

Planet X – ein Ort für Leben?

In Bezug auf den Beitrag „Sind metallarme Sterne lebensfreundlicher?“ in der Zeitschrift »Sterne und Weltraum« 11/2023, Rubrik: Nachrichten, S. 13, WIS-ID: 1571226, Zielgruppe: Mittelstufe – Oberstufe

Talha Coktasar

Die Suche nach lebensfreundlichen Planeten erfordert die Berücksichtigung mehrerer Faktoren, wie z.B. den Abstand zu ihren Sternen oder die Existenz einer Atmosphäre als Schutz vor gefährlicher UV-Strahlung. In diesem WIS-Beitrag nehmen Schülerinnen und Schüler die **Rolle eines Nachwuchswissenschaftlers** an und prüfen ausgewählte Kandidaten auf ihre Habitabilität. In mehreren Stationen erwerben sie hierzu die notwendigen Grundlagen und untersuchen, ob die Planeten in der stellaren habitablen Zone liegen. Um die Auswahl weiter einzugrenzen, wird eine Verknüpfung zum SuW-Artikel „Sind metallarme Sterne lebensfreundlicher?“ hergestellt, wonach sich die Zusammensetzung sonnenähnlicher Sterne auf die Lebensfreundlichkeit auf dem Planeten auswirkt. Dies eröffnet den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, den idealen Kandidaten – den Planeten X – zu finden.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Planeten, Sterne	Exoplanet , Abstände , Leuchtkraft , Temperatur , Metallizität , Habitable Zone , Sternentwicklung , Sternpopulationen
Physik	Optik, Quantenphysik Thermodynamik	Wellennatur des Lichts , Lichtspektrum , Schwarzer Körper , UV-Strahlung Temperatur
Fächer- verknüpfung	Astro-Geografie Astro-Chemie Astro-Biologie Astro-Informatik	Atmosphäre Bildung und Abbau von Ozon in der Atmosphäre Lebensfreundlichkeit , Voraussetzung für Leben Tabellenkalkulationsprogramm , Simulation
Lehre allgemein	Kompetenzen Unterrichtsmittel Lehr-/Sozialformen Lernpsychologie	Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation , Recherche , Wertung , Arbeitsblätter , Aufgaben , Bilder , Freihandversuche , Stationenarbeit , Gruppenarbeit Rollenspiel

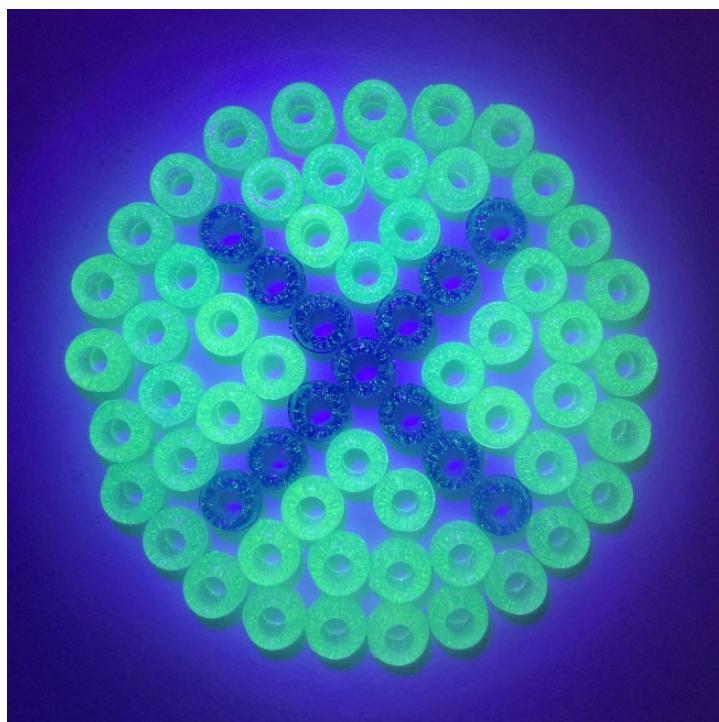


Abbildung 1: Farbwechsel bei UV-Perlen unter ultravioletter Bestrahlung. © Talha Coktasar.

Allgemeine Hinweise

In diesem WIS-Beitrag prüfen Schülerinnen und Schüler ausgewählte Exoplaneten auf ihre Lebensfreundlichkeit. Hierzu bearbeiten sie insgesamt sechs Stationen, welche mit „Tagen“ beschriftet sind. Grund dafür ist die Einbettung der Stationenarbeit in eine Geschichte, in welcher die Schülerinnen und Schüler die Rolle eines Nachwuchswissenschaftlers annehmen. Um den Bezug zur Rolle herzustellen, wurden unter anderem einige Rechercheaufgaben miteingeplant. Informationen, die vorgegeben werden, finden die Schülerinnen und Schüler in „Info-Boxen“ oder „Vorlesungsnotizen“ wieder. Aufgrund der nötigen Vorkenntnisse, insbesondere wegen der Fächerverknüpfungen, wird die Bearbeitung dieser Stationenarbeit ab der neunten Klassenstufe empfohlen.

Hinweise zu „Tag 1 - Grundlagen“

In der ersten Station werden die Schülerinnen und Schüler in die Handlung eingeführt. Durch Recherche und Kommunikation im Team erwerben sie Kriterien zur Lebensfreundlichkeit eines Planeten. Die Überprüfung erfolgt eigenständig.

Hinweise zu „Tag 2 - Habitable Zone“

Zu Beginn der zweiten Station werden die möglichen Planeten als Datenliste vorgestellt. Hierbei wurden Exoplaneten, deren Sterne sonnenähnlich sind, aus unterschiedlichen Katalogen ausgewählt, um später einen Bezug auf den Beitrag „Sind metallarme Sterne lebensfreundlicher?“ in der Zeitschrift „Sterne und Weltraum“ (11/2023) herzustellen. Zunächst erwerben die Schülerinnen und Schüler Grundkenntnisse zur habitablen Zone, um anschließend mit einem Tabellenkalkulationsprogramm (hier: Microsoft Excel) fehlende Informationen zu berechnen und mögliche Kandidaten für lebensfreundliche Planeten zu finden.

