

Zeitschrift: Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen
Band: 66 (2014)

Artikel: Das grüne Kleid der Erde : Pflanzenevolution und Erdgeschichte
Autor: Demmerle, Susi / Stössel-Sittig, Iwan
Kapitel: 4: Die Entstehung des Lebens
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-585006>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.02.2026

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

4. Die Entstehung des Lebens

Durch die Zusammenarbeit von Biologen, Geologen, Chemikern, Mikrobiologen, Biochemikern, Molekularbiologen, Atmosphärenphysikern und Mathematikern hat man in der letzten Zeit eine immer bessere Vorstellung davon erhalten, was auf der jungen Erde vor sich gegangen ist und wie sich das Leben entwickelt haben könnte.

Es ist schwierig sich vorzustellen, wie viel Zeit zu Verfügung stand für die Entstehung des Lebens, für die Evolution, für das Ausprobieren verschiedener Lebensweisen, bis moderne «höhere» Lebewesen die Erde bevölkerten (Abb. 4.1). Einzelne Prozesse sind noch längst nicht klar, doch die verschiedensten Wissenschaftler entwerfen Möglichkeiten auf Grund ihrer gegenwärtigen Forschungen und Erkenntnisse und vernetzen sie mit den Resultaten anderer Forscher. In der letzten Zeit wurden dadurch sehr viele neue Erkenntnisse gewonnen.

Hier vorgestellte Mechanismen werden von der Wissenschaft in Details diskutiert und stellen etwa den gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse dar, wie Leben entstanden sein könnte. Sie geniessen weitgehende Anerkennung. Es ist aus Platzgründen unmöglich, hier alle Vorschläge zu berücksichtigen und zu diskutieren, und es ist durchaus möglich, dass durch weitere Forschungen in Zukunft neue Erkenntnisse gewonnen und Einzelheiten präzisiert werden.

Vor etwa 3,5 Milliarden Jahren bestand die Atmosphäre der Erde aus Wasserstoff (H_2), Stickstoff (N_2) und aus Gasen, die durch den aktiven Vulkanismus aus dem Erdinneren austraten wie Schwefelwasserstoff (H_2S), Methan (CH_4), Kohlendioxid (CO_2), Ammoniak (NH_3) sowie Wasserdampf (H_2O). Sauerstoff (O_2) war nur in Spuren vorhanden. Die Atmosphäre war zu jener Zeit also giftig und lebensfeindlich, jedenfalls für heutige mehrzellige Lebewesen.

Diese Gase lösten sich im Meerwasser und reagierten während Milliarden von Jahren miteinander. Die UV-Strahlung, die damals ungehindert von der Sonne auf die Erde traf, Erdwärme, Energie aus Blitzen und vulkanische Prozesse lieferten die Reaktionsenergien für biochemische Vorgänge im Wasser. Es bildeten sich einfache organische Moleküle, die oft sogleich wieder zerfielen.

Einige aber blieben stabil und ermöglichen weitere Reaktionen, die zu wiederum komplizierteren Molekülen führten. Aber auch diese wurden zum grössten Teil wieder zerstört bis auf solche, die unempfindlich waren gegen

energiereiche Strahlungen aller Art. Es entstanden möglicherweise Moleküle in der Art von RNS (Ribonukleinsäure), Zuckern, Eiweissen, Fetten usw.

Der Evolutionsbiologe Richard Dawkins geht so weit zu sagen, dass das Leben eigentlich dadurch entstanden ist, dass sich ein Molekül bildete, das sich unter günstigen Bedingungen selbst verdoppelte. Dies könnte beispielsweise ein Ribonukleinsäure- (RNS-)molekül gewesen sein. Das Molekül war zuerst kurz und trug Informationen, die es durch die Verdoppelung weiter geben konnte. Gleichzeitig wirkte es auch als Katalysator für andere chemische Vorgänge und ermöglichte damit die Entstehung von weiteren Molekülen, z.B. von Eiweissen. Dazu ist Energiezufuhr notwendig. Aus thermodynamischen Gründen ist daher anzunehmen, dass diese Prozesse dort ihren Ursprung haben, wo durch chemische Reaktionen laufend Energie freigesetzt wurde (siehe unten).

