



Gehört Leben zum natürlichen Verlauf der kosmischen Evolution?

Facharbeit im Seminarfach Astronomie

Greselius Gymnasium Bramsche

Lena Timper, Jahrgang 12

Fachlehrer: Herr Riemer

Abgabedatum: 02.03.2026

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Voraussetzungen für Leben im Universum.....	2
2.1	Chemische Voraussetzungen.....	2
2.2	Physikalische Voraussetzungen.....	3
3	Leben als Teil der kosmischen Evolution	4
3.1	Abiogenese und Biogenese	4
3.2	Theorien zur Entstehung des Lebens	4
3.2.1	Die Ursuppentheorie (Miller-Urey-Experiment)	4
3.2.2	Die RNA-Welt-Theorie.....	6
3.2.3	Lipid-Welt-Theorie	6
4	Leben: Ausnahme oder die Regel?.....	7
4.1	Leben als Zwangsläufigkeit	7
4.1.1	Zeitfaktor der Abiogenese	8
4.1.2	Erdähnliche Planeten und Bausteine des Lebens	9
4.1.3	Verringerung der Komplexität	10
4.1.4	Thermodynamik	12
4.2	Leben als Zufallsprodukt	12
4.2.1	Lotteriegewinn Leben – Jacques Monod	12
4.2.2	Das Fermi-Paradoxon	13
5	Fazit.....	15

1 Einleitung

Seit der Entstehung des Universums hat sich Materie in immer komplexeren Strukturen organisiert. Über unvorstellbar lange Zeit entstanden aus Staub und Gasen erste Sterne, aus diesen bildeten sich später Galaxien und schließlich Planeten [vgl. 24] mit vielfältigen physikalischen und chemischen Bedingungen. Ausgehend von den etwa zwei Billionen Galaxien im beobachtbaren Universum, vermuten Forscher eine Anzahl von rund 7×10^{20} Gesteinsplaneten [vgl. 9]. Diese Zahl entspricht einer Sieben mit 20 Nullen und gleicht damit etwa der Menge aller Sandkörner auf der Erde¹. Die Vielzahl an Planeten, die potentiell als Lebensräume dienen könnten, ist somit unvorstellbar groß und dennoch ist es möglich, dass keiner dieser Himmelskörper das hervorgebracht hat, was für uns selbstverständlich scheint: Leben.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob Leben nur das Ergebnis einer Aneinanderreihung von Zufällen und somit einzigartig ist oder aber eine notwendige Konsequenz der kosmischen Evolution darstellt. Die einwandfreie Beantwortung dieser Frage ist der Menschheit trotz intensiver Auseinandersetzung bis heute noch nicht gelungen. Daher wird auch diese Facharbeit keine eindeutige Antwort liefern können, soll aber ein Versuch der Annäherung daran sein.

Die Grundlage dafür bilden erst einmal die allgemeinen Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen, damit Leben im Universum potenziell entstehen kann. Darauf aufbauend wird die Entstehung des Lebens als Teil der Evolution beleuchtet, um zu verstehen, woher es kommt und wie es entstehen konnte. Hierbei sollen verschiedene Theorien zur Entstehung angeführt und gegebenenfalls durch experimentelle Hinweise gestützt werden. Nachdem diese Grundlagen geklärt sind, wird der Fokus auf die zentrale Frage des Lebens als zwangsläufiges Produkt der Evolution gelenkt. Dabei sollen Vorgänge im All und Häufigkeiten Aufschluss über die Wahrscheinlichkeit von Leben geben und den skeptischen Gegenpositionen gegenübergestellt werden. Im Verlauf wird sich außerdem die Frage klären, warum die eindeutige Beantwortung der Zielfrage so komplex und anspruchsvoll ist und daher bis heute unmöglich bleibt. Am Ende folgt ein abschließendes Fazit.

¹ Inhalt mit KI generiert, siehe KI-Verzeichnis [26]

2 Voraussetzungen für Leben im Universum

Schenkt man dem Biologen und Physiologen George Wald Glauben, so muss man davon ausgehen, dass Leben ein universelles Phänomen ist und somit überall dort entsteht, wo die Bedingungen günstig sind [vgl. 1]. Unumstritten war dies mindestens einmal der Fall, als vor mehr als dreieinhalb Milliarden Jahren Leben auf der Erde entstand [vgl. 3]. Doch welche chemischen und physikalischen Voraussetzungen waren dafür nötig und könnten das Leben auch auf anderen Planeten möglich machen?

2.1 Chemische Voraussetzungen

Alles, was uns bekannt ist, setzt sich aus den verschiedenen Elementen des Periodensystems zusammen [25, vgl. 01:04-01:19] ohne die die Entstehung von Materie und Leben schlicht unmöglich wäre. Bei der Bildung und Verbreitung dieser Elemente spielen Sterne und Supernovae eine entscheidende Rolle.

Durch die Zusammenlagerung von umherschwirrenden Protonen und Elektronen entstanden Wasserstoff und Helium bereits früh nach dem Urknall. Über lange Zeit lagerten sich diese einfachen² Elemente zu immer größer werdenden Massen an: die ersten Sterne entstanden.

Die fortlaufende Verdichtung der jungen Sterne führt dabei zu extremen Temperaturen und der Druckerhöhung im Kern des Sterns, wodurch es zur Kernfusion im Inneren kommt. Durch diesen Prozess, bei dem zwei leichte Atomkerne zu einem neuen schwereren Kern verschmelzen, können bis zu 23 verschiedene schwere Elemente³ entstehen [25, vgl. 04:03-05:30]. Besonders entscheidend ist dabei die Entstehung der sogenannten „CHNOPS- Elemente“⁴, die rund 98% der lebenden Materie auf der Erde ausmachen und daher auch als „Grundbausteine für Planeten und das Leben selbst“ bezeichnet werden [vgl. 5]. Ohne diese Stoffe gäbe es beispielsweise keinen Sauerstoff zum Atmen und für den Bau der DNA würde der Stickstoff fehlen.

