

## Vorwort des Autors

Der vorliegende Text wurde verfasst unter dem vorläufigen Arbeitstitel „Entstehung und Entwicklung des Lebens – aus der Sicht von Chemie und Biochemie“. Dieser Arbeitstitel kennzeichnet Inhalt und Darstellungsweise und ebenso, aus welcher Perspektive das Material zusammengestellt wurde. Am Beginn dieser Arbeit stand schon vor vielen Jahren eine Sammlung von Gedanken und Argumenten zu unterschiedlichen Themen, beispielsweise betreffend den Aspekt der Naturwissenschaften in der Philosophie, das Denken selbst als physischen Vorgang (d. h. das Gehirn und seine Funktionsweise), und auch die Entstehung des Lebens auf der Erde.

Zuletzt konzentrierte ich mich ganz auf das Problem der Entstehung des Lebens und versuchte, das Thema durch ausführlichere Erklärungen auch für ein Nichtbiochemiker-Publikum ausreichend verständlich darzustellen. Verständlichkeit ist bei Texten von Naturwissenschaftlern ja nicht immer gegeben, oft dann nicht, wenn sie chemische Formeln verwenden. So entstand der vorliegende Text über ein Thema, das mich während meines gesamten beruflichen Lebens als Chemiker in der biochemischen wissenschaftlichen Forschung begleitet hatte und über das in jedem biochemischen und molekularbiologischen Laboratorium wieder und wieder diskutiert wurde und immer noch wird.

Der Physiker und Nobelpreisträger Francis Crick, einer der Entdecker der Struktur der DNA-Doppelhelix, sagte zu diesem Thema: „Die Hauptschwierigkeit beim Verfassen eines populärwissenschaftlichen Buches über den Ursprung des Lebens ist, dass es dabei vorwiegend um Probleme der Chemie geht – vor allem um Organische Chemie. Und fast alle Leute mögen Chemie nicht.“ Seine Mutter verstand seine Texte, betrachtete aber die in seinen Publikationen auftauchenden chemischen Strukturformeln als unverständliche Hieroglyphen (Crick, 1989).

Das Unverständnis für naturwissenschaftliche Fakten und Vorgänge ist eine typische Folge unseres Bildungsideals, das seinen Schwerpunkt bei der Kunst hat (bei Literatur, Malerei, Musik, Theater usw., also dem kreativ Erfundenen, Nichtfaktischen) und nicht bei den Naturwissenschaften (also bei der Kenntnis der nachgewiesenen Tatsachen der Natur und ihrer Gesetze, was bei vielen sogenannten Gebildeten als banal gilt; manche prahlen sogar mit ihrer naturwissenschaftlichen Ignoranz). Statt Verständnis für die chemischen Mechanismen im Gehirn bei der Wahrnehmung von Kunst und beim Denken haben die meisten Menschen Angst vor der Chemie.

Es ist ein Problem, dass das Wort „Formel“ für so viele unterschiedliche Zwecke verwendet wird. Im US-amerikanischen Sprachgebrauch bedeutet das Wort *formula* sogar Kindernahrung. Es bedeutete ursprünglich das Rezept für Babyfläschchen und -brei. Formeln sind immer eine Art Kurzschrift. Bekannte Formeln wie das physikalische  $E = m \cdot c^2$  von Einstein für die Äquivalenz von Materie und Energie oder die mathematische Formel  $a^2 + b^2 = c^2$  für den Satz des Pythagoras kann man nur verstehen, wenn man weiß, wofür die diversen verwendeten Symbole stehen. So kommt in diesen beiden Formeln der Term  $c^2$  vor, bedeutet aber völlig unterschiedliche Dinge,

einmal das Quadrat der Lichtgeschwindigkeit, das andere Mal das Quadrat über der längsten Seite eines rechtwinkligen Dreiecks. Wenn ich auch die Symbole einer Formel nicht verstehe, brauche ich mich dennoch nicht vor ihr zu fürchten. Ich kann sie nicht interpretieren, und sie hat dann für mich einfach keine Bedeutung, ich ignoriere sie.

