

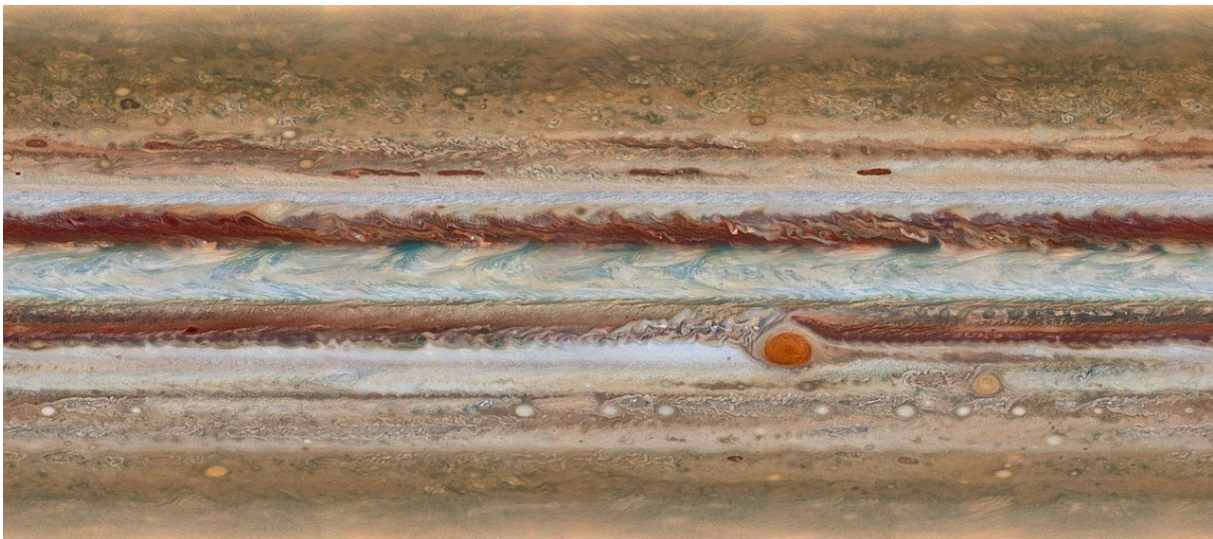
## Exoplaneten – Es liegt was in der Luft

In Bezug zum SuW-Beitrag „Samarium auf einem Exoplaneten nachgewiesen“ aus der Rubrik: „Blick in die Forschung: Nachrichten“ in der Zeitschrift »Sterne und Weltraum« 8/2023, WIS-ID: 1571220, Zielgruppe: Mittelstufe bis Oberstufe

Andreas Jørgensen

Warum erscheint der Himmel auf der Erde blau, und wie erscheint der Himmel auf anderen Planeten? Woraus bestehen die Atmosphären auf den anderen Welten unseres Sonnensystems? Wie steht es mit den Atmosphären ferner Welten, die andere Sterne umkreisen? Wie können Wissenschaftler\*innen Aussagen über die Atmosphären von Planeten außerhalb des Sonnensystems machen? Um Antworten auf diese und ähnliche Fragen zu bekommen, tauche mit diesem Beitrag ins Thema Exoplaneten ein.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Planeten	Planetenatmosphären, Sonnensystem, <a href="#">Gasriesen</a> , Gesteinsplaneten, <a href="#">Merkur</a> , <a href="#">Venus</a> , <a href="#">Erde</a> , <a href="#">Mars</a> , <a href="#">Jupiter</a> , <a href="#">Saturn</a> , <a href="#">Uranus</a> , <a href="#">Neptun</a> , <a href="#">Biosignaturen</a> , extrasolare Astronomie, Exoplaneten, <a href="#">heiße Jupiter</a>
Physik	Strahlungsphysik, Quantenphysik	Spektroskopie, <a href="#">Transmissionsspektroskopie</a> , Streuung, <a href="#">Rayleighstreuung</a> , <a href="#">Miestreuung</a> , <a href="#">Entstehung von Spektrallinien</a>
Fächer- verknüpfung	Astronomie - Kunst Astronomie - Chemie Astronomie - Biologie	<a href="#">Postergestaltung</a> <a href="#">Moleküle und Atome in der Luft</a> und <a href="#">in anderen Planetenatmosphären</a> <a href="#">Biosignaturen</a> , <a href="#">Bildung von Sauerstoff</a> , <a href="#">Samarium</a> <a href="#">Indiz für außerirdisches Leben</a>
Lehre allgemein	Kompetenzen (Erkenntnis- gewinnung, Kommunikation), Lehr-/ Sozialformen, Unterrichtsmittel	Rechnungen, <a href="#">Experiment</a> , Erklärungen, Recherchen, Postergestaltung, Diskussion, <a href="#">Projektarbeit</a> , Einzelarbeit, Plenum, Partner- und Gruppenarbeit <a href="#">Übungsaufgaben zum Thema Planetenatmosphären</a>



**Abbildung 1:** Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt der Atmosphäre Jupiters, die größtenteils aus Wasserstoff und Helium besteht. Auf dem Bild sieht man deutlich die farbigen Wolkenbänder. Diese farbigen, parallelen Streifen hängen mit der Dynamik und Zusammensetzung der Atmosphäre des Gasriesen zusammen. Die vielen Farben stammen wahrscheinlich unter anderem von Schwefel- und Phosphorverbindungen. Die Aufnahme wurde vom Hubble-Weltraumteleskop aufgenommen.

