

Die Suche nach der zweiten Erde

In Bezug auf die Nachricht „Wie viele Sterne haben Planeten?“ in »Sterne und Weltraum« 3/2013

Oliver Debus

In den letzten Jahren haben die beiden Weltraumteleskope CoRoT und Kepler zahlreiche neue Planeten bei anderen Sternen entdeckt. Welche Schwierigkeiten bei der Suche nach Planeten zu bewältigen sind, können Schüler der Mittelstufe mit dem folgenden Material erarbeiten. Mit kleinen Versuchen werden astronomische Begriffe wie Helligkeit und Helligkeitsschwankung und andere für das Verständnis der Transitmethode wichtige Grundlagen verdeutlicht.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Planeten, Sterne	Exoplaneten, Transit, Bedeckungsveränderliche, scheinbare Helligkeit, Weltraumteleskop Kepler
Lehre allgemein	Kompetenzen (Wissen und Erkenntnis), Unterrichtsmittel	Lesekompetenz, Recherche, Beobachtung, Helligkeitsschätzung, Modellbeschreibung, Arbeitsaufträge, Video zum Modelleperiment

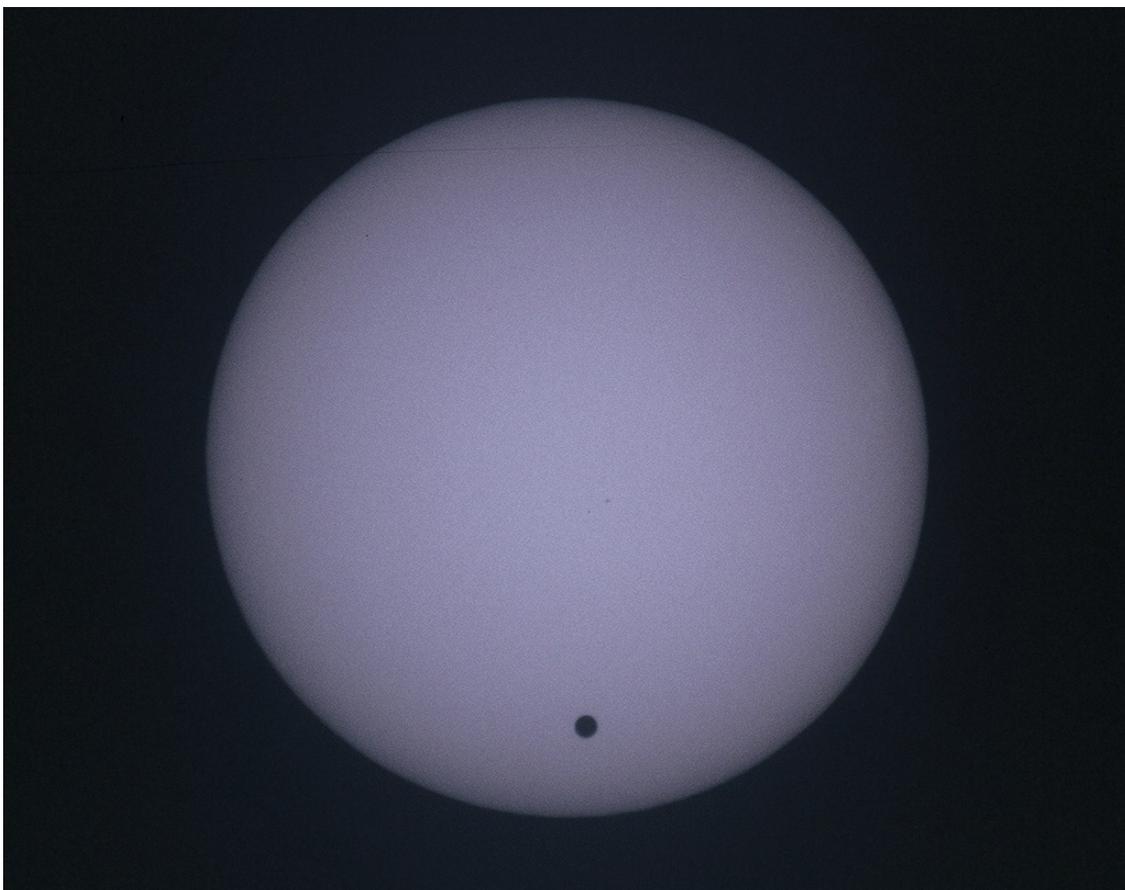


Abbildung: Der Planet Venus vor der Sonne, während des Venustransits am 08. Juni 2004

Suche nach der zweiten Erde

Fremde Planetensysteme, außerirdische Lebensformen oder gar Raumfahrer von anderen Welten. In der Science Fiction sind sie fester Bestandteil der Geschichten. Mal sind sie uns gegenüber freundlich und arbeiten mit uns zusammen, mal trachten sie danach, die Menschheit zu vernichten. Doch ist das alles nur Fantasie oder gibt es sie wirklich? Eine spannende Frage, auf die es bis heute noch keine Antwort gibt.

Zwar galt es unter Astronomen schon lange als klar, dass auch andere Sterne von Planeten umkreist werden, aber erst 1992 wurde der erste extrasolare Planet entdeckt. Allerdings umkreist dieser Planet mit mehrfacher Masse des Jupiters einen Pulsar. Seitdem wurden mehr und mehr Planeten außerhalb unseres Sonnensystems entdeckt.

Allein das Weltraumteleskop Kepler hat seit 2009 etwa 2740 Planetenkandidaten entdeckt. Unter diesen sind 351 der Erde ähnliche Planeten, von denen sich etwa 50 Planeten in der so genannten habitablen Zone um ihren Stern befinden. Möglich, dass es auf diesen Planeten flüssiges Wasser geben kann, wenn eine Atmosphäre vorhanden ist und sich dort auch Leben entwickelt haben könnte. Doch bis man dies bestätigen kann, wird noch einige Zeit vergehen.

