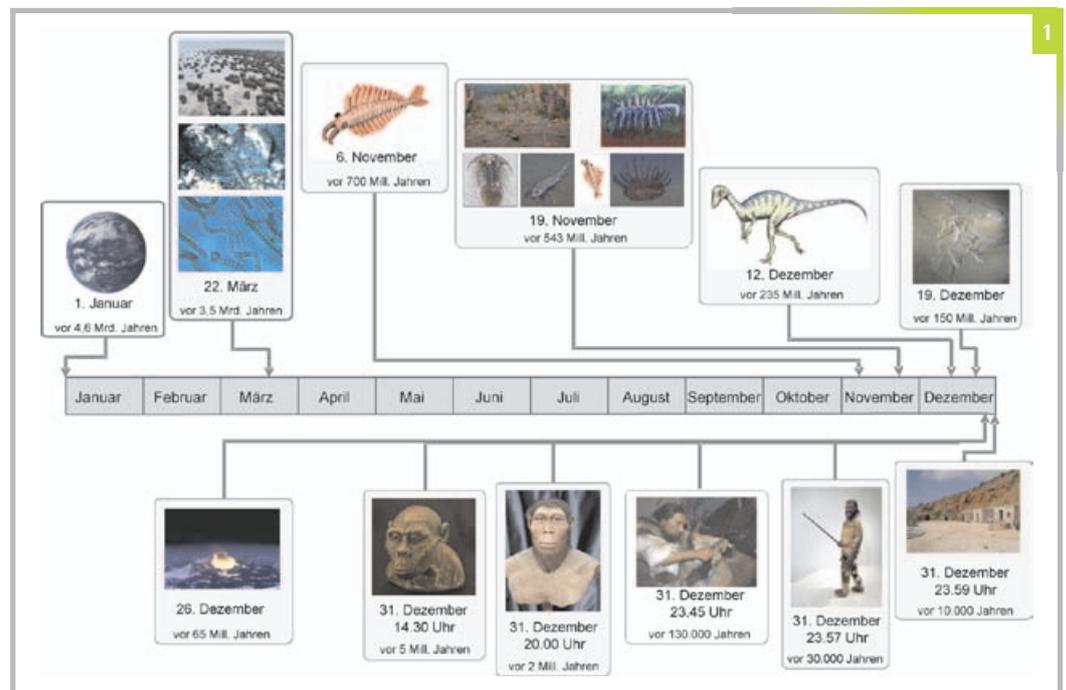


Vom Atom zum Leben

DIE CHEMISCHE EVOLUTION

Bis auf der Erde aus toter Materie das erste Leben entstand, hat es nach wissenschaftlichen Forschungen rund 1,1 Milliarden Jahre gedauert. Diesen Prozess der chemischen Evolution zeichnet ein Wissenschaftler der Leibniz Universität Hannover nach und beschreibt, wie sich das erste Leben auf der Erde vor 3,5 Milliarden Jahren entwickelt hat.



Das Alter der Erde wird auf ca. 4,6 Milliarden Jahre geschätzt. Stellt man sich die Entwicklung der Erde von der Entstehung bis zum heutigen Tag auf eine Jahresuhr übertragen vor, dann ist die Erde am 1. Januar entstanden (Abbildung 1). Erstes Leben in Form von Bakterien und Archaea datiert man auf 3,5 Mrd Jahre – es entsteht entsprechend am 22. März. Die ersten Bakterien oder Archaea mussten unter anoxischen Bedingungen – also ohne Anwesenheit von Sauerstoff – überleben. Als Kohlenstoffquelle nutzten sie CO₂ und als Energiequelle

Wasserstoff. Vor ca. 2,8 Milliarden Jahren entstanden mit den phototrophen Cyanobakterien Organismen, die die Energie aus dem Sonnenlicht nutzten und Sauerstoff über die Photosynthese produzierten. Ein extrem langsamer Prozess. Erst vor ca. 750 Millionen Jahren erreichte der Sauerstoffgehalt die 21 Prozent, die wir auch heute kennen. Das bedeutet: Erst am 6. November tauchten die ersten komplexen mehrzelligen Tiere auf unserer Erde auf. Da die Lebensbedingungen nun optimal waren, entstanden innerhalb eines vergleichsweise kurzen Zeit-

raums von 10 Millionen Jahren in der kambrischen Explosion nahezu alle Vertreter der heutigen Tierstämme.

