

Entstehung der Erde und Ursprung des Lebens

Autor(en): **Remane, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **38 (1980)**

Heft 181

PDF erstellt am: **06.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-899567>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Entstehung der Erde und Ursprung des Lebens

J. REMANE

Anlässlich der Generalversammlung der SAG vom 7. Juni 1980 in La Chaux-de-Fonds hat Prof. Remane einen viel beachteten Vortrag über das Thema «Formation de la Terre et origine de la vie» gehalten. Viele Zuhörer hatten damals bedauert, dass der Text nicht auch in deutscher Sprache verfügbar war. Prof. Remane hat sich nun freundlicherweise bereit erklärt, für die Leser des ORION eine deutsche Fassung auszuarbeiten, wofür wir ihm sehr dankbar sind.

Red. W.M.

Das Alter des Weltalls wird heute auf 13–15 Milliarden Jahre geschätzt. Unser Sonnensystem ist wesentlich jünger, verschiedene Indizien deuten übereinstimmend auf ein Alter von ca. 4,6 Milliarden Jahren, und somit waren bei seiner Bildung schon von vornherein schwere Elemente vorhanden.

Man nimmt heute allgemein an, dass die Sonne und ihre Planeten sich aus einem kalten Nebel aus Gas und kosmischem Staub zusammengeballt haben. Gegenüber den grossen äusseren Planeten wie Jupiter und Saturn zeigt die heutige Erdatmosphäre ein ausgesprochenes Defizit an den leichten Gasen Wasserstoff und Helium. Die Anziehungskraft der Erde war offensichtlich zu schwach, um die leichtflüchtigen Bestandteile des Urnebels festzuhalten. Eine Aufheizung der Erde durch freiwerdende Gravitationsenergie bei der Zusammenballung, unterstützt durch die Wärmeproduktion beim Zerfall radioaktiver Isotope, deren Konzentration anfangs wesentlich höher war als heute, haben dabei sicher mitgewirkt.

Die Erdatmosphäre ist also erst später entstanden, aus Gasen, die aus dem Erdinnern entwichen sind. Die heutigen Vulkane geben uns ein ungefähres Bild von der Zusammensetzung dieser «ersten» Atmosphäre: viel Wasserdampf, wahrscheinlich auch etwas Wasserstoff, sodann Ammoniak und Methan (oder Kohlenmonoxyd oder -dioxid, auf jeden Fall Kohlenstoff in einer dieser drei Formen). Bei genügender Abkühlung schlug sich dann ein grosser Teil des Wasserdampfs nieder und bildete die Weltmeere.

Soweit die kosmologische Theorie. Entscheidend ist dabei, dass die Erdatmosphäre ursprünglich *keinen* freien Sauerstoff enthielt, also reduzierend bis neutral war.

Die geologischen Dokumente über die Frühzeit unseres Planeten sind leider recht mager. Die ältesten Gesteine, die nicht durch spätere Faltung und damit verbundene Aufheizung in grosser Tiefe stark verändert wurden, sind «nur» zwischen 3 500 und 3 100 Millionen Jahren (Ma) alt. Über die ersten 1000 Ma wissen wir also fast nichts.

Die eben genannten ältesten Gesteine stammen aus dem Swaziland in Südafrika. Sie enthalten winzig kleine, nur um 10 μ grosse Kügelchen oder längliche Körper aus organischer Substanz, die als fossile Bakterien gedeutet wurden – sehr wahrscheinlich zu Unrecht. Auch das Vorhandensein von komplizierten organischen Verbindungen wie Aminosäuren oder von Phytan und Pristan, die in den Seitenketten des Chlorophyllmoleküls vorkommen, sind kein sicherer Beweis für das Vorhandensein von Leben, denn, wie sich noch zeigen wird, könnten solche Verbindungen auch abiogen, d.h. ohne die Mitwirkung von Lebewesen entstanden sein.

Dennoch war das Leben zu diesem Zeitpunkt wahrscheinlich schon auf der Erde vorhanden, darauf deutet ein Defizit des Kohlenstoff-Isotops C^{12} , wie wir es bei den heute durch Assimilation von CO_2 entstandenen organischen Verbindungen beobachten.



Unser Heimatplanet Erde. Die Aufnahme machte der Satellit SMS-2 am 12. Februar 1975. Deutlich sind die Kontinente Nord- und Südamerika zu erkennen.
Foto NASA

Fazit dieser etwas widersprüchlichen Befunde: Das Leben ist wahrscheinlich schon sehr früh auf der Erde entstanden und es besteht kaum Aussicht, diesen Zeitpunkt mit Hilfe geologischer Dokumente genauer zu fassen.

