Vielleicht behandelt jede Theorie zum Wesen des Lebens einen anderen Ausschnitt einer viel komplexeren Wahrheit.

Fünzig verschiedene Definitionen

In seinem 1999 erschienenen Buch »Biogenesis, Theories of Life's Origin« listet der Chemiker Noam Lahav von der Universität Jerusalem Lebensdefinitionen auf, an denen sich 48 Experten in den letzten hundert Jahren versuchten. Der namhafte englische Evolutionsforscher John Maynard Smith (1920–2004) beispielsweise versteht unter Leben »jede Population von Einheiten, die einer Vermehrung, Vererbung und Variation fähig sind«. Dagegen konstatiert der Informationstheoretiker Stuart Kauffman von der Universität Calgary (Alberta, Kanada), Leben sei »ein zu erwartendes kollektives Vermögen kataly-

tischer Polymere zur Selbstorganisation«. Bei anderen Experten ist es »die Fähigkeit zu kommunizieren«, »ein Fluss von Energie, Materie und Information« oder »ein sich selbst erhaltendes chemisches System, das eine darwinische Evolution erfahren kann«. Keine zwei der vielen Definitionen gleichen sich völlig.

Vielleicht sollte uns das nicht einmal überraschen. Schließlich reiben sich nicht nur Naturwissenschaftler an diesem Thema. Auch Bioethiker und Theologen befassen sich damit – etwa in der Frage, wann das Leben eines menschlichen Embryos beginnt. Setzt es mit der Empfängnis ein oder erst, sobald das Gehirn reagiert? Oder mit den ersten Herzschlägen? Für das andere Ende menschlicher Existenz verlangen Ärzte und Juristen eine Abklärung. Hier geht es um einen ethisch vertretbaren Umgang etwa mit Hirntoten sowie anderen nie mehr reaktionsfähigen Komapatienten.

Die Bemühungen von Seiten der Naturwissenschaften um eine Definition des Lebens sind zwar in ethischer Hinsicht weniger komplex und auch emotional nicht so stark beladen. Trotzdem ist der mangelnde Konsens unbefriedigend. Wie soll jemand sicher wissen, ob er außerirdisches Leben entdeckt hat,

Sogar manche irdischen Lebensformen würden Unkundige kaum für Organismen oder organische Strukturen halten – etwa solche Skelette von Radiolarien, Einzellern des Planktons.

Die eine Definition des Lebens ist genauso brauchbar wie jede andere – bis wir mehr darüber herausfinden, was außerhalb unserer Welt existiert

Spuren außerirdischen Lebens? Diese wurmartigen Strukturen entdeckten Forscher auf einem Meteoriten vom Mars, der in der Antarktis niedergegangen war.



wenn nicht einmal festgelegt werden kann, was Leben ist. Gleiches gilt für Forscher, welche die Entstehung irdischen Lebens aufklären möchten. Hierbei hilft es nichts, dass Generationen von Biologen Lebewesen im Großen wie im Kleinen untersucht haben. Auch da gibt es einfach keine allgemeinen Kriterien, um alle nur denkbaren Lebensformen eindeutig von den unzähligen unbelebten Erscheinungen trennen zu können.

Die betreffenden Wissenschaftler begehren aber Eindeutigkeit. Es gibt zwei Lager, die sich von entgegengesetzten Seiten her dem Ziel nähern, Lebendes von nicht Lebendem unterscheiden zu können. Die Mehrheit geht sozusagen von oben nach unten vor. Diese Leute sondieren alles, was an heutigen und fossilen Organismen greifbar ist. So hoffen sie zu erkennen, was das primitivste noch vorhandene Leben und ihm nahe Erscheinungen ausmacht – oder was das einfachste jemals existente bestimmte. Dieser Ansatz hat Grenzen. Alle bekannten Lebensformen, auch die ausgestorbenen, beruhen auf hoch entwickelten Zellen mit DNA und Proteinen (auch Viren stützen sich darauf). Deswegen greifen mit dieser Methode gewonnene Definitionen zu kurz.

