

Ulrich C. Schreiber

Das Geheimnis um die erste Zelle

Dem Ursprung
des Lebens
auf der Spur

SACHBUCH

EBOOK INSIDE



Springer

Das Geheimnis um die erste Zelle

Ulrich C. Schreiber

Das Geheimnis um die erste Zelle

Dem Ursprung des Lebens auf
der Spur

 Springer

Ulrich C. Schreiber
Fakultät für Biologie
Universität Duisburg-Essen
Essen, Nordrhein-Westfalen
Deutschland

Ergänzendes Material zu diesem Buch finden Sie auf <https://www.springer.com/de/book/9783662591826>

ISBN 978-3-662-59182-6 ISBN 978-3-662-59183-3 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-59183-3>

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

© 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.

Planung/Lektorat: Sarah Koch
Einbandabbildung: Deblík, Berlin

Springer 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

Leben ist ein (Kolk-)Strudel im Strom der Entropie
Ulrich C. Schreiber, 11.02.2019

Für Karin, Hanna und Sebastian

Vorwort

Es ist ein Wagnis, ein Projekt über die Entstehung des Lebens zu starten. Schnell werden auf der Suche nach Zugängen und Lösungen Grenzen sichtbar, die unüberwindbar scheinen. Es sind vor allem die des eigenen Wissens. Die Entstehung des Lebens ist kein Forschungsobjekt, das sich in seiner Fülle nur der Biologie, Chemie oder der Biochemie zuordnen lässt. Die Summe aller Fragen, die sich bei der Suche nach Antworten stellen, berührt eine Vielzahl von wissenschaftlichen Disziplinen und hierbei, wie sich schnell herausstellte, besonders die der physikalischen Chemie und der Geologie. Vielleicht ist dies auch der Grund, aus dem die Antworten der Wissenschaft bislang so wenig überzeugend waren. Es fehlte häufig die breit aufgestellte Forschergruppe, die für die Bearbeitung aller Aspekte unbedingt erforderlich ist. All dies wurde schnell deutlich, nachdem im Jahr 2003/2004 die Idee geboren war, einen eigenen und gänzlich neuen Forschungsansatz für die Entstehung

organischer Moleküle in den Bruchzonen der kontinentalen Kruste und letztlich des Lebens zu verfolgen. Es war Oliver Locker-Grütjen, der Leiter des Science Support Centers der Universität Duisburg-Essen, den ich als Ersten mit dieser Überlegung vertraut machte. Wir stimmten schnell überein, dass Spezialisten aus allen Naturwissenschaften nötig waren, um überhaupt eine Chance auf neue Erkenntnisse oder Antworten zu dieser Frage zu erhalten. Im Alleingang war ein solches Unterfangen undenkbar. Oliver Locker-Grütjen kannte viele Kollegen aus verschiedenen Fachbereichen und konnte einschätzen, wer möglicherweise bereit war, sich unkonventionell mit dieser Thematik zu befassen. Nach kurzer Zeit fanden sich mehr als zehn Professoren zusammen, die so viel Interesse an der Frage nach der Entstehung des Lebens hatten, dass sie in Abständen von mehreren Monaten trotz zeitlicher Vollauslastung bereit waren, abends an privat organisierten Treffen teilzunehmen: Die Essener Arbeitsgruppe „Origin of Life“ war geboren.

Seitdem ist viel passiert. Das vorliegende Buch gibt einen Stand der Forschung wieder und – so viel sei vorweggenommen – zeigt anhand eines hypothetischen Modells einen gänzlich neuen Weg für die Bildung einer ersten teilbaren Zelle auf – und dies unter Bedingungen, die realistisch sind und zu gewissen Teilen heute noch in gleicher Umgebung erfolgen. Das Werk erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und Ausschließlichkeit. Aber es kann helfen, Verständnis für notwendige Prozesse zu entwickeln, die zu neuen Experimenten und einem tieferen Zugang dieser wirklich komplexen Materie führen. Denn so viel ist sicher: Bis auf die Anfänge des Universums ist seit Beginn der wissenschaftlichen Zeitrechnung keine naturwissenschaftliche Frage so ungeklärt geblieben wie die über die Entstehung des Lebens.

