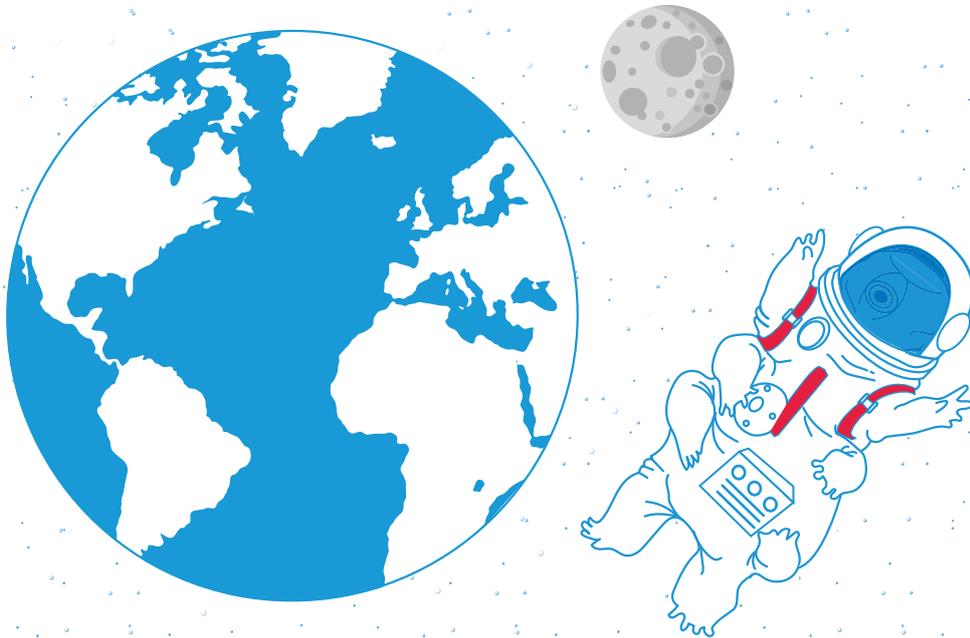
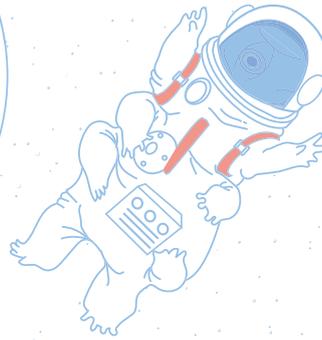


# teach with space

## → KANN LEBEN IN AUSSERIRDISCHEN UMGEBUNGEN BESTEHEN?

Leben in extremen Umgebungen





## Lehrer\*innenteil

Eckdaten, Kurzbeschreibung, Lernziele	Seite 3
Einführung	Seite 4
Hintergrund	Seite 6
Aktivität: Leben im All?	Seite 8
Links	Seite 10
Anhang	Seite 11

**teach with space – Kann Leben in außerirdischen Umgebungen bestehen? | B09**  
[www.esa.int/education](http://www.esa.int/education)

**Das ESA Education Office freut sich über Feedback und Kommentare**  
[teachers@esa.int](mailto:teachers@esa.int)

**Eine ESA Education Produktion in Zusammenarbeit mit ESERO Polen**  
Copyright 2019 © European Space Agency

Ins Deutsche übersetzt und für Österreich adaptiert von ESERO Austria

# → KANN LEBEN IN AUSSERIRDISCHEN UMGEBUNGEN BESTEHEN?

## Leben in extremen Umgebungen

### Eckdaten

**Gegenstand:** Biologie

**Alter:** 13-16 Jahre

**Typ:** Schüler\*innenaktivität

**Komplexität:** mittel

**Kosten:** Gering (0 - 10 Euro)

**Erforderliche Unterrichtszeit:** 1 Stunde

**Ort:** Klassenzimmer

**Material:** Internet, Bücher, Bibliothek

**Stichworte:** Biologie, Sonnensystem, Planeten, Monde, Extremophile, abiotische Faktoren, Suche nach Leben

### Kurzbeschreibung

Bei dieser Aktivität sollen die Schüler\*innen überlegen, ob Leben, das in extremen Umgebungen auf der Erde vorkommt, auch anderswo im Sonnensystem überleben könnte. Die Schüler\*innen untersuchen die Merkmale verschiedener Orte im Sonnensystem und stellen dann anhand von Faktenkarten einiger extremophiler Beispiele Hypothesen auf, welche Lebewesen ihrer Meinung nach in den verschiedenen außerirdischen Umgebungen überleben könnten.

### Lernziele

- Erfahren, was Extremophile sind.
- Berücksichtigen von ökologischer Toleranz.
- Betrachtung von abiotischen Faktoren, welche die Anpassung und das Überleben von Lebensformen beeinflussen.
- Die Umweltbedingungen verschiedener Objekte des Sonnensystems kennen lernen.
- Verstehen, dass Veränderungen der Umweltbedingungen Auswirkungen auf die Evolution von Lebewesen haben.

## → Einführung

Je mehr Wissenschaftler\*innen auf der Erde suchen, desto mehr Leben finden sie. Das irdische Leben hat sich an eine außergewöhnliche Vielfalt von Bedingungen angepasst, sogar an solche, die Menschen als unwirtlich betrachten. Leben kann an den überraschendsten Orten existieren. Man hat es in porösem Gestein in der Antarktis, in vulkanischen Quellen und sogar in Heißwassergeysiren auf dem Meeresboden gefunden.