Planetenentdeckung ist schwer

Die Suche nach Planeten ist nicht so einfach, wie man vielleicht denken mag. Die großen Monde des Jupiters kann man bereits in einem kleinen Fernrohr sehen. Das liegt vor allem daran, dass Jupiter mit einem Abstand von 600 bis 900 Millionen Kilometern (mittlerer Abstand zur Sonne etwa 750 Millionen Kilometer oder ca. 5 Astronomische Einheiten) uns vergleichsweise nahe steht.

Der nächste Stern, Proxima Centauri, ist mit gut 38 Billionen Kilometern (knapp 4 Lichtjahre) mehr als 50.000-mal weiter von uns entfernt als Jupiter. Die Sterne, bei denen man zum Beispiel mit dem Kepler-Teleskop nach Planeten sucht, sind noch einmal bis zu 1000-fach weiter von uns entfernt.

Sterne (außer der Sonne) werden im normalen Teleskop punktförmig abgebildet. Die Planeten sind nun noch viel kleiner, und sie reflektieren nur das Licht ihrer Muttersterne. Deshalb sind sie gegenüber ihrem Stern viel zu dunkel als dass man sie im Fernrohr erkennen könnte. Man braucht schon gewaltige Teleskope, wie das Very Large Telescope (VLT) der Europäischen Südsternwarte ESO und modernste digitale Aufnahmeverfahren, um große Planeten bei anderen Sternen direkt sichtbar zu machen. Für den Nachweis kleinerer Planeten, vor allem für nur erdgroße Planeten benötigt man andere, indirekte Beobachtungsverfahren.

Bei den indirekten Beobachtungsverfahren ist der Planet nicht selber sichtbar, aber er verrät sich zum Beispiel durch seine Anziehungskraft, die er auf den Stern ausübt. So dreht sich ein Planet genau genommen nicht um seinen Stern, sondern um den gemeinsamen Schwerpunkt Planet-Stern. Diesen Effekt nutzen sowohl die Astrometriemethode wie auch die Radialgeschwindigkeitsmethode.

Bei der Astrometriemethode beobachtet man eine leichte Pendelbewegung des Sterns relativ zum Sternhintergrund. Aus dieser Bewegung kann man auf die Masse des Begleiters schließen.

Die Radialgeschwindigkeitsmethode nutzt den von der Akustik bekannten Doppler-Effekt. Man beobachtet das Spektrum der Sterne. Sternspektren weisen je nach Spektraltyp dunkle Linien auf. Die Absorptionslinien werden von den in der äußeren Sternatmosphäre auftretenden Elementen verursacht. Jedes Element schluckt Licht bei ganz bestimmten Wellenlängen, die für das Element charakteristisch sind. Hat ein Stern einen Begleiter, dann dreht er sich um den gemeinsamen Schwerpunkt. Schauen wir in Richtung dieser Bewegung, dann sehen wir den Stern einmal auf uns zukommen und einmal sich von uns weg bewegen. Diese Bewegung macht sich im Sternspektrum durch Verschiebung der Absorptionslinien bemerkbar. Bewegt sich der Stern auf seiner Bahn auf uns zu, so werden die Linien ins Blaue, also in den kurzwelligen Bereich des Spektrums verschoben. Bewegt sich der Stern von uns weg, dann verschieben sich die Linien in den langwelligen Bereich, wir beobachten eine Rotverschiebung. Die Stärke dieser Verschiebung lässt wieder Rückschlüsse auf die Masse des Begleiters des Sterns zu.

Die Transitmethode

Die Methode mit der das Weltraumteleskop Kepler bei anderen Sternen nach Planeten sucht, wird Transitmethode genannt. Bei dieser Methode wird die Sternhelligkeit gemessen. Jeder Stern hat eine von seiner Leuchtkraft und seiner Entfernung abhängige scheinbare Helligkeit, die wir messen.

Angegeben wird die Helligkeit der Gestirne in Größenklassen (Magnituden m). Diese Helligkeitseinteilung wurde bereits im Altertum eingeführt. Vereinfachend kann man sagen, dass die hellsten für uns sichtbaren Sterne eine Helligkeit von 0. Größe (0^m) haben. Die schwächsten gerade noch sichtbaren Sterne sind Sterne 6. Größe.

Bei der Transitmethode wird nun die Helligkeit eines Sterns gemessen nicht nur einmal, sondern in kurzen Zeitabständen immer gemessen, um Helligkeitsveränderungen aufzuspüren. Diese Vorgehensweise kennt man von den Veränderlichen Sternen, die man grob in physikalisch Veränderliche und Bedeckungsveränderliche unterteilt. Beide Typen weisen je nach Art ganz charakteristische Lichtkurven auf.

Besonders die Bedeckungsveränderlichen zeigen uns, wonach wir suchen. Hier sehen wir zwei oder mehr Sterne, die um einen gemeinsamen Schwerpunkt kreisen und sich so immer nach einer bestimmten Zeit gegenseitig bedecken. Wir sehen dann eine Verminderung der Sternhelligkeit. Ein sehr bekannter Bedeckungsveränderlicher am nördlichen Himmel ist der Stern Algol im Sternbild Perseus. Die Helligkeit von Algol nimmt etwa alle 2,9 Tage um gut 1,2 Größenklassen ab. Das ist eine Helligkeitsänderung, die wir mit bloßem Auge sehen können.

Als Transit bezeichnen die Astronomen den Durchgang der inneren Planeten des Sonnensystems vor der Sonne oder eines Exoplaneten vor seinem Mutterstern.

„Heimatliche“ Transits konnte man 2003 von Merkur und sowohl 2004 als auch 2012 von der Venus beobachten. Anders als bei einer Sonnenfinsternis bleiben diese Transits weitgehend unbemerkt, da kaum eine Veränderung der Helligkeit der Sonne zu beobachten ist. Die Helligkeitsschwankungen betragen nur wenige Prozent. Dies zeigt, welchen Herausforderungen an die Messtechnik die Astronomen bei dieser Methode zu bewältigen haben.