Jetzt kann es beginnen.

Und noch ein Hinweis: Aus Gründen der besseren Lesbarkeit verwende ich in diesem Buch überwiegend das generische Maskulinum. Dies impliziert immer beide Formen, schließt also die weibliche Form mit ein.

März 2019

Ulrich C. Schreiber

Danksagung

Ein thematisch weitreichendes Sachbuch wie das vorliegende hat eine lange Vorgeschichte. Es gründet sich neben Forschungen im Labor und im Gelände auf viele Treffen und Diskussionen mit Kollegen, in der Universität, auf Tagungen und im privaten Bereich. Allen, die Hinweise, Korrekturen und Hilfestellungen zur Abfassung dieses Sachbuches oder auch Diskussionsbeiträge und Unterstützung in den vorangegangenen Jahren geleistet haben, sage ich meinen herzlichsten Dank. Es sind alphabetisch gereiht die Kolleginnen und Kollegen Prof. Peter Bayer, Prof. Steven A. Benner (Florida), Prof. Volker Buck, Dr. Maria Davila Garvin, Prof. Gerald Dyker, Prof. Matthias Epple, Prof. Hans-Curt Flemming, Prof. Daniel Hoffmann, Prof. Gerhard Jentzsch, Prof. Frank Keppler, Prof. Ute Klammer, Prof. Ralf Littke, Dr. Oliver Locker-Grütjen, Prof. Christian Mayer, Prof. Franco Pirajno (Perth), Prof. Agemar Siehl, Prof. Torsten Schmidt, Prof. Oliver J. Schmitz, Prof. Heinfried Schöler,

XIV Danksagung

Prof. Jörg Schröder, Prof. Bernd Sures, Dr. Jonathan Williams und die vielen konstruktiven Tippgeber, die sich im Laufe der Jahre zu diesem Thema geäußert haben. Meinen besonderen Dank spreche ich der Leitung der Universität Duisburg-Essen aus, die das Projekt engagiert unterstützt hat.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Die Entstehung des Lebens – warum ist die Frage danach für uns so wichtig?	1
1.2	Was ist eigentlich Leben?	4
1.3	Wer war LUCA?	7
1.4	Der Einstieg	10
	Literatur	19
2	Globale Voraussetzungen	21
2.1	Erste Voraussetzung: Die Planeten und eine Sonne mit System	21
2.2	Zweite Voraussetzung: Die Erde – eine Materialsammlung für den Start	24
2.3	Dritte Voraussetzung: Das Wasser	30
2.4	Vierte Voraussetzung: Eine dauerhafte Atmosphäre	32
2.5	Wie ging es weiter?	36
	Literatur	44

3	Die engeren Rahmenbedingungen: Die Chemie, die Physik und die physikalische Chemie, ohne sie geht es nicht	47
3.1	Die chemischen Ressourcen des Lebens	47
3.2	Die Chemie hat ihre eigenen Gesetze	55
3.3	Katalysatoren beschleunigen die Reaktion erheblich	57
3.4	Verdünnung – keine Reaktion ohne Konzentration	59
3.5	Entropie und kein Ende	61
3.6	Chiralität – was ist das denn?	65
	Literatur	70
4	Wirklich hilfreich: Ein kurzer Abriss zu Abläufen in heutigen biologischen Zellen	71
4.1	Das Problem der Eingrenzung	71
4.2	Der Informationsspeicher, ohne Nullen und Einsen	79
4.3	Wie wird in der Zelle die gespeicherte Information umgesetzt?	85
	Literatur	94
5	Die bisherigen Modelle: Das Sichten des großen Nebels	95
5.1	Von der Antike bis zur modernen Wissenschaft	96
5.2	Die modernen Anfänge	97
5.3	Der Versuch von Harold C. Urey und Stanley L. Miller	98
5.4	Der Damm war gebrochen	101
5.5	„Black Smoker“ – eine Parallelwelt	102
5.6	Eine neue Entdeckung – die „White Smoker“	105
5.7	Die Suche ging weiter – warme Tümpel	109