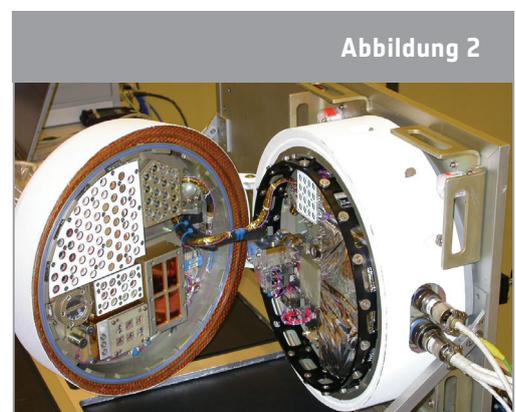
↑ V. links n. rechts: poröses Gestein, Antarktis; vulkanische Quelle im Yellowstone-Nationalpark, USA; hydrothermaler Schlot, Marianengraben.

Die Organismen, die in diesen und anderen extremen Umgebungen leben, werden unter dem Begriff **Extremophile** zusammengefasst. Es handelt sich um ein- oder mehrzellige Mikroorganismen, die ihre Energie oft aus einer Vielzahl von Quellen in ihrer Umgebung beziehen, um chemische Reaktionen zu katalysieren.

Verschiedene Arten passen sich durch evolutionäre Veränderungen an die Umgebung an, in der sie leben (oder in die sie auswandern müssen). Die Erde ist durch unterschiedliche Klimazonen, Land- und Meeresgebiete und Höhenunterschiede gekennzeichnet. Diese Unterschiede führen zu einer spezifischen Verteilung von Organismengruppen auf der Erde. Bislang ist die Erde der einzige Ort im Universum, von dem bekannt ist, dass er bewohnt ist. Bisher wurden noch keine Beweise für Leben anderswo im Sonnensystem gefunden. Die derzeitige Suche nach Leben untersucht mögliche Umgebungen, in denen sich Leben entwickeln und überleben kann oder konnte.

Die Aktivität in diesem Unterrichtsmaterial regt die Schüler\*innen dazu an, darüber nachzudenken, wie Leben jenseits der Erde aussehen könnte, sollte es entdeckt werden. Anhand der auf der Erde gefundenen Extremophilen stellen die Schüler\*innen Hypothesen darüber auf, welche Umgebungen anderswo im Sonnensystem für Leben geeignet sein könnten. Darüber hinaus werden die Schülerinnen und Schüler die Auswirkungen der Suche nach außerirdischem Leben und der möglichen Entdeckung desselben bedenken.

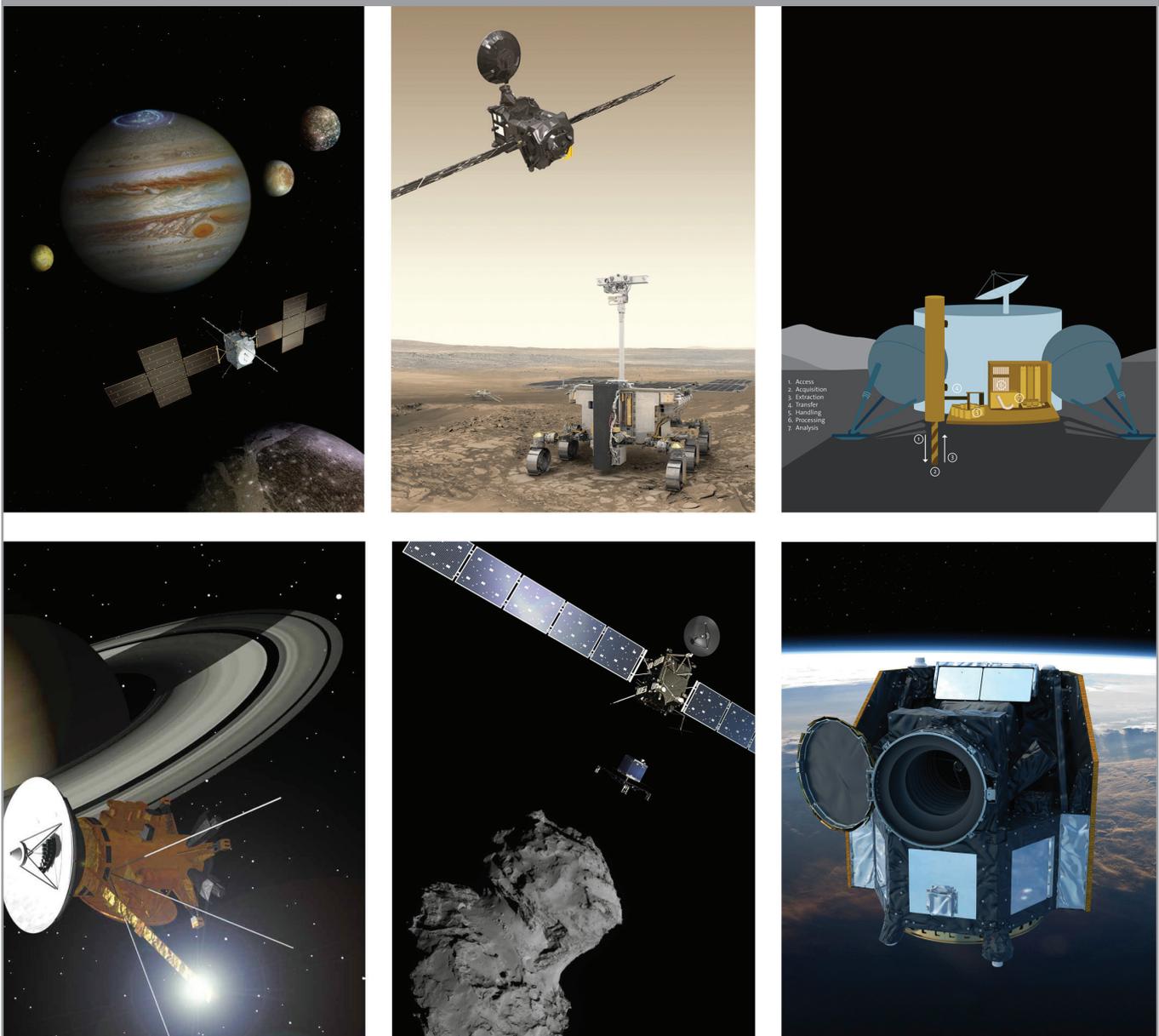
Um die Grenzen, die lebenden Organismen gesetzt sind, besser zu verstehen, werden mehrere Experimente durchgeführt. Dabei werden die Organismen den harten Bedingungen des Weltraums ausgesetzt. So wurden beispielsweise Tardigraden (Organismen, die auch als Wasserbären bekannt sind) im Rahmen der ESA-Mission Biopan 6 dem Vakuum und den extremen Temperaturschwankungen des Weltraums ausgesetzt, um ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber solchen Bedingungen zu testen. Andere Forschungsarbeiten befassen sich mit der Frage, wie sich die Umgebung in der Umlaufbahn der Internationalen Raumstation auf lebende Organismen auswirkt (ohne sie dem Vakuum auszusetzen). So kann beispielsweise die Erforschung des Wachstums von Pflanzenwurzeln ohne einen dominanten Faktor der Fallbeschleunigung zum Verständnis des Verhaltens von Pflanzen auf der Erde beitragen.



