

## Mit "CoRoT" und "Kepler" auf der Suche nach einer zweiten Erde

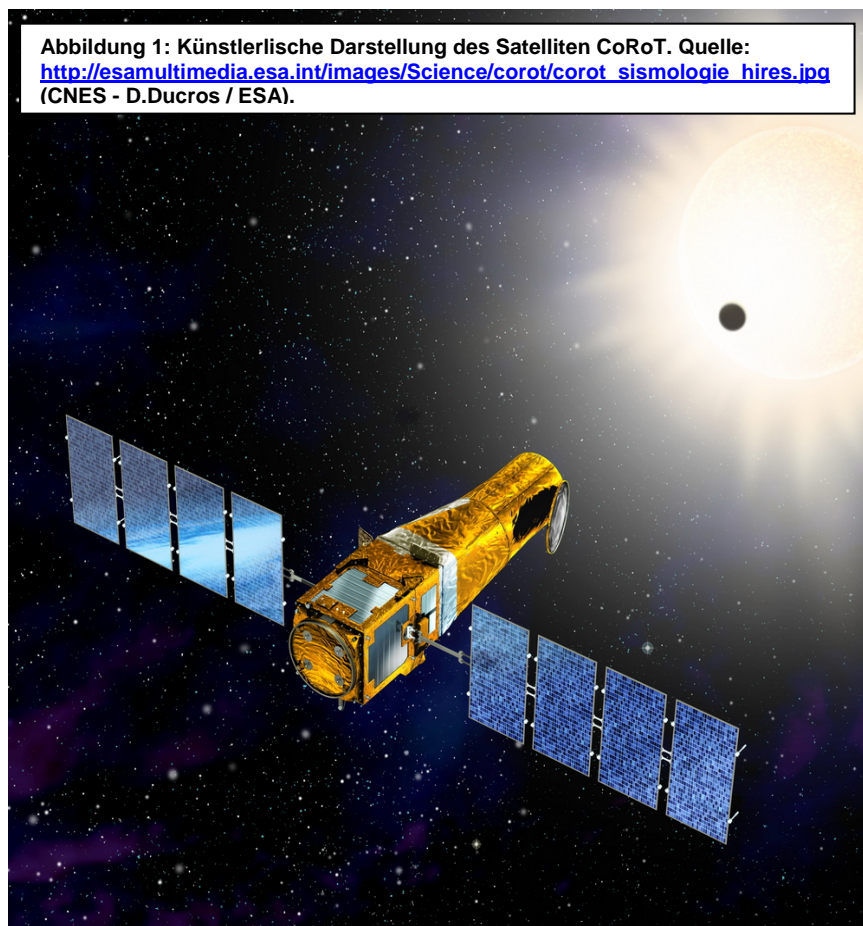
Michael Geffert

Da unsere Sonne ein normaler Stern ist, lag es nahe, zu vermuten, dass es bei anderen Sternen auch Planeten gibt. Astronomen haben in den letzten Jahren enorme Fortschritte bei der Entdeckung solcher Planeten gemacht. Was wissen wir heute von diesen Objekten und wie kann man die Parameter der Exoplaneten bestimmen?

Immer wieder erscheinen in den Nachrichten Berichte über die Entdeckung einer weiteren Erde im Weltall. In Gedanken sind dann einige Menschen vielleicht auch schon dabei, Ihre Koffer zu packen, falls unsere Erde einmal unbewohnbar werden sollte. Es ist vielleicht einmal interessant zu überlegen, ob das überhaupt eine realistische Perspektive ist?