©: NASA, ESA, A. Simon (GSFC), M. Wong (UC Berkeley), and G. Orton (JPL-Caltech) [CC BY 4.0](#).

## Warum ist der Himmel blau?

[Zurück zum Anfang](#)

Um zu verstehen, warum der Himmel auf der **Erde** tagsüber blau ist, muss man wissen, dass Sonnenlicht aus allen Farben besteht, und dass die verschiedenen Farben verschiedenen Wellenlängen entsprechen. Das Spektrum des sichtbaren Lichts erstreckt sich somit von Violett (380-425 nm), über Blau (450-495 nm), Grün (495-570 nm), Gelb (575-585 nm) und Orange (590-620 nm) bis hin zu Rot (625-740 nm). Wenn das Sonnenlicht die Erdatmosphäre durchquert, wird das Licht an den Teilchen der Atmosphäre gestreut. Zudem muss man wissen, dass in diesem Falle die kürzeren Wellenlängen deutlich stärker gestreut werden (**Rayleighstreuung**). Da blaues Licht also besonders stark gestreut wird, erscheint der Himmel blau (siehe auch [Übungsaufgabe 1](#)).

Anhand der Streuung des Lichts in der Erdatmosphäre können wir übrigens auch verstehen, warum Sonnenaufgänge und -untergänge auf der Erde rötlich erscheinen: Bei beiden Himmelserscheinungen muss das Licht eine längere Strecke durch die Atmosphäre (**Luft**) zurücklegen als am Zenit. Auf diesem längeren Weg wird das blaue Licht stärker aus der Sichtlinie herausgestreut, weshalb verhältnismäßig mehr rotes als blaues Licht beim Beobachter auf der Erdoberfläche ankommt als zu Mittag.

Dass kürzere Wellenlängen stärker gestreut werden, liegt an der Größe der in der Erdatmosphäre befindlichen Teilchen. Das sind größtenteils Moleküle und Atome von Sauerstoff ( $O_2$ ), Stickstoff ( $N_2$ ) und Argon (Ar) sowie in kleineren Mengen Kohlendioxid ( $CO_2$ ), Methan ( $CH_4$ ) und Wasser ( $H_2O$ ). Kommen größere Teilchen in die Luft, beispielsweise durch Smog, kann sich dieser Umstand lokal auf die Farbe des Himmels auswirken.

Dass die Atmosphäre aus den aufgeführten Gasen besteht, kann man übrigens auf verschiedene Arten feststellen. So rühren beispielsweise die violetten, blauen, grünen und roten Farben des Polarlichts von Energieübergängen in Stickstoff- und Sauerstoffatomen her (siehe [Übungsaufgabe 2](#)). Auf anderen Planeten ist die Zusammensetzung der Atmosphäre anders. Und nicht nur das, auf anderen Planeten ist der Himmel oft nicht einmal blau ...

## Woanders ist der Himmel rosa

[Zurück zum Anfang](#)

Auf dem **Merkur** sowie beispielsweise auf dem Mond der Erde gibt es wegen der geringen Schwerkraft keine Atmosphäre und somit kaum Teilchen, an denen das Licht auf seiner Reise bis zur Oberfläche gestreut wird. Auf dem Merkur oder auf dem Mond ist der Himmel daher auch tagsüber *schwarz*. Das Fehlen einer Atmosphäre hätte für astronomische Beobachtungen einige Vorteile zu bieten: Ohne Atmosphäre erreichen alle elektromagnetischen Wellen die Oberfläche, auch beispielsweise Infrarot oder Röntgenstrahlung, die nicht bis zu den Teleskopen auf der Erde dringen können. Es gibt darüber hinaus keine Wolken und kein Wetter, die die Beobachtungen erschweren, und ohne Turbulenzen, scheinen die Sterne auch nicht zu flackern.