5.8	Panspermie – Weltraumsamen	114
5.9	Weitere Überlegungen	119
	Literatur	120
6	Die RNA-Welt: Der Start mit einem ganz besonderen Molekül?	123
6.1	Die RNA, ein Molekül mit Fähigkeiten	123
6.2	Probleme der RNA-Welt	128
	Literatur	129
7	Das neue Modell: Hydrothermale Systeme der frühen kontinentalen Kruste	131
7.1	Die kontinentale Kruste – zerbrechlich und gestört	131
7.2	Überkritische Gase – Dampf unter Druck?	142
7.3	Es gibt ihn doch: Ein Nachweis aus der Natur	152
7.4	Sie sind möglich: Experimente zum Krustenmodell	157
	Literatur	166
8	Ein hypothetischer Ansatz: Hydrothermale Systeme der frühen kontinentalen Kruste	167
8.1	Die Suche nach dem Weg	167
8.2	Phase I – Bildung und Anreicherung	173
8.3	Phase II – der Auswahlprozess	180
8.4	Phase V (vorgezogen) – ein möglicher Start des Lebens	187
8.5	Phase VI – LUCA wird sichtbar	208
8.6	Phase III – Anleihen an die RNA-Welt	216
8.7	Phase IV – der Lückenschluss	224
8.8	Kann es so gewesen sein?	233
	Literatur	238

XVIII Inhaltsverzeichnis

9	Nach LUCA: Wie ging es weiter?	241
9.1	Der Siegeszug beginnt	241
9.2	Der Kontakt unterschiedlich entwickelter Zellen	244
9.3	Und die Viren?	247
	Literatur	248

Zusatzmaterial

Ein zusammenfassendes Poster (auf Englisch) ist abrufbar unter: <https://www.springer.com/de/book/9783662591826>

From Molecules to Pre-LUCA-World

Ulrich C. Schreiber, Christian Mayer

Auf der gemeinsamen Tagung der Deutschen Astrobiologischen Gesellschaft (DAbG) und der European Astrobiology Network Association (EANA) vom 24. bis 28. September 2018 wurde erstmals eine unter realistischen Bedingungen mögliche Entwicklung einer Zelle aus einfachen organischen Molekülbausteinen vorgestellt. In dem Poster sind sechs Entwicklungsstadien skizziert, die sich auf fluidführende Bruchzonen der kontinentalen Kruste projizieren lassen. Schwerpunkt ist die Tiefe von ca. 700 bis 1000 m, in der in CO_2/N_2 -führenden Mofetten der Übergang von überkritischen zu unterkritischen Gasen erfolgt. Druckschwankungen durch Erdzeiten oder Kaltwassergeysirausbrüche variieren die Tiefenlage des Phasenübergangs.



1

Einführung

Inhaltsverzeichnis

1.1 Die Entstehung des Lebens – warum ist die Frage danach für uns so wichtig?	1
1.2 Was ist eigentlich Leben?	4
1.3 Wer war LUCA?	7
1.4 Der Einstieg	10
Literatur	19

1.1 Die Entstehung des Lebens – warum ist die Frage danach für uns so wichtig?

Können wir als Menschen nicht einfach akzeptieren, dass das, was vor Urzeiten einmal gebildet wurde, heute vorhanden ist, ohne genau zu wissen, wie und warum? Nein, das können wir nicht. Die Entwicklung des Menschen und somit die Entwicklung eines abstrakt denkenden

Organs, des Gehirns, führt zwangsläufig zu Fragen über alles, was in dem Umfeld dieses Gehirns passiert. Das war seit einem bestimmten Zeitpunkt der Entwicklung immer so. Es gab Fragen, die instinktiv beantwortet werden konnten. Warum erkennt in dem einen Fall das Wild kurz nach dem Eintreffen des Jägers, dass dieser naht? In einem anderen Fall bei gleicher Deckung und gleicher Distanz ist es unbekümmert und lässt sich leicht erlegen. Die Antwort brachte die Erfahrung, die nach vielen Versuchen zeigte, dass die Windrichtung die entscheidende Rolle spielte. Andere Fragen, über die Ursachen von Blitz und Donner, Regenbögen, Krankheit, Tod und vieles anderes waren nicht zu klären und wurden als gegeben akzeptiert. Sie fanden ihren Platz im Bereich des nicht Beherrschbaren, des Göttlichen, über dem Menschen Stehenden. Es war eine sehr erfolgreiche Methode, um die Belastung der Psyche mit zurzeit nicht zu beantwortenden Fragen zu verringern.

