Schülerinnen und Schüler auf der Suche nach der Erde 2.0

Unterrichtsmaterialien

Bildquelle auf der Vorderseite: pixabay.com

Bildquellen in diesem Arbeitsheft:

Bild 1 (pixabay.com), Bild 2 (pixabay.com), Bild 3 (A. Küpper), Bild 4 (A. Küpper), Bild 5 (Screenshot aus der App von Hissel et al.), Bild 6 (A. Küpper), Bild 7 (A. Küpper), Bild 8 (A. Küpper), Bild 9 (A. Küpper), Bild 10 (A. Küpper), Bild 11 (A. Küpper), Bild 12 (A. Küpper), Bild 13 (A. Küpper), Bild 14 (pixabay.com), Bild 15 (Collage aus Bildern von pixabay.com), Bild 16 (Collage A. Küpper, Hintergrund Marsoberfläche von NASA), Bild 17 (A. Küpper), Bild 18 (A. Küpper), Bild 19 (A. Küpper), Bild 20 (A. Küpper), Bild 21 (A. Küpper), Bild 22 (A. Küpper), Bild Urkunde (pixabay.com)

Bildquelle auf der Rückseite: pixabay.com

Entwicklung & Gestaltung:
Alexander Küpper
Universität zu Köln
Institut für Physikdidaktik
Gronewaldstr. 2
50931 Köln

E-Mail: alexkuepper@yahoo.de

Version: Oktober 2019

„Schülerinnen und Schüler auf der Suche nach der Erde 2.0“ – Station 1

Die Transitmethode

Worum geht es hier?

Exoplaneten zu finden ist gar nicht so leicht. In dieser Station wirst du eine Möglichkeit entwickeln bzw. kennenlernen mit der Astrophysiker tatsächlich auf die Suche nach Exoplaneten gehen.

Forschungsauftrag 1:

Die beiden Abbildungen zeigen eine Sonnenfinsternis auf der Erde (links) und einen Exoplaneten, der sich vor seinem Stern vorbeibewegt (rechts).

Abbildung 1: Sonnenfinsternis.

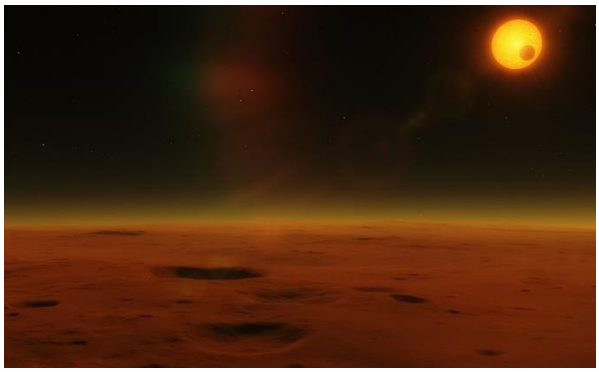


Abbildung 2: Exoplanet vor seinem Stern (von der Oberfläche eines anderen Exoplaneten aus gesehen).

Erkläre, wie eine Sonnenfinsternis auf der Erde entsteht.

Nenne Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den beiden Bildern.

Forschungsauftrag 2:

Entwickelt mit Hilfe von Forschungsauftrag 1 eine Möglichkeit um Exoplaneten, die sich um andere Sterne bewegen, zu finden.

Forschungsauftrag 3:

Nun bist du ein richtiger Astrophysiker. Mit Hilfe eines speziellen Computerprogramms kannst du die Helligkeit von zwei „Sternen“ in Abhängigkeit von der Zeit messen. Das Programm zeichnet dir direkt ein Diagramm. Die Kurve im Diagramm wird auch als „Lichtkurve“ bezeichnet.

Messe die Helligkeit des Sterns 1. Skizziere das gemessene Diagramm.

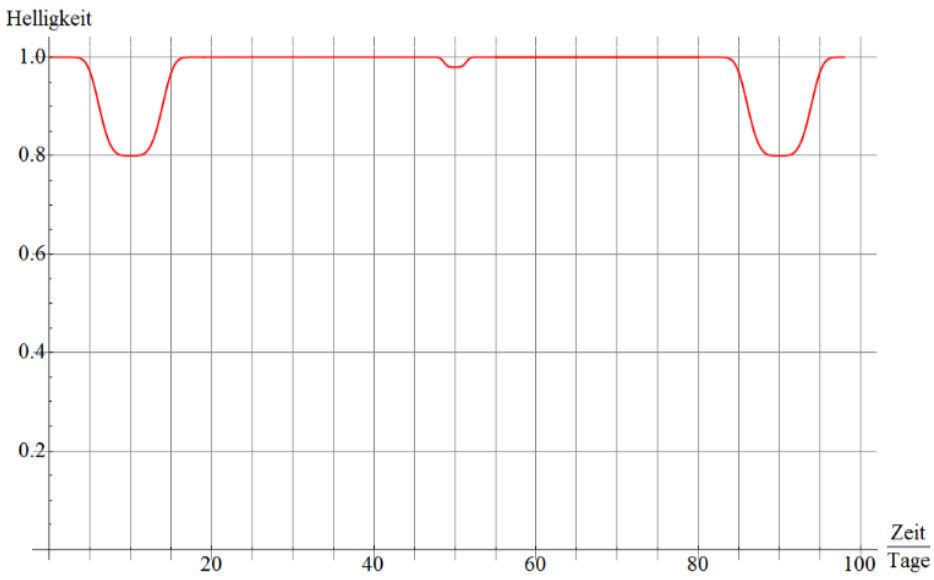
Messe die Helligkeit des Sterns 2. Skizziere das gemessene Diagramm.

Entscheide anhand der Lichtkurve, ob sich ein „Planet“ um den „Stern“ bewegt.
Wenn sich ein „Planet“ um den „Stern“ bewegt: Bestimme die Umlaufzeit T.

Das zugehörige Experiment steht im Raum nebenan. Kontrolliere deine Antworten aus dem letzten Aufgabenteil, indem du dir das Experiment anschaust. Beschreibe deine Beobachtungen.

