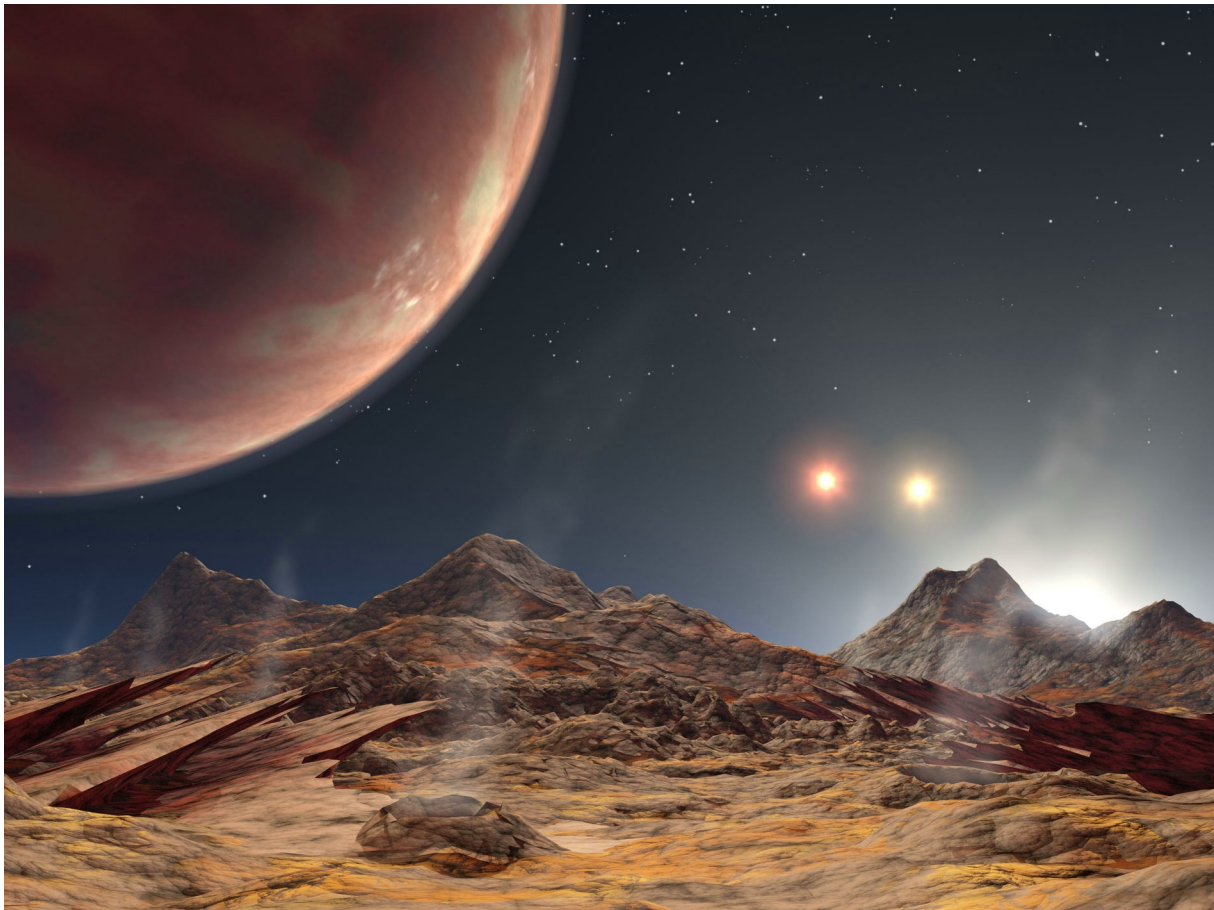


Gymnasium am Kothen in Kooperation mit dem
Schülerforschungszentrum Wuppertal am Carl-Fuhlrott-Gymnasium
Projektbetreuer: Herr Koch

Arbeit im Rahmen des Astronomie Projektkurses



Leben im All

—

**Eine Projektarbeit über die Entwicklung von Leben
und den Nachweis eines Exoplaneten**

—

Vorgelegt von:

Lara Yüce und Sadaf Mohammad Zahir

Abgabedatum:

08.05.2023

Kurzfassung

Wir sehen hervor, uns in dieser Projektarbeit mit dem Konzept des „Lebens im All“ zu beschäftigen, indem wir zunächst wichtige biologische Tatsachen erläutern, Hypothesen über die Entstehung von Leben auf der Erde anführen, Voraussetzungen aus diesen schließen und uns zudem mit der Habitabilität von Exoplaneten befassen. Im Anschluss daran nimmt unsere eigene praktische Arbeit einen erheblichen Teil unserer Projektarbeit ein, in welchem wir mithilfe des Schuelerlabors einen Exoplaneten eigenhändig nachweisen.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Was ist Leben	2
2.1 Leben definieren	2
2.2 Die Chemie des Lebens	4
2.2.1 Wasser als Lösungsmittel	5
2.3 Die Geschichte des Lebens auf der Erde	6
3 Grundlagen des Lebens auf der Erde	8
3.1 DNA	8
3.2 RNA	9
3.3 Proteine	9
4 Entstehung des Lebens	10
4.1 Das Miller-Urey Experiment und die Bildung der Aminosäuren in urzeitlichen Verhältnissen	10
4.1.1 Synthese von Nucleinbasen:	12
4.1.2 Reduzierende Atmosphäre?:	12
5 Lebensmoleküle aus dem All	13
6 chemische Evolution	14
6.0.1 1. RNA Welt	14
7 Vorraussetzungen für Leben	15
8 Exoplaneten	16
8.1 Die habitable Zone	16
9 Geschichte der Exoplanetenforschung	18
9.1 Wahrscheinlichkeiten	19
10 Nachweismethoden	19
10.1 Radialgeschwindigkeitsmethode	19
10.2 Transitmethode	20
11 Eigene praktische Arbeit: Transitbeobachtung	21
11.1 Einleitung	21

11.2 Equipment	21
12 WASP-50b	22
12.1 Wahl des Exoplaneten	22
12.2 Verwendete Computerprogramme	22
13 Aufnahme der Bilder	23
13.0.1 Darkframes, Flatfields und Rohbilder	23
13.1 Kalibrierung der Bilder zur Erstellung einer Lichtkurve	25
14 Erstellung der Lichtkurve	26
15 Lichtkurve	27
15.1 Bereitstellung des Ergebnisses	27
15.2 ETD Lichtkurve	28
15.2.1 Vergleich der berechneten Parameter	28
15.2.2 Die Helligkeit von Sternen	30
15.3 Größe des Exoplaneten	30
16 Die zukünftige Suche nach Leben	33
17 Fazit	34
Quellenverzeichnis	35
Danksagung für die Unterstützungsleistungen	38
Selbstständigkeitserklärung	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Der Mann im Mond [1]	1
Abbildung 2:	Die Energieaufnahme durch die Photosynthese [4]	2
Abbildung 3:	Darstellung der Zellteilung: Replikation eines Lebewesens [5]	3
Abbildung 4:	Die vier freien Außenelektronen eines Kohlenstoffatoms [7]	4
Abbildung 5:	Dreidimensionales Modell eines Wassermoleküls [8]	5
Abbildung 6:	Ein Prokaryont. Wie auf der Abbildung erkennbar, liegt die Erbinformation des Prokaryonten frei im Zellplasma (Cytoplasma) vor. [11]	7
Abbildung 7:	Ein Eukaryont. Die Entwicklung des Zellkerns (Nukleus) ermöglichte einen Schutz der Erbsubstanz. Gleichzeitig steuert er die Prozesse in der Zelle. [12]	7
Abbildung 8:	Die Struktur der DNA [13]	8
Abbildung 9:	Aufbau eines Nukleotids [14]	8
Abbildung 10:	Der Unterschied zwischen DNA und RNA [15]	9
Abbildung 12:	Schlüssel-Schloss Prinzip bei Enzymen [17]	10
Abbildung 13:	Aufbau des Miller-Urey Experiments [18]	11
Abbildung 14:	Die Strecker Synthese [19]	12
Abbildung 15:	Die Rosetta Sonde [20]	13
Abbildung 16:	Die 20 Aminosäuren der Proteine [21]	14
Abbildung 17:	Die habitable Zone [24]	16
Abbildung 18:	Graphik der galaktischen habitablen Zone [25]	18
Abbildung 19:	Gliese 876 Planeten [27]	18
Abbildung 20:	Graphik zur Radialgeschwindigkeit [29]	19
Abbildung 21:	Die Transitmethode [30]	20
Abbildung 22:	Das PlaneWave CDK20	21
Abbildung 23:	Exoplaneten Transit Liste [32]	22
Abbildung 24:	Die Steuerung des Teleskopes durch 10Micron Keypad unten links, sowie Synchronisierung der Rechnerzeit	23
Abbildung 25:	Programmierung der Aufnahmeserie, MaximDl	23
Abbildung 26:	Darkframe Aufnahme	24
Abbildung 27:	Flatfield Aufnahme	24
Abbildung 28:	Rohbild	24
Abbildung 29:	Kalibrierung (Rohbild-Masterdark) dividiert durch Masterflat	25
Abbildung 30:	Einlesen der Bilder in Muniwin	26
Abbildung 31:	Einstellungen der Station G04	26
Abbildung 32:	Unsere Erste Lichtkurve	27
Abbildung 33:	Einstellungen auf der ETD Seite [32]	27
Abbildung 34:	Die Lichtkurve auf der ETD Seite [32]	28
Abbildung 35:	Tatsächliche Werte unseres Transits	28
Abbildung 36:	Andere Lichtkurve zum Vergleich [32]	29
Abbildung 37:	Unsere Lichtkurve	29
Abbildung 38:	Wert auf der ETD Seite	29
Abbildung 39:	Der Mutterstern und die Vergleichssterne ; Screenshot der ETD-Seite	30

Abbildung 40:	Planet-Sternverhältnis von WASP-50b ; Screenshot der ETD Seite [32]	31
Abbildung 41:	WASP-50b, Jupiter und die Erde im Vergleich [33]	32
Abbildung 42:	Der Jupiter und die Erde [34]	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Große Massensterben in der Erdgeschichte	6
Tabelle 2:	Ausbeute bei einer Ausgangsmenge von 59.000 Mikromol CH ₄	11
Tabelle 3:	Erwartungen durch Berechnungen durch Betrachtung der Lichtkurve . .	28

Abkürzungsverzeichnis

NASA = National Aeronautics and Space Agency

1 Einleitung

„Nichts von dem, was vorgebracht wurde, zeigt, dass ein Wohnen dort (auf dem Mond) unmöglich ist“ -*Plutarch*. Dieses Zitat, welches Plutarch in seiner Schrift „De facie in orbe lunae“/„Vom Mondgesicht“ anbrachte, ist eines der ersten naturphilosophischen Argumente für die Existenz von außerirdischem Leben, die die Menschheit kennt [2]. Schriftsteller wie Plutarch stellten sich bereits in der Antike die Frage, ob außerirdisches Leben existiere, auch wenn die Vermutungen zunächst auf einen „Mann im Mond“ zurückführten. Vor allem im 16. und 17. Jahrhundert gewann diese Frage an immer wachsender Interesse, was unter anderem durch die Veröffentlichung der Schrift „Weltbeschauer, oder vernünftige Muthmaßungen, daß die Planeten nicht weniger geschmückt und bewohnt seyn, als unsere Erde“ des Astronomen Christian Huygen eingeleitet wurde. Die Frage prägte besonders die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts, in der die Evolutionstheorie populär wurde. Auch astronomische Erkenntnisse, die das Wissen über das Weltraum und die Sterne erweiterten, erweckten das Interesse an außerirdischem Leben. Die ersten Theorien und Spekulationen über außerirdisches Leben bezogen sich jedoch allein auf unser Sonnensystem. Dabei interessierte man sich insbesondere für die Planeten Mars und Venus. Ob auch andere Sterne von Planeten umkreist werden, war zu der Zeit noch unklar. Auf diese Weise entstanden vielerlei Theorien über mögliche Lebensformen auf diesen zwei Planeten, dessen Überreste auch wir noch in *science fiction* Filmen über „Marsianer“ mitbekommen. 1992 erweiterte sich nach dem ersten Nachweis von Planeten, die fremde Sterne umkreisen, allerdings der Horizont der Spekulationen über die Existenz von außerirdischem Leben. Diese Planeten werden auch **Exoplaneten** genannt. So waren die Theorien über andere bewohnbare Planeten nicht mehr auf unser Sonnensystem begrenzt.

Da auch wir uns, genauso wie Plutarch vor über 2000 Jahren, die Frage stellen, ob Leben im All möglich ist, formulierten wir den Titel „Leben im All“, um uns in dieser Projektarbeit dieser Frage aus (astro)biologischer und astronomischer Perspektive zu widmen.



Abbildung 1: Der Mann im Mond [1]

2 Was ist Leben

2.1 Leben definieren

Da sich diese Projektarbeit mit der Entstehung und der Suche nach sogenanntem „Leben“ beschäftigt, ist es notwendig, genauer auf den Begriff einzugehen. Um „Leben“ beschreiben zu können, sollte man zunächst die Charakteristika von allen, als Lebewesen bezeichneten Gruppen, betrachten, um so eine sich möglichst annähernde Definition des Begriffes zu finden. Das liegt daran, dass eine Definition des Begriffes an sich sehr komplex ist.

Ein Lebewesen besitzt in der Regel folgende 7 Merkmale: Bewegung, Stoffwechsel, Reizbarkeit, Wachstum, Fortpflanzung, Evolution und der Bestand aus Zellen.

Die Merkmale dieser Aufzählung sind eindeutig. Ein als von uns als Lebewesen bezeichnetes Objekt, wie ein Käfer, kann mit Widerstand gegen die Schwerkraft einen Berg hinaufkrabbeln, wohingegen ein Stein zweifellos den selben Berg lediglich monoton hinunterrollen würde. Auch Dr. Gottfried Krampitz hat diese Eigenschaft folgenderweise beschrieben: „Alle lebenden Dinge zeigen die Fähigkeit zur unabhängigen Bewegung gegen eine Kraft“ [3]. So kann man ein Objekt, dem alle diese Charakteristika zuzusprechen sind, zunächst als ein Lebewesen bezeichnen. Jedoch gibt es auch Abweichungen, welche nicht genau mit dieser Definition des Lebens, basierend auf den sieben Charakteristika, übereinstimmen. Beispielsweise kann man Feuer als einen Prozess ansehen, in welchem Stoffe umgewandelt werden (Brennstoff in einfache Substanzen), was als Stoffwechsel bezeichnet werden könnte. Genauso lässt sich eine Art von Bewegung der Flammen feststellen, wobei sich diese ebenso vergrößern (wachsen) kann. Es gibt zahlreiche chemische Prozesse, bei welchen man behaupten kann, dass sie auch jene Eigenschaften aufweisen. Daher reichen die genannten Charakteristika allein **nicht** als geeignete Definition für das Leben aus. Unter Einbindung eines physikalischen Merkmals in Bezug auf diese Eigenschaften findet allerdings eine Differenzierung statt, welche sich für die Unterscheidung von unbelebten Prozessen und belebten Prozessen eignet. So unterscheidet man in der Physik zwischen zwei Arten von Veränderungen, die man sich unter der Zunahme oder der Abnahme der Entropie (Die Größe der „Unordnung“ im Universum), vorstellt.

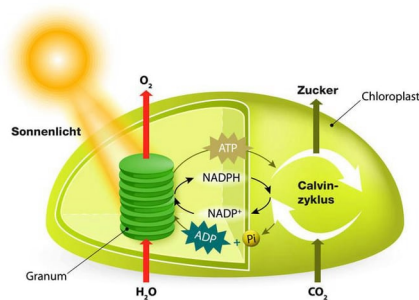


Abbildung 2: Die Energieaufnahme durch die Photosynthese [4]

Zu einer Zunahme der Entropie führen ungeplante und spontane Ereignisse, wie zum Beispiel das Hinunterrollen eines Steines. Für eine Abnahme der Entropie hingegen wird eine Energiequelle benötigt, die das Eintreten dieser Abnahme bewirkt, was auch bei Lebewesen im Gegensatz zu allen nicht-lebenden Objekten der Fall ist. Als Voraussetzung für die Bewegung eines Lebewesens wird Energie benötigt, auf welche das Lebewesen durch Nahrung oder der Sonne Zugriff hat. Durch die Nutzung dieser Energie hat das Lebewesen nun die Möglichkeit, sich gegen die Schwerkraft zu bewegen. Daher ist dieser Vorgang als Abnahme der Entropie zu verstehen.

Wenn nun das Gegenbeispiel der Flamme betrachtet wird, ist der Fakt, dass die Eigenschaften des Feuers durch alle chemischen und physikalischen Veränderungen entstehen, die eine Zunah-

me der Entropie bewirken, offensichtlich. Es sind vorallem spontane chemische Reaktionen, die stattfinden.

Die Charakteristika von **Lebewesen** (Bewegung, Wachstum..) führen demzufolge grundsätzlich zu einer **Abnahme** des Entropie-Vorrats dieses Lebewesens. Diese Abnahme bewirkt gleichzeitig zunehmende Organisation. Lebewesen sind im Vergleich zu nicht-lebenden Objekten in komplexer Art und Weise aufgebaut und nicht nur miteinander verbunden, sondern auch von einander abhängig. Erkennbar ist dies in den zahlreichen Netzwerken zwischen und innerhalb verschiedener Organismen. Für die Erhaltung dieser Netzwerke benötigen sie unglaubliche Mengen an biologischen Bausteinen und Kapazitäten, die die für ein Lebewesen essenziellen (chemischen und biologischen) Prozesse, ermöglichen. So besteht beispielsweise das Erbgut eines Bakterium mit einer Größe von $1.1 \mu\text{m}$ aus 4,6 Millionen Basenpaaren.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse kann man die Definition des Lebens so erweitern, dass sie auf einer breiten Skala anwendbar ist. Da einige dieser Eigenschaften sich in bestimmter Weise (mit zunehmender Entropie) bei unbelebten Objekten aufweisen lassen, ist es in der Wissenschaft üblich, den Fokus auf zwei spezifische Eigenschaften zu legen: die Fähigkeit sich zu replizieren (Fortpflanzung) und sich in der Evolution zu entwickeln.