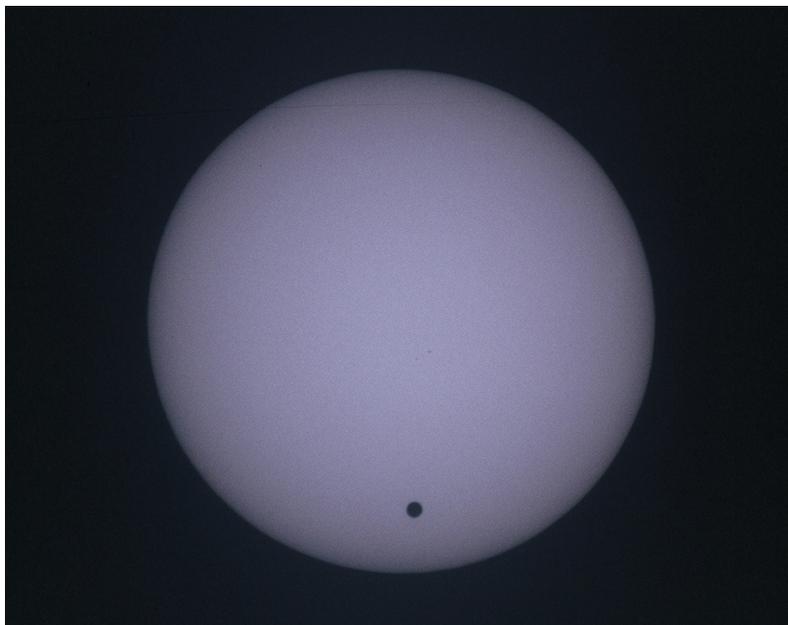


Abbildung 1: Der Planet Venus vor der Sonne, während des Venustransits am 08. Juni 2004 Bild: O. Debus

Auf Abbildung 1 sieht man die Venus als dunkle Planetenscheibe vor der hellen Sonnenscheibe während des Venustransits am 8. Juni 2004. Auch wenn die Venus bei diesem Transit nur etwa 44 Millionen Kilometer von der Erde entfernt war, zeigt das Bild, wie klein das Venusscheibchen gegenüber der Sonne ist und lässt erahnen, wie winzig die durch die Venusbedeckung verursachte Minderung der Sonnenhelligkeit war.

Was Kepler misst

Das Kepler-Teleskop betrachtet dauerhaft einen Ausschnitt des Sternhimmels zwischen den Sternbildern Schwan und Leier. So ist es möglich, die in dem Bereich liegenden Sterne ständig zu beobachten. Dabei werden die Größe der Helligkeitsschwankungen und die Zeit oder Periode, in der sie auftreten, gemessen. Aus der Periode können die Astronomen die Umlaufzeit der Planeten und über das 3. Keplergesetz deren Abstand zu ihrem Zentralgestirn bestimmen. Aus dem Abstand und der Größe der Helligkeitsschwankung lässt sich der Durchmesser der Planeten bestimmen.

Das Keplerteleskop kann nur Planeten entdecken, deren Bahnen so liegen, dass wir etwa in die Bahnebene schauen. Planeten mit anderen Bahnneigungen bleiben für uns unsichtbar.