Freigesetzt werden können diese Elemente allerdings in den meisten Fällen erst, wenn ein Stern seinen nuklearen Brennstoff⁵ aufgebraucht hat. Ist dieser Zeitpunkt

² Bezeichnung als einfach aufgrund des minimalen Kerns

³ Astronomisch betrachtet alle Elemente schwerer als Helium

⁴ Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Phosphor und Schwefel

⁵ Primär Wasserstoff

erreicht, kommt es zur Supernova, was bedeutet, dass der Stern explodiert und in Folge dessen die enthaltenen Elemente ins All schleudert [vgl. 6]. Somit stehen die Elemente frei in Form von Sternenstaub im Universum zur Verfügung, um neue Reaktionen eingehen zu können, die potenziell entscheidend für die Entstehung von Leben sind.

2.2 Physikalische Voraussetzungen

Neben den chemischen Voraussetzungen, muss ein Planet gewisse lebensfreundliche Bedingungen erfüllen, damit er als möglicher Lebensraum dienen kann. Da einige dieser Bedingung jedoch umstritten sind, beschränke ich mich hier auf die am häufigsten anerkannten.

Eine der wohl bekanntesten Voraussetzungen, die unsere Erde zu einem so vorteilhaften Planeten für Leben macht, ist das Vorhandensein von Wasser als wichtigste Verbindung für dessen Entstehung. Auch andere Himmelskörper in unserem Sonnensystem, wie beispielsweise der Eismond Europa, erfüllen diese Bedingung. Allerdings ist es für die Entstehung von Leben von hoher Bedeutung, dass Wasser in flüssige Form vorliegt, um seine Aufgabe als Lösungsmittel erfüllen und damit bestimmte Reaktionen ermöglichen zu können. Damit Wasser im flüssigen Aggregatzustand existieren kann, muss ein Planet eine stabile Umlaufbahn in einer habitablen Zone⁶ besitzen [vgl. 16]. Das bedeutet, dass ein Planet weder zu nah noch zu weit vom nächsten Stern entfernt sein darf, um gemäßigte Temperaturen und somit flüssiges Wasser gewährleisten zu können. Wichtig ist dabei außerdem der jeweilige Sternentyp, da die ausgesandte Strahlung einiger Sterne das Umfeld lebensfeindlich macht [vgl. 13].

Zudem muss der Planet selbst dazu in der Lage sein, ausreichend Schwerkraft auszuüben, um eine Atmosphäre an sich zu binden. Diese gewährleistet zum einen die Luft zum Atmen und zum anderen den Schutz vor lebensbedrohlicher kosmischer Strahlung, die sowohl die Entstehung als auch das Fortbestehen von Leben verhindern würde.

Auch ein stabiles Magnetfeld, wie es die Erde besitzt, ist nötig um sowohl vor tödlicher kosmischer Strahlung, als auch vor möglichen Sonnenwinden zu schützen. Es nimmt also die Rolle als „Schutzschild des Lebens“ ein [vgl. 16].

⁶ Zone, in der Wasser auf Planeten in flüssiger Form existieren kann/bewohnbare Zone

3 Leben als Teil der kosmischen Evolution⁷

Die Frage danach, wie Leben entstanden ist und ob es neben der Erde auch noch anderswo im Universum entstanden sein könnte, ist fast so alt wie die Menschheit selbst. Dennoch ist es bis heute immer noch nicht möglich, mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu sagen, wie Leben im Allgemeinen entsteht oder ob es überhaupt auf einem universellen Phänomen beruht. Diese Tatsache ist mitunter einer der Gründe, warum die Entscheidung zwischen Zufall und Notwendigkeit der Entstehung so schwierig ist.

3.1 Abiogenese und Biogenese

Grundsätzlich unterscheidet man zwei unterschiedliche übergeordnete Ansätze, die die Entstehung des Lebens auf der Erde beschreiben: Biogenese und Abiogenese.

Als Biogenese bezeichnet man die wissenschaftliche Erkenntnis, dass Lebewesen heute nur aus bereits existierenden Lebewesen hervorgehen können. Sie ist also das Prinzip, nach dem das Leben seit seiner Entstehung dauerhaft funktioniert und besagt so viel wie „Alles Leben ist vom Leben“.

Bei der Entstehung selbst ist die Abiogenese von Bedeutung. Unter ihr versteht man den hypothetischen⁸ Prozess, bei dem aus unbelebten, chemischen Stoffen die ersten lebenden Organismen entstanden. Sie geschah vermutlich nur am absoluten Beginn der Lebensgeschichte und wäre damit eine Erklärung für den Übergang von unbelebter zu belebter Materie [vgl. 19].

3.2 Theorien zur Entstehung des Lebens

Theorien dazu, wie Leben entstanden sein könnte, gibt es zahlreiche, wirklich gesichert ist davon aber keine einzige. Wahrscheinlich ist es, dass die Wahrheit sich irgendwo zwischen den einzelnen Theorien bewegt und möglicherweise eine Kombination aus ihnen ist. Um den Umfang einhalten zu können, werde ich nur auf die drei bekanntesten unter ihnen eingehen.

3.2.1 Die Ursuppentheorie (Miller-Urey-Experiment)

Die Ursuppentheorie ist eines der hypothetischen Modelle, auf das man am häufigsten trifft, wenn man sich damit auseinandersetzt, wie Leben aus unbelebter

⁷ Entwicklung unbelebter Materie, nicht zu verwechseln mit der Evolution nach Charles Darwin (Evolution von Lebewesen)

⁸ Wissenschaftlich nicht belegt, allerdings die gängigste Annahme

Materie entstehen konnte. Die Grundidee der beiden Forscher John B. S. Haldane und Alexander I. Oparin bestand darin, dass Leben nicht erschaffen werden musste, sondern das Ergebnis einer langen chemischen Evolution war. Sie gingen davon aus, dass die Erde damals die richtigen Umstände bot, sodass aus einfacher Chemie die Biologie hervorgehen konnte. Ihrer Vermutung nach war es möglich, dass sich organische Moleküle durch einfache chemische Reaktionen bilden und verdichten konnten. Für den Ablauf dieser Reaktionen wären demnach nur einfache Elemente aus der Atmosphäre und die Bereitstellung von Energie durch Blitze und UV-Strahlung notwendig. Die entstandenen Moleküle gelangten der Vorstellung nach ins Wasser, wo sie sich lösten und damit die sogenannte „Ursuppe“ bildeten. Durch beispielsweise die Verdunstung von Wasser könnten sich die Moleküle über die Zeit immer mehr verdichtet und sich schließlich zu komplexen Strukturen wie Aminosäuren zusammengefügt haben.