Mit der Etablierung naturwissenschaftlicher Prinzipien im menschlichen Denken änderte sich die Art der Beantwortung von Fragen. Eine stimmige Antwort verlangte einen Nachweis, der reproduzierbar und allgemeingültig war. Eine Aussage über die Anziehungskraft der Erde musste auf jedem Kontinent oder im Falle der Ozeane auch auf Schiffen gültig sein. Für uns ist es heute eine Selbstverständlichkeit, dass Gegenstände überall auf der Erde im freien Fall in Richtung des Erdmittelpunktes beschleunigt werden. Das zugehörige physikalische Gesetz, das Newton in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts formulierte, ist als Gravitationsgesetz bekannt und wurde im 20. Jahrhundert durch Einsteins allgemeine Relativitätstheorie ergänzt. Durch diese naturwissenschaftlichen Gesetze wissen wir, dass Massen sich gegenseitig anziehen, überall, im gesamten Weltall. Kein noch so charismatischer Heilsversprecher oder Verschwörungstheoretiker

kann heute der breiten Bevölkerung vorgaukeln, dass es auf dem Mond oder anderen Planeten nicht der Fall ist.

Die naturwissenschaftliche Denkweise führte dazu, dass die Dinge, die über lange Zeit als gegeben akzeptiert waren, dem göttlichen Modell nach und nach entrissen wurden. Es ist den Naturwissenschaften zu verdanken, dass wir nur noch wenige Dinge in unserer Gedankenwelt haben, deren Erklärung von einem Teil der Bevölkerung als von Gott geschaffen angesehen wird. Der eine Punkt hierbei ist der Urknall, der sich vor einigen Jahrzehnten als ein Erklärungsmodell für die Entstehung des Weltalls etabliert hat und eine Besonderheit darstellt. Es ist überhaupt erst der Physik zu verdanken, dass dieser Aspekt auf die Tagesordnung gesetzt wurde. Er eröffnet ein Dilemma, das durch folgende Tatsache begründet ist: Das Erklärungsmodell Urknall ist das Ergebnis einer konsequenten physikalischen Betrachtung der Prozesse, die nach dem postulierten Urknall bis in die heutige Zeit stattgefunden haben, ohne göttliches Einwirken. Die Schwierigkeiten, den eigentlichen Start des Urknalls physikalisch zu beschreiben, werden aber selbst von einigen Naturwissenschaftlern als Grund genommen, diesen Punkt als gottgegeben zu fordern – wieder, weil es noch keine eindeutige Erklärung hierfür gibt. Inzwischen wurden für die Entstehung des Weltalls alternative Vorstellungen entwickelt, die ein unendlich schwingendes Ausdehnen und Zusammenziehen beinhalten, ohne dass es dabei zu einem einzigen Urknall als Anfangsstadium gekommen sein muss [1, 2]. Einfacher ist es durch diesen Ansatz nicht geworden.

Der zweite ungeklärte Punkt ist die eingangs gestellte Frage, wie das Leben auf der Erde entstanden ist. Es ist die Frage, die vermutlich die Menschheit bewegt, seitdem sie die Fähigkeit besitzt, Fragen zu stellen. Hiermit verbunden sind unmittelbar das „Warum?“, das „Wohin?“ und die

Überlegung, welchen Sinn das Leben überhaupt hat. In einer Welt, in der es intelligente, denkende Wesen gibt, aber naturwissenschaftliche Prinzipien unbekannt sind, müssen Lösungen für die Beantwortung großer Fragen auf andere Art und Weise gefunden werden. Die Lösung hieß von Beginn an Religion. Sie gab und gibt auch heute noch Antworten für die Themen, die nicht mit einfachen Erfahrungen der Alltagswelt für jeden selbst erschlossen werden können. Hierbei kommt es nicht auf den Wahrheitsgehalt oder die Reproduzierbarkeit der Aussagen an. Wichtig ist das Beruhigen der eigenen Unsicherheit und des Angstgefühls, die durch das Nachdenken in diesen „unfassbaren“ Sphären unweigerlich entstehen.