Sie sind als besonders zentrale Merkmale von Lebewesen zu verstehen, da die (Replikation) sich als die womöglich auffälligste Eigenschaft lebender Systeme im Vergleich zu diesen von unbelebten Objekten abhebt und die Evolution mit jener Replikation einhergeht. Alle Erscheinungsformen des Lebens weisen nämlich ohne genauere Betrachtung ihres Verhaltens die Eigenschaft auf, Exemplare ihrer selbst zu erstellen, welche durch zufällige Genmutationen an enormer genetischer Vielfalt gewinnen. Durch diese genetische Vielfalt sind Lebewesen anpassungsfähig gegenüber ihrer Umwelt und können ihr Überleben über einen langen Zeitraum sichern. Zusätzlich gibt es abgesehen von Lebewesen, kein Objekt, das sich repliziert und gleichzeitig eine Evolution durchläuft.

Kristalle (z.B Salzkristalle) in Lösung verfügen zwar über die Fähigkeit sich zu replizieren, allerdings hat jede, durch die Replikation entstandene Kopie, ein und dasselbe Kristallmuster, wie das seines Vorgängers. Demzufolge ist eine Evolution bei dieser Art der Replikation auszuschließen. Dieser Aspekt ist für die Beschreibung des Lebens also von großer Wichtigkeit.

Der letzte und schließende Aspekt der Definition ist das Verstehen von Leben als chemisches System. In einem Lebewesen finden auf molekularer Ebene vielzählige chemische Prozesse sowie Reaktionen in voneinander abgegrenzten Reaktionsräumen statt, die das Leben aufrechterhalten. Alle diese chemischen Reaktionen laufen in der Präsenz von Wasser ab, welches ein wichtiges Lösungsmittel in vielen biochemischen Reaktionen ist. Einer dieser für viele Lebewesen wichtigen Reaktionen ist die Fotosynthese, welche als Energiezufuhr für verschiedene Organismen dient und ebenfalls Wasser als Ausgangsstoff nutzt. Ohne all diese chemischen Reaktionen würde Le-

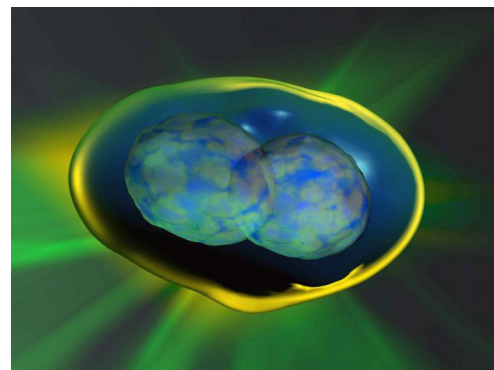


Abbildung 3: Darstellung der Zellteilung: Replikation eines Lebewesens [5]

ben weder als solches existieren, noch in solch einer komplexen Art fungieren. Allein in einer Körperzelle finden bis zu 100.000 Stoffwechselreaktionen pro Sekunde statt.

Mit der daraus ableitbaren Definition des Lebens als ein selbstreplizierendes und evolvierendes chemisches System, beschreibt man alle auf der Erde vorhandenen Arten des Lebens, was die Grundlage für den Begriff „Leben“ in dieser Projektarbeit ist. Trotz dessen können wir nicht ausschließen, dass ein, sich außerhalb dieses Sonnensystems befindendes und von Menschen deutlich als lebend erkennbares Objekt, was weder so auf der Erde vorkommt, noch in diese Definition passt, auch eine Art von Leben ist oder in Zukunft als dieses gelten wird.

Das Definieren von Leben auf universeller Skala ist nämlich sehr schwierig, da die Menschheit das Leben allein so kennt, wie es auf unserem Habitat, der Erde, vorkommt. [6] [3]

2.2 Die Chemie des Lebens

Für die Chemie des Lebens ist das wichtigste chemische Element der Kohlenstoff (C). Dieses Element kann aufgrund seiner einzigartigen chemischen Eigenschaften starke kovalente Bindungen eingehen, welche ihm die Fähigkeiten geben, die Basis des Lebens, die sogenannte organische Chemie, zu formen.

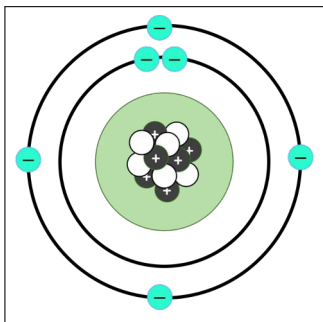


Abbildung 4: Die vier freien Außenelektronen eines Kohlenstoffatoms [7]

Kohlenstoff besitzt die Eigenschaft (aufgrund seiner Vierwertigkeit) vielfältige chemische Bindungen einzugehen und energetisch starke Einfachbindungen mit sich selbst zu erhalten (-400KJ/mol pro Bindung), durch die er in der Lage dazu ist, komplexe molekulare Strukturen zu bilden. Der Großteil, der um die 100 chemische Elemente, besitzt genau diese Eigenschaft nicht. Kohlenstoff hat abgesehen davon auch den Vorteil der chemischen Vielseitigkeit, bedingt durch seine Bildung von Doppel und Dreifachbindungen (mit Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff), welche höhere Bindungsenergien haben, als Einfachbindungen mit den genannten Elementen. Diese seltene Tatsache erklärt die Leichtigkeit des essentiellen „Verschiebens“ und „Umklappens“ von organischen Verbindungen in molekularen Struktur. Das bedeutet im Grunde, dass die Verbindungen mit Kohlenstoff flexibel sind.

Ist Kohlenstoff also einziges Element als Basis für Leben geeignet? Es ist noch unklar, ob sich Leben auch auf Basis von anderen chemischen Elementen bilden könnte, die ebenfalls über einige geeignete Eigenschaften verfügen. Das chemische Element Silizium, was dem Kohlenstoff am ähnlichsten ist, kann man daher nicht vollständig als mögliche Basis für Leben ausschließen.

So bilden beide Elemente beispielsweise lange Kettenmoleküle, können bis zu vier Bindungen eingehen und kommen häufig im Universum vor (Kohlenstoff häufig im Sonnensystem, Silizium häufiger an der Erdkruste). Die Differenz der Bindungsstärke der Elemente beträgt nur ca. 25% (-320KJ/mol pro Bindung). Auch die Bindungsenergien für Einfachbindungen der Elemente mit Wasserstoff und Stickstoff sind ähnlich. Da Silizium-Sauerstoff Bindungen sehr stabil sind, ist die Wahrscheinlichkeit, dass Silizium in einer Umgebung mit Sauerstoff zu Siliziumdioxid oxidiert, hoch. Siliziumoxid ist eine Verbindung, die den Großteil von Sand an Stränden, aber auch Glas und Quarz, bildet. Daher ist Silizium in der Präsenz von Sauerstoff, einer der am häufigsten vorkommenden Elemente im Universum, auf erdähnlichen Planeten fast vollständig im Mantel,

oder in der Kruste, gebunden. Im Gegensatz dazu kommt Kohlenstoff auch in umgebundener Form vor, was für die Basis des Lebens ein Vorteil ist.

Die Doppel und Dreifachbindungen, die sich bei Kohlenstoff - Kohlenstoff Bindungen aufgrund ihrer hohen Bindungsenergien als vorteilhaft erweisen, können bei Silizium-Silizium Bindungen wegen ihrer Instabilität nur in flüssigem Stickstoff bei starken Minusgraden erhalten bleiben und werden aus diesem Grund auch als destabilisierend beschrieben. Auch in der Reaktionsfreudigkeit des Siliziums im Vergleich mit Kohlenstoff zeigt sich, dass Silizium weniger geeignet dafür ist, die Grundlage der Biomoleküle zu sein, denn Silizium ist um Weiteres reaktionsfreudiger als Kohlenstoff. Monosilan (SiH_4) entzündet sich in der Luft, wohingegen Methan (CH_4) nur sehr langsam mit Luftsauerstoff reagiert. Somit endet Silizium schnell in neuen Bindungen, anstatt in einer festen Bindung zu verbleiben, wie es beim Kohlenstoff der Fall ist.

Ohne Kohlenstoff gäbe es das Leben auf der Erde nicht, da dieser den Unterschied zwischen der anorganischen und organischen Chemie schafft. Alle wichtigen biologischen Bestandteile wie Zucker, Fette, Proteine und Nukleinsäuren sind auf verschiedene Art und Weisen vom Kohlenstoff abhängig. Die Aminosäuren, die Bausteine dieser Proteine, bestehen beispielsweise aus einem Kohlenstoffskelett.

Kohlenstoff ist also ein, für die Entwicklung des Lebens auf der Erde, notwendiges und besonderes Element, das sich durch seine vielfältigen Charakteristika als geeignet für die Grundlage des Lebens erweist.

2.2.1 Wasser als Lösungsmittel

Flüssige Lösungsmittel bieten effektive und vergleichsweise geeignetere Bedingungen für das Ablufen von chemischen Reaktionen als Feststoffe und Gase, weshalb diese die Entwicklung von Biomolekülen und Organismen fördern. Die Erde ist zu 71 % mit dem Lösungsmittel Wasser bedeckt, welches in hohen Prozentsätzen in Pflanzen, im Menschen und anderen Lebewesen vorhanden ist. Es bleibt über einen großen Temperaturbereich flüssig: 0 bis 100 °C. (Die Celsiusskala selbst ist an dem Siede und Schmelzpunkt des Wassers orientiert). Dadurch bleibt es auch trotz Temperaturschwankungen flüssig. Hinzu kommt, dass Wasser die Eigenschaft hat, sich im eingefrorenen Zustand auszudehnen. Bei 4°C hat es eine Dichte von $1,0\text{g}/\text{cm}^3$, bei 0°C sinkt diese auf $0,9168\text{g}/\text{cm}^3$, wodurch Eis in Gewässern auf der Oberfläche bleibt. Somit können Wasserorganismen auch bei tiefen Temperaturen unter den gefrorenen Flächen überleben. Die hohe Wärmekapazität von $4,2\text{ J}/\text{gK}$ ermöglicht zudem die Absorption von Wärme, was gleichzeitig zu einer vorteilhaften Mäßigung des Klimas führt.

Die bei 80 liegende Dielektrizitätskonstante ist ebenso einer der Faktoren für die hohe Beteiligung von Ionen an chemischen Reaktionen im Wasser. Dieser Wert ist einer der höchsten unter allen Flüssigkeiten und beschreibt die „(..) Abschirmungskraft eines Lösungsmittels gegenüber dem Vakuum“ (S.16 Z. 29-30 [6]). Auf diese Weise fördert Wasser die Auflösung von Ionen, indem es die Anziehung der Ionen abschirmt, was wiederum zur Teilnahme an chemischen Reaktionen

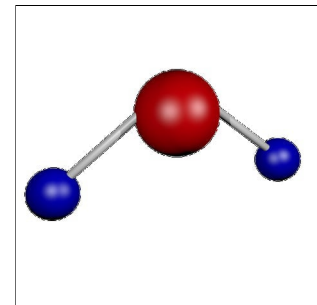


Abbildung 5: Drei-dimensionales Modell eines Wassermoleküls [8]

führt. All diese Eigenschaften spielen in der Bildung von Biomolekülen eine entscheidende Rolle. So ist es vorteilhaft, dass Wasser in beachtlicher Menge im Universum vorhanden ist. [6]

2.3 Die Geschichte des Lebens auf der Erde

Die ersten fossilen Spuren von Leben auf der Erde (selbst 4,6 Mill. Jahre alt) werden auf ein Alter von 3,5 Milliarden Jahren geschätzt. Dabei handelt es sich um Prokaryonten, also Einzeller, die keinen Zellkern besitzen (typischerweise Bakterien). Durch ihre Zellorganellen spielten sie eine entscheidende Rolle in der Synthese von Sauerstoff, welches sich im Laufe dieser Ära, auch Präambium genannt, an der Atmosphäre ansammelte. Organismen mit Zellkern entwickelten sich erst zwei Milliarden Jahre später, was ein wichtiger Evolutionsschritt war, der den Zellen die Fähigkeit gab, komplexere Systeme für zelluläre Prozesse zu entwickeln. Zum Ende des Präambiums bildeten sich schließlich die ersten vielzelligen Organismen. Darauf folgt das Zeitalter Kambrium, welches auf bis vor 495 Millionen Jahre zurückgeht. Im Kambrium entwickelten sich die ersten Skelette und alle Hauptgruppen der Tiere, jedoch gab es in diesem Zeitalter, sowie in 5 folgenden, große Massenaussterben.

Tabelle 1: Große Massensterben in der Erdgeschichte

Zeit in J.	Zeitalter	Ausmaß des Massensterbens
-520 Mill.	Kambrium	80 %
-440 Mill.	Ordovizium	50 %
-370 Mill.	Devon	50%
-250 Mill.	Perm	über 90%
-213 Mill.	Trias	50 %
-65 Mill.	Kreide	50 %
		aller Arten

Die Kreide Zeit endete mit dem Aussterben der Dinosaurier, womit die Zeit „Tertiär“ begann, die auf bis vor 1,8 Millionen Jahre andauerte. In dieser Zeit entwickelten sich die Säugetiere zur dominantesten Lebensform. Gleichzeitig breiteten sich Tierarten wie Laufvögel, Pferde, Nagetiere und Primaten auf der gesamten Erde aus. Zudem trennten sich der südamerikanische und australische Kontinent vom Riesenkontinent Pangea ab. Schließlich begann die jüngste Phase „Pleistozän“, die sich auf bis vor 10.000 Jahren ausstreckt. Die Einzigartigkeit dieser Phase zeichnet sich durch den Wechsel zwischen Wärme und Kälte Perioden aus. In der Mitte dieser Phase tauchte ebenso erstmals der Homo sapiens auf, wobei der Neandertaler zeitgleich verschwand. Des Weiteren starben im Übergang zur momentanen Phase, dem Holozän, zahlreiche Säugetierarten wie das Mammut aus und der Mensch breitete sich auf allen Kontinenten aus. Darauf folgt die Entwicklung der ersten sesshaften Gesellschaften kurz nach der Bronzezeit, wodurch die frühesten Hochkulturen ihren Anfang fanden. Dabei spielte die Agrarkultur als Auslöser eines starken Bevölkerungswachstums eine fundamentale Rolle. Auf diese Weise entwickelte sich in ca. 4,5 Milliarden Jahren intelligentes Leben auf der Erde. [9] [10]

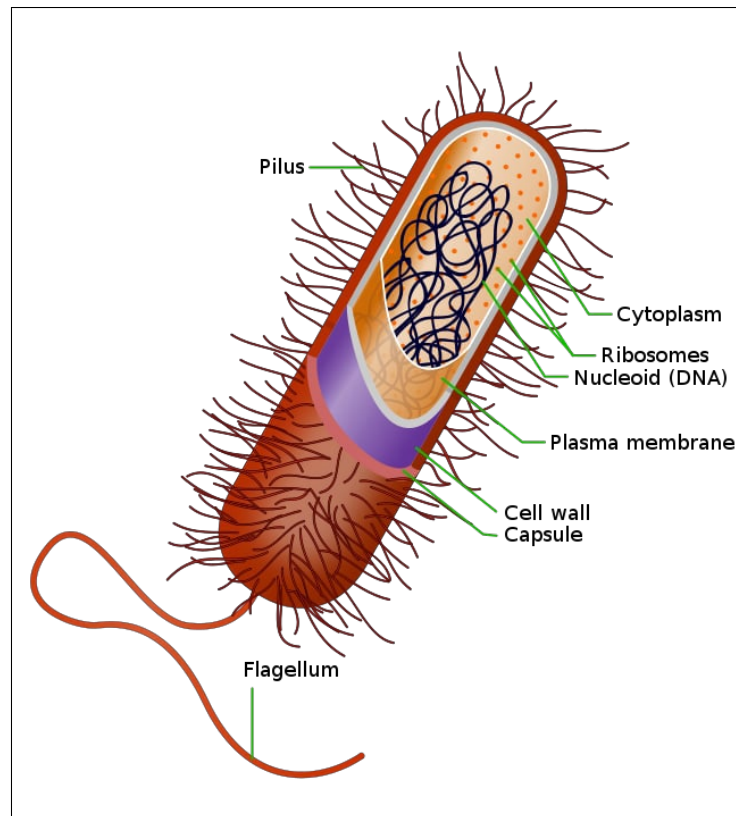


Abbildung 6: Ein Prokaryont. Wie auf der Abbildung erkennbar, liegt die Erbinformation des Prokaryonten frei im Zellplasma (Cytoplasma) vor. [11]

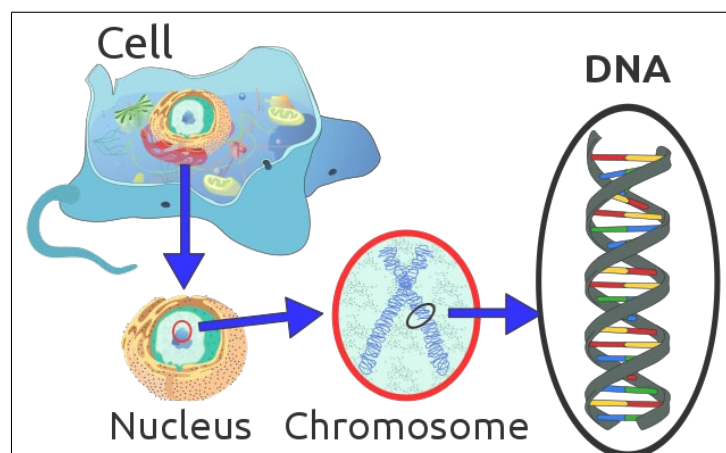


Abbildung 7: Ein Eukaryont. Die Entwicklung des Zellkerns (Nukleus) ermöglichte einen Schutz der Erbsubstanz. Gleichzeitig steuert er die Prozesse in der Zelle. [12]

3 Grundlagen des Lebens auf der Erde

Weil die Menschheit nur das Leben auf der Erde kennt, können Rückschlüsse über die Entstehung von Leben nur auf Basis des uns Bekannten gemacht werden. Um also Leben als Konzept nachzuvollziehen, ist es wichtig, die 3 wichtigsten Bausteine des Lebens auf der Erde zu verstehen. Diese sind die Desoxyribonukleinsäure (DNA), die Ribonukleinsäure (RNA) sowie Proteine.

