

Anzeige

ADVANCED STUDY CENTRE
 UNIVERSITÄT BASEL

‘Es ist nicht wahr, dass die kürzeste Linie
immer die Gerade ist.’
Lessing

NZZ Online

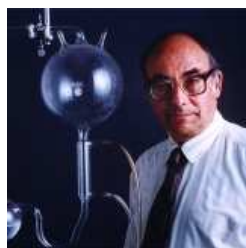
Freitag, 20. März 2009, 11:29:48 Uhr, NZZ Online

Nachrichten > Wissenschaft

14. Mai 2008, Neue Zürcher Zeitung

Der Ursprung des Lebens – ein einmaliges Ereignis?

Chemiker untersuchen, wie aus präbiotischen Vorläuferstoffen Biomoleküle werden



Der Chemiker Stanley Miller bei einer Wiederholung seines bahnbrechenden Experiments. (Bild: pd)

Seit Jahrzehnten versuchen Chemiker nachzuvollziehen, wie auf der Erde aus präbiotischen Molekülen die uns geläufigen Biomoleküle entstanden sind. Inzwischen halten sie es für möglich, dass Leben möglicherweise auf mehr als einem Weg entstehen kann.

Marc-Denis Weitze

Für Chemiker ist das Universum aus rund einhundert verschiedenen Bausteinen aufgebaut. Diese Elemente sind im Lauf der Jahrmilliarden in Sternen entstanden, darunter der für die irdische Biochemie so zentrale Kohlenstoff. Aus den chemischen Elementen lässt sich eine unüberschaubare Vielfalt an Molekülen aufbauen. Immerhin 120 «organische» Moleküle, also solche, die Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten, hat man bereits in verschiedenen Regionen des Weltraums gefunden. So kommt Methan, der einfachste Kohlenwasserstoff, nicht nur auf den meisten Planeten unseres Sonnensystems vor, es wurde kürzlich auch auf einem extrasolaren Planeten nachgewiesen. In Meteoriten, die auf die Erde gefallen sind, hat man verschiedene Proteinbausteine, darunter die Aminosäure Glycin, gefunden. Und in der Nähe des Zentrums der Milchstrasse wurde unlängst Aminoacetonitril, ein möglicher Vorläufer von Glycin, entdeckt. Wohin die Astronomen ihre Teleskope auch richten – es scheint von «präbiotischen» Molekülen nur so zu wimmeln. Allerdings zeigt die jahrzehntelange Forschung zum Ursprung des Lebens auch, wie weit der Weg von solchen Vorläufermolekülen zu den uns geläufigen Biomolekülen, etwa Nukleinsäuren oder Proteinen, ist.

Darwins «warmer Teich»

Der Ausgangspunkt für die Entstehung des Lebens ist laut den am weitesten verbreiteten Ideen ein kleiner warmer Teich, in dem aus den richtigen Zutaten – vielleicht jenen, die man im Weltall entdecken kann – bei geeigneten äusseren Bedingungen die ersten Biomoleküle entstanden. Wasser als Reaktionsmedium, erhöhte Temperaturen, weitere Anregungen wie elektrische Entladungen (Blitze) – dieses Bild

hatte bereits Charles Darwin im Kopf, und es ist bis heute bestimmend. Spätestens seit 1900 machten sich Chemiker wie Walter Löb daran, die Ursuppe (also den kleinen warmen Teich) und die darüber befindliche Uratmosphäre in ihrem Labor nachzustellen. Aus Methan und Wasserdampf – das zeigten bereits die Experimente Löbs – können sich Carbonsäuren bilden, und bei Anwesenheit von Ammoniak entstand bei Löb sogar die Aminosäure Glycin. Berühmt wurden freilich erst die Experimente, die der amerikanische Chemiker Stanley Miller seit den 1950er Jahren durchgeführt hat. Aus einfachen Vorläufermolekülen, die es vor mehr als vier Milliarden Jahren wohl auf der unbelebten Erde gegeben hatte, entstanden auch hier Glycin und – wenn auch in sehr geringen Mengen – andere Aminosäuren. Alle diese Experimente stiessen auf ein wohlgesinntes Publikum: Wäre die Millersche Versuchsanordnung grösser gewesen und hätte sie länger gearbeitet, so die weitverbreitete Vorstellung, wäre vielleicht das erste «lebende» Molekül erzeugt worden.