In diesem Beitrag wollen wir uns mit den Planeten bei anderen Sternen auseinandersetzen und einen Blick auf die zwei Forschungsmissionen CoRoT und Kepler werfen, die sich intensiv mit der Suche nach Planeten bei anderen Sternen beschäftigen.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Astropraxis, Planeten	Exoplaneten, Planetensystem, Entfernungen im Weltall
Physik	Mechanik	3. keplersches Gesetz
Fächer- verknüpfung	Astro-Mathematik	Strahlensatz, Winkel, Gleichungen
Lehre allgemein	Kompetenzen (Wissen und Erkenntnis), Unterrichtsmittel	Bilder auswerten, Lesekompetenz, Umformen von Gleichungen und Berechnen von Größen aus Formeln, Auswerten von Ergebnissen nach einfachen Verfahren, Beschreiben von Bezügen zu Natur und Technik



## Die Größe der Sterne auf den Himmelsaufnahmen

Eines der größten Probleme der Astronomie besteht darin, dass die meisten Objekte, die man am Nachthimmel beobachten kann, zunächst nur als Punkte wahrnehmbar sind. Aufgabe der Astronomen ist es, durch unterschiedlichste Methoden die wahre Natur der Objekte zu ermitteln. So sehen für einen Beobachter ohne Fernrohr auf den ersten Blick Sterne und Planeten völlig gleich aus. Planeten wurden als "besondere Sterne" auch erst dadurch identifiziert, weil sie nach kurzer Zeit ihren Ort gegenüber den anderen Sternen veränderten. So entstand der Begriff "Wandelstern" oder als Fremdwort unser mehr geläufiges Wort "Planet".

Als vor 400 Jahren das Fernrohr der Astronomie zu einem ungeheuren Aufschwung verhalf, konnte man bei der Beobachtung der Planeten statt der Lichtpunkte jetzt kleine Scheibchen sehen und sogar Einzelheiten auf den Oberflächen der Planeten erkennen. Bei den Sternen aber blieb es bis heute dabei: Auch mit einem großen Fernrohr betrachtet bleiben sie in den meisten Fällen Lichtpunkte, die nichts von ihrer Struktur an der Oberfläche verraten. Als Friedrich Bessel in Königsberg 1838 die erste Entfernung (Parallaxe) eines Sterns bestimmte, wurde auch klar, warum das so ist. Mit mehr als 40 Billionen Kilometern sind selbst die riesigen Sterne einfach zu weit weg!

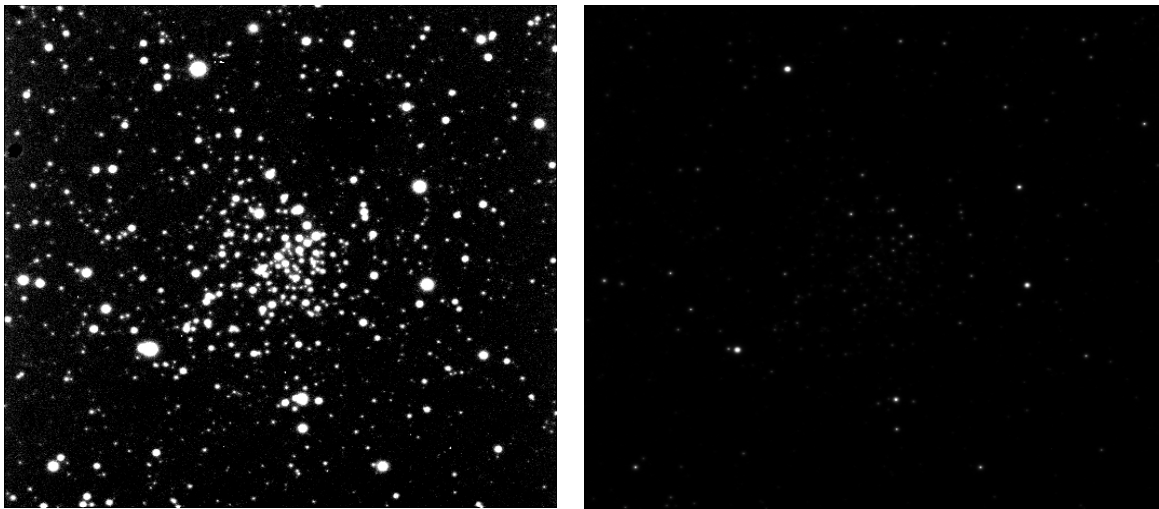


Abbildung 2: Der offene Sternhaufen NGC 6939. Es handelt sich bei den Bildern um die gleiche Aufnahme im verschiedenen Darstellungen. Achte auf die Größe der Sternbilder. Auf dem linken Bild scheint es große und kleine Sterne zu geben. Das rechte Bild zeigt, dass die vermeintlich großen Sterne auch klein erscheinen können, wenn man die Art der Darstellung verändert. Die Größe der Sternbilder auf dem linken Bild sagt also nichts über die wahre Größe der Sterne aus! (Quelle: Observatorium Hoher List, Schülerlabor Küstner)

