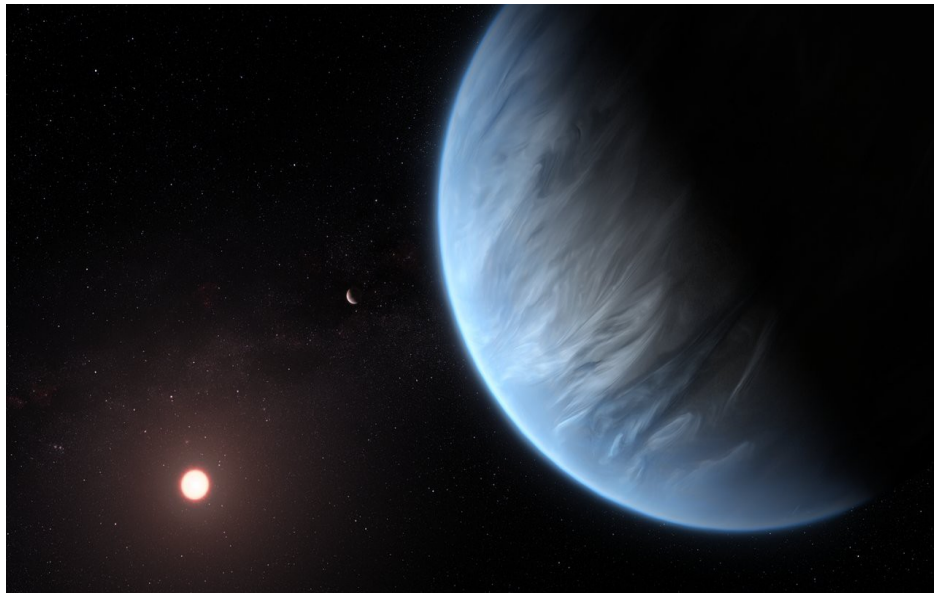


Greselius-Gymnasium Bramsche

Astronomie 11.2, Schuljahr 2021-2022

# **Auf der Suche nach Exoplaneten - Die Kepler- und Cheops-Missionen**



Verfasser: Haoka Kashung Shimrah

Kursleiter: Florian Riemer

Abgabetermin: 07.03.2022

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	2
2. Was ist ein (Exo)Planet?.....	2
3. Welche Arten von Exoplaneten gibt es?.....	3
3.1 Gesteinsplaneten.....	3
3.2 Supererde und Mini-Neptun.....	4
3.3 Gas- und Eisriesen.....	4
3.3.1 Hot Jupiters/ Hot Neptunes.....	5
3.4 Vagabundierende Planeten.....	5
4. Wie findet man einen Exoplaneten?.....	5
4.1 Radialgeschwindigkeitsmethode.....	6
4.2 Transitmethode.....	7
4.3 Effizienz.....	8
5. Missionen zur Entdeckung neuer Exoplaneten.....	9
5.1 Die Kepler Mission.....	9
5.1.1 Missionsziele der Kepler-Mission.....	10
5.2 Die CHEOPS-Mission.....	10
5.2.1 Missionsziele der CHEOPS-Mission.....	11
6. Besondere Entdeckungen der Kepler- und CHEOPS-Mission.....	12
6.1 Doppelsternsystem Kepler-47.....	12
6.2 Kepler-1649(c).....	13
6.3 WASP-103b.....	14
7. Schluss.....	15
8. Quellenverzeichnis.....	16
9. Darstellungsverzeichnis.....	18
10. Versicherung der selbstständigen Erarbeitung und Anfertigung...	19
11. Einverständniserklärung zur Veröffentlichung.....	19

# 1. Einleitung

Sicherlich nahmen auch schon damals Frühmenschen die hellen Sterne am Nachthimmel wahr, wie auch den Mond oder die Sonne. In der Antike kannte man bereits sechs Planeten unseres Sonnensystems. Der siebte Planet, Uranus, wurde im März 1781 mit Hilfe eines Teleskops gesichtet. Aber alle acht Planeten kannte man erst mit der Entdeckung des Neptuns im Jahre 1846. Diese Suche nach solaren Planeten scheint sehr langwierig und erst unter Benutzung von Teleskopen vollständig bekannt gewesen zu sein. Demnach kann man sich vorstellen, wie komplex und schwierig die Suche nach extrasolaren Planeten sein muss und auch abhängig von dem Fortschritt der Technik ist. In meiner Seminararbeit gehe ich speziell auf die Suche nach Exoplaneten ein. Dabei kläre ich zuallererst, was genau die Definition eines Exoplaneten ist, welche Arten es gibt und wie beziehungsweise mit welchen Methoden sich Exoplaneten aufspüren lassen. Mit dem dann vorhandenen nötigen Basiswissen gehe ich im späteren Verlauf auf die Kepler- und CHEOPS-Mission ein. Darauf folgen drei äußerst spektakuläre Entdeckungen der genannten Missionen, um einen Einblick in die Welt der Exoplaneten und deren Erforschung zu verschaffen.