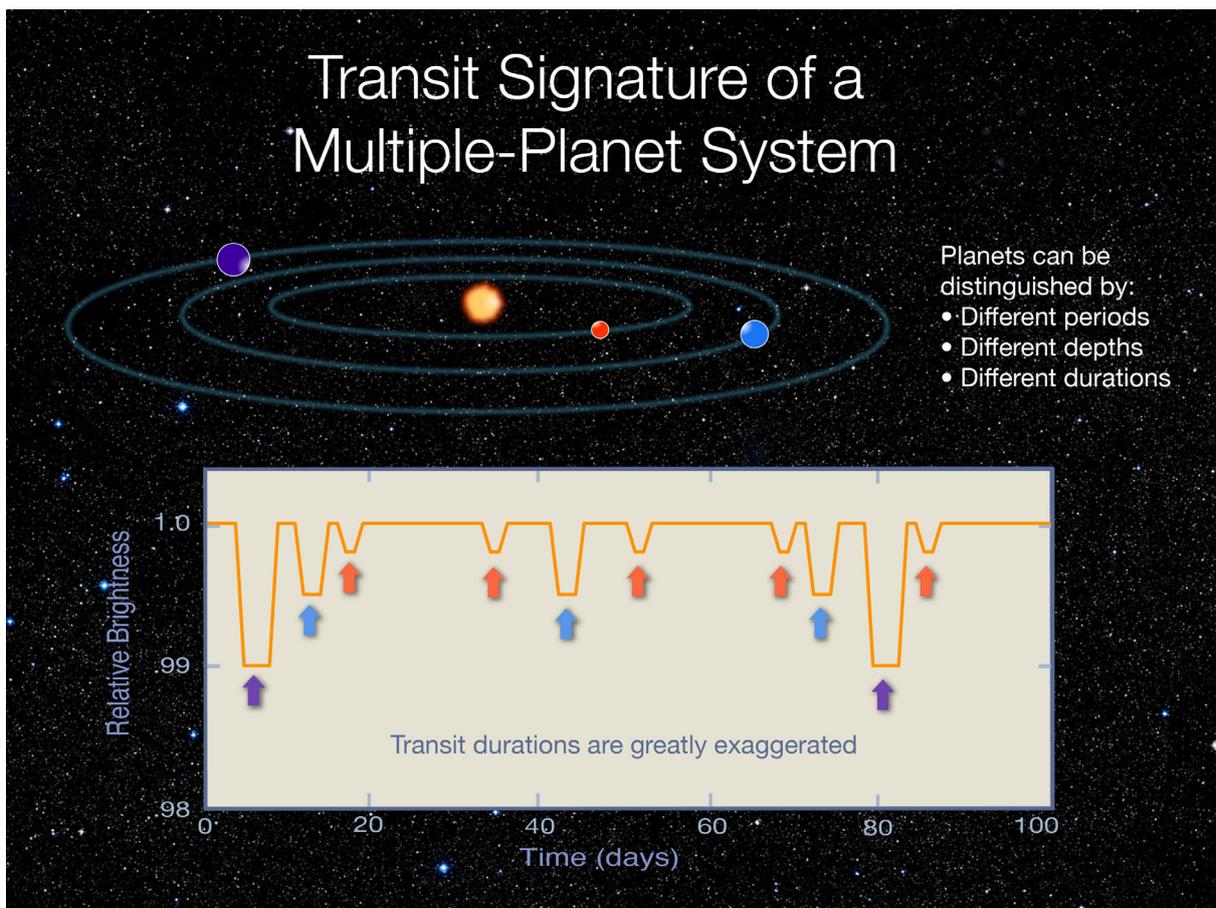


Abbildung 2: Beispiel einer Lichtkurve eines Sterns mit mehreren Planeten, Quelle NASA

Abbildung 2 zeigt, wie die Lichtkurve eines Sterns mit drei Planeten aussieht, die sich in Größe und Abstand unterscheiden. Der Planet mit dem kleinsten Abstand dunkelt den Stern am häufigsten ab. Die geringe Helligkeitsschwankung lässt auf einen Planeten mit geringem Durchmesser schließen.

Das Planetensystem Kepler 11

Der Stern Kepler-11 ist ein sonnenähnlicher Stern im Sternbild Schwan. Er steht in einer Entfernung von ca. 2000 Lichtjahren und hat eine Helligkeit von 14,2 Größenklassen. Es handelt sich um einen Stern der Spektralklasse G. Seine Radius und seine Masse entsprechen etwa der der Sonne. Seine Oberflächentemperatur ist mit 5680 ± 100 K, beinahe genauso hoch wie die der Sonne.

Abbildung 3 zeigt die Lichtkurve, die das Keplerteleskop von dem Planetensystem Kepler 11 gemessen hat. Aus den gemessenen Perioden lassen sich die Umlaufzeiten der Planeten bestimmen und mit dem 3. Keplerschen Gesetz kann man die Abstände bestimmen. Aus dem Abstand und der Helligkeitsdifferenz ergeben sich die Radien der Planeten. Die einzelnen Daten für die Planeten kann man Tabelle 1 entnehmen.

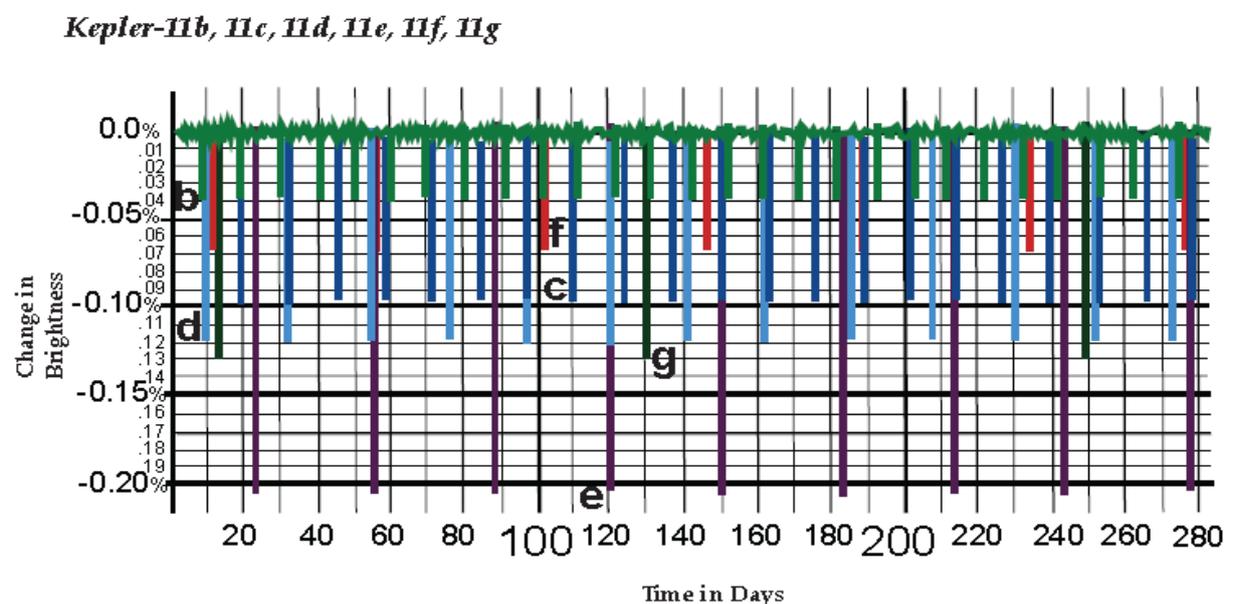


Abbildung 3: Von Kepler gemessene Lichtkurve des Systems Kepler 11, Quelle NASA

Name	Umlaufzeit	Abstand	Radius in Erdradien
Kepler-11b	10,3 Tage	13.613.406 km	1,97
Kepler-11c	13,03 Tage	15.857.374 km	3,15
Kepler-11d	22,69 Tage	23.786.061 km	3,43
Kepler-11e	32,0 Tage	29.021.987 km	4,52
Kepler-11f	46,69 Tage	37.399.468 km	2,62
Kepler-11g	118,38 Tage	69.114.216 km	3,66