Eine kleine Fraktion von Forschern nimmt den Weg von unten nach oben. Diese Wissenschaftler versuchen die frühen Bedingungen der Erde – die Chemie der Urwelt – im Labor nachzubauen. Das Fernziel ist, ausgehend von einfachen Bausteinen ein chemisches System zu schaffen, welches lebt. Erfolge hiermit könnten den Übergang von unbelebter zu lebender Materie erhellen. Fragt man diese Forscher, was denn lebendig ist, hört man eine erfrischende Meinungsvielfalt. Jeder von ihnen orientiert sich da weit gehend an seiner eigenen Spezialrichtung, je nachdem, ob derjenige an Zellmembranen oder Stoffwechselzyklen, an RNA oder Viren arbeitet. Sogar eine halbleiterbasierte künstliche Intelligenz findet ihre Fürsprecher.

Philosophen und Theologen tragen eine abstraktere Sicht bei. Sie sinnieren über die gesamte Bandbreite von Phänomenen, die irgend als lebendig bezeichnet werden könnten. Roboter, Computer, sogar ein sich seiner selbst bewusstes Internet führen sie an. Manchmal fühlt man sich auf diesen Treffen wie auf einer Sciencefiction-Veranstaltung. Trotzdem sind solche Debatten nicht reine Spielerei. Die Nasa benötigt für zukünftige Missionen, die nach außerirdischem Leben suchen sollen, eine klare Vorgabe.

Kompromisse zu finden gehört nicht unbedingt zu den herausragenden Qualitäten von Wissenschaftlern. Gerald Joyce vom Scripps-Forschungsinstitut in La Jolla (Kali-

fornien) hat sich darin als Mitglied eines Exobiologie-Gremiums der Nasa dennoch versucht. Von ihm stammt die weiter oben als letzte aus Lahavs Buch zitierte Formulierung: Leben sei »ein sich selbst erhaltendes chemisches System, das eine darwinische Evolution erfahren kann«. Dies schlug Joyce 1994 als »Arbeitsdefinition« für die Weltraumforschung vor.

Außerirdisches Leben könnte für uns unfassbar sein

Diese prägnante, oft zitierte Formel vereint drei wesentliche Aspekte. Zum einen verlangt sie ein chemisches System. Computerprogramme, Roboter und andere elektronische Konstrukte leben demnach nicht. Des Weiteren fordert diese Formulierung Wachstum und Selbsterhalt durch Energie- und Materialaufnahme aus der Umwelt – im Kern also Stoffwechsel. Drittens wäre nur lebendig, was sich verändert, was Varianten seiner selbst hervorbringt. Weil dann Umweltbedingungen fähigere Einheiten selektierten, fände eine Evolution hin zu komplexeren Gebilden statt. Wahrscheinlich ist diese für die Nasa gedachte Definition von Leben mindestens so allgemein gültig, brauchbar, knapp und genau wie jede andere Formulierung, die gefunden werden mag – wenigstens bis wir mehr darüber herausfinden, was außerhalb unserer Welt existiert.

Mit dieser Fassung ist vorstellbar, dass das erste irdische Leben vielleicht völlig anders aussah als alles, was wir heute kennen. Nach Ansicht vieler Forscher war die erste Lebewesenart keineswegs eine einzelne Zelle im heutigen Sinne, denn selbst einfachste Zellen weisen bereits eine ungeheure Komplexität auf. Vermutlich verwendete die erste Lebensform auch nicht DNA. Unser genetischer Kode ist schon viel zu kompliziert. Das erste Leben benutzte auch nicht notwendigerweise Proteine, die Stützen im Stoffwechsel von Zellen.

Ich bin Geologe und kenne mich mit Gesteinen aus. Meine Lieblingshypothese lautet: Die erste Lebensform, welche die Nasa-Definition erfüllen würde, war ein Molekülfilm auf Gesteinsoberflächen. Solch ein »Flachleben« hätte eine wenige Nanometer dicke Schicht gebildet, die wuchs, sich von den energiereichen Mineralien des Gesteins ernährte und sich langsam über die nächsten solchen ausbreitete, etwa wie Flechten. Falls solches Leben auf der Erde heute noch existiert – wie sollen wir es erkennen, da ihm doch die üblichen Kriterien DNA und Proteine fehlen?