1.2 Was ist eigentlich Leben?

Neben grundsätzlichen Kenntniserwartungen hat erst die Naturwissenschaft dazu beigetragen, die Komplexität des Lebens darzustellen und eine Fülle von unbeantwortbar scheinenden Fragen aufzuwerfen. Hierbei zeigte sich, dass das für uns so selbstverständlich existierende Leben erstaunlicherweise nur schwer zu definieren ist.

Brauchen wir uns nicht einfach nur umzusehen, um zu erkennen was Leben ist? Nein, so einfach ist es nicht. Es gibt noch keine allumfassende Definition in der Wissenschaft, die das Leben und somit auch den Startpunkt des Lebens erklärt. Hierin besteht ein großer Unterschied zur Chemie und Physik, für die es zum Beispiel Theorien zur Erklärung von Materie oder von wirkenden Kräften gibt. Aber man kann Kriterien bzw. Kennzeichen angeben, die zumindest Schlüsselmerkmale des Lebens darstellen und von allen Disziplinen der Naturwissenschaften akzeptiert werden. Es sind zwangsläufig diejenigen physikalisch-chemischen Eigenschaften, die ein lebendes biologisches

System ausmachen. Und hier wird bereits sichtbar: Es soll sich um ein System handeln, das unseren Kenntnissen der Biologie entspricht. Sicher können einige der Kennzeichen auch in nicht biologischen Systemen auftreten; die Kombination und Gleichzeitigkeit aber schärft die Definition zu einer Beschreibung des Lebens.

An erster Stelle des Kriterienkatalogs steht die Existenz mindestens einer Zelle, ein Kompartiment, das durch eine Zellmembran umschlossen ist. Hierin finden die biochemischen Reaktionen statt, die verhindern, dass die Zelle abstirbt, oder, anders ausgedrückt, die dafür sorgen, dass sie am Leben bleibt. Für die biochemischen Reaktionen werden ein Informationsspeicher, ein Stoffwechsel zur Aufnahme von Energie und zum Austausch von Molekülen aus der Umgebung sowie Katalysatoren für effiziente chemische Reaktionsketten vorausgesetzt. Mit einer genau abgestimmten Regulation führt das Zusammenspiel aller Komponenten zur Reproduktion der Zellbestandteile, zu Wachstum und Vermehrung der Zelle durch Teilung. Hinzu kommt die Fähigkeit zur Anpassung an veränderte Umweltbedingungen und zur Entwicklung zu komplexeren Molekülgruppen.

Hierzu ein kleiner Randgedanke: Was wäre, wenn wir alle funktionierenden Zellbestandteile von Trilliarden Zellen (bis auf die Zellmembranen) in einen großen Behälter oder in ein fast geschlossenes Loch in der Erde geben und mit Energie, Zu- und Abfuhr von notwendigen Molekülen versorgen? In diesem Behälter würden alle Prozesse, die sonst in einer Zelle ablaufen (aber ohne zellmembran-bezogene Reaktionen) weiter stattfinden. Die vielfältigsten Produkte könnten über Fließwege in andere Räume gelangen und sich somit insgesamt vermehren. Würden wir dieses System Leben nennen? Wir könnten uns auf den Standpunkt stellen, nicht darüber nachdenken zu müssen, weil der Molekülcocktail sich natürlich nicht

vermehrten kann. Aber der Gedanke ist trotzdem wichtig, weil wir am Ende dieses Buches Modellvorstellungen über die Anfänge der organischen Chemie bis zu Bildung von Vesikeln und Zellen bekommen, die genau so einer Situation nahekommen und einer Abgrenzung bedürfen.