Die **Venus** hat eine Atmosphäre, die viel dichter ist als die der Erde. An der Oberfläche der Venus herrscht somit ein Druck, der mehr als neunzigmal höher ist als auf unserem Heimatplaneten (siehe [Übungsaufgabe 3](#)). Wegen der hohen Dichte der Atmosphäre wird ein sehr großer Anteil des Sonnenlichts auf seinem Weg bis zu Oberfläche gestreut, und zwar werden kürzere Wellenlängen stärker gestreut, da die **Atmosphäre der Venus** hauptsächlich aus  $CO_2$  besteht (siehe [Übungsaufgabe 4](#)). Wie bei einem Sonnenuntergang auf der Erde schafft es daher vorwiegend der rote Anteil des Sonnenlichts bis zur Oberfläche. Auf der Oberfläche der Venus ist der Himmel aber nicht rot. Stattdessen ist der Himmel *gelb bis orange*, weil Schwefel in den Wolken ihn gelb verfärbt. In den siebziger und achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts sind Raumsonden des sowjetischen Venera-Programms erstmals auf der Venus gelandet und haben uns Bilder einer Wüstenlandschaft unter einem solchen Himmel übermittelt.

Auf dem **Mars** gibt es nur eine sehr dünne Atmosphäre, die hauptsächlich aus  $CO_2$  besteht. Da eine dünne Atmosphärenhülle auch nur wenig Licht streut, wäre es naheliegend anzunehmen, dass der Himmel auf dem Mars schwarz bis violett wäre. Der Himmel auf Mars ist aber tagsüber eher *lachsfarben*, d.h. *rosa*, was man deutlich auf den vielen Bildern sieht, die verschiedene Raumsonden uns von der Oberfläche des Mars seit der Landung von Viking 1 im Jahre 1976 übermittelt haben. Diese Färbung liegt daran, dass Staub ständig von Sandstürmen in die Luft gewirbelt wird, und dass die kleinen Staubteilchen (**Miestreuung**) eher das rote Licht seitwärts (in alle Richtungen) streuen.



Weil das blaue Licht stärker vorwärts-gestreut wird als rotes Licht, sind Sonnenaufgänge und -untergänge auf dem Mars übrigens *blau*: Bei beiden Himmelserscheinungen legt das Sonnenlicht eine längere Strecke durch die von Staub erfüllte Atmosphäre zurück, wodurch ein großer Anteil des roten Lichts seitwärts herausgestreut wird und damit nicht beim Beobachter ankommt.

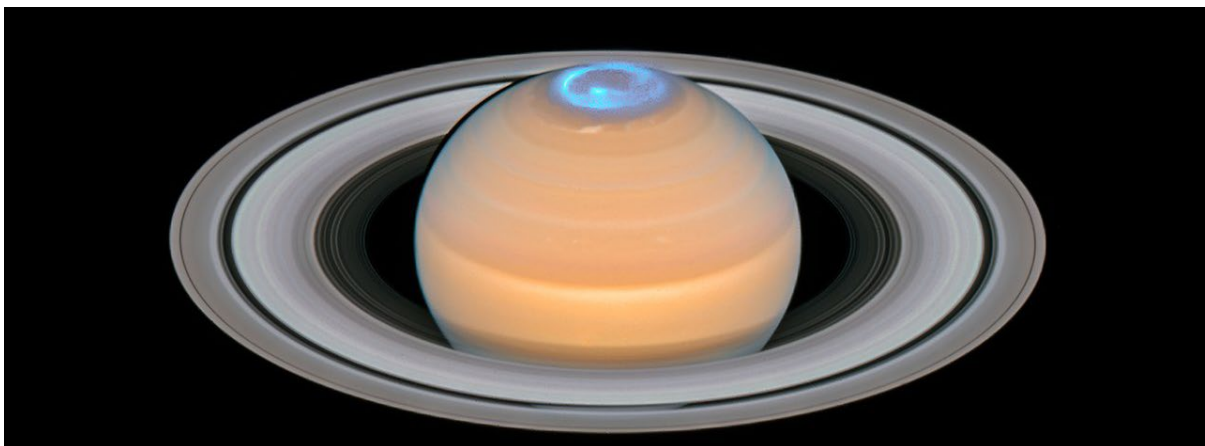
**Abbildung 2:** Ein Marsrover (Bridget) ist nahe an ESOs Paranal Observatory in Chile unterwegs. Wie kann man anhand des Bildes feststellen, dass diese Aufnahme unmöglich vom Mars stammen kann, sondern dass sie auf der Erde aufgenommen worden sein muss? ©: ESA/M. van Winnendael [CC BY 4.0](#).

## Die Gasriesen

[Zurück zum Anfang](#)

Wenn ein neuer Stern entsteht, wird er von einer Scheibe aus Gas und Staub umkreist, in der neue Planeten geformt werden. Die Planeten wachsen in der Scheibe aus kleineren Steinen und Brocken heran, die aneinander haften bleiben und sich gegenseitig gravitativ anziehen. In ausreichender Entfernung vom Stern wird dieser Prozess dadurch beschleunigt, dass sich Eiskristalle (als „Klebstoff“) bilden können. In der Tat, als Folge der Eisbildung können „feste“ Planeten, die weit vom Stern entfernt entstehen, so schnell wachsen, dass sie dazu Gelegenheit bekommen, gewaltige Mengen an Wasserstoff und Helium anzuhäufen, und sich zu Gasriesen zu entwickeln. Somit bestehen die Atmosphären der Gasriesen in unserem Sonnensystem größtenteils aus Wasserstoff (75-83 Prozent auf die Masse gerechnet) und Helium (15-24 Prozent).