Die Zeiten, die für diese Reaktionen gebraucht wurden, sind unvorstellbar lang (Abb. 4.1) und der Vorgang wird als «biochemische Evolution» bezeichnet. Man versteht darunter einen sich selbst optimierenden Prozess, der durch Energiezufuhr von der Sonne, aus dem Weltall und dem Erdinnern einerseits, aus anorganischen Verbindungen andererseits, selbstständig ablaufen konnte.



Entscheidend für diese Vorgänge waren auch die Eigenschaften des Kohlenstoff- (C-)atoms. Kohlenstoff ist ein kleines Atom, das wie kein anderes die Möglichkeit hat, eine Vielzahl von chemischen Bindungen einzugehen. Das C-Atom weist vier Bindungselektronen auf und kann sich demzufolge mit maximal vier anderen Partnern verbinden – auch und sehr oft mit weiteren C-Atomen (Abb. 4.2). Das kann dann zu dreidimensionalen Molekülen führen, die unendliche Kombinationsmöglichkeiten aufweisen. Charakteristisch für alles iridische Leben sind Verbindungen aus Wasserstoff und Kohlenstoff. Die Produktion dieser Verbindungen erfordert die Zufuhr von Energie; die Auftrennung dieser Verbindungen durch Oxidation setzt diese Energie wieder frei.

Abb.4.2: C-Atom mit vier gleichwertigen Bindungselektronen
(-> Tetraeder)

Mit der Entstehung der Zellmembran konnten sich Individuen bilden, die sich von der Umwelt abgrenzen und selbst wählen konnten, welche Moleküle sie in die Zelle hereinlassen und welche sie hinausbefördern wollten.

Die ersten Lebewesen, die sich auf der Erde entwickelten, waren vermutlich einzellige Archaeen (Urbakterien) und Bakterien. Sie besaßen wohl vorerst Ribonukleinsäure (RNS) als Erbsubstanz, aber noch keinen echten Zellkern.

Die Fäden der Erbsubstanz wurden nur lose in der Zelle eingeschlossen. Im Laufe der Jahrtausende entstanden viele verschiedene Zellarten (Archaeen und Bakterien) die unglaublich viele verschiedene Stoffwechsel-eigenschaften aufwiesen.

4.1 Energiebeschaffung

Zum Leben braucht es Energie, denn das Wachstum und die Vermehrung können nur unter Energiezugabe ablaufen. In verschiedenen Stadien der Evolution wurde das Problem unterschiedlich gelöst.

Eine der ersten Lösungen war die **Chemosynthese**. Bestimmte Bakterien konnten ihre Energie aus Gesteinen, die z.B. Schwefel- oder Eisenverbindungen enthielten, oder aus anderen anorganischen Verbindungen gewinnen.

Eine andere grosse Gruppe von Bakterien ernährte sich von den vielen unterschiedlichen organischen Molekülen, die in den Ozeanen («Ursuppe») entstanden waren. Da noch kaum Sauerstoff im Wasser gelöst war, müssen die meisten dieser Organismen anaerob (ohne Sauerstoff) funktioniert haben. Diese Art von Energiegewinnung nennt man **Gärung**.

Ein Bakterium entwickelte eine folgenreiche Eigenschaft; es erfand ein Molekül, das die Lebensenergie aus dem Sonnenlicht beziehen konnte: das Chlorophyll. Man nennt diese Art der Energiegewinnung **Fotosynthese**. Sie und ihre Folgen für Luft und Lebewesen werden in einem eigenen Kapitel erklärt.