Erstmals experimentell untersucht wurde die Theorie 1953 von Stanley Miller und Harold Urey. Das **Miller-Urey-Experiment** sollte zeigen, dass die Bausteine des Lebens⁹ unter Zugabe von Energie aus einfachen Gasen entstehen können. Um diese Annahme zu überprüfen, simulierten der Doktorand und sein Professor die damaligen Bedingungen auf der Erde im Labor. Während des Versuchs wurde Wasser als Äquivalent des „Urozeans“ durch eine Wärmequelle erhitzt, sodass es verdampfte und aufstieg. Der Wasserdampf gelangte innerhalb des geschlossenen Systems¹⁰ durch

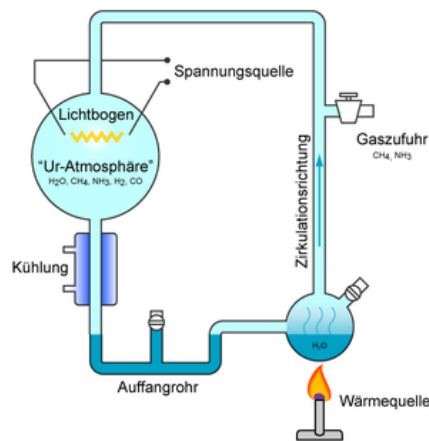


Abbildung 1: Aufbau des Experiments

ein Glasrohr in einen Kolben mit Gasen, die in der damaligen Atmosphäre in großen Mengen vorhanden waren (v. a. Methan, Ammoniak und Wasserstoff). Als künstliche Energiequelle diente dabei ein Lichtbogen, der die nötige Aktivierungsenergie¹¹ aufbrachte, um die Reaktionen auszulösen. Das gasförmige Wasser wurde anschließend wieder abgekühlt, sodass es in den flüssigen Zustand zurückversetzt wurde. Dieser Kreislauf wurde über längere Zeit aufrechterhalten.

⁹ Hier: organische Verbindungen

¹⁰ Thermodynamisches System, das keinen Stoffaustausch mit der Umgebung ermöglicht

¹¹ Energiemenge, die aufgebracht werden muss, damit eine chem. Reaktion ablaufen kann

Die **Ergebnisse des Experiments und ihre Bedeutung** waren nicht nur für damalige Zeiten ein Meilenstein, sondern sind auch heute noch von Relevanz. So war es Urey und Miller bereits nach einer Woche möglich, organische Verbindungen¹² im Wasser nachzuweisen. Damit hatten sie einen entscheidenden Beweis erbracht: Es ist möglich, dass lebenswichtige organische Moleküle unter anorganischen Bedingungen entstehen können.

Allerdings hat das Experiment auch einige Schwachstellen, die Fragen offenlassen. Zum einen ist es für das Gelingen des Experiments notwendig anzunehmen, dass die Atmosphäre bei der Entstehung reduzierend¹³ war. Wäre diese Annahme falsch, würde schon eine geringe Menge an Sauerstoff genügen, um die Entstehung organischer Moleküle zu verhindern. Zudem klärte das Experiment nicht, wie Leben selbst entstand. Dennoch bewies es, dass der entscheidende Schritt von unbelebter zu belebter Materie auch in der Praxis möglich war [vgl. 8].

3.2.2 Die RNA-Welt-Theorie

Wie der Name schon vermuten lässt, spielt bei dieser Theorie die RNA¹⁴ eine zentrale Rolle. Bei Leben, wie wir es heute kennen, ist die Arbeit in einem Organismus aufgeteilt: Die DNA ist für die Speicherung von Informationen und deren Weitergabe verantwortlich, während Enzyme die chemische Arbeit erledigen. Die wechselseitige Abhängigkeit von DNA und Enzymen stellt die Forschung vor ein Paradoxon, da die Entstehung des einen die Anwesenheit des anderen zwingend voraussetzt. Die RNA- Hypothese löst dieses Problem durch die Annahme, dass RNA ursprünglich die Aufgabe beider Parteien – Informationsspeicherung und Katalyse - übernahm. Sollte sich diese Annahme bestätigen, so wäre es möglich, dass Leben bereits vor komplexen Strukturen wie Zellen, DNA und Enzymen entstand. Die RNA-Welt fungiert somit als mögliches Bindeglied, das die Wissenslücke zwischen einfachen organischen Verbindungen und komplexem Leben schließt. [vgl. 17]

3.2.3 Lipid-Welt-Theorie

Im Gegensatz zur RNA-Theorie konzentriert sich die Lipid-Welt-Theorie nicht auf die Informationsspeicherung und -weitergabe, sondern auf die Struktur erster

¹² Hier: Aminosäuren

¹³ Frei von oxidierenden Gasen (Sauerstoff)

¹⁴ Ribonukleinsäure, ein Biomolekül

einfacher Lebensformen. Diese Hypothese besagt, dass am Anfang des Lebens nicht komplexe Moleküle wie RNA standen, sondern einfache Lipide¹⁵, die sich spontan in Strukturen organisierten. Unter dieser Annahme würde die chemische und energetische Barriere erheblich sinken, was die Entstehung erster Lebensformen weitaus wahrscheinlicher macht. Aufgrund ihres Aufbaus aus einem hydrophilen und einem hydrophoben¹⁶ Teil besitzen Lipide die Eigenschaft, sich in Wasser selbst zu organisieren. Durch diese Selbstorganisation entsteht eine chemische Ordnung, die sich stabilisieren und weiterentwickeln kann. Ein entscheidender Schritt ist dabei außerdem die Bildung erster Kompartimente¹⁷, welche für das Leben notwendige chemische Reaktionen ermöglichen. Außerdem sind die entstehenden Strukturen dazu in der Lage, sich bei zunehmender Größe und Instabilität zu teilen. Dadurch ist es möglich, dass Strukturen über längere Zeit erhalten bleiben und erste Formen der Auslese stattfinden können. Damit wäre die Theorie zwar kein in sich geschlossenes Modell für die Entstehung von Leben, würde aber vorteilhafte Bedingungen für komplexe Prozesse bieten, die Leben hervorbringen können. [vgl. 7]

4 Leben: Ausnahme oder die Regel?

Schon seit vielen Jahren stecken Menschen viel Zeit und Bemühungen in die Suche nach außerirdischem Leben. Dabei ist bereits die Debatte darüber, ob Leben überhaupt ein zweites Mal im Universum entstehen kann, stark kontrovers. Und wenn es tatsächlich so wäre, würde es sich dann um eine weitere nahezu unmögliche Verkettung vieler Zufälle handeln oder aber die logische Konsequenz des Zusammenspiels verschiedener Faktoren darstellen? Obwohl die Antwort darauf nicht zweifelsfrei geklärt werden kann, gibt es einige Gesetzmäßigkeiten und Schätzungen, die jeweils eine Position in ihrer Annahme stärken.