Planet	Stern	Abstand Planet-Stern in AE	Leuchtkraft Stern in L _☉	Temperatur Stern in K	Metalizität [Fe/H] Stern	innere Grenze der habitablen Zone in AE	äußere Grenze der habitablen Zone in AE	In der habitablen Zone?
61 Virginis b	61 Virginis	0,050201	0,85	5558	-0,02	0,87904907	1,26640183	Nein
61 Virginis c	61 Virginis	0,2175	0,85	5558	-0,02	0,87904907	1,26640183	Nein
61 Virginis d	61 Virginis	0,476	0,85	5558	-0,02	0,87904907	1,26640183	Nein
HD 69830 b	HD 69830	0,08	0,6	5410	-0,03	0,73854895	1,06399035	Nein
HD 69830 c	HD 69830	0,19	0,6	5410	-0,03	0,73854895	1,06399035	Nein
HD 69830 d	HD 69830	0,6	0,6	5410	-0,03	0,73854895	1,06399035	Nein
HD 147513 b	HD 147513	1,31	0,98	5858	0,03	0,94387981	1,35980021	Ja
Taphao Thong	Chalawan	2,1	1,5	5954	0,06	1,16774842	1,68231646	Nein
Taphao Kaew	Chalawan	3,6	1,5	5954	0,06	1,16774842	1,68231646	Nein
47 Ursae Majoris d	Chalawan	11,6	1,5	5954	0,06	1,16774842	1,68231646	Nein
Dimidium	Helvetios	0,052	1,3	5804	0,2	1,08711461	1,56615139	Nein
Epsilon Eridani b	Epsilon Eridani	3,53	0,34	5084	-0,13	0,55595945	0,80094284	Nein
82 G. Eridani b	82 G. Eridani	0,127	0,74	5338	-0,54	0,82019953	1,18162025	Nein
82 G. Eridani d	82 G. Eridani	0,364	0,74	5338	-0,54	0,82019953	1,18162025	Nein
82 G. Eridani e	82 G. Eridani	0,509	0,74	5338	-0,54	0,82019953	1,18162025	Nein
Nu ² Lupi b	Nu ² Lupi	0,0963	1,038	5664	-0,34	0,97140947	1,39946081	Nein
Nu ² Lupi c	Nu ² Lupi	0,1717	1,038	5664	-0,34	0,97140947	1,39946081	Nein
Nu ² Lupi d	Nu ² Lupi	0,4243	1,038	5664	-0,34	0,97140947	1,39946081	Nein
Kepler-452 b	Kepler-452	1,046	1,2	5757	0,21	1,04446594	1,50470959	Ja
HD 70642 b	HD 70642	3,232	0,917	5762	0,17	0,91303689	1,31536637	Nein
HIP 11915 b	HIP 11915	4,8	1	5773	-0,057	0,95346259	1,37360564	Nein

Abbildung 2: Datenliste mit berechneten Werten. © Talha Coktasar

Um den Schwierigkeitsgrad zu minimieren wurden einige Vereinfachungen unternommen. So werden beispielsweise die zeitlichen Entwicklungen der habitablen Zonen nicht berücksichtigt oder die Planetenbahnen als kreisförmig angenommen. Die Berechnung der habitablen Zone kann alternativ wie folgt durchgeführt werden:

- Berechnung des Abstands der habitablen Zone: $r_{\text{HZ}} = \sqrt{\frac{L_*}{L_{\odot}}}$
(r_{HZ} : Radius der habitablen Zone; L_* : Leuchtkraft des Sterns; L_{\odot} : Leuchtkraft der Sonne)
- Berechnung des inneren und äußeren Radius der habitablen Zone:
 - $r_{\text{HZ,innen}} = 0,95 \cdot r_{\text{HZ}}$
 - $r_{\text{HZ,außen}} = 1,37 \cdot r_{\text{HZ}}$

Auf diese Rechnungen wurde in diesem Beitrag verzichtet. Die vorgestellte Liste wird diesem Beitrag beigelegt und kann von den Schülerinnen und Schülern verwendet werden. Auch das selbstständige Einpflegen der Daten ist aber bei der Anzahl an Planeten zumutbar.

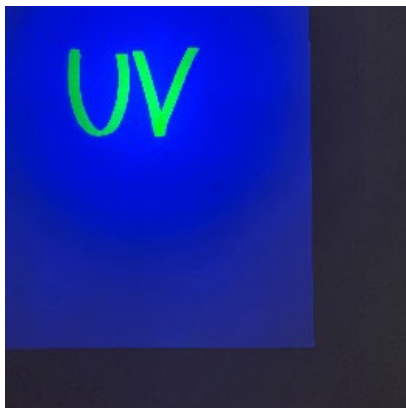
Hinweise zu „Tag 3 – UV-Strahlung“

Dieser Abschnitt dient zur Untersuchung der UV-Strahlung. Hierzu wird zunächst das elektromagnetische Spektrum kurz vorgestellt.

In [Aufgabe 3.1](#) wird das Spektrum der Sonne mit anderen Lichtquellen verglichen. Es wäre ratsam, wenn Schülerinnen und Schüler folgende Themen bereits behandelt hätten:

- Schwarzer Strahler (aus Klassenstufe 9, Wärmelehre)
- Amplitude, Wellenlänge (aus Klassenstufe 7, Akustik)

In [Aufgabe 3.2](#) werden unterschiedliche Experimente zur UV-Strahlung durchgeführt. Um die Strahlung im ultravioletten Bereich sichtbar zu machen, werden UV-Perlen verwendet (vgl. Abb.4). Diese Perlen aus Plastik verändern ihre Farbe unter Lichteinwirkung im ultravioletten Bereich. Sie sind kostengünstig und können in großer Stückzahl im Internet oder in Spielwarengeschäften erworben werden.



Mit Hilfe von durchsichtigen Plastikbeuteln gehen die Perlen auch nicht verloren. Alternativ könnten Lichtsensoren (z.B. PASCO Wireless Light Sensor PS-3213) verwendet werden, die je nach Ausführung auch eine Unterscheidung in UV-A und UV-B ermöglichen. Als Lichtquelle dient neben der Sonne eine herkömmliche UV-Lampe (vgl. Abb. 5).

Weißes Papier und auch Textmarker-Tinte enthalten fluoreszierende Stoffe, wodurch UV-Licht sichtbar gemacht werden kann (**Experiment 3.2.1**). Ein Untergrund, der diese nicht enthält, bleibt dunkel (vgl. Abb. 3).

Abbildung 3: Zum Experiment 3.2.1: Weißes Papier mit Textmarkerbeschriftung unter UV-Licht. © Talha Coktasar.

In **Experiment 3.2.2** wird eine Verbindung zur Aufgabe 3.1. hergestellt. Hier wird nämlich untersucht, dass unterschiedliche Lichtquellen unterschiedliche Spektren aussenden und dass diese nicht zwangswise einen UV-Anteil haben müssen (vgl. Abb. 4).



Abbildung 4: Zum Experiment 3.2.2: UV-Perlen unter Sonnenlicht (links), UV-Perlen unter künstlichem Licht (Mitte), UV-Perlen unter Sonnenlicht im Schatten (rechts). © Talha Coktasar

Dass UV-Strahlen, so auch potenziell auf einem Planeten mit flüssigem Wasser, reflektiert werden können, erfahren die Schülerinnen und Schüler in **Experiment 3.2.3** (vgl. Abb. 5).

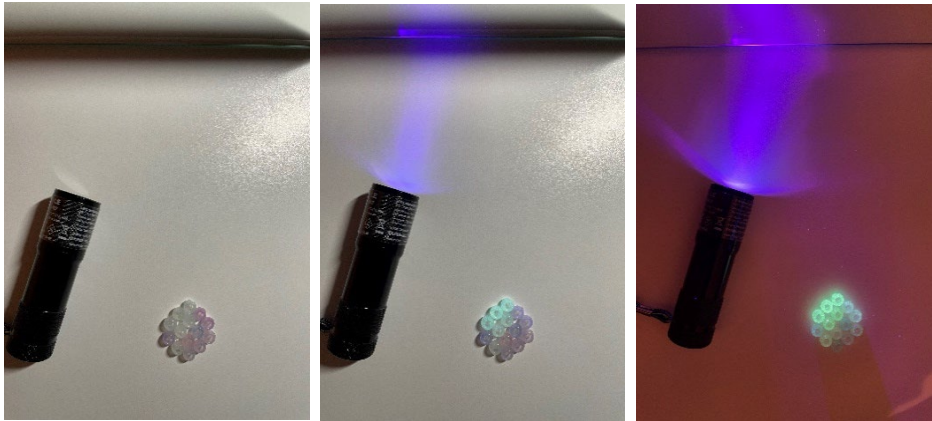


Abbildung 5: Zum Experiment 3.2.3: UV-Licht wird an einem Spiegel reflektiert.
© Talha Coktasar.