## 2. Was ist ein (Exo)Planet?

Als Planet wird ein Himmelskörper bezeichnet, welcher in einer Umlaufbahn eines Sternes auftritt und dessen Masse so groß ist, dass „er sich im hydrostatischem Gleichgewicht befindet“<sup>1</sup>. Diese Eigenschaft verleiht einem Planeten einen kugelförmigen Körper. Zusätzlich muss der Planet eine Gravitationskraft besitzen, welche andere Objekte aus seiner Umlaufbahn verdrängt. Diese Merkmale wurden von der IAU<sup>2</sup> im Jahr 2006

---

1 <https://de.wikipedia.org/wiki/Planet>

2 Internationale Astronomische Union

[https://de.wikipedia.org/wiki/Internationale\\_Astronomische\\_Union](https://de.wikipedia.org/wiki/Internationale_Astronomische_Union)

bestimmt, um Planeten von anderen Himmelskörpern zu unterscheiden.<sup>3</sup> In unserem Sonnensystem befinden sich mit der Erde weitere sieben Planeten, welche als solare Planeten bezeichnet werden. Planeten, welche außerhalb unseres Sonnensystems liegen, tragen den Namen extrasolare Planeten (Exoplaneten).

### **3. Welche Arten von Exoplaneten gibt es?**

Da bereits mehrere tausend Exoplaneten entdeckt wurden und diese entweder bestimmte Gemeinsamkeiten teilen oder sich durch verschiedene Merkmale unterscheiden, wird unter mehreren Arten von Exoplaneten unterschieden. Aus unserem Sonnensystem kennen wir bereits Gesteinsplaneten wie die Erde oder den Mars und die sogenannten Gasriesen wie Jupiter oder Saturn, aber im Hinblick auf extrasolare Planeten lassen sich diese in weitere Arten klassifizieren. Bisher werden die Planetenklassen unseres Sonnensystems auf die extrasolaren Planeten übertragen. Da es also keine einheitliche Klassifizierung von Exoplaneten gibt, beziehe ich mich kurz auf die gängigen Arten und deren Merkmale, um einen grundlegenden Überblick zu verschaffen.

#### ***3.1 Gesteinsplaneten***

Wie bereits erwähnt, sind Gesteinsplaneten auch in unserem solaren System vertreten, wie etwa der größte von ihnen, die Erde. Sie verfügen über einen schalenartigen Aufbau, bestehend aus einem Kern, einem Mantel und der darüber liegenden harten Kruste. Hauptbestandteil jener terrestrischer Planeten sind feste, mineralische Stoffe.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Planet>

<sup>4</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Erdähnlicher\\_Himmelskörper](https://de.wikipedia.org/wiki/Erdähnlicher_Himmelskörper)

### ***3.2 Supererde und Mini-Neptun***

Außerhalb unseres Sonnensystems gibt es allerdings noch größere Gesteinsplaneten mit einer Masse, die die der Erde überschreitet. Ein extrasolarer Planet wird dann als Supererde bezeichnet, wenn seine Masse zwischen der der Erde und der des Uranus liegt sowie die sonstigen Eigenschaften eines Gesteinsplaneten aufweist. Exoplaneten, die mit denselben Eigenschaften die Masse des Neptuns übertreffen, werden als Mega-Erden bezeichnet.<sup>5</sup> Besitzt ein Exoplanet die ungefähre Masse einer Supererde und ähnelt in seinem Aufbau und Material dem Neptun, so kann man unter Berücksichtigung der Beobachtungen des Kepler-Teleskops jenen als einen Mini-Neptun bezeichnen.<sup>6</sup>

### ***3.3 Gas- und Eisriesen***

Die Gasriesen sind Planeten, dessen Hauptbestandteil Gase wie Helium oder Wasserstoff sind. Sie verfügen zwar über einen Kern aus Eis oder Gestein, welche allerdings durch einen hohen Druck im Inneren in flüssiger Form auftreten. Dieser Druck hat ebenfalls Auswirkungen auf die Gase des Planeten, da diese zum Kern hin metallische Eigenschaften aufweisen. Anders als Gesteinsplaneten haben Gasriesen also keine feste Oberfläche, was dazu führt, dass die Bestimmung eines Durchmessers zusätzlich erschwert wird.<sup>7</sup> Eisriesen hingegen haben einen etwas geringeren Anteil an Wasserstoff und weisen eher schwerere Elemente auf. Zudem haben Eisriesen einen kleineren Durchmesser und eine kleinere Masse als Gasriesen.<sup>8</sup>