Auch wenn es keine schlüssige Definition von Leben gibt, so gilt doch die Evolution, also das Wechselspiel von Mutation und Selektion, als eine der unerlässlichen Voraussetzungen. In diesem Sinne können bereits Moleküle lebendig sein. Das Musterbeispiel eines chemischen Systems, das evolutionsfähig ist, besteht aus der Erbsubstanz DNA und den Proteinen. In der DNA ist die Anleitung für den Aufbau der Proteine gespeichert. Bei der Vervielfältigung der DNA kommt es immer wieder zu kleinen Mutationen. Die Proteine wiederum erfüllen Funktionen, die der Selektion unterliegen.

DNA und Proteine können allerdings nicht von selbst entstanden sein. Selbst wenn alle benötigten Bausteine für diese Moleküle in der Ursuppe oder anderswo entstanden sein mögen, wäre es völlig unwahrscheinlich, dass sie sich in der richtigen Art und Weise zusammen gelagert hätten. DNA und Proteine müssen deshalb aus einem noch einfacheren System der molekularen Evolution entstanden sein. Ein möglicher Vorläufer ist die RNA, ein chemischer Verwandter der DNA. Die RNA kann nicht nur Information speichern, sondern auch komplexe räumliche Strukturen bilden, ähnlich wie Proteine. Laborexperimente zeigen, welche vielfältigen Eigenschaften RNA-Moleküle haben können; und Computersimulationen lassen erahnen, wie rasch sich die Moleküle einer solchen «RNA-Welt» im Verlauf der molekularen Evolution an ihre Umwelt anpassen, neue Strukturen und damit auch Funktionen annehmen können.

Kritik an Ursuppe und RNA-Welt

Aber wie ist die allererste RNA entstanden? Obwohl sich die Ursuppe in den Millerschen Experimenten nach dem Befeuern mit Blitzen als Fundgrube für die verschiedensten Moleküle herausstellte, überzeugt dieses Szenario der Entstehung des Lebens nicht jeden. Aminosäuren und andere Produkte entstanden in derart geringen Konzentrationen, dass es schwer vorstellbar erscheint, wie sie sich ohne weiteres zu Peptiden oder Proteinen, also Aminosäureketten, zusammen lagern können. Nukleotide – die anderen für die irdische Biochemie so wichtigen Bausteine – fand man überhaupt nur in besonders ausgeklügelten Experimenten.

Umgekehrt verblüfft die scheinbare Beliebigkeit der Reaktionsbedingungen in den Experimenten Millers: Es zeigte sich, dass die Uratmosphäre auf der Erde eine andere war. Das tat den Experimenten zur präbiotischen Chemie jedoch keinen Abbruch – mit anderen Atmosphären funktionierte das Ganze auch. Und manche Nachfolger Millers arbeiten nicht in einem warmen, sondern in einem kalten Teich: Wenn Wasser gefriert, konzentrieren sich die darin gelösten Stoffe und können dann möglicherweise besser miteinander reagieren.

Wenn man über chemischen Sachverstand und eine gute Laborausstattung verfügt, gibt es viele Wege, um aus den einfachen Vorläufermolekülen, die in den Millerschen Experimenten entstehen, Aminosäuren, Nukleotide oder andere Biomoleküle zu synthetisieren. Dass diese Wege jedoch auch von selbst eingeschlagen werden, bezweifelt der Chemiker Robert Shapiro von der New York University. Es habe auf der frühen Erde weder Chemiker noch Laboratorien gegeben, die RNA herstellten. Die Unzulänglichkeit der traditionellen Sichtweise erläuterte Shapiro in der Zeitschrift «Scientific American» kürzlich mit folgender Analogie: Nachdem ein Golfer einen 18-Loch-Kurs erfolgreich absolviert hat, behauptet er, der Ball hätte das auch ohne ihn schaffen können – unter der Einwirkung natürlicher Kräfte wie Erdbeben, Stürmen oder Regengüssen –, wenn man ihm nur genügend Zeit gelassen hätte. Im gleichen Sinne widerspreche die spontane Entstehung von RNA zwar keinem Naturgesetz, sie sei aber extrem unwahrscheinlich, so Shapiro.