Allerdings führt die Unruhe der Luft dazu, dass alle Sternbilder auf den Aufnahmen doch eine gewisse Ausdehnung haben, die aber nichts mit der eigentlichen Größe der Sterne zu tun hat. Sie liegt in der Größenordnung von einer Bogensekunde (Hier muss man die bekannte Gradskala für Winkel erweitern: 1 Grad hat 60 Bogenminuten oder 3600 Bogensekunden) und hat ihre Ursache in den Bewegungen der Luftschichten, durch die das Sternlicht auf die Erde kommt. Diese Luftunruhe verbreitert alle Sterne in gleicher Weise und stellt erst einmal auch eine Grenze für die Schärfe aller erdgebundenen Beobachtungen dar. Objekte, die am Himmel näher beieinander stehen als eine Bogensekunde, kann man normalerweise vom Erdboden aus nicht mehr getrennt sehen.

**Aufgabe 1:** Betrachtet man einen Stab von 50 cm Länge aus einer Entfernung von 100 km, so sieht man ihn unter einem Winkel von einer Bogensekunde. Ermittle durch den Strahlensatz, wie groß die Entfernung eines Planeten beim Stern 51 Pegasi sein muss, damit man ihn noch vom Stern getrennt sehen kann. 51 Pegasi war der erste Stern, bei dem man einen Planeten entdeckt hat. Er ist 50 Lichtjahre von der Sonne (Erde) entfernt. Fertige eine Zeichnung an! (Erinnerung: ein Lichtjahr ist die Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegt und beträgt etwa 10 Billionen Kilometer). Rechne das Ergebnis in Astronomische Einheiten (mittlerer Abstand Erde - Sonne) um (1 AE = 1 Astronomische Einheit = 150.000.000 km) und vergleiche mit unserem Sonnensystem.

## Wie man Planeten bei anderen Sternen findet - die indirekten Methoden

Im letzten Kapitel haben wir eine Vorstellung davon bekommen, wie schwierig es ist, Planeten bei anderen Sternen zu entdecken. Eine weitere Schwierigkeit bei der Entdeckung besteht in der enormen Helligkeitsdifferenz zwischen Stern und Planet, der ja nur von seinem Stern angestrahlt wird. Deswegen ist es kein Wunder, dass den Astronomen die Entdeckung der Planeten bei anderen Sternen, den so genannten Exoplaneten, zuerst **indirekt** gelang. Sie verwendeten dazu winzige Änderungen der Position, der Helligkeit oder des Spektrums eines Sterns. An dieser Stelle wollen wir uns nur mit der Methode der Änderung des Sternlichtes beschäftigen.

*Neugierig, wie Astronomen Planeten bei anderen Sternen entdecken? In einem WIS-Beitrag von Olaf Fischer "Wie man Exoplaneten entdecken kann", findest Du alle Methoden im Überblick!*

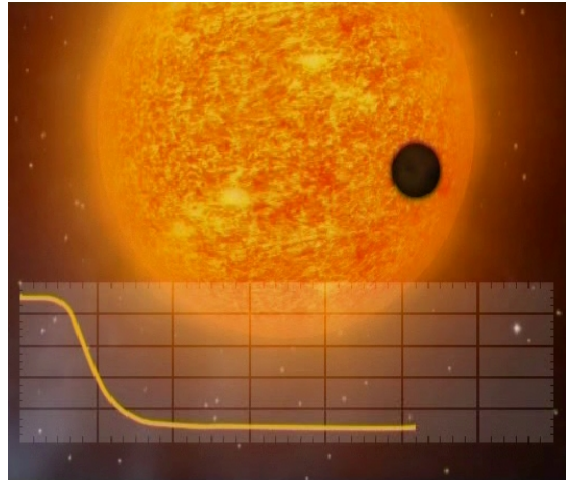


Abbildung 3: Die Transitmethode zur Entdeckung von Planeten (siehe Text). Quelle: [http://esamultimedia.esa.int/images/Science/corot/transit\\_CNES.jpg](http://esamultimedia.esa.int/images/Science/corot/transit_CNES.jpg) (CNES / ESA).

