



**Bundesrealgymnasium Kepler; Keplerstraße 1, 8020 Graz**

Vorwissenschaftliche Arbeit

# Leben in unserem Sonnensystem und Formen, die es annehmen könnte

**Verfasst von Pierre Wustinger**

**8B**

**Betreut durch Mag. Diethard Triebel**

**Graz, 23. Februar 2024**

## Abstract

Diese Arbeit beschäftigt sich mit außerirdischem Leben im Sonnensystem, mit Fokus auf die beiden Monde Europa und Titan. Dabei liegt das Ziel, die Formen, die mögliche Organismen annehmen könnten, die möglichen Lebensräume und wie sich extraterrestrische Lebewesen entwickelt haben könnten, mithilfe modernstem Wissen zu beleuchten. Die Arbeit ist in drei Kapitel aufgeteilt, im ersten wird die Frage, was Leben überhaupt benötigt, bearbeitet, im zweiten und dritten die beiden Monde, deren Umgebung und wie sich Leben auf diesen entwickeln und aufbauen könnte. Am Ende folgt basierend auf den Erkenntnissen ein Fazit, wie wahrscheinlich es nun tatsächlich ist Leben vorzufinden und was dies bedeuten könnte.

### Vorwort:

Seitdem ich mich erinnern kann, beschäftigt mich die Frage, ob wir allein im Universum sind. Seien es unfassbar weit entwickelte Zivilisationen oder winzige Einzeller, die Vorstellung, dass irgendwo da draußen ein unbekannter Nachbar existiert, der sich unabhängig von uns entwickelt hat, finde ich einfach unglaublich interessant.

Zudem strebe ich eine berufliche Laufbahn in der Astronomie an, weshalb ich mich für genau dieses Thema entschieden habe, mit dem Fokus auf unser Sonnensystem und zwei der mit vielversprechendsten Kandidaten für mögliches Leben in diesem. Dank der Hilfe meines Betreuers und manch einem Schulkollegen wurde diese Arbeit schlussendlich doch noch leserlich und mehr oder weniger übersichtlich.

# Inhaltsverzeichnis

Abstract .....	2
Einleitung.....	4
Was genau braucht Leben? .....	6
TITAN .....	8
1.1Umgebung .....	9
1.2Aufbau möglichen Lebens .....	10
1.3Mögliche Energiequellen.....	12
1.4Verfügbare Nährstoffe .....	14
1.5 Mögliche Methoden zur Nährstoffverwendung von Mikroorganismen auf Titan .....	15
1.6 Mögliche Lebensräume .....	17
1.7 Probleme durch Umgebung .....	19
1.8 Möglichkeiten für Erbgutspeicherung .....	20
1.9 Conclusio .....	21
EUROPA.....	22
2.1 Lebensräume und mögliche Bewohnbarkeit.....	22
2.2 Formen möglicher Organismen .....	24
2.2 Nährstoffe:.....	26
2.3 Welche Hürden hätte Leben in Europas Ozean? .....	27
2.4 Conclusio .....	29
Schlussfolgerung:.....	30
Literaturverzeichnis .....	31
Abbildungsverzeichnis .....	33

# Einleitung

„Wenn die Menschen nachts zum Himmel blicken, sehen sie heute genauso wie vor Tausenden Jahren nur jede Menge Lichtpunkte. Nichts deutet auf den ersten Blick darauf hin, dass einige davon Sterne sein könnten wie unsere Sonne oder Planeten wie unsere Erde.“<sup>1</sup>

Die Frage, ob die Menschheit allein im Universum ist, beschäftigt diese bereits seit Jahrtausenden, auch wenn wir dieser erst seit wenigen Jahrzehnten gut nachgehen können.

Während viele Theorien und Gedankengänge sich primär auf Umgebungen außerhalb des Sonnensystems beziehen, sorgten neue Entdeckungen über die letzten Jahrzehnte hinweg für neue Hypothesen, die sich fragen: Ist die Menschheit ein alleiniger Bewohner des Universums, oder hat sie unbekannte Nachbarn, die sich eventuell im verhältnismäßig nahen Sonnensystem aufhalten?

Diese Arbeit beschäftigt sich mit genau diesen Möglichkeiten von außerirdischem Leben in unserem Sonnensystem, mit besonderem Fokus auf die beiden Monde Titan und Europa. Als Ziel der Arbeit liegt das Vergleichen verschiedener Theorien und die Beurteilung, inwiefern Leben tatsächlich und in welchen Formen vorkommen könnte.

Für manch einen mag es sehr skurril wirken im Sonnensystem nach Leben zu suchen, da so gut wie jeder Himmelskörper für uns Menschen eine lebensfeindliche Umgebung darstellt. Planeten wie Mars oder Venus gelten als gute Kandidaten für mögliches, wenn auch bereits verschwundenes Leben, wenn man sich auf Planeten beschränkt. Auf der Venus fand man die erste Biosignatur außerhalb der Erde, Phosphin ( $\text{PH}_3$ )<sup>2</sup>, während man auf dem Mars Beweise für Gewässer, welche noch bis vor ca. 2 Milliarden Jahren flossen und die Oberfläche formten, nachweisen konnte.<sup>3</sup>

Dennoch haben vor allem Monde in den letzten Jahren immer mehr Blicke auf sich gezogen, da manche von ihnen höchstwahrscheinlich flüssiges Wasser unter ihrer Oberfläche besitzen oder zu den erdähnlichsten uns bekannten Objekten gehören. Zwei Monde stechen jedoch

---

<sup>1</sup> Freistetter, Florian: Die Neuentdeckung des Himmels. Auf der Suche nach Leben im Universum. 1. Hanser. 2014. S.1

<sup>2</sup> Loeb, Avi: extraterrestrial. The first sign of intelligent life beyond earth. 1. Pantheon. 2022. S.177

<sup>3</sup> <https://www.nasa.gov/solar-system/nasas-mro-finds-water-flowed-on-mars-longer-than-previously-thought/>  
Stand: 2.1.2024

heraus: Titan und Europa. Titan ist, trotz seines deutlich anderen chemischen Aufbaus, dank seiner Flüsse, Seen und Meere, welche seine Oberfläche prägen, das Himmelsobjekt im Sonnensystem, das der Erde am ähnlichsten ist, auch wenn man auf seiner Oberfläche statt Wasser flüssiges Methan und andere Kohlenwasserstoffe vorfindet. Europa besitzt zwar keine offen liegenden Meere oder Flüsse, dafür aber ein riesiges Meer unter seiner Eiskruste. Dieses könnte, zumindest deuten viele Indizien darauf, geothermische Aktivitäten unter seiner Oberfläche haben, was die Meere noch lebensfreundlicher machen könnte. <sup>4</sup>

Falls sich Leben entwickelt hat, dann unter anderen Umständen als sie uns bisher bekannt sind. Außerdem müssten mögliche Organismen mit anderen bzw. weniger verfügbaren Stoffen auskommen. Aus genau diesen und vielen anderen Gründen wird sich Leben höchstwahrscheinlich unabhängig von dem auf unserer Erde entwickelt haben, also in anderen, uns unbekannt Formen und mit Lebensweisen, die für uns unvorstellbar sein könnten.

---

<sup>4</sup> <https://www.jpl.nasa.gov/news/europas-interior-may-be-hot-enough-to-fuel-seafloor-volcanoes> Stand: 2.1.2024

# Was genau braucht Leben?

Die simpelsten aller Lebensformen, wie sie Wissenschaftler auf der Erde kennen, benötigen in Wahrheit nur 4 Komponenten:<sup>5</sup>

1. Wasser
2. Energiequellen (Wärme, chemische Reaktionen)
3. Weitere Elemente (Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Phosphor, Schwefel)
4. Zeit

Wenn man sich unsere Erde ansieht, und wann Leben auf dieser entstanden ist, erkennt man, dass dies, kosmologisch gesehen, mit rund 500 Millionen Jahren nach der Abkühlung der Ozeane ziemlich schnell geschehen ist.<sup>6</sup> Da alle Himmelskörper im Sonnensystem ca. gleich alt sind, mangelte es möglichen Organismen sicherlich nicht an Zeit, um sich zu entwickeln. Die anderen 3 Komponenten schränken die Suchen nach habitablen Lebensräumen deutlich ein, unsere Erde ist der einzig bekannte Himmelskörper, welcher bewiesenermaßen alle Kategorien erfüllt.