Vor 235 Millionen Jahren – inzwischen haben wir den 12. Dezember – treten die ersten Dinosaurier auf. Eine Woche später – vor 150 Millionen Jahren die ersten Vögel. 85 Millionen Jahre später führt ein riesiger Meteoriteneinschlag im Bereich des heutigen Golfs von Mexico zum Aussterben der Dinosaurier. Erst vor 5 Millionen Jahren, das heißt am 31. Dezember gegen 14.30 Uhr tauchen die ersten affen-

re in einem einfachen Experiment, dass sich eine Vielzahl dieser Bausteine und speziell die Aminosäuren in einem einfachen Versuch herstellen lassen. In einem Glaskolben ahmten sie die frühe Erdatmosphäre durch eine Mischung von Wasserdampf, Methan, Ammoniak, Wasserstoff und Kohlenmonoxid nach. Elektrische Entladungen führten die nötige Reaktionsenergie zu. Nach kurzer Zeit entstand eine Vielzahl von

zess. Berechnungen ergaben, dass es viele Milliarden Jahre dauern würde, bis ein Protein aus 100 Aminosäuren die richtige dreidimensionale Struktur einnehmen würde.

Erst gegen Ende der neunziger Jahre haben Forscher wie der Biologe Jack Szostak und der Chemiker James Ferris andere Wege zur Entstehung des Lebens beschrieben. Sie nahmen an, dass die Erde ein riesiges Experimentierfeld war, bei

gen Wechsel zwischen warmen und kalten Bereichen änderte sich auch die Durchlässigkeit der Vesikelmembranen. Niedermolekulare Substanzen können ohne Probleme in erwärmte Tröpfchen wandern und sind beim Abkühlen in den Vesikeln eingeschlossen.

Jack Szostak zeigte in beeindruckenden Experimenten, dass RNA-Bausteine durch einfache chemische Reaktionen aus der Uratmosphäre gebildet werden können. Er bewies, dass sich die einzelnen Bausteine einfach miteinander verknüpfen, also polymerisieren und sich ohne Probleme vermehren lassen. Man nimmt an, dass nach dem Zufallsprinzip in verschiedenen Vesikeln unterschiedliche RNA-Stränge entstanden, sich vervielfältigten und als Informationen in die Fetttropfchen eingeschlossen blieben. Sie konnten aufgrund ihrer Länge auch erwärmte Tröpfchen nicht mehr verlassen. Da man heute weiß, dass die RNA auch katalytisch aktiv ist, erscheint es wahrscheinlich, dass sich bestimmte RNA-Sequenzen besonders schnell vermehrten: Sie waren anderen überlegen. Bedenkt man, dass auf der gesamten Erdoberfläche solche Reaktionen unter verschiedensten Bedingungen abliefen, wird klar, dass an einigen Stellen ideale Bedingungen für die chemische Evolution herrschten: Komplexere Informationen in Form von RNA entstanden, vervielfältigten sich und waren anderen RNA-Vesikeln überlegen.

Durch die Tonminerale in den Fetttropfchen existieren in einigen auch so genannte Eisenschwefelcluster, die wie chemische Fabriken Reaktionen beschleunigten oder gar die Bausteine des Lebens selbst herstellen konnten. Sie boten einen weiteren Evolutionsvorteil. Zu diesem Zeitpunkt entstanden auch – wie wir heute wissen – die ersten Ei-