Tabelle 1: Das Planetensystem Kepler-11, Quelle: Wikipedia

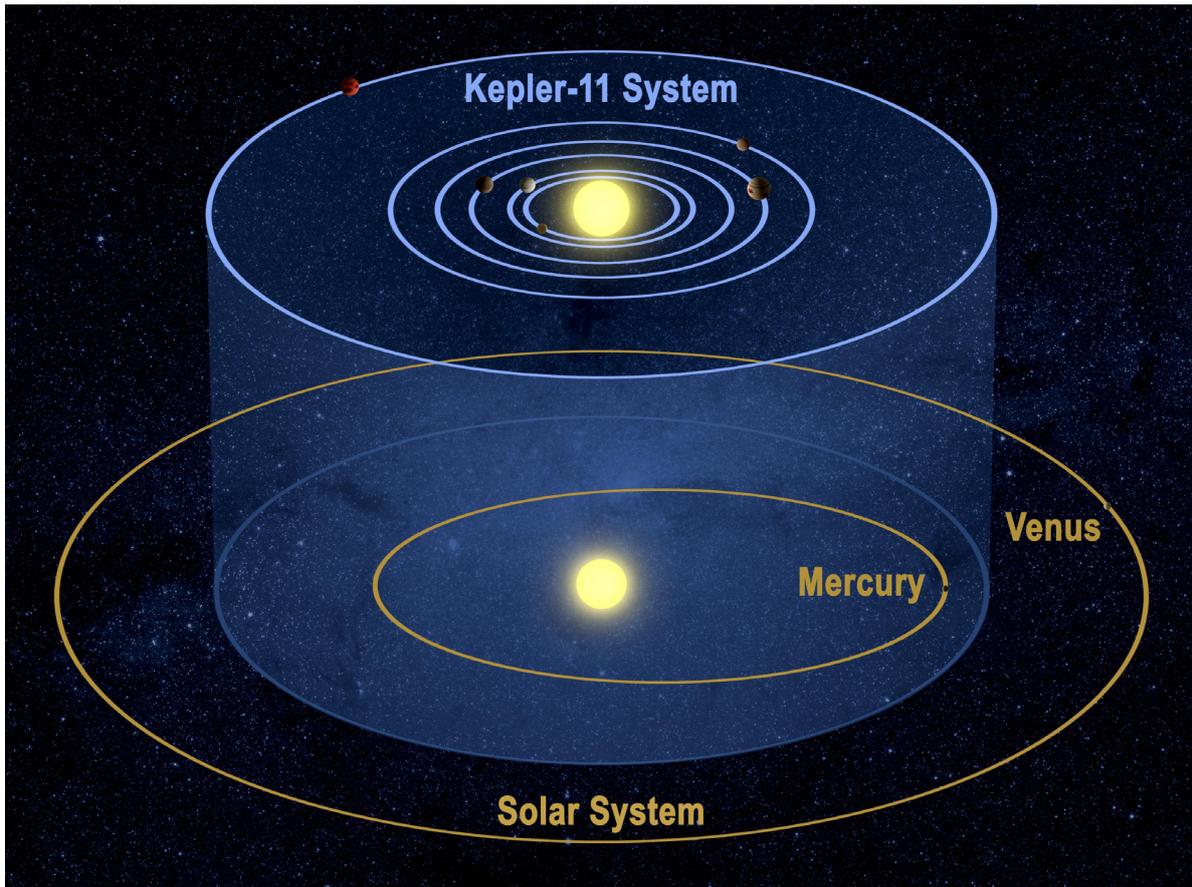
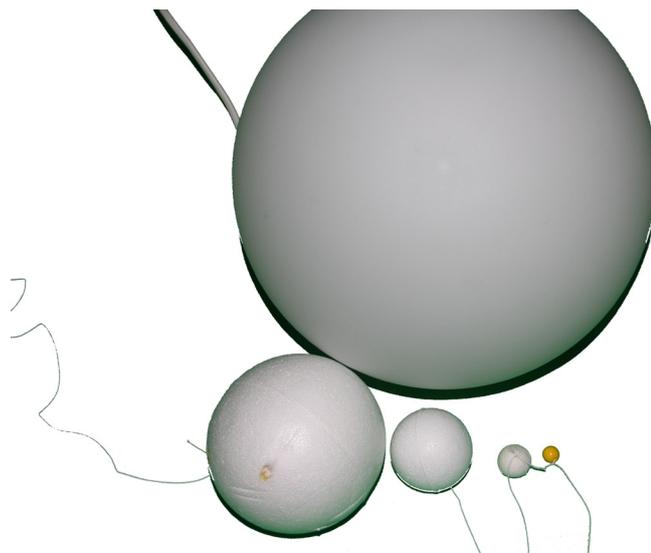


Abbildung 4: Vergleich des Sonnensystem mit dem Planetensystem Kepler 11 (Quelle: NASA).

Zur Verdeutlichung des Begriffs Transit und der Transitmethode bietet sich ein kleiner Versuch an, den die Schüler im Unterricht durchführen können.

Dazu wird eine Kugellampe als Stern und verschieden große Kugel als Planeten benötigt. Empfehlenswert sind Holz- oder Styroporkugeln mit folgenden Durchmessern: Holzkugel 1 cm, Wattekugel 2 cm, Styroporkugel mit 5 cm und 10 cm.

Die Kugeln werden in verschiedenen Abständen vor der Kugellampe bewegt. Die Schüler haben die Aufgabe, als „beobachtende Astronomen“ die Helligkeitsminderung zu beschreiben.



Zu dem hier beschriebenen Modellexperiment finden Sie als Zusatzmaterial ein Video.

Planeten in der habitablen Zone

Von den bisher etwa 351 möglichen erdähnlichen Planeten, die das Kepler-Teleskop entdeckt hat, sollen etwa 50 in der habitablen Zone um ihren Stern sein.

Was bedeutet das genau?

Die habitable Zone um einen Stern gibt einen Bereich um den Stern an in dem auf einem Planeten mit Atmosphäre flüssiges Wasser vorkommen könnte. Der Abstand, den ein Planet dabei von seinem Zentralgestirn haben muss hängt von dem Spektraltyp des Sterns ab.