Der theoretische Physiker Gerald Feinberg und der Chemiker Robert Shapiro versuchten bereits 1980 das Prinzip Leben allgemeingültig auch für andere mögliche Lebensformen im Weltall zu fassen. Sie kommen zu dem Schluss, dass das Leben durch Wechselwirkungen zwischen freier Energie und Materie entsteht. Die Materie ist auf diese Weise imstande, eine größere Ordnung innerhalb des gemeinsamen Systems zu erreichen [3].

Heute können wir uns eine Kolonie von Robotern vorstellen, welche die Rohstoffe, aus denen sie bestehen, selbstständig gewinnen, zu Bauteilen verarbeiten und mit ihnen sich selbst reproduzieren. Sie hätten eine Computersteuerung, jeder für sich eine äußere Hülle und zur Energiegewinnung Solarzellen am Körper. Der Stoffwechsel wäre durch die gesamte Kolonie definiert, eine künstliche Intelligenz würde die Anpassung an veränderte Umweltbedingungen gewährleisten. Das Gros der Bauteile könnte sogar aus organisch-chemischen Komponenten bestehen. Im Unterschied zum biologischen Leben, das sich auf physikochemischer Grundlage selbst entwickelt hat, wäre eine Roboterkolonie das Ergebnis einer Erschaffung durch den Menschen. Würden wir diese Kolonie dem Leben zurechnen?

Es wird sichtbar, dass es Grenzbereiche gibt, die einer längeren Diskussion bedürfen. Von einem bestimmten Zeitpunkt an war der Schritt zum Leben, so, wie wir es kennen, vollzogen. Im Zeitraum davor muss ein Übergang von der rein physikochemischen zur informationsgesteuerten organischen Molekülbildung stattgefunden haben. Dieser wichtige Zeitabschnitt wird in Abschn. 8.3

weiter eingegrenzt. Zwei weitere Beispiele sollen zeigen, wie schwierig es ist, das Leben eindeutig mit wenigen Worten zu beschreiben. Eine Expertengruppe um den Chemiker Gerald Joyce prägte die Definition: „Leben ist ein sich selbst erhaltendes chemisches System, welches die Fähigkeit zur Darwinschen Evolution besitzt.“ [4] Sie wird auch von der US-Raumfahrtbehörde NASA als Arbeitsdefinition geführt. Stuart Kauffman, ein US-amerikanischer theoretischer Biologe, sieht dagegen die Selbstorganisation im Mittelpunkt: „Leben ist ein zu erwartendes, kollektives Vermögen katalytischer Polymere zur Selbstorganisation.“ [5].

Die Definitionen von Joyce und Kauffman stellen die chemischen Systeme in den Vordergrund, die somit technische Formen der Selbstorganisation ausgrenzen. Die Definition von Kauffman ließe allerdings das Gedankenexperiment der Molekülsuppe in einem größeren Gefäß durchaus als Leben zu. Die Gemeinschaft von Robotern, die letztlich durch Menschen erschaffen werden könnte, würde nach biologischen Gesichtspunkten schon fast an Leben heranreichen.

Die Suche nach einer Definition ist aus dem Blickwinkel der Astrobiologie bedeutend, da auf der Suche nach Leben im Weltraum die Frage auftauchen könnte, welche Anzeichen für Leben wir als solches akzeptieren können.

1.3 Wer war LUCA?

Wir haben aufgrund biochemischer Daten gute Gründe anzunehmen, dass sämtliche auf der Erde existierenden Lebewesen von nur einem einzigen Vorfahren abstammen. Es muss eine Zelle gewesen sein, die es zum ersten Mal schaffte, zu wachsen und sich zu teilen, ohne dass die

Tochterzellen gleich wieder abstarben. Die Nachkommen mussten so lange überleben, bis sie sich selbst wieder geteilt hatten – ein Prozess, der bis heute fort dauert. Diese erste Zelle wird LUCA genannt (Last Universal Common Ancestor), der letzte gemeinsame Vorfahre aller lebenden Pflanzen, Pilze und Tiere, inklusive der Menschen. Für die Bildung von LUCA muss es bereits lange vorher eine fortwährende Produktion von Molekülen gegeben haben, die die notwendigen Grundbausteine für das Experiment Leben bereitstellten. Hierzu gehören die organischen Basen wie Adenin oder Guanin, Aminosäuren oder die Lipide, die für den Aufbau der Zellwände erforderlich sind.

