

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 67 (2009)
Heft: 353

Artikel: Astrobiologie : ein junger Forschungszweig : Ursuppe und Weltall
Autor: Geiger, Hansjürg
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-897300>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Astrobiologie – ein junger Forschungszweig

Ursuppe und Weltall

■ Von Hansjürg Geiger

Der Nachweis zahlreicher organischer Verbindungen im Weltall eröffnet dem noch jungen Forschungszweig der Astrobiologie eine ganz neue Sicht auf das uralte Menschheitsrätsel der Entstehung des Lebens. Offenbar spielte das Weltall auch bei der frühesten Evolution des Lebens eine entscheidende Rolle.

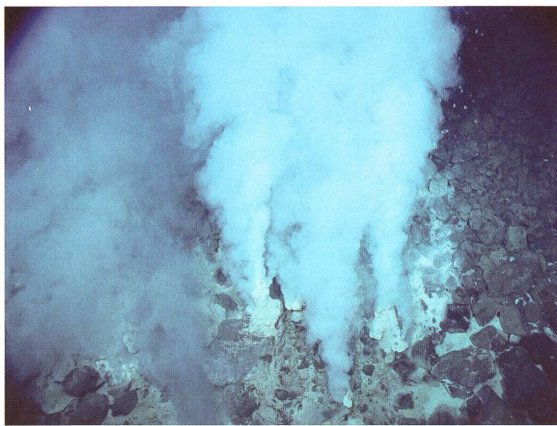


Bild 1: Überhitztes Wasser schießt unter hohem Druck in der Tiefsee aus dem Boden und wird fast schlagartig abgekühlt. Dabei fallen die im Wasser gelösten Mineralstoffe aus und bilden kaminähnliche Strukturen – die schwarzen Raucher. Ist dies die Umgebung, in der die ersten Lebewesen auf der Erde entstanden? (Bild: NOAA)

Es gibt nur ganz wenige biologische Experimente, die in praktisch jedem Lehrmittel der gymnasialen Mittelstufe sogar mit einer Abbildung beschrieben werden. Einer dieser klassischen Versuche aber, jener dessen Resultate STANLEY MILLER und sein Doktorvater HARALD UREY 1953 veröffentlichten, findet sich fast mit Sicherheit in jedem modernen Schulbuch. Natürlich ist es die Bedeutsamkeit der Versuchsergebnisse, die das Experiment so berühmt werden liessen, es ist aber auch das verblüffend einfache Prinzip im Aufbau und in der Durchführung, die ihm zu seinem Ruhm bis in die heutige Zeit verhelfen. Dabei hat STANLEY MILLER eigentlich nichts anderes getan, als CHARLES DARWIN, den Begründer der modernen Evolutionstheorie und «Übervater» der Biologie, beim Wort zu nehmen. Einige einfache Grundstoffe, etwas Energie und die richtige Umgebung müssten auf der Urerde ausgereicht haben, um einer der wohl faszinierendsten Erscheinungen der Materie zu ihrem Start zu verhelfen: dem Leben! Mehr als im DARWIN'SCHEN «Rezept zum Leben» aufgeführt wird, kann ja auf

dem erst gerade aus einer interstellaren Gas- und Staubwolke entstanden und von kosmischen Kollisionen durchschüttelten Planeten nicht vorhanden gewesen sein. Sollten diese Ingredienzien nicht ausreichen, so müsste der Entstehungsort

«Aber wenn (oh welch ein grosses Wenn) wir es zustande brächten, dass in einem kleinen, warmen Teich, in welchem alle Sorten von Ammonium- und Phosphorsalzen, Licht, Wärme, Elektrizität, etc vorhanden sind, auf chemischem Wege eine Proteinverbindung entsteht, die dann noch kompliziertere Veränderungen durchlaufen könnte, dann würde eine solche Substanz heute sofort gefressen oder absorbiert werden, das wäre aber vor der Entstehung der Lebewesen nicht geschehen.»

Charles Darwin, 1871, in einem Brief an den Botaniker Joseph Dalton Hooker

des Lebens ausserhalb der Erde gesucht oder gar ein übernatürlicher Eingriff vorausgesetzt werden.