---

5 <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Supererde>

6 <https://innovationorigins.com/de/supererde-lebensfeindlich-kalt/>

7 <https://de.wikipedia.org/wiki/Gasplanet>

8 [https://de.wikipedia.org/wiki/Eisriesen\\_\(Astronomie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Eisriesen_(Astronomie))

### **3.3.1 Hot Jupiters/ Hot Neptunes**

Bei einem Hot Jupiter handelt es sich lediglich um einen Gasriesen, welcher allerdings mit einem sehr kurzen Abstand (unter 0,5AE) um das Zentralgestirn des Planetensystems wandert. Der Planet muss in etwa die Masse wie die des Jupiters oder eine größere aufweisen und eine deutlich höhere Oberflächentemperatur als die des Jupiters besitzen, um die Bedingungen eines Hot Jupiters zu erfüllen.<sup>9</sup>

Ein Hot Neptune ist eher vergleichbar mit einem Eisriesen und umkreist seinen Heimatstern ebenfalls mit einem kleinem Abstand von weniger als 1AE. Die Stoffe eines Hot Neptunes liegen demnach in gasförmiger oder auch flüssiger Form vor.<sup>10</sup>

### **3.4 Vagabundierende Planeten**

Diese frei fliegenden Planeten haben keinen Heimatstern und können sowohl als kleine Gesteinsplaneten als auch als große Gasriesen vorkommen. Bisher wurden hauptsächlich Gasriesen entdeckt, da das dunkle Erscheinungsbild der vagabundierenden Planeten aufgrund fehlender Einstrahlung des Zentralgestirns die Suche nach ihnen erschwert.<sup>11</sup>

## **4. Wie findet man einen Exoplaneten?**

Viele Planeten unseres Sonnensystems, wie etwa Jupiter oder Saturn, können wir unter guten Bedingungen mit bloßem Auge sehen. Genauere Bilder bekommen wir durch die Verwendung eines Teleskops, und mit Hilfe von Satelliten und speziellen Robotern lassen sich sogar nahe Planeten präziser erforschen. Doch inwiefern lässt sich das auf extrasolare Planeten anwenden? Um einen Exoplaneten ausfindig zu machen beziehungsweise

---

9 <https://www.sun.org/de/encyclopedia/exoplanets>

10 [https://de.wikipedia.org/wiki/Hot\\_Neptune](https://de.wikipedia.org/wiki/Hot_Neptune)

11 [https://de.wikipedia.org/wiki/Objekt\\_planetarer\\_Masse](https://de.wikipedia.org/wiki/Objekt_planetarer_Masse)

einen neuen Planeten zu entdecken, sind bereits einige Methoden entwickelt worden. Zwei dieser Methoden möchte ich näher vorstellen, da diese, mittlerweile vor allem die Transitmethode, als bevorzugte Methoden gelten. Warum genau gerade diese Methoden erfolgreicher waren als andere, wie genau sie funktionieren und was ihre Vor- und Nachteile sind, werde ich im Folgenden erläutern.

#### ***4.1 Radialgeschwindigkeitsmethode***

Michel Mayor und einem Mitarbeiter gelang es mit Hilfe der Radialgeschwindigkeitsmethode den ersten Nachweis für einen Exoplaneten zu ermitteln. Hierbei handelt es sich um den Planeten 51 Pegasi b, welcher ca. 40 Lichtjahre von der Erde entfernt ist.<sup>12</sup> Bei einer solch riesigen Entfernung lässt sich schwer nachvollziehen, wie ein Nachweis überhaupt möglich sein kann. Tatsächlich handelt es sich bei dieser wie auch bei der Transitmethode um indirekte Nachweise. Es wird lediglich die Veränderung des Lichts eines Sterns benutzt, um auf einen Planeten zu schließen. Die Methode der Radialgeschwindigkeit basiert auf dem Baryzentrum, welches den Schwerpunkt zwischen Planet und seinem Stern ausmacht. Dieses liegt meistens nahe oder auch innerhalb des Sterns, jedoch nie auf dem Zentrum des Sterns selbst. Das bedeutet, dass die Annahme, ein Planet rotiere um einen Stern, nicht korrekt ist, auch wenn die Nähe des Baryzentrums zum Sternzentrum darauf schließen lässt. Folglich lässt sich dieses Wissen anwenden, denn somit kann ein Stern, der einen oder mehrere Planeten besitzt, nie still an einem Punkt stehen. Er muss durch die Rotation um das Baryzentrum pendeln. Diese Pendelbewegung lässt sich von der Erde aus mit Hilfe des Doppler-Effekts nachweisen (s. Darstellungsverzeichnis).<sup>13</sup> Der Doppler-Effekt bewirkt, dass man ein Objekt, welches eine konstante Lautstärke aussendet, mit einem höheren Ton wahrnimmt, wenn es auf einen zukommt, als wenn es von einem wegfährt. Dasselbe Prinzip wird im