3.1 DNA

Die DNA ist eine Nukleinsäure, die aus Desoxyribonukleotiden aufgebaut ist und die Erbinformationen aller Lebewesen und DNA Viren trägt. Sie besteht aus mehreren Abschnitten, die alle eine eigene Nukleotidabfolge haben und somit die Gene bilden. Diese Abschnitte der DNA dienen als Matrizen und ermöglichen somit den Aufbau entsprechender Ribonukleinsäuren (RNA) bei der Transkription von DNA in RNA. Die Transkription von DNA für die Umsetzung der Gene notwendig, da die bei der Transkription (Umschreiben von DNA in RNA) entstehenden mRNA Sequenzen (eine Art Bauanleitung für Proteine) an der Synthese der Proteine beteiligt sind.

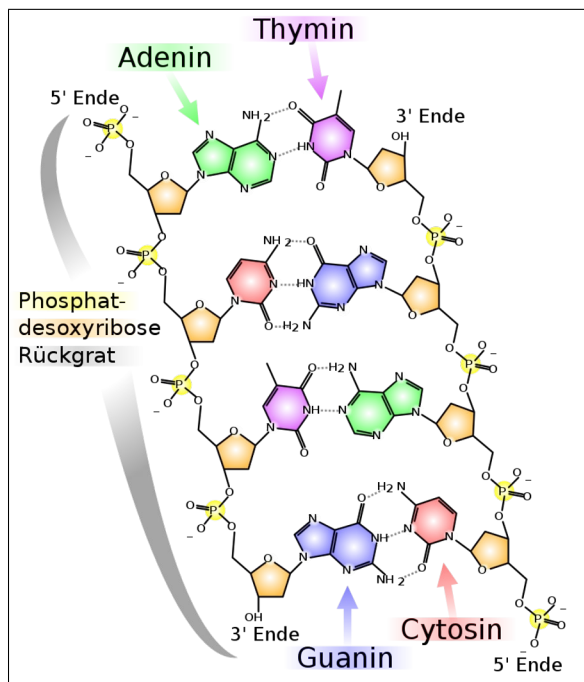


Abbildung 8: Die Struktur der DNA [13]

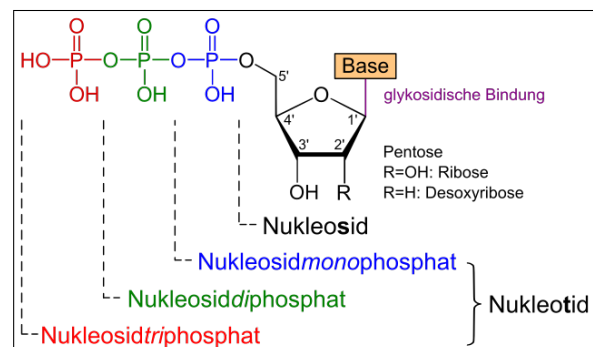


Abbildung 9: Aufbau eines Nucleotids [14]

Die Abfolge der Nucleotide in der mRNA dient daher als Bauanleitung der Proteine, da so die Aminosäuren bestimmt werden, aus denen das jeweilige Protein aufgebaut wird. Die vier verschiedenen Nucleotide sind jeweils aus einem Phosphatrest, dem Zuckermolekül Desoxyribose sowie aus einer von vier Basen aufgebaut. Diese sind Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin. Bei der Proteinbiosynthese bestimmt ein Basentriplett in der Nucleotidabfolge genau eine Aminosäure in der Aminosäuresequenz der Proteine. Gleichzeitig sind zwei Basen immer komplementär zueinander: Adenin und Thymin, sowie Cytosin und Guanin. Auf diese Weise wird die Herstellung einer Kopie jedes DNA Stranges gewährleistet, indem man den komplementären Strang als Vorlage nutzt.

In Zellen liegt die DNA als Doppelstrang vor, der aufgrund von Anziehungskräften die Form einer Doppelhelix einnimmt. Zudem befindet sich die DNA in den Zellen von Eukaryoten (den meisten Pflanzen, Tieren und Menschen) immer im Zellkern (Nucleus), verpackt in Chromosomen. Bei Prokaryoten liegt die DNA frei im Cytoplasma vor.

3.2 RNA

Die RNA (Ribonukleinsäure) ist so aufgebaut wie die DNA, hat jedoch statt dem Zucker Desoxyribose, die **Ribose** gebunden. Zudem ist der Bindungspartner des Adenins bei der RNA Uracil anstatt von Thymin. Trotzdem funktioniert das Umschreiben von DNA in RNA einwandfrei, was in zahlreichen Prozessen, wie der Synthese von Proteinen, notwendig ist. Sie ermöglicht unter anderem das Weiterleiten der Erbinformationen zu Zellorganellen außerhalb des Zellkerns (z.B mRNA=messenger RNA, Deutsch: Boten-ribonukleinsäure)

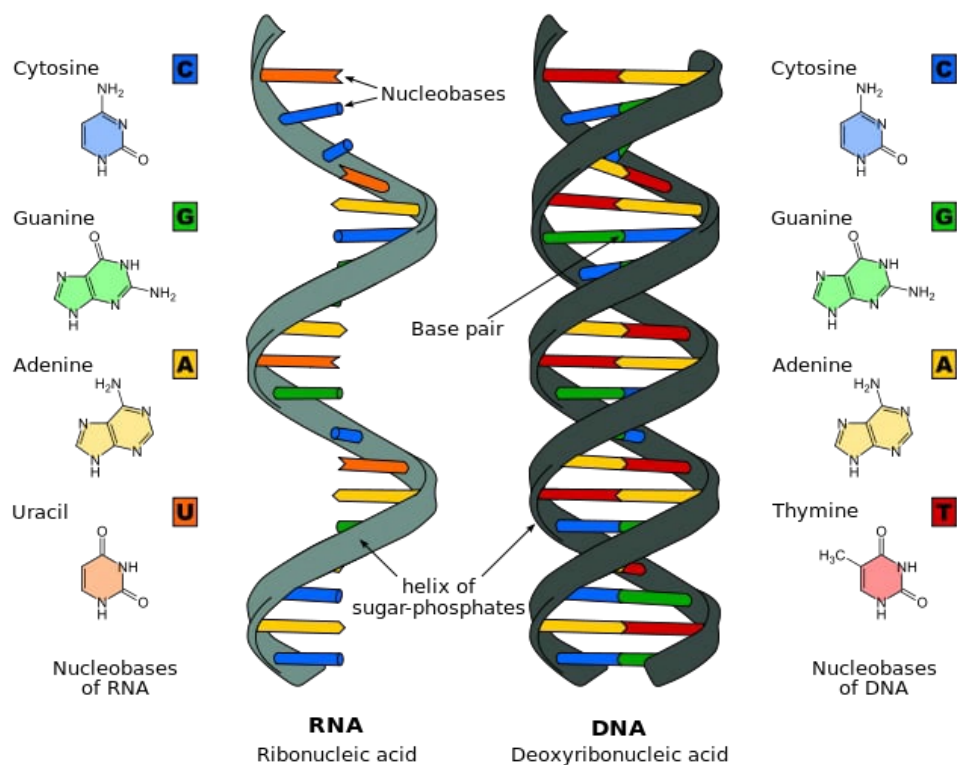


Abbildung 10: Der Unterschied zwischen DNA und RNA [15]

3.3 Proteine

Proteine sind Polymere, die aus (alpha-) Aminosäuren bestehen. Sie tragen jeweils eine Aminogruppe (-NH₂) an dem Kohlenstoff, welcher an der Säuregruppe (-COOH) gebunden ist. Ihre Polymerisation entsteht durch die Verknüpfung der Säuregruppe einer Aminosäure mit der Aminogruppe der benachbarten Aminosäure. Die Verknüpfung wird durch die Abscheidung eines Wassermoleküls eingeleitet. Daher nennt man dieses Verfahren auch Kondensationsreaktion. Die dabei entstehenden Verknüpfungen werden auch Peptidbindungen genannt. Neben den funktionellen Gruppen, die an dem alpha-Kohlenstoff der Aminosäure gebunden sind, gibt es ebenso eine Seitenkette, die als „Rest“ dargestellt wird. Die Seitenketten verleihen den rund 20 Aminosäuren, die in Proteinen auftreten, verschiedene chemische Eigenschaften, die von Protein zu

Protein variieren. Auch der Aufbau eines Proteins, der als Proteinfaltung bezeichnet wird, ist durch Wechselwirkungen in der Seitenkette bestimmt.

Die entstehende Struktur/Faltung legt die Funktion des Proteins fest. Enzyme, Proteine mit katalytischen Eigenschaften, funktionieren beispielsweise durch das sogenannte Schlüssel-Schloss Prinzip (siehe Abbildung 12), bei welchem nur spezifische Substrate, abhängig von ihrer Struktur, an ihr zugehöriges Enzym andocken können.

Enzyme fungieren als wichtige Katalysatoren für die Mehrzahl der chemischen Reaktionen in allen lebenden Organismen, ohne die es weder einen Stoffwechsel, noch eine funktionierende Zelle geben würde. Sie ermöglichen Lebewesen zudem die Fortpflanzung, die einer der wesentlichen Aspekte ist, die das Leben an sich überhaupt erst definieren. (Siehe Kapitel „Was ist Leben“, 2) [6]

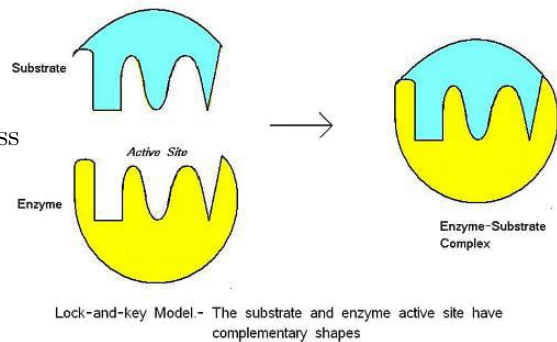


Abbildung 12: Schlüssel-Schloss Prinzip bei Enzymen [17]

4 Entstehung des Lebens

4.1 Das Miller-Urey Experiment und die Bildung der Aminosäuren in urzeitlichen Verhältnissen

Um daran zu forschen, wie das Leben auf der Erde aus unbelebter Materie entstanden sein könnte, führte der Doktorand Stanley Miller im Jahre 1952 zusammen mit Harold Urey ein Experiment durch, welches die urzeitliche Erde nachstellen sollte, um anhand der chemischen und physikalischen Zustände die präbiotische Entwicklung nachvollziehen zu können. Er ging grundsätzlich davon aus, dass der Ausgangspunkt von Leben einfache chemische Systeme waren, welche graduell komplexer wurden.

Der erste wesentliche Aspekt, der im Experiment berücksichtigt wurde, war die urzeitliche Atmosphärenzusammensetzung, so wie die beiden Chemiker sie vermuteten. Sie einigten sich auf eine Atmosphärenzusammensetzung, die, ähnlich wie die Atmosphären der Gasriesen Jupiter und Saturn, vor allem aus Methan, Ammoniak und molekularem Wasserstoff bestand. Der zweite wichtige Faktor war der hohe Bestand an Wolken. Da die urzeitliche Erde wegen der zuvorgekommenen Entstehungsphase noch höhere Temperaturen aufwies, waren die Ozeane deutlich wärmer und sorgten demnach für eine starke Verdunstungsrate. Die dadurch entstandenen Wolken müssten, laut Miller und Urey, aufgrund der vielen Blitze, eine relevante Energiequelle gewesen sein. Diese habe die Verbindung der kleinen Moleküle zu größeren, komplexeren Molekülen aktiviert und somit die Grundbausteine des Lebens produziert.

Zur Prüfung jener Hypothese baute Stanley Miller also eine Glasapparatur auf, die aus zwei miteinander verbundenen Kolben bestand. Einer dieser Kolben war tiefer gelegen und mit Wasser gefüllt, sodass er den Ozean repräsentierte. Über diesem Kolben befand sich ein zweiter größerer

Kolben, der die Atmosphäre der Erde von vor 3 Milliarden Jahren darstellte. Dementsprechend war er gefüllt mit Methan, Ammoniak und molekularem Wasserstoff.

Die Blitze wurden anhand von zwei Elektroden simuliert, die im, mit der Atmosphärenzusammensetzung gefüllten Kolben, angebracht waren. Die Verbindung der Gefäße gewährleistete einen einfachen Wasserkreislauf, so wie er auf der urzeitlichen Erde vorgekommen sein sollte: Das Wasser des Ozean Kolbens wurde erhitzt und stieg somit in den Atmosphärenkolben auf. Daraufhin kondensierten das Wasser und andere Verbindungen durch einen an der Apparatur angebrachten Kühler und flossen wieder zurück in den Ozean Kolben. Dieser Zyklus wiederholte sich fortlaufend.

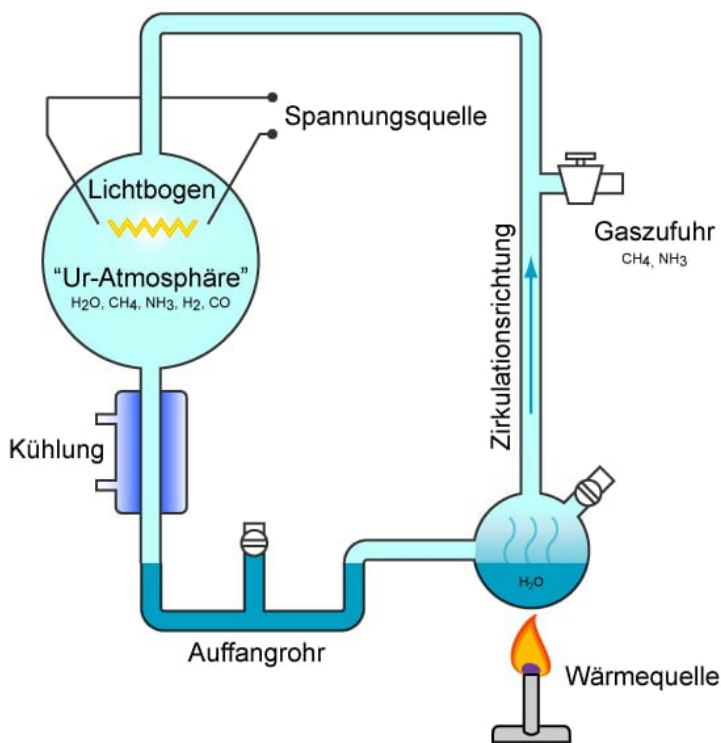


Abbildung 13: Aufbau des Miller-Urey Experiments [18]

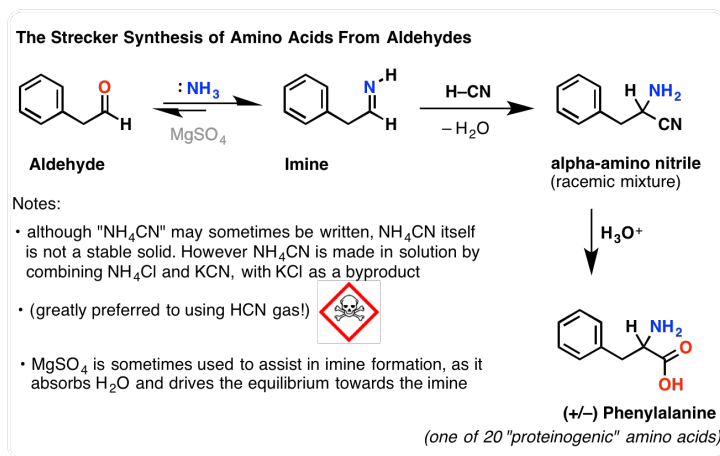
Die ersten auffälligen Veränderungen, die Miller beobachtete, traten bereits nach zwei Tagen auf. Die zu Beginn klare „Ozean-Flüssigkeit“ färbte sich leicht gelb und im weiteren Verlauf braun. Zusätzlich bildete sich an der Glaswand des oberen Atmosphärenkolbens eine Teerschicht, die sich in Relation zur hinzugekommenen Zeit vergrößerte. Eine chemische Analyse der gelben Flüssigkeit ergab, dass diese, sich gebildete Schicht, ein dickflüssiges Gemisch mit Kohlenstoffverbindungen war (Die Relevanz von Kohlenstoffverbindungen erläuterten wir bereits im Kapitel „Chemie des Lebens“). Stanley Miller fand ebenso heraus, dass die Flüssigkeit Aminosäuren enthielt, was mit seiner Hypothese übereinstimmte. Auf diese Weise veranschaulichte Miller, Zu-

gute seiner Vorannahmen, wie aus einfachen Stoffen die Bausteine des irdischen Lebens entstehen können.