↑ Biopan-Instrument an der Außenseite der Foton-Kapsel.

Mehrere Missionen der Europäischen Weltraumorganisation haben außerirdische Umgebungen, die möglicherweise Leben beherbergen, untersucht und werden dies auch in Zukunft tun. Dazu gehören die Cassini-Huygens-Mission zum Saturnsystem, die Rosetta-Mission zum Kometen 67/P, ExoMars (eine zweiteilige Mission, die aus einem Orbiter und einem Rover zum roten Planeten besteht), JUICE, die den Jupiter und drei seiner größten Monde untersuchen wird, und künftige Missionen zum Mond, wie Luna-27, die nach Hinweisen zum Verständnis der Ursprünge des Lebens suchen werden. Darüber hinaus werden die Missionen CHEOPS und PLATO einen Blick über unser Sonnensystem hinaus auf Sternensysteme mit kreisenden Planeten (Exoplaneten) werfen.

Abbildung 3



↑ Künstliche Darstellung von links nach rechts: (oben) JUICE-Mission zum Jupiter, ExoMars-Rover auf dem Mars, PROSPECT-Instrumentenpaket der Luna-27-Mission auf dem Mond. (Unten) Cassini-Huygens im Anflug auf Saturn, Rosetta und Philae beim Kometen 67/P, CHEOPS in der Umlaufbahn über der Erde.

## → Hintergrund

### Extremophile

Ein Extremophiler ist ein Organismus, der unter physikalisch oder geochemisch extremen Bedingungen gedeiht, die für das meiste Leben auf der Erde schädlich sind. Zu den Extremophilen gehören säure- und salzliebende Organismen sowie solche, die bei extrem hohen und extrem niedrigen Temperaturen leben können. Einige Extremophile können einem hohen Druck standhalten, der mehr als das 350-fache des atmosphärischen Drucks auf Meereshöhe beträgt.

Organismen, die in kochendem Wasser leben können, werden als Hyperthermophile bezeichnet. Sie stellen einen besonders wichtigen Zweig der Extremophilen dar, da sie offenbar zu den ältesten Arten gehören, die auf der Erde leben. Einige Wissenschaftler\*innen glauben, dass dies bedeutet, dass das Leben selbst in Umgebungen mit hohen Temperaturen begann, vielleicht in den Heißwassergeysiren auf dem Meeresboden, die als schwarze Raucher bekannt sind. Tabelle 1 gibt einen Überblick über einige verschiedene Arten von Extremophilen.

Überblick über die verschiedenen Arten von Extremophilen		Tabelle 1
Extremophilie (Typ)	Eigenschaften	
Acidophil	Gedeihen in stark sauren Umgebungen mit einem pH-Wert von weniger als 3	
Alkaliphil	Gedeihen in stark alkalischen Umgebungen mit einem pH-Wert von über 9	
Anaerob	Brauchen wenig oder keinen Sauerstoff für ihr Wachstum	
Halophil	Benötigen hohe Salzkonzentrationen für ihr Wachstum	
Hyperthermophil	Gedeihen bei Temperaturen über 100 °C bis zu etwa 130 °C	
Hypolith	Leben unter Felsen in kalten Wüsten	
Metallotolerant	Überleben in Umgebungen mit einem hohen Gehalt an gelösten Schwermetallen	
Oligotroph	Wachsen in Umgebungen mit geringem Nährstoffgehalt	
Osmophil	Können in Umgebungen mit hoher Zuckerkonzentration wachsen	
Piezophil (barophil)	Leben in Umgebungen mit hohem Druck	
Psychrophil	Gedeihen in Umgebungen mit niedrigen Temperaturen, unter -15 °C	
Radioresistent	Sind resistent gegen hohe Strahlungsdosen	
Thermophil	Gedeihen in Umgebungen mit hohen Temperaturen über 40 °C, aber unter 100 °C	
Xerophil	Können unter sehr trockenen Bedingungen wachsen	

## Leben im Sonnensystem

Die Untersuchung von Umgebungen im Sonnensystem, die möglicherweise Leben beherbergen, stützt sich auf Daten, die durch Bildgebung und Spektroskopie von Atmosphären oder Oberflächen der betreffenden Objekte (Planeten, Monde, Kometen, Asteroiden) gewonnen werden.