Dahingegen sind die Erde und die anderen Gesteinsplaneten näher an der Sonne entstanden, wodurch sie langsamer wuchsen als die Gasriesen und so kaum Gelegenheit hatten, Wasserstoff und Helium „einzusammeln“. Zudem ist die Schwerkraft der Erde zu schwach, um diese Gase daran zu hindern, ins Weltall zu verdampfen (siehe [Übungsaufgabe 7](#)).



**Abbildung 3:** Die Abbildung zeigt eine Aufnahme des Saturn im optischen Bereich des elektromagnetischen Spektrums sowie Polarlichter am Nordpol des Saturn, die im ultravioletten Bereich des Spektrums erscheinen. Wie der Jupiter besitzt der Saturn Wolkenbänder. Dazu hat der Saturn noch seine charakteristischen Ringe (die bei Jupiter nicht so gut ausgeprägt sind). ©: ESA/Hubble, NASA, A. Simon (GSFC) and the OPAL Team, J. DePasquale (STScI), L. Lamy (Observatoire de Paris) [CC BY 4.0](#).

Die Abbildung auf der Titelseite zeigt die charakteristischen Wolkenbänder des **Jupiters**. Diese farbigen, parallelen Streifen hängen mit der Dynamik und Zusammensetzung der Atmosphäre des Gasriesen zusammen. Somit befinden sich die helleren Bänder in höheren Schichten und weisen eine höhere Konzentration von Ammoniak auf. Die vielen Farben des Jupiters stammen wahrscheinlich unter anderem von Schwefel- und Phosphorverbindungen in den Wolken. Wie man anhand von Abbildung 3 erkennen kann, besitzt der **Saturn** ähnliche Wolkenbänder, deren Farbunterschiede jedoch gedämpfter erscheinen als auf dem Jupiter.

Im Gegensatz zum Jupiter und Saturn erscheinen sowohl der **Neptun** wie der **Uranus** blau. Das ist teilweise Methan geschuldet, das gelbes und rotes Licht absorbiert.

Noch arbeiten Wissenschaftler\*innen daran, die Atmosphären und den Aufbau der Gasriesen in unserem Sonnensystem im Detail zu verstehen.

## Biosignaturen

[Zurück zum Anfang](#)

Die Zusammensetzungen der Atmosphären der verschiedenen Planeten in unserem Sonnensystem sind stark unterschiedlich. Beispielsweise findet man in unserem Sonnensystem keinen anderen Gesteinsplaneten, dessen Atmosphäre der Erde ähnelt. Weder auf dem Merkur, der Venus, noch dem Mars hat die Atmosphäre einen Sauerstoffanteil von mehr als 20 Prozent.

Das liegt daran, dass **Sauerstoff** ein sehr reaktives Gas ist. Auch auf der Erde wäre ein so hoher Sauerstoffanteil ohne Pflanzen, die Fotosynthese betreiben, nicht aufrechtzuerhalten, geschweige denn zu erzeugen. Schaut man sich die Zusammensetzung der Erdatmosphäre genauer an, gibt es weitere Besonderheiten, die ohne die Anwesenheit von Leben schwer zu erklären wären. Beispielsweise enthält die Erdatmosphäre trotz ihrer hohen Sauerstoffkonzentration Methan, obwohl Methan effektiv abgebaut und in Kohlendioxid und Wasser umgewandelt werden müsste. Chlormethan ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ) ist ein weiteres Beispiel für ein Molekül, dessen Anwesenheit in unserer Atmosphäre dem Leben auf der Erde geschuldet ist. Das Leben hat die Erdatmosphäre somit aus dem chemischen und thermodynamischen Gleichgewicht gebracht, das man auf einer vergleichbaren toten Welt erwarten würde.

Stellen wir uns nun vor, dass wir imstande sind, die Zusammensetzung der Atmosphäre eines Planeten zu messen, der sich im Umlauf um einen fernen Stern befindet. Könnten wir in einem solchen Szenario eindeutig auf die Anwesenheit von außerirdischem Leben schließen, wenn wir beispielsweise eine hohe Sauerstoffkonzentration feststellen? Nein, nicht unbedingt. Sauerstoff kann unter gewissen Umständen auch ohne Leben in die Atmosphäre gelangen. So bestehen die Atmosphären der beiden Jupitermonde Ganymed und Europa sogar größtenteils aus Sauerstoff, ohne dass dieser Umstand auf Leben hindeutet. Stattdessen entsteht Sauerstoff auf beiden Monden dadurch, dass ultraviolette Strahlung Wassermoleküle in Wasserstoff und Sauerstoff spaltet.