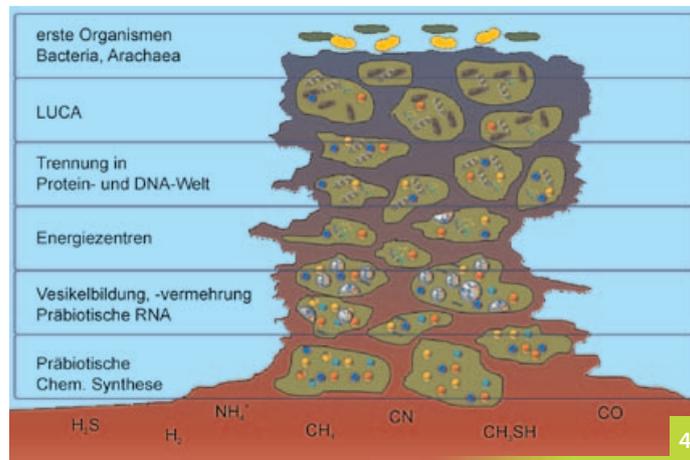


Abbildung 4
Der »Black Smoker« als Ort der chemischen Evolution

organischen Molekülen. Weitere Experimente anderer Wissenschaftler zeigten, dass prinzipiell alle Aminosäuren, aber auch andere Moleküle wie Fettsäuren und Alkohole, gebildet wurden. Deswegen war man der Meinung, dass die Entstehung des Lebens aus dieser Ursuppe möglich war. Man nahm an, dass aus den Aminosäuren Eiweiße – also Proteine – gebildet wurden, die dann in der Lage waren, kompliziertere Reaktionen zu katalysieren, Erbinformationen in Form von DNA zu speichern und die Ablesung der Erbinformation in die Informationswelt der RNA zu katalysieren. Schnell zeigte sich, dass dies ein Trugschluss war. Selbst wenn die Bindung zwischen den Aminosäuren einfach erfolgen sollte, wäre die räumliche Anordnung der einzelnen Aminosäuren in einem Protein ein langwieriger Pro-

dem in unzähligen Segmenten die anorganischen Substanzen bei verschiedenen Temperaturen, verschiedenen Drücken und durch Energiezufuhr durch UV-Strahlung, Radioaktivität, elektrischen Entladungen und Stoßwellen miteinander reagieren konnten. Die Reaktionen fanden in der Atmosphäre, im Wasser auf der Erdoberfläche oder unterirdisch statt (siehe Abbildung 3). Sie zeigten, dass einfache Substanzen wie Fettsäuren leicht gebildet werden und zusammen mit Tonmineralien fetttröpfchenartige Gebilde (Vesikel) bilden. Diese wachsen, indem sie neu hergestellte Fettsäuremoleküle »aufsaugen«. In einer Strömung, beispielsweise zwischen kalten und warmen Bereichen, teilen sich die Vesikel und wachsen dann durch das Aufnehmen weiterer Fettsäuremoleküle erneut an. Durch den ständi-

weiße aus der RNA. Sie machten die Eisenschwefelcluster löslich. Diese Vesikel konnten auch an anderen Orten einen effizienten Energiestoffwechsel aufrechterhalten und alle nötigen Bausteine der Vesikel selbst erzeugen. Abgeschlossen wurde dieser chemische Evolutionsprozess durch die Speicherung aller RNA-Informationen in der hoch kondensierten DNA-Einheit, die robust und stabil die Erbinformationen speichern konnte. Ein solches System war dem LUCA schon sehr ähnlich.

Wo ist das alles geschehen? Man geht davon aus, dass diese komplexen Vorgänge an Orten abgelaufen sind, die den uns

heute bekannten »Black Smokern« am Ozeangrund entsprechen. Das sind hydrothermale Quellen am Boden der Ozeane, die wie Schornsteine aus Röhren oder schwammartigen mineralischen Strukturen gebildet sind und aus denen heiße Sedimentwolken austreten. Am Meeresgrund sind sie heiß, weiter oben kühlen sie auf Wassertemperatur ab. Wie in Abbildung 4 zu sehen, befindet sich am Fuße der »Black Smoker« sozusagen die Basissynthese der Bausteine des Lebens aus anorganischen Substanzen. In der nächsten Schicht haben vermutlich die besten Bedingungen für die Bildung von Vesikeln geherrscht, in der Schicht darü-

ber die idealen für die Bildung von RNA. In den darüber liegenden Schichten könnten sich die Vesikel weiterentwickelt haben, Eiweiße und DNA wurden gebildet, aus den Vesikeln entstand dann irgendwann der LUCA.

Jede einzelne Schicht mag für eine jeweilige Evolutionsstufe typisch gewesen sein. Natürlich wird die Entwicklung nicht in einem Smoker allein abgelaufen sein – in einer übergroßen Zahl von Versuchsplätzen wird irgendwo der ideale Evolutionsraum für den LUCA gewesen sein. Alles, was dann folgte, war schlicht nichts anderes als die biologische Evolution.



Prof. Dr. Thomas Scheper

Jahrgang 1956, ist Professor am Institut für Technische Chemie an der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte sind Bioprozesstechnik, Bioanalytik, Enzymtechnik und Tissue Engineering. Kontakt: scheper@iftc.uni-hannover.de