Bausteine allein reichen aber nicht. Benötigt wurden Reaktionsräume, in denen die Versuche zum Zusammenbau komplexerer Verbindungen ablaufen konnten. Es reichten kleine Kavernen oder Porenräume, in denen eine Anreicherung der Moleküle stattfinden konnte. Ihre Konzentration muss mindestens so hoch gewesen sein, dass sie sich untereinander genügend oft trafen und miteinander reagieren konnten. Gefordert war eine sehr große Anzahl von kleinsten Laboratorien – untereinander verknüpft, mit wechselnden Bedingungen, Materialnachschub und einer Müllabfuhr für nicht brauchbare Bestandteile. Hohe Molekülkonzentrationen bergen allerdings auch ein neues Problem: Die Variation, die Anzahl unterschiedlicher Moleküle ist so groß, dass es besonderer Prozesse der Auswahl bedarf, um für das Leben funktionsfähige Verbindungen herauszukristallisieren. Unter solchen Bedingungen muss sich die biologische Zelle LUCA gebildet haben, das erfolgreichste System, das jemals auf der Erde entstanden ist. Von ihr ausgehend wurde fortan der Planet Erde in eine einzigartige Entwicklung geführt.

Die Zusammensetzung der Atmosphäre änderte sich durch Photosynthese betreibende Bakterien und Pflanzen

deutlich. Während Kohlenstoffdioxid (CO_2) verringert wurde, stieg der Sauerstoffgehalt kontinuierlich an. Organische Säuren, später Pflanzenwurzeln und tierische Aktivitäten trugen zu einer stärkeren Verwitterung bei. Die Folge war auf der einen Seite eine verstärkte Erosion, auf der anderen Seite mit Einsetzen einer Bodenentwicklung und der Ausbildung einer Pflanzendecke eine Verzögerung der Abtragungsprozesse. Hierdurch änderten sich der Wasserhaushalt der Fließgewässer, die Art der Sedimente und deren Transport. Organogene Sedimente wie Kohle und Riffkalke entstanden, was über den Kohlenstoffdioxidhaushalt wieder direkten Einfluss auf die Zusammensetzung der Atmosphäre hatte.

Und schließlich trat der Mensch auf die Bühne, der in kurzer Zeit Veränderungen herbeiführte, die in ihrer Tragweite nur noch mit einem großen Meteoriteneinschlag zu vergleichen sind. Alles was wir heute auf der festen Erdoberfläche sehen, ist letztlich das Ergebnis der erfolgreichen Vermehrung von LUCA. Selbst Gebirge hätten ohne LUCA heute ein anderes Aussehen, frei von biogenen Kalksteinen und oxidierten Eisenmineralen, mit anderen Erosionsformen und ohne Flechten und Bakterienfilme. Es gibt vielleicht eine kleine Ausnahme, die wir noch erkennen können. Es sind die ganz jungen Vulkanbauten, die ohne Bewuchs aus der Landschaft ragen. Aber auch hier hat an vielen Stellen LUCA bereits seine Finger im Spiel gehabt. Weithin sichtbar sind die häufig roten Oberflächen der Laven, deren eisenhaltige Minerale durch den Luftsauerstoff oxidiert wurden. Sie sind Belege einer Veränderung der Atmosphäre, die vor mehr als 2,4 Mrd. Jahren eingesetzt hat, als die massenhafte Produktion von Sauerstoff durch Cyanobakterien zu einer ständig wachsenden Konzentration in der Lufthülle führte.