Uratmosphäre im Labor

Die denkbar einfache Apparatur, die MILLER in seinem Labor aufbaute, umfasst zwei miteinander durch eine ringförmige Leitung verbundene Kolben. Im unteren Gefäss erhitzte der junge MILLER Wasser, dessen Dampf er über die Leitung in den zweiten Kolben führte, in welchem elektrische Entladungen das Gasmisch aus Methan, Ammoniak und Wasserstoff durchzuckten. Dieses Gasmisch entsprach den damaligen Vorstellungen über die Uratmosphäre der Erde, von der die Wissenschaftler aber eigentlich mit Sicherheit nur wussten, dass sie keinen freien Sauerstoff enthielt. Chemisch gesehen wirkt die gewählte Gasmixtur reduzierend, was sie reaktionsfreudig macht – eine wichtige Voraussetzung für die erhoffte Vielfalt an Reaktionswegen. Den über einen Kühler und Abscheider geleiteten Wasserdampf mit den Reaktionsprodukten führte MILLER wieder zurück zum Wasserkolben. Er hatte wohl in seinen kühnsten Vorstellungen kaum damit gerechnet, schnell und sogar für das blosse Auge erkennbar Veränderungen in seinem Modell der Urerde aus Gewässer und Atmosphäre beobachten zu können. Tatsächlich aber begann sich die Brühe im Abscheider der Anlage schon nach wenigen Tagen zunächst gelblich und später bräunlich zu verfärben. Erste Analysen zeigten schnell, wie chemisch reichhaltig die entstandene Mischung war. Nebst Formaldehyd und einigen organischen Säuren fand der Forscher auch mehrere Aminosäuren, die Bausteine aller Eiweisse, also der für das Leben so enorm wichtigen Stoffe, die entweder unseren Körper aufbauen oder als Enzyme in Betrieb halten. Die Begeisterung nach der Veröffentlichung der ersten Resultate war nicht nur in der Welt der Wissenschaft riesig, auch die breite Öffentlichkeit hatte ihre Sensation. Zahlreiche andere Arbeitsgruppen nahmen in der Folge die Idee von Miller auf und bestätigten seine Resultate nicht nur, sondern konnten durch geschickte Variationen im Versuchsaufbau und in der stofflichen Zusammensetzung die Bausteine praktisch aller biologisch



Bild 2: Der Kern des Kometen Halley – hier aufgenommen von der ESA – Sonde Giotto am 14. März 1986 – erscheint fast völlig schwarz. Die Analysen zeigen: er ist von Kohlenstoffverbindungen überdeckt. (Bild: ESA)

wichtiger Moleküle produzieren. Mit einem Schlage schien es möglich, das uralte Menschheitsrätsel der Entstehung der ersten Lebewesen schnell lösen zu können.

Reaktionsfreudige chemische Stoffe

Eine gewisse Ernüchterung kam aber schon bald auf, als es einfach nicht gelingen wollte, in den einfachen Simulationsexperimenten auch grössere biologisch bedeutsame Moleküle aufzubauen. Sobald längere Ketten von Makromolekülen entstanden, brachen sie auch gleich wieder auseinander. Ein Hauptgrund dafür liegt in der Art und Weise, wie die grossen biologischen Kettenmoleküle entstehen. Ihre Bausteine, also z. B. einzelne Aminosäure, werden unter Abspaltung von Wasser miteinander verbunden. Sobald aber Wasser in der

Umgebung der noch kurzen Ketten auftritt, kann die Verbindung durch Wasseraufnahme wieder gelöst werden. Diese Rückreaktion verläuft meist sogar unter Energieabgabe, also ohne weiteres Dazutun durch den Experimentator. Mit anderen Worten: Ohne einen Schutz vor der abbauenden Wirkung des Wassers konnten in der Frühzeit der Erde wohl keine komplexen chemischen Stoffe in genügenden Mengen entstehen und ohne grosse organische Moleküle auch kein Leben. Chemiker erreichen die für ihre Reaktionen nötigen Stoffkonzentrationen mit einem simplen Trick. Sie lassen ihre Synthesen statt in einem mit Wasser gefüllten «warmen Teich» ganz einfach und gut geschützt in Reagenzgläsern oder ähnlichen Gerätschaften ablaufen. Wo aber könnten auf der Urerde Bedingungen geherrscht haben, die so etwas Ähnliches wie ein «Reagenzglas» simuliert hätten?

Interessanterweise gibt es eine ganze Reihe von Umgebungen, die einen ähnlichen Effekt wie durch die Abschirmung in einem Reagenzglas ermöglichen. So könnten die mikrofeinen Ritzen und Spalten im Lückensystem hydrothermalen Quellen in den Tiefen der Weltmeere für die nötige Anreicherung gesorgt haben. In diesen «Schwarzen Rauchern» mit ihren mineralischen Oberflächen besteht auch ein Überfluss an reaktionsfreudigen chemischen Stoffen und die in ihnen herrschenden teilweise extrem hohen Temperaturen könnten die nötige freie Energie für weiterführende Reaktionen bereitgestellt

haben. Schon fast suggestiv wirkt in diesem Zusammenhang, dass sämtliche der ursprünglichsten heute bekannten Lebewesen ausschliesslich in sehr heissen Gewässern leben, nicht zuletzt auch in den «Schwarzen Rauchern»! Aber auch das Gegenteil der überhitzten Quellen, nämlich die mit Salzlösungen gefüllten winzigen Kammern im gefrorenen Meereis könnten für die ersten Schritte des Lebens in Frage kommen. Auch sie boten die so wichtige Abschirmung und hatten das Potential, durch saches Auftauen und erneutes Gefrieren Stoffe anzureichern.

