



CO

CO₂

H₂

H₂O

NH₃

N₂

CH₄

Hans R. Kricheldorf

Leben durch chemische Evolution?

Eine kritische Bestandsaufnahme
von Experimenten und
Hypothesen



Springer Spektrum

Leben durch chemische Evolution?

Hans R. Kricheldorf

Leben durch chemische Evolution?

Eine kritische Bestandsaufnahme von
Experimenten und Hypothesen

Hans R. Kricheldorf
Institute for Technical and Makromolekular
Chemistry, Universität Hamburg
Hamburg, Deutschland

ISBN 978-3-662-57977-0 ISBN 978-3-662-57978-7 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-57978-7>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Einbandabbildung: © deblik Berlin
Verantwortlich im Verlag: Rainer Münz

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

*Nichts setzt dem Fortgang der Wissenschaft
mehr Hindernis entgegen, als wenn man zu
wissen glaubt, was man nicht weiß.*

Georg Christoph Lichtenberg

Vorwort

Etwa neunzig Jahre Forschung zu der Thematik „Chemische Evolution und der Ursprung des Lebens“ haben schätzungsweise an die Tausend Publikationen zur Folge gehabt, darunter auch zahlreiche Übersichtsartikel zu Teilbereichen sowie Bücher zur gesamten Thematik. Der potenzielle Leser kann daher mit Recht fragen, was es in einem weiteren Buch Neues zu sagen gibt, zumal es sich nicht um einen Fortschrittsbericht handelt, der nur den neuesten Stand der Forschung kommentieren soll. Die Antwort ergibt sich, erstens, aus der Beobachtung des Autors, dass fast alle Bücher und Übersichtsartikel, die von Wissenschaftlern zu diesem Thema geschrieben wurden, aus einer optimistischen, meist sogar überoptimistischen Grundhaltung heraus entstanden sind. Eine solche Grundhaltung ist für Wissenschaftler naheliegend, die viele Jahre, oft die gesamte Arbeitszeit ihres Lebens, der Bearbeitung von Fragestellungen zum Ablauf einer chemischen bzw. molekularen Evolution gewidmet haben. Dabei ergibt es sich, dass das Konzept einer chemischen Evolution hin zur ersten lebenden Zelle von einer Arbeitshypothese zur festen Überzeugung mutiert. Wenn aber anstelle einer unbewiesenen Hypothese eine feste Überzeugung von deren Richtigkeit tritt, dann ergibt sich das von allen Gläubigen einer Ideologie oder Religion bekannte Phänomen, dass Objektivität schwindet, störende Fakten ignoriert und fehlende Beweise durch Wunschenken ersetzt werden. Es war daher die primäre Zielsetzung dieses Buches, die vorliegenden experimentellen Befunde und ihre Interpretation auf ihre Beweiskraft zugunsten einer chemischen Evolution hin zu beurteilen.

Der zweite Teil der Antwort ergab sich aus der Beobachtung, dass keiner der dem Autor bekannten Übersichtsartikel oder Bücher von einem Chemiker verfasst wurde, der auf den Gebieten Polykondensation und Polypeptidsynthese umfangreiche Erfahrung gesammelt hatte. Es war daher weiteres Anliegen des vorliegenden Buches, die bislang bekannten Modellexperimente und Untersuchungen von Meteoriten auch nach Maßstäben der Polymerchemie zu analysieren und zu bewerten. Demzufolge wurde den Kapiteln, die sich mit den experimentellen Ergebnissen befassen, ein Kapitel (Kap. 3) vorangestellt, in dem die Charakteristika der für eine chemische Evolution relevanten Polymerisationsprozesse dargelegt und diskutiert werden. Dabei kommt auch zur Sprache, dass die Polykondensationsprozesse, die für den Fortschritt der chemischen Evolution hin zu Biopolymeren postuliert werden, schon vom Prinzip her völlig verschieden sind

von denjenigen Polymerisationen, die im lebenden Organismus die Entstehung von Biopolymeren ermöglichen. Wie dieser gravierende Unterschied im Lauf einer chemischen Evolution überwunden werden konnte, wird ebenfalls diskutiert.

Die Erforschung der hypothetischen chemischen Evolution ausgehend von Reaktionen einfachster Bausteine wie CH_4 , CO_2 , N_2 und H_2O bis hin zu Proteinen, Nucleinsäuren und den Urzellen wird in der angelsächsischen Literatur üblicherweise als *bottom-up approach* bezeichnet, während die Erforschung von Zusammensetzung und Eigenschaften der primitivsten möglichen Zelle *top-down approach* genannt wird. Das vorliegende Buch bezieht sich ausschließlich auf den *bottom-up approach*. Eine gute Übersicht über die Forschung auf dem Gebiet des *top-down approach* und der *minimal cell theory* findet sich z. B. in dem Buch *The Emergence of Life* von P. L. Luisi (2006).

Wenn die an vielen Stellen geäußerte Kritik an der Interpretation von Ergebnissen des *bottom-up approach* den einen oder anderen Leser zu neuen Experimente stimulieren sollte, dann hat dies Buch seinen Zweck erreicht. Es war jedenfalls nicht die Absicht des Autors, den Leser mit einer neuen Hypothese oder gar Pseudoreligion zur Entstehung des Lebens zu beglücken.