---

<sup>12</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet#Erste\\_Entdeckungen\\_von\\_Exoplaneten](https://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet#Erste_Entdeckungen_von_Exoplaneten)

<sup>13</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Radialgeschwindigkeit>

Hinblick auf elektromagnetische Strahlung angewandt, also auf das Licht, welches von dem beobachteten Stern ausgeht. Wenn dieser bei seiner Rotation der Erde näher kommt oder von ihr weg kreist, lässt sich das anhand einer gemessenen Frequenz und deren Schwankung sehen. Durch letztere kann man neben der bloßen Existenz von Exoplaneten sogar auf eine ungefähre Masse schließen.<sup>14</sup>

## ***4.2 Transitmethode***

Ebenso wie die Radialgeschwindigkeitsmethode stützt sich die Transitmethode auf den Einfluss der Exoplaneten auf ihren Zentralstern. Als Transit beschreibt man den Zeitraum, in dem der jeweilige Planet vom Standpunkt des Betrachters aus vor seinem Heimatstern steht. Damit ein Transit zu erkennen ist, muss der Stern, der nachzuweisende Planet und der Standpunkt des Betrachters auf einer Linie liegen. Beim Vorbeiziehen des Transitplaneten dient eine Veränderung der Lichtstärke durch die Minderung des Planeten als indirekter Nachweis.<sup>15</sup> Diese Veränderung kann durch Photometrie, Helligkeitsmessung des Sterns, wahrgenommen werden (s. Darstellungsverzeichnis). Dabei können allerdings Randverdunklungen oder Sonnenflecken des Sterns zu ungenauen Messwerten führen.<sup>16</sup> Außerdem ist es möglich, anhand der Messwerte einen ungefähren Durchmesser des entdeckten Planeten zu ermitteln sowie durch Einbeziehung der Absorptionslinien, welche durch unterschiedliche Stoffe in der Atmosphäre beim Durchscheinen entstehen, die Atmosphäre genauer zu erforschen. Es ist zwar noch längst nicht möglich, diese Methoden des Transits auf alle Exoplaneten zu beziehen, aber durch lichtstärkere Teleskope und neue Verfahren soll es in Zukunft realisierbar werden.<sup>17</sup>

---

14 <https://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet#Nachweismethoden>

15 <https://www.sun.org/de/encyclopedia/exoplanets>

16 <https://www.wissen.de/wie-entdeckt-man-einen-exoplaneten>

17 <https://de.wikipedia.org/wiki/Transitmethode>



### 4.3 Effizienz

Beide Methoden haben sich über viele Jahre hinweg als wirksam erwiesen und bereits eine Vielzahl an Exoplaneten ausfindig gemacht. Doch die eigentliche Chance, mit Hilfe dieser Methoden einen Planeten zu entdecken, ist in Betracht der vermutlichen Anzahl an Exoplaneten sehr gering. Sowohl die Transit- als auch die Radialgeschwindigkeitsmethode funktionieren nur unter bestimmten Voraussetzungen. Das zu entdeckende Planetensystem muss in einem konkreten Winkel stehen, damit Auswirkungen des Exoplaneten auf seinen Stern sichtbar sind. So ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Transit bei einem zufälligen Stern auftritt, weniger als ein Prozent. Zusätzlich kann die Messung durch die Größe und das Gewicht der Planeten erschwert werden. Ein kleiner Planet erzeugt nämlich deutlich geringere Schwankungen bei einer Radialgeschwindigkeitsmethode und liefert demnach auch kleinere Werte, welche mit den jetzigen Mitteln schwierig auszuwerten sind. Dennoch wurden bereits über 4000 Exoplaneten entdeckt.

Warum sind diese Methoden also doch durchaus erfolgreich? Diese Frage lässt sich dadurch erklären, dass wir bereits eine große Vielfalt an Sternen kennen. Vor allem heutzutage sieht man den Erfolg der Transitmethode. Denn indem die Teleskope in das All befördert werden und dort eine bessere Ausrichtung auf bestimmte Sternbilder haben, als sie es auf der Erde hätten, lassen sie sich auf jene Sternbilder fokussieren. Das bedeutet, die Suche nach Exoplaneten wird auf über hunderttausende Sterne automatisiert.<sup>18</sup> Demnach war die Chance, mit der es gelingt, einen Exoplaneten zu entdecken, vergleichsweise hoch. Es heißt: „Die Transitmethode erwies sich in den nachfolgenden Jahren als äußerst effektiv bei der Suche nach Exoplaneten und ist mittlerweile die erfolgreichste Methode in diesem speziellen Forschungsbereich der Astronomie.“<sup>19</sup>