Wer mit der Chemie auf Kriegsfuß steht, sollte das Folgende bedenken: Chemie ist im Prinzip Mechanik mit den kleinstmöglichen Bauteilen, den Atomen. Chemische Summenformeln sind nichts anderes als Materiallisten, und die Strukturformeln sind nichts anderes als Konstruktionszeichnungen, im Allgemeinen nur vereinfachte Skizzen. In den 1960er Jahren gehörte zu meinem Chemiestudium auch ein Kurs im Technischen Zeichnen.

Jedes Atom einer Strukturformel wird durch das chemische Symbol des entsprechenden Elementes dargestellt, diese Symbole sind in der Biochemie fast ausschließlich einbuchstabig. Exakte Bindungslängen oder Bindungswinkel können aus einer schematischen Formelzeichnung nicht abgelesen werden. Man darf sich beim Beurteilen chemischer Strukturformeln nicht davon irritieren und ablenken lassen, dass man nicht die Funktion jedes einzelnen Atoms nachvollziehen kann. Meist reicht es, wenn man ein größeres Raster anlegt und Gruppen von Atomen betrachtet. Gefühle, dabei etwas zu versäumen, sind unnötig. In diesem Text können Strukturformeln einfach als Illustrationen angesehen werden.

Chemie ist genau genommen Ultramikromechanik, allerdings benutzt sie Arbeitsmethoden, die von denen der allgemeinen Mechanik erheblich abweichen. Das liegt vor allem daran, dass die bearbeiteten Strukturen winzig klein sind und weit unter der Sichtbarkeit mit dem Auge und auch weit jenseits der Möglichkeiten der Mikroskopie liegen. Man arbeitet sozusagen blind. Als Ausgleich für die Kleinheit der Bauteile und der Produkte (Moleküle) hat man von ihnen immer eine riesengroße Anzahl. In Chemie und Biochemie geht man also niemals mit individuellen Dingen um, sondern immer mit einer so großen Zahl, dass statistische Abweichungen der Prozesse und Verteilungen völlig verschwinden und die Gesetze der Chemie exakte Naturgesetze sind, obwohl sich die einzelnen Atome und Moleküle durchaus gelegentliche Abweichungen von der Norm leisten können.

Wie die besprochene Wissenschaft ist auch der vorliegende Text oft relativ technisch-chemisch, aber ich glaube, dass auch unter diesen Umständen die allgemeine Beschreibung einer Idee verstanden werden kann, selbst wenn man nicht immer bereit und in der Lage ist, sich mit allen Details vertraut zu machen. Alles Leben beruht auf Chemie. Die Kervorgänge des Lebens und vor allem seine Entstehung fanden und finden statt in der Welt der Atome und Moleküle. Wer sich für die naturwissenschaftliche Erklärung der Entstehung des Lebens interessiert, kann es nicht vermeiden, diese Welt zu betreten und sich in ihr zu bewegen und umzuschauen, auch wenn es anfangs etwas Überwindung kostet.

Was in der vorliegenden Abhandlung keine Rolle spielt, sind philosophische Aspekte, also solche der Ethik und Moral und solche der Zivilisation. Es geht hier

nicht um Wert, Würde oder Sinn des Lebens, sondern allein darum, wie es funktioniert. Wir betrachten die Welt mit dem Blick des Naturwissenschaftlers, dem es auf Ursache und Wirkung ankommt, auf die Physik, Chemie, Biochemie, Anatomie und Physiologie des Lebens und der Lebewesen.