Hans R. Kricheldorf

Danksagung

Bei der Fertigstellung dieses Buches wurde ich von mehreren Freunden und Bekannten unterstützt, für deren Hilfe ich mich an dieser Stelle bedanken möchte. Prof. Saber Chatti (INRAP, Tunesien) und Dr. F. Scheliga (TMC, Hamburg) haben die zahlreichen Formeln gezeichnet. Frau Britta Peters und Yvonne Köhn (Bibliothek, FB Chemie, Hamburg) haben mir zahllose Kopien wissenschaftlicher Publikationen sowie viele der zitierten Bücher beschafft. Frau Anja Groth (Springer-Verlag) und Herr Florian Neukirchen (Copy Editing) haben sich um die Überarbeitung des Manuskriptes verdient gemacht. Dr. Rainer Münz (Springer-Verlag) hat sich für die Finanzierung und Drucklegung des Buches eingesetzt.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Was heißt Leben? | 1 |
| 1.2 | Warum Leben durch chemische Evolution? | 5 |
| | Literatur | 13 |
| 2 | Hypothesen zur molekularen Evolution | 15 |
| 2.1 | Uratmosphäre, Ursuppe und die Protein-Welt | 15 |
| 2.2 | Die RNA-Welt | 20 |
| 2.3 | RNA-Vorläufer und die Poly(nucleoamid)-Welt | 23 |
| 2.4 | Die Silikat-Welt | 30 |
| 2.5 | Die Eisen-Schwefel-Welt | 34 |
| 2.6 | Compartment-Hypothesen | 37 |
| | Literatur | 50 |
| 3 | Die Polymerisationsprozesse der chemischen Evolution | 55 |
| 3.1 | Polykondensationen | 55 |
| 3.2 | Kondensative Kettenpolymerisation | 60 |
| 3.3 | Polymerisation von α -Aminosäure-NCAs | 62 |
| | Literatur | 67 |
| 4 | Modellsynthesen von Aminosäuren | 69 |
| 4.1 | Die Aminosäuresynthesen von Stanley L. Miller | 69 |
| 4.2 | Modellsynthesen von Aminosäuren verschiedener Autoren | 75 |
| 4.3 | Diskussion der Aminosäuresynthesen | 81 |
| | Literatur | 85 |
| 5 | Modellsynthesen von Sacchariden, Nucleobasen, Nucleosiden und Nucleotiden | 89 |
| 5.1 | Synthesen von Sacchariden | 89 |
| 5.2 | Modellsynthesen von Nucleobasen | 94 |
| 5.3 | Synthesen von Nucleosiden | 102 |
| 5.4 | Synthesen von Nucleotiden | 103 |
| 5.5 | Bewertung der Modellsynthesen | 110 |
| | Literatur | 110 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 6 | Modellsynthesen von Oligopeptiden und Polypeptiden | 113 |
| 6.1 | Thermische Polykondensationen | 113 |
| 6.2 | Polykondensation von Aminosäure- Phosphorsäureanhydriden | 116 |
| 6.3 | Die Carbonyldiimidazol- Methode | 118 |
| 6.4 | Verschiedene Methoden | 121 |
| 6.5 | Bewertung der Modellsynthesen | 123 |
| | Literatur. | 124 |
| 7 | Modellsynthesen von Oligo- und Polynucleotiden | 127 |
| 7.1 | Verschiedenen Synthesemethoden | 127 |
| 7.2 | Synthesen von Oligonucleotiden mithilfe von Nucleotidimidazoliden | 135 |
| 7.3 | Bewertung der Modellsynthesen | 141 |
| | Literatur. | 142 |
| 8 | Copolymersequenzen, Selbstreproduktion und genetischer Code | 145 |
| 8.1 | Copolymersequenzen und die Entstehung von Enzymproteinen | 145 |
| 8.2 | Polynucleotide, Ribozyme und die Evolution im Reagenzglas | 150 |
| 8.3 | Der genetische Code | 157 |
| | Literatur. | 167 |
| 9 | Die Botschaft aus dem Weltraum | 173 |
| 9.1 | Die Chemie von interstellaren Wolken und Mikrometeoriten | 173 |
| 9.2 | Klassifizierung von Meteoriten | 179 |
| 9.3 | Diversität organischer Moleküle in Meteoriten | 182 |
| 9.4 | Identifizierung von Aminosäuren | 185 |
| 9.5 | Nucleobasen, Nucleoside und Nucleotide | 190 |
| 9.6 | Amphiphile, membranbildende Verbindungen | 192 |
| | Literatur. | 196 |
| 10 | Die Bedeutung der Chiralität | 199 |
| 10.1 | Entstehung eines Enantiomerenüberschusses | 199 |
| 10.2 | Enantioselektion durch homochirale Verknüpfung | 209 |
| 10.3 | Die Rolle der Racemisierung | 214 |
| 10.4 | Der physiologische pH. | 219 |
| | Literatur. | 222 |

| | |
|--|-----|
| 11 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen | 225 |
| 11.1 Warum dies und nicht das? | 225 |
| 11.2 Modellversuche und Chemie des Weltalls | 230 |
| 11.3 Ursuppen und andere Hypothesen | 233 |
| 11.4 Entstand Leben nur einmal? | 237 |
| 11.5 Schlußwort | 239 |
| Literatur | 240 |
| Stichwortverzeichnis | 243 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------|--|
| A | Adenosin |
| Abu | Aminobuttersäure |
| Aibu | Aminosiobuttersäure |
| Ala | Alanin |
| AMP | Adenosinmonophosphat |
| Arg | Arginin |
| AS | Aminosäure |
| Asn | Asparagin |
| Asp | Asparaginsäure |
| ATP | Adenosintriphosphat |
| C | Cytidin |
| CCP | Condensative Chain Polymerization (Kondensative Kettenpolymerisation) |
| CDI | Carbonyldiimidazol |
| CMP | Cytidinmonophosphat |
| Cys | Cystein |
| d | desoxy, kennzeichnet ein Nucleosid, Nucleotid, das auf 2-Desoxyribose basiert. |
| Deca(T) | Decatymidylsäure (Decatymidinmonophosphat); korrekt wäre Deca(Tp) |
| DNA | Desoxyribonucleinsäure (die auf em englischen Acid basierende Abkürzung is auch im Deutschen Standard) |
| Dodeca(T) | Dodecatymidylsäure (Dodecatymidinmonophosphat); korrekt wäre Dodeca(Tp) |
| EiRG | Evolution im Reagenzglas |
| Gln | Glutamin |
| Glu | Glutaminsäure |
| GMP | Guanosinmonophosphat, Guanylsäure |
| Gly | Glycin |
| Gly-Gly | Glycylglycin |
| Hexa(T) | Hexatymidylsäure; korrekt wäre hexa(Tp) |
| His | Histidin |
| IDPs | Interstellar Dust Particles (interstellare Staubpartikel) |

| | |
|------------|---|
| Ile | Isoleucin |
| Leu | Leucin |
| Lys | Lysin |
| Met | Methionin |
| NCA | N-Carbocyanhydrid (einer α -Aminosäure) |
| N-Me-Ala | N-methylalanin |
| norLeu | Norleucin |
| O-Phos-Ser | O-Phosphorylserin |
| Orn | Ornithin |
| p | Phosphordiestergruppe, die zwei Nucleoside über 3'-5'-OH Gruppen verknüpft (z. B. ApA) |
| Phe | Phenylalanin |
| Poly(A) | Polyadenylsäure |
| prAS | proteinogene Aminosäure |
| Pro | Prolin |
| RNA | Ribonucleinsäure (die auf dem englischen Acid basierende Abkürzung ist auch im Deutschen Standard). |
| sAMP | Cycloadenosinmonomophosphat |
| Sar | Sarcosin |
| Ser | Serin |
| SIP | Salt Induced Polycondensation (Salz induzierte Polykondensation) |
| T | Thymidin |
| TAD | Thiazolidin-2,5-dion |
| tert.Leu | Tertiärleucin |
| TMP | Thymidinmonophosphat, Thymidylsäure |
| TOO | Thioxooxazolidin-5-on |
| Trp | Tryptophan |
| Tyr | Tyrosin |
| U | Uridin |
| UMP | Uridinmonophosphat, Uridylsäure |
| Val | Valin |



[In science] the last court of appeal is observation and experiment and not authority.