Ob wir Menschen und damit auch andere potenzielle Lebewesen sich vor UV-Strahlung schützen können, untersuchen die Schülerinnen und Schüler in **Experiment 3.2.4** (vgl. Abb. 6 & 7). Die menschliche Haut, welche durch ein Stück Backpapier nachgestellt wird, bietet keinen Schutz vor UV-Strahlung. Eine Sonnenbrille oder auch Sonnencreme (hier: Lichtschutzfaktor 50) schirmt diese größtenteils ab. An dieser Stelle wäre ein Vergleich verschiedener Lichtschutzfaktoren denkbar.

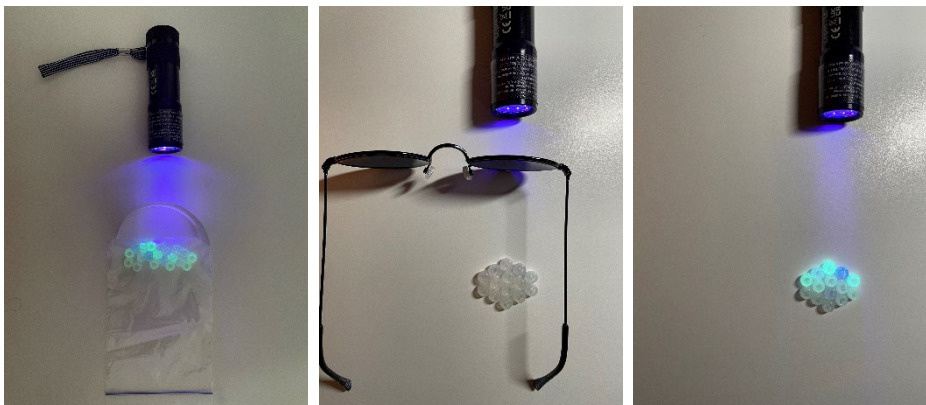


Abbildung 6: Zum Experiment 3.2.4: UV-Perlen hinter Backpapier unter UV-Licht (links), UV-Perlen hinter einer Sonnenbrille unter UV-Licht (Mitte), UV-Perlen unter UV-Licht (rechts).
© Talha Coktasar.



Abbildung 7: Zum Experiment 3.2.4: UV-Perlen hinter Sonnencreme unter UV-Licht (links, Mitte), UV-Perlen mit und ohne Sonnencreme nach Belichtung mit UV-Licht (rechts).
© Talha Coktasar.

In **Experiment 3.2.5** erfahren die Schülerinnen und Schüler, dass Wasser keinen Schutz vor UV-Strahlung bietet (vgl. Abb. 8). Mit gewissen Zusätzen, wie beispielsweise mit einem Shampoo mit UV-Filter, lässt sich dies beheben. Hier soll darauf hingewiesen werden, dass eine unbekannte chemische Zusammensetzung den UV-Schutz beeinflussen könnte.

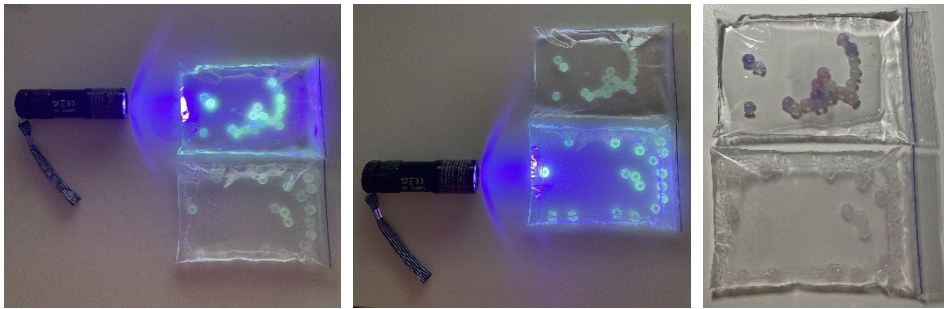


Abbildung 8: Zum Experiment 3.2.5: UV-Perlen in Wasser unter UV-Licht (links), UV-Perlen in Wasser mit Shampoo unter UV-Licht (Mitte), Vergleich beider Varianten nach gleicher Belichtungszeit (rechts).
© Talha Coktasar.

Hinweise zu „Tag 4 – Atmosphäre“

Bei dieser Station lernen die Schülerinnen und Schüler die Atmosphäre unserer Erde und insbesondere die Position der Ozonschicht kennen. Die hier gewonnenen Kenntnisse könnten unter Umständen auf die Atmosphären fremder Planeten angewandt werden, um so zu verstehen, wie sich Exoplaneten vor UV-Strahlung schützen könnten. Bei [Aufgabe 4.2](#) untersuchen die Schülerinnen und Schüler deshalb die Bestandteile unserer Atmosphäre unter Lichteinwirkung und lernen, wie das schützende Ozon in der Atmosphäre mithilfe von UV-Strahlung gebildet bzw. abgebaut wird.

Hinweise zu „Tag 5 – Metallizität“

Um in der letzten Station den aussichtsreichsten Kandidaten – den Planeten X – zu finden, wird bei dieser Station ein Schwerpunkt auf das qualitative Verständnis von Metallen in der Astronomie gelegt. Es erfolgt keine Berechnung einzelner Metallizitäten.

Hinweise zu „Tag X“

An „[Tag X](#)“ wird ein Bezug auf den Beitrag „Sind metallarme Sterne lebensfreundlicher?“ in der Zeitschrift „Sterne und Weltraum“ (11/2023) hergestellt:

„Forscher aus Göttingen haben herausgefunden, dass die Metallizität von Sternen eine große Rolle bei der Lebensfreundlichkeit eines Planeten spielt. So sollen metallärmere Sterne zwar eine höhere Menge an Strahlung aussenden als metallreichere Sterne, aber das Verhältnis aus UV-C bzw. UV-B-Strahlung von der Metallizität abhängen. Bei metallärmeren Sternen soll die UV-C-Strahlung dominieren, wohingegen bei metallreicheren Sternen die UV-B-Strahlung überwiegen soll.“

Die Schülerinnen und Schüler sind nun mit den erworbenen Grundlagen in der Lage, entscheidende Schlussfolgerungen zu ziehen. Bei Planeten, die um metallarme Sterne kreisen, entsteht eine dichte Ozonschicht, während bei Planeten um metallreiche Sterne, bei denen die UV-B-Strahlung dominiert, kein Schutz vorhanden ist, da Ozon in der Planetenatmosphäre abgebaut wird. Mit dieser Folgerung bewerten die Schülerinnen und Schüler ihre bereits gefundenen Kandidaten neu und finden den aussichtsreichsten Kandidaten – den Planeten X. Wie im Titel „Planet X – ein Ort für Leben?“ angedeutet, wird am Ende der Stationenarbeit die „getane Arbeit“ relativiert. Ob der Planet X lebensfreundlich ist, muss weiter erforscht werden...



[zurück zum Anfang](#)

Arbeitsblätter

Planet X – ein Ort für Leben?

Tag 1
Grundlagen

In der folgenden **Stationenarbeit** nimmst du die **Rolle eines Nachwuchswissenschaftlers** an und prüfst eine Reihe von Planeten auf ihre Lebensfreundlichkeit.