---

<sup>18</sup> <https://www.sun.org/de/encyclopedia/exoplanets>

<sup>19</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet#Weitere\\_Entwicklung\\_bis\\_zum\\_Start\\_der\\_Keppler-Mission](https://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet#Weitere_Entwicklung_bis_zum_Start_der_Keppler-Mission)

## 5. Missionen zur Entdeckung neuer Exoplaneten

Es gibt bereits mehrere Missionen, deren Ziel die Entdeckung von Exoplaneten ist. Manche von ihnen liegen bereits in der Vergangenheit, andere sind für die Zukunft geplant und werden zurzeit vorbereitet. Im Folgenden beziehe ich mich auf zwei dieser Missionen und im Anschluss daran auf deren Entdeckungen (6.).

### 5.1 Die Kepler Mission

Am 7. März im Jahre 2009 startete die Mission Kepler, benannt nach dem deutschen Astronom Johannes Kepler, welcher die Gesetze der Planetenbewegungen entwickelt hat, unter Führung der NASA. Bei dieser Mission handelte es sich um ein 600 Millionen Dollar teures Weltraumteleskop, das die Aufgabe verfolgte, einen definierten Teil des Sternenhimmels zu beobachten und mit Hilfe der Transitmethode nach möglichen Exoplaneten der observierten Sterne zu suchen. Die Mission gilt als einer der erfolgreichsten Missionen und führte zu Entdeckungen von über 2.000 Exemplaren neuer Exoplaneten. Jahrelange Planungen und ein Team von hunderten Physikern, Ingenieuren und weiteren Akteuren machten diesen Erfolg möglich.<sup>20</sup> Die ca. 1000 Kilogramm schwere Sonde wurde in den Bereich des Sonnenorbits befördert, um von dort aus, ohne störende periodische Abdeckung der Erde, den über 100.000 Sterne umfassenden Bereich im Sternbild Schwan zu beobachten. Nach den bereits verlängerten 3,5 Betriebsjahren des Teleskops kam es zu einem Ausfall zweier Reaktionsräder, weshalb eine Änderung der Beobachtungsmethode zwingend war und eine Sekundärmission namens K2 eingeleitet wurde. Am 15. August 2013 endete die Mission aufgrund fehlenden Treibstoffs.<sup>21</sup> Ergebnisse werden allerdings noch heutzutage und in Zukunft ausgewertet und analysiert und bieten anderen Missionen grundlegende Informationen.<sup>22</sup>

---

20 <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/k/kepler>

21 [https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Kepler\\_\(Weltraumteleskop\)](https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Kepler_(Weltraumteleskop))

22 <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/k/kepler>

### **5.1.1 Missionsziele der Kepler-Mission**

An alle astronomischen Missionen sind gewisse Erwartungen und Forderungen gebunden, da schließlich auch hohe Summen investiert werden. Die Kepler-Mission, welche 2001 als Erkundungsmission ausgewählt wurde, verfolgte das grundsätzliche Ziel, Exoplaneten zu entdecken. Aber dieses Ziel lässt sich noch genauer unterteilen. So war vor allem die Suche nach bewohnbaren Planeten mit Eigenschaften der Erde, die sich in der habitablen Zone befinden, primär gefordert. Es sollten genauere Schlüsse über den Prozentsatz der terrestrischen Exoplaneten innerhalb oder in der Nähe jener Zone gezogen werden. Zudem sollte Kepler auch Informationen über kurzperiodische Riesenplaneten ermitteln, wie beispielsweise die Anzahl, Größe, Masse und Dichte. Umlaufbahnen von Planeten und deren Formen wurden ebenfalls untersucht und die Eigenschaften der Sterne, welche diese Planeten beheimaten. Alle Anforderungen der Mission geben uns demnach weitere Informationen darüber, wie Planetensysteme entstehen, welche Arten von Systemen und Exoplaneten es gibt und in welcher ungefähren prozentualen Anzahl diese vorkommen sowie über die Strukturen.<sup>23</sup> Außerdem wird einer der wichtigsten Fragen der Menschheit nachgegangen: Gibt es möglicherweise einen Planeten, auf dem Leben möglich wäre? Beziehungsweise: Existiert außer uns Menschen weiteres Leben im Universum?