Die Methode, auf die wir uns in diesem Artikel beziehen heißt **Transitmethode** und ist in Abbildung 3 zu sehen. Wenn ein Planet vor seinem Stern herzieht, verdeckt er einen Teil des Sterns und schattet den Stern etwas ab. Im oberen Teil von Abbildung 3 ist ein solcher **Transit** angedeutet. Auf der Erde sieht man von diesem Stern nur einen Lichtpunkt. Wenn man die Helligkeit des Sterns im Laufe der Zeit beobachtet, entsteht die Lichtkurve des Sterns (unterer Teil des Diagramms). Wenn der Planet aber einen Teil des Sterns abschattet, wird dessen Licht für uns insgesamt etwas schwächer und die Kurve fällt ab. Dieses Entdeckungsverfahren funktioniert aber nur bei solchen Planetensystemen, auf die wir fast genau von der Seite aus schauen!

Um Planeten bei anderen Sternen zu entdecken, muss man also das Licht der Sterne über lange Zeit hinweg überwachen und schauen, ob man eine kurzzeitige Änderung der Helligkeit des Sternlichts mit hoher Präzision beobachten kann.



Abbildung 4: Mit Teleskopen, die von der Erde beobachten, kann man wegen der Unterbrechung am Tag keine lückenlose Überwachung von Sternen durchführen. Das Bild zeigt einen Teil des Observatoriums Hoher List des Argelander-Instituts für Astronomie der Bonner Universität.

Das Arbeitsblatt "**Helligkeitsmessungen von Sternen**" gibt einen kleinen Eindruck zur Bestimmung der Helligkeitsänderungen von Sternen.



**Aufgabe 2:** Stelle Dir einen Beobachter in einer Entfernung von 10 Lichtjahren von der Sonne, aber genau in der Planetenebene vor. Für ihn wäre die Sonne nur ein Lichtpunkt. Wie lange müsste er unsere Sonne beobachten, um sicher einen Transit von Jupiter zu beobachten? (Zeichnung?) Ermittle die notwendigen Daten aus dem Internet!

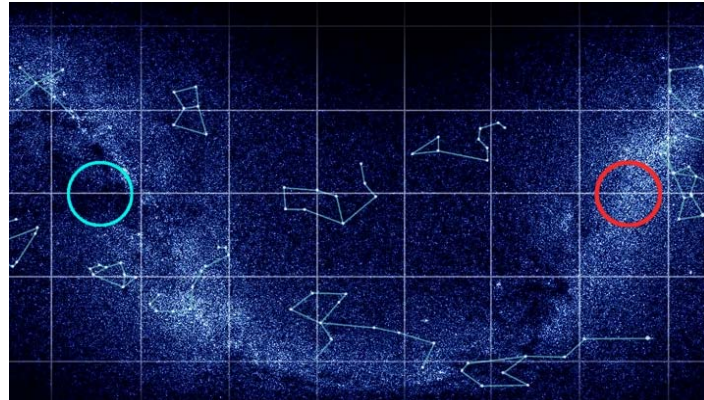


Abbildung 5: In diesen beiden Feldern führt CoRoT eine Langzeitsuche nach Exoplaneten durch.  
Quelle: [http://esamultimedia.esa.int/images/Science/corot/COROT\\_two\\_eyes\\_H.jpg](http://esamultimedia.esa.int/images/Science/corot/COROT_two_eyes_H.jpg) (CNES / ESA)

## Die Missionen CoRoT und Kepler

Wenn wir die Erfahrungen des letzten Kapitels zusammenfassen, kann man sagen, dass man für den indirekten Nachweis von Exoplaneten mittels Transitmethode viele Sterne möglichst über einen langen Zeitraum lückenlos beobachten muss. Man weiß ja eben nicht vorher, ob bei einem Stern ein Transit zu beobachten ist und wann dieser Transit eintritt. Dazu muss man das Licht der Sterne mit hoher Präzision messen. Diese Anforderungen lassen sich am besten mit einem Satelliten erfüllen. Bei CoRoT und Kepler steht die langzeitliche, permanente Beobachtung eines Sternfeldes im Vordergrund.