Thomas Huxley

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| 1.1 Was heißt Leben? | 1 |
| 1.2 Warum Leben durch chemische Evolution?..... | 5 |
| Literatur | 13 |

1.1 Was heißt Leben?

Wenn man sich mit der Frage beschäftigt, ob und wie Leben durch chemische Evolution entstanden sein kann, dann sollte man auch in der Lage sein, das Ziel, also Leben, klar zu benennen. Zu diesem Punkt hat sich allerdings der Schriftsteller Arthur Schnitzler sehr skeptisch geäußert: „Was Leben ist, vermag kein Wissenschaftler zu sagen.“ Dennoch haben sich zahlreiche Wissenschaftler mit der Frage, wie das Phänomen Leben zu definieren sei, ausführlich auseinandergesetzt, und an dieser Stelle soll nur eine Zusammenfassung verschiedener Aspekte dieser Problematik präsentiert werden, weil der Schwerpunkt dieses Buches eine ausführlichere Diskussion dieser Thematik nicht erfordert. Ausführliche Abhandlungen zu diesem Thema finden sich zum Beispiel in den Büchern folgender Autoren: Bernal (1951, 1967, 1971), Folsome (1979), Chyba und McDonald (1995), Rizzotti (1996), Palyi et al. (2002), Popa (2004), Luisi (2006).

Allein die Vielzahl der Definitionsversuche zahlreicher Wissenschaftler zeigt schon, dass es eine einfache und präzise Definition, welche die Mehrheit der Wissenschaftler zufrieden stellt, wohl nicht gibt und nicht geben kann. Was heißt hier einfach und präzise? Es gibt eine in Latein kurz und präzise gefasste

Gebrauchsanweisung für die Formulierung einer Definition: „Definitio fit per genus proximum et differentia specifica“ (eine Definition erhält man durch Wahl eines geeigneten Überbegriffs in Kombination mit der Benennung spezifischer Unterschiede/Eigenschaften). Nach diesem Schema lassen sich zwar fast alle lebenden und toten Objekte oder auch Vorgänge definieren, aber nur wenn ein Überbegriff vorhanden ist, und an solch einem geeigneten Überbegriff fehlt es, wenn es darum geht, Leben zu definieren. Versuche Leben zu definieren haben daher einen mehr oder minder beschreibenden Charakter, wobei es natürlich von der Forschungsrichtung und vom Weltbild des jeweiligen Autors abhängt, wo der Schwerpunkt der „Beschreibung“ liegt.

F. Crick hat in seinem Buch *Life Itself* (1983) diesen Aspekt folgendermaßen formuliert:

Perhaps the best way to approach the problem [definition of life] is to describe what we know of the basic processes of life, stripping of the skins of the onion until there is little or nothing left, and then to generalize what we have discovered.

Dazu kommt, dass zahlreiche Wissenschaftler des 19. Jahrhunderts im Hinblick auf eine molekulare Evolution eine präzise Definition auch nicht für sinnvoll hielten, weil sie den Übergang von noch nicht lebender Materie zu einem lebenden Organismus eher für kontinuierlich denn für sprunghaft halten. Zwischen einem Konglomerat unbelebter Materie und primitiven Lebewesen wurde kein qualitativer Unterschied gesehen, sodass während der Evolution der ersten Zellen ein kontinuierlicher Übergang naheliegend schien. Diese Denkrichtung findet sich schon bei den Biologen und Philosophen F. Rolle (1863), Ernst Haeckel (1868) und W. Pryer (1880). Da zur damaligen Zeit wenig über die Struktur von Proteinen und nichts über die Struktur von Polynucleotiden bzw. Nucleinsäuren bekannt war, sahen sich diese Autoren auch nicht veranlasst, ihre Vorstellungen vom kontinuierlichen Übergang chemisch zu präzisieren.

Schließlich empfiehlt es sich, die weithin bekannte Aussage des Biochemikers T. Dobzhansky (1991) im Hinterkopf zu behalten: „Nothing in biology makes sense except in the light of evolution“. Vor dem Hintergrund dieser Einsichten sollen nun einige Definitionsversuche und Beschreibungen von Leben und Lebewesen vorgestellt werden, die einen repräsentativen Querschnitt durch die Vielzahl diesbezüglicher Aussagen darstellen.

Ein früher Versuch, schon aus dem Jahre 1820, stammt von S. T. Coleridge, der aber nur eine sehr schwammige Formulierung zu bieten hat:

I define life [...] as a whole that is presupposed by all its parts.

Eine überraschend frühe Definition/Beschreibung des Lebens findet sich auch schon bei dem Biologen und Geschichtsphilosophen F. Engels (1894), für den Leben vor allem in Struktur und Stoffwechsel von Proteinen bestand:

Leben in seiner niedrigsten bis zu seiner höchsten Form ist nichts anders als die normale Daseinsform der Eiweißkörper.

Über die Rolle von Nucleinsäure konnte F. Engels zu diesem Zeitpunkt noch nichts wissen.

Eine Betonung des eigenständigen Stoffwechsels findet sich in dem von Varela (1974) und Maturana (1980) entwickelten Begriffs der „Autopoiesis“ wieder (wörtlich: Aufrechterhaltung seiner selbst). In Poerksen (2004) schrieb Maturana:

Whenever you encounter a network whose operations eventually produce itself as a result you are facing an autopoietic system. It produces itself.

In den meisten Definitionen und Beschreibungen der fundamentalen Eigenschaften erster lebender Organismen findet sich nach 1950 der Gedanke der Selbstreproduktion als roter Faden wieder. Zu den ersten Definitionen, die den Aspekt der Selbstvermehrung beinhalten, gehört z. B. die Aussage von N. H. Horowitz (1959):

I suggest that these three properties – mutability, self-dublication and heterocatalysis – comprise a necessary and sufficient definition of living matter.

Im Jahre 1961 präsentierte A. I. Oparin eine Charakterisierung lebender Organismen auf Basis folgender sechs Eigenschaften: 1) Fähigkeit, Stoffe mit der Umgebung auszutauschen, 2) Fähigkeit zu wachsen, 3) Fähigkeit zur Vermehrung (*population growth*), 4) Fähigkeit zur Selbstreproduktion, 5) Fähigkeit zur Bewegung, 6) Fähigkeit, angeregte Zustände anzunehmen.

Eine ganz neue Charakterisierung stammt von V. Kubyshkin et al. (2017):

Life can thus be defined as a process shaped by two forms of casuality: (i) deterministic laws of chemistry and physics (Natural Laws) and (ii) a genetic program that determines all biological activities and phenomena.