Die folgende Tabelle listet die Spektralklassen der Sterne mit den wichtigsten Eigenschaften unter anderem der Oberflächentemperatur auf.

Spektralklasse	Farbe	Temperatur in Kelvin	Masse in Sonnenmassen
O	blau	30.000 - 60.000	60
B	blau-weiß	10.000 - 28.000	18
A	weiß	7.500 - 9.750	3,2
F	weiß-gelb	6.000 - 7.500	1,7
G	gelb	5.000 - 5.900	1,1
K	orange	3.500 - 4.850	0,8
M	rot-orange	2.000 - 3.350	0,3

Die Oberflächentemperatur eines Sterns beeinflusst im ganz erheblichen Maße wie weit ein Planet vom Stern weg sein muss, damit er in der habitablen Zone liegt. Im Sonnensystem liegen die Erde und auch der Mars innerhalb der habitablen Zone um die Sonne. Das ein Planet in dieser Zone liegt ist nicht gleichzeitig ein Indiz dafür, dass es auf ihm flüssiges Wasser gibt und sich auf ihm Leben entwickeln kann. Dazu braucht er Planet eine geeignete Atmosphäre. Ob der Planet eine Atmosphäre halten kann und wie diese beschaffen ist, hängt wiederum von der Größe und der Masse des Planeten ab.

Zukünftige Missionen bei denen man die Atmosphären bei extrasolaren Planeten mittels Spektralanalyse untersuchen würde, könnten das Vorhandensein von Wasser und anderen für das Leben wichtige Verbindungen nachweisen.

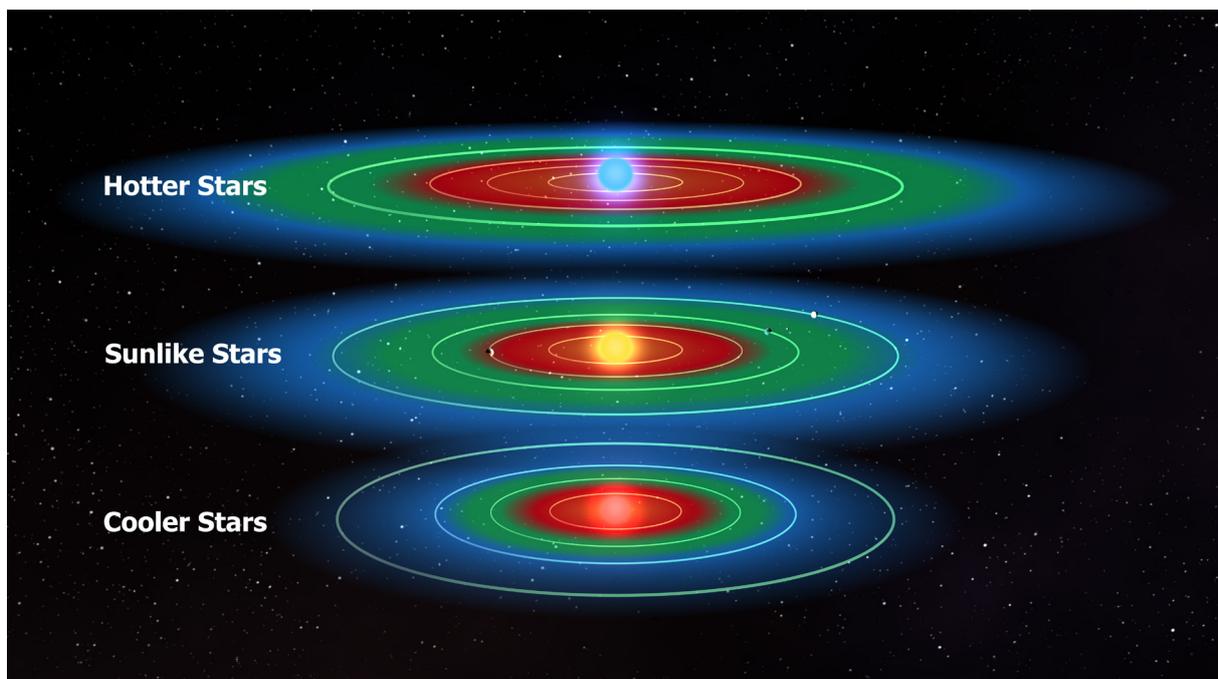


Abbildung 5: Vergleich der Lage der habitablen Zone um Sterne verschiedener Spektralklassen

Arbeitsaufträge

Im Folgenden sind einige Arbeitsaufträge, in den die Schüler die Thematik erarbeiten können. Die Aufträge sollten von kleinen Schülergruppen bearbeitet werden.

Arbeitsblatt1: Beobachtungsauftrag zur Abschätzung der Sternhelligkeiten um den Polarstern.

Die Schüler sollen versuchen, in einer klaren Nacht die Helligkeiten der Sterne rund um den Polarstern abzuschätzen. Der Polarstern selbst hat eine Helligkeit der 2. Größenklasse. Diese Aufgabe soll den Schülern ein Gespür vermitteln, wie schwierig die Abschätzung der Helligkeiten ist.

Arbeitsblatt2: Planeten in der habitablen Zone.

Die Schüler sollen sich über die Begriffe Spektralklasse und habitable Zone informieren und die verschiedenen Fragen beantworten.

Arbeitsblatt3: Wie kann man auf anderen Planeten Zivilisationen nachweisen?

Die Schüler sollen sich über Spektralanalyse und Sternspektren informieren und Ideen entwickeln, wie man mit der Transitmethode und der Spektralanalyse die Atmosphären von Planeten untersuchen kann und wie man so Leben oder gar Zivilisationen nachweisen könnte. Hierzu ist es wichtig, die Schüler auf die Zusammensetzung der irdischen Atmosphäre hinzuweisen und auch darauf, wie die menschliche Zivilisation diese verändert hat. Thema Luftverschmutzung.