Eisen-Schwefel-Welt

Angesichts der Unwägbarkeiten der RNA-Welt wurden auch andere Vorschläge zum Ursprung des Lebens gemacht, in denen sich selbst replizierende Moleküle wie die RNA nicht die ersten Biomoleküle waren. Bereits in den 1980er Jahren entwickelte der Patentanwalt Günter Wächtershäuser ein Szenario, bei dem Mineraloberflächen einen (zweidimensionalen) Reaktionsraum bilden, auf dem kleine Biomoleküle haften und miteinander reagieren. Tatsächlich ist diese Art der «heterogenen Katalyse» auch in der chemischen Industrie weit verbreitet: Zwei Stoffe finden auf einer geeigneten Oberfläche viel schneller zueinander als in einer dreidimensionalen Ursuppe.

Zu diesem Szenario – nach den Hauptbestandteilen des Minerals, das die Oberfläche bildet, als Eisen-Schwefel-Welt benannt – wurden Reaktionszyklen erdacht, in denen aus anorganischen Ausgangsverbindungen Aminosäuren und Peptide entstehen. Viele der angenommenen Reaktionsschritte konnten im Labor von Wächtershäuser und seinen Mitarbeitern an der Technischen Universität München nachgestellt werden, aber bisher noch keine komplette Reaktionskette.

Auch Computersimulationen zeigen, wie auf solchen Mineraloberflächen Reaktionswege und Zwischenstufen möglich werden, die den Regeln der Chemie normalerweise widersprechen. Katalytische Eisen-Schwefel-Verbindungen lassen sich noch in einigen Enzymen heutiger Lebewesen finden und als Relikte dieses Szenarios interpretieren. Beispielsweise haben Mikrobiologen der Universität Marburg kürzlich entdeckt, dass der Elektronentransfer bei der Bildung reaktiver Molekülteile dank einem Eisen-Schwefel-Reaktionszentrum

gelingt.

Hinsichtlich des Anspruchs, den molekularen Ursprung des Lebens zu erfassen, konkurrieren die Anhänger der RNA-Welt und jene der Eisen-Schwefel-Welt miteinander. Allein die Orte, an denen die besagten Welten entstehen können, sind sehr verschieden: Auf der einen Seite der Urozean beziehungsweise der kleine warme Teich, auf der anderen Seite heisse Quellen am Meeresboden. Wie in einer wissenschaftlichen Kontroverse üblich, erkennt man die experimentellen Ergebnisse der Gegenseite nicht an, sondern wirft sich vor, die äusseren Bedingungen und Mengen(verhältnisse) der beteiligten Moleküle so zu drehen, wie es einem gerade passt. Wenn es auch unwahrscheinlich ist, dass beide Welten nebeneinander existiert haben, so doch möglicherweise nacheinander. So lässt sich – versöhnlich – die Eisen-Schwefel-Welt als Vorwelt der RNA-Welt sehen.

Auf der Suche nach dem Ursprung des Lebens besteht immer die Gefahr der Voreingenommenheit. Nur weil Nukleinsäuren und Proteine die molekularen Triebkräfte der irdischen Evolution sind, sucht man auch im Weltall nach diesen Biomolekülen, wenn man nach belebten Systemen Ausschau hält. Es stellt sich allerdings die Frage, ob die Biomoleküle, die wir heute kennen, die einzig möglichen sind. Allein wenn man die Monomere der Proteine und der Nukleinsäuren betrachtet, bietet die Chemie einen grossen Vorrat an Alternativen. Es gebe keinen chemischen oder biologischen Grund, warum ausgerechnet die zwanzig «kanonischen» Aminosäuren die Bausteine für Proteine seien, sagt etwa Nediljko Budisa vom Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried bei München. Würde Leben ein anderes Mal entstehen, so Budisa, wäre der Satz von Bausteinen wohl ein anderer.