Tabelle 2: Ausbeute bei einer Ausgangsmenge von 59.000 Mikromol CH₄

Produkte (nur Aminosäuren angeführt)	Stoffmenge in μmol
Glycin	630
Alanin	340
β – Alanin	150
Sarcosin	50
N-Methylalanin	10
Glutaminsäure	4
Asparaginsäure	1

Mechanismus: In der Reaktion dieser Stoffe im Experiment entstehen spezielle Zwischenprodukte wie Blausäure und Aldehyde. Es wird vermutet, dass diese beiden Zwischenprodukte, so ähnlich wie bei der Strecker Synthese, Ammoniak zu Aminosäuren umsetzen.



In dieser Synthese der Aminosäuren reagiert Ammoniak mit einem Aldehyd zu einem Imin (Molekül mit einer C=N Doppelbindung). Der Kohlenstoff dieses Moleküls bildet mit einem Cyanidion (ein Anion der Blausäure) ein alpha-Aminonitril, dessen Nitrilgruppe eine hohe Tendenz dazu hat, durch Hydrolyse (Spaltung durch Reaktion mit Wasser) aufgespalten zu werden. Nach einer Aufnahme von zwei Wassermolekülen (H₂O) entsteht die alpha- Aminosäure.

Abbildung 14: Die Strecker Synthese [19]

Der Nitrilstickstoff, der auch ein Produkt dieser Reaktion ist, wird letztlich als Ammoniak (NH₃) freigesetzt. Diese Art der Synthese müsste laut Miller in verschiedenen Varianten stattgefunden haben, sodass er eine Reihe von verschiedenen Aminosäuren in dem Experiment erzeugen konnte. [6]

4.1.1 Synthese von Nucleinbasen:

Auch die Synthese von Nucleobasen der Nucleotide (die Bestandteile der DNA) kann, ähnlich wie bei den Aminosäuren, in wässrigen Lösungen in der Präsenz von Ammoniak und Blausäure unter bestimmten Voraussetzungen stattfinden. Das bedeutet, dass sie ebenfalls bei Variationen des Miller-Urey Experiments (mit einigen Anpassungen) potenziell entstehen könnten. Bei dieser Art der Reaktion können jedoch grundsätzlich nur sehr wenige Mengen der Basen nachgewiesen werden, auch wenn mehrere hunderttausendmal höhere Konzentrationen an Blausäure verwendet werden, als die Mengen, von denen man vermutet, dass sie auf der urzeitlichen Erde vorhanden waren. Allerdings stellte Leslie Orgel (1927-2007) die Hypothese auf, dass das Einfrieren der Blausäure diese, für die Synthese der Nucleobasen notwendigen, hohen Konzentrationen auf natürlicher Weise erzeugen würde, weil sich die Blausäure in Flüssigkeitsresten zwischen Eiskristallen anreichern würde. Daher lies Miller eine verdünnte Lösung von Ammoniumcyanid für 27 Jahre in einem Tiefkühlschrank stehen und konnte im Anschluss mehrere Nucleobasen, darunter Adenin (Nucleobase der DNA), in der Flüssigkeit nachweisen. Daraus resultiert die Annahme, dass sich die Nucleobasen unserer Nucleotide in den Polargebieten der Erde oder in anderen eishaltigen Umgebungen außerhalb des Sonnensystems gebildet haben müssten.

4.1.2 Reduzierende Atmosphäre?:

Miller benutzte in seinem Experiment eine reduzierende Atmosphäre, denn Urey war der Ansicht, dass die Gesamtzusammensetzung des Erdmantels und der Erdkruste reduzierend war. Das bedeutet, dass sie aus Materialien bestand, die durch Reaktionen mit Sauerstoff oxidiert werden konnten. Eine reduzierende Kruste würde auch die flüchtigen Verbindungen (aus welchen

die Atmosphäre besteht) reduzieren und eine reduzierende Atmosphäre würde entstehen. Einige Geologen behaupten jedoch, dass die Ur- Atmosphäre oxidierend war, weil einige der ältesten Mineralien auf der Erde in einem oxidierten Zustand vorgefunden wurden. Diese sind allerdings mehrere hundert Millionen Jahre jünger als die Erde. Beide Hypothesen würden den Verlauf des Experimentes ändern:

In einer reduzierenden Umgebung liegen Stickstoffatome als Ammoniak und Kohlenstoffatome als Methan vor, weshalb Miller Methan und Ammoniak in seinem Experiment genutzt hat. Man erhält die größte Ausbeute der Aminosäuren, die in Proteinen vorkommen (um die 15 Aminosäuren können unter unterschiedlichen Bedingungen auftreten).

Wenn man jedoch die gleichen Ausgangsstoffe (Stickstoff und Kohlenstoff) in oxidierenden Umgebungen vorfindet, liegen sie eher als Kohlenstoffdioxid und Stickstoff vor, was die Endprodukte im Experiment leicht verändert und auch deutlich verringern würde. Gleichzeitig entstehen Säuren und Nitrite, wobei die Säuren den pH-Wert des Wassers im Ozean-Kolben senken und die Nitrite die Aminosäuren zerstören. Nur unter Zugabe von bestimmten Reduktionsmitteln erhält man eine ausreichende Menge an Aminosäuren.

Aufgrund der Behauptung, dass die urzeitliche Erde oxidierenden Verhältnisse aufwies, wird teilweise vermutet, dass die präbiotischen Moleküle nicht auf der Erde, sondern im Weltall entstanden. Der Hypothese zufolge müssten die Moleküle durch Meteoriten, Kometen und anderen Objekten auf der Erde gelandet sein. [6]

5 Lebensmoleküle aus dem All

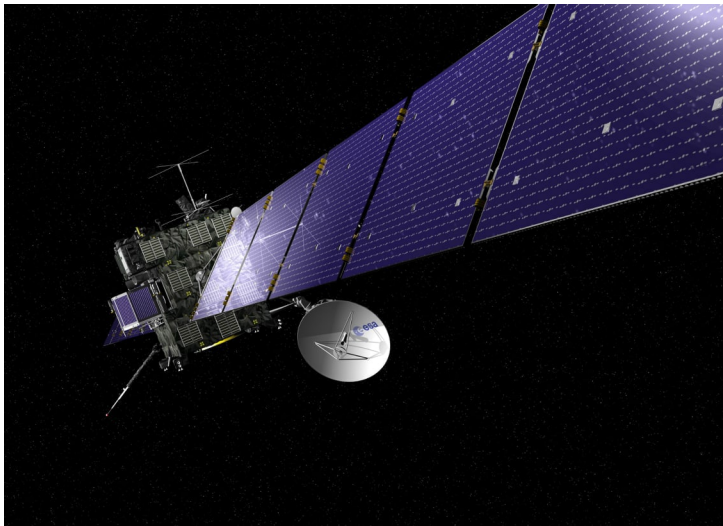


Abbildung 15: Die Rosetta Sonde [20]

Entfernung zum Kometen erreichte, wurden mehrere organische Moleküle im Kometen nachgewiesen, die diese Vermutung stützen. Bereits bei einer Entfernung von über 200km vom Kometenkern erkannte die Sonde die Aminosäure Glycin (Siehe Miller Urey Experiment;Tabelle) gebunden im Staub. Des Weiteren bestätigten genauere Untersuchungen, dass unter anderem Phosphor im Kometen enthalten war. Diese Tatsache war eine eindrucksvolle Erkenntnis für die Forschung der Biomoleküle, denn Phosphor ist ein wesentlicher Bestandteil der DNA.

Kometen enthalten unter anderem Ammoniak, Methan und Wasser in gefrorener Form, weshalb sie als potenzielle Herbeiführer der Biomoleküle gesehen werden. Da sie starker UV und - kosmischer Strahlung ausgesetzt sind, kann eine Entstehung der Biomoleküle, die auch im Miller-Urey Experiment durch die simulierten Blitze als Energiequelle entstanden sind, vermutet werden. Bei der Untersuchung eines Kometen durch die Rosetta-Sonde, die am 2. März 2004 startete und 2014 eine 10km

Meteoriten:

Selbst Meteoriten, vor allem kohlige Chondriten, gelten als potenzielle Beiträger zur "Ursuppe". Kohlige Chondriten sind eine besondere Form der Steinmeteoriten und bestehen überwiegend aus Kohlenstoff. Aufgrund des schnellen Zerfalls der kohligen Chondriten ist es in der Regel schwer, sie genauerer Untersuchungen zu unterlegen, trotzdem gelang es Forschern 1969 den Murchison Meteoriten gleich nach seinem Einschlag im Labor zu untersuchen.

Eine Extraktion der organischen Verbindungen zeigte, dass rund 70 Aminosäuren im Meteoriten enthalten waren. Sechs dieser Aminosäuren sind Teil der 20 Aminosäuren, die die Proteine bilden. Die Konzentration der Aminosäuren Glycin, Alanin, Prolin und Glutaminsäure betrug etwa $15 \mu\text{g/g}$.

Bei dem Fund in einem anderen kohlenstoffhaltigen Chondriten, dem Murray Meteoriten, war diese Konzentration sogar doppelt so hoch. Dieses eindeutige Resultat war der Beleg für einen möglichen Beitrag von Meteoriten in der Bildung der Proteine und demzufolge die Entstehung des Lebens. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wird davon ausgegangen, dass die Synthese der biologisch relevanten Moleküle sowohl auf der Erde (siehe Miller Urey Experiment), als auch im interstellaren Raum stattgefunden und zur Entstehung des Lebens beigetragen haben könnten.

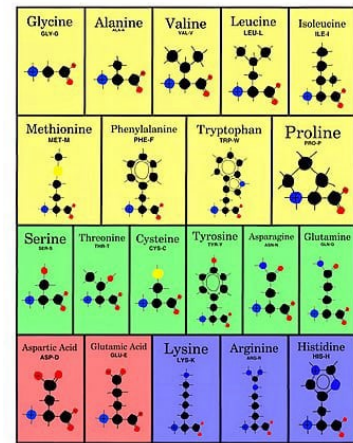


Abbildung 16: Die 20 Aminosäuren der Proteine [21]

6 chemische Evolution

Die chemische Evolution (Die Entwicklung von unbelebter Materie zu lebenden Organismen) ist eines der komplexesten Konzepte der Wissenschaft und kann nach dem heutigen Stand der Wissenschaft noch nicht klar beantwortet werden. Es gibt einige Hypothesen, die sich dieser Frage widmen, jede dieser ist jedoch sehr umstritten und lückenhaft. [6]

6.0.1 1. RNA Welt

Wie bereits im Kapitel „irdische Biologie“ angeführt, sind Proteine und Nukleinsäure die wichtigsten Bestandteile von Lebewesen. Die Proteine werden in Form von Enzymen zur Herstellung von Nukleinsäuren benötigt, während Nukleinsäuren die Bauanleitung zu diesen Proteinen bilden. Daher stellt sich die Frage, welcher der beiden Bausteine zuerst kam. Nachdem sich Anfang der 1980er gezeigt hatte, dass eine Art von RNA-Molekülen (Ribozyme) die Fähigkeit hatte, die Synthese anderer RNA-Moleküle zu katalysieren, stellte Walter Gilbert die Evolutionshypothese „RNA-Welt“ auf. Diese Hypothese schlägt vor, dass die RNA das erste selbstreplizierende Molekül ist, welches sich eigenständig kopiert und dessen Kopiermechanismus sich für höhere Effizienz entwickelt. Entdeckt wurde die katalytische Fähigkeit des sogenannten Ribozyms in der ribosomalen RNA des Wimpertierchens Tetrahymne. Diese RNA konnte sich selbst spleißen und hat somit einerseits informationsspeichernde und gleichzeitig Enzym-ähnliche Eigenschaften. Relevant ist diese Tatsache vor allem für die Synthese von Proteinen in der Proteinbiosynthese durch die Translation, denn sie verantworten die Funktionsfähigkeit eines Proteins. Ein Problem dieser Theorie ist jedoch die **Homochiralität**. Diese beschreibt das Bevorzugen einer Variante eines

organischen Moleküls, die sich folglich durchsetzt, obwohl sich bei einer Reaktion ursprünglich immer zwei zueinander spiegelverkehrte Moleküle bilden. Ein weiteres Problem dieser Hypothese ist das fehlende Wissen zur Bildung kompletter RNA-Stränge aus den einzelnen Nukleotiden. Neben der RNA-Welt Hypothese gibt es auch die sogenannte „Stoffwechsel-zuerst“ Hypothese. Bei dieser Hypothese wird vermutet, dass die Reaktionen von kleinen Molekülen mithilfe von katalytischen Eigenschaften von Mineralien zu einfachen organischen Verbindungen geführt haben, die sich zu den Bausteinen des Lebens wie Aminosäuren, Lipiden und Nucleobasen zusammensetzten. Auf diese Weise entstand ein Netzwerk von Reaktionen, die zu einer Art eines sich selbst erhaltenden Stoffwechsels führten. Dieser Stoffwechsel evolvierte und baute genetische Moleküle ein, aus dem anschließend die ersten Lebewesen entstanden. Auch diese Hypothese weist Lücken auf, da es unklar ist, wie dieses System genetisches Material erworben haben sollte oder eine Evolution durchlief.

Insgesamt ist es sehr schwer, alle urzeitlichen Bedingungen zu beachten und eine passende Hypothese zu finden. Jede Hypothese zeigt jedoch auch in gewisser Weise plausible Mechanismen, die das Verständnis für die chemische Evolution erweitern. [6] [22]

7 Voraussetzungen für Leben

Auf Grundlage aller dieser Erkenntnisse über die Entwicklung der Biomoleküle und der Evolution des Lebens haben, lassen sich die Voraussetzungen für das Leben im All, vor allem auf Exoplaneten, ableiten.

1. Wie schon im Kapitel „Chemie des Lebens“ angeführt, wird für die Entstehung des Lebens ein geeignetes Lösungsmittel benötigt. Das Einzige, das wegen seiner chemischen Eigenschaften dafür in Frage kommt, ist das Lösungsmittel Wasser. Die Existenz von Wasser in seinem flüssigen Aggregatzustand, ist eine Grundvoraussetzung für Leben. Daher werden Planeten, die aufgrund ihrer Distanz zu ihrem Mutterstern flüssiges Wasser auf ihrer Oberfläche haben (z.B Erde), als Planeten in der habitablen Zone bezeichnet. (Auch erläutert im nächsten Kapitel).
2. Die zweite wesentliche Voraussetzung ist die Verfügbarkeit der Elemente Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und des Elements Kohlenstoff, dessen Eigenschaften wir im Kapitel „Chemie des Lebens“ erläutert haben.
3. Wie im Kapitel „Geschichte des Lebens“ erläutert, findet die Entwicklung von Leben über einen langen Zeitraum statt. Somit muss die Bewohnbarkeit eines Planeten über einen langen Zeitraum erhalten werden. Voraussetzungen dafür sind ein Stern, der lange genug existiert, eine Distanz zu Sternexplosionen sowie der Schutz vor Asteroiden, der uns auf der Erde durch den Gasriesen Jupiter gewahrt wird. Auch der Mond hält die Erdachse stabil und ermöglicht damit regelmäßige Jahreszeiten.
4. Der Planet muss, um Leben entwickeln zu können, an geeigneter Stelle innerhalb der Milchstraße lokalisiert sein, da die energiereiche Strahlung im Zentrum der Milchstraße zu stark ist.

5. Die Strahlung des Sterns ist ebenso relevant für die Bewohnbarkeit eines Planeten. Wenn Sterne ein hohes Maß an Röntgen- und UV-Strahlung produzieren, könnte ein Planet seiner Atmosphäre beraubt werden und somit unbewohnbar werden.
6. Des Weiteren sind notwendige Voraussetzungen eine Ozonschicht, die die Gase der Atmosphäre vor dem Ausdringen ins All schützt, ein Eisenkern, zur Erzeugung eines Magnetfelds (Zum Schutz vor Strahlung/Sonnenwinden) und genügend Mengen an leichten und schweren Elementen.

Wenn diese Bedingungen gedeckt sind, kann die Bildung der Biomoleküle und die chemische Evolution, so wie in den vorherigen Kapiteln veranschaulicht, stattfinden. Das Wissen über die Entstehung des Lebens auf der Erde ist essenziell für die Betrachtung des Lebens im All, da so die grundlegenden Voraussetzungen und Wahrscheinlichkeiten geschlussfolgert werden können, selbst wenn einige Aspekte in der Forschung über die Entstehung des Leben auf der Erde unbeantwortet bleiben. Gleichzeitig liefert die Forschung Indizien über die mögliche Bildung von Biomolekülen im All (siehe: „reduzierende Atmosphäre“ und „Lebensmoleküle aus dem All“). So kann man die Wahrscheinlichkeiten für die Entwicklung von Leben nicht nur innerhalb unseres Sonnensystems, sondern auch außerhalb unseres Sonnensystems, auf den sogenannten Exoplaneten, betrachten. [23]

8 Exoplaneten

8.1 Die habitable Zone

Die habitable Zone, oder bewohnbare Zone, ist der Bereich um einen Stern herum, in dem organisches Leben möglich ist. Wie bereits angeführt, ist eine Voraussetzung für funktionelles Leben auf einem Planeten das Vorhandensein von flüssigem Wasser. Daher ist die habitable Zone in der Suche nach erdähnlichen Planeten von großem Interesse für die Astronomie.