### **5.2 Die CHEOPS-Mission**

Die CHEOPS-Mission ist eine S-Klasse-Mission der ESA und deren Partner, der Schweiz. Der Start war am 18. Dezember 2019 in Französisch-Guayana. CHEOPS ist die Abkürzung für Characterising Exoplanet Satellite. Anders als bei der Kepler-Mission handelt es sich mit einer S-Klasse-Mission um eine deutlich weniger kostenintensive Mission mit

---

<sup>23</sup> <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/k/kepler>

kurzfristigerer Planung. Es ist die erste S-Klasse-Mission der ESA, welche im Jahre 2009 aus 26 Missionsvorschlägen ausgewählt wurde. Der 290 Kilogramm schwere Satellit befindet sich in einem sonnensynchronen Orbit und visiert von dort aus helle Sterne mit geringem Abstand zur Erde und bereits mit bekannten Exoplaneten an.<sup>24</sup> Die Kepler-Mission fokussierte sich vor allem darauf, möglichst viele Exoplaneten zu entdecken. CHEOPS hingegen ist darauf spezialisiert, bereits bekannte Exoplaneten genauer zu untersuchen. Die Mission ist zum jetzigen Stand noch nicht beendet und wies erst vor kurzem, am 10. Januar 2022, die Deformation eines Planeten nach.<sup>25</sup>

### 5.2.1 Missionsziele der CHEOPS-Mission

Das Hauptziel der Mission ist, wie der Name des Satelliten bereits aussagt, die Charakterisierung von Exoplaneten. Hierbei werden bereits gefundene Exoplaneten, welche hellen Heimatsternen zugeordnet sind, mittels hochpräziser Photometrie untersucht. Speziell ist die Charakterisierung auf Exoplaneten festgelegt, deren Größe zwischen der der Erde und der des Neptuns liegt. Durch Anwendung der Radialgeschwindigkeitsmethode und der Transitmethode sollen Radius und Masse des Planeten ermittelt werden und folglich aus diesen die Dichte. Die Helligkeit der Sterne führt zu genaueren Werten der Messungen. Die Dichte kann genauere Angaben darüber liefern, aus welchen Materialien der Exoplanet besteht. Es ist demnach möglich, diesen zu charakterisieren und ihn zu einer Art von Exoplaneten zuzuordnen. Neben diesem besonderen Ziel verfolgt CHEOPS außerdem indirekt die Aufspürung neuer Exoplaneten.<sup>26</sup>

---

24 [https://de.wikipedia.org/wiki/CHEOPS\\_\(Weltraumteleskop\)](https://de.wikipedia.org/wiki/CHEOPS_(Weltraumteleskop))

25 [https://directory-eoportal-org.translate.google.com/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cheops?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=de&\\_x\\_tr\\_hl=de](https://directory-eoportal-org.translate.google.com/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cheops?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=de&_x_tr_hl=de)

26 [https://directory-eoportal-org.translate.google.com/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cheops?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=de&\\_x\\_tr\\_hl=de](https://directory-eoportal-org.translate.google.com/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cheops?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=de&_x_tr_hl=de)

## 6. Besondere Entdeckungen der Kepler- und CHEOPS-Mission

Um einen Eindruck zu verschaffen, was die Missionen Kepler und CHEOPS zur Forschung und Suche nach Exoplaneten beigetragen haben, führe ich im Folgenden drei Beispiele für besondere Entdeckungen und Höhepunkte der Missionen an. Dabei ist mitunter auch die Bewohnbarkeit eines Planeten ein Aspekt, der vor allem die Lage des Planeten in der habitablen Zone mit sich zieht. Die habitable Zone ist die Kennzeichnung eines Bereiches, in welchem der Planet in solch einem Abstand zu seinem Heimatstern steht, dass Wasser in flüssiger Form vorliegen könnte.<sup>27</sup> Des Weiteren spielt der Begriff Resonanz, bezogen auf zwei Planeten, eine Rolle. Dieser Begriff beschreibt, wie oft zwei Planeten in einer bestimmten Zeit um ihr Zentralgestirn rotieren. Umkreist ein Planet sein Heimatstern zwei Mal, während der zweite Planet den Heimatstern nur einmal umrundet, so stehen die Planeten in einer Resonanz von 2 zu 1.<sup>28</sup>

### 6.1 Doppelsternsystem Kepler-47

Im Rahmen der Kepler-Mission wurden die Exoplaneten Kepler-47b, Kepler-47c und Kepler-47d entdeckt, welche sich auf stabilen Umlaufbahnen in dem Doppelsternsystem Kepler-47 befinden. Bisher wurde eine solche Entdeckung nicht für möglich gehalten, denn aufgrund des Einflusses zweier Sterne, die wie in Kepler-47 umeinander rotieren, muss es zu Veränderungen der Schwerkraftfelder kommen. In diesem System mit zwei Sonnen sowie zwei Planeten scheint es allerdings keine Störungen der Umlaufbahnen zu geben.<sup>29</sup>