Schließlich rückte der Aspekt der Evolution in den Vordergrund. Von C. H. Waddington (1968):

[...] it might be claimed that the most important fact about them [living objects] is that they take part in the long term process of evolution

Von J. T.-F. Wong (2002) stammt diese Aussage:

A living system is one capable of reproduction and evolution, with a fundamental logic that demands an incessant search for performance with respect to the building blocks and arrangement of these building blocks. The search will only end when perfection or near perfection is reached.

Eine große Akzeptanz hat in den letzten 20 Jahren die sogenannte NASA-Definition gefunden:

Life is a self-sustained chemical system capable of undergoing Darwinian evolution.

Nach all diesen unterschiedlichen Versuchen Leben zu definieren oder zumindest kurz und präzise zu beschreiben ist es im Hinblick auf den Zweck dieses Buches wichtig, eine Aussage des Nobelpreisträgers J. W. Szostak (2012) zu zitieren:

Attempts to define life do not help to understand the origin of life.

Nun ist allen diesen Beschreibungen oder Definitionen gemeinsam, dass sie sich auf ein Phänomen beziehen, das auf chemischen Reaktionen von Molekülen beruht, die fast ausschließlich aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff bestehen. Es gibt aber auch einige wenige Autoren, die den Begriff Leben wesentlich weiter definieren wollen. So hat z. B. der anorganische Chemiker und theoretische Biologe A. Cairns-Smith, wie in Abschn. 2.4 näher beschrieben, den vielgestaltigen Silikaten eine Art Eigenleben zugetraut. Dabei spielt aber Wasser immer noch das entscheidende Reaktionsmedium. Der Biochemiker R. Shapiro und der Physiker G. Feinberg plädieren gemeinsam dafür (1990), Leben und Lebensräume sehr viel weiter zu fassen, als es durch die Struktur der Erdoberfläche und der sich darauf abspielenden Prozesse vorgegeben ist. Diese Autoren vertreten die Ansicht, dass Leben die Aktivität einer ganzen Biosphäre ist, und eine Biosphäre „is a highly ordered system of matter and energy characterized by complex cycles that maintain or gradually increase the order of the system through an exchange of energy with its environment“. Reproduktion und Unterteilung in Arten und einzelne Organismen sind Strategien, die für die Erde typisch sind, aber an anderen Orten im Weltall könnten sich andere Mechanismen entwickelt haben, die dafür sorgen, dass die dort existierende materielle und energetische Ordnung erhalten wird oder zunimmt.

Daher schlagen Sie vor, dass auch geordnete sich wiederholende Zyklen chemischer Reaktionen im flüssigen Ammoniak kalter Planeten oder oberhalb von 1000 °C in Silikatschmelzen heißer Planeten als eine Art Leben gemäß ihrer Definition angesehen werden kann. Sie gehen sogar soweit, ihre Sicht von Leben auf Systeme auszudehnen, in denen es nur physikalische Veränderungen, aber keine chemischen Reaktionen mehr gibt. Ordnung könnte z. B. aufrechterhalten werden oder zunehmen beim Energieaustausch und bei Dichteschwankungen im Plasma heißer Sterne, im Strahlungsmuster interstellarer Wolken oder im festen Wasserstoff extrem kalter Planeten.

Nun ist es in den Naturwissenschaften sicherlich sehr nützlich, den geistigen Horizont zu erweitern und originelle Ideen zu entwickeln. R. Shapiro und G. Feinberg sind aber hier, wie viele andere Wissenschaftler in andern Fällen auch, der Versuchung erlegen, immer mehr Aspekte in eine nützliche und bedeutende Definition hineinzupacken, um die Bedeutung dieser Aspekte zu erhöhen oder vermeintlich besser erklären zu können. Für diese auch bei Philosophen zu beobachtende Tendenz hat der Wissenschaftstheoretiker S. Toulmin (1968) das folgende schöne Bild formuliert: „Definitionen sind wie Hosengürtel. Je kürzer sie sind, desto elastischer müssen sie sein. Ein kurzer Gürtel sagt noch nichts über seinen Träger, wenn man ihn hinreichend dehnt, kann er fast jedem passen. Und eine

kurze Definition, die auf eine heterogene Sammlung von Beispielen angewandt wird, muss gedehnt, qualifiziert und umgebaut werden, bevor sie auf jeden Fall passt.“

Diese Tendenz geht aber nach Ansicht des Autors in die falsche Richtung. Definieren heißt umgrenzen oder eingrenzen und nicht expandieren. Definitionen machen eine Verständigung zwischen Wissenschaftlern überhaupt erst möglich, und zwar umso besser, je enger, präziser und damit unmissverständlicher sie sind. Für das vorliegende Buch beschränkt sich der Autor daher auf Leben als ein Phänomen, das auf chemischen Reaktionen von Molekülen beruht, die im Wesentlichen aus den Elemente C, H, N und O aufgebaut sind.

1.2 Warum Leben durch chemische Evolution?

Zunächst soll hier geklärt werden, was unter dem Begriff „chemische (molekulare) Evolution“ zu verstehen ist. Dazu soll zunächst A. G. Cairns-Smith (1982) zitiert werden (vom Autor übersetzt):

[...] die Doktrin der chemischen Evolution beinhaltet einfach: 1) dass Leben aus Systemen entstanden ist, für die die normalen Gesetze der Physik und Chemie gelten, 2) dass es einen präbiotische Prozess gegeben hat, einen natürlichen Trend analog der biologischen Evolution, der von Atomen zu kleinen Molekülen und dann zu größeren Molekülen fortgeschritten ist, und schließlich zu Systemen, die zur Reproduktion und Evolution unter natürlicher Selektion befähigt waren, 3) dass, die im präbiotischen Prozess relevanten Moleküle den in heutigen Lebewesen vorkommenden Molekülen gleichen. Die bezüglich Punkt 3) von dieser Charakterisierung abweichende Sichtweise von Cairns-Smith wird in Abschn. 2.5 beleuchtet.

Die Frage, „warum soll die Entstehung von Lebewesen als Folge einer chemischen Evolution erklärt werden?“, wurde schon von A. I. Oparin (1924, 1938, 1953, 1957, 1961), dem Vater der molekularen Evolutionsforschung, beantwortet: „Wie soll man ein Phänomen untersuchen, das bestenfalls nur einmal in der ganzen Existenzdauer der Erde vorgekommen ist?“ Der Biologe C. DeDuve formulierte in seinem Buch 2002: „Die Wissenschaft vom Ursprung des Lebens muss eine deterministische kontinuierliche Entwicklung [d. h. chemische Evolution] annehmen, da es andernfalls unmöglich wäre, wissenschaftliche Untersuchungsmethoden anzuwenden.“ In anderen Worten: Nimmt man einen einmaligen Schöpfungsvorgang an, gleichgültig ob er von einem individuellen Gott oder einer anonymen Kraft verursacht wurde, dann sind die Naturwissenschaftler zum Thema Entstehung des Lebens arbeitslos.