Stellen wir uns nun aber vor, dass wir einen fernen Planeten beobachten würden, dessen Atmosphäre wie auf der Erde in vielerlei Hinsicht im Ungleichgewicht wäre. Stellen wir uns weiter vor, dass wir keine natürliche Erklärung für dieses Ungleichgewicht finden könnten. In diesem Szenario könnten die Umstände sehr wohl als **Indiz für außerirdisches Leben** gedeutet werden. Noch haben wir keine solche Welt gefunden, aber die Suche hat auch erst angefangen ...

## Ferne Welten

[Zurück zum Anfang](#)

Im Jahre 2001, haben Wissenschaftler\*innen erstmals anhand von Messungen eine Aussage über die Atmosphäre eines Planeten außerhalb unseres Sonnensystems machen können – man spricht in diesem Zusammenhang von sogenannten *Exoplaneten* oder *extrasolaren* Planeten. Die Wissenschaftler\*innen stellten die Anwesenheit von Natrium in der Atmosphäre eines Gasriesen fest. Dieser Gasriese war ein sogenannter „heißer Jupiter“. Mit diesem Begriff bezeichnen Wissenschaftler\*innen extrasolare Gasriesen, die dem Jupiter ähneln, aber ihren Zentralstern in sehr engen Bahnen umkreisen. Die Umlaufzeit solcher Gasriesen beträgt weniger als 10 Tage; verglichen damit, vollführt der Planet Jupiter eine Umrundung der Sonne erst alle zwölf Jahre. Wie andere Gasriesen entstehen **heiße Jupiter** weit von ihrem Stern entfernt, verlassen dann aber ihre ursprüngliche Bahn und wandern nach innen.

Bislang handelt es sich bei den meisten Exoplaneten, über deren Atmosphären Wissenschaftler\*innen Aussagen machen können, um Gasriesen. Im Brennpunkttext, auf den sich dieser WIS-Beitrag bezieht, wurden beispielsweise Messungen an einem „ultraheißen Jupiter“ durchgeführt. Diese Bezeichnung tragen heiße Jupiter, die ihre Bahnen so eng um ihren Zentralstern ziehen, dass die äußeren Schichten der von Hitze aufgeblähten Atmosphäre Temperaturen von über 2200 K erreicht. In der Atmosphäre des genannten Planeten wurde unter anderem **Samarium** (Sm), das zweiundsechzigste Element im Periodensystem, in den Wolken nachgewiesen. Andere Welten erscheinen noch bizarrer. Auf dem Planeten HD 189733 b regnet es nach den Messungen zu urteilen geschmolzenes Glas, während die Wolken auf HAT-P-7b wahrscheinlich aus den gleichen Mineralien bestehen wie Rubine und Saphire.

Um Messungen an den Atmosphären von Exoplaneten durchzuführen, gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste Möglichkeit besteht im Einsatz der sogenannten **Transmissionspektroskopie**: Wenn ein Exoplanet sich auf seiner Umlaufbahn zwischen seinem Zentralstern und einem Beobachter auf der Erde schiebt, bezeichnen wir dieses Vorbeiziehen als Transit. Während eines Transits muss ein Teil des Sternenlichts auf seinem Weg bis zur Erde die Atmosphäre des Exoplaneten durchqueren. Wie das Licht, das den Beobachter erreicht, von der Atmosphäre des Exoplaneten beeinflusst wird, hängt von der Zusammensetzung der Atmosphäre ab. Es ist deshalb möglich festzustellen, welche Elemente und Moleküle sich in der Atmosphäre des Exoplaneten befinden. Hierfür muss man lediglich Messungen während und außerhalb des Transits vergleichen. Darüber hinaus können Wissenschaftler\*innen mit diesem Verfahren die relativen Geschwindigkeiten der Gase in der Atmosphäre des Exoplaneten ermitteln. Mit anderen Worten kann man sogar Aussagen über das *Wetter* auf diesen fernen Welten machen. Im Brennpunkttext haben die Wissenschaftler\*innen von der Transmissionspektroskopie Gebrauch gemacht.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, den Helligkeitsverlauf des Sternsystems während des Umlaufs zu messen und die verschiedenen Phasen miteinander zu vergleichen. Hierdurch können Wissenschaftler\*innen Rückschlüsse auf die vom Planeten ausgestrahlte thermische Strahlung und das vom Planeten reflektierte Licht machen. Anhand solcher Messungen kann man beispielsweise Aussagen über das Vorhandensein reflektierender Wolkendecken machen.