Bei der Suche nach Leben jenseits der Erde müssen die Wissenschaftler\*innen einige Annahmen darüber treffen, was genau als Erfolg bei der Suche nach Leben (oder Hinweisen darauf) gelten würde. Die erste dieser Annahmen ist, dass wir nach Mikroorganismen oder Spuren ihrer früheren Existenz suchen. Die Wahrscheinlichkeit, primitive Organismen zu finden, ist viel größer als die Suche nach fortgeschrittenen Arten. Stellen Sie sich vor, dass die Erde zwar 4,5 Milliarden Jahre alt ist, die Arten, die als nicht primitiv bezeichnet werden, aber erst vor 0,5 Milliarden Jahren entstanden sind! Davor war die Erde nur von Mikroorganismen bewohnt. Die nächste Annahme besteht darin, (hauptsächlich) nach wasserbasiertem Leben zu suchen. Diese Bedingung schränkt die Liste möglicher Orte, die Leben beherbergen könnten, auf die so genannte "Habitable Zone" um einen Stern ein, in der Wasser in flüssigem Zustand vorhanden sein kann. Dort, wo es nicht zu heiß und nicht zu kalt ist, damit Leben, wie wir es kennen, existieren kann, und der atmosphärische Druck ausreichend ist.

## Analoge Umgebungen



Abbildung 4

↑ Blutfälle in antarktischen Trockentälern - eisenreiche subglaziale Abflüsse.

Die Analyse von Umgebungen auf ihre Eignung, Leben zu beherbergen, gehört zu den Interessen eines Fachgebiets, das Astrobiologie genannt wird. Wissenschaftler\*innen untersuchen Bereiche von Himmelskörpern nach Hinweisen darauf, ob möglicherweise anderswo im Sonnensystem Leben entstanden sein könnte oder nicht.

Dies kann durch die Untersuchung sogenannter analoger Umgebungen geschehen. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Umgebungen, die eine Reihe von Bedingungen aufweisen, welche dem für diese Forschung interessanten extraterrestrischen Gebiet ähnlich sind.

Die Trockentäler der Antarktis (Abbildung 4) gelten als die "marsähnlichste" Umgebung auf der Erde und weisen eine Reihe von Merkmalen auf, die früher und heute auf dem Mars zu finden waren bzw. sind. Sie können daher als eine Annäherung an die extra-glaziale Umgebung des Mars dienen.

Ein weiteres Analogon für die Umwelt auf dem Mars, aber völlig anders als in der Antarktis, ist der Rio Tinto in Spanien (Abbildung 5). Es handelt sich um ein stark saures, blutrotes Flusssystem, das von Ufern aus eisenhaltigem Gestein gesäumt ist. Man geht davon aus, dass diese Umgebung der eines alten Flusskanals auf dem Mars ähnelt, als dieser noch eine Atmosphäre besaß. Es wird daher angenommen, dass es die Bedingungen nachahmt, die für die Ausfällung bestimmter Minerale (z. B. Jarosit) erforderlich sind, die auf dem Mars nachgewiesen wurden und die ein saures und eisenreiches System zur Bildung benötigen.



Abbildung 5

↑ "Roter Fluss" - Rio Tinto in Spanien

## → Aktivität: Leben im All?

In dieser Aktivität werden die Schülerinnen und Schüler zunächst überlegen, welche abiotischen Faktoren bei der Suche nach außerirdischem Leben zu untersuchen sind, und dann die Merkmale der verschiedenen Umgebungen des Sonnensystems untersuchen. Als Nächstes werden die Schüler\*innen extremophile Lebewesen kennenlernen und Hypothesen darüber aufstellen, welche davon möglicherweise auf den verschiedenen untersuchten Körpern des Sonnensystems überleben könnten.

## Ausstattung

- Faktenkarten sind in Anhang 1 und Anhang 2 verfügbar, ein Set für jede Gruppe.

## Übung

Führen Sie die Schüler\*innen an die Tatsache heran, dass sich verschiedene Lebensformen an unterschiedliche Umweltbedingungen anpassen und dort überleben können und dass es eine Reihe von nicht-lebenden (abiotischen) Faktoren gibt, die dies beeinflussen.

Und was ist mit außerirdischem Leben? Bisher wurden noch keine Beweise für außerirdisches Leben gefunden, aber die Wissenschaftler\*innen sind auf der Suche. Die Frage ist: Wonach suchen sie und wo sollten sie suchen? Diskutieren Sie mit den Schülerinnen und Schülern, welche abiotischen Faktoren ihrer Meinung nach auf Monden des Sonnensystems oder anderen Planeten am spannendsten wären, wenn man sie unter dem Gesichtspunkt der Suche nach Leben untersuchen würde.

Die Schüler\*innen könnten Vorschläge wie Sauerstoff, Wasser, Temperatur, Strahlung, Atmosphäre machen. Bitten Sie die Schüler\*innen in Zweiergruppen (oder Kleingruppen), sich die Faktenkarten zum Sonnensystem (Anhang 1) anzuschauen und zu diskutieren, was sie über die abgebildeten Orte wissen. Die Schüler\*innen sollten dann die Umweltbedingungen der einzelnen Orte untersuchen. Die angegebenen Parameter sind in Tabelle 2 zu finden.