Eine weitere, wichtige Komponente für das Entstehen von Leben ist der Schutz vor kosmischer Strahlung. Diese kann Zellen und deren Erbgut beschädigen oder Leben sogar ganz aufhalten, auch wenn es Theorien zu Bakterien gibt, die der kosmischen Strahlung, welche auf der frühen Erde zu finden war, trotzen können.<sup>7</sup>

Was für eine Säuerlichkeit, Temperatur oder Druck der Lebensraum hat, ist simplen Leben prinzipiell egal. Auch auf der Erde findet man in den extremsten Umgebungen, seien es Vulkane, tief im Boden, in der Tiefsee oder auf den höchsten Bergen, Mikroorganismen, sogenannte Extremophile, welche sich an ihre lebensfeindlich wirkende Umgebung angepasst haben.

Eines der hartnäckigsten Lebewesen ist das Bärtierchen. Dieses ist enorm resistent gegen fast alle Umwelteinwirkungen: ESA-Astronauten ließen Bärtierchen für zehn Tage lang im Weltraum die Erde umkreisen, bei Temperaturen nahezu dem absoluten Nullpunkt. Als die Wissenschaftler die Proben rehydrierten, überlebten nahezu alle, welche nur dem Vakuum des Alls trotzen mussten; nichtsdestotrotz überlebten auch Teile der Proben, welche der Strahlung aus dem Weltall ausgesetzt

---

<sup>5</sup> <https://europa.nasa.gov/why-europa/ingredients-for-life/> Stand: 8.2.2024

<sup>6</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/Life#:~:text=The%20age%20of,billion%20years%20ago>. Stand: 13.2.2024

<sup>7</sup> Dai, S., Xie, Z., Wang, B: An inorganic mineral-based protocell with prebiotic radiation fitness. 2023.

URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-023-43272-5#citeas> Stand: 3.2.2024

waren. Dabei konnten sie sich nachher sogar noch fortpflanzen. Wie genau Bärtierchen diese Bedingungen überleben ist jedoch bis heute ein Rätsel.<sup>8</sup>

Organismen wie das Bärtierchen zeigen aus, unter welchen Bedingungen Leben sich entwickeln kann- und sind ein Beispiel, dass Leben auch in den undenkbarsten Bedingungen einen Weg findet, zu entstehen und zu leben. Und mit dieser Erkenntnis wird die Betrachtung der beiden Monde nun stattfinden.

---

<sup>8</sup> <https://cordis.europa.eu/article/id/29839-water-bears-survive-space-environment-study-shows/de> Stand: 7.2.2024



*1Porträt von Titan durch Cassini Sonde (NASA 2014)*

Titan ist, abgesehen von der Erde, der einzige Himmelskörper, auf dem ein Element in flüssiger Form auf der Oberfläche bestätigt wurde. Sein Regen aus Methan und die vielen Flüsse und riesigen Seen machen den Mond zu dem der Erde ähnlichsten Himmelskörper im Sonnensystem. Dies, kombiniert mit seiner ausgeprägten und dichten Atmosphäre, welche die Oberfläche vor kosmischer Strahlung schützt, macht ihn zu einem vielversprechenden Ort, um außerirdisches Leben zu finden. Außerdem fand man heraus, dass Wasserstoff in der Nähe der Oberfläche verschwindet und das dort zu erwartende Acetylen fehlt, was dem theoretischen Modell von Chris McKay<sup>1</sup> entspricht, nachdem dieses Phänomen auf biologische Aktivität zurückzuführen ist. Doch was genau macht Titan zu einem so vielversprechenden Kandidaten, und wie könnte sich Leben dort entwickelt haben? Falls es tatsächlich Leben gibt, wie würde es funktionieren, mit welchen Problemen hätte es zu kämpfen und wo könnte es aw sich in welcher Form aufhalten?

---

<sup>1</sup>Cowen, Ron: Missing chemicals on Titan could signal life. 2010. URL: <https://www.sciencenews.org/article/missing-chemicals-titan-could-signal-life> Stand: 3.1.2024

## **1.1 Umgebung**

Die Zustände auf Titan sind dem der Erde sehr verschieden, der Druck der stickstoffreichen Atmosphäre beträgt 1.5 Bar. Dass die enorm dicke Atmosphäre sich trotz der geringen Schwerkraft gebildet hat, lässt sich durch die niedrige Temperatur auf Titan begründen.<sup>2</sup> Die Temperaturen sind mit durchschnittlich 94 Kelvin (-179°C) deutlich niedriger als auf der Erde. Dank diesen niedrigen Temperaturen besitzt der Mond riesige Seen und Flüsse aus Methan und anderen Elementen, welche die Oberfläche, ähnliche wie auf der Erde, unter anderem durch Erosion, verformen und prägen. Die Schwerkraft ist nur rund 15% so groß wie auf der Erde, der Abstand von der Sonne das Zehnfache.<sup>3</sup> Seien es die Flüsse und riesigen Seen, die auf den ersten Blick sehr erdähnlich wirkende Oberfläche, aber auch die giftige Atmosphäre wie auch die enormen Mengen an flüssigem Methan, Titan ist gleichzeitig der Erde sehr ähnlich, aber könnte auch nicht unterschiedlicher sein. Zudem besitzt Titan ebenfalls einen flüssigen Ozean aus Wasser und Ammoniak, ähnlich wie andere Eismonde wie z.B. Europa oder Enceladus (Wikipedia 2023)

Schlussfolgend lässt sich sagen, dass die aufgrund der niedrigen Temperaturen, wie auch dem Aufbau der Oberfläche, der der Erde generell sehr unterschiedlichen Umgebung für Leben, welches unserem gleicht, also auf Wasser angewiesenes kohlenstoff-basiertes Leben, keine passende Umgebung darstellt. Dennoch geben neue Erkenntnisse und Theorien Antworten für die Fragen, ob sich Leben dennoch entwickeln könnte, wie es aufgebaut sein müsste und mit welchen Hürden es zu kämpfen hätte.

---

<sup>2</sup> Kaltenecker, Lisa: Sind wir allein im Universum?. 1. Ecowin. 201. .S.84

<sup>3</sup> Wikipedia, 2024, URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Titan\\_\(Mond\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Titan_(Mond)) Stand: 12.2.2024

## **1.2 Aufbau möglichen Lebens**

Die Umgebung des Titans gleicht der unserer Erde nur in wenigen Aspekten. Der Mond weist eine andere atmosphärische Zusammensetzung auf und einen erhöhten Druck. Zudem sorgt die methanreiche Umgebung für weitere Einschränkungen und einhergehenden Anpassungen. Zu denen zählt das Bilden einer Hülle, welche laut Martin Rahm sich nicht wie auf der Erde durch Lipide bilden könnte. (Wood 2020) Deshalb müssten sich Zellen mit einer anderen, härteren Hülle ausstatten. Für genau dieses Problem war ein Forscherteam unter Paulette Clancy an der Cornell University einer Lösung auf der Spur<sup>4</sup>. Mögliche Mikroorganismen könnten auf Acrylonitrile setzen, welche im Vergleich zu Lipiden sich direkt mit nahen Molekülen verbinden, ohne mit umgebenden Flüssigkeiten interagieren zu müssen. Dabei würde diese Art der Zellhülle unter Titans Oberflächenbedingungen eine Flexibilität bieten, wie sie für Bewegungen perfekt geeignet wäre. Für genau diese Stoffe wurden bereits die benötigten chemischen Bestandteile auf Titan gefunden. (Wood 2020).