4.1 Leben als Zwangsläufigkeit

Während die Wissenschaft lange davon ausging, dass Leben ein Produkt unzähliger Zufälle ist, häufen sich heute Hinweise darauf, dass das Universum geradezu auf Leben programmiert sein könnte. Sind also die nötigen chemischen und

¹⁵ Fette

¹⁶ Hydrophil= wasserliebend, hydrophob= wasserabweisend

¹⁷ Räumlich abgegrenzter Teilbereich

physikalischen Bedingungen gegeben, so scheint die Entwicklung von Leben kein Glücksfall zu sein, sondern eine logische Folge der Evolution von Materie.

4.1.1 Zeitfaktor der Abiogenese

Eines der großen Probleme bei der Beantwortung der Zielfrage stellt die Tatsache dar, dass keine weitere bestätigte Grundlage als die Entstehung von Leben auf der Erde existiert. Auffällig ist jedoch die Geschwindigkeit, mit der erste Lebensformen entstanden sind, sobald die Voraussetzungen dafür gegeben waren. Würde man das Verhältnis der Zeit einzelner Ereignisse auf einen Tag übertragen, sähe dieser wie folgt aus: Um null Uhr des Tages entsteht das Universum als Folge des Urknalls. Erst nach etwa 4,6 Milliarden Jahren, also im Beispiel gegen 21:24 Uhr, wächst die Proto-Erde¹⁸ aus Staubkörnern heran. Anschließend dauert es noch einmal etwa eine Milliarde Jahre, bis die Erde im Zeitraum zwischen 22:49 Uhr und 23:59 Uhr¹⁹ sich so weit entwickelt hat, dass Leben dort potenziell möglich ist. Ab diesem Zeitpunkt dauerte es nur noch wenige Millionen Jahre, bis erste Lebensformen entstanden, sodass bereits gegen 23:59 Uhr lebende Materie auf der Erde existiert [3]²⁰. Es wird also deutlich, dass Leben, sobald es möglich war, verhältnismäßig schnell entstand.

Diese Tatsache nahm der Astronom David Kipping zum Anlass, trotz fehlender Vergleichsobjekte möglichst objektiv eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit von Leben zu treffen. Um die Reproduzierbarkeit der Evolution unter gleichen Bedingungen zu testen, griff er auf eine bayesianische Analyse zurück. Unter dieser Methode versteht man ein statistisches Verfahren, bei dem die Wahrscheinlichkeit für eine Hypothese fortlaufend durch neue Daten aktualisiert wird. Der Vorteil dieser Analyse besteht darin, dass sie im Gegensatz zu vielen anderen Methoden nicht auf der bloßen Häufigkeit einzelner Ereignisse beruht. Kippings Untersuchung basiert dabei auf den bekannten Daten der Erdgeschichte, insbesondere den chemischen und physikalischen Rahmenbedingungen sowie dem Zeitpunkt der Lebensentstehung. Auf dieser Grundlage lässt der Astronom die Evolution unter gleichbleibenden Bedingungen wiederholt durchspielen. Als

¹⁸ Erde in ihrer frühesten Entwicklungsphase

¹⁹ Der Zeitraum ergibt sich aus dem nicht genau bestimmaren Zeitpunkt, ab dem die Entstehung von Leben möglich war

²⁰ Inhalte erstellt mit KI auf Grundlage der Daten aus Quelle [3], siehe KI-Verzeichnis [27]

Resultat wird die anfangs geschätzte Wahrscheinlichkeit durch sich ergebende neue Daten weiter verfeinert [vgl. 4].

Die Entstehung von Leben wird auf einen Zeitraum vor etwa 3,5 bis 4 Milliarden Jahren geschätzt. Je nachdem, welchen dieser Zeitpunkte man als Ausgangspunkt für die bayesianische Analyse wählt, ergeben sich verschiedene Chancen für die Lebensentstehung. Legt man ihr die Annahme von 3,5 Milliarden Jahren zugrunde, so liegt die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von einfachen Lebensformen nach Kipping bei mindestens 3:1. Dies bedeutet, dass „Unsere Wettchancen auf eine schnelle Abiogenese gegenüber einer langsamen und raren Entwicklung [...] besser als 3 zu 1 [liegen]“ [18]. Eine schnelle Abiogenese ist in diesem Fall gleichzusetzen mit einem „einfachen“ und daher häufigen²¹ Prozess. Nimmt man hingegen eine frühere Entstehung vor 4 Milliarden Jahren an, beläuft sich das Verhältnis bereits auf 9:1 [vgl. 18]. Daran lässt sich allerdings auch erkennen, dass diese Form der Wahrscheinlichkeitsberechnung maßgeblich von den gewählten Grundlagen abhängig ist und daher durch neue Erkenntnisse grundlegend verändert werden kann.

4.1.2 Erdähnliche Planeten und Bausteine des Lebens

Stimmt man mit der Annahme Kippings überein, ist es naheliegend, dass erdähnliche Planeten im Universum, genau wie die Erde, Leben hervorbringen müssten. Durch immer fortschrittlichere Technik in der Astronomie wird es zunehmend leichter, diese Planeten im Universum aufzuspüren. Eine festgelegte Definition für die Bezeichnung „erdähnlich“ gibt es zwar nicht, meist versteht man darunter aber Planeten, deren Oberfläche fest ist, die eine Masse besitzen, die 0,5 bis 2 Erdmassen entspricht und die sich in einer habitablen Zone befinden. Seit den 1990er Jahren konnten insgesamt bereits mehr als 5600 Exoplaneten²² entdeckt werden. Die Anzahl der Planeten, die der Erde ähneln, beläuft sich jedoch auf einen recht geringen Anteil und schwankt aufgrund der unterschiedlichen Auslegung des Begriffs „erdähnlich“ zwischen 55 und 75 potenziell habitablen Planeten [vgl. 20]. Allerdings ist die tatsächliche Anzahl aufgrund unbekannter, möglicherweise einschränkender Faktoren wie beispielsweise deren Atmosphäre oder Temperatur vermutlich deutlich geringer. Berücksichtigt man aber die aktuellen Schätzungen

²¹ Hier: wahrscheinlichen

²² Planet, der einen anderen Stern als die Sonne umkreist

von mehr als 200 Milliarden Galaxien im beobachtbaren Universum [vgl. 21] mit jeweils unvorstellbar großen Zahlen an Planeten, so würde die Wahrscheinlichkeit habitabler Planeten und damit auch der Lebensentstehung erheblich zunehmen.