Irgendwann begannen sich gewisse Bakterien andere Bakterien einzuhüpfen und zwar solche, die andere Stoffwechseltricks beherrschten. Diese wurden nun nicht verdaut, sondern als «Mitarbeiter im Stoffwechsel» (Symbionten) in der Zelle deponiert. Bakterien mit Mitarbeitern, die das Sonnenlicht nutzen konnten, hatten nun einen Vorteil gegenüber den andern. Das geschah vor etwa 3,4 Mrd. Jahren, und diese Bakterien nennt man heute Cyanobakterien oder ungenau auch Blaualgen. Die Konsequenz dieser Zusammenarbeit werden wir im Kapitel 5 weiter verfolgen.

Einige Bakterien begannen auch, den entstehenden Sauerstoff in der Umwelt zu brauchen, um das vorhandene organische Material zu oxidieren und

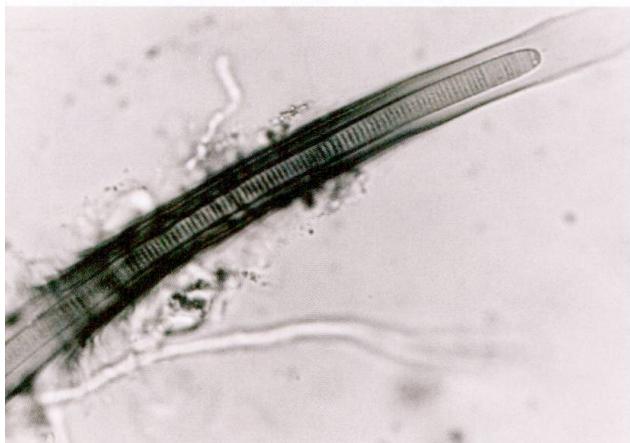


Abb. 4.3: Cyanobakterie aus Stromatolithen der Shark Bay, Australien (Breite der Cyanobakterie ca. 7 µm)

dadurch Energie zu gewinnen. Diese Lebewesen lebten aerob (mit Sauerstoff) und ihre Art von Energiegewinnung nennt man **Atmung**.

Noch heute sind bei weitem nicht alle Bakterien und ihre Stoffwechsel erforscht. Im menschlichen Körper, in der Erde und im Meer, auch in Gesteinen tief im Inneren der Felsen leben ungezählte unbekannte, kleine, spezialisierte Lebewesen. Zum Teil sind sie für uns lebenswichtig und unverzichtbar, bestimmt werden sie uns in Zukunft noch manche Überraschung bereiten!

4.2 Wo ist das Leben entstanden?

Sicher ist das Leben nicht im freien Meer entstanden; die kleinen Moleküle hätten sich nie getroffen, um miteinander zu reagieren. Im Meer herrscht zudem ein weitgehendes chemisches Gleichgewicht, so dass sich hier kaum neue Moleküle mit hohem Energieinhalt bilden können. Es müssen begrenzte Umwelten mit stetigem Energiezufluss gewesen sein, in denen sich die «Ursuppe» ausbilden konnte. Ob das Leben in einer seichten Meeresbucht oder in der Tiefsee bei den «Schwarzen Rauchern» oder gar in vulkanischen heißen Quellen entstanden ist, weiß man heute noch nicht genau. Sicher ist aber, dass Archaeen noch heute existieren und dass sie aus vulkanischen Quellen und im Meer bei den «Schwarzen und Weissen Rauchern» (Heisse Quellen in der Tiefsee) isoliert werden können. Ihr Stoffwechsel kann darum heute im Labor studiert werden.

Die aus dem Erdinnern herausströmenden heißen Lösungen bilden um die Raucher herum eine Art Glocke. An der Grenze zum Meerwasser entsteht dann ein chemisches Gefälle, das von Bakterien zur Energiegewinnung ausgenutzt werden kann. Es wurde in diesen Tiefseeinseln eine ganz eigene Lebewelt entdeckt, die jedoch ebenfalls auf dem universellen DNS-Code beruht.