Vielversprechend für Leben auf Titan sind nicht nur die theoretischen Möglichkeiten einer Zellhülle, sondern auch, dass sich diese theoretisch zufällig bilden könne. (Wood 2020). Basierend auf den Erkenntnissen unter Paulette Clancy simulierte Rahm mit seinem Forschungsteam einen Methansee und ließ Acrylonitrile auf Methanmoleküle prallen, und kam zum Ergebnis, dass diese zu einem Art Kristall werden, welcher sich nicht als Zellhülle eignet. Dennoch plädierte Cornells Team auf mögliche Spurenelemente in Titans Seen, welche diesen Prozess der Kristallisierung verändern könnte, auch wenn dies sehr spekulativ sei. (Wood 2020).

Zudem könnte sich Leben seine Zellen auf Silikonbasis konstruieren, anders als kohlenstoffbasiertes Leben wie auf der Erde. Diese Möglichkeit der Substitution gilt als eine der vielversprechendsten, da:

---

<sup>4</sup> Wood, Charlie: If life exists on Titan, its even weirder than we thought. 2020.  
URL:<https://www.popsci.com/story/space/life-on-titan/> (Stand 3.2.2024)

1. Silikon eine ähnliche Versatilität wie Kohlenstoff aufweist, sprich in vielen biologischen Bereichen und Funktionen anwendbar<sup>5</sup>
2. Eine Änderung des Zustandes einfach ist, was Reaktionen, wie auch Energieumwandlung für Organismen erleichtert. (Gobato 2022, S.53)
3. Silikone sowohl in Wasser, als auch in Kohlenwasserstoffen lösbar (Gobato 2022, 53)

Zudem können Silikone bzw. Silikate in sehr niedrigen als auch sehr hohen Temperaturen stabil bleiben, was sie für Titans Umgebung geeignet macht. Noch dazu kommt die Unabhängigkeit von Sauerstoff, und dass silikonbasierte Strukturen sehr druckresistent sind. (Gobato 2022, 53-54)

Silikonbasiertes Leben hat auch seine Haken: Es wurde bisher noch nicht bestätigt und da Silikone nur mit wenig verschiedenen Atomen Bindungen eingehen können, wäre die Komplexität deutlich eingeschränkt.

Auch wenn Leben auf purer Silikonbasis noch nicht bestätigt wurde, gab es bereits Erfolge bei der Forschung an Bakterien, welche dazu gebracht wurden, Enzyme, welche Verbindungen aus Kohlenstoff und Silikon herstellen konnten, zu erzeugen. Dies wurde durch das gezielte Mutieren der Bakterien erreicht, bis diese das gewünschte Enzym herstellten. (Choi, nbcnews 2017).

Aus den Erkenntnissen von dem Team unter Paulette Clancy und den darauffolgenden Simulationen kann man darauf schließen, dass Leben auf Titan durchaus auch selbst in der Lage sein könnte, Hüllen zu produzieren, indem sie an den Rändern von Gewässern auf Nährstoffe warten, welche durch die Wellen zu ihnen gespült werden, da Titan Winde, Jahreszeiten und verändernde Küstenlinien aufweist. (Wood 2020) Mögliches Leben könnte auf Silikonbasis aufgebaut sein, wenn auch mit eingeschränkter Komplexität und weniger evolutionärem Potenzial.

Wie genau Leben aufgebaut ist, bleibt enorm spekulativ, genauso wie das Leben an mögliche Nährstoffe für zum Beispiel eine passende Hülle und generelle Struktur kommen könnte.

---

<sup>5</sup> Gobato, Ricardo & Heidari, Alireza & Mitra, Abhijit & Valverde, L.. (2022). The Possibility of Silicon-Based Life. Bulletin of Pure & Applied Sciences- Chemistry. S.53. URL: <https://www.researchgate.net/publication/361348955> The Possibility of Silicon-Based Life Stand: 5.2.2024

### 1.3 Mögliche Energiequellen

Leben benötigt, wie auch auf der Erde, eine Möglichkeit Energie zu nutzen bzw. umzuwandeln. Sei es die uns bekannte Photosynthese oder der Lipidstoffwechsel, eine der wichtigsten Voraussetzungen von Leben ist eine leicht zu erreichende Energiequelle.

Mögliches Leben müsste sich dank der Umgebung mit anderen Energiequellen als auf der Erde zufriedengeben. Zu einer dieser Energiequellen könnte Acetylen zählen, welches in Titans Atmosphäre zur Genüge vorkommt. (Wikipedia 2024)

Die Hydrierung von Acetylen mit Wasserstoff setzt 334kJ pro 1 Mol  $C_2H_2$  frei, aber dies würde bereits ausreichen, um uns bekannte methanbildende Mikroorganismen mit ausreichend Energie zu versorgen.<sup>6</sup> Dieses Modell des Wasserstoffverbrauchs wäre ein möglicher Lösungsansatz für das Verschwinden von Wasserstoff auf Titans Oberfläche, welches durch die Cassini Sonde gemessen wurde. (NASA 2010)

**Table 1**  
Free energy released by hydrogenation of hydrocarbons on Titan, per mole of hydrocarbon consumed [4].

Reaction	Energy Released (kJ mole <sup>-1</sup> )
$C_2H_2 + 3H_2 = 2CH_4$	334
$C_2H_6 + H_2 = 2CH_4$	57
$R-CH_2 + H_2 = R + CH_4$	54

[Open in a separate window](#)

*2Hydrierung von Acetylen (Mckay 2016, 2.3)*

Photosynthese auf Titan wäre mit Solarenergie möglich, trotz dem Abstand von 10 AE und der enorm dichten Atmosphäre, welche für nur 0.1% der auf der Erde verfügbaren solaren Energie sorgt. Die Verteilung der Energien auf den verschiedenen Wellenlängen ist der Erde sehr ähnlich. Die Solarenergie würde deshalb theoretisch, obwohl aufgrund der deutlich höheren Entfernung nur ein winziger Bruchteil der Energie auf Titans Oberfläche ankommt, für Photosynthese reichen, aber nicht als Hauptenergiequelle für mögliches, vor allem komplexeres Leben. (Mckay 2016, 2.1)

<sup>6</sup> Mckay, Christopher: Titan as the Obode of Life. 2.1.National Library of Medicine. 2016.2.1. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4810239/> Stand: 15.12.2023

Da in der Atmosphäre Moleküle wie  $C_2H_2$  in Titans Atmosphäre oft vorkommen und entstehen, bietet sich die oben genannte Reaktion sehr gut als Hauptenergiequelle an. Durch diese könnten simple Lebewesen ihre nötige Energie gewinnen, um sich fortzupflanzen oder sich sogar zu komplexeren Lebewesen weiterzuentwickeln. (Mckay 2016, 2.1)

Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass Titan genug, für uns nachvollziehbare und wissenschaftlich mögliche Energiequellen bietet, um Leben gedeihen zu lassen, auch wenn die Hauptenergiequelle bei uns auf der Erde, die Photosynthese, aufgrund der anderen Umstände und größeren Abstands von der Sonne eher eine weniger optimale bzw. schlichtweg nicht ausreichende Energiequelle für Leben auf dem Saturnmond darstellen würde. Dennoch würde es Lebewesen auf dem Titan an Energiequellen fehlen, welche komplexere Organismen gedeihen lassen könnten, da es schlichtweg laut momentanen Wissenstand keine wirklich großen Quellen an Energie gibt, wie es zum Beispiel die Sonne für die Erde darstellt. Deshalb gilt es weiterhin kritisch zu bleiben und zukünftige Erkenntnisse abzuwarten.