Der europäische Satellit CoRoT wurde am 27. Dezember 2006 gestartet und beobachtet seit dieser Zeit mit einem Teleskop mit einer Öffnung von 27 cm zwei etwa vier Quadratgrad große Felder, jedes von ihnen etwa 150 Tage ununterbrochen. Bisher hat CoRoT 14 neue Planetensysteme gefunden.

Der amerikanische Satellit Kepler wurde im März 2009 gestartet und beobachtet mit einem Teleskop mit 0,95 m Öffnung ein etwa 10 Quadratgrad großes Feld im Sternbild Schwan. Kepler hat bis heute (Juni 2010) 8 neue Exoplanetensysteme gefunden.

Es wäre aber falsch, den wissenschaftlichen Nutzen dieser beiden Missionen alleine auf die Neuentdeckung von Exoplaneten zu reduzieren! Beide Missionen werden viele zusätzliche wissenschaftliche Ergebnisse liefern, auf die hier nicht eingegangen werden kann. Auch wenn uns die Missionen CoRoT und Kepler nur einen Ausschnitt der möglichen Exoplaneten liefern können, wird man nach Abschluss beider Missionen zum ersten Mal auch etwas Detaillierteres über die Häufigkeit von Exoplaneten erfahren können.

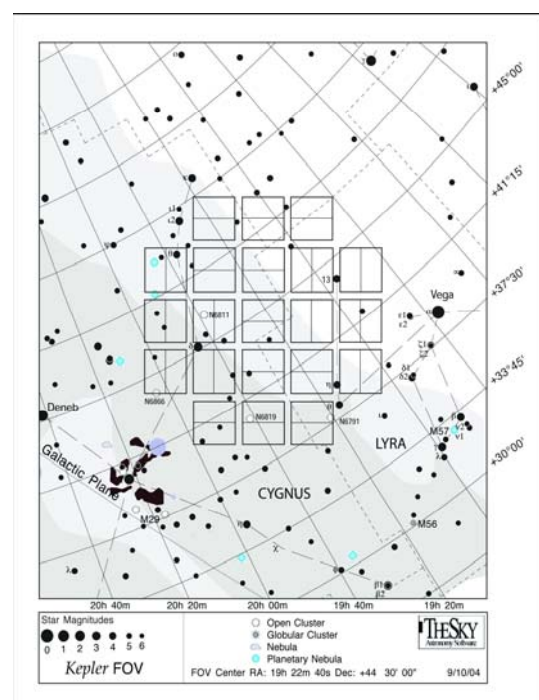
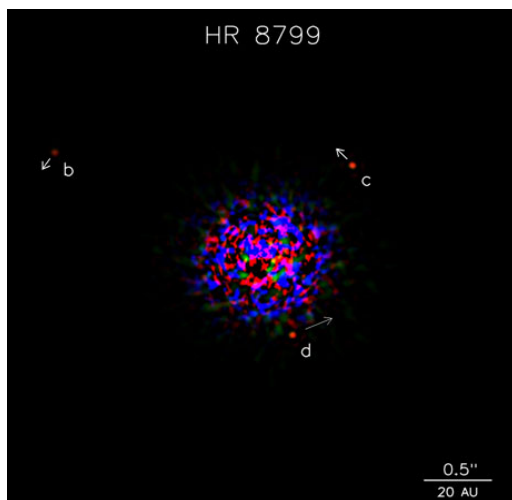


Abbildung 6: Das Feld, das vom Satelliten Kepler untersucht wird  
Quelle: <http://kepler.nasa.gov/multimedia/Images/photogallery/ImageID=12> (NASA / Software Bisque).