Forschungsauftrag 5:
Kann man jeden Exoplaneten mit der von dir entwickelten Methode entdecken? Begründe deine Antwort!

Tempoaufgabe:
Eine Gruppe von Astrophysikern hat die folgende Lichtkurve eines Sterns gemessen:



Analysiere die Lichtkurve und stelle eine Vermutung über mögliche Exoplaneten um den Stern herum an.

„Schülerinnen und Schüler auf der Suche nach der Erde 2.0“ – Station 2

Atmosphärenzusammensetzung

Worum geht es hier?

Es ist von ganz besonderer Wichtigkeit die Zusammensetzung der Atmosphäre zu kennen. Aber wie lässt sich herausfinden, ob sich z.B. Sauerstoff in der Atmosphäre eines Exoplaneten befindet.

Zu Beginn wirst du dich mit dem Lichtspektrum von Sternen beschäftigen. Dazu betrachtest du einen Stern, dessen Spektrum du auch ohne ein Teleskop beobachten kannst: die Sonne.

Forschungsauftrag 1:
Richte dein Spektroskop in den Himmel und beobachte mit deinem Spektroskop das Sonnenspektrum. Beschreibe das Aussehen des Spektrums.

Sicherheitshinweis: Schaue niemals mit dem Spektroskop direkt in die Sonne.

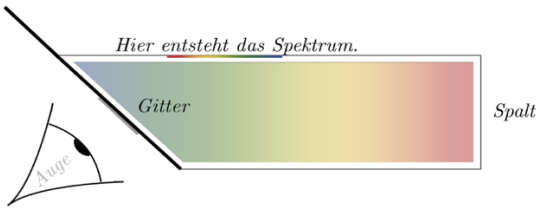


Abbildung 3: Wo entsteht das Spektrum?

Forschungsauftrag 2:
Wenn das Licht von der Oberfläche der Sonne ausgesendet wird, sieht das Spektrum noch aus wie das Spektrum einer Glühlampe. Anschließend durchstrahlt das Licht auf seinem Weg die Sonnenatmosphäre und durchläuft anschließend den Raum zwischen Sonne und Erde. Es tritt durch die Erdatmosphäre und gelangt in dein Spektroskop

Abbildung 4: Das System Sonne/Erde.

Schreibe an die korrekten Stellen in der obenstehenden Abbildung die Begriffe: Sonnenoberfläche, Sonnenatmosphäre, Erdatmosphäre und Erdoberfläche.

Stelle eine Vermutung an: An welchen Stellen auf dem Weg des Lichts von der Sonnenoberfläche bis zur Erdoberfläche entstehen die dunklen Linien (sie werden Absorptionslinien genannt) im Spektrum? Begründe deine Antwort!

Tempoaufgabe:

Ein Mitschüler von dir behauptet, dass die Absorptionslinien im Sonnenspektrum nicht in der Erdatmosphäre entstehen. Schlage deiner nationalen Weltraumbehörde eine Mission vor, mit der man diese Aussage überprüfen kann.

Forschungsauftrag 3:

Ein Mitschüler von dir hat bei Forschungsauftrag 2 (auch) die Vermutung aufgestellt, dass die Absorptionslinie(n) im Sonnenspektrum durch die Sonnen- und Erdatmosphäre entstehen. Aber stimmt das?
In unserer App stehst du in einem Labor (Bild rechts). Beobachte was passiert, wenn du verschiedene Gase in die Glasglocke füllst. Notiere deine Beobachtungen.

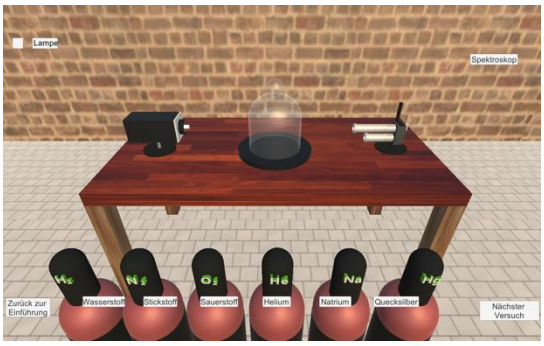


Abbildung 5: Ein Blick in unser Labor.

Wie sieht das Spektrum aus, wenn du Natrium in die Glasglocke füllst. Vervollständige die untenstehende Abbildung, sodass sie aussieht wie das Spektrum im Experiment.

Abbildung 6: Das Spektrum einer Glühlampe zum Vervollständigen.

Forschungsauftrag 4:
Mit Hilfe der dunklen Absorptionslinien im Spektrum kannst du sogar die Zusammensetzung von Sternen und Exoplaneten bestimmen. Wie dies geht, zeigt dir dieser Forschungsauftrag:

In einer Natriumdampflampe wird Natriumgas auf eine Temperatur von +1000°C erhitzt, sodass es von selber Licht aussendet. Beobachte dieses Licht mit deinem Spektroskop und beschreibe deine Beobachtungen.

In einem Zeitungsartikel schrieben Kirchhoff und Bunsen im Jahr 1860 den folgenden Text:

„Es lässt sich hieraus schliessen, dass das Sonnenspectrum mit seinen dunklen Linien nichts Anderes ist, als die Umkehrung des Spectrums, welches die Atmosphäre der Sonne für sich zeigen würde. Hiernach erfordert die chemische Analyse der Sonnenatmosphäre nur die Aufsuchung derjenigen Stoffe, die, in eine Flamme gebracht, helle Linien hervortreten lassen, die mit den dunklen Linien des Sonnenspectrums coincidiren" (Kirchhoff & Bunsen, 1860)[1].

Erkläre in eigenen Worten, wie man aus dem Sonnenspektrum die chemische Zusammensetzung der Sonnenatmosphäre bestimmen kann.

[1] Textquelle: Kirchoff & Bunsen (1860): Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen, Analen der Physik und Chemie.

Ein Physiker hat das Spektrum eines Sterns aufgenommen.

Abbildung 7: Das Spektrum eines Sterns.