## **1.4 Verfügbare Nährstoffe**

Titan hat ein deutlich anderes Element „Profil“ als die Erde, was wahrscheinlich auf die im Vergleich zur Erde kleinen Mengen von Wasser und Kohlenstoff zurückzuführen ist. Dennoch mangelt es nicht an organischen Verbindungen, sie sind durchaus oft auf Titan vorzufinden, vor allem aus den drei Elementen Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff. Diese können sich zu unzähligen Verbindungen zusammenfügen, was dazu führt, dass sehr viele verschiedene organische Verbindungen bereits natürlicherweise vorkommen. (Mckay 2016, 2.2)

Auch wenn Titan bei weitem nicht so viel Wasser besitzt wie andere Himmelskörper, gibt es Bereiche mit Wassereis, welche nahezu die einzige Quelle von Sauerstoff auf der Oberfläche darstellen. (Mckay, 2.2) Da es generell weniger Diversität an verfügbaren Elementen gibt, könnte die Komplexität möglichen Lebens sehr eingeschränkt sein. (Mckay, 2.2)

Eines der größeren Probleme ist laut Schulze-Makuch, dass Leben es enorm schwer hätte, auf anorganische Stoffe wie Eisen, Zink, Kalium oder Kupfer zuzugreifen. Während auf der Erde die meisten Spurenelemente gelöst im Wasser vorkommen, gibt es auf Titan keine bisher bekannten Quellen von diesen Spurenelementen. (Mckay, 2.2)

Demnach bietet die eingeschränkte Verfügbarkeit von Elementen mehrere Hindernisse für Leben, vor allem wenn man die mögliche Komplexität betrachtet. Auch diese Hindernisse könnte Leben aber durch bekannte Umwege überwinden.

## **1.5 Mögliche Methoden zur Nährstoffverwendung von Mikroorganismen auf Titan**

Mckay betrachtete mehrere verschiedene Wege, um das Problem der fehlenden Spurenelemente zu lösen:

1. Das Leben geht mit den seltenen, aber notwendigen Stoffen konservativ um
2. Organismen benutzen H<sub>2</sub>O um essentielle Rollen anorganischer Stoffe zu füllen

“Wir können zwei Ansätze für Nährstoffe in Betracht ziehen, um das Leben auf Titan zu unterstützen: (1) die konservative Verwendung von Elementen, die schwer zugänglich sind; und (2) die Verwendung von H<sub>2</sub>O, um einige der Rollen der anorganischen Elemente zu übernehmen“ (Mckay 2016, 2.2)

Der Einsatz von Phosphor durch Organismen auf der Erde ist ein Beispiel für das konservative Einsetzen von kaum verfügbaren Stoffen. Auf Titan könnten Meteore und Kometen die Quelle für eigentlich natürlich nicht vorhandene Stoffe sein, indem sie in der oberen Atmosphäre verglühen und somit natürlich nicht vorkommende Stoffe auf Titan bereitstellen könnten. Dennoch hat diese Theorie ihre Macken, da die dichte Atmosphäre die meisten Meteoriten vor ihrem Einschlag komplett verglühen lässt und sie somit nicht bis zur Oberfläche lässt. Zudem war Titan nur zu den Anfängen des Sonnensystems vielen Einschlägen ausgesetzt, während Saturn heutzutage die meisten in sich aufnimmt. Diese Quelle der anorganischen Stoffe könnte trotz der geringen Mengen theoretisch ausreichen um Organismen, welche die Spurenelemente sparsam benutzen und recyceln, zu unterstützen. (Mckay 2016, 2.2)

Der zweite Ansatz basiert auf dem Konzept, dass Leben auf Titan keine Photosynthese betreibt, und daher auch keinen Stickstoff benötigt. Dadurch wären mehrere der wichtigen Einsatzgebiete der Metalle eliminiert. Andere Rollen der Metalle, wie unter anderem die Verwendung in Enzymen, könnten durch den Einsatz H<sub>2</sub>O gelöst werden, da Wasser dank der niedrigen Temperaturen von rund -179°C, welche auf Titan herrschen, sehr starke Verbindungen eingehen kann und dadurch manche Rollen der Metalle erfüllt werden könnten. (Mckay 2016, 2.2)

Beide Ansätze haben ihre Daseinsberechtigung, auch wenn der erste dank seiner vergleichbaren Einsätze von Lebewesen auf der Erde deutlich leichter zu begründen und auch besser erforscht ist. Dennoch muss man in Betracht ziehen, dass Leben auf Titan sich niemals so wie auf der Erde entwickeln würde, was einen abstrakten und an die Umgebung von Titan angepassten Ansatz wie den zweiten, doch wahrscheinlicher macht. Zudem bietet der zweite Ansatz mehr Entwicklungsmöglichkeiten für mögliches Leben, da dieses, nicht so wie beim ersten, auf konservative Verwendung verzichten kann. Egal welche der beiden Theorien nun realistischer ist, wenn es tatsächlich Leben gibt, wird es sich in eine Richtung, die uns bisher nicht bekannt ist, entwickelt haben. Nichtsdestotrotz bestätigt unser bisheriger Wissensstand über Titans Aufbau die Annahme, dass die enorme Vielfalt an verfügbaren Elementen wie auf der Erde nicht überall zu erwarten ist und man deswegen auch keine erdähnlichen Organismen zu erwarten hat, auch wenn diese Einschränkung komplexere Organismen nicht unbedingt ausschließt.

## 1.6 Mögliche Lebensräume

Nun, wo könnte sich Leben entwickelt haben? Wie auch auf unserem Heimatplaneten, ist es am wahrscheinlichsten, Leben in der Nähe von Flüssigkeiten zu finden. Diese sind, ähnlich wie auf der Erde, nahezu überall vorzufinden. Beobachtungen mit der Huygens Sonde, welche 2005 erfolgreich auf dem Saturnmond landete, ergaben, dass feuchte „Erde“ sehr oft vorkommt. (Mckay 2016, 2.3) Während die meisten Seen sich an einer nördlichen Stelle, die nur 2% der Oberfläche ausmacht, befinden, gibt es mindestens einen größeren See in der südlichen Hemisphäre. Wie diese Seen entstanden sind, beziehungsweise noch entstehen, ist bisher ungeklärt. (Mckay 2016, 2.3)

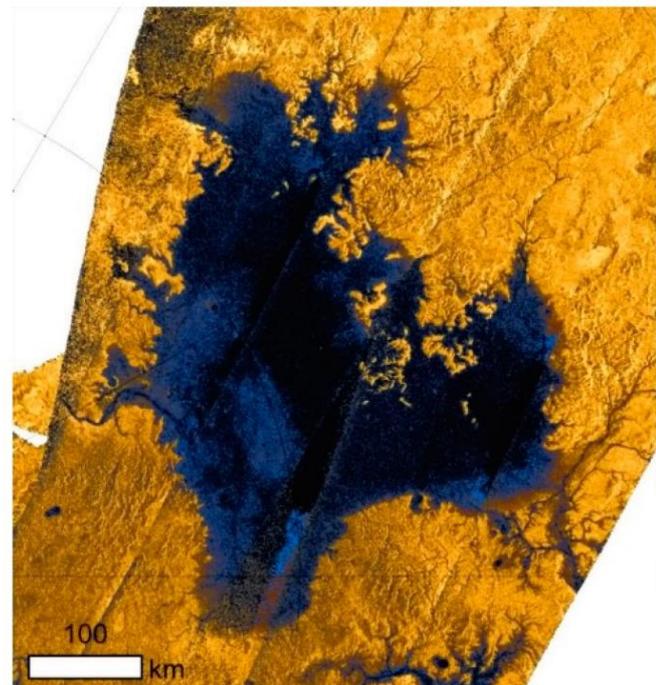
Da nahezu alle Gewässer sich auf der Nordhalbkugel befinden, bietet diese auch die besten Chancen, um dort mögliches Leben zu finden.