Die Entdeckungen der Astronomen im letzten Jahrhundert haben aber die Suche der Astrobiologen nach möglichen Syntheseorten für die einfachsten Moleküle des Lebens auch ins Weltall ausgeweitet. Ausgerüstet mit modernen Grossteleskopen gelang es nicht nur, viele der kleinsten Bausteine der Biomoleküle in den interstellaren Gas- und Staubwolken zu finden, sondern sogar hochkomplexe, aus mehreren Kohlenstoffringen bestehende Makromoleküle nachzuweisen. Offensichtlich gibt es also sogar im freien Weltall Orte, wo grosse organische Moleküle spontan entstehen. Die «Reagenzgläser» für diese Reaktionen könnten winzige Körnchen aus Silikaten sein, wie sie um junge Sterne in grossen Mengen auftreten. Welche Vielfalt an organischen Stoffen an ihnen synthetisiert werden, belegen auch die Simulationen in kleinen Weltraumkammern, die Lou Allamandola am Ames Center der NASA durchführt. Allamandola kann zeigen, wie die kleinen Körnchen selbst unter nahezu absolutem Vakuum schon nach kurzer Zeit von einer Schicht aus zahllosen Molekülen bedeckt werden. Damit stoppen aber die Reaktionen keineswegs, sondern bauen auf den ersten noch einfachen Grundstoffen auf und produzieren in der Folge immer komplexere Verbindungen. Entscheidend dabei ist die Bestrahlung durch UV-Licht, wie dies auch in der Umgebung von Sternen vorhanden ist.

Auch in unserem Sonnensystem dürften zumindest in der Frühzeit derartige Reaktionen abgelaufen sein und organische Stoffe auf den noch jungen Himmelskörpern angereichert haben. Dies könnte auch erklären, weshalb Kometen und einige Meteoriten derart viel organisches Material enthalten, dass sie



Bild 3: In der Gas- und Staubwolke um einen soeben entstehenden Stern bewegen sich zahllose winzige Silikatkörnchen. An ihrer Oberfläche laufen unter UV-Einfluss hoch komplexe chemische Reaktionen ab, die zu einer noch nicht völlig erforschten Vielfalt organischer Moleküle führen. (Zeichnung: NASA)

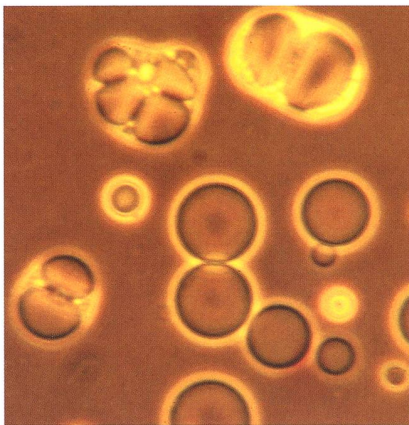


Bild 4: Als David Deamer organisches Material aus dem Murchison Meteoriten mit Wasser vermischte, formten sich sofort kleine Kügelchen – Vesikel genannt. Diese Vesikel besitzen wie die Zellen der heutigen Lebewesen eine ultrafeine Doppelmembran, können Stoffe einbauen und passieren lassen und mit Hilfe des UV-Lichtes sogar Energie umsetzen. (Bild: David Deamer, mit freundlicher Genehmigung)

regelrecht mit einer schwarzen Schicht überzogen sind. Die so angereicherten Stoffe könnten aber noch eine ganz andere, für die Entstehung des Lebens entscheidende Bedeutung gehabt haben. Auf sie stiess DAVID DEAMER (UC Davis) auch etwas durch Zufall.

DEAMER untersuchte in den 1980er Jahren Fragmente des berühmten Murchison – Meteoriten und konnte darin zahlreiche organische Grundstoffe, wie Aminosäuren und auch Lipide nachweisen. Zur grossen Überraschung kam es aber, als eine Fraktion der Moleküle aus diesem Meteoriten in Wasser löste.



Bild 5: Aufnahme des Nebels IC 2118 („Hexenkopfnebel“) im Sternbild Eridanus. Unter dem Licht von Rigel (oben rechts) leuchten feine Staubteilchen bläulich auf. IC 2118 ist vermutlich der Überrest einer Supernova. (Bild: NASA)

Spontan und ohne weiteres Zutun gruppierten sich die unsichtbaren Moleküle vor den Augen des Forschers unter dem Mikroskop zu winzigen kleine Kügelchen. Spätere Analysen zeigten, die Wand dieser kleinen Kügelchen bestand aus Lipiden, nicht unähnlich den Stoffen in den Zellmembranen der heutigen Lebewesen. Die kleinen Bläschen, Vesikel genannt, zeigen auch noch andere biologisch bedeutsame Eigenschaften. Sie können u.a. auch selektiv Material in ihre Membrane einbauen, wachsen und sie beginnen ab einer gewissen Grösse sogar Knospen zu bilden und sich zu «vermehren».