Bestimme mit der Spektraltafel die chemische Zusammensetzung der Sternatmosphäre. Beschreibe dein Vorgehen.

Zu einem späteren Zeitpunkt befindet sich ein Exoplanet vor dem Stern. Währenddessen hat ein Physiker das Spektrum des Sterns aufgenommen.

Abbildung 8: Spektrum der Sternen- und Exoplanetenatmosphäre zusammen.

Bestimme mit der Spektraltafel die chemische Zusammensetzung der Exoplanetenatmosphäre. Beschreibe dein Vorgehen.

„Schülerinnen und Schüler auf der Suche nach der Erde 2.0“ – Station 3

Oberflächentemperatur

Worum geht es hier?

Damit Leben, wie wir es kennen, entstehen kann, ist Wasser in flüssiger Form notwendig. Dafür sollte (unter der Voraussetzung einer erdähnlichen Atmosphäre) die Temperatur zwischen 0°C und 100°C betragen. Hierfür spielt die Temperatur des Sterns eine entscheidende Rolle.

Forschungsauftrag 1:
Zunächst musst du herausfinden, wie Astrophysiker die Temperatur eines Sterns bestimmen können. Für ein Analogieexperiment benötigst du eine Lichtquelle mit veränderbarer Temperatur. Wie lässt sich eine solche Lichtquelle im Experiment realisieren? Notiere deine Ideen.

Forschungsauftrag 2:
Beobachte die Lichtquelle aus Forschungsauftrag 1 bei niedriger und hoher Temperatur mit deinem Spektroskop.

Fertige jeweils eine Skizze der Spektren an.

Skizze des Spektrums bei niedriger Temperatur.	Skizze des Spektrums bei hoher Temperatur.

Beschreibe die Unterschiede in den beiden Spektren.

Forschungsauftrag 3:
Übertrage die Ergebnisse aus Forschungsauftrag 2 auf einen Stern und vervollständige den Merksatz:

Je höher die Temperatur eines Sterns, desto _____.

Forschungsauftrag 4:

Eine Gruppe von Astrophysikern hat nachts mit einem Spektroskop verschiedene Sternspektren aufgenommen.

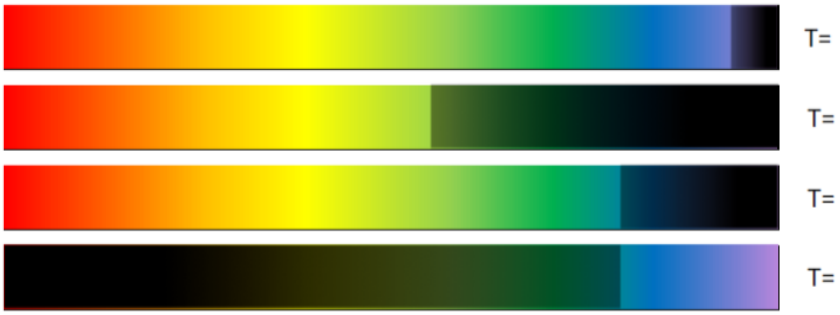


Abbildung 9: Verschiedene Sternspektren

Ordne den Spektren die folgenden Temperaturen zu:

3.500°C, 6.000°C, 10.000°C, 50.000°C

Schreibe dazu die Temperaturen in die Kästchen rechts vom Spektrum.

Forschungsauftrag 5:

Die „Habitable Zone“ ist ein Bereich um einen Stern herum, wo Wasser in flüssiger Form vorkommen kann. Für verschiedene Sterntemperaturen haben Physiker die innere Grenze (blaue Messpunkte) und die äußere Grenze (orange Messpunkte) der Habitablen Zone für verschiedene Sterntemperaturen bestimmt.

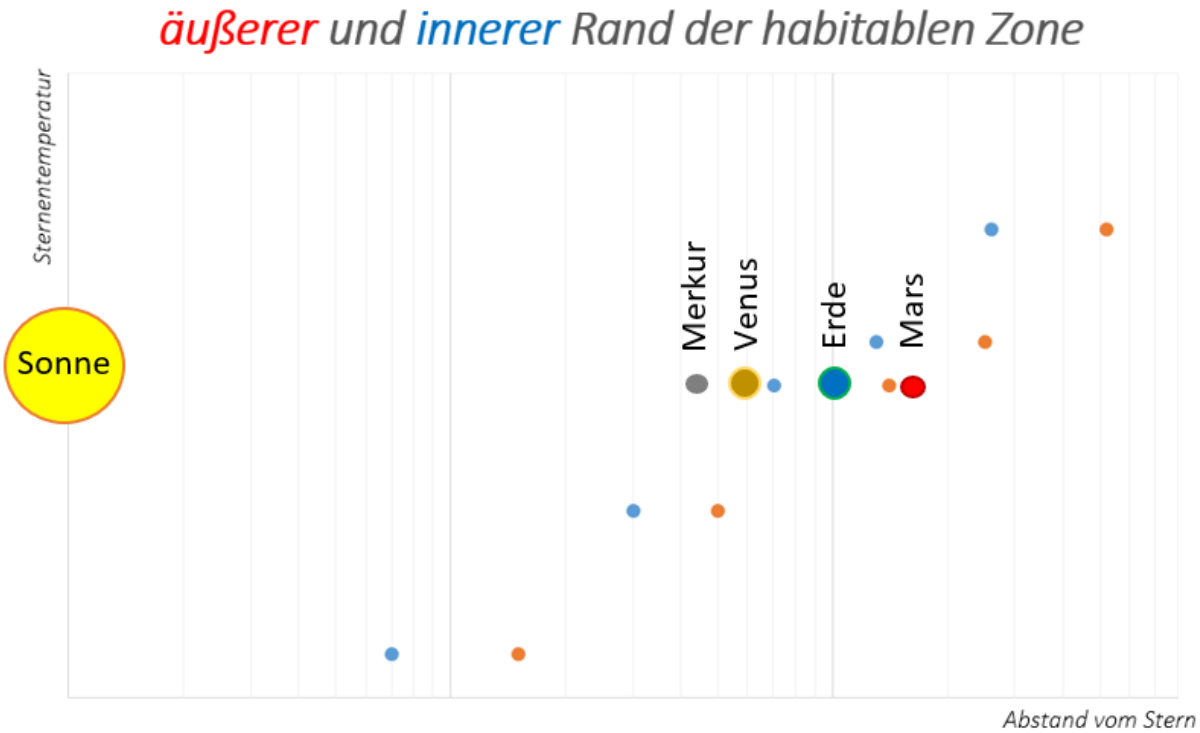


Abbildung 10: Ein Diagramm zur Habitablen Zone.