- *Urknall*
- Energie (Strahlung)
- Nucleonen (Protonen, Neutronen)
- Atomkerne

- Atome inklusive der Elektronen
- Einfache Moleküle (Gase)
- Organische Moleküle (inkl. Biomonomere)
- Einfache kurze Biopolymere
- Proteine, Nucleinsäuren
- Aggregate aus Proteinen und Nucleinsäuren
- Vesikel mit eigenem Stoffwechsel
- Einzelliger Organismus

Schema 1.1 Vereinfachte Darstellung der Evolution der Materie seit dem Urknall, wie sie sich als Konsequenz fallender Temperaturen ergeben haben könnte.

Nun ist der Einsatzwille von Wissenschaftlern, zum Thema Entstehung des Lebens Forschungsarbeiten zu leisten, sicherlich eine sehr löbliche Eigenschaft, aber sie ist *per se* kein Beweis dafür, dass es eine chemische Evolution gab. Wenn man die verschiedenen Konzepte, mit denen die Entstehung des Lebens erklärt wurden, auf ihre Grundelemente hin analysiert, so ergibt sich folgendes Bild:

- Hypothese I: Die rein wissenschaftliche Sichtweise einer chemischen Evolution besagt, dass diese von den einfachsten Gasmolekülen ausgehend aufgrund von Naturgesetzen zwangsläufig einen Verlauf hin zur ersten überlebensfähigen und fortpflanzungsfähigen Zelle eingeschlagen hat. Von diesem Konzept einer „gerichteten Evolution“ gibt es zwei sehr verschiedene Varianten.

A) Die hier zuerst diskutierte Variante soll als reduktionistisch-deterministisch bezeichnet werden. Diese Hypothese postuliert, dass die mit dem Urknall beginnende stetige Abkühlung des Universums eine Entwicklung der Materie in Gang setzte, die schließlich in der Entstehung der ersten lebenden Zellen mündete. Schema 1.1 illustriert eine vereinfachte Sequenz der Ereignisse. Reduktionistisch heißt, dass sich die Eigenschaften eines Objektes A vollständig aus den Eigenschaften seiner Komponenten B, C und D erklären lassen. Der Biophysiker und Nobelpreisträger M. Eigen hat sich 1971 dafür ausgesprochen, dass sich die Entstehung eines selbstorganisierenden und fortpflanzungsfähigen Stoffwechsel-Superzyklus im Prinzip aus den wellenmechanisch berechenbaren Eigenschaften von Atomen und Molekülen sowie aus günstigen experimentellen Reaktionsbedingungen, wie sie auf der Urerde vorgelegen haben müssen, erklären lässt. Dazu C. DeDuke (1991): „Given the suitable initial conditions, the emergence of life is highly probable and governed by the laws of chemistry and physics“. Ein anderer Exponent dieser Denkrichtung, der Biophysiker H. J. Morowitz, schrieb (1992, S. 3): „Only if we assume that life began by deterministic processes on the planet are we full able to pursue the understanding of life’s origin within the constraints of normative science“. (S. 13) „We also reject the suggestion of Monod that the origin requires a series of highly improbable events [...]“. (S. 121) „We have no reason to believe that biogenesis was not a series of chemical events subject to all the laws governing atoms and their interactions“.

Der Biologe C. DeDuve (2002) hat diese Hypothese auch als deterministisch-kontinuierlich bezeichnet und dazu folgende weit bekannte und vielfach zitierte Aussage getätigt (S. 298):

It is self-evident that the universe was pregnant with life and the biosphere with man. Otherwise, we would not be here. Or else, our presence can be explained only by a miracle [...]

Der reduktionistisch-deterministische Ansatz ist ein rein wissenschaftliches, konsistentes Konzept, dessen Glaubwürdigkeit sich durch Forschungsergebnisse zur Möglichkeit einer chemischen Evolution weitgehend beweisen oder widerlegen lässt. Dazu nochmals DeDuve (1991):

The science of the origin of life has to adopt the deterministic, continuity view, otherwise it would not be possible to adopt a scientific method of inquiry.

In Kap. 4 und zum Schluss dieses Buches (Abschn. 11.3 und 11.4) präsentiert der Autor seine Beurteilung dieses Konzeptes.

B) Die zweite Variante kommt zwangsläufig ins Spiel, wenn die reduktionistische Hypothese nicht hinreichend bewiesen werden kann. Hypothese I (B) postuliert, dass der gerichtete Verlauf der chemischen Evolution auf einer Naturgesetzlichkeit beruht, die ergänzend zu den reduktionistischen chemischen und physikalischen Gesetzen dafür sorgt, dass die beteiligten Moleküle die Zielrichtung der Evolution gekannt haben. Die Wissenschaftler des 19. Jahrhunderts (und davor) hätten wohl den damals virulenten Begriff der *vis vitalis* zu Hilfe genommen. Die antireduktionistischen Wissenschaftler des 20. und 21. Jahrhunderts sprechen von einem *added value*, der beim Übergang von einer Aggregation toter Biomoleküle zu einer lebensfähigen Zelle hinzukommen muss. Der erste und wichtigste wissenschaftliche Denkansatz in dieser Richtung stammt von dem Nobelpreisträger I. Prigogine, der die Entstehung geordneter, „dissipativer“ Strukturen postuliert und berechnet hat. Er hat die Rolle der Zeit als irreversiblen Zeitpfeil für das Verständnis aller Lebensvorgänge in die Betrachtung einbezogen, und er hat dargelegt, dass die Lebensprozesse kinetisch kontrollierte irreversible Reaktionen sind, die ständiger Energiezufuhr bedürfen, weil sie, auf der Ebene der einzelnen Zelle betrachtet, nicht auf Entropiegewinn ausgerichtet sind. Unter besonderer Berücksichtigung deutscher Texte sind hier folgende Bücher zu nennen: Prigogine 1955, 1992 und 1998, Prigogine und Glansdorff 1971, Nicolis und Prigogine 1977, Prigogine und Stengers 1993a und b. Als frühe Zusammenfassung mit Beiträgen anderer Autoren sei hier das Buch *Irreversible Thermodynamics and the Origin of Life* der Herausgeber Oster et al. (1974) zu nennen.