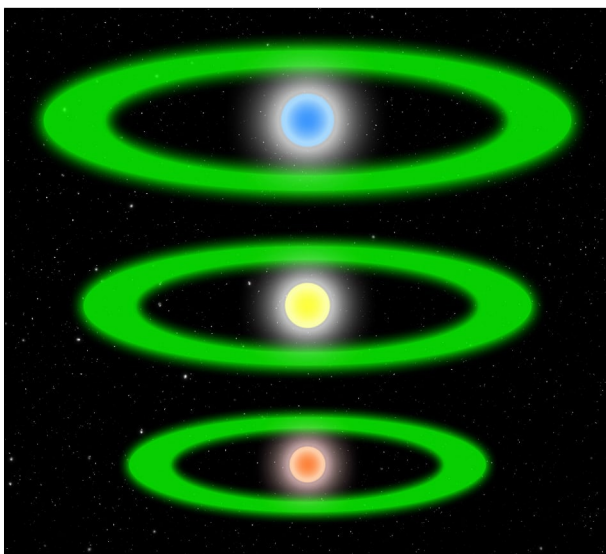


Abbildung 17: Die habitable Zone [24]

Es gibt verschiedene Arten der habitablen Zone, die von verschiedenen Faktoren wie der Größe, der Helligkeit des Muttersterns sowie den atmosphärischen Bedingungen abhängen. Die zirkumstellare H. Z. ist die klassische habitable Zone. Sie ist abhängig von der Leuchtkraft und der Temperatur eines Sterns und bestimmt anhand der Oberflächentemperatur ob flüssiges Wasser auf dem Planeten möglich ist. Abgeleitet wird die Oberflächentemperatur durch die Berechnung der Energie pro Flächeneinheit, die ein Planet von seinem Mutterstern empfängt. Mit folgender Gleichung kann man den Durchschnittsradius einer habitablen Zone basierend auf der Leuchtkraft berechnen.

$$\sqrt{\frac{L_{\star}}{L_{\odot}}} = d_{\text{AE}}$$

Der berechnete Wert d ist der Durchschnittsradius der bewohnbaren Zone in AE. L_{\star} entspricht der bolometrischen Leuchtkraft eines Sternes, wobei L_{sonne} die bolometrische Leuchtkraft der Sonne darstellt.

Dieses Abstandsgesetz berechnet den Zentralbereich der bewohnbaren Zone eines Exoplaneten, dessen Atmosphäre der Erdatmosphäre ähnelt. Würde ein Stern ein Viertel der Helligkeit der Sonne ausstrahlen, wäre der Abstand vom Zentralbereich zum Stern etwa 0,5 AE, bei zweifacher Helligkeit wiederum 1,4 AE. Auch die Oberflächenbeschaffenheit, das Rückstrahlvermögen und auch die Entwicklung der Planetenatmosphäre nehmen mittlerweile immer wichtigere Rollen in der Berechnung der habitablen Zone ein. Da sich die Leuchtkraft eines Sterns im Laufe der Zeit ändert und die habitable Zone sich leicht verschiebt, nutzt man auch oft die sogenannte "kontinuierlichen habitablen Zone". Sie beschreibt einen Mindestzeitraum von vier bis sechs Milliarden Jahren, auch wenn sich der Abstand zum Zentralbereich **ändert**. Um nämlich Leben auf einem Planeten ermöglichen zu können, muss die Möglichkeit für flüssiges Wasser über einen langen Zeitraum bestehen. Die habitable Zone ist ebenso auf andere, nicht sonnenähnliche Sterne, anwendbar. Zu diesen zählen auch die Roten Zwergsterne. Bei ihnen könnten auch habitable Zonen entstehen, denn trotz den ca. 0,5 Sonnenmassen, sind sie in der Lage diese Energie umzuverteilen, sodass sich Wasser in flüssiger Form bilden kann.

Zudem gibt es auch weiße Zwergsterne, die in einem Abstand von 0,02 bis 0,1 AE um die habitable Zone existieren. Weiße Zwergsterne haben eine Oberflächentemperatur von mehreren 100.000 K innerhalb der Hubble-Zeit zu Temperaturen von 3000K bei sinkender Leuchtkraft. Dort kann erdähnliches Leben nicht vermutet werden, da eine vehemente Violettstrahlung in der Frühphase die Moleküle vorhandenen Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff aufspaltet. Es gibt außerdem auch Sterne mit größerer Masse als die Sonne. Die Lebensdauer der habitablen Zone dieser Sterne ist jedoch sehr gering. Mit drei bis vier-Fachen Sonnenmassen können diese nur noch etwa eine Milliarde Jahre eine habitable Zone aufrecht erhalten.

Eine Weitere Differenzierung ist die „Ultraviolette“ Zone.

Die ultraviolette Strahlung des Zentralsterns in dieser Zone hat eine ähnliche Intensität, wie die Strahlung, die die urzeitliche Erde empfing. Dies basiert auf einer Hypothese, die besagt, dass die chemische Evolution nicht nur Energie benötigt, sondern auch eine Quelle negativer Entropie. Trotzdem sollte die UV-Strahlung nicht zu stark sein. Ansonsten werden die biochemischen Moleküle abgebaut.

Eismonde spielen in der habitablen Zone ebenfalls eine wesentliche Rolle.

Denn auf einigen der riesigen Monde der großen Gasplaneten des Sonnensystems wie Europa und Enceladus sind vermutlich Ozeane unter Eis verborgen. Diese werden durch Gezeitenkräfte und innerer Radioaktivität erhitzt. Diese Quellen können, wie auf der Erde, eine essenzielle Rolle in der Entwicklung und Entstehung des Lebens spielen. Die Eismonde liegen zwar außerhalb der normalen bewohnbaren Zone, dennoch kann die Möglichkeit auf Leben dort nicht ausgeschlossen werden. Sogar bei Objekten planetarer Masse ohne Zentralstern kann sich ein Ozean in einem eisigen Mond verbergen. Die galaktische habitable Zone ist, wie bereits im Kapitel Vorrausset-

zungen erwähnt, ebenfalls ein wichtiges Konzept, dass 2001 als Erweiterung der bewohnbaren Zonen eingeführt wurde

Dieser Begriff (galactic habitable zone) bezieht sich ursprünglich nur auf den Stand der chemischen Entwicklung des galaktischen Gebiets des Planeten. Demnach müssen im galaktischen Gebiet des Objektes genügend schwere Elemente vorhanden sein, damit sich erdähnliches Leben ausbreiten kann. Im Laufe der Zeit entstehen Elemente mit höheren Ordnungszahlen durch Kernfusionsprozesse, die im Inneren eines Sterns stattfinden. Diese Elemente werden, falls dessen Stern sterben sollte, in das sogenannte interstellare Medium freigesetzt. Diese Nukleosynthese läuft im inneren der Galaxie schneller ab, als im äußeren Bereich. Man definiert den maximalen Radius der galaktischen bewohnbaren Zone auf Basis dieser Nukleosynthese, die die Herstellung dieser schweren Elemente übernehmen [26]

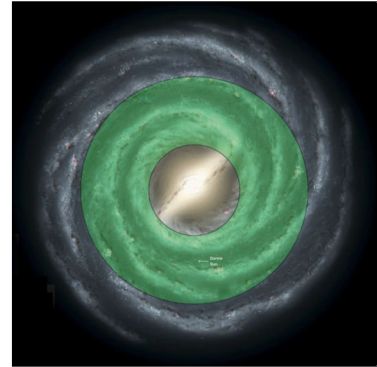


Abbildung 18: Graphik der galaktischen habitablen Zone [25]

9 Geschichte der Exoplanetenforschung

Die ersten Entdeckungen von Exoplaneten reichen bis in die 80er Jahre zurück, jedoch wurden diese meist als braune Zwerge klassifiziert oder einfach verworfen. Dies lag daran, dass die Messgenauigkeit für einen Nachweis noch zu gering war. Die ersten bestätigten Exoplaneten entdeckte man erst rund zehn Jahre später (1992). In diesem Jahr wurden drei Planeten, die einen Pulsar umkreisen, nachgewiesen, indem man die Wiederkehrzeit des Strahls, der die Erde von jenem Pulsar aus erreicht, gemessen hat. Zwei Jahre später wurde ein weiterer Planet, der den Pulsar PSR J1623-2631 umkreist, entdeckt. Einen Exoplaneten, der einen **sonnenähnlichen** Stern umkreist, entdeckte erstmals Michel Mayor im Jahre 1995. Zusammen mit seinem Kollegen gelang es ihm mithilfe der Radialgeschwindigkeitsmethode den Planeten 51b Pegasi B nachzuweisen, was ein großer Schritt in der Astronomie war. Im Jahre 1999 folgte der Nachweis des Planeten HD 209458 durch die Transitmethode. Auch die erste Atmosphäre aus Natrium wurde bei diesem Planeten drei Jahre später nachgewiesen. Die angewandte Transitmethode gewann in den darauffolgenden Jahren an Beliebtheit in der Astronomie und führte in gemeinsamer Verwendung mit der Radialgeschwindigkeitsmethode zu einer stetig wachsenden Zahl an entdeckten Exoplaneten.



Abbildung 19: Gliese 876 Planeten [27]

ähnlich sind, was für Astrobiologen von großer Interesse war, auch wenn viele einen solchen

Der erste Nachweis eines Exoplaneten mittels direkter Beobachtung erfolgte im Jahr 2004. Ein Jahr später profitierte die Exoplanetenforschung von einem Nachweis, der für die Suche nach Leben von großer Bedeutung war. Ein großer erdähnlicher Planet, auch **Supererde** genannt, (Gliese 876d) konnte von Astronomen nachgewiesen werden. Somit bekam die Erde die erste Bestätigung darüber, dass es im Universum Planeten gibt, die der Erde in ihrem Aufbau sehr

Nachweis erwarten konnten. Hinzu kommt, dass sich in diesem System (Gliese 876) zwei Supererden in der habitalen Zone befinden. 2006 startete schließlich das erste Welttraumteleskop, welches mithilfe der Transitmethode für die Suche nach Exoplaneten ausgelegt war. Innerhalb von 6 Jahren wies die Mission ganze 30 Exoplaneten nach. Darauf folgten weitere Missionen, wie der Kepler-Mission, die die Zahl an bestätigten Exoplaneten immer weiter steigen ließen. Mittlerweile sind mehr als 5.000 Exoplaneten bekannt. [28]

9.1 Wahrscheinlichkeiten

Was bedeutet das für die Suche nach Leben?. Die immer weiter steigende Zahl der bestätigten Exoplaneten sowie die geschätzte Anzahl der erdähnlichen Planeten alleine in der Milchstraße, die bei ganzen 300 Millionen liegt, zeigen, dass unsere Erde womöglich nicht so eine große Seltenheit ist, wie man damals vermutet hat. Die Ermittlung der Exoplaneten zeigt uns somit, dass es zahlreiche Kandidaten an Planeten gibt, auf welchen sich Leben entwickeln könnte.

10 Nachweismethoden

10.1 Radialgeschwindigkeitsmethode

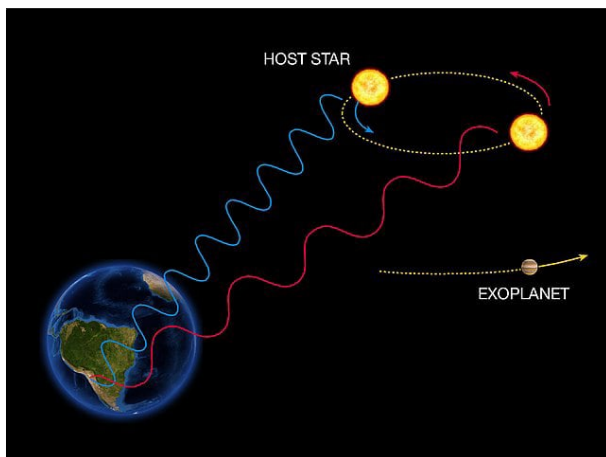


Abbildung 20: Graphik zur Radialgeschwindigkeit [29]

Die Radialgeschwindigkeitsmethode ist eine der ersten Methoden für die Untersuchung von Exoplaneten. Man ermittelt die Radialgeschwindigkeit von Sternen mittels der Dopplerverschiebung von Spektrallinien. Diese zeigt an, mit welcher Geschwindigkeit der Stern sich relativ zum Sonnensystem bewegt. Bei der Ermittlung der Radialgeschwindigkeit von Sternen wurde allerdings festgestellt, dass einige Sterne zeitliche Schwankungen in ihre Radialgeschwindigkeit aufweisen. Bei regelmäßiger Erscheinung dieser Schwankungen kann man vermuten, dass sich der Stern selbst um einen Masseschwerpunkt bewegt. Der Masseschwerpunkt distanziert sich vom Zentralgestirn, je mehr Masse sich außerhalb von diesem befindet. Wenn sich der Masseschwerpunkt weiter vom Zentralgestirn befindet, ist eine Bewegung des Sternes um diesen Massenschwerpunkt besonders gut beobachtbar. Wenn ein Exoplanet um einen Stern kreist, umkreisen er und sein Stern den gleichen Masseschwerpunkt. Dabei beeinflusst er die Bewegung des Sterns. Durch eine besonders hohe Auflösung der Spektren werden diese Variationen in der Radialgeschwindigkeit bemerkbar und zeigen die Präsenz des Exoplaneten in dem Sternsystem. [26]

10.2 Transitmethode

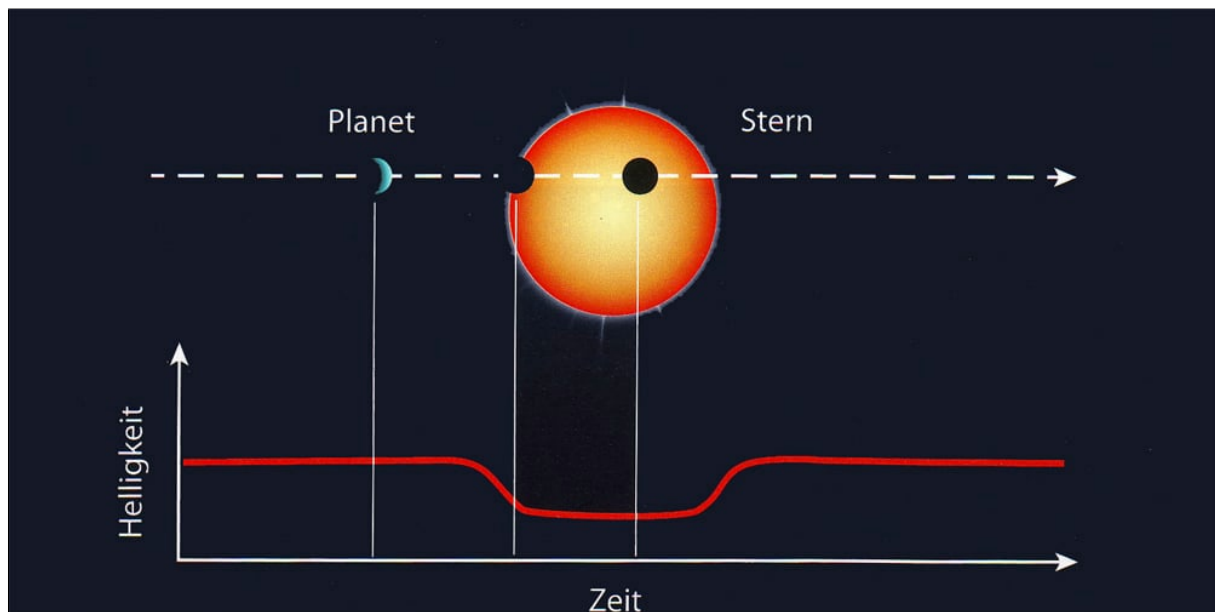


Abbildung 21: Die Transitmethode [30]

Diese Methode ist für uns von besonderer Wichtigkeit, da wir sie für den Nachweis unseren Exoplaneten genutzt haben. Sie nutzt als Grundlage die Helligkeit der Sterne. Wenn sich ein Planet zwischen einem Stern und einem Beobachter befindet, wird ein Teil des Lichts blockiert, was sich in der Helligkeit des Sterns bemerkbar macht. Die Helligkeit nimmt um den Wert ab, den der Planet ausblendet. Diese Helligkeitsveränderungen des Sterns werden in zeitlichen Abständen registriert und zu einer Lichtkurve ausgewertet. In dieser erkennt man eine stereotypische Form, die durch den Exoplaneten verursacht wird. Anhand der Transitmethode und der daraus resultierenden Lichtkurve hat man die Möglichkeit, bestimmte Daten über den Planeten, wie seine Größe, auszurechnen. [31]

11 Eigene praktische Arbeit: Transitbeobachtung

11.1 Einleitung

In der Suche nach „Leben im All“ ist der Nachweis von Exoplaneten natürlich von großer Wichtigkeit, da so bewohnbare Welten ermittelt werden und Wissen zu anderen Planeten bereitgestellt wird. Da der Nachweis ein essenzieller Schritt in der Forschung über extraterrestisches Leben ist, haben auch wir einen Exoplaneten mithilfe des Schulteleskops nachgewiesen.