Derartige kleine Kügelchen waren zwar eigentlich schon seit längerem bekannt, so hatte sie z. B. Sidney Fox auch aus Gemischen von Aminosäuren gewinnen können. Hier aber hatten sich zellähnliche Strukturen aus Material gebildet, welches möglicherweise vor Milliarden von Jahren irgendwo im Weltall entstanden war und durch einen abstürzenden Meteoriten die Erde erreicht hatte.

Diese Entdeckungen der jüngeren Zeit könnten bedeuten, dass die Grundstoffe des Lebens nicht nur durch einen sehr unwahrscheinlichen Zufall in einem «warmen Tümpel» hier auf der Erde entstanden, sondern ihre Bildung zur normalen Entwicklung eines jungen Planeten-

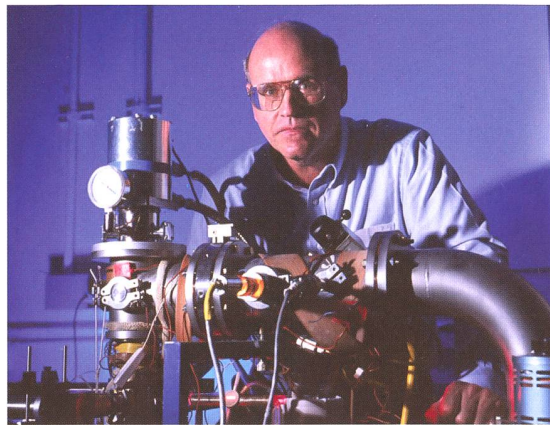


Bild 7: Lou Allamandola mit seiner Weltraumkammer. In solchen Kammern bilden sich unter Weltraumbedingungen an winzigen Kristallen unter UV – Licht organische Stoffe. Gehören solche Reaktionen zum normalen Entstehungsprozess von Planetensystemen? (Bild: Copyright 2002 Volker Steger/Science Photo Library ex NASA: <http://web99.arc.nasa.gov/~astrochm/loubio.html>)

systems gehört. Wenn sich diese Erkenntnis der Astrobiologie in den nächsten Jahren weiter bestätigen sollte, so bedeutete dies, dass das Rohmaterial für die Evolution des Lebens aus dem Weltall die Erde erreicht hat und hier bei den ersten Entwicklungsschritten der Vorstufen hin zu den primitivsten, zellähnlichen Gebilden mitwirkte. Mehr noch, die Erde wäre einmal mehr ihres scheinbar besonderen Status beraubt: Zumindest einfaches Leben müsste im Weltall häufig zu finden sein.

Dr. habil. Hansjürg Geiger

Kirchweg 1
CH-4532 Feldbrunnen
www.astrobiologie.ch

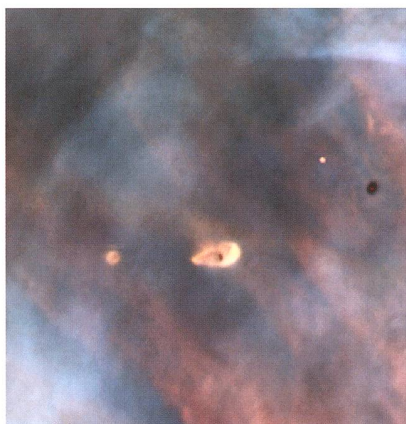


Bild 6: Ein Ausschnitt aus dem Orion-Nebel, in welchem sich vor unseren Teleskop - „Augen“ neue Sterne aus Staubscheiben bilden. Wie viele dieser Staubscheiben bilden auch Planetensysteme? (Bild: NASA)

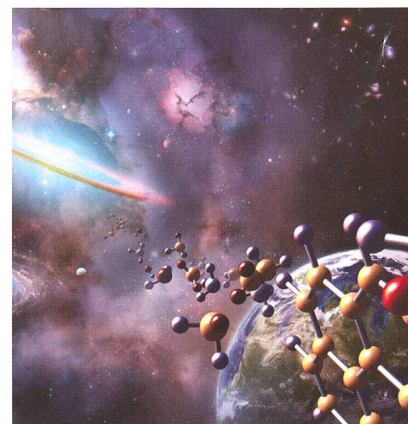


Bild 8: Zu den im interstellaren Raum nachgewiesenen organischen Molekülen gehören auch die Mehrfachringssysteme der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe. (Bild: NASA, Jenny Mottar)