Weiterführendes Material:

Internet:

<http://kepler.nasa.gov/>, Webseite der Keplermission

<http://kepler.nasa.gov/multimedia/animations/>, Animationen zur Vertiefung

<http://kepler.nasa.gov/multimedia/artwork/diagrams/>, Diagramme und Poster zur Vertiefung

http://de.wikipedia.org/wiki/Kepler_%28Weltraumteleskop%29, mehr über die Keplermission

Zusatzmaterial bei WIS:

Video zum Transit-Modellexperiment

Arbeitsauftrag 1

Bestimmung der scheinbaren Helligkeit der Sterne im Gebiet des Polarsterns

Aufgabe:

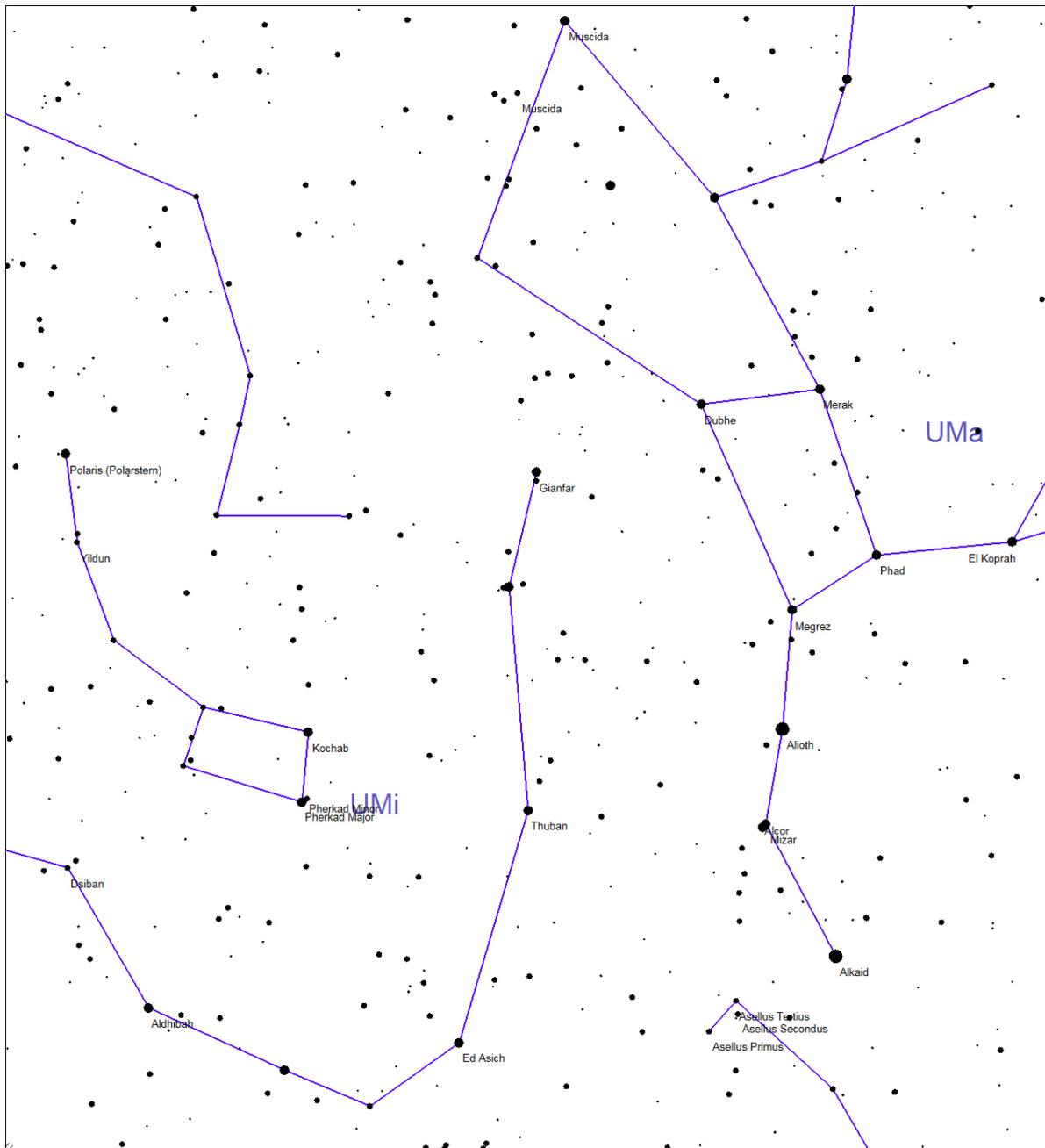
Versucht, die scheinbaren Helligkeiten von hellen Sternen im Gebiet des Polarsterns (siehe Tabelle und Aufsuchkarte unten) abzuschätzen. Tragt eure Schätzungen in die Tabelle ein. Verwendet ganze Größenklassen und kontrolliert eure Schätzung später anhand der Karte mit den Helligkeitsangaben.

Hinweise:

Die hellste Stern im Kartengebiet ist Alioth mit einer scheinbaren Helligkeit von $m = 1,7^m$. Die schwächsten mit bloßem Auge noch sichtbaren Sterne haben die 6. Größe.