Im Zentrum dieses Textes stehen die molekularen Aspekte, die eigentliche, präbiotische Entstehung des Lebens vor dem Beginn der regulären Biologie. Dagegen sind die biologischen Aspekte und die weitere Entwicklung im Rahmen der Biologie etwas knapper gefasst. Der Grund liegt einerseits darin, dass die eigentliche Biologie nicht mein Fach ist (darüber schreibe ich eher aus einer Perspektive ähnlich der eines Wissenschaftsjournalisten), und andererseits, dass darüber bereits relativ viel informatives publiziert wurde, das im Buchhandel erhältlich ist und hier nicht wiederholt werden muss. Für Leser, die an den Mechanismen der Entwicklung der Mehrzeller interessiert sind, empfehle ich den im Literaturverzeichnis angeführten Band „Die Geschichte des Lebens“ von Neil Shubin (englisch 2020, deutsch 2021), wobei die Entwicklung des Einzelwesens (Embryonalentwicklung) aufgrund ihrer Wichtigkeit großen Raum einnimmt. Die Summe aller Embryonalentwicklungen führt dann zur Entwicklung der Arten. Die Arten selbst in ihrer Entwicklung werden von Henry Gee in „Eine (sehr) kurze Beschreibung des Lebens“ (2021) sehr anschaulich beschrieben.

Über das chemische Vorspiel vor der eigentlichen Entstehung der ersten lebenden Zellen wurde dagegen sehr wenig Wissenschaftliches publiziert, und als Chemiker und Biochemiker bin ich dafür auch eher kompetent. Ich habe auf diesem Gebiet nie aktiv experimentell gearbeitet, aber in meinem wissenschaftlichen Denken war es immer präsent, und ich verfolgte die Entwicklung der Erkenntnisse über die Entstehung des Lebens immer mit großer Aufmerksamkeit seit nunmehr mehr als 55 Jahren.

Der vorliegende Text beruht auf meinen persönlichen Überzeugungen, ist für mich plausibel und begründet und entstand aus der Perspektive des ausschließlich der Logik verpflichteten Naturwissenschaftlers. Der Text hat als zentralen Aspekt das chemische „Wie?“ und befasst sich weniger mit dem „Wo auf der Erde?“, für das eher Geologen und andere zuständig sind. Die prinzipiellen Fragen der Entwicklung und ihre Logik sind mir dabei wichtiger als „Nebenkriegsschauplätze“, wie etwa die Entstehung von Zuckern und Aminosäuren, über die schon viel geschrieben wurde. Alle Daten beruhen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und stammen aus zahlreichen Vorträgen von Fachkollegen und Diskussionen mit ihnen, oder aus Aufsätzen und Büchern.

Personen, die meine Gedankengänge über die Entstehung des Lebens mehr als 50 Jahre lang mit persönlichen Diskussionen, E-mail-Korrespondenzen, Vorträgen und wissenschaftlichen Publikationen begleiteten, sind bzw. waren (soweit mein Gedächtnis noch reicht) Rudolf Weil, Horst Sund, Kurt Wallenfels, Peter Hemmerich, Michael G. Rossmann, Margaret J. Adams, Helmut Beinert, Jane Park, J. Ieuan Harris, Daniel E. Koshland, Kasper Kirschner, Paul Sigler, Gideon Blauer, Manfred Eigen, Inge Schuster, Lothar und Rainer Jaenicke, Dieter Palm, Manfred Schartl, Knud Nierhaus, Nick Lane,

Henning Jessen, Ulrich Schneider und viele andere, deren Namen mir nicht mehr ge-wärtig sind. Ihnen allen danke ich für ihre Informationen und Anregungen.

Dazu kommt noch eine große Menge von wissenschaftlichen und auch populärwissenschaftlichen Publikationen von Autoren, mit denen ich nicht in persönlichem Kontakt stand. Alles in allem waren aber die persönlichen Kontakte für mich und mein Denken immer wichtiger als die wissenschaftliche Literatur. Diskussionen über Einzelfragen und Details stimulierten das eigene Denken ungemein, und daraus ergaben sich oft die entscheidenden Anregungen und Erkenntnisse. Dabei hat man auch Gelegenheit, sich über Ansätze zu informieren, die nicht oder nur ungenügend funktioniert hatten. So etwas wird üblicherweise nicht publiziert und ist meist nur im persönlichen Gespräch erfahrbar.