Heute beginnt ein aufregendes Kapitel in deinem Leben. Du hast dein Studium erfolgreich abgeschlossen und wurdest vom führenden Institut für Exoplanetenforschung als Nachwuchswissenschaftler eingestellt. Dein Mentor und Teamleiter ist der angesehene Wissenschaftler Prof. Dr. Löwenstein.





Prof. Dr. Löwenstein hat dir eine Datei mit zahlreichen Daten über Exoplaneten überreicht, die du auf ihre Lebensfreundlichkeit hin untersuchen soll.

Mit einer Mischung aus Aufregung und Vorfreude nimmst du diese Verantwortung an. Jeder Exoplanet birgt sein eigenes Geheimnis und verspricht möglicherweise die Antwort auf die Frage, ob Leben jenseits unserer Erde existiert ...



i Ein „Exoplanet“ ist ein Planet, der sich außerhalb unseres Sonnensystems um einen anderen Stern als die Sonne bewegt.

- 1.1**  Bevor du mit deinem Forschungsauftrag beginnst, ist es entscheidend, ein klares Verständnis dafür zu entwickeln, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit ein Planet als lebensfreundlich gilt. Recherchiere hierzu im Internet.
- 1.2**  Tausche dich mit deinen Teamkollegen aus und stelle eine Liste von Kriterien zusammen, die bei der Identifizierung lebensfreundlicher Exoplaneten berücksichtigt werden müssen. Diese Liste bildet die Grundlage für deine zukünftige Arbeit in der Exoplanetenforschung.
- 1.3** Um sicherzugehen, habt ihr Prof. Dr. Löwenstein eine E-Mail geschrieben und nach seiner Meinung gefragt. Scanne den QR-Code, um seine Vorschläge anzuzeigen und vergleiche mit deinen Kriterien.



Planet X – ein Ort für Leben?

Tag 2
Habitable Zone

Voller Neugier öffnest du die Datei „Planet_X.xlsx“ deines Mentors mit den Planeten und schaust dir an, welche Informationen enthalten sind:

Planet	Stern	Abstand Planet-Stern in AE	Leuchtkraft Stern in L_{\odot}	Temperatur Stern in K	Metallizität [Fe/H] Stern
61 Virginis b	61 Virginis	0,050201	0,85	5558	-0,02
61 Virginis c	61 Virginis	0,2175	0,85	5558	-0,02
61 Virginis d	61 Virginis	0,476	0,85	5558	-0,02
HD 69830 b	HD 69830	0,08	0,6	5410	-0,03
HD 69830 c	HD 69830	0,19	0,6	5410	-0,03
HD 69830 d	HD 69830	0,6	0,6	5410	-0,03
HD 147513 b	HD 147513	1,31	0,98	5858	0,03
Taphao Thong	Chalawan	2,1	1,5	5954	0,06
Taphao Kaew	Chalawan	3,6	1,5	5954	0,06
47 Ursae Majoris d	Chalawan	11,6	1,5	5954	0,06
Dimidium	Helvetios	0,052	1,3	5804	0,2
Epsilon Eridani b	Epsilon Eridani	3,53	0,34	5084	-0,13
82 G. Eridani b	82 G. Eridani	0,127	0,74	5338	-0,54
82 G. Eridani d	82 G. Eridani	0,364	0,74	5338	-0,54
82 G. Eridani e	82 G. Eridani	0,509	0,74	5338	-0,54
Nu ² Lupi b	Nu ² Lupi	0,0963	1,038	5664	-0,34
Nu ² Lupi c	Nu ² Lupi	0,1717	1,038	5664	-0,34
Nu ² Lupi d	Nu ² Lupi	0,4243	1,038	5664	-0,34
Kepler-452 b	Kepler-452	1,046	1,2	5757	0,21
HD 70642 b	HD 70642	3,232	0,917	5762	0,17
HIP 11915 b	HIP 11915	4,8	1	5773	-0,057

Inhalt der Datei von Prof. Dr. Löwenstein. © Talha Coktasar.

i „AE“ ist die Abkürzung für das Längenmaß *Astronomische Einheit*.

$$1 \text{ AE} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$$

Dies entspricht ungefähr dem **mittleren Abstand zwischen Erde und Sonne**.

Mit „ L_{\odot} “ wird die mittlere **Leuchtkraft der Sonne**, d.h. die im Mittel abgestrahlte Leistung der Sonne bezeichnet.

$$1 L_{\odot} = 3,844 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

2.1 Du fragst dich, wie sich unsere Erde in dieser Liste einordnen würde. Recherchiere hierzu im Internet und vervollständige die folgende Tabelle:

Planet	Stern	Abstand Planet-Stern in AE	Leuchtkraft Stern in L_{\odot}	Temperatur Stern in K	Metallizität [Fe/H] Stern
Erde	Sonne				

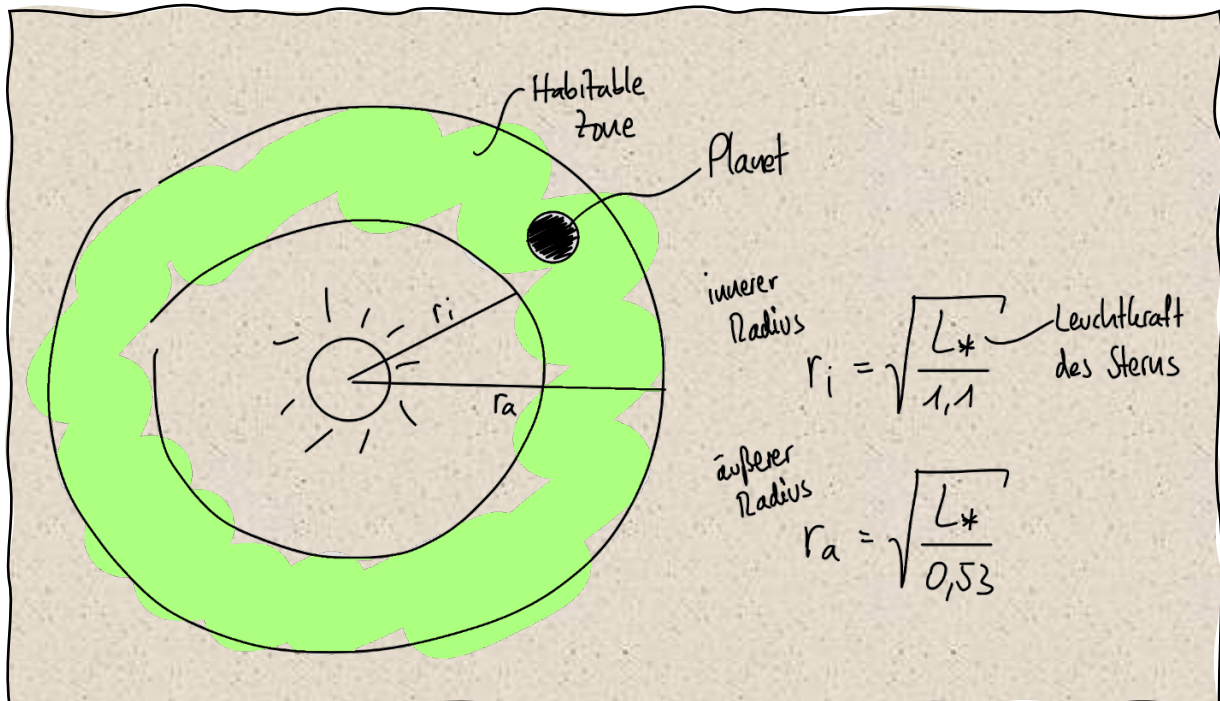
Dir fallen besonders die Größen **Leuchtkraft** und **Abstand Planet-Stern** auf. Du erinnerst dich, dass man mit beiden Größen die sogenannte **habitable Zone** berechnen konnte.


i Die **habitable Zone** gibt einen Abstandsbereich um einen Stern an, innerhalb dessen die Bedingungen auf einem Planeten günstig genug sind, um flüssiges Wasser auf seiner Oberfläche zu ermöglichen. Flüssiges Wasser gilt als Voraussetzung für das Leben, wie wir es kennen.