Verbinde die zusammengehörenden Punkte mit einer Kurve.
Zusätzlich wurden im Diagramm in Abbildung 10 einige Planeten unseres Sonnensystems eingetragen. Nenne alle Planeten, die sich in der Habitablen Zone befinden.

In einem zweiten Diagramm – für die äußere und innere Grenze wurden die Messpunkte bereits verbunden – wurden die Planeten um den Stern Kepler 90 eingezeichnet.

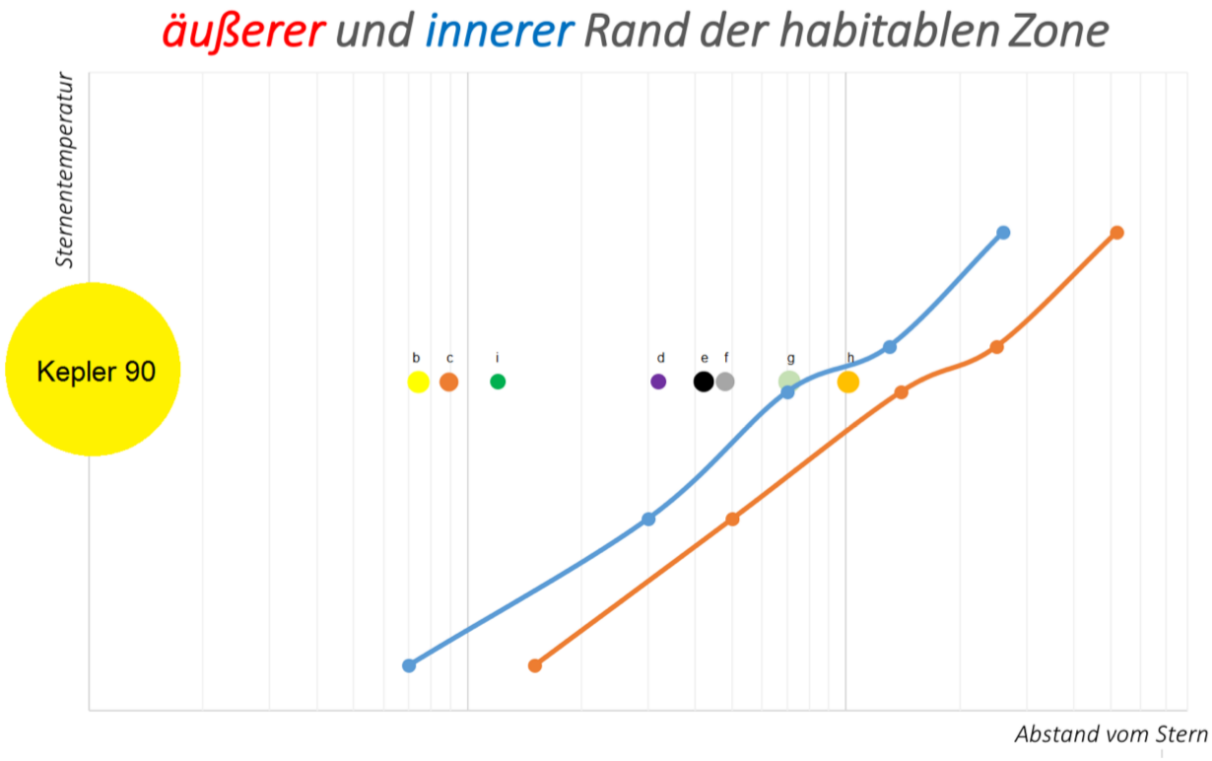


Abbildung 11: Ein Diagramm zur Habitablen Zone mit Exoplaneten um Kepler 90.

Nenne die Anzahl der Planeten, die sich um den Stern Kepler 90 bewegen

Nenne die Exoplaneten um Kepler 90 herum, die sich in der Habitablen Zone befinden.

„Schülerinnen und Schüler auf der Suche nach der Erde 2.0“ – Station 4

Gefährliche UV-Strahlung

Worum geht es hier?

Damit Leben wie wir es kennen entstehen kann, ist Wasser in flüssiger Form notwendig. Dafür sollte (unter der Voraussetzung einer erdähnlichen Atmosphäre) die Temperatur zwischen 0°C und 100°C betragen. Die Temperatur auf einem Exoplaneten wird also maßgeblich von der Temperatur des Sterns bestimmt.

Forschungsauftrag 1:
Fertige eine Skizze des Spektrums einer Glühlampe an.

Spektrum einer Glühlampe

Forschungsauftrag 2:
In einem Experiment wird Licht in seine Spektralfarben aufgespalten. Das Spektrum wird auf einem sogenannten Zinksulfitschirm aufgefangen. Warte ca. eine Minute.

Vergleiche das Glühlampenspektrum aus Forschungsauftrag 1 mit dem Spektrum auf dem Zinksulfitschirm. Ergänze gegebenenfalls die Skizze in Forschungsauftrag 1.

Begründe, dass es Bereiche im Spektrum einer Glühlampe gibt, die das menschliche Auge nicht wahrnehmen kann. Wie nennt man die von dir nachgewiesene Strahlung?

Ersetze im Experiment den Zinksulfitschirm durch eine „Nivea Sun Sonnenpuppe“. Entscheide (mit Begründung), ob die von dir nachgewiesene Strahlung für Lebewesen gefährlich ist.

Forschungsauftrag 3:

Ein Astrophysiker hat nachts die Spektren von zwei Sternen aufgenommen.