Es muss nun an dieser Stelle hervorgehoben werden, dass jegliches Konzept einer gerichteten chemischen Evolution den Schönheitsfehler hat, dem heutigen Verständnis der biologischen Evolution zuwiderzulaufen. Das heutige Verständnis

der biologischen Evolution sieht nicht vor, dass mit Beginn der ersten Zelle alle folgenden Lebewesen gewusst haben, dass sie sich in Richtung auf die Menschheit entwickeln müssen. Vielmehr wir davon ausgegangen, dass jede Zelle und jede Art sich um Optimierung ihrer Fähigkeiten bemüht, um ihre Überlebenschance zu verbessern. Die enorme Diversifikation, die im Lauf der gesamten Evolution zu beobachten ist, lässt sich als Überlebensstrategie des Prinzips Leben verstehen, denn je mehr verschiedene ökologische Nischen besetzt werden, desto größer ist die Chance, dass irgendwelche Organismen überleben können, wenn, wie am Ende des Perms und der Kreide geschehen, große globale Katastrophen eintreten. Die über die Gesamtdauer der biologischen Evolution zu beobachtende Zunahme der Komplexität kann als Teilaspekt der zunehmenden Diversifikation verstanden werden. Ein einheitliches Verständnis von chemischer und biologischer Evolution erfordert also, entweder eine Rolle rückwärts beim Verständnis der biologischen Evolution hin zu einer gezielten Evolution, oder die Entstehung der ersten Zelle ausgehend von einfachen Gasmolekülen als Konsequenz einer ungerichteten chemischen Evolution zu verstehen.

- Hypothese II: Die zweite Denkrichtung, die hier skizziert werden soll, basiert auf der Hypothese einer ungerichteten Evolution und ist durch eine entscheidende Rolle des Zufalls charakterisiert. Sie soll hier daher als „Hypothese des glücklichen Zufalls“ bezeichnet werden. Auch diese Hypothese setzt eine reduktionistisch erklärbare, chemische Evolution bis hin zu enzymatisch aktiven Proteinen, hochmolekularen Nucleinsäuren (insbesondere RNA) und zu Vesikel bildenden Fett- und Ölsäuren voraus. Die Entstehung der ersten lebensfähigen Zelle wird dann aber dem günstigen Zusammentreffen aller benötigten Komponenten unter optimalen Bedingungen zugeschrieben. In Abschn. 2.1 werden Berechnungen für die Wahrscheinlichkeit der Bildung der benötigten Biomoleküle vorgestellt. Die Anhänger von Hypothese II argumentieren nun, dass das Leben existiert, trotz der unendlich geringen Wahrscheinlichkeit, dass Leben durch ein zufälliges Zusammentreffen der benötigten Komponenten zustande kommen konnte. Daher muss es einen glücklichen Zufall gegeben haben, der zur Entstehung des ersten Lebewesens geführt hat. Das Glück des Lottospielers, der entgegen aller Wahrscheinlichkeit eben doch den Hauptgewinn erhält, dient hier als Argument und Vorbild. Dieser Art von Logik und Erklärungsversuch wird der Leser im folgenden Text des Buches noch mehrfach begegnen, und daher soll hier als Kennzeichnung der Begriff „a posteriori-Argument“ geprägt werden.

An dieser Stelle ist es angebracht, die Bedeutung des Begriffs Zufall etwas genauer zu betrachten. Dazu definieren wir hier einen Zufall I, als einen Zufall, der nichts weiter bewirkt als den Zeitpunkt zu bestimmen, an dem ein bestimmtes Ereignis eintritt bzw. eingetreten ist. Das Eintreten dieses Ereignisses war aber früher oder später zwangsläufig. Ein solcher Zufall ist Teil von Hypothese I. Im Gegensatz dazu hat der für Hypothese II postulierte Zufall eine schöpferische Kompetenz und er entscheidet über das Eintreten einer neuen Marschrichtung im

Gesamtverlauf der Evolution des Universums. Dieser Zufall II ist weder widerlegbar noch beweisbar, denn die Existenz von Lebewesen ist kein zwingender Beweis für einen schöpferischen glücklichen Zufall, weil, wie unter Hypothese III dargelegt, auch andere Begründungen für die Existenz von Lebewesen postuliert werden können. Die Frage, ob Hypothese II wissenschaftlich tragfähig ist oder nicht, entscheidet sich daher allein durch die Beweisbarkeit oder Widerlegbarkeit einer chemischen Evolution, die von einfachsten Molekülen wie Methan, Ammoniak und Wasser zu allen denjenigen Komponenten führte, die für die Bildung einer lebenden Zelle benötigt werden. Nun zeigt aber die Gesamtheit aller Modellsynthesen (Kap. 4, 5, 6, 7), dass es eine Koexistenz aller für eine Zelle benötigten Komponenten wohl nie gegeben hat. Darüber hinaus ist aber auch zu bedenken, dass ein glückliches Zusammentreffen aller Komponenten nicht zwangsläufig mit dem Übergang von der thermodynamisch kontrollierten Chemie der toten Materie zur kinetisch kontrollierten Biochemie einer lebenden Zelle verknüpft gewesen sein muss. Ein weiterer Kommentar zu dieser Problematik befindet sich am Ende von Abschn. 8.3.

Hier ist auch ein Vergleich mit der Bedeutung, die man dem Zufall in der biologischen Evolution zumisst, von Interesse. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts war es Mainstream-Denken unter den Evolutionsbiologen, dass die Entstehung einer Art (und damit auch des Menschen) durch Zufälle zustande kommt, die analog wie Zufall II in der chemischen Evolution, eine schöpferische Kompetenz aufweisen und auch eine neue Marschrichtung der Evolution in Gang setzen. Exponent dieser Sichtweise war der französische Nobelpreisträger Jaques Monod, der in seinem Buch (1970) *Le Hazard et la Nécessité* (dt.: *Zufall und Notwendigkeit* (1975)) die entscheidende Rolle des Zufalls im Verlauf der biologischen Evolution herausgearbeitet hat.

Diese dominierende Rolle zufälliger Ereignisse wurde aber in der modernen Evolutionsforschung vor allem durch die Entwicklung der Genetik zu Grabe getragen. Die amerikanische Nobelpreisträgerin B. McClintock hat durch ihre Entdeckung der „springenden Gene“ ein neues Verständnis der Entstehung neuer Arten initiiert. Arten entstehen, wenn eine Zelle (oder viele Zellen eines größeren Organismus) ihr Genom verändern als Antwort auf den Stress durch sich verändernde Umweltbedingungen. Zufällige Punkt-Mutationen einzelner Gene, z. B. durch radioaktive Strahlung, können die im Genom angestrebten Änderungen begünstigen und werden dann von der Zelle toleriert, während schädliche Mutationen repariert werden. Zufällige Mutationen im Genom spielen also die Rolle eines Hilfsmotors, entscheiden aber weder über Beginn noch Richtung der Entwicklung. Für die Hypothese vom glücklichen Zufall ergibt sich damit wieder die unerfreuliche Konstellation, dass sie für den Erfolg der chemischen Evolution eine Art von Zufall postuliert, der im heutigen Konzept der biologischen Evolution keine Existenzberechtigung mehr hat.