Womöglich sind die Bemühungen um eine eindeutige Abgrenzung einfach deswegen zum Scheitern verurteilt, weil der Übergang zum Leben allmählich und schrittweise geschah.

Nach dem französischen Ethnologen und Anthropologen Claude Lévi-Strauss (geb. 1908), der sich mit den Mythologien vieler Kulturen befasste, neigen Menschen von Natur aus zum »Dichotomisieren«. Komplexe Situationen reduzieren sie gern auf ein viel zu einfaches Gegensatzpaar – wie Freund und Feind, Himmel und Hölle, Gut und Böse.

Wie die Wissenschaftsgeschichte zeigt, sind auch Forscher davor nicht gefeit. Zum Beispiel stritten im 18. Jahrhundert die Neptunisten mit den Plutonisten. Die Neptunisten glaubten, die Gesteine seien aus dem Urmeer, durch Ablagerungen aus wässrigen Lösungen hervorgegangen. Die Plutonisten dagegen waren davon überzeugt, dass die Hitze aus dem Erdinneren wesentlich zur Gesteinsbildung beitrug. Im Grunde hatten beide in gewissem Maße recht.

Eine ebenfalls hitzige und letztlich irreführende Kontroverse zur geologischen Geschichte der Erde entspann sich damals zwischen den Anhängern der Katastrophen- oder Kataklysmentheorie und den Uniformitariern. Die einen hielten eine kurze, von Vernichtung und Neuschöpfung geprägte Erdgeschichte für wahr. Die anderen setzten auf immer noch anhaltende, graduelle, gleichförmig-langsame geologische Vorgänge. Und ein modernes Beispiel: Die einst streng gezogenen Grenzen zwischen Pflanzen und Tieren oder zwischen Einzellern und mehrzelligen Organismen erweisen sich jetzt als unscharf.

Jeder Versuch, Lebendiges und Unbelebtes ein für alle Mal per Definition klar zu unterscheiden, kann nur eine falsche Zweiteilung liefern. Die erste komplette Zelle erschien eben nicht plötzlich aus dem Nichts. Leben dürfte vielmehr aus einer Abfolge von aufeinander fußenden jeweils neuartigen Phänomenen hervorgegangen sein. Auf etliche Ereignisse organischer Synthese folgten: molekulare Selektion, Konzentration, Abgrenzung, Organisation in diverse molekulare Strukturen. Eine molekulare Evolution trat auf, als die sich selbst replizierenden Moleküle immer komplexer und veränderlicher wurden. Diese Evolution wirkte durch eine natürliche Selektion, die dem Wettbewerb um begrenzte Rohmaterialien entsprang.

Wegen der heute aufscheinenden mutmaßlich tiefen Kluft zwischen Unbelebtem und Lebendigem ist jene stufenweise chemische Evolution von immer komplexeren Stadien jetzt verschattet. Sobald die ersten Zellen aufkamen, haben sie rasch so gut wie alle Spuren der früheren Stadien dieser chemischen Evolution vertilgt. Gefräßig, wie es war, nutzte das zelluläre Leben jenes »Protoleben« als reiche Nahrungsressource und rottete es dabei aus.



Die Aufgabe lautet somit nicht, die ultimative Definition von Leben zu finden. Vielmehr sollten wir uns damit befassen, in welchen – zunehmend hierarchischen – Schritten es möglich wurde, dass schließlich zelluläres Leben auf der präbiotischen, mit organischen Molekülen angereicherten Erde auftrat. Art und Abfolge könnten je nach Umgebung verschieden gewesen sein. Vielleicht finden wir die wirkliche Reihenfolge ja nie heraus, die sich auf unserer Erde abspielte – oder die Reihenfolgen. Allerdings vermuten viele Forscher, dass der Weg zu jeder Zeit zumindest chemisch stets ähnlich verläuft – verlaufen muss – und zudem nicht umkehrbar ist, egal, auf welchem bewohnbaren Himmelskörper sich das Phänomen abspielt.