Einer der Sterne gleicht von den Werten her der Sonne, der andere ist kleiner. Der erste Exoplanet, Kepler-47b ist in etwa so groß wie die Erde

---

27 [https://de.wikipedia.org/wiki/Habitable\\_Zone#Begriffe](https://de.wikipedia.org/wiki/Habitable_Zone#Begriffe)

28 <https://de.wikipedia.org/wiki/Bahnresonanz>

29 <https://exoplanets.nasa.gov/exoplanet-catalog/7362/kepler-47-d/>

und umkreist seinen Stern in 49,5 Tagen. Kepler-47c besitzt ca. 4,6 Erdradien und befindet sich in der habitablen Zone. Außerdem hat er eine Umlaufgeschwindigkeit von 303,2 Tagen und erhält 87,5 Prozent Sonneneinstrahlung der Erde. Damit wäre er in der Lage flüssiges Wasser zu besitzen. Der erst später entdeckte Exoplanet Kepler-47d ist ein Neptun ähnlicher Planet.<sup>30</sup> Allerdings steht noch nicht fest, ob es sich bei den beiden erst entdeckten Planeten um Gas- oder Gesteinsplaneten handelt, wodurch sich die Frage nach möglicher Bewohnbarkeit Kepler-47c's nicht beantworten lässt.<sup>31</sup> Die Entstehung der Planeten ist nicht eindeutig klar, jedoch geht man davon aus, dass die Planeten unabhängig entstanden und mit der Zeit an die zwei Sterne gerückt sind, da ein Entstehen durch eine Staubscheibe um ein Doppelsternsystem gegensätzlich der bisherigen Theorien wäre und im Hinblick auf die Einflüsse der Wechselwirkung undenkbar ist.

## **6.2 Kepler-1649(c)**

Der Exoplanet Kepler-1649c steht an 3. Stelle potentiell bewohnbarer Planeten.<sup>32</sup> Der nachgewiesene Gesteinsplanet hat den 1,06-fachen Radius der Erde und kreist um seinen Heimatstern Kepler-1649. Kepler-1649 ist ein roter Zwerg und befindet sich 300 Lichtjahre von der Erde entfernt. Der Exoplanet liegt in der habitablen Zone und gilt bisher als „erdähnlichster Planet“, welcher von dem Kepler-Weltraumteleskop aufgespürt wurde. Dadurch, dass er von seinen Werten so sehr der Erde gleicht, hebt er sich noch mehr von anderen potentiell bewohnbaren Planeten ab und macht ihn umso interessanter. Der Planet rotiert in 19,5 Tagen um seinen Heimatstern und ist deutlich näher an ihm, als die Erde an der Sonne. Die Einstrahlung seiner Sonne ist liegt bei 75%, was darauf hindeutet, dass die Temperaturen auf diesem Planeten etwas kühler wären als auf der Erde, da rote Zwerg

---

30 <https://exoplanets.nasa.gov/exoplanet-catalog/7362/kepler-47-d/>

31 <https://www.sterngucker.de/stabiles-planetensystem-um-den-doppelstern-kepler-47/>

32 [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_potentiell\\_bewohnbarer\\_Planeten](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_potentiell_bewohnbarer_Planeten)

lichtschwächer sind.<sup>33</sup>

Kepler-1649 hat bisher zwei nachgewiesene Planeten. Aufgrund der Resonanz zwischen diesen, wird ein weiterer Planet vermutet. Denn die Resonanz zwischen den Planeten liegt bei 4 zu 9 und bisherige Planetensysteme mit nur zwei Planeten weisen meistens eine Resonanz von 2 zu 1 oder 3 zu 2 auf. Obwohl diese also zu schwach für nur zwei Planeten wirkt, ist bisher kein dritter Planet gefunden worden.<sup>34</sup>

Letztendlich ist das Besondere an diesem Planetensystem vor allem die starke Ähnlichkeit des Planeten Kepler-1649c zur Erde, auch wenn das Kepler-Teleskop bereits viele Exoplaneten in der habitablen Zone gefunden hat.

### **6.3 WASP-103b**

Im Jahre 2014 wurde der Planet WASP-103b mit Hilfe der Transitmethode entdeckt. Er kreist mit weniger als einem Tag Umlaufdauer um den Stern WASP-103 und zählt zu den Gasriesen. Da der Abstand zu seinem Zentralgestirn bei 0,02 AE liegt und somit sehr gering ist, gingen Forscher von starken Gezeiten aus. Bei genauerer Untersuchung durch CHEOPS stellte sich heraus, dass die Form des Exoplaneten sehr außergewöhnlich ist. Denn die Auswertung mehrerer Transits deutete auf eine Form wie die eines Rugbys<sup>35</sup> oder einer Kartoffel<sup>36</sup> hin. Grund für diese Verformung könnte die Gravitation des Sterns sein, der durch seine Nähe zum Planeten großen Einfluss haben müsste. Außerdem wird angenommen, dass der Planet erheblich aufgebläht ist, da er zwar in etwa die doppelte Größe wie der Jupiter hat, aber im Vergleich dazu nur eine 1,5-fache Masse besitzt. Für diese Ausdehnung könnte die Hitze verantwortlich sein, welche von seinem