Dafür lässt sich aber die Entwicklung der Atmosphäre sehr gut verfolgen. In den Konglomeraten und Sandsteinen der Witwatersrand-Folge (Südafrika, zwischen 2 800 und 2 300 Ma alt) finden sich das Mineral Uraninit und abgerundete Gerölle von Pyrit (Schwefelkies). Da Pyrit ziemlich hart ist, muss der Transport entsprechend lang gewesen sein, dass der Pyrit dabei trotzdem nicht oxydiert wurde, lässt sich am besten so erklären, dass die Atmosphäre damals praktisch frei von Sauerstoff war. Das Vorkommen von Uraninit bestätigt diese Annahme; die jüngsten Uraninitvorkommen sind etwas über 2 000 Ma alt.

Wichtig sind in diesem Zusammenhang auch die sogenannten Bändereisenerze, millimeterfeine Wechsellagerungen von Kieselgestein und kieselhaltigen Eisenoxyden. Sie haben sich vor allem zwischen 2 400 und 2 000 Ma in grossen Mengen gebildet, aber seit etwa 1 800 Ma überhaupt nicht mehr. Offensichtlich wurde hier in den Meeren gelöstes Eisen chemisch ausgefällt. Leicht löslich ist Eisen aber nur in der zweiwertigen Form, die in Gegenwart von Sauerstoff unbeständig ist. Damit ergibt sich für die Entstehung

der Bändereisenerze folgendes Bild: Die Atmosphäre war zu dieser Zeit immer noch praktisch sauerstofffrei, so konnte bei der Verwitterung das Eisen in der zweiwertigen, reduzierten Form in Lösung gehen. In den Meeren lebten Blaualgen, die durch Photosynthese Sauerstoff produzierten. Dadurch wurde das gelöste Eisen oxidiert und ausgefällt.

Die ältesten Algenkalke (Stromatolithe) gehen auf etwa 2 800 Ma zurück, spätestens von da an entstand also Sauerstoff in den Gewässern. Zunächst war aber die Produktion gering, und aller Sauerstoff wurde sofort verbraucht, hauptsächlich zur Oxydation des Eisens (s.o.). Etwa gleichzeitig mit dem Verschwinden der Bändereisenerze vor 1 900–1 800 Ma treten die ersten Rotsedimente auf. Sie verdanken ihre Färbung dreiwertigen Eisenoxiden und sind damit ein sicheres Anzeichen dafür, dass nun freier Sauerstoff in der Atmosphäre vorhanden war, wenn auch in viel geringerer Konzentration als heute.

So liefern uns die geologischen Dokumente ganz unerwartet einen sehr wichtigen Beitrag: Sie bestätigen die Vermutung, dass die Erdatmosphäre ursprünglich keinen Sauerstoff enthielt und womöglich reduzierend war. Damit ist die entscheidende Voraussetzung für die abiogene Entstehung von organischen Substanzen erfüllt.

MILLER & UREY (1953) haben als erste versucht herauszufinden, wie ein Gasmisch, das der vermuteten Uratmosphäre entspricht, unter natürlichen Bedingungen reagiert, d.h. ohne Verwendung von Katalysatoren und bei normalem Druck und normaler Temperatur. Ein Gemisch von Wasserdampf, Wasserstoff, Ammoniak und Methan wurde während längerer Zeit elektrischen Entladungen – sozusagen einem Dauergewitter – ausgesetzt. Es entstanden eine ganze Reihe z.T. komplizierter organischer Verbindungen, darunter mehrere Aminosäuren! Aminosäuren aber sind die Grundbausteine der Eiweisse, die als Baustoffe und Enzyme in allen Lebewesen eine entscheidende Rolle spielen.

Die Versuche sind inzwischen mit anderen, weniger reduzierenden Gasmischungen wiederholt worden, die Kohlenmonoxid oder -dioxid enthielten, jedesmal mit positivem Ergebnis. 17 von den 20 Aminosäuren, die in der lebenden Substanz vorkommen, sind auf diese Weise unter natürlichen Bedingungen hergestellt worden.

Das bedeutet, dass unter den Verhältnissen, die auf der Urerde herrschten, ein Gutteil der für das Leben entscheidenden organischen Grundbausteine sozusagen zwangsläufig entstand. Die erste, entscheidende Barriere für die Entstehung von Leben aus unbelebter Materie ist damit überwunden. Trotzdem ist der Weg von dort bis zum ersten einfachsten Lebewesen noch sehr weit.