Für eine Definition ist es zu früh

Für Definitionsbemühungen ist solch ein mehrstufiges Szenario durchaus erhellend. Grundsätzlich ist nämlich jede Festlegung auf eine Komplexitätsstufe, von der an solch ein System »zum Leben erwacht«, völlig willkürlich. Die Frage »Was ist Leben?« ist damit letztlich eine semantische. Die Natur birgt eine große Vielfalt komplexer chemischer Systeme. Zunehmend gelingt es Wissenschaftlern, dergleichen auch im Labor herzustellen. Doch wie merkwürdig oder neuartig sich solche Systeme auch verhalten mögen, keines ließe sich eindeutig kennzeichnen als entweder »belebt« oder »unbelebt«.

Die Philosophin Carol Cleland von der Universität von Colorado in Boulder und der Planetenforscher Christopher Chyba von der Universität Princeton (New Jersey) verglichen die aktuellen Versuche einer Definition des Lebens mit den fruchtlosen Bestrebungen im 18. Jahrhundert, Wasser zu charakterisieren. Vor der Entdeckung von Molekülen und vor der Atomtheorie war Wasser nur mit einer Auflis-

Menschen reduzieren komplexe Situationen gern auf ein viel zu einfaches Gegensatzpaar



AG. FOCUS / SPL. STEVE SCHMIDTNER

Unwirklich erscheint auch diese einzellige Kieselalge, ebenfalls ein Planktonorganismus. Vorstufen von Leben könnten noch bizarrer anmuten.

▷ tung von nicht ausschließlichen, ihm allein zukommenden Merkmalen beschreibbar. Wasser ist klar und flüssig, viele Öle aber auch – außerdem ist schmutziges Wasser nicht klar. Wasser unterhält Leben, viele Nährstoffe jedoch auch – aber verseuchtes Wasser kann tödlich sein, selbst wenn man die Keime nicht einmal sieht. Es gefriert bei Kälte, dringt in Holz ein, fließt abwärts, et cetera, et cetera. Keine dieser Eigenschaften ist zur Definition notwendig und hinreichend. Im 18. Jahrhundert ließ sich die wahre Natur von Wasser schlicht noch nicht fassen – weil man noch nicht verstand, dass es aus besonderen Molekülen besteht, die sich aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom zusammensetzen.

Analog bewerten Cleland und Chyba unseren Kenntnisstand von Leben. Sie meinen, im frühen 21. Jahrhundert seien Wissenschaftler noch gar nicht in der Lage, es zu definieren. Es sei daher besser, aufgeschlossen zu bleiben und sämtliches Vorgefundene einfach nur genau zu beschreiben. Sollte Leben tatsächlich in mehreren Schritten entstanden sein, würde jede Stufe vielleicht ein eigenes taxonomisches Stadium von maßgeblicher Bedeutung darstellen. Jedes Stadium verdiente dann auch eine gesonderte Bezeichnung.

Wie nun kommen wir einer Definition des Lebens näher? Um die Stadien von unbelebter zu belebter Natur bestimmen zu können, brauchen wir letztlich beides zusammen: Experimente mit geeigneten chemischen Systemen unter plausiblen geochemischen Umweltbedingungen, und damit verbunden die gezielte Erforschung unserer Nachbarplaneten. Das Konzept des Auftritts neuartiger Stufen erleichtert die Arbeit im Labor. Denn damit lässt sich das unermesslich komplexe historische Geschehen im Experiment auf eine überschaubarere Abfolge von Schritten reduzieren: wie das Erscheinen von Stoffwechsel, von genetischen (informationstragenden) Polymeren oder von selbstreplizierenden molekularen Systemen. Jede Stufe lohnt sich experimentell zu erforschen und für jede kann man theoretische Modelle entwickeln.