Zentraler Bestandteil der heutigen Astrobiologie ist neben der Suche nach habitablen Planeten außerdem die Erforschung lebenswichtiger Moleküle. Lange Zeit war man der Überzeugung, dass der Weltraum zu lebensfeindlich für komplexe chemische Vorgänge sei, wodurch man davon ausging, dass diese erst mit der Planetenentstehung möglich wurden. Neue Studien widerlegen diese Annahme und liefern die Erkenntnis, dass komplexe Bausteine des Lebens nicht erst auf Planeten, sondern bereits spontan im interstellaren Raum²³ entstehen können.

Bei der experimentellen Untersuchung simulierten Forscher die dort herrschenden extremen Bedingungen (Temperaturen bis zu -260 °C, nahezu vollständiges Vakuum, intensive Strahlung) im Labor. Während der Durchführung zeigte sich, dass sich einfache Aminosäuren allein durch den Einfluss kosmischer Strahlung zu Peptiden²⁴ verbanden. Somit ist bewiesen, dass erste Bausteine des Lebens in komplexerer Form schon in den Weiten des interstellaren Raumes entstehen können. Da diese Bausteine schon existieren können, bevor ein Sonnensystem überhaupt entsteht, sind sie vermutlich weit verbreitet. Wenn sich neue Planeten bilden, sind sie daher oft schon von Anfang an verfügbar und können die Grundlage für Lebensentstehung bilden [vgl. 15].

4.1.3 Verringerung der Komplexität

Einer der Hauptgründe, warum Leben und dessen Entstehung oft unwahrscheinlich erscheinen ist die hohe Komplexität, die damit einhergehen muss. So ist es nach dem Biophysiker Dieter Braun auch nahezu unmöglich, dass Leben direkt aus den einfachen Molekülen der Ursuppe entstehen konnte. Diese Tatsache lässt zwei Schlüsse zu: Entweder existieren noch unbekannte Mechanismen, die die Entstehung von Leben erheblich begünstigen, oder aber Leben ist tatsächlich ein seltenes Phänomen. Braun konzentriert sich bei seiner Forschung auf jene Prozesse, die ohne biologische Hilfsmittel²⁵ auskommen. Das Ziel dabei ist es zu zeigen, dass sich einfache organische Moleküle von selbst zu komplexen langen Ketten

²³ Riesiger Raum zwischen den Sternen, in dem Wolken aus Gas und winzigen Staubkörnern existieren

²⁴ Kette bestehend aus einzelnen Aminosäuren

²⁵ Erzeugnisse von Lebewesen wie beispielsweise Proteine

verbinden können und bereits grundlegende Mechanismen wie Selektion, Mutation oder auch Replikation zeigen können.

Für die experimentelle Umsetzung werden die damaligen chemischen Prozesse im Labor simuliert und Oligomere²⁶ in einen Reaktionsbehälter gegeben. Um die Jahrtausende dauernde Evolution auf eine im Labor messbare Zeit zu verkürzen, bedienen sich die Forscher zweier verschiedener Methoden. Zum einen wird der verwendete Reaktionsbehälter fortlaufend erwärmt und wieder abgekühlt, um chemische Reaktionen anzutreiben. Zum anderen kommt ein Katalysator zum Einsatz, der die Reaktionszeit verringert, indem er die Aktivierungsenergie herabsetzt. So ein Katalysator war zur Zeit der Entstehung von Leben zwar noch nicht vorhanden, verändert an den Ergebnissen und der Aussagekraft des Experiments jedoch nichts.

Während des Experiments konnte Spannendes beobachtet werden: Die Moleküle ordneten sich nicht völlig zufällig an, sondern zeigten ein System. Passten zwei Enden eines Moleküls perfekt zusammen, so schloss sich das Molekül mit sich selbst zu einem Ring. Durchläuft ein Molekül diesen chemischen Prozess, so kann es an keinen weiteren Reaktionen mehr teilnehmen, da kein freies Ende mehr zur Verfügung steht. Diese Moleküle scheiden als Folge daraus aus dem Reaktionsgefüge aus, wodurch sich eine erste Vorstufe der Selektion²⁷ ergibt. Ein Großteil der Bausteine verband sich hingegen zu sehr langen Ketten. Diese folgten allerdings nicht einer zufälligen Reihenfolge, sondern wiesen wiederkehrende Muster in ihrer Struktur auf.

Das Experiment legt also nahe, dass sich komplexe Strukturen und Muster von allein bilden können, sofern die Rahmenbedingungen gegeben sind. Zudem finden schon bei verhältnismäßig simplen Reaktionen Prozesse wie Selektion statt, die die Komplexität beispielsweise der Ursuppe erheblich herabsetzen. Die Entstehung von Leben erscheint dadurch nicht länger unmöglich, vielmehr wird der Weg für spätere, komplexere Prozesse der Evolution und der Lebensentstehung geebnet [vgl. 11].