Die Seen variieren von der Größe her extrem, manche hunderte Kilometer groß, mit scharfen, kantigen „Küsten“ und bis zu mehreren hundert Metern an Tiefe, während die kleineren eine rundere Form aufweisen und teilweise eine Größe von nur wenigen Metern aufweisen. (Mckay 2016, 2.3)

Manche Seebetten sind leer und liegen mehrere hundert Meter über ähnlich großen Gewässern, was auf miteinander über Tunnel verbundene Grundwasserleiter hindeutet, die für einen „geordneten“ Wasserspiegel, ähnlich wie ihn die irdischen Ozeane haben, sorgen. (Mckay 2016, 2.3)

„Leere Depressionen, welche ähnlich aussehen wie kleinere Seen, sind rund 250m höher als ähnliche Seen zu finden. Dies könnte ein Beweis sein für Grundwasserleiter und Verbindungen unter der Oberfläche, welche einen geordneten Wasserspiegel zu Folge haben könnten.“ (Mckay 2016, 2.3)

Nicht außer Acht lassen sollte man den möglichen Ozean unter Titans Oberfläche:



3. Ligeia Mare, ein 400km langer See mit Küsten und Flüssen (Mckay 2016, 2.3)

Dank Daten von der Huygens Sonde nehmen Wissenschaftler an, dass sich rund 100km unter der Oberfläche Titans ein sich unter sehr hohem Druck befindender Ozean aus Wasser und Ammoniak befindet. (Wikipedia 2023) Dieser Ozean könnte ebenfalls Leben beherbergen, auch wenn die Chancen aufgrund fehlender Geoaktivität nicht so hoch sind wie in dem Ozean auf Jupitermond Europa.<sup>7</sup> Falls es dennoch in diesem Leben gibt, wäre dieses auf Silikonbasis klar im Vorteil, da der Ammoniakgehalt, welchen der Ozean aufweisen könnte, dies unterstützen würde und silikonbasierende Strukturen eine beachtliche Druckresistenz aufweisen, was bei der enormen Tiefe einen großen Vorteil bietet. (Gobato 2022, S.53)

---

<sup>7</sup> NASA, 2024, URL: <https://science.nasa.gov/saturn/moons/titan/facts/> Stand: 30.1.2024

## **1.7 Probleme durch Umgebung**

Wie bereits erwähnt, müsste Leben auf Titan sich anders entwickelt haben als auf der Erde. Während uns bekanntes Leben auf Kohlenstoff und flüssigem Wasser basiert, müsste sich Leben auf dem Saturnmond mit Methan zufriedengeben. Dadurch bietet sich silikonbasiertes Leben an. Eine weitere Voraussetzung für Leben bildet das Vorhandensein einer Schutzschicht, wie sie bei Mikroorganismen auf der Erde in Form einer Doppellipidschicht bekannt ist. Wissenschaftler haben eine theoretische Schutzschicht entwickelt, genannt Azosome, welche aus Stickstoffbindungen besteht, welche sich in flüssigem Methan, und sehr niedrigen Temperaturen bilden könnte. Ihre Stabilität resultiert aus der Anziehungskraft aus stickstoffreichen Molekülen und sich verbindenden Wasserstoff- und Stickstoffatomen. (Mckay 2016, 3.1)

„Basierend auf Computersimulationen schlug Stevenson eine Art von Membran vor, welche er und sein Team Azosom nannten, welche sich in flüssigem Methan und kryogenen Temperaturen bilden kann. Die Membran besteht aus kleinen Stickstoffbindungen, wie Acrylnitril. Die strukturelle Integrität der Membran entsteht durch die Anziehung der Polköpfe der kurzkettigen Moleküle, welche reich an Stickstoff sind und dem Verbinden von Stickstoff- und Wasserstoffatomen.“ (Mckay 2016, 3.1)

Titan ist dank seiner dicken, vor kosmischen Einwirkungen schützenden Atmosphäre und großen Menge an Flüssigkeiten ein durchaus guter Lebensraum, wenn Leben tatsächlich auf Methanbasis bzw. Silikonbasis entstehen könnte bzw. sich eventuell weiterentwickeln kann. Die vielen verschiedenen Meere, Flüsse und Seen sorgen für eine hohe Diversität an Lebensräumen, auch wenn man die Möglichkeit bisher unbekannter Lebensräume ignoriert. Im Grunde steht dem Leben auf Titan, falls es sich trotz den niedrigen Temperaturen und raren Ressourcen entwickeln konnte, die Umgebung theoretisch nicht im Wege.

## **1.8 Möglichkeiten für Erbgutspeicherung**

Aufgrund einer deutlich anderen Umgebung würden Lebewesen auf Titan eine andere Art von Datenspeicher benötigen als die uns bekannte RNA bzw. DNA.

Untersuchungen zu Polymeren als Datenspeicher ergaben, dass sie die Eigenschaft haben müssen, ihre Form, unabhängig von den gespeicherten Daten, beizubehalten. Das macht Proteine als Datenträger ungeeignet, während DNA ihre Form beibehält. Außerdem sollte die Umgebung aus einer polaren, bei hohen Temperaturen flüssigen Lösung bestehen, weshalb Wasser bestens geeignet ist. Benner versuchte, ein Molekül zu finden, das in nicht polaren, bei niedrigen Temperaturen flüssig bleibenden Flüssigkeiten entstehen kann. (Mckay 2016, 3.2)

Bisher gab es noch keine erfolgreichen Konzepte eines möglichen datenspeichernden Moleküls, das unter diesen Bedingungen, die der Umgebung von Titan sehr ähnlich sind, existieren könnte. Außerdem fanden sie heraus, dass sich Wasser deswegen so gut als Lösungsmittel eignet, da es, nicht so wie Methan, bei hohen Temperaturen flüssig bleibt. Im Grunde liegen die Hauptprobleme eines möglichen Stoffes zur Erbgutspeicherung unter der Umgebung des Titans darin, dass die niedrigen Temperaturen und die fehlende Polarität der Lösung, also des Methans, kaum Stoffe zulassen, welche die benötigten Eigenschaften aufweisen. (Mckay 2016, 3.2)

Die Speicherung und Transportierung von Erbinformationen gehört zu den wichtigsten Eigenschaften eines Lebewesens-dass genau so ein Konzept für den Titan noch nicht existiert, ist kein gutes Indiz für mögliches Leben auf dem Methanmond. Trotz dem fehlenden Konzept eines DNA-Ersatzes, spricht nichts gegen einen bisher uns unbekanntem Datenträger, oder eine neue Art von Lebewesen, die komplett ohne Erbgutträger auskommt, beziehungsweise auf neue Arten der Erbgutspeicherung setzt. Nichtsdestotrotz sorgt das bisherige Fehlen eines geeigneten Erbgutträgers, wie auch der Fakt, dass die Eigenschaften von Methan die Chemie verkomplizieren, für kleinere Chancen, dass sich Leben entwickelt haben könnte.

## **1.9 Conclusio**

Titan bietet für mögliches Leben einen guten, geschützten Lebensraum. Von seiner dicken Atmosphäre, die mögliche Organismen von der kosmischen Strahlung schützen könnte, bis hin zu dem Vorhandensein von riesigen Mengen an Flüssigkeit, falls sich mögliche Lebensformen in der methanreichen Umgebung bilden könnten, ist dies höchstwahrscheinlich längst passiert. Falls sich Leben tatsächlich bereits entwickelt hat, dann ist damit zu rechnen, dass es von unserer Definition und Verständnis, was Leben tatsächlich ist, abweicht und aufgrund dem, laut bisherigem Wissen, eingeschränkten Vorhandensein von verschiedenen Elementen, nicht besonders weit entwickelt ist.

Dennoch gilt es kritisch zu sein: Laut heutigem Wissensstand gibt es, abgesehen von wenigen nicht gelösten Anomalien in der Atmosphäre, wobei Wasserstoff aus unbekanntem Gründen aus der Atmosphäre verschwindet,<sup>8</sup> keine schlagfesten Beweise für außerirdisches Leben und wie bereits erwähnt, gibt es mehr als genug Probleme für das Gedeihen von Leben auf dem Mond, reichend von laut unserem Wissensstand ungeeigneten Bedingungen bis hin zu dem Fehlen von sehr wichtigen Elementen und Grundbausteinen des Lebens, wie das enorm wichtige und für Leben als essentiell geltende Speichern von Erbgut. Im Grunde heißt es abwarten, bis neue Missionen mehr Fragen klären oder eventuell sogar Lebewesen entdecken.