Der Abstand des Planeten zu seinem Stern spielt dabei eine große Rolle. Wenn ein Planet sich zu nah an seinem Stern befindet, ist es zu heiß für flüssiges Wasser. Ist er jedoch zu weit entfernt bei zu kalten Bedingungen, würde Wasser gefrieren.

Auch die Temperatur und damit die Leuchtkraft des Sterns ist entsprechend entscheidend.

Es fällt dir ein, dass du in deinen Vorlesungsnotizen zur Astrobiologie-Vorlesung Formeln notiert hattest, mit denen der innere und der äußere Radius einer habitablen Zone berechnet werden konnte:



2.2  Bei einer größeren Datenmenge wäre es mühsam, die habitable Zone einzeln zu berechnen und zu überprüfen, ob der Planet in dieser liegt oder nicht. Prof. Dr. Löwenstein hat dir vorgeschlagen ein Tabellenkalkulationsprogramm zu verwenden. Nutze dazu die gegebene Datei ‚Planet_X.xlsx‘. Halte dich an seine Anleitung:

- a) Erstelle eine neue Spalte mit dem Namen **„Innerer Radius der habitablen Zone in AE“**. Verwende in der unteren Zelle die Formel

=WURZEL((Leuchtkraft Stern in L₀/1,1))

um den inneren Radius der habitablen Zone für jeden Stern zu berechnen.

- b) Trage in eine weitere Spalte den Namen **„Äußerer Radius der habitablen Zone in AE“** ein. Verwende für den äußeren Radius der habitablen Zone die Formel

=WURZEL((Leuchtkraft Stern in L₀/0,53))

- c) Um zu überprüfen, ob der Planet in der habitablen Zone liegt, erstelle eine neue Spalte mit dem Namen **„In der habitablen Zone?“** und verwende in der Zelle darunter folgende Formel:

= WENN(UND(Abstand Planet-Stern in AE>=Innerer Radius der habitablen Zone in AE, Abstand Planet-Stern in AE<=Äußerer Radius der habitablen Zone in AE), „Ja“, „Nein“)

- d) Ziehe an der Verdickung der einzelnen Zellen runter, um für alle anderen Planeten die Werte berechnen zu lassen.


- e) Trage ein, welche Planeten in der habitablen Zone liegen:
-

Prof. Dr. Löwenstein ist der Ansicht, dass deine Auswahl an Planeten vielversprechend ist, aber die Forschungsgelder nur zum Untersuchen eines Planeten ausreichen. Deshalb hat er dir geraten, noch weitere Faktoren bei deiner Untersuchung zur Rate zu ziehen, um am Ende den lebensfreundlichsten Kandidaten zu finden. Ein Grund mehr dich in weitere Themengebiete einzuarbeiten und dein Wissen aufzufrischen!

Planet X – ein Ort für Leben?

Tag 3
UV-Strahlung

i Sterne sind selbstleuchtende Himmelskörper aus heißem Gas. Alle unsere Informationen über die Eigenschaften von Sternen erhalten wir größtenteils aus ihrem Licht. Dieses breitet sich in Form von Wellen aus und unterscheidet sich in Helligkeit und Farbe. Während die Amplitude der Lichtwelle die Helligkeit bestimmt, definiert die Wellenlänge des Lichts die Farbwahrnehmung. Menschen können nur einen schmalen Bereich des Lichtspektrums wahrnehmen. Dieser Wellenlängenbereich von ungefähr 400 bis 700 nm wird als sichtbares Licht bezeichnet. Dabei wird das kurzwellige Ende als Violett und das langwellige Ende als Rot empfunden. Das Licht eines Sterns lässt sich in viele verschiedene Farben, d.h. in ein Spektrum, zerlegen. Jenes Spektrum ähnelt dem eines schwarzen Körpers. Es enthält auch Wellenlängenbereiche, die für Menschen nicht sichtbar sind – wie z.B. den Infrarot- oder Ultraviolettbereich.

- 3.1  Die Temperatur eines Sterns hat Einfluss auf das ausgesandte Spektrum. In folgende Simulation wird die Strahlungsleistung in Abhängigkeit von der Welle dargestellt:



<https://phet.colorado.edu/de/simulations/blackbody-spectrum>

Vergleiche die Kurve für die Sonne mit der Kurve vom Stern Sirius A. Berücksichtige hierbei auch die Wellenlängenbereiche, die für den Menschen nicht sichtbar sind.

Du überprüfst die Liste deines Mentors Prof. Dr. Löwenstein und stellst fest, dass sich die Temperaturen der darin aufgeführten Sterne nur geringfügig voneinander unterscheiden und sich der Temperatur unserer Sonne ähneln. Wahrscheinlich handelt es sich um sonnenähnliche Sterne, weshalb ihre Strahlungen vergleichbar mit der der Sonne sein sollten. Da bereits zwei deiner Kollegen den sichtbaren- und infraroten Wellenlängenbereich untersuchen, entschließt du dich, dich auf den Ultraviolettbereich zu fokussieren.



Mit UV-Strahlung verbindest du eigentlich nichts Positives - Sonnenbrand und den Kauf einer sehr teuren Sonnenbrille ...

... mit Dingen, die du in deinem Labor findest, führst du einige Experimente durch:

3.1 Freihandexperimente zur UV-Strahlung

Material: UV-Lampe, UV-Perlen, weißes Papier, Textmarker, Sonnenbrille, Sonnencreme, Spiegel, Backpapier, Wasser, durchsichtige Plastikbeutel, Shampoo mit UV-Filter

Führe die folgenden Experimente durch. Stelle aus deinen Beobachtungen, wenn möglich, Bezüge zur Lebensfreundlichkeit her.

- 3.1.1 Beleuchte ein weißes Papier mit der UV-Lampe. Beschrifte anschließend das weiße Blatt mit einem Textmarker und beleuchte das Papier erneut. Notiere deine Beobachtungen.
- 3.1.2 Beobachte die UV-Perlen einmal im Gebäude mit künstlichem Licht und einmal draußen unter Sonnenlicht. Notiere deine Beobachtungen.
- 3.1.3 Beleuchte einen Spiegel mit deiner UV-Lampe. Lege UV-Perlen in das reflektierte Licht und notiere deine Beobachtungen.
- 3.1.4 Beleuchte einen Teil deiner UV-Perlen mit deiner UV-Lampe und halte vor den anderen Teil der UV-Perlen ...
 - ... ein Stück Backpapier
 - ... deine Sonnenbrille
 - ... einen durchsichtigen Plastikbeutel mit SonnencremeNotiere deine Beobachtungen und vergleiche.
- 3.1.5 Fülle den durchsichtigen Plastikbeutel mit Wasser und gebe einige UV-Perlen hinzu. Beleuchte nun mit der UV-Lampe. Gib nach einiger Zeit Shampoo hinzu und beleuchte die UV-Perlen erneut. Notiere deine Beobachtungen.

i Der Ultraviolettbereich reicht von ungefähr 100 bis 400 nm. Für eine feinere Unterscheidung wird dieser Bereich in drei Unterbereiche eingeteilt:

UV-Bereich	Wellenlänge [nm]
UV-A	400 – 315
UV-B	315 – 280
UV-C	280 – 100

Unterteilung im Ultraviolettbereich

So wie du dich mit Sonnencreme und -brille vor der UV-Strahlung schützt, muss sich auch der Planet X sehr wahrscheinlich schützen. Diesen durchsichtigen Schutzmantel – die Atmosphäre eines Planeten – untersuchst du am nächsten Tag ...