Eine sorgfältige wissenschaftliche Recherche, Durcharbeitung und Dokumentation erspare ich mir, da dieser Text auf enorm vielen Einzelinformationen beruht, deren Herkunft ich zumeist gar nicht mehr rekonstruieren kann. Zum Teil sind die Quellen auch widersprüchlich, so dass ich manchmal eine Art plausiblen synoptischen Kompromiss konstruieren musste. Das gilt vor allem für die Angaben in der Zeittafel im Anhang D. Dennoch stellte ich neben einer kleinen Liste von mir benutzter Lehrbücher und Tabellenwerke auch eine höchst unvollständige, kurze Literaturliste meiner wichtigsten schriftlichen Quellen zusammen. Dazu kommen noch viele Detailinformationen (z. B. Zahlenwerte), die ich einfach aus dem World Wide Web des Internets holte. Dafür habe ich besonders der Wikipedia-Organisation zu danken.

Folglich ist der vorliegende Text keine im strengen Sinne wissenschaftliche Publikation mit Fußnoten, Zitaten und vollständigem Literaturverzeichnis. Dem Leser wird kein professioneller, wissenschaftlicher, bibliographischer Apparat geboten, er findet nur meine persönliche Bewertung der mir zugänglichen Fakten in freiem Stil. Ich versuche, die wichtigen Prozesse und ihre Logik weitgehend allgemeinverständlich zu beschreiben, aber ganz ohne wissenschaftliche Terminologie geht es leider auch bei populärwissenschaftlichen Texten nicht, wenn sie bewiesene Fakten und ernsthafe Begründungen bieten sollen. Der Text geht auch nicht allzu sehr in die Breite, ich lege hauptsächlich Wert auf die entscheidenden Prinzipien und einige Beispiele.

Auf die Frage, wie man wissenschaftliche Probleme und Ergebnisse am besten erläutern soll, antwortete Albert Einstein: „So einfach wie möglich, aber nicht einfacher.“ Ich bemühe mich, die Grenzen zu beachten, bei deren Überschreitung Vereinfachung zu Verfälschung würde. Bei aller Vereinfachung darf die Korrektheit der Aussagen nicht beschädigt werden. Mein Ziel war, ein wissenschaftlich stringentes Sachbuch zu schreiben, das auch von einem breiten Publikum zum mindesten in den Grundzügen verstanden werden kann. Ob es mir gelungen ist, muss der Leser entscheiden.

Wer die eher basiswissenschaftlichen Details nicht versteht, möge sie einfach überlesen ohne das Gefühl, Wesentliches zu versäumen; der generelle Gang der Argumentation sollte dennoch verständlich sein. Im Anhang E und G werden einige grundlegende Details aus Physik, Chemie und Biochemie für Laien zum Nachschauen oder zum Auffrischen behandelt, auch ein Glossar für Chemie und Biochemie ist

vorhanden. Fachlich informierte Leser werden die ihnen vertrauten Teile des Anhangs überschlagen. Auch Wiederholungen kommen gelegentlich vor, dafür bitte ich um Verständnis.

Dieser Text hatte einen Vorläufer in einer anderen Schrift, in der ich das hier behandelte Thema in kürzerer Form und weniger intensiv abgehandelt hatte. Einige Bekannte und Kollegen, die diese andere Schrift und meine Vorträge über das Thema kannten, vermissten in der allgemein zugänglichen Literatur exaktes wissenschaftliches Material über das Thema der eigentlichen Entstehung des Lebens, also des chemischen Vorspiels zur Biologie und der sich daraus ergebenden Zwänge. Sie meinten, eine Erklärung der chemischen Vorgänge und eine allgemeinverständliche Abhandlung auf der Basis strenger wissenschaftlicher Logik der Chemie und der Physik sei wünschenswert, auch als Hilfe für Studenten und als Einführung ins Studium mancher Fächer. Ich habe mich gern überreden lassen, den hier vorliegenden ausführlicheren Text zu erstellen.

Freiburg im Breisgau, im Mai 2022

Manfred Bühner