## Ein wenig Quantenmechanik

[Zurück zum Anfang](#)

Um die Transmissionspektroskopie besser zu verstehen, müssen wir auf die Quantenmechanik und einige Eigenschaften von elektromagnetischer Strahlung zurückgreifen. Wie am Anfang dieses WIS-Beitrags beschrieben wird, tritt Licht in verschiedenen Wellenlängen ( $\lambda$ ) auf. Die Wellenlänge des Lichts ist durch ihre Frequenz ( $f$ ) und der Lichtgeschwindigkeit ( $c$ ) gegeben:

$$c = \lambda \cdot f.$$

Neben seinen Welleneigenschaften besitzt Licht aber auch Teilcheneigenschaften. Licht tritt somit in Quanten, d. h. als Teilchen, auf, und jedes Quantum, d. h. jedes Teilchen, hat eine Energie ( $E$ ), die mit der Frequenz des Lichts zusammenhängt:

$$E = h \cdot f.$$

Hier bezeichnet  $h$  die sogenannten Plancksche Konstante und entspricht  $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$ .

Die verschiedenen Gase, mit denen das Licht auf seinem Weg durch die Atmosphäre interagiert, bestehen aus Molekülen und Atomen. Auch die Zustände, in denen sich diese Atome und Moleküle befinden können, sind quantifiziert. Für Wechselwirkungen mit Licht heißt das so viel wie, dass die Atome und Moleküle abhängig von ihrem Aufbau nur Licht mit ganz bestimmten Energien absorbieren und emittieren können. Mit anderen Worten absorbiert beispielsweise Natrium ganz andere Wellenlängen als Sauerstoff. Um bei Natrium zu bleiben, absorbiert dieses Element z. B. zwei charakteristische Wellenlängen im gelben Bereich des Farbspektrums (ungefähr bei 589,3 nm). Beobachtet man, dass Licht mit diesen Wellenlängen stärker absorbiert wird, kann man darauf schließen, dass Natrium vorhanden sein muss. Genau anhand dieser beiden **Spektrallinien** gelang es Wissenschaftler\*innen 2001 wie erwähnt erstmals Einblicke in die Zusammensetzung der Atmosphäre eines Exoplaneten zu bekommen.

## Literatur und Quellen

[Zurück zum Anfang](#)

- [1] Seager, S., *Exoplanets*, 2010, The University of Arizona Press, ISBN: 978-0-8165-2945-2
- [2] Sagan, C., *Pale Blue Dot: A Vision of the Human Future in Space*, Ballantine Books Inc., ISBN: 978-0345376596
- [3] Jiang, Z. et al., *Detection of rubidium and samarium in the atmosphere of the ultra-hot Jupiter MASCARA-4b*, 2023, arXiv, doi: 10.3847/1538-3881/acb54
- [4] Wordsworth, R. und Kreidberg, L., *Atmospheres of Rocky Exoplanet*, 2022, arXiv, doi: 10.1146/annurev-astro-052920-125632

### Informationen zum Thema sind auf Wikipedia zu finden unter:

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Extraterrestrial\\_atmosphere](https://en.wikipedia.org/wiki/Extraterrestrial_atmosphere)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Hot\\_Jupiter#cite\\_note-1](https://en.wikipedia.org/wiki/Hot_Jupiter#cite_note-1)
- <https://en.wikipedia.org/wiki/HAT-P-7b>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/WASP-12b>

### Sowie auf der Homepage der NASA unter:

- <https://solarsystem.nasa.gov/planets/overview/>
- <https://exoplanets.nasa.gov/news/129/detecting-biomarkers-on-faraway-exoplanets/>

## Übungsaufgaben

[Zurück zum Anfang](#)