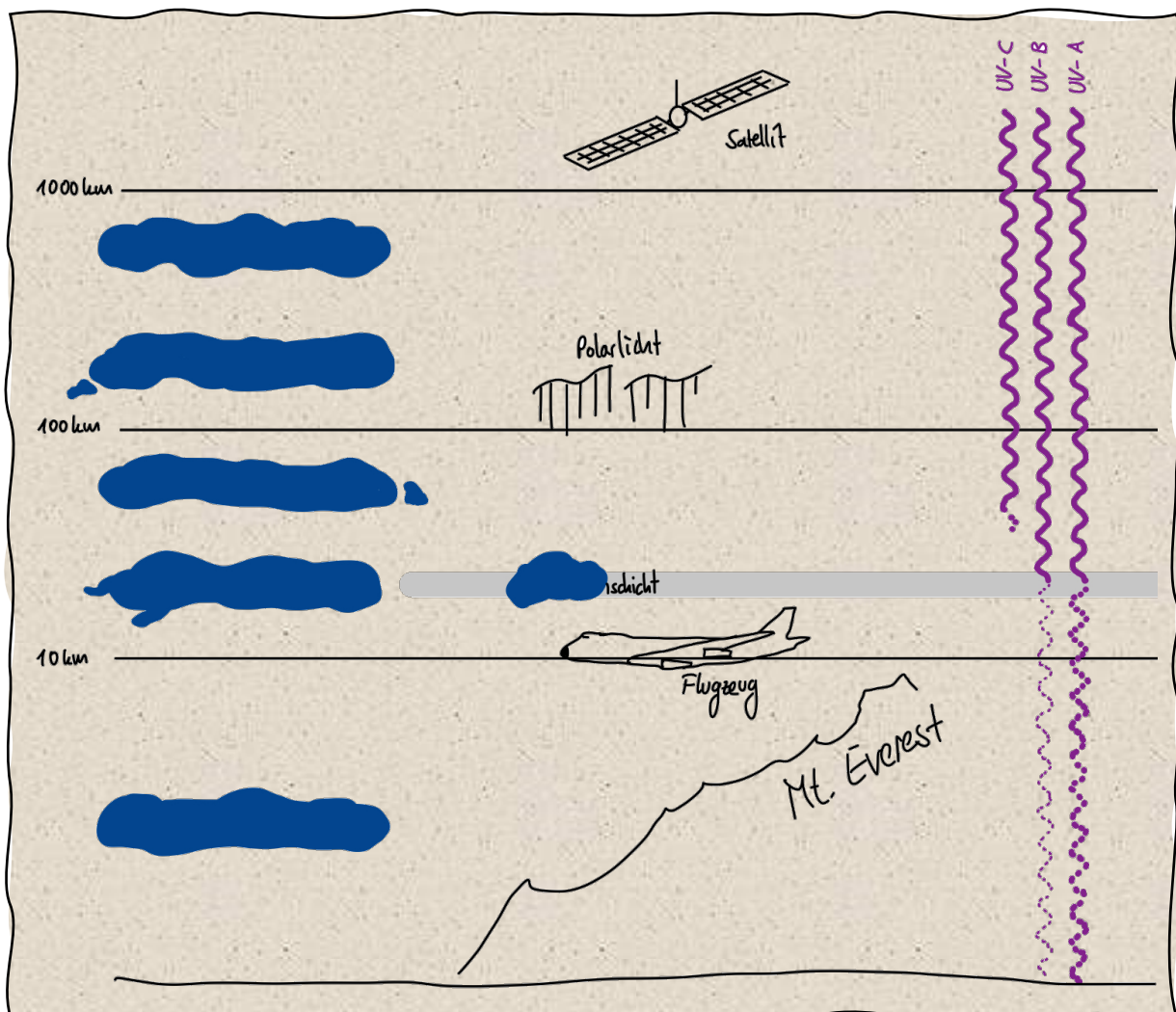
Planet X – ein Ort für Leben?

Tag 4
Atmosphäre

Um die Atmosphäre fremder Planeten verstehen zu können, untersuchst du die Atmosphäre der Erde. So kannst du nachvollziehen, wie der Schutz vor UV-Strahlung funktioniert.

i Der durchsichtige Schutzmantel unserer Erde – die Atmosphäre (gr.: atmos = Dunst, sphaira = Kugel) – besteht aus einer Gashölle, die durch die Schwerkraft des Planeten festgehalten wird. Sie schützt uns unter anderem vor der Kälte oder auch vor schädlicher Strahlung.

4.1 Du erinnerst dich, dass die Atmosphäre aus mehreren Schichten aufgebaut ist und dass diese unterschiedliche Eigenschaften haben (vgl. Abb. oben). Leider fällt dir auf, dass auf deine damaligen Vorlesungsnotizen aus dem Studium Tinte aus deinem Füller ausgelaufen ist. Ergänze die durch die Tinte verdeckten Begriffe. Recherchiere hierzu im Internet.



- 4.2 Die Luft ist ein Gasgemisch aus vielen Bestandteilen, wobei Stickstoff und Sauerstoff am häufigsten vorkommen. In folgender Simulation sind einige dieser Gase gelistet. Untersuche, wie Licht mit den in der Atmosphäre vorkommenden Molekülen wechselwirkt. Verändere hierbei die Wellenlänge des Lichts. Notiere die Fälle, bei denen Moleküle gespalten werden.



<https://phet.colorado.edu/de/simulations/molecules-and-light>

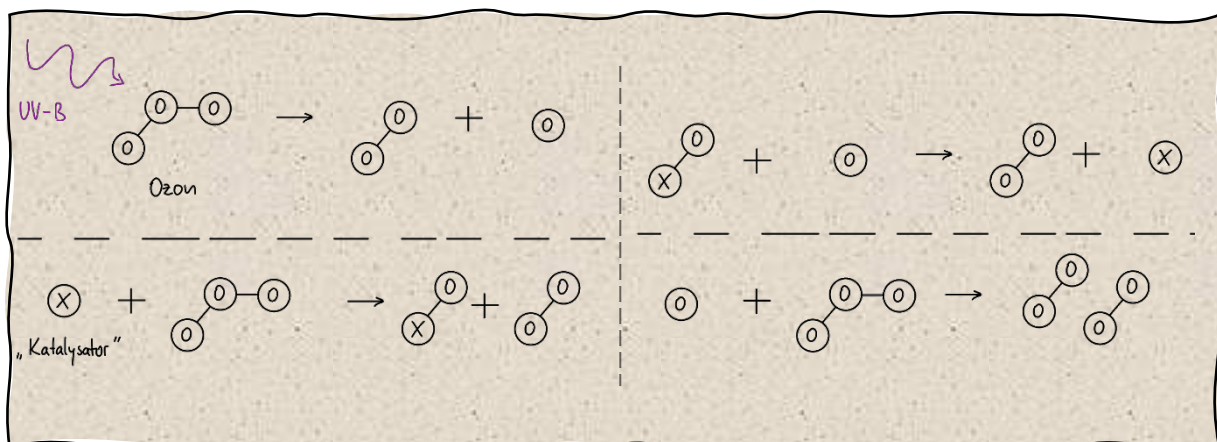
i Die UV-Strahlung der Sonne dringt in Abhängigkeit der Wellenlänge unterschiedlich tief bis zur Erdoberfläche ein (vgl. Abb. 1).