---

<sup>8</sup> NASA, 2010, URL: <https://solarsystem.nasa.gov/news/12455/what-is-consuming-hydrogen-and-acetylene-on-titan/> Stand: 10.2.2024



*4Europa durch die Raumsonde Galileo (NASA 2017)*

Der Jupitermond Europa gehört zu den vielversprechendsten Himmelskörpern, was das Thema außerirdisches Leben betrifft. Dies lässt sich auf seinen gigantischen Ozean zurückführen, der sogar mehr Wasser fasst als alle Ozeane der Erde zusammen. Während der Eismond eine lebensfeindliche Oberfläche, vor allem aufgrund des nur sehr schwachen Magnetfelds, besitzt, vermutet man, dass geothermische Aktivität das riesige Meer unter seiner Oberfläche mit einer Flut an Nährstoffen versorgen könnte. Diese Umgebung gleicht der frühen Ozeane auf der Erde, weshalb Europa auch als Live-Experiment gesehen wird, wie sich Leben in den frühen Ozeanen entwickelt haben könnte. (Wikipedia 2023) <sup>1</sup>. Aufgrund seiner dünnen Atmosphäre und nur sehr schwachem Magnetfeld ist seine Oberfläche sehr lebensfeindlich, weshalb sich Theorien rund um Leben auf dem Jupitermond ausschließlich auf den riesigen, unter der Oberfläche befindenden Ozean fokussieren.

## **2.1 Lebensräume und mögliche Bewohnbarkeit**

Damit eine Umgebung möglicherweise bewohnbar ist, muss sie:

1. Die für Leben benötigten chemischen Bestandteile aufweisen
2. Bedingungen haben, die zumindest für extremophile Organismen ausreicht (Organismen, die auch unter extremen Bedingungen leben können)

Die mögliche geothermische Aktivität in den Ozeanen könnte für eine lebensfreundliche Umgebung sorgen, die jener früher Erdozeane gleicht. Aus dieser „Ursuppe“ entstanden auf der Erde vor 4,5 Milliarden Jahren die ersten einzelligen Mikroorganismen, auch wenn Europas Ozeane nicht denen auf der Erde komplett gleichen, aufgrund des hohen Salzgehalts, höheren Drucks und generell säuerlicheren PH-Werts von -2.6. (Wikipedia 2023) Da der Ozean laut bisherigem Wissenstand sehr alt ist, und sich bereits rund 500000 Jahre nach Europas

---

<sup>1</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Europa\\_\(Mond\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Europa_(Mond)) Stand: 23.12.2023

Entstehung bildete, welche vor rund 4 Milliarden Jahren stattfand<sup>2</sup>, wie auch vor den meisten schädlichen kosmischen Einflüssen wie Strahlung dank der 100km dicken Eisdecke geschützt ist, hatte Leben ohne Frage genügend Zeit sich an die Bedingungen anzupassen. Außerdem befindet sich der Europamond mitten im Strahlungsgürtel seines größeren Bruders, dem Jupiter-dadurch wird er mit ionisierender Strahlung bombardiert, welche Leben auf der ohnehin lebensfeindlichen Oberfläche erschwert, aber auch chemische Produkte erzeugt, welche im riesigen Ozean landen könnten.<sup>3</sup>

Tatsächlich könnte man in den tiefsten Regionen des riesigen Ozeanes ähnliches wie in unserer Tiefsee vorfinden: Da der Jupitermond durch seinen großen Bruder wie ein Ball zerdrückt und verformt wird, erhitzt sich das Innere, was zu geothermischer Aktivität führen könnte.<sup>4</sup>

Wie weit entwickelt mögliche Lebewesen tatsächlich sind, ist abhängig von den verfügbaren Nährstoffen und der bereitgestellten Wärme, welche, zum Beispiel, durch thermische Aktivität am Ozeanboden gegeben sein könnte. Da Tiefseebewohner in unseren Ozeanen auch weit entwickelt sind, ist es nur eine Frage der Zeit und der Umstände, wie weit entwickelt das Leben in Europas Ozeanen tatsächlich sein könnte.

---

<sup>2</sup> Charles Q . Choi: Surprise! Jupiter's ocean moon Europa may not have a fully formed core. 2023. <https://www.space.com/jupiter-ocean-moon-europa-no-fully-formed-core> Stand: 4.2.2024

<sup>3</sup> Kaltenecker, Lisa: Sind wir allein im Universum?. Ecowin. 2015. Band 1. S.81

<sup>4</sup> NASA: Why Europa. Ingredients for life. URL: <https://europa.nasa.gov/why-europa/ingredients-for-life/> (Stand 8.2.2024)

## 2.2 Formen möglicher Organismen

Wie erwähnt, ist die Form und Art wie Leben sich entwickelt haben könnte, abhängig von den tatsächlichen Umständen, welche abgesehen vom flüssigen Wasser, noch nicht klar geklärt sind. Es könnte unseren Tiefseebewohnern gleichen, sprich keine oder nur sehr leicht ausgeprägte Augen, oder deutlich simpler, wie z.B. Mikroorganismen, welche man in der Umgebung von geothermischer Aktivität in enormen Tiefen in unseren Ozeanen findet. Da geothermische Aktivität im Bereich des Möglichen liegt, macht es durchaus Sinn sich Leben in unserer Tiefsee genauer anzusehen:

Die Bedingungen am Ozeanboden, teilweise unter einer 11km dicken Schicht von salzhaltigem Wasser, kommen der des Ozeans auf Europa nahe. In diesen Tiefen gibt es nur noch vereinzelt Lebewesen, bis zu rund 6000m kann man Krabben, Tintenfische und andere, oft weiche, Tiere antreffen. Wenn man nun bis zum tiefsten Punkt des Ozeans blickt, kann man dennoch auf Organismen stoßen, welche sich in der Nähe von Thermalquellen aufhalten, wo das Wasser die in der Tiefsee üblichen 4° übersteigt und dank der Ausstöße der Quellen gefüllt ist mit essenziellen Nährstoffen. Dank dieser Ausstöße und der Wärme, bieten diese Quellen einen Art Ankerpunkt des Lebens-während man meist nur selten auf jenes trifft, wimmelt es in der Nähe thermischer Aktivität förmlich davon. Schwämme, Würmer oder andere Lebewesen bewegen sich dabei unterhalb der Gesteinsschichten, um die durch die Geysire hervorgebrachten Nährstoffe aufzusaugen und den durch die Quellen bereitgestellten Lebensraum optimal zu nutzen. <sup>5</sup>

Generell müsste Leben also enorm druckresistent sein und sich an eine komplett dunkle Umgebung angepasst haben, sehr ähnlich wie in unserer Tiefsee.

Je nachdem wie die uns bisher kaum bekannten Ozeane tatsächlich aufgebaut sind, könnte Leben auch deutlich komplexer sein. Wenn das Wasser und die generelle Umgebung genug Nährstoffe und Energiequellen bieten, um ein ausgeprägtes Ökosystem zu unterstützen, ist der

---

<sup>5</sup> Geo: Unter heißen Leben: Lebensraum in der Tiefsee. Hydrothermalquellen in der Tiefsee als Lebensraum.  
URL: <https://www.geo.de/natur/hydrothermalquellen-in-der-tiefsee-als-lebensraum-33731934.html>  
Stand 10.2.2024

Komplexität des Lebens keine wirkliche Grenze mehr gesetzt-vorausgesetzt, es hatte genug Zeit, sich an die Bedingungen anzupassen.