Zunächst müssen, unter anderem, aus den Aminosäuren Eiweisse entstehen. Eiweisse sind Kettenmoleküle, aus einer grossen Zahl von aneinandergereihten Aminosäuren aufgebaut. Bei der Zusammenlagerung von zwei Aminosäuren wird jedesmal ein Molekül Wasser abgespalten. Die lebenden Organismen bewältigen dieses Problem mit der Hilfe von Enzymen – die selbst Eiweisse sind! Eine abiogene Synthese muss aber ohne Enzyme auskommen, und darüber hinaus müssen natürliche, d.h. ziemlich niedrige Temperaturen eingehalten werden. Die zuerst gebildeten Aminosäuren lagen zwangsläufig in Wasser gelöst vor. Die oben beschriebene Reaktion ist also ziemlich schwer zu bewerkstelligen und entsprechende Laborversuche sind bis jetzt nicht über «ermutigende Anfänge» hinausgekommen.

Der nächste Schritt wäre dann die Konzentration der irgendwie schliesslich doch entstandenen Grossmoleküle,

denn der Entstehung des Lebens muss zwangsläufig die Bildung von Tröpfchen aus einer Mischung verschiedener organischer Substanzen vorausgegangen sein, in denen die Konzentration höher war als in der umgebenden Lösung. Das ist die notwendige Voraussetzung für die Entstehung in ihrer Zusammensetzung konstanter, aber offener chemischer Systeme, die in ständigem Stoffaustausch mit der Umgebung stehen, so wie alle heutigen Lebewesen. Dieser Punkt bereitet weniger Schwierigkeiten als der vorhergehende, denn Laborversuche haben gezeigt, dass hochmolekulare organische Verbindungen in wässriger Lösung eine starke Neigung haben sich zu konzentrieren und gewissermassen von der Lösung abzusondern (die «Mikrosphären» von FOX und die «Coacervate» von OPARIN).

Der nächste Schritt wäre dann der entscheidende, der zum einfachsten Lebewesen, noch kleiner und in seinen physiologischen Reaktionen noch einfacher als die einfachsten heute lebenden Bakterien. Hier sind wir völlig auf hypothetische Denkmodelle angewiesen, um uns die theoretisch notwendigen Etappen einer solchen Entwicklung vorzustellen. Eine in allen Punkten befriedigende Theorie (die dann noch experimentell zu überprüfen wäre) existiert aber noch nicht.

Zusammenfassend lässt sich also über unseren heutigen Kenntnisstand zu dem ganzen Fragenkomplex, bis hin zu den ersten Anfängen des Lebens, folgendes sagen:

1) Voraussetzung für die Entstehung von Leben ist, dass sich *vorher* abiogene organische Substanzen bilden. Das ist nur möglich, wenn die Atmosphäre frei von Sauerstoff ist, weil sonst die organischen Verbindungen sofort wieder zerstört würden.

Astronomische Überlegungen zu der Annahme, dass die Erdatmosphäre am Anfang tatsächlich keinen freien Sauerstoff enthielt. Diese Annahme wird durch die geologischen Befunde voll bestätigt.

2) Laborversuche zeigen, dass sich unter solchen Bedingungen zwangsläufig eine grosse Zahl ziemlich komplexer organischer Verbindungen bildet, darunter die für das Leben so wichtigen Aminosäuren.

Die erste, entscheidende Voraussetzung für die Entstehung von Leben aus unbelebter Materie auf der Erde war also mit Sicherheit erfüllt. Wir brauchen demnach keinen ausserirdischen Ursprung des Lebens anzunehmen, durch abiogene organische Verbindungen, die aus dem Weltraum auf die Erde gelangten oder gar durch im All vagabundierende Lebenskeime.

3) Über den weiteren, noch sehr langen Weg bis zum ersten Lebewesen wissen wir fast nichts. Es ist aber auffällig, dass die primitivsten unter den heute lebenden Bakterien von organischer Substanz leben und auf ein sauerstofffreies Milieu angewiesen sind: Das entspricht genau den Bedingungen, wie sie nach dem oben geschilderten Anfang kurz nach der Entstehung des Lebens auf der Erde geherrscht haben müssen, abiotisch gebildete organische Verbindungen waren noch reichlich als Nahrung vorhanden, aber es hatte sich noch kein Sauerstoff durch Photosynthese gebildet, weil die Blaualgen, die primitivsten Sauerstoffproduzenten, die wir kennen, erst später entstanden.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. Jürgen Remane, Université de Neuchâtel, Institut de Géologie, 11 Rue Emile-Argand, CH-2000 Neuchâtel 7.