1.4 Der Einstieg

„Wie ist eigentlich das Leben entstanden?“ Diese Frage ging in die kleine Runde aus Wissenschaftlern, die sich in Essen in der Mensa der Universität zum ersten Mal versammelt hatten. Die Kollegen sahen sich an und zuckten die Schultern. „Das ist viel zu lange her, um es herauszufinden. Man kann doch nur spekulieren, nichts ist richtig fassbar, sämtliche Rahmenbedingungen liegen völlig im Nebel“, so die einhellige Meinung. „Aber dazu treffen wir uns gerade, um überhaupt erst einmal darüber zu sprechen“, überlegte einer der Kollegen. „Ich habe da so einen Verdacht“, warf ich vorsichtig ein und begann mit einem Bleistift auf einer Serviette das Modell einer tektonischen Bruchzone zu skizzieren ...

Haben wir uns die Frage nach der Lebensentstehung nicht alle schon einmal gestellt? Jedenfalls diejenigen von uns, die naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten als die Basis unserer Existenz ansehen? Die bisherigen Antworten sind schwammig. Und es geht nicht nur um den Beginn des Lebens. Genauso wichtig ist es, die Startphase des Planeten zu klären, von der überhaupt erst die Voraussetzungen geschaffen wurden, dass das Leben entstehen konnte. Und noch weiter zurückblickend ist der Anfang des Sonnensystems von elementarer Bedeutung. Mit seiner Entwicklung sind entscheidende Einflüsse verbunden, die bis heute grundlegende Prozesse auf der Erde bestimmen. Die Anfänge liegen so weit zurück, dass wir zu wenig von der jungen Erde wissen, über die Einflüsse von außen, über die Prozesse im Erdinneren und an der Oberfläche. Es gibt zahlreiche Hypothesen zum Leben, keine ist allgemein anerkannt. Schnell drängte sich der Schluss auf, dass die Frage nach dem Ursprung des Lebens eine der kompliziertesten der Wissenschaft ist. Unlösbar! Also lassen wir es darauf beruhen?

Nein, lassen wir nicht – so die einhellige Meinung der Kollegen, die sich nach der ersten Mensarunde mit einer neuen Idee für den Entstehungsort des Lebens von jetzt an regelmäßig mit mir trafen. Es war der Reiz, an etwas völlig Unbekanntem, mit unendlich vielen Fragezeichen behaftetem zu forschen. Dies verband die Gruppe, ohne dass es einen Zwang gab, zu einem bestimmten Zeitpunkt Ergebnisse abliefern zu müssen. Allein die Neugier zu befriedigen, vielleicht einen kleinen Abschnitt im Prozess zu erkennen und einen ersten Schritt in Richtung einer möglichen Lösung zu gehen – das war die Sache wert.

Die Suche nach einem Einstieg in das Thema „Ursprung des Lebens“ machte aus naturwissenschaftlicher Sicht sofort deutlich, dass die Komplexität des Lebens von nichts anderem, das wir kennen, übertroffen wird. Das Leben umfasst unser gesamtes irdisches Weltbild. Es ist in seiner Vielschichtigkeit so weit entwickelt, dass zum Erkennen einzelner Abläufe einfache Erklärungsversuche fast unmöglich scheinen. Für die Entwicklung bis zum Jetzt war Zeit notwendig, eine Zeit, die jeden menschlichen Erfahrungshorizont unendlich weit übersteigt. Vielleicht 3,5 Mrd., vielleicht 3,8 Mrd. Jahre oder mehr. Dieser gewaltige Zeitraum, der anscheinend für die Entwicklung eines abstrakt denkenden Wesens notwendig war, macht den Zugang zum Verständnis über die ersten Schritte bis zum Heute so schwierig. Gerade die Anfangsphase liegt in einem dichten Nebel, der undurchdringbar scheint. Es gab bislang zu viele Unbekannte, die das Umfeld der Lebensentstehung so kompliziert machen. Was wissen wir eigentlich genau über die Bedingungen der frühen Erde? Welche Zusammensetzung hatte die Uratmosphäre oder das Wasser des Ozeans? Welche Anteile organischer Moleküle kamen aus dem Weltall mit den Meteoriten oder Kometen, wie viel Landoberfläche gab es bis zu welchem Zeitpunkt? Welchen Einfluss hatte der Mond nach seiner Bildung?