1. Bei der Streuung des Lichts in der Erdatmosphäre handelt es sich um Rayleigh-Streuung, weshalb der Himmel nicht nur blau erscheint, sondern auch, dass dieses blaue Licht polarisiert ist. (Was bedeutet das?) Diesen Umstand könnt ihr selber nachweisen, indem ihr den blauen Himmel durch einen Polarisationsfilter beobachtet und diesen dann um  $90^\circ$  dreht. Ihr werdet sehen, dass die Helligkeit des Himmels sich durch die Drehung des Filters zu verändern scheint. Einen Polarisationsfilter habt ihr zur Hand, wenn ihr eine Sonnenbrille mit polarisierenden Gläsern besitzt. Probiert es aus. (Sonnenbrillen, die nur gefärbtes Glas enthalten, sind für dieses Experiment nicht geeignet. Schaut nicht direkt in die Sonne, sondern lediglich den blauen Himmel an.)
2. Erklärt, wie Polarlichter entstehen.
3. Da die Atmosphäre der Venus größtenteils aus  $\text{CO}_2$  besteht, kommt es an ihrer Oberfläche zu einem extremen Treibhauseffekt. Es herrschen dort über  $460^\circ\text{C}$ . Macht eine Liste von Elementen, die auf der Erde im festen oder flüssigen Aggregatzustand zu finden sind, aber deren Schmelz- oder Siedepunkt unterhalb dieser Temperatur liegen.
4. Auf der Oberfläche der Venus herrscht ein Druck von ungefähr 92 bar. Wie hoch ist der Druck auf der Erdoberfläche? In welcher Tiefe des Ozeans herrscht ein vergleichbarer Druck wie auf der Venus?
5. Beantwortet die Frage im Bildtext zur Abbildung 2.
6. Taucht mit WIS tiefer in das Thema rund um die Entstehung von Planeten ein:  
<http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/das-projekt-alma-mater/1285836>
7. Wasserstoff und Helium entweichen aus der Erdatmosphäre ins Weltall. Trotzdem befindet sich Helium in einer Konzentration von 5 ppm (parts per million) in der Atmosphäre. Irgendwas scheint somit ständig für Nachschub an diesem Edelgas zu sorgen. Wo kommt dieses Helium her?
8. Wissenschaftler\*innen haben viele Exoplaneten gefunden, die in unserem Sonnensystem kein Äquivalent haben. Heiße Jupiter sind nur ein Beispiel. Ein weiteres Beispiel sind sogenannte Wasserwelten. Lerne mit WIS mehr über diese kuriosen Planeten:  
<http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/wasser-im-umfeld-der-sterne/1571216>
9. Wie suchen Wissenschaftler\*innen nach Exoplaneten? Taucht mit WIS in dieses Thema ein:  
<http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/auf-der-suche-nach-fernen-welten/1421052>  
<http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/auf-der-jagd-nach-exoplaneten-anwendung-der-transitmethode-mit-originaldaten-des-spitzer-weltraumtel/1571204>

10. Welche wissenschaftlichen Aussagen können wir über Leben auf fremden Welten machen? Taucht mit WIS in dieses Thema ein:

<http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/erdaehnliche-planeten-in-der-milchstrasse-auf-der-suche-nach-leben/1421049>

<http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/astro-biochemie-in-der-schule/1571140>

11. Die NASA hat zur unterhaltsamen Wissensvermittlung Poster entworfen, auf denen ein fiktives Reisebüro für Erlebnisurlaube auf fernen Exoplaneten Werbung macht:

<https://exoplanets.nasa.gov/alien-worlds/exoplanet-travel-bureau/>

Sucht euch einen Planeten oder einen Mond in unserem Sonnensystem aus und gestaltet euer eigenes **Poster** für ein fiktives Reisebüro, das Reisen zu jener Welt anbietet. Euer Poster muss wahrheitsgetreu die gewählte Welt wiedergeben, d. h. der Himmel und die Landschaft müssen beispielsweise in den richtigen Farben dargestellt werden. Welche weiteren Besonderheiten hat der gewählte Himmelskörper zu bieten, und mit welchen Schwierigkeiten könnte eine Tourist\*in sich bei jener Welt konfrontiert sehen? Stellt hierzu weitere Recherchen an und schreibt eine kurze Beschreibung der Überlegungen und Fakten, die ins Poster eingeflossen sind.

12. Gestaltet wie in Übungsaufgabe 11 ein Poster, aber dieses Mal für eine fiktive Reise zu einem außergewöhnlichen Exoplaneten. Recherchiert, um eine passende Welt auszuwählen – nehmt keine der Welten, die schon auf den Postern der NASA dargestellt sind. Es muss übrigens kein Gesteinsplanet sein, auf dem die fiktiven Touristen landen können. Euer fiktives Reisebüro könnte ja beispielsweise auch anbieten, Gasriesen zu umfliegen, damit man sie aus dem All beobachten kann. Lasst eurer Fantasie freien Lauf. Wichtig ist nur, dass die Planeten wahrheitsgemäß dargestellt werden.

13. Man kann anhand des Zusammenhangs zwischen der Wellenlänge und Frequenz des Lichts die Lichtgeschwindigkeit messen, wenn man ein Haushaltsmikrowellengerät zur Hand hat. Das geht so: Platziert eine Tafel Schokolade auf einen Teller und entfernt den Glasdrehteller und die dazugehörigen Räder aus der Mikrowelle. Stellt den Teller mit der Schokolade in das Mikrowellengerät und schaltet das Gerät auf höchster Stufe für einige Sekunden ein. Stellt sicher, dass der Teller mit der Schokolade sich nicht dreht. Wenn ihr die Schokolade wieder aus dem Gerät nehmt, werdet ihr beobachten können, dass die Schokolade an zwei Punkten zu schmelzen anfangen hat. (Wenn ihr das Gerät zu lange eingeschaltet lasst, schmilzt ein großer Teil der Tafel, was nicht im Sinn des Experiments ist. Falls die Schokolade dahingegen nur an einem Punkt schmilzt, ist die Tafel entweder zu klein oder ihr hättet die Tafel anders hinlegen müssen. In allen diesen Fällen fangt das **Experiment** besser wieder von vorne an.) Messt den Abstand zwischen den beiden Punkten. Der Abstand entspricht einer *halben* Wellenlänge (Warum?). Die Frequenz der Mikrowellenstrahlung ist beispielsweise hinten auf dem Gerät angegeben.