Abbildung 12: Sternspektrum Nr. 1.

Abbildung 13: Sternspektrum Nr. 2.

Beide Sterne werden von einem Exoplaneten umkreist. Entscheide (mit Begründung), auf welchen der beiden Exoplaneten sich eher Leben entwickelt haben wird.

Forschungsauftrag 4:

Kann man eigentlich beim Beobachten des Nachthimmels mit bloßem Auge schon sagen, ob ein Stern viel UV-Strahlung aussendet? Finde es doch heraus!

Das Foto rechts zeigt das Sternbild „Orion“. Beschreibe was du auf dem Foto erkennen kannst.

Abbildung 14: Das Sternbild „Orion“.

Stelle eine Vermutung an, welcher der Sterne im Sternbild Orion die meiste UV-Strahlung aussendet.

Überprüfe deine Vermutung im Experiment. Beschreibe, wie du vorgegangen bist.

„Schülerinnen und Schüler auf der Suche nach der Erde 2.0“ – Station 5

Atmosphärendruck

Worum geht es hier?

Flüssiges Wasser ist wichtig für Leben auf einem (Exo-)Planeten. Aber wovon hängt die Zustandsform von Wasser neben der Temperatur noch ab? Hierfür wirst du zunächst den Planeten Mars in unserem Sonnensystem näher betrachten.

Forschungsauftrag 1:
Vermutlich kennst du schon die drei Zustandsformen von Wasser: gasförmig, flüssig und fest. Beschrifte in der nachfolgenden Übersichtsgrafik die Pfeile mit den Begriffen sublimieren, resublimieren, schmelzen, sieden, erstarren und kondensieren.

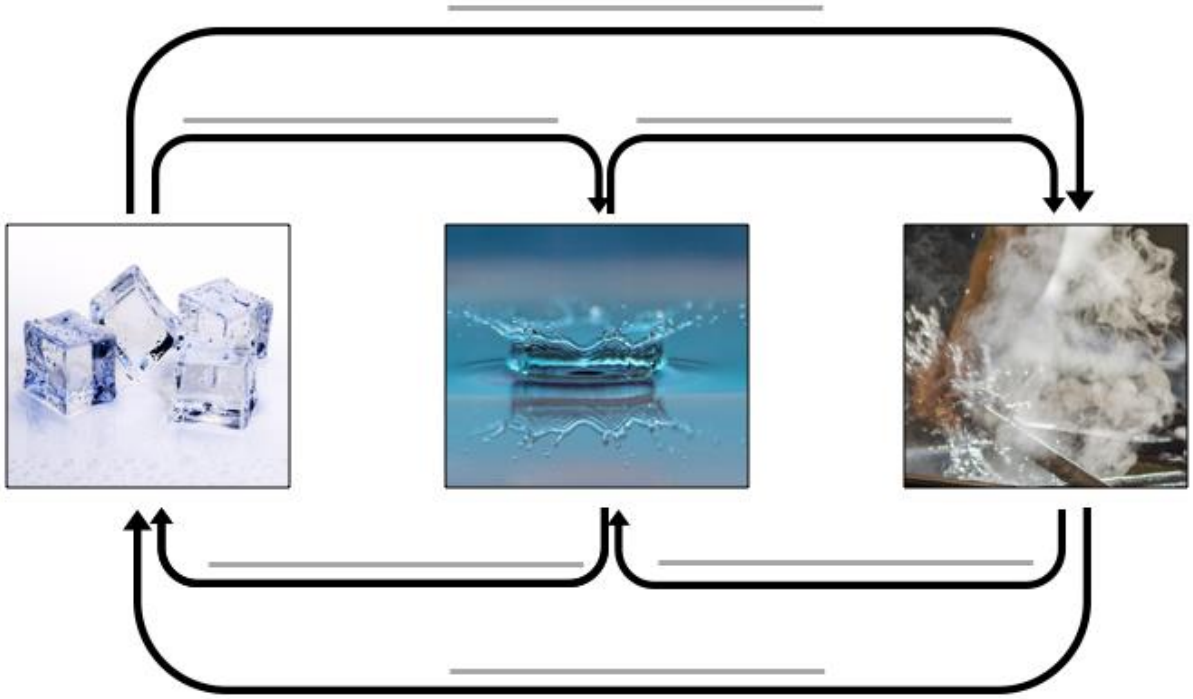


Abbildung 15: Zustandsformen von Wasser.

Forschungsauftrag 2:
Die Temperaturen auf dem Planten Mars klettern in Äquatornähe am Tag teilweise auf +20°C und fallen in der Nacht auf etwa -80°C. Stelle eine Vermutung auf, ob Wasser auf dem Mars in flüssiger Form vorkommen kann. Schreibe deine Vermutung auf.

Forschungsauftrag 3:

Trotz passender Temperaturen gibt es auf dem Mars tatsächlich kein flüssiges Wasser. Seit der Entstehung des Planeten Mars wurde die Marsatmosphäre aufgrund mehrerer physikalischer Effekte mit der Zeit abgetragen. Der Atmosphärendruck verringerte sich immer weiter, sodass heute auf dem Mars nur noch ein sehr geringer Luftdruck von 0,006 bar herrscht. Zum Vergleich: Auf der Erde beträgt der Luftdruck in etwa 1,013 bar.

Um die Bedingungen auf dem Mars nachzustellen, musst du also den Luftdruck in einem Experiment verringern. Hierbei soll die Marsatmosphäre in einer Spritze nachgestellt werden. Wie musst du vorgehen, um den Luftdruck in der Spritze zu verringern. Beschreibe dein Vorgehen!