Sternname	scheinbare Helligkeit in Größenklassen	
	geschätzt	abgelesen (Kontrolle)
Sternbild Große Bärin		
Dubhe		
Merak		
Phad		
Megrez	3,3	3,3
Alioth	1,7	1,7
Mizar		
Alcor		
Alkaid		
ElKoprah		
Muscida		
Sternbild Kleine Bärin		
Polarstern / Polaris		
Yildun		
Kochab		
Pherkad Major		
Sternbild Drache		
Gianfar		
Thuban		
Ed Asich		

Aufsuchkarte (erstellt mit Redshift)



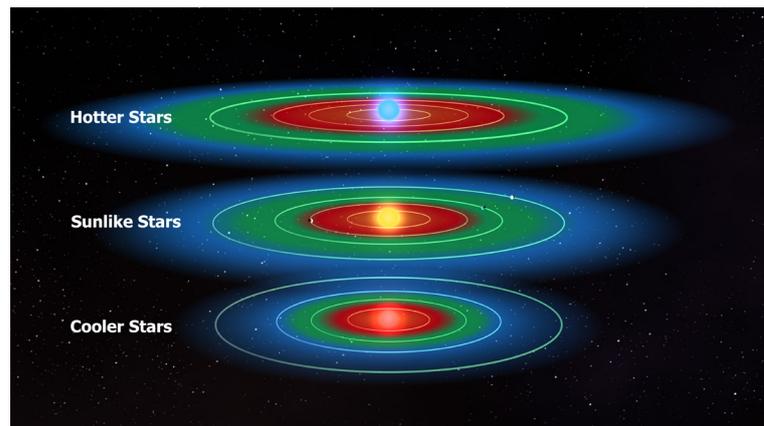
Arbeitsauftrag 2

Planeten in der habitablen Zone um einen Stern

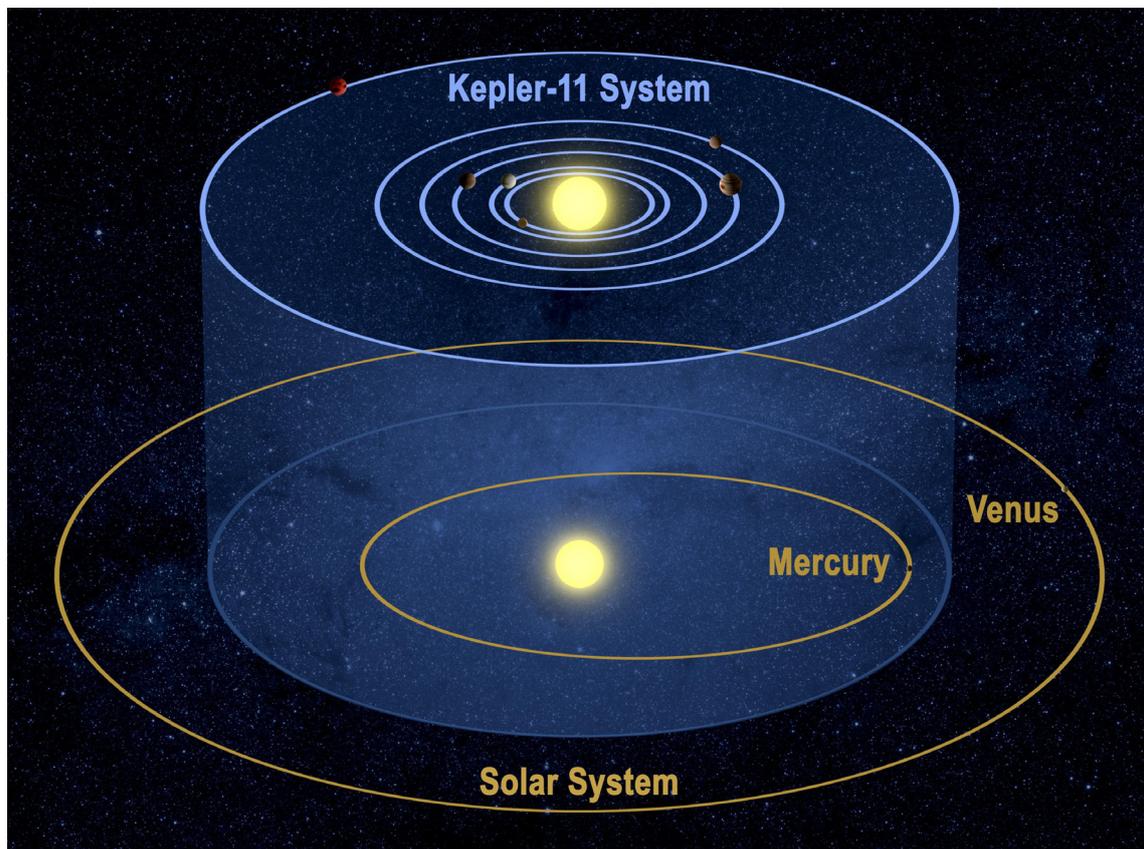
Das Keplerteleskop hat gut 351 erdähnliche Planeten entdeckt. 50 davon sollen in einem Bereich um deren Zentralsterne liegen, die als habitable Zone bezeichnet wird.

Sucht euch Informationen zu den Stichworten ‚Spektralklasse‘ und ‚habitable Zone‘ (z.B. bei Wikipedia). Diskutiert folgende Fragen:

1. Was versteht man unter dem Begriff ‚habitable Zone‘?
2. Ist der Abstand der habitablen Zone um jeden Stern gleich?
3. Von welcher Eigenschaft der Sterne hängt der Abstandsbereich der habitablen Zone ab?
4. Erklärt mit der unten stehenden Grafik, wie sich die Lage der habitablen Zone um einen Stern zum Sternotyp verhält.



5. Gibt es Planeten im System Kepler-11, die in der habitablen Zone um den Stern Kepler-11 liegen? Begründet dies.



Arbeitsauftrag 3

Wie kann man auf anderen Planeten Zivilisationen nachweisen?

Bei der Transitmethode werden Planeten dadurch entdeckt, dass sie vor dem Stern vorbei laufen und dessen Licht ein wenig abschwächen. Wenn ein Planet eine Atmosphäre hat, muss das Licht des Sterns dann diese dabei für einen kurzen Zeitraum durchqueren.

Versucht, euch eine Möglichkeit zu überlegen, wie man auf diese Weise die Atmosphäre eines Planeten untersuchen kann. Bestände die Möglichkeit, auf diese Weise eine Zivilisation auf einem anderen Planeten zu entdecken?

Versucht zu beschreiben, wie dies möglich wäre.

Hinweis:

Sucht euch Informationen zu den Stichworten Spektralanalyse und Sternspektren.