Proteine aus künstlichen Aminosäuren

Tatsächlich stellen Chemiker im Labor heute routinemässig Proteine mit künstlichen Aminosäuren her. Heraus kommen Proteine mit Eigenschaften, die denen natürlicher Proteine mitunter überlegen sind. Beispielsweise konnten Budisa und seine Kollegen durch Verwendung einer künstlichen, fluorhaltigen Aminosäure ein Protein herstellen, das nach dem Erwärmen rascher wieder funktionsfähig wird als die Proteine, die nur aus den 20 natürlich vorkommenden Aminosäuren aufgebaut sind. Trotz diesem Vorteil hat die fluorhaltige Aminosäure in der irdischen Biochemie keinen Platz gefunden: Fluoride seien nicht wasserlöslich, so Budisa. Damit scheidet dieses Element zumindest für die irdische Biochemie aus.

Macht man sich aber von den Beschränkungen der irdischen Biochemie frei, rücken plötzlich ganz andere Möglichkeiten ins Blickfeld. Selbst Wasser gilt nicht mehr als notwendiges Lebenselixier, weil beispielsweise Ammoniak bei tieferen Temperaturen über ähnliche Eigenschaften verfügt und sogar in Kohlenwasserstoffen komplexe «bio»-chemische Reaktionen denkbar sind.

Legen die zahlreichen Ansätze und Theorien also nahe, dass es im Universum viele Ursprünge des Lebens gab und dass dort möglicherweise auch heute noch Leben entstehen kann? Ist angesichts der präbiotischen Chemie der Ursprung des Lebens kein einmaliges historisches Ereignis

mehr, sondern beliebig oft im Labor – oder in den Weiten des Universums – wiederholbar? Oder braucht es für das Leben diese ganze Vielfalt an chemischen Vorgängen, um ein einziges Mal entstehen zu können? Selbst wenn sich solche Fragen vielleicht niemals klären lassen – der Ursprung des Lebens ist und bleibt eine Inspiration für Evolutionsbiologen und Chemiker.

Künstliche Evolution

MDW. Der Ursprung des Lebens ist ein historisches Ereignis und damit für Chemiker schwer zugänglich. Er kann aber deren Phantasie beflügeln. Das ist der Ansatz von Günter von Kiedrowski von der Ruhr-Universität Bochum. Anstatt zu versuchen, die genauen historischen Bedingungen vor vier Milliarden Jahren zu ergründen und, davon ausgehend, chemische Szenarien zu entwickeln, könne man den Ursprung des Lebens auch als Ideengeber nutzen. Wie mögen aus den Nukleinsäuren grössere funktionale Einheiten und schliesslich Zellen entstanden sein? Von Kiedrowski untersucht, wie sich DNA-Teile zu räumlichen Gebilden zusammenlagern. Unlängst entstanden in seinem Labor auf diese Weise kugelförmige Partikel mit einem Durchmesser von 20 Nanometern. Diese Nanostrukturen könnten – erweitert um funktionale Gruppen – Bauteile einer Nanoelektronik werden. Sie könnten aber auch als Modell für selbstreplizierende Nanomaschinen dienen. Es müsse ja nicht immer das aus der Biologie bekannte Wechselspiel von DNA und Proteinen sein, so von Kiedrowski. Mit den künstlichen DNA-Strukturen nähere man sich vielleicht anderen chemischen Systemen, die auch die Fähigkeit zur Evolution zeigten. In ähnlicher Weise hätten die Hypothesen zum Urknall ja auch weite Teile der Physik inspiriert.

▸ **Miller-Experiment: Interaktiv und Videos** [<http://www.ucsd.tv/miller-urey/>]

Link:

http://www.nzz.ch/nachrichten/wissenschaft/miller_1.733380.html

Diesen Artikel finden Sie auf NZZ Online unter:

http://www.nzz.ch/nachrichten/wissenschaft/der_ursprung_des_lebens__ein_einmaliges_ereignis_1.732804.html

Copyright © Neue Zürcher Zeitung AG

Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigung oder Wiederveröffentlichung zu gewerblichen oder anderen Zwecken ohne vorherige ausdrückliche Erlaubnis von NZZ Online ist nicht gestattet.