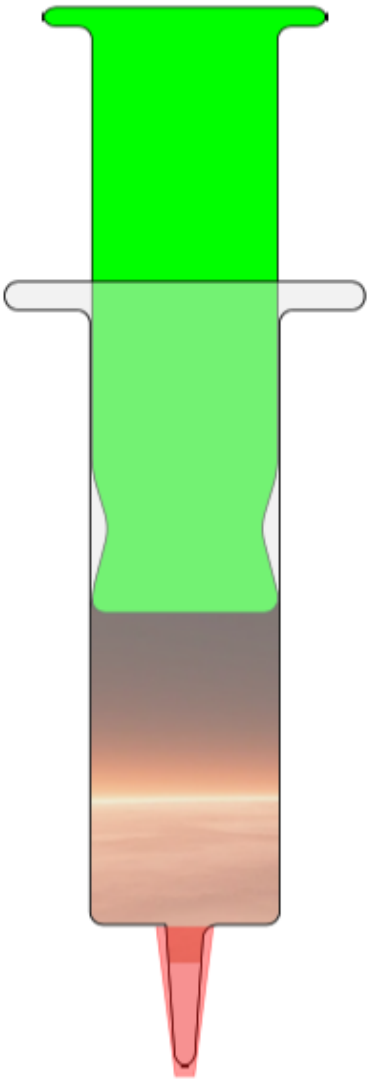


Abbildung 16: Spritze zur Simulation der Marsatmosphäre.

Untersuche und beschreibe (unter Verwendung von Fachsprache), wie sich flüssiges Wasser unter einem geringen Luftdruck verhält.

Erkläre, was mit dem ursprünglich vorhandenen (flüssigen) Wasser auf dem Mars passiert ist.

Forschungsauftrag 4:
Du hast bereits herausgefunden, dass die Zustandsformen von Wasser nicht nur von der Temperatur, sondern auch vom Atmosphärendruck abhängt. Ein Physiker hat in einem Experiment das folgende Zustandsdiagramm von Wasser aufgenommen.

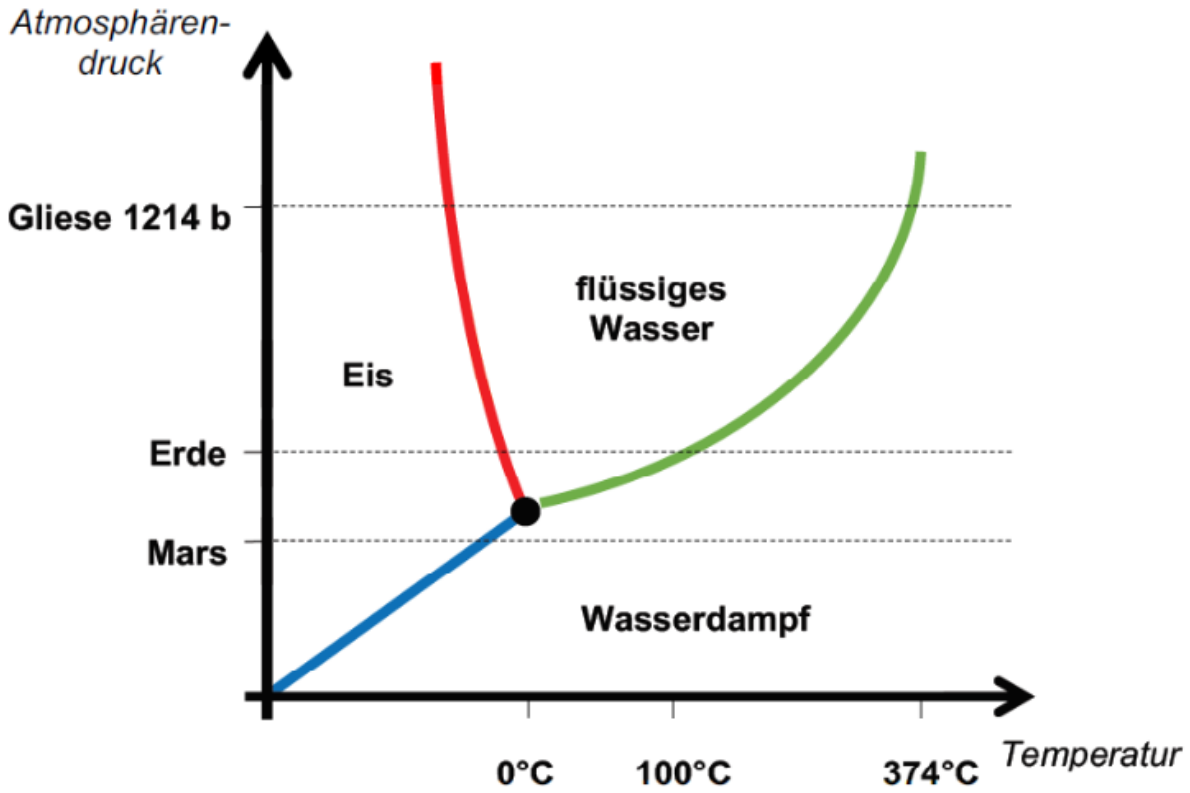


Abbildung 17: Das Phasendiagramm von Wasser.

Beschreibe das Diagramm möglichst genau.

Die Temperaturen verändern sich am Äquator des Planeten Mars im Laufe eines Tages teilweise von -80°C in der Nacht auf +20°C am Tag. Erkläre, ob Wasser auf dem Mars in flüssiger Form vorkommen kann.

Nach Schätzungen beträgt die Temperatur auf dem Exoplaneten Gliese 1214b zwischen +121°C und +282°C. Trotzdem gehen Physiker davon aus, dass es sich bei dem Exoplaneten um eine Wasserwelt mit flüssigem Wasser handelt. Erkläre, wie das möglich ist.

„Schülerinnen und Schüler auf der Suche nach der Erde 2.0“ – Station 6

Treibhauseffekt

Worum geht es hier?

Auf der Erde kommt es derzeit bedingt durch sogenannte Treibhausgase zu einem Anstieg der Durchschnittstemperatur. Spielen Treibhausgase auch auf anderen Planeten eine Rolle? Zur Beantwortung dieser Frage betrachtest du zunächst den Planeten Venus in unserem Sonnensystem.

Forschungsauftrag 1:
Begründe mit Hilfe einer Wärmebildkamera: „Jeder warme Körper strahlt ‚Wärmestrahlung’ ab“
Hinweis: Wenn deine Schule keine Wärmebildkamera hat, kannst du das Foto nutzen.