Aus Beobachtungen im Yellowstone-Nationalpark weiß man, dass es auch an der Erdoberfläche Varianten der Energiegewinnung gibt. Zudem bevölkern gerade die scheinbar ursprünglichen Arten Orte, die man zunächst als absolut lebensfeindlich betrachtete. Gewisse Arten von Archaeen und Bakterien können in bis zu 115°C heissem vulkanischem Wasser noch munter

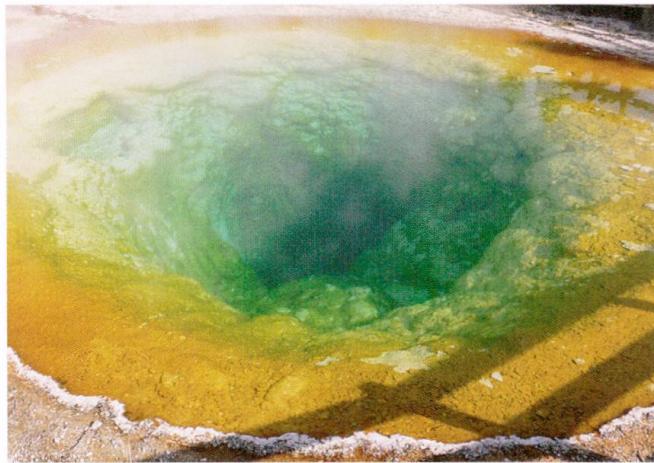


Abb. 4.4: Morning Glory Pond, Yellowstone Park: An den Wänden des Schlotes: weisse Bakterienmatten, aussen: Bakterien, die Fotosynthese machen können (Cyanobakterien u.a.). Die grüne Farbe im Zentrum wird durch Brechung des Sonnenlichtes im klaren Wasser erzeugt.

leben und sich auch vermehren. In gewissen heißen Quellen dort ist das Wasser zudem auch noch sauer, hundert Mal saurer als Zitronensaft, nämlich pH 0! Andere Arten leben in einem pH-Bereich von > 10, d.h. in starken Laugen.

Auch bestimmte Cyanobakterien und andere fotosynthetische Bakterien sind also bei extremen Lebensbedingungen aktiv, wie man heute noch sehen kann.

Im Yellowstone-Nationalpark kann man auch von den Bewohnern der heißen Quellen direkt auf die Temperatur des Wassers schliessen (Abb. 4.4 und 4.5). Archaeen, die oft weiss sind, wachsen zwischen 60°C und 115°C, Bakterien, die Fotosynthese machen können (Cyanobakterien), wachsen bei Wassertemperaturen von bis zu 70 – 73°C. Sie bilden Matten, die im Sommer leuchtend gelb-orange und im Winter tief grün sind. Wegen der starken Sonnenstrahlung im Sommer wird das grüne Chlorophyll vom gelben Carotin geschützt, sodass die Matten gelb-orange erscheinen. Im Winter hingegen tritt das Carotin zurück, weil das grüne Chlorophyll nun seine günstigsten Lichtverhältnisse hat.



Abb. 4.5: Auslauf einer sehr heißen Quelle im Bisquit Basin, Yellowstone Park: grün-gelbe Cyanobakterienmatten in der Mitte, die rot-braune Farbe am Rand wird durch Bakterien erzeugt, die Eisen oxidieren können.

Vielleicht ist diese aussergewöhnliche Lebensgemeinschaft ein Rest aus der Urzeit? Oder einfach ein Beispiel für die vielfältigen Stoffwechselmöglichkeiten, welche Bakterien aus der Frühzeit der Erde bereits beherrschten?