²⁶ Moleküle, die aus einer begrenzten Anzahl gleicher oder strukturell ähnlicher Bausteine bestehen (diese sind noch kurz genug, um zufällig in der Ursuppe zu entstehen)

²⁷ Auslese

4.1.4 Thermodynamik

Kritiker bezweifeln die Zwangsläufigkeit von Leben häufig mit einem Verweis auf den zweiten Satz der Thermodynamik. Demnach müsste die Entropie²⁸ in einem System kontinuierlich zunehmen, was die Bildung komplexer Moleküle und damit auch Leben unmöglich erscheinen lässt. Dieser scheinbare Widerspruch löst sich jedoch auf, wenn man bedenkt, dass die Erde kein geschlossenes System ist, sondern im ständigen Energie- und Stoffaustausch steht. Allgemein bestimmt die Änderung der freien Enthalpie, ob eine Reaktion spontan ablaufen kann. Diese lässt sich mithilfe der Gibbs-Helmholtz-Gleichung nachvollziehen:

$$\Delta G = \Delta H - T \times \Delta S$$
²⁹

Wenn sich Strukturen ordnen, sinkt zwar die lokale Entropie (ΔS), allerdings wird durch die Bindungen zwischen Molekülen Energie als Wärme freigesetzt (ΔH ist negativ). Diese freigesetzte Energie erhöht die Entropie in der Umgebung, was zur Entropiezunahme im Universum führt und damit den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik erfüllt. Solange also für die Bilanz der Entropie $\Delta G < 0$ gilt, laufen Prozesse wie Molekülbildung spontan ab. Zudem führt ein konstanter Energiezufluss, wie beispielsweise durch die Sonne, laut einigen Studien zwangsläufig dazu, dass sich geordnete Strukturen bilden, um diese Energie zu verarbeiten und die Entropie zu erhöhen. Damit entkräftet sich das Argument der Gegenposition also selbst und legt das Gegenteil nahe [vgl. 22].

4.2 Leben als Zufallsprodukt

Zahlreiche Experimente und Hinweise, wie die zuvor beschriebenen, legen nahe, dass Leben tatsächlich ein natürlicher Teil der fortschreitenden kosmischen Evolution sein könnte. Dennoch existieren Aspekte und statistische Unwahrscheinlichkeiten, die diese These einer „garantierten“ Evolution in Frage stellen.

4.2.1 Lotteriegewinn Leben – Jacques Monod

In seinem Buch schrieb Monod die prägnanten Zeilen: „Das Universum trug weder das Leben noch trug die Biosphäre den Menschen in sich. Unsere ‚Losnummer‘ kam beim Glücksspiel heraus“ [2, S. 129] und stellte sich damit als einer der

²⁸ Maß für Unordnung

²⁹ ΔG = freie Enthalpie, ΔH = Enthalpieänderung, $T \times \Delta S$ = Temperatur mal Entropieänderung

wenigen gegen die Annahme vieler, dass Leben im Universum zwangsläufig sei. Nach Monod ist die Existenz des Lebens also kein zwangsläufiges Ziel des Universums, sondern das Ergebnis einer Reihe von Zufällen.

Die entscheidende Stütze für diese These ist die von ihm angenommene Wahrscheinlichkeit des Lebens, deren Wert vor seiner Entstehung seiner Auffassung nach bei praktisch null lag [2, vgl. S. 129]. Das zentrale Argument bildet dabei das Rätsel des genetischen Codes (siehe auch Kapitel 3.2.2): Da der molekulare Apparat zur Übersetzung des Codes selbst im Code festgeschrieben ist, geht Monod von einem „Frozen Accident“ – einem chemisch willkürlichen Zufall – aus, der sich nur ein einziges Mal ereignete und sich dann stabilisierte. Diese Annahme wird außerdem durch die Tatsache gestützt, dass der Code heute universell ist und somit aus einem einzigen Zufall hervorgegangen sein könnte [vgl. 2].

4.2.2 Das Fermi-Paradoxon

Trotz der Hinweise auf eine universelle Entstehung von Leben gibt es ein unumgängliches Faktum, das die Wissenschaft vor ein Rätsel stellt: Außer auf der Erde konnte bis heute nirgendwo anders Leben entdeckt werden. Berücksichtigt man hinsichtlich dieses Fakts die Zeitspanne und Anzahl an Möglichkeiten für Lebensentstehung (siehe Kapitel 1 und 4.1.2), wirft das die Frage auf, die Enrico Fermi bereits 1950 äußerte [vgl. 14]: „Where is everybody?“ [12].

Obwohl sich Fermis Fragestellung ursprünglich auf den Mangel an Beweisen für technologisch fortgeschrittene Zivilisationen bezog, lässt sich das Paradoxon im weiteren Sinne auch auf die Entstehung von Leben im Allgemeinen ausweiten: Wäre Leben tatsächlich ein logischer Bestandteil der kosmischen Evolution, bestünde durch moderne Techniken eine hohe Chance, Spuren davon zu finden - sei es in Form von einfachen Organismen oder intelligenten Zivilisationen³⁰. Denn wenn Leben häufig entsteht, steigt automatisch auch die Wahrscheinlichkeit, dass sich eines zu einer technologisch fortgeschrittenen Zivilisation weiterentwickelt. Angesichts der schier unendlichen Anzahl potenziell lebensfreundlicher Welten ist das Ausbleiben jeglicher (biochemischer) Lebensspuren in unserer unmittelbaren

³⁰Allerdings ist zu bedenken, dass man sich nicht sicher sein kann, in welcher Form Spuren auftreten und ob nötige Techniken dafür bereits vorhanden sind

kosmischen Nachbarschaft also zumindest erklärungsbedürftig, wenn man davon ausgeht, dass Leben zwangsläufig ist.

Neben Enrico Fermi widmete sich auch der Astrophysiker Frank Drake der Suche nach außerirdischer Intelligenz. Sein Fokus lag dabei gezielt auf technologisch fortgeschrittenen Zivilisationen, mit denen Kommunikation potenziell möglich wäre. Um dieser Suche mehr Struktur zu verleihen, gliederte er sie in sieben kleinere, wissenschaftlich untersuchbare Parameter – die **Drake-Gleichung**.

$$N = R_* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L^{31}$$

Im Zusammenhang mit dieser Gleichung ist es jedoch wichtig zu erwähnen, dass es sich dabei um kein exaktes Rechenergebnis, sondern viel eher um ein Denkmodell handelt. Je nach Auslegung der einzelnen Faktoren erhält man daher einen unterschiedlich optimistischen Wert für N . Wie man den Erläuterungen in der Fußzeile entnehmen kann, beziehen sich einige der Parameter explizit auf die Suche nach intelligenten, kommunikationsfähigen Zivilisationen (f_i ; f_c ; L). Diese können für die Betrachtung von einfachen Lebensformen außer Acht gelassen werden, denn auch ohne deren genauere Betrachtung wird das Hauptproblem deutlich:

Während sich Faktoren wie die Sternentstehungsrate in unserer Milchstraße immer genauer bestimmen lassen, führt eine Ausweitung auf das gesamte Universum zu erheblichen Unsicherheiten. Mangelnde Daten in diesem Bereich verhindern verlässliche Schlussfolgerungen. Ähnliches gilt für die Anzahl der Planeten in habitablen Zonen. Besonders deutlich wird das Problem jedoch beim Faktor Leben selbst: Da uns Vergleichsobjekte zur Erde fehlen, bleibt dieser Wert rein spekulativ [vgl. 10]. Zur Drake-Gleichung lässt sich also zusammenfassend festhalten: Im kleinen Maßstab gewinnen wir immer mehr an Genauigkeit, doch für das gesamte Universum fehlen uns derzeit die nötigen Grundlagen für belastbare Aussagen. Daher kann sie je nach eigener Position als Argument angeführt werden.

³¹ R_* = mittlere Sternentstehungsrate in unserer Galaxie pro Jahr; f_p = Anteil an Sternen mit Planetensystem; n_e = Anzahl der Planeten in der habitablen Zone; f_l = Anteil an Planeten mit Leben; f_i = Anteil an Planeten mit intelligentem Leben; f_c = Anteil an Planeten mit Interesse an Kommunikation; L = Lebensdauer einer technischen Zivilisation in Jahren; N = Anzahl an Zivilisationen in der Milchstraße, mit denen Kommunikation möglich wäre

5 Fazit

Wohl kaum eine Frage beschäftigt die Menschheit so ausdauernd wie die nach der Notwendigkeit oder Zufälligkeit des Lebens. Eine eindeutige Antwort würde womöglich nicht nur unser Selbstverständnis, sondern auch unser gesamtes Weltbild im Kern erschüttern. Trotz intensiver Bemühungen in der Forschung bleibt diese Antwort jedoch aus. Zwar liefern moderne Techniken und innovative Forschungsansätze stetig neue Hypothesen, doch werfen sie oft mehr Fragen auf, als sie klären.

In dieser Arbeit wurden gezielt jene Argumente beleuchtet, die aufgrund ihrer aktuellen wissenschaftlichen Relevanz die höchste Aussagekraft besitzen. Dennoch offenbart diese Auseinandersetzung eine grundlegende Problematik: Die massiven Wissenslücken in Bezug auf die Abiogenese und die unvorstellbaren Weiten des Universums lassen jede Argumentationskette brüchig wirken. Es ist, als würden wir versuchen eine Gleichung mit zu vielen Unbekannten, zu lösen.

Es bleibt die kritische Überlegung, ob wir unsere Unwissenheit durch eine Vielzahl an Theorien lediglich zu kaschieren versuchen. Möglicherweise ist unsere Sicht auch durch den anthropischen Faktor³² beeinflusst: Wir interpretieren die Entstehung von Leben oft als zwangsläufig und suchen nach Beweisen dafür, weil wir uns als festen Bestandteil des Universums wahrnehmen. Dabei ist es ebenso denkbar, dass unsere Existenz lediglich das Ergebnis einer Aneinanderreihung von Zufällen ist. Solange der „Ursprung“ der Lebensentstehung also ungeklärt ist, bleibt die Forschung ein Tasten im Dunkeln. Oder wie Arthur Stanley Eddington es ausdrückte: „Das Universum ist nicht nur seltsamer, als wir es uns vorstellen, es ist seltsamer, als wir es uns vorstellen können.“ [23]

³² Menschliche Existenz als „Filter“, durch den wir das Universum sehen

Literaturverzeichnis

Literaturquellen:

- [1] DeDuve, Christian (übersetzt von Ingrid Haußer Siller), Ursprung des Lebens, Präbiotische Evolution und die Entstehung der Zelle, Spektrum, Akad. Verl., Heidelberg; Berlin; Oxford 1994 (S.237)
- [2] Monod, Jacques, Zufall und Notwendigkeit: Philosophische Fragen der modernen Biologie (übersetzt von Friedrich Griesse), Tausend Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München, 3. Auflage Januar 1977, Kapitel VIII Die Grenzen (S. 124-140)
- [3] Planet im Wandel, In: GEOkompakt, Nr. 1 (S. 6/7)

Internetquellen:

- [4] Bernard, Adrien, Diese Studie zeigt, dass Leben im Universum häufig und gewöhnlich sein könnte, URL: <https://www.msn.com/de-de/nachrichten/wissenundtechnik/diese-studie-zeigt-dass-leben-im-universum-h%C3%A4ufig-und-gew%C3%B6hnlich-sein-k%C3%B6nnte/ar-AA1F1GGX>
- [5] CHNOPS: Elements of Life, URL: <https://www.socratica.com/pages/chnops-elements-of-life>
- [6] Denise, Supernova. Aus: <https://astrokramkiste.de/supernova>
- [7] Die Lipid-Welt-Theorie: Wie einfache Membranen den Weg für Leben bereitet haben könnten, URL: <https://www.die-erde.com/erde/entstehung-leben/lipid-welt-theorie> (Stand: 04.12.2025)
- [8] Die Ursuppentheorie: Wie aus toter Materie Leben entstand, URL: <https://www.die-erde.com/erde/entstehung-leben/ursuppen-theorie>, (Stand: 10.11.25),