Merkmale von Objekten des Sonnensystems, die die Schüler*innen untersuchen können						Tabelle 2
Objekt	Oberflächen Temperatur (°C)	Atmosphärischer Druck (Pa)	Atmosphärisches Gas	Strahlungsbelastung	Magnetfeld?	Fallbeschleunigung (ms <sup>-2</sup> )
Merkur	-180 bis +430	10 <sup>-7</sup>	Schwache Atmosphäre mit: Wasserstoff, Helium, Sauerstoff, Wasserdampf	Hoch	Ja	3,7
Venus	470	9,3 · 10 <sup>6</sup>	Kohlendioxid, Stickstoff	Niedrig	Nein	8,87
Erde	-88 bis +58	101,3 · 10 <sup>3</sup>	Stickstoff, Sauerstoff	Niedrig	Ja	9,81
Mond	-233 bis +123	10 <sup>-7</sup>	Dünne Atmosphäre mit Helium, Argon, Natrium und Wasserstoff	Hoch	Nein	1,6

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite.

## Merkmale von Objekten des Sonnensystems, die die Schüler\*innen untersuchen können

Tabelle 2

Außerhalb der Internationalen Raumstation (ISS)	-157 bis +120	0	-	Hoch	-	Mikrogravitation
Mars	-153 bis +20	600	Kohlendioxid, Stickstoff, Argon	Hoch	Nein	3,71
Titan	-179	146,7 · 10 <sup>3</sup>	Stickstoff, Methan	Niedrig	Nein	1,35
Enceladus	-201	-	-	Hoch	Nein	0,113

Einige dieser Umgebungen im Sonnensystem scheinen im Vergleich zu den meisten Umgebungen, die Leben auf der Erde beherbergen, sehr lebensfeindlich zu sein. Fragen Sie die Schüler\*innen, ob sie Umgebungen/Orte auf der Erde kennen, die ähnliche Umgebungen aufweisen. Vorschläge könnten sein: Wüsten, Arktis/Antarktis, heiße saure Quellen, Vulkane, die Tiefen der Ozeane.

Einige Lebensformen auf der Erde wurden in extremen Umgebungen auf unserem Planeten gefunden, die früher als unbewohnbar galten. Diese Lebensformen haben sich so angepasst, dass sie diese rauen Bedingungen ertragen können. Aber um welche Art von Organismen handelt es sich dabei?

Stellen Sie Extremophile vor. Geben Sie jedem Paar (oder jeder Kleingruppe) einen Satz extremophiler Faktenkarten (Anhang 2). Die Schüler\*innen sollen auflisten, welche extremophilen Organismen ihrer Meinung nach in jeder der auf den Faktenkarten beschriebenen Umgebungen des Sonnensystems überleben könnten. Die Schüler\*innen könnten auch andere Arten von Extremophilen recherchieren, um ihre Hypothese zu ergänzen.

Diskutieren Sie mit den Schülerinnen und Schülern ihre Ideen, welches Leben an welchem Ort des Sonnensystems überleben könnte. Die Schülerinnen und Schüler sollten ihre Wahl anhand der Informationen, die sie erhalten oder recherchiert haben, gut begründen.

## Diskussion

Den Schüler\*innen muss klar gemacht werden, dass bisher noch keine Beweise für außerirdisches Leben (einschließlich extremophiler Lebewesen) entdeckt wurden. Aber die Entdeckung von Leben in extremen Umgebungen auf der Erde und das Verständnis der Bedingungen, unter denen sie überleben können, kann bei der Suche nach Leben anderswo im Sonnensystem und darüber hinaus helfen. Wissenschaftler\*innen können auch Umgebungen auf der Erde untersuchen, die Ähnlichkeiten mit Umgebungen auf anderen Orten des Sonnensystems, wie dem Mars, aufweisen.

Es wurde zwar noch kein Leben außerhalb der Erde entdeckt, aber was sollten wir nach Meinung der Schüler\*innen tun, wenn Leben gefunden wird? Was halten die Schüler\*innen für wahrscheinlicher – intelligentes Leben oder nur winzige Mikroorganismen? Und wo (auf welchen Planeten oder Monden) sollten Wissenschaftler\*innen ihrer Meinung nach am besten nach Leben suchen?

Obwohl Extremophile ihre Energie aus einer Vielzahl von chemischen Prozessen beziehen, sind sie alle auf Wasser angewiesen und enthalten DNA. Vielleicht verwenden exotische außerirdische Lebensformen eine andere Flüssigkeit als Wasser oder ein anderes informationstragendes Molekül als die DNA. Nur Weltraummissionen können dies herausfinden.

Diskutieren Sie mit den Schülerinnen und Schülern über die Auswirkungen, die es haben könnte, wenn Menschen Raumfahrzeuge zur Landung in diese Umgebungen schicken.

Für jede Mission zu anderen Planeten, z. B. zum Mars, gelten sehr strenge Regeln bezüglich der Kontamination – diskutieren Sie, warum.

Weitere Fragen, die mit den Schüler\*innen diskutiert werden können, sind:

- Ist flüssiges Wasser für die Entwicklung von Leben notwendig?
- Glaubt ihr, dass es außerirdisches Leben gibt, das nicht die DNA als informationstragendes Molekül verwendet?
- Würde es einen Unterschied machen, wenn außerirdisches Leben gefunden wird?

Diese Diskussion könnte dahingehend erweitert werden, dass die Schülerinnen und Schüler aufgefordert werden, darüber nachzudenken und aufzulisten, welche Parameter erfüllt sein müssen, damit etwas als lebendig angesehen werden kann (aus Zellen bestehen, Energie gewinnen und nutzen, wachsen und sich entwickeln, sich fortpflanzen, auf ihre Umwelt reagieren, sich an ihre Umwelt anpassen).