## Eigenschaften von Exoplaneten



Auch wenn es den Astronomen seit einiger Zeit gelingt, die ersten Bilder von Planeten bei anderen Sternen aufzunehmen, gilt doch heute (Juni 2010), dass bei den meisten Beobachtungen extrasolarer Planeten die Sterne nur als Punkte und die Exoplaneten gar nicht zu sehen sind. Man fragt sich natürlich, wie es dann möglich ist, überhaupt irgendwelche Eigenschaften von Exoplaneten abzuleiten?

Abbildung 7: Aufnahme von Planeten um den Stern HR 8799 im nahen Infrarotbereich. Dieses Bild ist eine der wenigen Aufnahmen, auf denen man die Exoplaneten direkt sehen kann. Die Pfeile zeigen die Bewegung der Planeten in den letzten vier Jahren. Quelle: [http://keckobservatory.org/images/gallery/press\\_images/231\\_403.jpg](http://keckobservatory.org/images/gallery/press_images/231_403.jpg) (Keck Teleskop, Christian Marois and Bruce Macintosh).

Weitere Informationen über Planeten bei anderen Sternen erhält man über die Anwendung physikalischer Gesetze und/oder ergänzende Beobachtungen (z. B. von der Erde aus). Als ein Beispiel stellen wir uns hier die Frage, wann ein Planet so beschaffen ist, dass auf ihm zum Beispiel Leben entstehen könnte. Nach all dem, was Biologen über die Entstehung von Leben herausgefunden haben, denken wir heute, dass zur Entstehung von Leben flüssiges Wasser nötig ist. Wenn ein Planet zu nahe an seinem Stern ist, wird es auf dem Planeten zu heiß sein, und das Wasser würde verdunsten. Ist der Planet zu weit entfernt, wird das Wasser gefroren sein, so dass auch dort kein Leben entstehen könnte. Um jeden Stern wird es also eine Zone geben, in der Leben entstehen könnte, die so genannte habitable Zone. Sie hängt natürlich auch davon ab, wie viel Energie der Stern an seine Umgebung abgibt, oder anders ausgedrückt, um was für einen Stern es sich handelt.

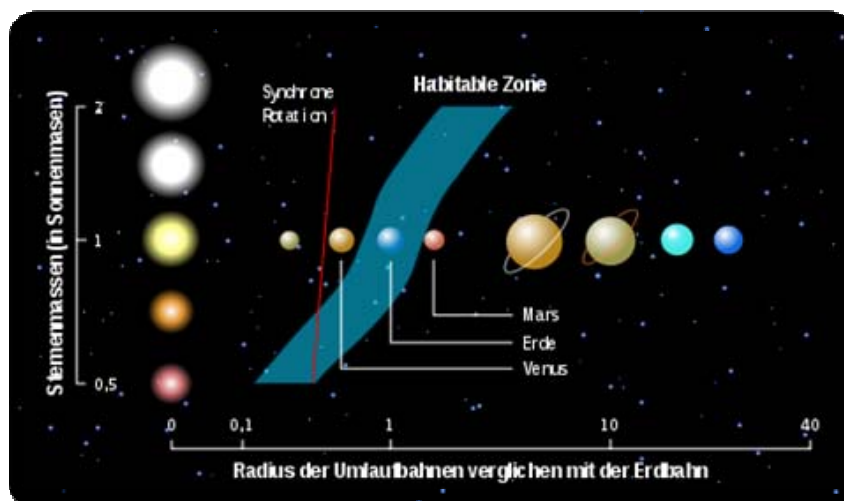


Abbildung 8: Die habitable Zone (blaues Band) für Sterne verschiedener Masse. In der Mitte ist das Sonnensystem zu sehen. Ein Stern geringerer Masse leuchtet schwächer (und röter). Bei ihm müsste der Planet schon in Merkurentfernung sein, damit das Wasser auf ihm nicht gefroren wäre. Quelle: Wikimedia Commons (GLFD)

Das Arbeitsblatt "**Parameter von Exoplaneten**" beschäftigt sich ein wenig ausführlicher mit der Bestimmung von Daten der Exoplaneten.