Die energiereiche UV-C-Strahlung wird bereits in den oberen Atmosphärenschichten vollständig durch den dort vorhandenen Sauerstoff absorbiert, weshalb sie nicht die Erdoberfläche erreicht.

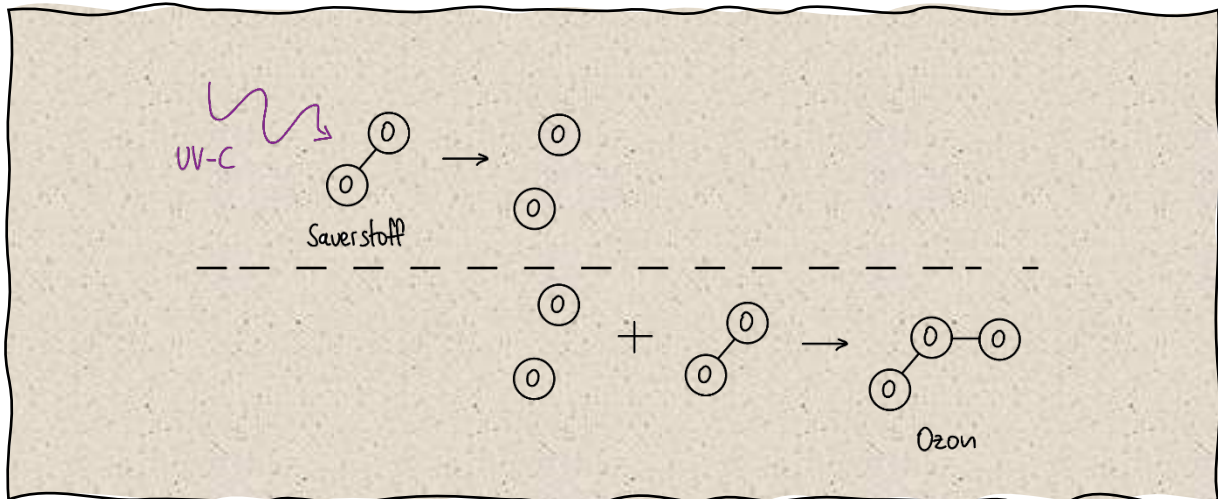
Die UV-B-Strahlung wird nur teilweise durch die Atmosphäre ausgefiltert, wodurch ungefähr zehn Prozent der UV-B-Strahlung an die Erdoberfläche ankommt.

Währenddessen passiert die UV-A-Strahlung weitgehend ungehindert die Atmosphäre und gelangt so vollständig die Erdoberfläche an.

In Aufgabe 4.2. hast du herausgefunden, dass UV-Licht Ozon in Sauerstoff spaltet und somit die schützende Ozonschicht abbaut. Genau genommen ist dafür nur ein Teil der ultravioletten Strahlung verantwortlich – die energieärmere UV-B-Strahlung. Darüber hinaus verstärken sogenannte Katalysatoren (z.B. Stickstoffmonoxid, Halogene, ...) den Ozonabbau (vgl. Abb. unten).



Die energiereiche UV-C-Strahlung wandelt hingegen den anwesenden Sauerstoff in der Atmosphäre in Ozon um und baut so die schützende Ozonschicht wieder auf (siehe Abb. unten). Dieser Prozess beginnt damit, dass molekularer Sauerstoff in zwei einzelne Sauerstoff-Atome aufgespalten wird, wobei die auftreffende UV-C-Strahlung vollständig absorbiert wird. Jene Sauerstoff-Atome reagieren mit den anderen Sauerstoffmolekülen zu Ozon.



Vorlesungsnotizen „Bildung von Ozon“ © Talha Coktasar

In der Erdatmosphäre entsteht so ein Gleichgewicht, wodurch die Menge an Ozon konstant und somit auch der Schutz vor äußeren Einflüssen erhalten bleibt.

Die Wellenlänge der UV-Strahlung spielt demnach eine entscheidende Rolle bei der Bildung bzw. dem Abbau von Ozon in der Atmosphäre – sehr wahrscheinlich auch die von Exoplaneten...

Planet X – ein Ort für Leben?

Tag 5
Metallizität

i Beobachtungen von Sternspektren ergeben, dass alte Sterne weniger schwere Elemente enthalten als die Sonne. Unter schweren Elementen verstehen Astronomen alle Elemente, die schwerer als Wasserstoff sowie Helium sind und bezeichnen diese – anders als in der Chemie – als **Metalle**. So werden Elemente wie Eisen, Sauerstoff oder Kohlenstoff in der Astronomie unter Metallen geführt.

Daher liegt es nahe, Sterne auch nach Alter und Metallgehalt zu ordnen. Die **Metallizität** eines Sterns verrät uns, wie viele schwere Elemente in ihm stecken. Wenn ein Stern viele Metalle hat, so hat er eine hohe Metallizität. Wenn ein Stern umgekehrt weniger Metalle hat, so hat er eine niedrige Metallizität. Für eine mathematische Beschreibung werden im Allgemeinen die Elementhäufigkeiten eines Sterns mit den Elementhäufigkeiten der Sonne (\odot) verglichen.

$$[\text{Fe}/\text{H}] = \log_{10} \left(\frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}} \right)_* - \log_{10} \left(\frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}} \right)_{\odot}$$

N_{Fe} gibt die Anzahl der Eisenatome und N_{H} die Anzahl der Wasserstoffatome eines Sterns an. Damit hat die Sonne eine Metallizität von 0. Sterne, deren Metallizität höher ist, enthalten mehr Eisen als die Sonne, während Sterne mit negativer Metallizität einen geringeren Eisengehalt aufweisen.


Eisen dient hier als eine Art Stellvertreter, um die Menge an Elementen, die schwerer als Wasserstoff und Helium sind, anzuzeigen und darüber hinaus das Alter der Sterne abzuschätzen.

Das erreichbare Alter eines Sterns hängt von seiner Masse ab. Am Ende eines Sternenlebens werden Metalle im Innern von Sternen gebildet. Diese Elemente werden beispielsweise bei massereichen Sternen später bei einer Supernova-Explosion ins All freigesetzt. Aus jenen schweren Elementen bilden sich neue Sterne (und auch Planeten). Deshalb sind neu entstehende Sterne metallreicher als Sterne vorheriger Generationen.