## → Links

### ESA Ressourcen

ESA classroom resources

[esa.int/Education/Classroom\\_resources](https://esa.int/Education/Classroom_resources)

### ESA Space Projects

The International Space Station

[esa.int/Our\\_Activities/Human\\_Spaceflight/International\\_Space\\_Station](https://esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/International_Space_Station)

Cassini-Huygens

[esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Cassini-Huygens](https://esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens)

Rosetta

[esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Rosetta](https://esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta)

ExoMars

[esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Exploration/ExoMars](https://esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/ExoMars)

CHEOPS

[esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Cheops](https://esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops)

PLATO

[https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Plato\\_factsheet](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Plato_factsheet)

JUICE

[esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Juice](https://esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice)

PROSPECT instrument package on Luna-27

[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2020/10/What\\_is\\_Prospect](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/10/What_is_Prospect)

### Zusatzinformationen

Research about exobiology on the International Space Station (including a video)

[esa.int/Our\\_Activities/Human\\_Spaceflight/Research/Exobiology](https://esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Research/Exobiology)

Exobiology and space missions (video)

[esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/01/Exobiology\\_and\\_Space\\_Missions](https://esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/01/Exobiology_and_Space_Missions)

Planetary Protection

[https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Exploration/ExoMars/Planetary\\_protection](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/ExoMars/Planetary_protection)

Planetary analogues

[esamultimedia.esa.int/docs/gsp/The\\_Catalogue\\_of\\_Planetary\\_Analogues.pdf](https://esamultimedia.esa.int/docs/gsp/The_Catalogue_of_Planetary_Analogues.pdf)

Surviving extreme conditions in space

[esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Extreme\\_space/Surviving\\_extreme\\_conditions\\_in\\_space](https://esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Extreme_space/Surviving_extreme_conditions_in_space)

Meet the Experts: Extreme life

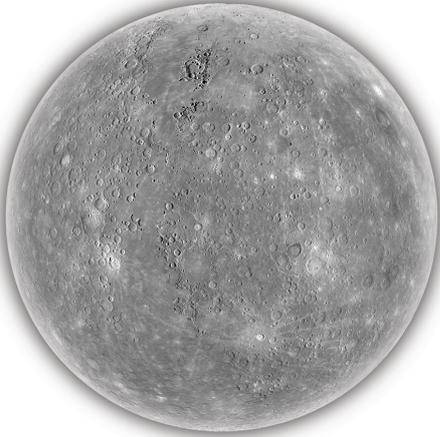
[esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2020/07/Meet\\_the\\_Experts\\_Extreme\\_life](https://esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/07/Meet_the_Experts_Extreme_life)

Understanding the origins of life

[lunarexploration.esa.int/#/library?a=284](https://lunarexploration.esa.int/#/library?a=284)

## → Anhang 1: Sonnensystem Faktenkarten

### Merkur



**Oberflächentemperatur:** -180 °C bis 430 °C  
**Atmosphärischer Druck:**  $10^{-7}$  Pa  
**Atmosphärische Zusammensetzung:** Dünne Atmosphäre mit Wasserstoff, Helium, Sauerstoff, Wasserdampf  
**Strahlung:** Hoch  
**Magnetisches Feld?** Ja  
**Fallbeschleunigung:**  $3,7 \text{ ms}^{-2}$   
**Zusätzliche Informationen:** Trotz der hohen Temperaturen, die der Planet tagsüber aushält, könnte es tief in den Kratern an den Polen kalt genug sein, um Wassereis zu bilden.

### Mars



**Oberflächentemperatur:** -153 °C bis 20 °C  
**Atmosphärischer Druck:** 600 Pa  
**Atmosphärische Zusammensetzung:** Kohlendioxid, Stickstoff, Argon  
**Strahlung:** Hoch  
**Magnetisches Feld?** Nein  
**Fallbeschleunigung:**  $3,7 \text{ ms}^{-2}$   
**Zusätzliche Informationen:** An den Polen gibt es Wassereis, und in der südlichen Polarregion wurde ein Teich mit flüssigem Wasser unter Eis- und Staubschichten entdeckt.

### Venus



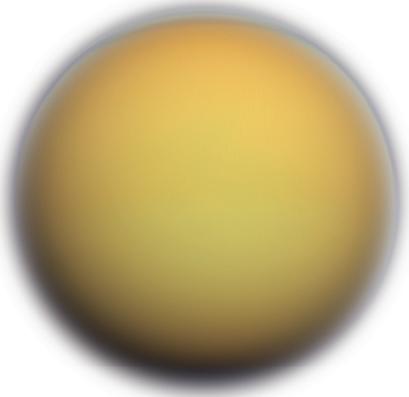
**Oberflächentemperatur:** 470 °C  
**Atmosphärischer Druck:** 9,3 MPa  
**Atmosphärische Zusammensetzung:** Kohlendioxid, Stickstoff  
**Strahlung:** Niedrig  
**Magnetisches Feld?** Nein  
**Fallbeschleunigung:**  $8,87 \text{ ms}^{-2}$   
**Zusätzliche Informationen:** Hat eine giftige und schwere Atmosphäre, die fast vollständig aus Kohlendioxid besteht. Der Planet ist von einer dicken Wolkenschicht umgeben, deren oberer Teil hauptsächlich aus winzigen Schwefelsäuretröpfchen besteht. An der Oberfläche ist der atmosphärische Druck auf der Venus mehr als 90 Mal höher als auf der Erde.