Der Stammbaum in Abb. 4.6 zeigt auf, wie vielseitig die Lebewesen heute sind. Sie alle haben irgendwo einen gemeinsamen Vorfahr, aus dem sich eine unendliche Zahl von Organismen entwickelt hat. Viele sind unscheinbar, und ihre Lebensweisen sind uns noch gänzlich unbekannt, viele haben nicht einmal einen echten Zellkern. Der Mensch gehört – zusammen mit allen Pflanzen und Tieren – zu den Organismen mit einem echten Zellkern.

Die Evolution der Lebewesen darf man sich nicht als Baum mit Stamm und Seitenästen vorstellen, bei dem die obersten (modernsten) Organismen den Gipfel einer zielstrebigen Entwicklung darstellen. Die Evolution verlief eher buschförmig, wobei einige Ästchen ausstarben, andere sich eine Weile halten und weitere Ästchen erzeugen konnten, von denen wieder einige ausstarben.

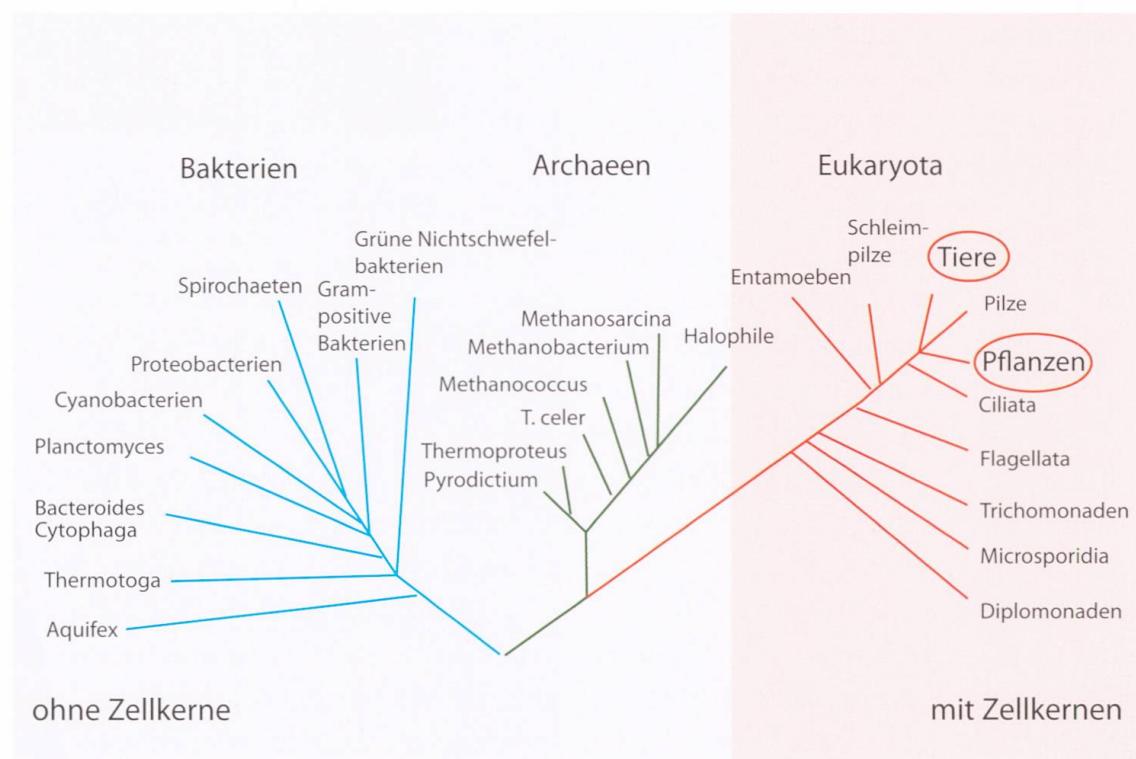


Abb. 4.6: Stammbaum der Lebewesen, abgeleitet von neuen molekularbiologischen Erkenntnissen. Tiere und Pflanzen besetzen eine vergleichsweise «randliche Position».