**Aufgabe 3:** Gliese 581d ist ein Exoplanet, der in 20 Lichtjahren Entfernung von der Sonne um einen roten Zwergstern kreist. Bei ihm vermutet man, dass Wasser dort in flüssiger Form vorkommt. Berechne die Zeit, die ein Raumschiff braucht, das mit einer Geschwindigkeit von 1000 km /sec (20-mal so schnell wie die Voyager Sonde) von unserer Erde aus dorthin unterwegs ist.

Wenn in einer Zeitungsmeldung von einer zweiten Erde die Rede ist, bedeutet dies eigentlich, dass der Planet gerade so weit von seinem Stern entfernt ist, dass Wasser auf ihm flüssig wäre. Es bedeutet **nicht**, dass man dort Wasser gefunden, oder, dass man dort außerirdische Lebewesen entdeckt hätte. Eine Auswanderung der Erdbewohner zu einem solchen Planeten ist im Moment für die nächsten Generationen schon alleine wegen der großen Entfernung völlig auszuschließen. Es wird uns Menschen vorläufig nichts anderes übrig bleiben, als die Verantwortung für unsere Erde ernst zu nehmen und sie als unseren Lebensbereich zu erhalten. Es gibt für uns keine zweite Erde!



### Weiterführende Links

Homepage der CoRoT Mission (in Englisch): <http://www.esa.int/SPECIALS/COROT/index.html>

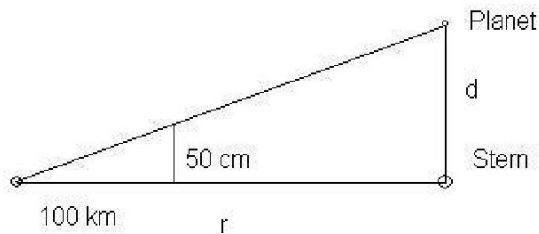
Homepage der Kepler Mission (in Englisch): <http://kepler.nasa.gov/>

Wie man Exoplaneten entdecken kann – Modelleexperimente, Modellvorstellungen und Rechnungen  
WIS-Beitrag von Olaf Fischer: <http://www.wissenschaft-schulen.de/artikel/795622>

Einblicke ins Familienalbum der Exoplaneten WIS-Beitrag von Olaf Fischer:  
<http://www.wissenschaft-schulen.de/artikel/797525>

## Lösungen der Aufgaben

### Aufgabe 1:



Sei  $d$  die Entfernung Stern - Planet und  $r$  die Entfernung Sonne -(oder Erde -) Stern.  
Wenn man Planet und Stern getrennt sehen kann, dann muss der Planet in einem Winkelabstand größer als eine Bogensekunde zu sehen sein. Nach dem Strahlensatz gilt:

$$d / r = 50 \text{ cm} / 100 \text{ km} \text{ oder umgeformt } d = 50 \text{ LJ} * 50 \text{ cm} / 100 \text{ km}$$

$$\Rightarrow d = 50 \text{ LJ} * 5 * 10^{-4} * 10^{-2} = 2,5 * 10^{-4} \text{ LJ}$$

$$= 2,5 * 10^9 \text{ km} = 16 \text{ AE}$$

Die große Halbachse der Uranusbahn hat eine Größe von 19 AE. Es muss sich also um einen Planeten handeln, der sehr weit von seinem Stern entfernt ist.

### Aufgabe 2:

Jupiter hat eine Umlaufzeit von 11,9 Jahren. In dieser Zeit zieht er sicher einmal an der Sonne vorbei, so dass ein Beobachter in dieser Zeit auf jeden Fall einen Transit beobachten müsste.

### Aufgabe 3:

Für die Geschwindigkeit  $v$ , den Weg  $d$  und die Zeit  $t$  gilt folgende Gleichung:

$$v = d / t \text{ oder umgeformt } t = d / v \Rightarrow t = 20 \text{ LJ} / 1000 \text{ km /sec}$$

$$\Rightarrow t = 20 * 10^{13} / 1000 \text{ sec} = 2 * 10^{11} \text{ sec} = 6342 \text{ Jahre}$$