### Mond



**Oberflächentemperatur:** -233 °C bis 123 °C  
**Atmosphärischer Druck:**  $10^{-7}$  Pa  
**Atmosphärische Zusammensetzung:** Schwache Atmosphäre mit Helium, Argon, Natrium, Wasserstoff  
**Strahlung:** Hoch  
**Magnetisches Feld?** Nein  
**Fallbeschleunigung:**  $1,6 \text{ ms}^{-2}$   
**Zusätzliche Informationen:** Flüssiges Wasser kann es auf dem Mond nicht geben. Es wird jedoch vermutet, dass Wassereis in den ständig beschatteten Kratern an den Mondpolen zu finden ist und unter der Oberfläche eingeschlossen sein könnte.

## Titan



**Oberflächentemperatur:** -179 °C  
**Atmosphärischer Druck:** 146,7 Pa  
**Atmosphärische Zusammensetzung:** Stickstoff, Methan  
**Strahlung:** Niedrig  
**Magnetisches Feld?** Nein  
**Fallbeschleunigung:** 1,35 ms<sup>-2</sup>  
**Zusätzliche Informationen:** Es gibt Wolken, Regen, Flüsse, Seen und Meere mit flüssigen Kohlenwasserstoffen, wie Methan und Ethan. Unter einer dicken Kruste aus Wassereis vermutet man einen Ozean aus flüssigem Wasser.

## Enceladus



**Oberflächentemperatur:** -201 °C  
**Atmosphärendruck:** -  
**Atmosphärenzusammensetzung:** -  
**Strahlung:** Hoch  
**Magnetisches Feld?** Nein  
**Fallbeschleunigung:** 0,113 ms<sup>-2</sup>  
**Zusätzliche Informationen:** Es wird vermutet, dass es hydrothermale Schloten gibt, die mineralhaltiges Wasser in einen Ozean unter der eisigen Oberfläche ausspucken.

## Internationale Raumstation



**Oberflächentemperatur:** -157 °C bis 120 °C  
**Atmosphärendruck:** -  
**Atmosphärenzusammensetzung:** -  
**Strahlung:** Hoch  
**Magnetisches Feld?** -  
**Fallbeschleunigung:** Mikrogravitation  
**Zusätzliche Informationen:** Die Europäische Weltraumorganisation hat eine Reihe von Experimenten auf der internationalen Raumstation und anderen Missionen durchgeführt, um herauszufinden, ob Organismen unter den rauen Bedingungen des Weltraums überleben können.

## Erde

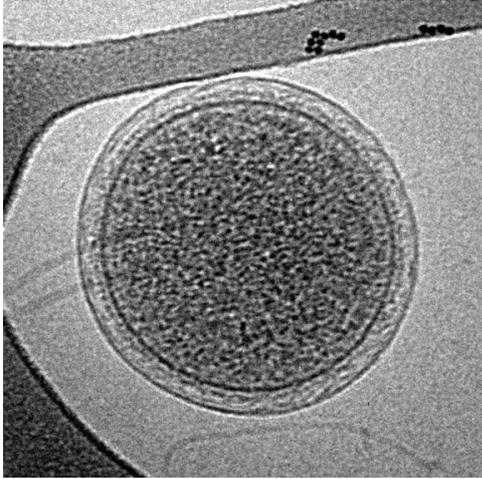


**Oberflächentemperatur:** -88 °C bis 58 °C  
**Atmosphärischer Druck:** 101,3 kPa  
**Atmosphärische Gase:** Stickstoff, Sauerstoff  
**Strahlenbelastung:** Niedrig  
**Magnetisches Feld:** Ja  
**Erdbeschleunigung:** 9,81 ms<sup>-2</sup>  
**Zusätzliche Informationen:** Der einzige Planet im Sonnensystem, von dem bekannt ist, dass er Leben beherbergt und flüssiges Wasser auf seiner Oberfläche hat. Der größte Teil der Erde ist mit Wasser bedeckt.

## → Anhang 2: Extremophile Faktenkarten

### *Archaeal Richmond Mine acidophilic nanoorganism (ARMAN)*

Extremophiler Typ: acidophil



- Gedeiht in saurem Milieu zwischen pH 2 und pH 6.
- Wurde in Gebieten mit einer Temperatur von 10 - 500 °C gefunden.
- Auf der Erde in sauren Minenabflüssen zu finden, die durch Verwitterung sulfidreicher Mineralien entstanden sind, z. B. in der Richmond Mine in den USA und bei Rio Tinto in Spanien.

### *Xanthoria elegans*

Extremophiler Typ: psychrophil



- Kommt an vielen Orten auf der Erde vor, bevorzugt aber kalte Umgebungen, wie z. B. die borealen Wälder der antarktischen Regionen.
- Flog für ein Experiment auf die Außenseite der Internationalen Raumstation und erwies sich als widerstandsfähig gegenüber Vakuum im Welt- raum, hohe Strahlungsdosen, extreme Tempera- turschwankungen und Unterdruck.
- Kann bis zu 5 cm breit werden.

### *Artemia franciscana*

Extremophiler Typ: psychrophil



- Ein primitives Krustentier, das auch als Solegarnele bekannt ist.
- Verträgt hohe und niedrige Salzkonzentrationen.
- Ihre Eier (bekannt als Zysten) können 2 Jahre lang unter trockenen, sauerstofffreien Bedingungen überleben.
- Sie kommt in Salzwasserseen im Landesinneren vor, z. B. im Großen Salzsee in den USA.
- Die Zysten wurden auf der ESA-Mission Biopan 2 mitgeflogen und es wurde festgestellt, dass sie den niedrigen Druck eines Vakuums und Tempera- turen unter dem Gefrierpunkt ertragen können.
- Sie können bis zu 11 mm lang werden.