- [9] Dönges, Jan, Eine unter 700 Trillionen Welten, URL:
<https://www.spektrum.de/news/eine-unter-700-trillionen-welten/1400775>
- [10] Drake-Gleichung, URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Drake-Gleichung> (Stand:07.01.2026)
- [11] Eidemüller, Dirk, Die Komplexität verringert sich von selbst, URL:
<https://www.weltderphysik.de/gebiet/leben/die-komplexitaet-verringert-sich-von-selbst/> (Stand: 08.02.2022)
- [12] Fermi Paradoxon, URL: <https://www.xn--galaktische-ursprnge-5ec.de/das-fermi-paradoxon/> (Stand: 10.12.2025)
- [13] Habitable Zone (04,01.2026), URL: <https://mensch-erde-universum.de/habitable-zone/>
- [14] Kummer, Nicolai, Galaktische Ursprünge: Das Fermi-Paradoxon, URL: <https://www.xn--galaktische-ursprnge-5ec.de/das-fermi-paradoxon/>, (Stand: 02.02.2024)
- [15] Müller, Andreas, Außerirdisches Leben noch wahrscheinlicher: Komplexe Bausteine des Lebens entstehen spontan im All, URL:
<https://www.grenzwissenschaft-aktuell.de/ausserirdisches-leben-noch-wahrscheinlicher-komplexe-bausteine-des-lebens-entstehen-spontan-im-all/> (Stand: 21.01.2026)
- [16] Piontzik, Klaus: Belebte Planeten in unsere Galaxie: Planetare Voraussetzungen für Leben, URL:
https://wahrscheinlichkeiten.pimath.de/kapitel4_1.html
- [17] RNA-Welt-Theorie: Wie alles begann, URL: <https://www.die-erde.com/erde/entstehung-leben/rna-welt-theorie>, (Stand: 20.11.25),
- [18] Sind wir ein Einzelfall im All? Studie beziffert Chance für die Entstehung von einfachem und intelligentem Leben, URL:
<https://www.scinexx.de/news/kosmos/sind-wir-ein-einzelfall-im-all/> (Stand: 25.05.2020)

- [19] Unterschied zwischen Abiogenese und Biogenese, URL:
<https://www.differkinome.com/articles/science/difference-between-abiogenesis-and-biogenesis.html#Abiogenesis>

- [20] Wie viele Exoplaneten wurden bisher gefunden und wie viele davon sind erdähnlich? URL: <https://globalfacts.org/universum/wie-viele-exoplaneten-wurden-bisher-gefunden-und-wieviele-davon-sind-erdahnlich/>

- [21] Wie viele Galaxien wie die Milchstraße gibt es im Universum? URL: <https://www.wissenschaftsjahr.de/2023/aktuelles/wie-viele-galaxien-wie-die-milchstrasse-gibt-es-im-universum>, (Stand: 09.03.2023)

- [22] Wie wahrscheinlich ist die Entstehung des Lebens? URL:
<https://internet-evoluzzer.de/wp-content/uploads/2024/11/Wie-wahrscheinlich-ist-die-Entstehung-des-Lebens.pdf> (Kapitel 7)

- [23] Zitate7, URL: <https://www.zitate7.de/autor/Arthur+Eddington/>

Videoquellen:

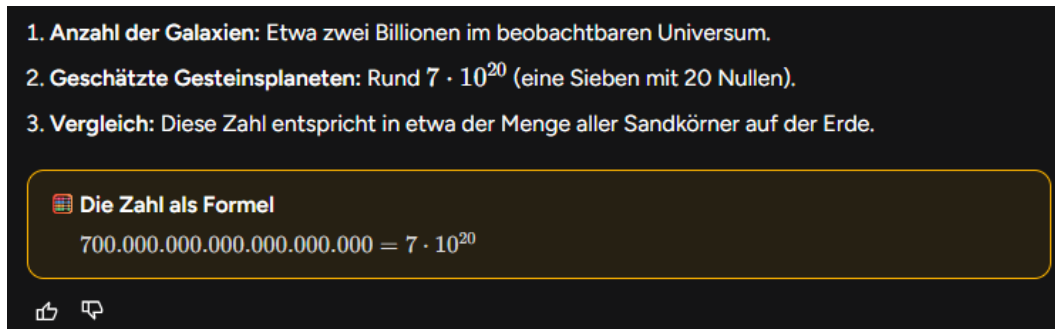
- [24] Planet Schule, Wie ist das Universum entstanden? Auf:
<https://www.planet-schule.de/schwerpunkt/die-erde/planeten-wie-ist-das-universum-entstanden-100.html?mediaId=dfab7dc4-78bf-30e2-8ba8-5229705ffd72&> (00:30-00:40)

- [25] Quarks Dimension Ralph, Geheimnis Supernova: Aus was bestehen wir eigentlich? URL:
<https://www.bing.com/videos/riverview/relatedvideo?q=geheimnis+supernova&&mid=698C38A5A3670C298DC8698C38A5A3670C298DC8&FORM=VAMGZC>

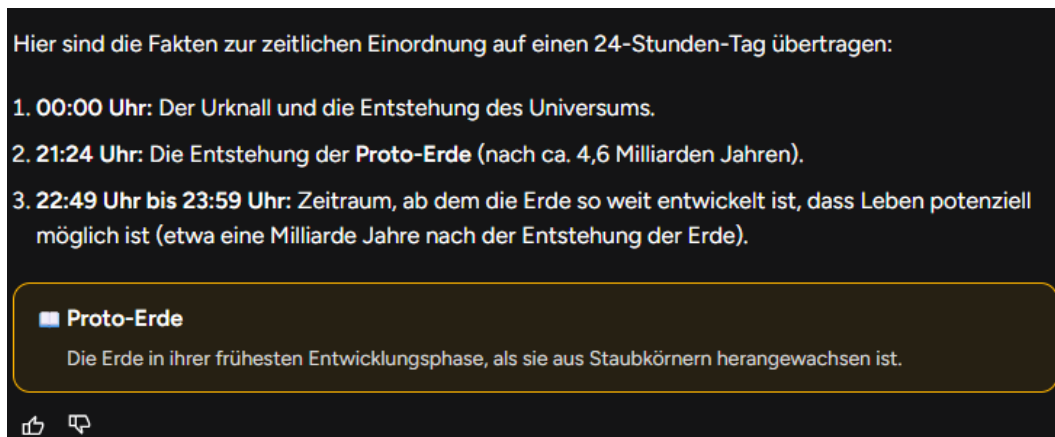
(sämtliche Quellen wurden zuletzt am 27.02.2026 aufgerufen)

KI-Verzeichnis:

- [26] AstraAI (2026): <https://astra-ai.de/>, Prompt: „Veranschauliche die Zahl 7×10^{20} durch einen Vergleich“



- [27] AstraAI (2026): <https://astra-ai.de/>, Prompt: „Breche die Entstehung von Leben nach dem Urknall im Verhältnis auf einen Tag herunter. Nutze dafür die Zeitangaben aus Quelle [3]“



Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Aufbau des Experiments5

URL: http://young-science-magazin.com/wp-content/uploads/2020/01/Ursprung_Abb1_Miller-Urey-Experiment-2.png