- Hypothese III: Eine dritte Art von Hypothesen ist durch die Annahme charakterisiert, dass der Entstehung von Lebewesen ein im ganzen Universum einmaliger schöpferischer Akt zugrunde liegt, der nur einer einzigen Stelle des Universums stattfand, und der auch eine chemische Evolution von Gasmolekülen zu einigen

einfachen Biomonomeren akzeptiert oder sogar voraussetzt, aber keine chemische Evolution zu Biopolymeren und Protozellen mit eigenem Stoffwechsel. Dieser schöpferische Akt kann aus religiöser Sicht einem Gott zugeordnet werden, oder aus atheistischer Sicht einer anonymen Energie (Aristoteles „*dynamis*“ lässt grüßen). Da ein einmaliger Vorgang sich jeder wissenschaftlichen Überprüfbarkeit entzieht, wird diese religiöse oder pseudoreligiöse Sichtweise von Wissenschaftlern als unwissenschaftlich eingestuft (was richtig ist) und gleichzeitig oft auch abschätzig beurteilt (was zumindest verfrüht ist).

Dabei wird gerne übersehen, dass es im Rahmen von Hypothese III auch ein Modell gibt, bei dem eine *a priori* Disqualifizierung der Argumentation als unwissenschaftlich nicht gerechtfertigt ist, und dieses Modell soll hier die Kurzbezeichnung „Doppel-Urknall-Modell“ erhalten. Darunter ist die Hypothese zu verstehen, dass die Entstehung eines mit Leben ausgestatteten Universums auf zwei Urknallereignissen hin konzipiert sein könnte. Der erste Urknall lieferte den Rahmen Zeit und Raum sowie die Evolution der unbelebten Materie bis hin zu einigen Biomonomeren. Sobald die Erde entstanden war, erfolgte als zweiter Urknall die Entstehung der ersten Organismen (z. B. primitive Einzeller). *A priori* ist die Hypothese eines zweiten Urknalls auch nicht unwissenschaftlicher als die Annahme eines ersten Urknalls, denn auch für den Urknall des Universums lassen sich keine Ursachen ermitteln, weil alle wissenschaftliche Methodik nur auf das Zeit-Raum-Universum beschränkt ist. Allerdings lässt sich die Hypothese eines zweiten Urknalls widerlegen, wenn sich der Ablauf einer chemischen Evolution auf Erden eindeutig beweisen lässt. Solange das nicht der Fall ist, kann die Hypothese vom Doppel-Urknall zumindest den gleichen Anspruch auf Wissenschaftlichkeit erheben wie die Hypothese II.

Bei jedem Glauben an einen einmaligen Schöpfungsakt bzw. einen „Urknall des Lebens“ stellt sich zwangsläufig die Frage, warum gerade die Erde als Bühne dieses Ereignisses ausersehen wurde. Natürlich wissen wir heute, dass die Erde dafür fast ideale Voraussetzungen bot, die nur auf relativ wenigen Exoplaneten zu erwarten sind. Aber selbst wenn nur wenige Exoplaneten in unserer Galaxie infrage kämen, so ist zu berücksichtigen, dass es Tausende von Milliarden Galaxien im gesamten Universum gibt, sodass eine Einmaligkeit der irdischen Bedingungen wissenschaftlich nicht begründbar ist. Nimmt man andererseits an, dass ein „Urknall des Lebens“ auf allen geeigneten Planeten stattgefunden hat oder noch stattfinden wird, dann ist man wieder bei einer Hypothese angelangt, die die Entstehung des Lebens als Konsequenz von Naturgesetzten interpretiert und damit zurück bei den Hypothesen IA oder IB.

Schließlich soll noch die Hypothese der Panspermie erwähnt werden. Sie wird hier nicht als Hypothese IV geführt, weil sie keine Aussagen über den Ursprung des Lebens im Universum macht. Sie besagt lediglich, dass das Leben in Form von Genen, Sporen oder Einzellern irgendwie aus dem Weltraum auf die Erde gekommen ist. Die früheste Version einer Panspermie findet sich schon bei dem vorsokratischen Philosophen Anaxagoras von Klazomenai (etwa 499–428 v. Chr.),

der glaubte, dass „Samen des Lebens“ über den gesamten Weltraum verteilt seien. Gedanken zur Panspermie finden sich auch wieder im 19. Jahrhundert in Schriften von J. J. Berzelius (1779–1848), L. Pasteur (1822–1895), H. E. F. Richter (1806–1876), Lord Kelvin (1824–1907) und H. L. F. von Helmholtz (1821–1894). Eine ausführliche und konsistente Panspermie-Hypothese wurde schließlich 1908 von dem schwedischen Chemiker und Nobelpreisträger S. Arrhenius publiziert, und zwar in einem Buch mit dem Titel *Das Werden der Welten*. Arrhenius favorisierte Sporen, die durch den „Strahlungsdruck“ von Sternenlicht bewegt durch den Welt- raum reisen, als Urheber sich verbreitender „Lebenskeime“.

In neuerer Zeit lassen sich zwei Varianten der Panspermie-Hypothese unterscheiden. Zum einen wird angenommen, dass die Primitivlebewesen, welche die Erde infiziert haben sollen, überall und zu jeder Zeit durch unsere Galaxie geis- tern, ohne dass eine Aussage über ihren Ursprung gemacht wird. Modernere Befürworter dieser ungerichteten Panspermie sind der Astronom Sir F. Hoyle (1983, 2000) und sein Mitarbeiter C. Wickramasinghe. In ihrem Buch *Evolution aus dem Weltall* (1981) steht zu lesen: „Die Gene sind kosmischen Ursprungs. Sie erreichen die Erde als DNA oder RNA, entweder als ausgewachsene Zellen oder als Viren, Viroide oder einfach als einzelne Bruchstücke von genetischem Mate- rial. Die Gene sind funktionsbereit, wenn sie ankommen. Die für die Enzyme bestimmten Gene erzeugen z. B. Polypeptide, deren Aminosäuren in der richtigen Reihenfolge angeordnet sind, so dass sie alle katalytischen Reaktionen bewirken können, die wir von Enzymen erwarten“. Als Schutz gegen die Zerstörung durch UV-Licht nehmen diese Autoren an, dass zumindest ein Teil dieses genetischen Materials eine dünne Schutzschicht aus Graphit besitzt.