### *Polypedilum vanderplanki*

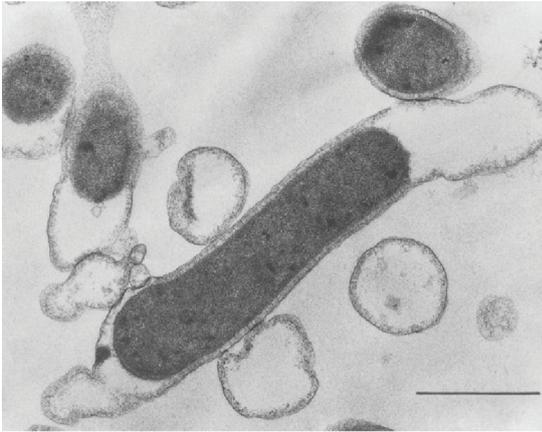
Extremophiler Typ: xerophil



- Die Larven dieses Insekts können eine Entwässe- rung von etwa 3 % ihres Körpergewichts vertragen (beim Menschen sind es 33 %). Man findet sie in kleinen Felspützen in trockenen Teilen Afrikas.
- Bei einem Experiment auf der Internationalen Raumstation wurden die Larven der Weltraumum- gebung ausgesetzt. Sie erwiesen sich als fähig, extremen Temperaturen, hohen Strahlungsdosen und dem Vakuum des Weltraums zu widerstehen.
- Die Larven können bis zu 7 mm lang werden.

## *Thermotoga maritima*

Extremophiler Typ: hyperthermophil



- Anaerobe Bakterien, die in Wasser mit einem Temperaturbereich von 50 – 90 °C gedeihen.
- Bevorzugt einen neutralen pH-Wert.
- Kann in der Regel dort wachsen, wo der Salzgehalt niedrig ist.
- Kann ohne Sauerstoff leben und wachsen.
- Kommt in heißen Quellen und hydrothermalen Schloten vor.

## *Xenophyophore*

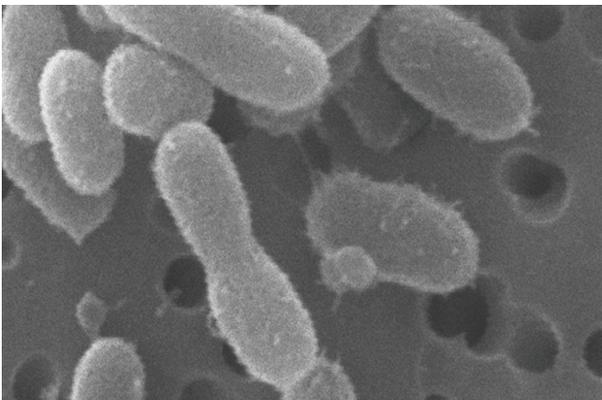
Extremophiler Typ: piezophil



- Größter einzelliger Organismus auf der Erde.
- Ein vielkerniger (mehr als einen Kern) Einzeller.
- Kann in Umgebungen mit extremem Druck überleben (1000-facher Atmosphärendruck).
- Weltweit auf dem Meeresboden zu finden.

## *Chryseobacterium greenlandensis*

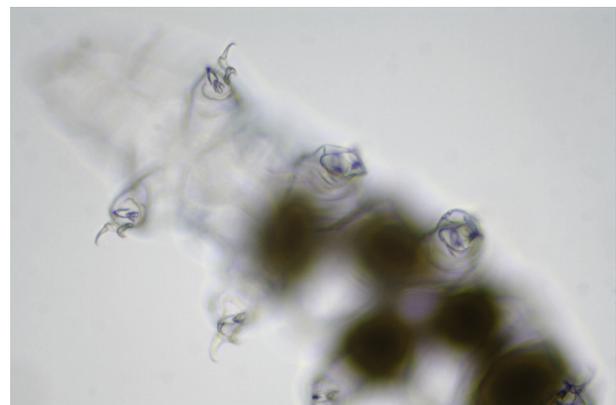
Extremophiler Typ: psychrophil



- Sehr kleine Bakterien.
- Gedeiht bei Temperaturen zwischen 1 °C und 37 °C, kann aber auch bei Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt überleben.
- Widerstandsfähig gegen niedrige Temperaturen, hohen Druck und reduzierten Sauerstoffgehalt.
- Gefunden in einem 120 000 Jahre alten Eiskern, der aus einer Tiefe von etwa 3 km unter der Oberfläche eines grönländischen Gletschers entnommen wurde.

## *Tardigrade*

Extremophiler Typ: gilt nicht als extremophil



- Winzige Tiere, die gemeinhin als Wasserbären bekannt sind.
- Sie sind in der Lage, unter extremen Bedingungen zu überleben, können sich aber nicht an diese anpassen.
- Können in einer Reihe von extremen Umgebungen überleben: sehr niedrige Temperaturen bis zu -200 °C, sehr hohe Temperaturen bis zu 150 °C, hohe Strahlungsdosen, sehr hoher Druck und lange Perioden mit sehr trockenen Bedingungen.
- Sie können fast überall auf der Erde leben, bevorzugen aber feuchte Umgebungen wie Moos.
- Sie wurden auf der ESA-Mission Biopan 6 geflogen und waren in der Lage, die raue Umgebung des Weltraums zu überleben: extreme Temperaturschwankungen, hohe Strahlung und der niedrige Druck eines Vakuums.