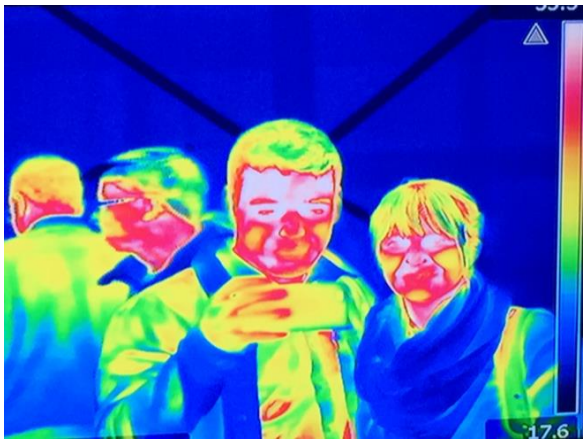


Abbildung 18: Wärmebild.

Forschungsauftrag 2:
Wenn man die Venusoberfläche mit der Erdoberfläche vergleicht, sieht man, dass tausende von Vulkanen über die Venus verteilt sind. Bei einem einzigen Vulkanausbruch auf der Venus werden riesige Mengen an Kohlenstoffdioxid (CO_2) frei. Daher besteht die Venusatmosphäre heute zu 97% aus CO_2.
Auch die Venus gibt Wärmestrahlung ab. Plane ein Experiment um zu untersuchen, wie sich CO_2 im Vergleich zu „Luft“ bei Bestrahlung mit Wärmestrahlung verhält. Notiere deine Vorgehensweise.
Hinweis: Nutze die Materialien im Foto rechts.

Abbildung 19: Materialien für das Experiment

Forschungsauftrag 3:
Führe dein Experiment aus Forschungsauftrag 2 durch. Messe alle 60 Sekunden die Temperatur in den Gefäßen und notiere die Ergebnisse in der folgenden Tabelle.

ZEIT IN SEKUNDEN	TEMPERATUR LUFT IN °C	TEMPERATUR CO_2 IN °C
0		
60		
120		
180		
240		

Bestimme jeweils die Differenz von Anfangs- und Endwert (in °C) und den Temperaturunterschied von Luft und CO_2 nach 240 Sekunden.

Wie haben sich Luft und CO_2 beim Bestrahlen mit Licht verhalten? Nenne Unterschiede und Gemeinsamkeiten.

Forschungsauftrag 4:
Die Sonnenstrahlen erwärmen die Venusoberfläche. Die Venusoberfläche gibt als Folge dieser Erwärmung Wärmestrahlung ab.

Was passiert mit der Wärmestrahlung in der Venusatmosphäre? Vervollständige die Zeichnung rechts.

Erkläre, warum auf der Venus heute eine Temperatur von ca 460°C herrschen.

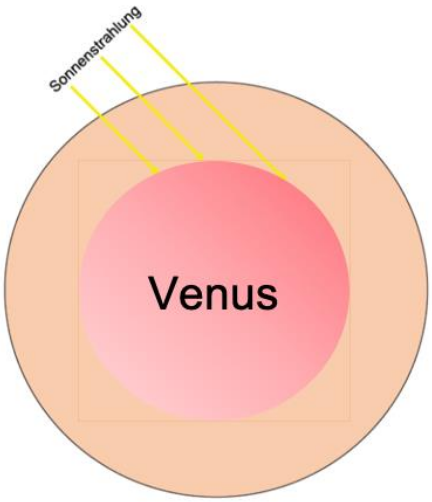


Abbildung 20: Sonnenstrahlung trifft auf die Venus.

Forschungsauftrag 5:
Treibausgabe sind Gase, welche die von der Planetenoberfläche abgegebene Wärmestrahlung aufnehmen und nicht ins Weltall entweichen lassen. Ein Beispiel für ein solches Treibhausgas ist CO_2.
Warum ist es notwendig den Anteil an Treibhausgaben in Exoplanetenatmosphären genau zu kennen, um auf die Existenz von flüssigem Wasser schließen zu können? Begründe deine Antwort!

Tempoaufgabe:
Unter der Habitablen Zone versteht man den Bereich um einen Stern, in dem sich der Exoplanet im richtigen Abstand für das Vorkommen von flüssigen Wasser um seinen Stern bewegt. Im Diagramm wird die Habitable Zone begrenzt von der blauen und orangen Kurve.

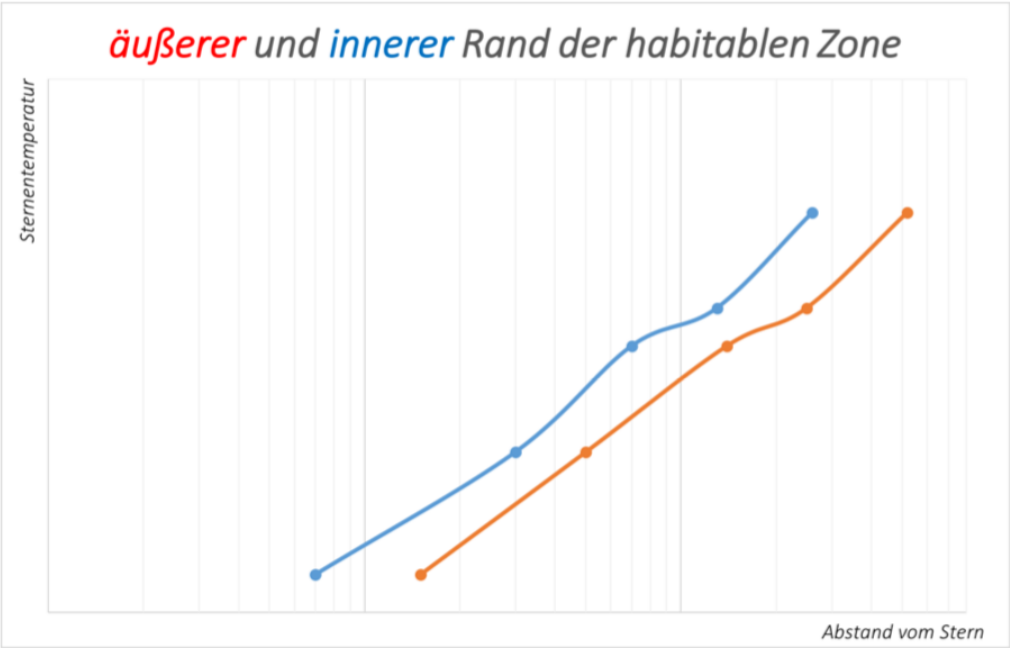


Abbildung 21: Die Habitable Zone.