Seien es kleine Mikroorganismen wie Bakterien, Würmer oder Schwämme, oder sogar fischähnliche Mehrzeller, was für Lebensformen der Ozean tatsächlich unterstützen könnte, ist noch nicht annähernd geklärt und dies wird sich wohl auch nicht ändern, bis zukünftige Missionen einen genaueren Blick unter Europas eisige Oberfläche werfen und die Bedingungen in dem Ozean mit Sicherheit abklären.

## **2.2 Nährstoffe:**

Im Vergleich zu Titan müsste sich Leben auf Europa mit einer der Erde nicht allzu verschiedenen Nährstoffpalette zufriedengeben-dank dem James Webb Teleskop konnten Forscher bereits CO<sub>2</sub> in aus dem inneren Europa herausgedrückten Wassereis nachweisen, welches einer der wichtigsten Bestandteile für Leben, wie es uns bekannt ist, darstellt.<sup>6</sup> Zudem sorgt das Strahlungsbombardement durch den Gasriesen Jupiter und der Sonne für die Zersetzung von H<sub>2</sub>O auf der Oberfläche in Wasserstoff und Sauerstoff, eine Wasserstoffquelle bietet die Reaktion des salzigen Wassers mit der steinigen Oberfläche<sup>7</sup>. Demnach bieten die Meere Europas eine eventuell nährstoffreiche Umgebung. Wie schon erwähnt birgt der Einfluss durch Jupiters Gravitation die Chance auf geothermische Aktivität auf Europas Meeresboden, welche wichtige Spurenelemente bereitstellen könnte-wie stark der Einfluss des Gasriesen, und damit auch die davon abhängige geothermische Aktivität tatsächlich ist, ist eine wichtige Komponente für potenzielles Leben.

Im Vergleich zu Titans Umgebung findet man in den Meeren Europas eine der Erde ähnlichen Palette an Elementen. Stoffe wie CO<sub>2</sub> wurden bereits durch das James Webb Teleskop bestätigt, wie auch das Entstehen von Sauerstoff und Wasserstoff durch chemische Reaktionen. Ob und in welchen Mengen weitere notwendige Nährstoffe tatsächlich vorhanden sind, benötigt weitere Beobachtung durch Missionen wie JUICE<sup>8</sup>, welche bereits gestartet ist, oder dem Europa Clipper<sup>9</sup>, welcher dieses Jahr starten soll und 2030 Europa erreichen soll.

---

<sup>6</sup>Powell, Corey: A Crucial Ingredient for Life Is Bubbling Up on Europa.2023. <https://nautil.us/a-crucial-ingredient-for-life-is-bubbling-up-on-europa-406356/> Stand 8.2.2024

<sup>7</sup>Empak, Jesse: Jupiter Moon Europa's Ocean May Have Enough Energy to Support Life.2016. <https://www.space.com/32995-jupiter-moon-europa-energy-life.html> Stand: 3.2.2024

<sup>8</sup> [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Juice](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice) Stand: 3.2.2024

<sup>9</sup> <https://europa.nasa.gov/> Stand: 5.2.2024

## **2.3 Welche Hürden hätte Leben in Europas Ozean?**

Aus was genau Europas Ozean besteht, ist noch nicht mit Sicherheit geklärt. Aufgrund des Aufbaus der Oberfläche, welche aus gefrorenem Salzwasser besteht, rechnet man mit einem salzigen, leicht säuerlichen Ozean. Solange dieser nicht zu salzig oder sauer ist, bietet dies kein Problem für potenzielle Organismen. Durch Studien fanden Wissenschaftler heraus, dass bereits kleine Änderungen an der Säuerlichkeit und des Salzgehaltes für Lebewesen Probleme darstellen könnten.<sup>10</sup> Da der momentane Wissenstand nicht aussagt, wie stabil sowohl der Salzgehalt und PH-Wert sind, könnte dies ein Problem darstellen. Dennoch gibt es auch auf der Erde Organismen, wie Muscheln, welche sich an den Säure- und Salzgehalt ihrer Umgebung anpassen, oder sogar Algen, wie *Cyanidium Caldarium*, welche selbst bei PH-Werten von 0.5 gedeihen, was in etwa dem PH-Wert von Batteriesäure entspricht.<sup>11</sup>

Auch dass Europa eventuell durch den Jupitermond Io dank dessen vulkanischer Aktivität mit Schwefel beschossen wird<sup>12</sup>, sollte kein Problem darstellen. Die gleichen Bakterien, die saure Umgebungen lieben, lieben auch geothermale Quellen und benutzen Schwefel als Sauerstoffersatz, also unter anderem für diverse Stoffwechselfunktionen.<sup>13</sup>

Die typischen Probleme außerirdischen Lebens, wie Strahlung oder enorm hohe oder niedrige Temperaturen sind dank der dicken Eisschicht und geregelten Temperatur des einheitlichen Ozeans auch gelöst.

---

<sup>10</sup> Dai Y, Dong Y, Yang F, Chen Z, Jia J, Wu H, Chen Z. Effects of pH and salinity on survival, growth, and enzyme activities in juveniles of the sunray surf clam. 2023.

URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10491641/> Stand: 18.1.2024

<sup>11</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Cyanidium\\_caldarium](https://de.wikipedia.org/wiki/Cyanidium_caldarium) Stand: 8.2.2024

<sup>12</sup> Southwest research institute: Scientists map sulfur residue on Jupiter's icy moon Europa. 2022.

<https://phys.org/news/2022-06-scientists-sulfur-residue-jupiter-icy.html> Stand: 9.2.2024

<sup>13</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur-reducing\\_bacteria#:~:text=Desulfiromonas%20thiophila%20is%20an%20obligate,and%20pH%206.9%20to%207.9.](https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur-reducing_bacteria#:~:text=Desulfiromonas%20thiophila%20is%20an%20obligate,and%20pH%206.9%20to%207.9.) Stand: 9.2.2024

Schlussfolgernd lassen sich die Hürden, mit denen mögliches Leben zu kämpfen hätte, mit einem Wort zusammenfassen: Überwindbar.

Europas Umgebung stellt keine unüberwindbaren Hürden für Leben dar, Nährstoffe sind höchstwahrscheinlich in ausreichendem Maße gegeben, genauso wie Wärme durch die Gezeitenkräfte Jupiters. Momentanes Wissen sieht dementsprechend keinen Faktor der Umgebung, welcher simple, anpassungsfähige und sehr resistente Mikroorganismen ausschließt.

## **2.4 Conclusio**

Europa gilt nicht ohne Grund als der vielversprechendste Ort, um Leben in unserem Sonnensystem zu finden. Er hat bestätigt flüssiges Wasser, in Jupiter einen großen Bruder, der Wärme bereitstellt, wie auch wichtige organische Stoffe, um ein potenzielles Ökosystem zu unterstützen. Damit ist er einer von wenigen Himmelskörpern, die organische Stoffe vorweisen, und einer der noch wenigeren die bestätigt flüssiges Wasser aufweisen können.

Dank seiner dicken Eisschicht, welche den darunter liegenden Ozean seit Millionen von Jahren vor Asteroiden und anderen kosmischen Gefahren schützt, hatte Leben genügend Zeit um sich an die extremen Bedingungen anzupassen. Dementsprechend könnte jenes enorm komplex sein, wie auch sehr groß, dank des Tiefseegigantismus, welchen wir auf der Erde beobachten können, welcher besagt, dass Flora und Fauna bei zunehmender Tiefe immer größer werden.

Der Jupitermond bietet enorm viel Potenzial, wie viel tatsächlich, ist noch ungeklärt. Demnach gilt es, abzuwarten bis neue Erkenntnisse die Rätsel lösen.