Sterne mit vergleichbaren Metallizitäten werden in der Astronomie sogenannten **Sternpopulationen** zugeordnet:

- **Population-I-Sterne** stellen die jüngsten Sterne dar. Sie lassen sich in der galaktischen Scheibe, in offenen Sternhaufen oder in Spiralarmen finden. Typischerweise sind diese Sterne angereichert mit schweren Elementen und damit metallreich ($[\text{Fe}/\text{H}] > -1$).
- Dahingegen zählen die ersten mit Metallen angereicherten Sterne zur **zweiten Population**. Sie enthalten viel weniger schwere Elemente und sind daher metallarm ($[\text{Fe}/\text{H}] < -1$). Folglich sind diese Sterne älter als Sterne erster Population. Sie befinden sich größtenteils im galaktischen Halo oder im Bulge einer Galaxie.
- Die ersten und damit ältesten Sterne überhaupt sind sehr metallarm ($[\text{Fe}/\text{H}] < -6$) und werden in der **dritten Population** geführt – rein hypothetisch, da bislang kein einziger Population-III-Stern gefunden werden konnte. Man vermutet, dass diese Sterne sehr massereich waren und deshalb bereits nach kurzer Zeit als Supernovae explodiert sind.

5.1 Gib an, zu welcher Sternpopulation unsere Sonne zählt.

5.2  Wie kommen die unterschiedlichen Metallizitäten zustande?
Markiere den entsprechenden Bereich in der Info-Box und recherchiere im Internet.

Planet X – ein Ort für Leben?

Tag X

Nach deinem Zwischenfund sind nun mehrere Tage vergangen und du hast dich in der Zwischenzeit in vielen Disziplinen weitergebildet und wichtige Grundlagen erworben. Dennoch scheinst du noch keine Antwort gefunden zu haben ...

Im täglichen Teammeeting stellt Prof. Dr. Löwenstein Neuigkeiten aus unserem Forschungsgebiet vor:

„Forscher aus Göttingen haben herausgefunden, dass die Metallizität von Sternen eine große Rolle bei der Lebensfreundlichkeit eines Planeten spielt. So sollen metallärmere Sterne zwar eine höhere Menge an Strahlung aussenden als metallreichere Sterne, aber das Verhältnis aus UV-C bzw. UV-B-Strahlung von der Metallizität abhängen. Bei metallärmeren Sternen soll die UV-C-Strahlung dominieren, wohingegen bei metallreicheren Sternen die UV-B-Strahlung überwiegen soll.“



- X.1** Du hattest die Auswirkungen der unterschiedlichen Anteile der UV-Strahlung hinsichtlich Bildung und Abbau von Ozon in der Atmosphäre studiert. Folgere aus den Neuigkeiten, welche Metallizität ein Stern qualitativ haben sollte, damit der Planet möglichst lebensfreundlich ist.
- X.2** Nun hast du endlich einen Anhaltspunkt, um die bereits gefundenen Kandidaten neu zu bewerten. Ordne diese nach der Metallizität und finde den aussichtsreichsten Kandidaten – den Planeten X.
- X.3** Voller Stolz stellst du deinen Kandidaten deinem Mentor Prof. Dr. Löwenstein vor. Er ist sehr angetan von deiner Arbeit. Überprüfe, ob seine Berechnungen mit deinen übereinstimmen. Scanne hierzu den QR-Code und vergleiche mit seinem aussichtsreichsten Kandidaten.



Dass auch die Berechnungen deines Mentors mit deinen übereinstimmen, freut dich sehr. In einem Sondermeeting präsentierst du deinen Kandidaten deinen Teammitgliedern und erklärst allen genau wie du vorgegangen bist. Daraufhin übernimmt Prof. Dr. Löwenstein persönlich das Wort:

„Liebes Team, nun haben wir einen Kandidaten gefunden, den wir noch genauer untersuchen werden. Bei aller Freude sollten wir dennoch bedenken, dass wir mehrere Faktoren nicht berücksichtigt haben. Außerdem suchen wir nur nach Leben, so wie wir es von unserem Planeten Erde kennen. Viel mehr beunruhigen mich aber die Neuigkeiten aus Göttingen. Da die Metallizität der Sterne mit jeder nachfolgenden Generation ansteigt, müsste das Universum im Laufe der Zeit immer lebensfeindlicher werden!“

Quellen

- Demtröder, Wolfgang (2013): Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik. Berlin; Heidelberg: Springer Spektrum Verlag
- Eisner, Werner et al. (2009): elemente chemie II Gesamtband – Unterrichtswerk für die Sekundarstufe II. Stuttgart: Ernst Klett Verlag
- Freistetter, Florian (2019): Sternengeschichten Folge 337: Metallizität. URL: <https://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2019/05/10/sternengeschichten-folge-337-metallizitaet/> (Zugriff: 12.10.2023)
- Freistetter, Florian (2021): Was Metallizität bedeutet. URL: <https://www.spektrum.de/kolumne/freistetters-formelwelt-was-die-metallizitaet-bedeutet/1896538> (Zugriff: 12.10.2023)
- <http://www.sternwarte-eberfing.de/Aktuell/2017/Juli/EingabeZentralst.php> (Zugriff: 12.10.2023)
- https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnen%C3%A4hnlicher_Stern (Zugriff: 12.10.2023)
- https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_analog (Zugriff: 12.10.2023)
- <https://phet.colorado.edu/de/simulations/blackbody-spectrum> (Zugriff: 12.10.2023)
- <https://phet.colorado.edu/de/simulations/molecules-and-light> (Zugriff: 12.10.2023)
- <https://www.bfs.de/DE/themen/opt/sichtbares-licht/einfuehrung/einfuehrung.html> (Zugriff: 12.10.2023)
- https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv_node.html (Zugriff: 12.10.2023)
- https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_48_ozonschicht_ozonloch.pdf (Zugriff: 12.10.2023)
- https://www.physikdidaktik.uni-bayreuth.de/projekte/naturundtechnik/zmnu/licht_farbe/licht_farbe/Biologie/PDF-Dokumente/b12_uv_perlen.pdf (Zugriff: 12.10.2023)
- <https://www.rem-mannheim.de/fileadmin/rem/01-Ausstellungen/2022-Unsichtbare-Welten/UW-Lehrerhandreichung-Unsichtbare-Strahlen.pdf> (Zugriff: 12.10.2023)
- https://youtu.be/o9sYuPps5fc?si=0WYenmKn8_vLIjmS (Zugriff: 12.10.2023)
- Joachim Herz Stiftung: LEIFIphysik, Sonnenspektrum, <https://www.leifiphysik.de/astronomie/sonne/grundwissen/sonnenspektrum> (Zugriff: 12.10.2023)
- Karttunen, Hannu; Kröger, Pekka; Oja, Heikki; Poutanen, Markku; Donner, Karl J. (2017): Fundamental Astronomy. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag
- Shapiro, Anna V.; Brühl, Christoph; Klingmüller, Klaus et al. (2023): Metal-rich stars are less suitable for the evolution of life on their planets. In: Nat Commun 14, 1893. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37195-4> (Zugriff: 12.10.2023)
- Tipler, Paul A.; Mosca, Gene; Wagner, Jenny (Hrsg.) (2015): Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. Berlin; Heidelberg: Springer Spektrum Verlag

Zusatzmaterial

Excel-Datei ‚Planet_X.xlsx‘

Weitere WIS-Materialien zur Astronomie und allen ihren Bezügen finden Sie unter der Adresse www.wissenschaft-schulen.de (Fachgebiet Astronomie). Wir würden uns freuen, wenn Sie zum vorliegenden Beitrag Hinweise, Kritiken und Bewertungen an die Kontaktadresse des Autors (t.coktasar@hotmail.de) senden könnten.