11.2 Equipment

Genutzt für unseren Nachweis haben wir das „0,51m PlaneWave CDK20 f/6.8“ Teleskop. Der Durchmesser der Öffnung beträgt 0,51 Meter. Die Größe ermöglicht das Einfangen einer großen Menge an Licht und daher eine detaillierte Aufnahme des Himmels. Die Brennweite (Entfernung zwischen dem Hauptspiegel und dem Fokuspunkt des Teleskops) beträgt 3,44 Meter. Dadurch ist das Teleskop für die Ermittlung von Objekten im Deep-Sky Bereich geeignet. Das Öffnungsverhältnis von f/6,8 zeichnet das Teleskop mit der Eignung für die Beobachtung einer großen Brandbreite an Deep-Sky Objekten aus. Zudem besitzt es ein schmales Gesichtsfeld von 1,1 Grad, welches gut geeignet für die Beobachtung von einzelnen Himmelsobjekten ist. Das CDK im Namen steht für „Corrected Dall Kirkham“. Dies ist eine optische Konstruktion, welche Aberrationen (Ungleichmäßigkeiten) korrigiert. Die Kameraaufnahmen erfolgten mit der, für astronomische Zwecke entwickelten, „SBIG STX-16803“ Kamera. Es hat eine Auflösung von 16 Megapixeln, wodurch die Bilder mit einer Größe von 4096 x 4096 Pixeln aufgenommen werden. Die Größe des Sensors liegt bei 36,8 x 36,8 mm, damit ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis vorliegt. Die Empfindlichkeit der Kamera beträgt 5,4 Elektronen pro ADU. Daher kann die Kamera bei einer hohen Empfindlichkeit leichter schwache Signale empfangen. Die Unterstützung einer maximalen Belichtungszeit von bis zu 3600 Sekunden erlaubt eine Erfassung von schwachen Objekten im Himmel, was für die Beobachtung unseres Sterns vorteilhaft ist. Zudem nutzten wir einen Rotfilter, welcher Wellen künstlichen Lichtes herausfiltert, wodurch in städtischen Gebieten eine bessere Beobachtung gewährleistet ist.



Abbildung 22: Das PlaneWave CDK20

12 WASP-50b

12.1 Wahl des Exoplaneten

Um einen Exoplaneten zu finden, welchen wir nachweisen wollen, begaben wir uns auf die „Exoplanet Transit Database“ Seite. Dort besteht die Möglichkeit, unter der *Option Transit predictions*, alle beobachtbaren Exoplanetentransits aufgelistet zu bekommen. Dafür muss man den Längen und Breitengrad des Ortes angeben, von welchem aus man die Transitbeobachtung durchführt. In jener Liste sind der Zeitraum des Transits und Daten zur Einordnung angegeben. Man erhält Informationen über den Beginn und das Ende des Transits und kann sich dementsprechend einen geeigneten Transit raussuchen. Die Liste gibt ebenso die konstante Helligkeit und die Tiefe in Magnituden an.

Known transitters:

- AU Mic b
- AU Mic c
- CoRoT-1 b
- CoRoT-10 b
- CoRoT-11 b
- CoRoT-12 b
- CoRoT-13 b
- CoRoT-17 b
- CoRoT-18 b
- CoRoT-19 b
- CoRoT-2 b
- CoRoT-20 b
- CoRoT-3 b
- CoRoT-31 b
- CoRoT-35 b
- CoRoT-38 b
- CoRoT-4 b
- CoRoT-6 b
- CoRoT-8 b
- CoRoT-9 b
- DS Tuc A b
- EPIC 211945201 b
- EPIC 220102485.01 b
- EPIC 240851721 c
- G 9-40 d
- Gaia-1 b
- Gaia-2 b
- GJ 1132 b
- GJ 1214 b
- GJ 1262 b
- GJ 3470 b
- GJ 3473 b
- GJ 3928 b
- GJ 436 b
- GJ 488 b
- GJ 6627 d
- GPX-1 b
- HAT-P-11 b
- HAT-P-12 b
- HAT-P-13 b
- HAT-P-14 b
- HAT-P-15 b
- HAT-P-16 b
- HAT-P-17 b

OBJECT	BEGIN (UT/h,A)	CENTER (DD.MM. UT/h,A)	END (UT/h,A)	D (min)	V (MAG)	DEPTH (MAG)	Elements Coords
Gaia-1 b	14:34 Ori 52°,W	30.04. 15:43 35°,W	16:52 18°,W	138.22	13.242	0.0181	38468.68524+3.052524"E RA: 06 02 34.48 DE: -00 34 37.60
WASP-54 b	13:51 Vir 3°,E	30.04. 16:07 37°,E	18:22 70°,E	271	10.42	0.0095	58931.23648+3.69359999"E RA: 13 41 49.02 DE: -00 07 41.0
GJ 3473 b	15:54 CMi 62°,W	30.04. 16:23 55°,W	16:51 48°,W	57	13.74	0.0011	58492.20408+1.1980035"E RA: 08 02 22.8828 DE: -03 20 19.692
WASP-189 b	14:19 Lib -10°,E	30.04. 16:29 22°,E	18:39 54°,E	260.016	6.59776	0.0054	58926.541696+2.724033"E RA: 15 02 44.82 DE: -03 01 53.35
WASP-109 b	15:55 Lib 5°,E	30.04. 17:20 25°,E	18:45 45°,SE	170.73	10.7	0.0131	56361.19263+3.3190233"E RA: 15 28 13.23 DE: -12 34 28.4

Abbildung 23: Exoplaneten Transit Liste [32]

12.2 Verwendete Computerprogramme

Auf diese Weise erfolgte die Wahl unseres Exoplaneten, Wasp-50b, dessen Stern wir im Programm Stellarium ausfindig gemacht haben. Die Steuerung des Teleskopes erfolgte durch das Programm *10Micron Keypad*, welches das Teleskop auf den Mutterstern von Wasp-50b lenkte. Das Programm *Dimension 4* war für die Synchronisierung mit der Weltzeit zuständig. Eine automatische Aktualisierung der Zeit stellte die Genauigkeit der Uhrzeit in unserer Beobachtung sicher. Die Steuerung der Kamera erlaubte das Programm *Camera Control*. Es bietet Funktionen wie die Steuerung der Belichtungszeit und die Fokussierung an. Für die automatische Speicherung der Bilder nutzten wir das Programm *MaximDl*. Dieses Programm hat Funktionen wie die

Bildregistrierung von Transitbildern in einer Zeitreihe und war eines der wichtigsten Programme in unserer Beobachtung.

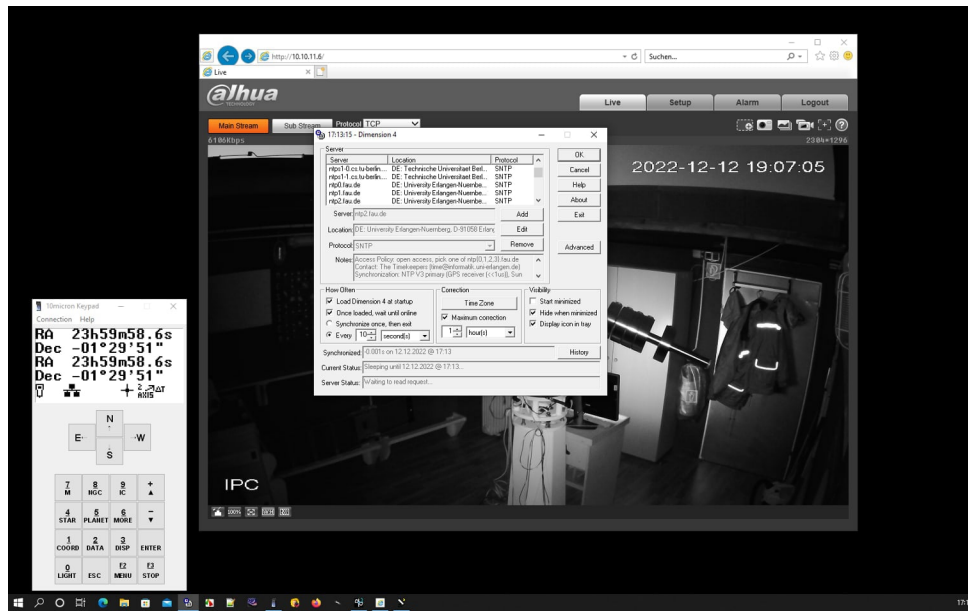


Abbildung 24: Die Steuerung des Teleskopes durch 10Micron Keypad unten links, sowie Synchronisierung der Rechnerzeit

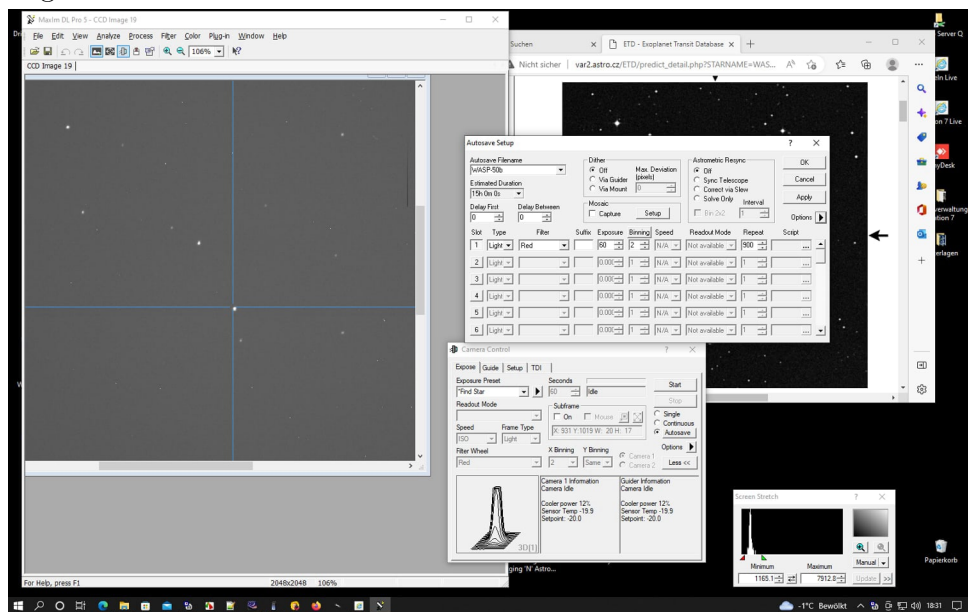


Abbildung 25: Programmierung der Aufnahmeserie, MaximDL

13 Aufnahme der Bilder

13.0.1 Darkframes, Flatfields und Rohbilder

Nachdem alle Voreinstellungen getroffen waren und das Teleskop auf den Stern fokussiert wurde, begann die Aufnahme der **Darkframes** am 12.12.2022 um 16:26 mitteleuropäischer Zeit. Es waren 20 Aufnahmen mit einer Belichtungszeit von 60s. Darauf folgten 20 Aufnahmen mit einer kürzeren Belichtungszeit von jeweils 1s um 17:09. Darkframes sind Aufnahmen, bei welchen die

Objektivklappe geschlossen ist. Durch das Abziehen der Darkframes von Lightframes können Effekte wie Hotpixel, Dunkelrauschen und Verstärkerglühen minimiert werden. Diese Effekte entstehen durch thermische und elektrische Einflüsse innerhalb der Kamera. Die sogenannten **Light**-Aufnahmen sind die eigentlichen Bilder, die aufgenommen werden. Sie enthalten die notwendige Information (in dem Fall von dem Mutterstern von Wasp-50b). Von 17:33 bis 20:12 wurden diese aufgenommen. Sie bilden die Grundlage für das Erstellen der Lichtkurve, welche unseren Exoplaneten schließlich nachweist.

Die Aufnahme der **Flatfields** startete um 17:04 MEZ. Es waren 20 Aufnahmen mit einer Belichtungszeit von 1s. Diese werden aufgenommen, um Ungleichmäßigkeiten in der Vinettierung und Verschmutzungen des Sensors auszugleichen. Wichtig ist, dass die Aufnahme der Flatfields in den gleichen Einstellungen wie bei den Lightframes durchgeführt ist, da sie zur Staubkorrekturen der Lightframes dienen. Flatfields sind in der Regel eine Aufnahme einer weißen Fläche.

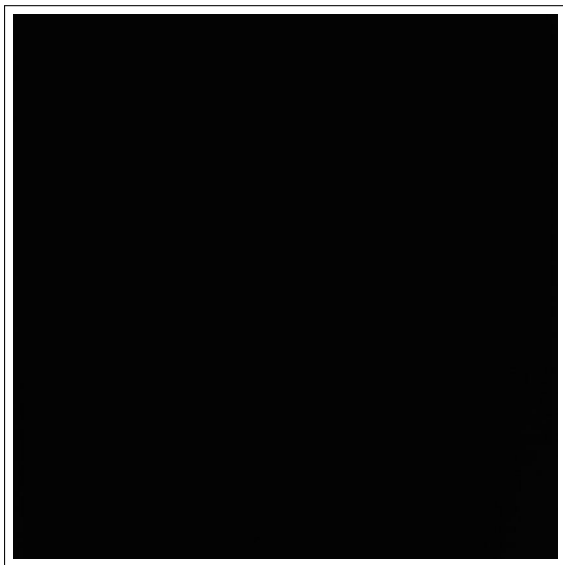


Abbildung 26: Darkframe Aufnahme

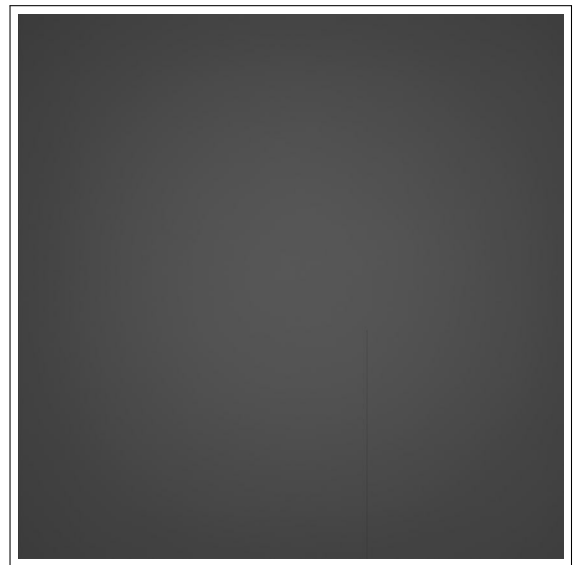


Abbildung 27: Flatfield Aufnahme



Abbildung 28: Rohbild

13.1 Kalibrierung der Bilder zur Erstellung einer Lichtkurve

Um eine Lichtkurve ohne Verfälschungen zu erhalten, ist es notwendig, die Bilder mit dem Programm *Maxim DL* zu kalibrieren. Die Fehler, die noch im RAW Image enthalten sind, sind heiße und kalte Pixel, sowie Vignettierungsfehler. Zur Kalibrierung erstellt man zunächst sogenannte Masterdateien. Dies bedeutet, dass man Mittelwerte aus ca. 20 Kalibrierbildern bildet. So werden **Masterdarks** und **Masterflats** erstellt. Dann subtrahiert man die Light-Aufnahme vom Masterdark und dividiert dies durch die Differenz des Masterflats und des Masterdarks. So erhielten wir die kalibrierten Light-Aufnahmen, die wir für die Erstellung der Lichtkurve nutzen konnten.

$$\text{Kalibriertes Bild} = \frac{\text{Rohbild} - \text{Masterdark 1}}{\text{Masterflat} - \text{Masterdark 2}}$$

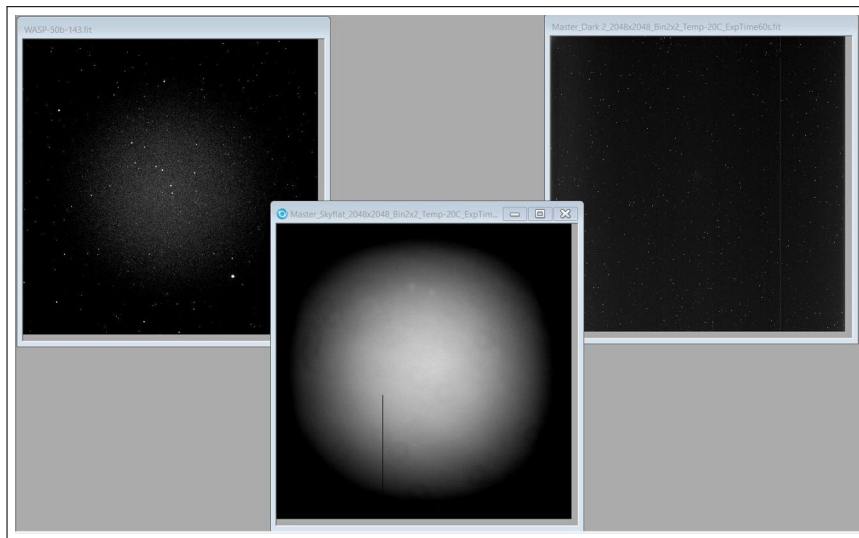


Abbildung 29: Kalibrierung (Rohbild-Masterdark) dividiert durch Masterflat

14 Erstellung der Lichtkurve

Die finale Lichtkurve wird mit dem Programm *Muniwin* erstellt. Dort werden alle kalibrierten Bilder eingefügt, sodass man alle Bilder aufgelistet nach Zeit sieht.