Die zweite Variante kann als „gerichtete Panspermie“ bezeichnet werden. Diese vom Nobelpreisträger F. Crick und von L. E. Orgel (1973, 1983) favorisierte Spe- kulation besagt, dass sich Leben sofort auf dem ersten Planeten entwickelt hat, der in unserer Galaxie die Voraussetzung für die Entstehung von Leben erfüllte. Es ent- wickelte sich daraus eine Hochkultur, die sich schließlich bemühte, Päckchen mit Einzellern in den Weltraum zu verschicken, um andere Planeten damit zu beglücken. Gleichgültig welche Variante man in Betracht zieht, die Panspermie-Hypothese ist wissenschaftlich kaum beweisbar und hat, es sei wiederholt, den entscheidenden Nachteil, dass sie keine Erklärung für die Entstehung des Lebens bietet.

Zum Abschluss dieses Kapitels soll kurz erzählt werden, wie denn nun die For- schung zum Thema „chemische Evolution“ ins Leben gerufen wurde. Der Erste, der die Idee einer auf chemischer Evolution basierenden Entstehung des Lebens formulierte, war C. Darwin. In einem Brief (1863) an den Botaniker J. D. Hooker (zitiert von seinem Sohn F. Darwin 1896) äußerte sich Darwin noch negativ über solche Gedankenspiele: „It is mere rubbish thinking at the present of the origin of life; one might as well think of the origin of matter“. Ein Brief aus dem Jahre 1871 macht jedoch deutlich, dass er in den vorangegangenen acht Jahren eine Kehrt- wendung seiner Einstellung vollzogen hat:

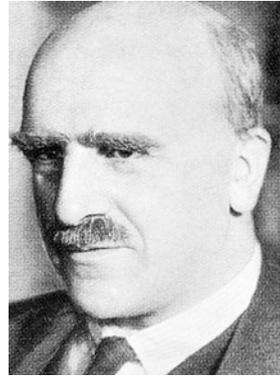
It is often said that all the conditions for the first production of a living organism are now present, which could ever have been present. But if (and oh! what a big if!) we could conceive in some warm little pond, with all sorts of ammonia and phosphoric salts, light, heat, electricity etc. present that a protein compound was chemically formed ready to undergo still more complex changes, at the present day such matter would be instantly devoured or absorbed, which could not have been the case before living creatures were formed. Dieser Brief, der sich im Archiv der Royal Society (London) befindet, wurde jedoch erst 1959 publiziert, sodass C. Darwin *de facto* keinen Beitrag zur Entwicklung der Forschung über chemische Evolution geleistet hat.

Als Vater der Forschung über molekulare Evolution gilt daher der russische Biochemiker Alexander I. Oparin (1894–1980, Abb. 1.1). Dieser studierte an der Staatlichen Universität Moskau und wurde dort 1927 zum Professor für Biochemie ernannt. Seine Forschungsarbeiten betrafen vor allem die Wirkung von Pflanzenzymen; seine internationale Bekanntheit verdankt er jedoch seiner 1924 erschienen Schrift über den Ursprung des Lebens. Im Jahre 1970 wurde er zum Präsidenten der internationalen Gesellschaft für Studien über den Ursprung des Lebens gewählt. Da seine erste Publikation (1924) zum Ursprung des Lebens in russischer Sprache erschien, wurde sie lange Zeit in der westlichen Welt nicht zur Kenntnis genommen. Ab 1938 folgten dann englische Übersetzungen sowie von Oparin selbst verfasste neue Texte und Bücher zum gleichen Thema. Zuvor, d. h. 1929, war ein Aufsatz mit dem Titel „The Origin of Life“ aus der Feder des britischen Biochemikers und Genetikers J. B. S. Haldane (Abb. 1.2) erschienen, der in der westlichen Welt zunächst schneller bekannt wurde als die erste Publikation von Oparin. Die Konzepte beider Autoren haben einen wichtigen Aspekt gemeinsam, nämlich den Gedanken, dass die ersten lebenden Organismen als Folge einer chemischen Evolution in einer weite Teile der Erde bedeckenden

Abb. 1.1 Alexander Iwanowitch Oparin (1894–1980), © Science Photo Library



Abb. 1.2 John Burdon S. Haldane (1892–1964), © RIA
Nowosti/picture alliance



„Ursuppe“ entstanden sein sollten („a hot dilute soup“ gemäß Haldane). Zu den Voraussetzungen und zum Verlauf der chemischen Evolution hatten beide Autoren, die selbst niemals Experimente durchführten, unterschiedliche Ansichten, worauf im nächsten Kapitel näher eingegangen wird.

Literatur

- Arrhenius S (1908) Das Werden der Welten. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig (Originalausgabe 1906)
- Bernal JD (1951) The physical basis of Life. Routledge & Kegan Paul, London
- Bernal JD (1967) The origin of life. Weidenfeld & Nicolson und World Publishing Company, London
- Bernal JD (1971) Der Ursprung des Lebens, Edition Rencontre
- Cairns-Smith AG (1982) Genetic takeover and the mineral origins of life. Cambridge University Press, Cambridge
- Chyba F, McDonalds GD (1995) The origin of life in the solar system: current issues. *Ann Rev Earth Planet Sci* 23:215–249
- Coleridge ST (1820) Theory of life, S 42, Zitiert in Snyder AD (1929) Coleridge on logic and learning
- Crick F (1983) Life itself. Simon & Schuster, New York
- Crick F, Orgel LE (1973) *Icarus Int J Solar Syst Stud* 19:341
- Darwin F (1896) The life and letters of Charles Darwin, Bd 2. Appleton & Co, New York, S 202
- Darwin C (1959 posthum) in Some unpublished letters, Sir Gavin de Beer (Hrsg) *Notes and Records of the Royal Society of London* 14, 1
- DeDuve C (1991) *Blueprint for a cell: the nature and the origin of life*. Neil Patterson, Burlington
- DeDuve C (2002) *Life evolving, molecules, mind and meaning*. Oxford University Press, Oxford
- Dobzhansky T (1991) *Am Biol Teach* 35:125–129
- Eigen M (1971) *Die Naturwissenschaften* 58:465
- Engels F (1894) *Herrn Eugen Dühring's Umwälzung der Wissenschaft*. Dietz, Berlin
- Folsome CE (1979) *The origin of life: a warm little pond*. W. H. Freeman & Co., San Francisco
- Häckel E (1868) *Allgemeine Anatomie der Organismen*. De Gruyter, Berlin
- Haldane JBS (1929) The origin of life, *The rationalist annual* 3 (reprinted in Bernal 1967, S 242–249)
- Horowitz NH (1959) "On defining Life". In: Clark F, Synge RLM (Hrsg) *The origin of life on the Earth*. Pergamon, London, S 106–107
- Hoyle F (1983) *The intelligent universe*. Michael Joseph Ltd., London
- Hoyle F, Wickramasinghe C (1981) *Evolution aus dem All*. Ullstein, Berlin