Nehmen wir an, dass eine Schüler\*in das Experiment durchgeführt und einen Abstand von ungefähr 6 cm zwischen den beiden geschmolzenen Punkten auf der Schokoladentafel gemessen hat. Die Frequenz der Mikrowellenstrahlung ihres Geräts beträgt 2450 MHz. Berechnet aus diesen Angaben die Lichtgeschwindigkeit. Stimmt euer Ergebnis mit der erwarteten Lichtgeschwindigkeit in der Luft überein? Welche Fehlerquellen gibt es im Experiment?



## Lösungen zu den Übungsaufgaben

[Zurück zum Anfang](#)

**Zu 1.** Diese Aufgabe lädt zu Diskussionen in kleinen Gruppen oder im Plenum ein.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Polarisation>

**Zu 2.** Diese Aufgabe kann als Ausgangspunkt für **selbständige Projekte** dienen.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Polarlicht#Entstehung>

**Zu 3.** Zink schmilzt beispielsweise schon bei einer Temperatur von 420°C, während die Siedepunkttemperatur von Schwefel 445°C beträgt.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Melting\\_point](https://en.wikipedia.org/wiki/Melting_point)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Boiling\\_point](https://en.wikipedia.org/wiki/Boiling_point)

**Zu 4.** Auf der Erdoberfläche herrscht ein Luftdruck von ungefähr 1 bar. Der Druck im Ozean steigt um 1 bar alle zehn Meter. Man muss also mehr als 900 m tief tauchen, um den gleichen Druck wie auf der Oberfläche der Venus zu erreichen. Zum Vergleich ist die Nordsee höchstens 725 m tief.

**Zu 5.** Der Himmel auf dem Bild ist blau. Auf dem Mars sieht der Himmel ganz anders aus. Deshalb kann das Bild unmöglich auf dem Mars gemacht worden sein.

**Zu 6.** Diese Aufgabe kann als Ausgangspunkt für **selbständige Projekte** dienen.

**Zu 7.** Helium entsteht in radioaktive Zerfallsprozessen (Alphastrahlung) und wird somit ständig der Atmosphäre zugeführt.

**Zu 8.** Diese Aufgabe kann als Ausgangspunkt für **selbständige Projekte** dienen.

**Zu 9.** Diese Aufgabe kann als Ausgangspunkt für **selbständige Projekte** dienen.

**Zu 10.** Diese Aufgabe kann als Ausgangspunkt für **selbständige Projekte** dienen.

**Zu 11.** Diese Aufgabe eignet sich für eine Fächerverknüpfung mit dem Fach Kunst. Sie kann entweder von den Schülern individuell oder in kleinen Gruppen angegangen werden. Das Endprodukt kann auf verschiedene Weise (beispielsweise in der Klasse) präsentiert werden. Man könnte auch ein Projekt mit den Fächern Deutsch oder Englisch durchführen, wenn man den Schwerpunkt eher auf die Gestaltung der Werbung an sich als auf die bildliche Darstellung legen möchte.

**Zu 12.** Siehe Übungsaufgabe 11. Beispiele für interessante Exoplaneten wären Wasserwelten (siehe Übungsaufgabe 8) sowie der besprochene Gasriese HAT-P-7b oder einige der Planeten, die auf der Homepage der NASA hervorgehoben werden:

<https://exoplanets.nasa.gov/alien-worlds/strange-new-worlds/>

sofern die NASA nicht schon Poster zu diesen Welten gestaltet hat.

**Zu 13.** In einem Mikrowellengerät bilden sich stehende Wellen. Die Intensität der Strahlung ist an den Wellenbergen und Wellentälern am höchsten, weshalb die Schokolade an diesen Punkten zuerst zu schmelzen anfängt. Diese Punkte befinden sich eine halbe Wellenlänge auseinander. Es gibt übrigens viele YouTube-Videos, in denen das Experiment durchgeführt wird.

Anhand der Angaben beträgt die Wellenlänge der Strahlung 12 cm also 0,12 m. Die Frequenz der Strahlung beträgt 2450 MHz also  $2,45 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$ . Damit ergibt sich eine Lichtgeschwindigkeit von

$$c = \lambda \cdot f = 0,12 \cdot 2,45 \cdot 10^9 \text{ m/s} = 2,94 \cdot 10^8 \cdot \text{m/s},$$

was eine gute Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit in der *Luft an der Erdoberfläche* ist. Zum Vergleich: Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum beträgt 299.792.458 m/s und entspricht ungefähr der Lichtgeschwindigkeit in der Luft.

Die Abstandsbestimmung zwischen den Punkten weist einen großen Fehler auf, weil man deren Lage in den Schmelzbereichen der Schokolade nur abschätzen kann.