Wie verändert sich die Lage der Habitablen Zone bei der Berücksichtigung des Treibhauseffekts? Begründe deine Antwort!

„Schülerinnen und Schüler auf der Suche nach der Erde 2.0“ – Station 7

Rückstrahlvermögen

Worum geht es hier?

Auch das Rückstrahlvermögen eines Exoplaneten hat einen Einfluss auf die Oberflächentemperatur des Planeten. Aber was ist überhaupt das Rückstrahlvermögen und wie bestimmt man es?

Forschungsauftrag 1:
Entwickele ein Experiment um zu untersuchen was mit Licht passiert, wenn es auf Planeten mit weißen und schwarzen Oberflächen trifft. Beschreibe dein Vorgehen und führe das Experiment im Anschluss durch. Nenne (unter Verwendung von Fachsprache) deine Beobachtungen.

Forschungsauftrag 2:
Eine wichtige physikalische Größe für Planeten ist das sogenannte „Rückstrahlvermögen“. Mit diesem Begriff beschreiben Physiker die Lichtmenge, die nicht von einem Planeten absorbiert wird. Welche der in Forschungsauftrag 1 genutzten Planetenoberflächen hat das größte Rückstrahlvermögen? Begründe deine Antwort!

Forschungsauftrag 3:
In dieser Teilaufgabe wirst du lernen, wie man das Rückstrahlvermögen von Exoplaneten bestimmen kann.
Im Experiment bewegt sich ein Exoplanet um einen Stern. Zeichne die Form des Schattens auf dem Exoplaneten zu den verschiedenen Beobachtungszeiträumen ein.

Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Zeitpunkt 3	Zeitpunkt 4
			entfällt
Zeitpunkt 5	**Zeitpunkt 6**	**Zeitpunkt 7**	**Zeitpunkt 8**
			entfällt

Durch genauere Messungen konnten Physiker die folgende Lichtkurve eines Exoplaneten aufnehmen. Ordne den markierten Stellen im Diagramm die Positionen des Exoplaneten im Experiment zu.

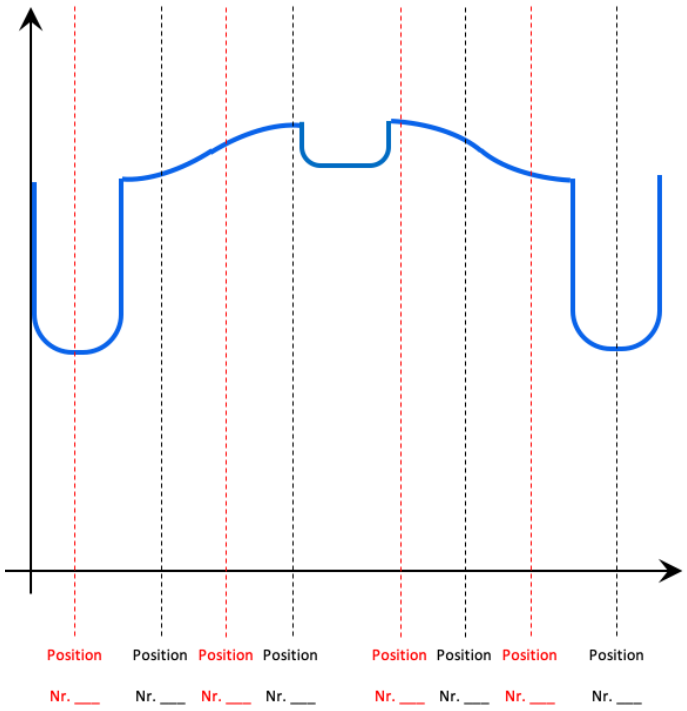


Abbildung 22: Lichtkurve unter Berücksichtigung des Rückstrahlvermögens.

Erkläre, warum in der Mitte des Diagramms eine Verringerung der Helligkeit messbar ist. Bei welcher der folgenden Exoplaneten-Oberflächen ist dieser Helligkeitseinbruch am größten?

„Schneeball-Exoplanet“, Exoplanet mit dunkler Oberfläche, Exoplanet mit grüner Oberfläche

Begründe deine Antwort!

Erkläre, wie sich mit Hilfe des Diagramms das Rückstrahlvermögen des Exoplaneten bestimmen lässt.

Tempoaufgabe:
Vor 635 Millionen Jahren war die Erde wie ein riesiger Schnellball deren Eis auch die intensive Sonneneinstrahlung nicht schmelzen lassen konnte. Nenne Vermutungen, warum das Eis dennoch nach 15 Millionen Jahren verschwand und sich Leben entwickeln konnte.

Hinweis: Denke an den Treibhauseffekt.

Mit den Unterrichtsmaterialien in diesem Arbeitsheft erarbeiten Schülerinnen und Schüler in Analogieexperimenten, wie Physiker in den Weiten des Weltalls auf die spannende Suche nach Leben gehen.

Inhalte: Transitmethode, Atmosphäre eines Exoplaneten, Temperatur auf einem Exoplaneten (inklusive Berücksichtigung von Treibhauseffekt, Atmosphärendruck und Rückstrahlvermögen), gefährliche Strahlung.

Die Materialien wurden ursprünglich für das Schülerlabor der Universität zu Köln erarbeitet. Sie können jedoch auch im regulären Unterricht z.B. im Rahmen eines Stationenlernens genutzt werden.