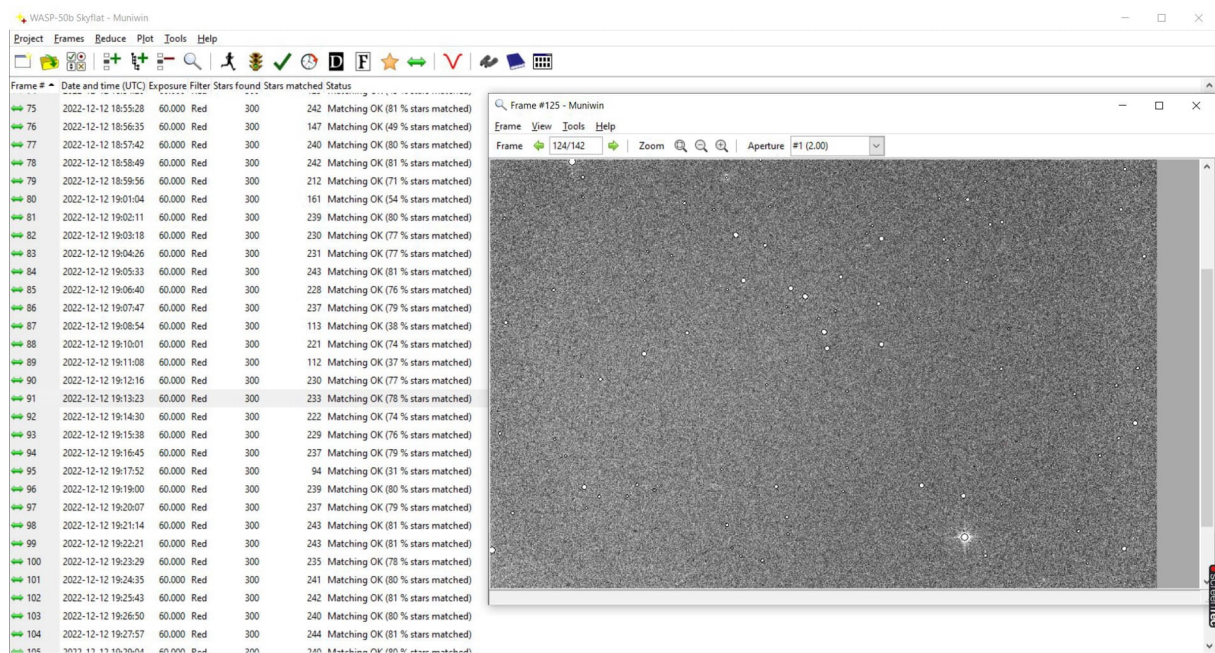


Abbildung 30: Einlesen der Bilder in Muniwin

Das Programm gibt an, wann das Bild jeweils aufgenommen wurde, welche Belichtung das Bild hat (60.000), welcher Filter verwendet wurde (Rotfilter) und wie viele Sterne gefunden wurden. Unter der Option *plot lightcurve* gab man nun das Objekt sowie die Station, auf der die Beobachtung ablief, ein. Gleichzeitig werden die Koordinaten des Standortes angegeben, von welchem aus man die Bilder aufnahm. Anschließend drückt man auf *apply*, sodass die Einstellungen gespeichert werden und man nun den Exoplaneten Wasp-50b mit **var** gekennzeichnet sieht. Zudem nutzt das Programm sogenannte Referenzsterne, um die Helligkeit des Sterns von Wasp-50b relativ zu denen der Referenzsterne zu verarbeiten. Dieser Referenzstern wird mit **comp** gekennzeichnet. Des Weiteren werden auch **check** Sterne gewählt, die ebenso für die Helligkeitsberechnung Daten liefern und so die Genauigkeit der Lichtkurve steigern können. Anschließend kann eine erste Lichtkurve erstellt werden.

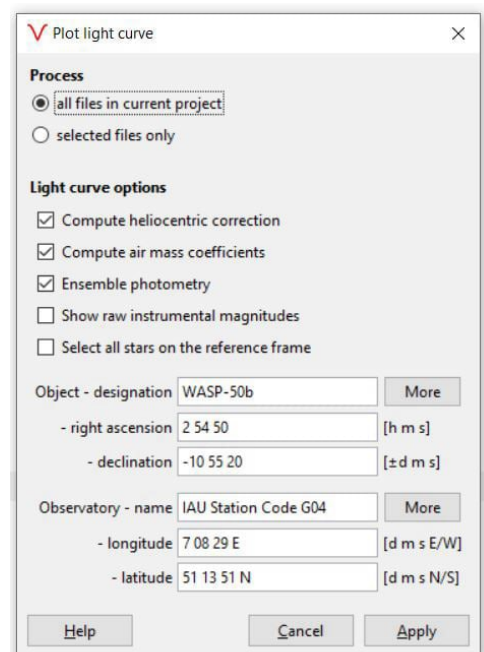


Abbildung 31: Einstellungen der Station G04

15 Lichtkurve

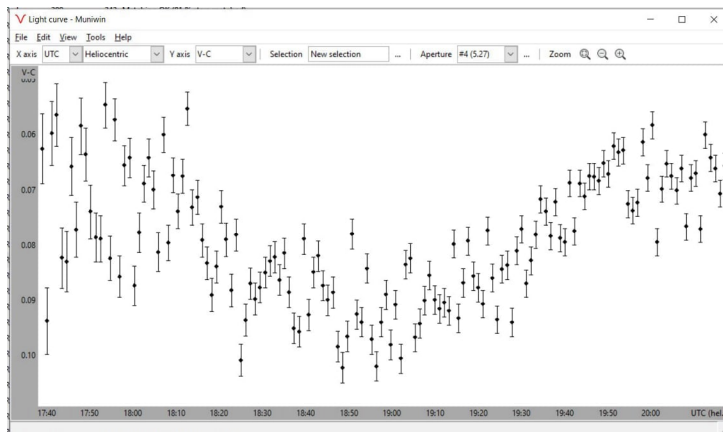


Abbildung 32: Unsere Erste Lichtkurve

Die erste Lichtkurve die wir erstellen, sieht so aus. Wie man auf dem Bild erkennt, werden die Punkte mit Fehlerbereichen dargestellt. Das liegt daran, dass die Werte grundsätzlich nicht exakt bestimmt werden können, da verschiedene Faktoren immer die Werte beeinflussen. Darunter gehören zum Beispiel atmosphärische Bedingungen oder Fehler in den Instrumenten. Dennoch ist natürlich ein deutlicher Fall in der Helligkeit zu erkennen. Die Streuung im Licht zu Beginn des Transits, welche sich links von der Kurve erkennen lässt, liegt an der Tatsache, dass der Himmel zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig dunkel war.

15.1 Bereitstellung des Ergebnisses

Unsere Daten haben wir anschließend auf der **Exoplanet Transit Database Seite** hochgeladen, was eine astronomische Datenbank für Exoplaneten ist. Dort können Astronomen der ganzen Welt Daten hochladen und miteinander teilen, die für wissenschaftliche Zwecke genutzt werden können. Die Seite kann dann bestimmte Parameter *predictions* des Exoplanetentransits, wie die Transitdauer oder die Transittiefe angeben. Diese Optionen kann man an oder ausstellen. Die Werte, die schließlich angegeben werden sind die Transittiefe in JD, die Dauer und die Tiefe in magnituden.

Abbildung 33: Einstellungen auf der ETD Seite [32]

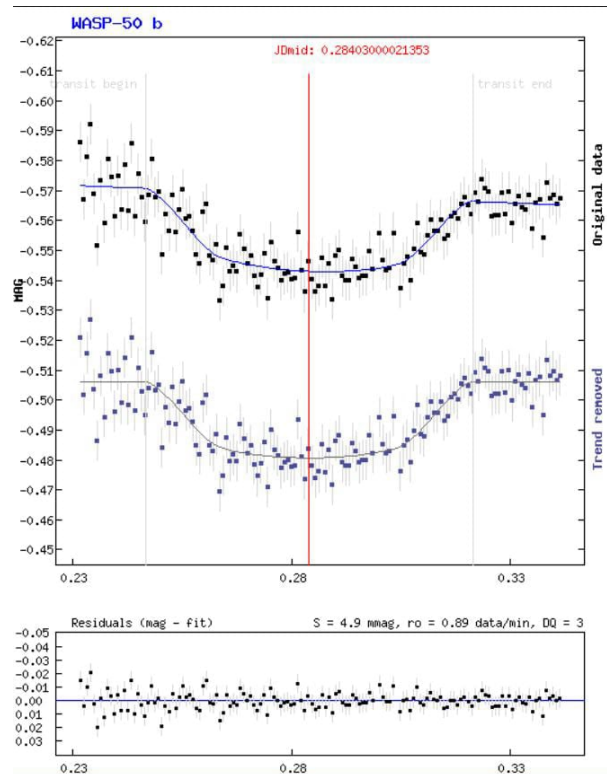


Abbildung 34: Die Lichtkurve auf der ETD Seite [32]

15.2 ETD Lichtkurve

Diese Lichtkurve ist schließlich unsere endgültige Lichtkurve, welche auf der **ETD** Seite hochgeladen ist. Sie wurde von der Seite als mäßig/gut bewertet. Dafür, dass wir sie mithilfe des Schulteleskopes erstellt haben, ist es ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis.

15.2.1 Vergleich der berechneten Parameter

Bevor die ETD Seite uns die Transitdauer, die Mitte des Transits, sowie die Tiefe des Transits angegeben hat, haben wir jene Werte eigenständig zum Vergleich ausgerechnet.

Mitte des Transits	18:53 UT
Ende	19:48 UT +/- 5min
Anfang	18:09 UT
Dauer	99 min

Tabelle 3: Erwartungen durch Berechnungen durch Betrachtung der Lichtkurve

Mid transit - UTC:	<input type="text" value="2022-12-12 18:50:30"/>
Transit duration:	<input type="text" value="97.8 +/- 4.3"/> minut

Abbildung 35: Tatsächliche Werte unseres Transits

Wie man sehen kann, sind die abgeschätzten Werte, dem ETD Wert ähnlich. Da auch Transits von Astronomen mit professionellem Equipment auf der Seite verfügbar sind, vergleichen wir unsere Ergebnisse mit denen eines anderen Astronomen. Dadurch können Gemeinsamkeiten, Erfolge und Lücken erkannt werden, die unser Ergebnis eventuell hat.

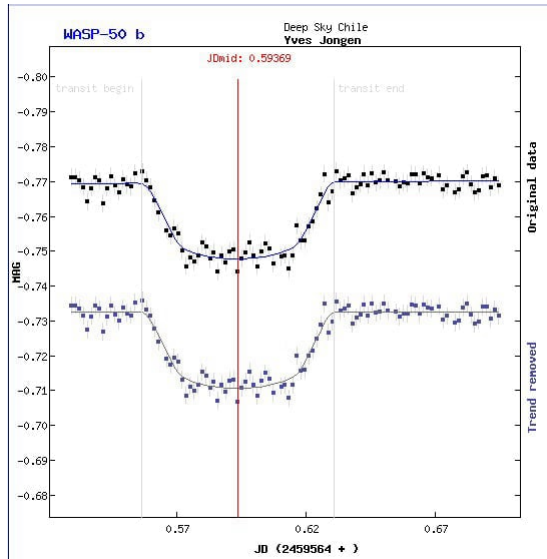


Abbildung 36: Andere Lichtkurve zum Vergleich [32]

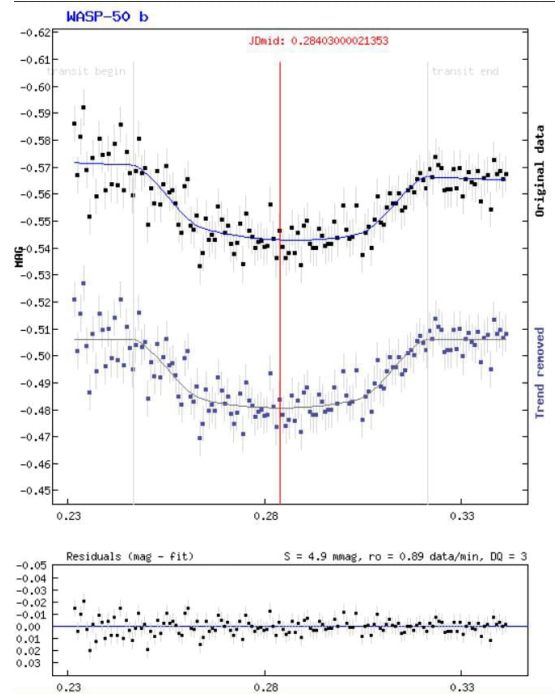


Abbildung 37: Unsere Lichtkurve

Im Vergleich kann man erkennen, dass der grobe Verlauf der Kurve ähnlich ist. Allerdings fällt auf, dass die andere Kurve eine deutlichere Änderung in der Helligkeitsabweichung zeigt und der Transitanfang sowie das Transitende besser zu erkennen sind. Insgesamt ist die Lichtkurve des anderen Astronomen genauer, dennoch weisen beide die Existenz des Planeten Wasp-50b auf ihre eigene Weise nach.

Die Transittiefe haben wir berechnet mit

$$|m_T - m_H|$$

Dies ist die Differenz der Sternhelligkeit und der Helligkeit während des Transits

$$-1,285 - (-1,305) = 0,02 \text{ mag}$$

somit haben wir 0,02 mag berechnet.



Abbildung 38: Wert auf der ETD Seite

was dem, vom Programm berechneten Wert, entspricht.

15.2.2 Die Helligkeit von Sternen

Die scheinbare Helligkeit eines Planeten wird mithilfe der Kenntnis über die scheinbare Helligkeit eines Vergleichssterne berechnet.

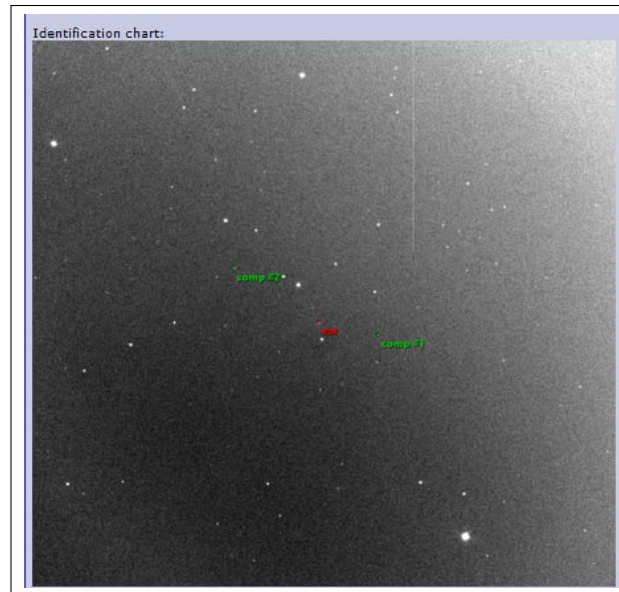


Abbildung 39: Der Mutterstern und die Vergleichssterne ; Screenshot der ETD-Seite

Var stellt in diesem Screenshot der ETD Seite den Mutterstern von WASP-50B dar, während Vergleichssterne mit *comp* dargestellt werden. Mit der unten abgebildeten Gleichung wird die Sternhelligkeit berechnet. *I* kennzeichnet die Intensität bzw. die Strahlungsflussdichte der Sterne. Die Strahlungsflussdichte, mit der man rechnet, hängt von der Entfernung zum Stern ab, daher sind die Helligkeitswerte keine **absoluten** Werte, sondern die **scheinbaren** Helligkeitswerte der Sterne. Für die Kalibrierung, also die Festlegung der Nullpunkte in der Helligkeitsskala von Sternen, wird folgender Zusammenhang aufgestellt:

$$|\text{var}| - |\text{c1}| \equiv \Delta m = -2.5 \log \left(\frac{I_{\text{var}}}{I_{\text{c1}}} \right) \quad (1)$$

Die Einteilung der Sternhelligkeit in Größenklassen fand schon im 2. Jahrhundert vor Christus statt. Der griechische Astronom *Hipparch* unterteilte die Sternhelligkeiten in seinem Sternkatalog mithilfe seines bloßen Auges. Insgesamt nutzte er sechs Größenklassen, wobei die hellsten Sterne der Größenklasse 1, und die gerade noch erkennbaren Sterne der Größenklasse 6 unterteilt wurden.

15.3 Größe des Exoplaneten

Mit der Helligkeitsänderung eines Sterns, welche wir für den Mutterstern von Wasp-50b berechnet haben, lässt sich der Anteil der Sternoberfläche berechnen, die von dem Planeten bedeckt wird. Dafür nutzt man den Transmissionskoeffizienten, der allgemein die Abschwächung des Lichts durch die Atmosphäre beschreibt.

Als Formel ergibt sich dafür:

$$\sqrt{\Delta F} = \sqrt{1 - (10^{-0.4 \cdot \Delta m})} \quad (2)$$

$$\frac{R_{\text{planet}}}{R_{\star}} = \sqrt{\Delta F}$$

So lautet demzufolge die Formel für das Verhältnis zwischen dem Planetenradius und dem Sternradius. \mathbf{F} steht für die Veränderung des Flusses (der Intensität) des Lichts.

Nach dem Einsetzen unseres berechneten Wertes für die Transittiefe erhielten wir als Ergebnis

$$\frac{R_{\text{planet}}}{R_{\star}} = 0,015$$

Im Vergleich dazu beträgt das Radienverhältnis von der Erde zur Sonne **0.0092**. Diese Zahl ist das erste Indiz für die enorme Größe des Exoplaneten.

Die ETD-Seite hat neben der Transittiefe in Magnituden ebenfalls die Größe des Planeten anhand des Radius berechnet und angegeben.