Die unschärfere Umschreibung liefert auch bei der Suche nach außerirdischem Leben Anhaltspunkte. So ist nicht unwahrscheinlich, dass auf dem Mars, dem Jupitermond Europa oder anderen Himmelskörpern unseres Sonnensystems nicht alle, sondern lediglich einige Stufen des Weges zum zellulären Leben auftraten. Sofern es sich wirklich so verhält, wäre dies für die Astrobiologen der Nasa eine entscheidende Information. Angenommen, jedes Stadium am Ursprung des Lebens hinterließ typische, identifizierbare Signaturen – etwa charakteristische Spuren von Molekülen, Iso-

topen oder von markanten Strukturen: In dem Fall könnten Weltraummissionen nach ihnen gezielt fahnden. Vielleicht verschlingen Zellen – als fortschrittlicheres Stadium – ja tatsächlich sämtliche primitiveren präbiotischen Formen. Vielleicht konnten die primitiveren Erscheinungen, zumindest »fossil«, nur dort überdauern, wo niemals ein zelluläres Leben auftrat. Solche präbiotischen Phänomene könnten dann als extraterrestrische »Abiomarker« dienen – nämlich als Beweis, dass die molekulare Evolution an jenem Ort über präzelluläre Stadien nicht hinauskam. Solche Befunde würden den Forschern erlauben, die außerirdischen Gebiete danach einzuteilen, bis zu welchem präbiotischen Stadium die Entwicklung jeweils gelangte.

Spuren von Protolen auf Titan?

Der unwölkte Saturnmond Titan bildet in dieser Hinsicht ein reizvolles Studienobjekt (siehe Spektrum der Wissenschaft 7/2007, S. 32). Er besitzt eine methanreiche Atmosphäre, eineinhalbmal dicker als die der Erde. Organische Moleküle, die ihr die neblig-orangerote Färbung verleihen, regnen auf seine Oberfläche herab und bilden dort eine dicke Schicht aus organischem Schlamm. Seen aus Methan und Ethan existieren auf diesem Mond neben steinhart gefrorenem Wassereis. Für flüssiges Wasser ist es dort normalerweise viel zu kalt, ebenso für eine nennenswerte molekulare Entwicklung in Richtung auf Lebensformen oder Vorstufen davon.

Doch es könnte sein, dass auf dem Titan von Zeit zu Zeit ein großer Komet oder Asteroid einschlug und nun einige Seen auftauten, die erst langsam von der Oberfläche her wieder erstarren. Tief unter der Eisdecke blieb in manchen Phasen vielleicht über Jahrhunderte oder gar Jahrtausende Zeit dafür, dass sich erste Schritte auf dem Weg zum Leben vollzogen. Auf der Erde mögen entsprechende Spuren vertilgt sein – auf dem tiefgefrorenen Titan könnten sie sich erhalten haben.

Die Frage »Was ist Leben?« setzt besondere wissenschaftliche Maßstäbe. Zumindest so viel begreifen wir schon: Jede starre Zweiteilung in belebte und unbelebte Natur wäre allzu simpel. Vielmehr erschien Leben nach heutigem Verständnis allmählich und stufenweise. Der Prozess fing mit relativ einfachen geochemischen Abläufen an, entwickelte sich aber schließlich hin zu biologischer Komplexität. Die Zwischenschritte würden wir gern im Labor nachvollziehen. Vielleicht haben wir sogar das Glück, manche Stadien eines Tages auf anderen Himmelskörpern eingefroren aufzuspüren. Dann würden wir endlich wissen, wonach wir suchen. ◀



Robert Hazen hat die Clarence-Robinson-Professur für Erdwissenschaft an der George-Mason-Universität in Fairfax (Virginia) inne. Er ist

auch Wissenschaftler am geophysikalischen Labor der Carnegie Institution in Washington D.C.

© New Scientist

Genesis: the scientific quest for life's origins. Von Robert Hazen. Henry Joseph Press, 2005

Weblinks zu diesem Thema finden Sie unter www.spektrum.de/artikel/903048.