## Schlussfolgerung:

Unser momentaner Wissenstand bestätigt Leben in unserem Sonnensystem nicht, ist aber alles andere als ablehnend gegenüber diesem. Vor allem Europa ist vielversprechend, da ähnliche Umstände in seinen Ozeanen auch auf denen der Erde zu finden sind und er potenziell viele Nährstoffquellen bietet. Titan bietet zwar mehr Hürden, und könnte niemals erdähnliche Lebewesen unterstützen, dennoch stützen neuartige Theorien durch innovative Lösungen das Vorhandensein von Leben. Sei es Leben auf Silikonbasis oder das Einsetzen von Wasser als Metalleersatz, an theoretischen Lösungen für die Probleme der Umgebungen mangelt es nicht. Optimistische Theorien sehen Leben als unvermeidbar, während pessimistische Vermutungen die extreme Umgebung, wie auch das Fehlen von als essenziell geltenden Stoffen als großes Problem sehen. Fakt ist, sowohl Europa als auch Titan sind ein Beispiel dafür, wie viele Orte es allein in unserem Sonnensystem gibt, wo Leben prinzipiell existieren könnte. Und wenn es tatsächlich sogar auf Monden Leben gibt, welches sich unabhängig von dem auf der Erde entwickelt hat, mit was für Organismen kann man auf den Dutzenden bekannten erdähnlichen Exoplaneten rechnen?

Im Grunde heißt es abwarten. Abwarten auf bessere Erkenntnisse durch Missionen, welche die vielen Unklarheiten aufklären. Falls tatsächlich Leben gefunden wird, würde dies bedeuten, dass man an jeder Ecke im Universum Leben finden kann, egal wie extrem die Bedingungen auch sein mögen.

## Literaturverzeichnis

- Choi, Charles Q. 2017. *nbcnews*. 19. April. Zugriff am 9. Februar 2024.  
<https://www.nbcnews.com/mach/science/silicon-based-life-may-be-more-just-science-fiction-n748266>.
- . 2023. *Space.com*. 16. Juni. Zugriff am 4. Februar 2024. <https://www.space.com/jupiter-ocean-moon-europa-no-fully-formed-core>.
2023. *CORDIS*. 2. März. Zugriff am 7. Februar 2024. <https://cordis.europa.eu/article/id/29839-water-bears-survive-space-environment-study-shows/de>.
- Cowen, Ron. 2010. 9. Juni. Zugriff am 3. Februar 2024. <https://www.sciencenews.org/article/missing-chemicals-titan-could-signal-life>.
- Dai, Shang, Xie, Zhenming., Wang, Binqiang. 2023. *Nature Communications*. 9. Dezember. Zugriff am 3. Februar 2024. <https://www.nature.com/articles/s41467-023-43272-5#citeas>.
- Dai, Yuanyuan. 2023. *National Library of Medicine*. 5. Dezember. Zugriff am 18. Januar 2024.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10491641/>.
- Empspak, Jesse. 2016. *Space.com*. 26. Mai. Zugriff am 3. Februar 2024.  
<https://www.space.com/32995-jupiter-moon-europa-energy-life.html>.
- kein Datum. *ESA*. Zugriff am 3. Februar 2024.  
[https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Juice](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice).
2024. *Europa.nasa*. Zugriff am 4. Februar 2024. <https://europa.nasa.gov/>.
2017. *Europa.NASA*. 6. Juli. Zugriff am 2. Februar 2024.  
<https://europa.nasa.gov/resources/29/europas-stunning-surface/>.
- Freistetter, Florian. 2014. „Die Neuentdeckung des Himmels.“ In *Die Neuentdeckung des Himmels-Auf der Suche nach Leben im Univerusm*, von Florian Freistetter, 1. Hanser .
- Geo. 2023. *Geo*. 14. August. Zugriff am 10. Februar 2024.  
<https://www.geo.de/natur/hydrothermalquellen-in-der-tiefsee-als-lebensraum-33731934.html>.
- Gobato, Ricardo & Heidari, Alireza & Mitra, Abhijit & Valverde. 2022. *The Possibility of Silicon-Based Life*. Juni . Zugriff am 5. Februar 2024.  
[https://www.researchgate.net/publication/361348955\\_The\\_Possibility\\_of\\_Silicon-Based\\_Life](https://www.researchgate.net/publication/361348955_The_Possibility_of_Silicon-Based_Life).
- Institute, Southwest Research. 2022. *Phys.org*. 22. Juni. Zugriff am 9. Februar 2024.
- Kaltenegger, Lisa. 2015. *Sind wir allein im Universum?*. Ecowin.
- Loeb, Avi. 2022. *extraterrestrial*. Pantheon .
- Mckay, Christopher P. 2016. *National Library of Medicine*. 6. März . Zugriff am 15. Dezember 2023.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4810239/>.
2022. *NASA*. 26. Januar. Zugriff am 8. Januar 2024. <https://www.nasa.gov/solar-system/nasas-mro-finds-water-flowed-on-mars-longer-than-previously-thought/>.

2024. NASA. Zugriff am 5. Februar 2024. <https://europa.nasa.gov/>.
2010. NASA. 2. Juni. Zugriff am 10. Februar 2024. <https://solarsystem.nasa.gov/news/12455/what-is-consuming-hydrogen-and-acetylene-on-titan/>.
2024. NASA. 6. 2. Zugriff am 8. 2 2024. <https://europa.nasa.gov/why-europa/ingredients-for-life/>.
2014. NASA. 30. Oktober. Zugriff am 2. Februar 2024. <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA18432>.
2017. NASA. 6. Juli. Zugriff am 20. Jänner 2024. <https://europa.nasa.gov/resources/29/europas-stunning-surface/>.
2024. NASA. Zugriff am 9. Februar 2024. <https://europa.nasa.gov/>.
2021. NASA. 21. Mai. Zugriff am 11. Januar 2024. <https://www.jpl.nasa.gov/news/europas-interior-may-be-hot-enough-to-fuel-seafloor-volcanoes>.
2024. NASA. Zugriff am 30. Januar 2024. <https://science.nasa.gov/saturn/moons/titan/facts/>.
- Powell, Corey S. 2023. *Nautilus*. 3. Oktober. Zugriff am 8. Februar 2024. <https://nautil.us/a-crucial-ingredient-for-life-is-bubbling-up-on-europa-406356/>.
- Steven D. Vance, Kathleen L. Craft. 2023. *NCBI*. 29. November. Zugriff am 12. Jänner 2024. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10687213/>.
2024. *Wikipedia*. 5. Januar. Zugriff am 8. Februar 2024. [https://de.wikipedia.org/wiki/Cyanidium\\_caldarium](https://de.wikipedia.org/wiki/Cyanidium_caldarium).
2023. *Wikipedia*. 10. Februar. Zugriff am 23. Dezember 2023. [https://de.wikipedia.org/wiki/Europa\\_\(Mond\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Europa_(Mond)).
2023. *Wikipedia*. 30. Dezember. Zugriff am 9. Februar 2024. [https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur-reducing\\_bacteria#:~:text=Desulfromonas%20thiophila%20is%20an%20obligate,and%20pH%206.9%20to%207.9](https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur-reducing_bacteria#:~:text=Desulfromonas%20thiophila%20is%20an%20obligate,and%20pH%206.9%20to%207.9).
2024. *Wikipedia*. 14. Januar. Zugriff am 12. Februar 2024. [https://de.wikipedia.org/wiki/Titan\\_\(Mond\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Titan_(Mond)).
2024. *Wikipedia*. 13. Februar. Zugriff am 13. Februar 2024. <https://en.wikipedia.org/wiki/Life#:~:text=The%20age%20of,billion%20years%20ago>.
- Wood, Charlie. 2020. *Popular Science*. 3. Mai. Zugriff am 3. Februar 2024. <https://www.popsci.com/story/space/life-on-titan/>.

## Abbildungsverzeichnis

1. Porträt von Titan durch Cassini Sonde (NASA 2014) .....	8
2. Hydrierung von Acetylen (Mckay 2016, 2.3) .....	12
3. Ligeia Mare, ein 400km langer See mit Küsten und Flüssen (Mckay 2016, 2.3).....	17
4. Europa durch die Raumsonde Galileo (NASA 2017).....	22