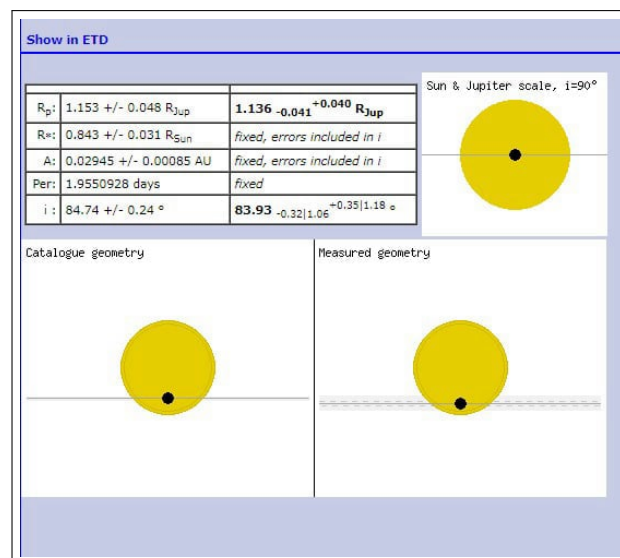


Abbildung 40: Planet-Sternverhältnis von WASP-50b ; Screenshot der ETD Seite [32]

Vergleicht man das Verhältnis zwischen dem nachgewiesenen Exoplaneten zu seinem Mutterstern mit dem Verhältnis von Jupiter zur Sonne, so fällt auf, dass es sich hierbei um einen jupitergroßen Planeten handelt. Dies bedeutet, dass der Planet um einiges größer ist, als die Erde.

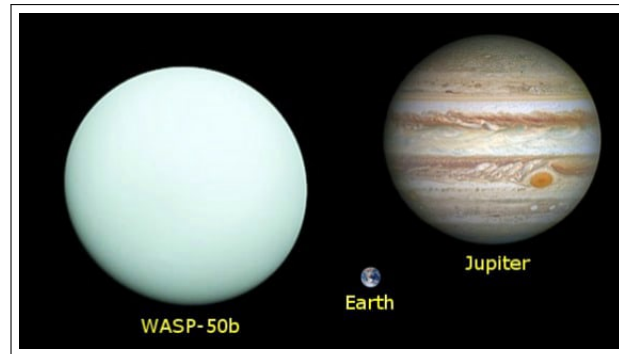


Abbildung 41: WASP-50b, Jupiter und die Erde im Vergleich [33]

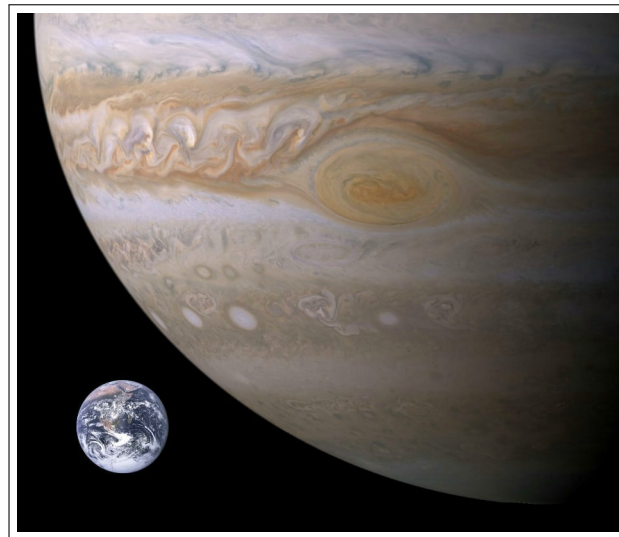


Abbildung 42: Der Jupiter und die Erde [34]

Der Gasriese Jupiter ist ca. 11 mal größer und 318-mal massiver als die Erde.

Für unseren Exoplaneten bedeutet das, dass die Werte hierbei ähnlich aussehen würden. Daher ist zu vermuten, dass es sich nicht um einen erdähnlichen Gesteinsplaneten handelt. Der größte, bisher bekannte Gesteinsplanet ist TOI-849b mit der 40-fachen Masse von der Erde. Gasplaneten hingegen bestehen überwiegend aus leichten Gasen wie Wasserstoff und Helium und können enorme Größen erreichen. Allerdings kann man die genauen Zusammensetzungen des Planeten nur durch genauere Untersuchung durch beispielsweise Spektroskopie ausfindig machen. So gelangt man an verschiedene Informationen wie der vorhandenen Elemente in der Atmosphäre. Die Spektroskopie ist die systematische Untersuchung der Wellenlängen des Lichts, die ein Sternsystem aussendet. Diese Untersuchung fand bisher nur durch die größten und fortschrittlichsten Teleskope statt. Dennoch konnten wir durch unsere Transitbeobachtung mit dem Schulteleskop viele erstaunliche Informationen gewinnen. [35]

16 Die zukünftige Suche nach Leben

Es stellt sich natürlich die Frage, ob die Menschheit je die Existenz von außerirdischem Leben beweisen kann oder wird. Bereits in der Frage, ob die Menschheit der Erde überhaupt aktiv nach außerirdischem Leben suchen sollte, gibt es gespaltene Meinungen. Teilweise werden sich von Persönlichkeiten wie *Stephen Hawking* Szenarien vorgestellt, bei welchen außerirdische Zivilisationen, die weiter entwickelt sind als unsere, die Ressourcen der Erde ausnutzen könnten. Die Möglichkeit dazu haben allerdings nur hoch entwickelte Zivilisationen. Neben hoch entwickelten Zivilisationen, kann man natürlich auch einfache Lebensformen suchen und nachweisen.

Beim Vorliegen von ersten Indizien auf Leben, macht die NASA es sich mithilfe eines **sieben Stufen Plans** zur Aufgabe, diese Indizien, zum Beweis von außerirdischem Leben, zu überprüfen. Der erste Schritt besteht darin, dass ein Weltraumteleskop, ein Rover oder ein anderes technisches Gerät eine Biosignatur auf einem anderen Objekt als der Erde aufzeichnet. Damit sind chemische Elemente/Verbindungen/Vorgänge oder andere Anzeichen gemeint, die biologisch entstanden sein könnten. Darauf folgt die zweite Stufe, in welcher die chemischen und physischen Eigenschaften des Objektes, auf dem die Biosignatur gefunden wurde, genauer untersucht werden. Wenn eine interplanetare Kontamination aufgrund der Entfernung nicht in Erwägung gezogen werden kann, ist die zweite Stufe erreicht. Für dritte Stufe wird abgeschätzt, ob die Umgebung der Biosignatur bewohnbar wirkt. Betrachtet werden hierbei Faktoren wie die Temperatur oder der Lichteinfluss. Der Beweis wird auf die vierte Stufe erhoben, wenn diese nicht lebenden Aspekte der Umwelt als Ursache ausgeschlossen werden können. Die letzten drei Stufen der Sieben-Stufen Überprüfung sind die kompliziertesten Untersuchungen des gesamten Stufensystems. Wenn ein weiteres Signal unabhängig von der ersten entdeckt wird, erreicht der Nachweis die fünfte Stufe. Für die Erhebung in die sechste Stufe müssen deutliche Beweise vorliegen, die zeigen, dass die Signale tatsächlich biologischen Ursprungs sind. Dafür müssen ergänzende Messungen und Beobachtungen stattfinden, um alle Hypothesen zu widerlegen, die einen anderen Ursprung der Signale erklären könnten. Erst wenn weitere unabhängige Untersuchungen der Ergebnisse, Weltraum-missionen und Datensammlungen erfolgen, ist der endgültige Beweis von außerirdischem Leben, und somit die siebte Stufe, abgeschlossen.

Für die weitere Suche von Leben sind seit 2021 mehr als 80 Teleskope geplant, die bei der Suche behilflich sein sollen. Gleichzeitig werden Prototypen von Teleskopen erstellt, die nach infraroten Lichtblitzen, die in Zeitspannen von weniger als einer Sekunde auftreten, im Weltraum Ausschau halten sollen. Die Prototypen basieren auf der Hypothese, dass diese Lichtblitze als Kommunikationsmittel von anderen Zivilisationen dienen könnten.

Abgesehen davon erleichtern Teleskope wie das James-Webb-Teleskop und zukünftige Teleskope wie das Extremely Large Telescope, das 2027 starten soll, die zukünftige Suche nach Leben im All um Einiges. [36] [37]

17 Fazit

Wenn wir zusammenfassen müssten, wie wahrscheinlich es ist, dass Leben im All existiert, könnten wir dank der Projektarbeit einige Ansätze finden. Einerseits haben wir die Erkenntnis gewonnen, dass Biomoleküle wie Aminosäuren sich lediglich durch die Simulation der urzeitlichen Erde bilden können. Für diese benötigt man unter anderem die essenziellen Elemente Kohlenstoff, dessen Eigenschaften ihn zum wohl idealsten Grundbaustein des Lebens machen, molekularen Wasserstoff und Wasser, welches für chemische Reaktionen in Lebewesen eine wichtige Rolle spielt. Zusätzlich benötigen wir weitere schwere Elemente, die in der (riesigen) galaktischen habitablen Zone durch Nucleosynthesen entstehen. Viele dieser Elemente kommen sehr häufig im Universum vor, was für eine hohe Wahrscheinlichkeit der Existenz von Leben im All von Vorteil ist. Auch die in Kometen und Meteoriten vorgefundenen Biomoleküle zeigen, dass es im restlichen Weltall genügend Mengen an diesen geben müsste. Viele der genannten Voraussetzungen könnten auf Exoplaneten, von denen es allein in der Milchstraße über Milliarden geben soll, vollständig erfüllt werden. Letzendlich ist unser Universum unglaublich groß, was bedeutet, dass genügend Sterne und Planeten vorhanden sind, die als Kandidaten für die Beherbergung von Leben gelten könnten. Vielleicht ist es auch diese Tatsache, die uns in der Suche nach Leben zum Verhängnis wird. Die enorme Größe des Universums begründet auch die enormen Distanzen zwischen unserem Sonnensystem und anderen Sternen. Ohne weit fortgeschrittene Technik ist es wohl unmöglich für uns Menschen, sogar in die am nächsten gelegenen Sternsysteme zu reisen. Da wir dem heutigen Stand zufolge nicht selbst zu den Exoplaneten reisen können, ist es umso bedeutsamer, die Exoplaneten mit unserer Technik und unserer endlosen Neugier zu untersuchen. Immerhin hat diese Methode unser Wissen über Exoplaneten innerhalb von wenigen Jahrzehnten um ein Vielfaches erhöht.

Quellenverzeichnis

Bücher

- ⁶Kevin W Plaxco und Michael Groß, *Astrobiologie für Einsteiger*, Druckserie A 2012 (Wiley-VCH, 2012), S. 5–90.
- ⁹Olaf Fritsche, *Leben im All*, 1. Auflage 2007 (Rowohlt Taschenbuch, 2007), S. 10–40.
- ³¹Joachim Grehn und Joachim Krause, *Metzler Physik*, Druck A Jahr 2012 (Schroedel, 2012), S. 82–83.

Internetquellen

- ¹*Der Mann im Mond*, <https://i.pining.com/564x/5c/b9/ea/5cb9ea1a12fb32673b63469487af22bc.jpg>, (aufgerufen: 05.05.2023).
- ²*Bewohnte Welten*, <https://www.faz.net/aktuell/wissen/ausserirdisches-leben-geschichte-der-suche-nach-bewohnten-welten-16097146.html>, (aufgerufen: 01.05.2023).
- ³G. Krampitz, *Die Entstehung des Lebens*, <https://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/opus4/frontdoor/index/index/docId/27561>, (aufgerufen: 03.02.2023).
- ⁴*Photosynthese*, <https://pixfeeds.com/images/21/517037/1200-479806796-process-of-photosynthesis.jpg>, (aufgerufen: 20.04.2023).
- ⁵*Prokaryoten*, <https://pl.puntomarinero.com/prokaryotes-are-prokaryotes-and-eukaryotes/>, (aufgerufen: 24.04.2023).
- ⁷*Kohlenstoffatom*, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbon_atom_\(Bohr_model\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbon_atom_(Bohr_model).png), (aufgerufen: 23.04.2023).
- ⁸*Wassermolekül*, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Water_Molecule_3D_X_2.jpg#/media/File:Water_Molecule_3D_X_2.jpg, (aufgerufen: 25.04.2023).
- ¹⁰*Geschichte des Lebens*, <https://www.phoenix.de/themen/dossiers/geschichte-des-lebens-a-140870.html#!>, (aufgerufen: 25.03.2023).
- ¹¹*Prokaryont*, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prokaryote_cell.svg#/media/File:Prokaryote_cell.svg, (aufgerufen: 19.04.2023).
- ¹²*Eukaryont*, <https://sciencetrends.com/dna-called-blueprint-life-heres/>, (aufgerufen: 19.04.2023).
- ¹³*Ein winziger DNA Doppelstrang*, https://www.u-helmich.de/bio/gen/reihe2/21/Bilder/Chemische_Struktur_der_DNA.png, (aufgerufen: 21.04.2023).
- ¹⁴*Nucleotide general*, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nucleotide_nucleoside_general-de.svg#/media/File:Nucleotide_nucleoside_general-de.svg, (aufgerufen: 27.04.2023).
- ¹⁵*Difference DNA RNA*, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9810855>, (aufgerufen: 26.04.2023).

- ¹⁶ *Aminosäure Allgemein*, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AminosC3A4ure_allgemein.svg#/media/File:Aminos%C3%A4ure_allgemein.svg, (aufgerufen: 27.04.2023).
- ¹⁷ *Proteinstruktur bestimmt Protein*, [Proteinstruktur%20bestimmt%20Proteinfunktion%20-%20scinexx.de](https://www.scinexx.de), (aufgerufen: 27.04.2023).
- ¹⁸ *Miller Urey*, <https://de-academic.com/pictures/dewiki/77/Miller-Urey-Experiment-2.png>, (aufgerufen: 19.04.2023).
- ¹⁹ *Die Strecker Synthese von Aminosäuren*, [The%20Strecker%20Synthesis%20of%20Amino%20Acids%20%E2%80%93%20Master%20Organic%20Chemistry](https://www.masterorganicchemistry.com), (aufgerufen: 20.04.2023).
- ²⁰ *Rosettas Komet enthält die Bausteine des Lebens*, https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Rosettas_Komet_enthaelt_die_Bausteine_des_Lebens, (aufgerufen: 12.04.2023).
- ²¹ *Die 20 Aminosäuren*, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=116944221>, (aufgerufen: 20.04.2023).
- ²² *Schöne, alte RNA Welt*, <https://www.spektrum.de/news/stand-die-rna-am-anfang-des-lebens/1413735>, (aufgerufen: 10.04.2023).
- ²³ *Gibt es Leben im Universum?*, <https://www.mpifr-bonn.mpg.de/607400/leben>, (aufgerufen: 10.04.2023).
- ²⁴ *Habital Zone*, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=40180635>, (aufgerufen: 20.04.2023).
- ²⁵ *galaktische habitable Zone*, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25973551>, (aufgerufen: 20.04.2023).
- ²⁶ *Exoplanet*, <https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Exoplaneten>, (aufgerufen: 01.05.2023).
- ²⁷ *Gliese 876*, <https://assignmentpoint.com/wp-content/uploads/2021/05/Gliese-876-1.jpg>, (aufgerufen: 23.04.2023).
- ²⁸ *Habitable Zone*, https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Habitable_Zone, (aufgerufen: 10.04.2023).
- ²⁹ *Radial velocity by ESO*, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5168982>, (aufgerufen: 19.04.2023).
- ³⁰ *Transit*, <https://imageio.forbes.com/blogs-images/briankoberlein/files/2017/04/transit-1200x511.jpg?format=jpg&width=960>, (aufgerufen: 28.04.2023).
- ³³ *Wasp-50b im Vergleich*, <https://waspplanets.files.wordpress.com/2019/08/wasp-50b.png>, (aufgerufen: 05.05.2023).
- ³⁴ *Jupiter im Vergleich zur Erde*, <https://ferner.ac/jupiter-compared-earth>, (aufgerufen: 01.05.2023).
- ³⁵ *Jupiter und Erde Vergleich*, <https://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/files/2014/05/Jupiter-Earth-Spot-comparison.jpg>, (aufgerufen: 01.05.2023).

³⁶ *Suche nach Leben im All*, <https://www.srf.ch/wissen/weltraum/suche-nach-leben-im-all-die-naechste-generation-weltraumteleskope-ist-laengst-in-planung>, (aufgerufen: 05.05.2023).

³⁷ *7 Stufen Plan*, <https://www.welt.de/kmpkt/article234806978/Nasa-Forscher-wollen-mit-7-Stufen-Plan-ausserirdisches-Leben-nachweisen.html>, (aufgerufen: 05.05.2023).

Softwareverzeichnis

³² *Exoplanet Transit Database Seite* (<http://var2.astro.cz/ETD/>).

Danksagung für die Unterstützungsleistungen

Hiermit danken wir unserem Projektleiter, Herrn Koch, der uns das ganze Jahr über unterstützt hat. Zudem bedanken wir uns bei Frau Vittinghoff, welche die Überprüfung der biologischen Aspekte in der Arbeit übernommen hat. Zuletzt danken wir Frau Rhai, die uns in allen chemischen Fragen zur Hilfe gekommen ist.

Selbstständigkeitserklärung

Wir versichern hiermit, dass wir unsere Arbeit

„Leben im All“

selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Die in der Arbeit angegebenen Links wurden zum Zeitpunkt des Aufrufs überprüft und enthielten keine illegalen Inhalte. Für jegliche Änderungen der Inhalte übernehmen wir keine Verantwortung.

Wuppertal, der 6. Mai 2023

Lara Yuce und Sadaf Mohammad Zahir