---

33 <https://de.wikipedia.org/wiki/Kepler-1649c>

34 <https://www.scinexx.de/news/kosmos/astronomen-entdecken-bisher-erdahnlichsten-planeten/>

35 [https://directory-eoportal-org.translate.google.com/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cheops?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=de&\\_x\\_tr\\_hl=de](https://directory-eoportal-org.translate.google.com/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cheops?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=de&_x_tr_hl=de)

36 <https://en.wikipedia.org/wiki/WASP-103>

Heimatsstern ausgeht. Allerdings gibt es hierfür, wie auch für andere Theorien, noch keine Nachweise.

Des Weiteren ist die Bewegung des Exoplaneten sehr ungewöhnlich. Denn anstatt, dass der Planet durch die Nähe zu seinem Stern immer weiter an ihn heranrückt, zeigen Messungen das Gegensätzliche. Der Planet entfernt sich mit jeder Umrundung von dem Zentralgestirn.<sup>37</sup>

## **7. Schluss**

Am Ende meiner Seminararbeit möchte ich auf die Frage eingehen, welche Erkenntnisse wir aus der Suche nach Exoplaneten und deren Erforschung gewinnen.

Sicherlich ist die Suche nach Exoplaneten sowie die Erforschung dieser sehr kostenintensiv und erfordert einen hohen Zeitaufwand. Allerdings liefern die Missionen auch Ergebnisse, die dazu beitragen, physikalische Gesetze zu verstehen und zu entdecken. Die Suche zeigt uns Menschen aber auch, wie vielfältig das Universum im Hinblick auf die unterschiedlichsten Planeten ist, und verschafft uns genauere Einblicke. Immer wieder lernen wir durch neue Missionen und Entdeckungen Dinge hinzu, aber eine der wichtigsten Fragen der Menschheit, der jede Mission zum Thema Exoplaneten nachgeht, gilt es noch zu beantworten: Gibt es außer der Erde noch weitere Planeten, auf denen Leben oder sogar intelligentes Leben entstanden sein könnte?

---

<sup>37</sup> [https://www.aanda.org/articles/aa/full\\_html/2022/01/aa42196-21/aa42196-21.html](https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2022/01/aa42196-21/aa42196-21.html)



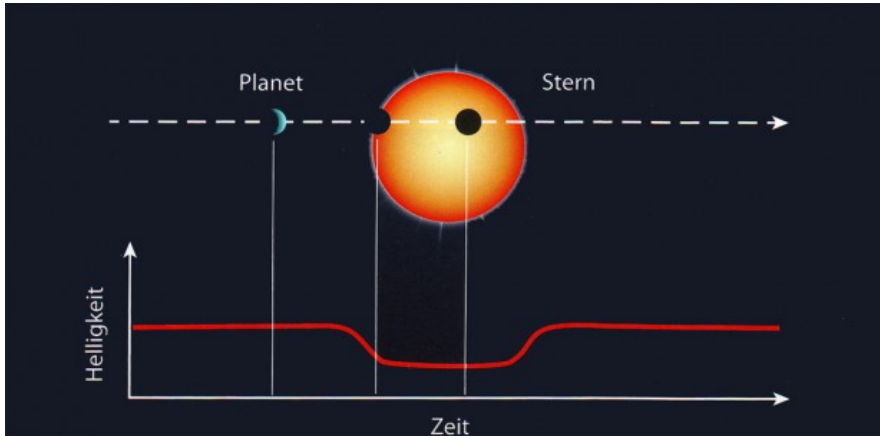
## 8. Quellenverzeichnis

- <https://de.wikipedia.org/wiki/Bahnresonanz>  
→ 02.03.2022
- [https://de.wikipedia.org/wiki/CHEOPS\\_\(Weltraumteleskop\)](https://de.wikipedia.org/wiki/CHEOPS_(Weltraumteleskop))  
→ 02.03.2022
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Eisriese\\_\(Astronomie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Eisriese_(Astronomie))  
→ 02.03.2022
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Erdähnlicher\\_Himmelskörper](https://de.wikipedia.org/wiki/Erdähnlicher_Himmelskörper)  
→ 02.03.2022
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet#Erste\\_Entdeckungen\\_von\\_Exoplaneten](https://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet#Erste_Entdeckungen_von_Exoplaneten)  
→ 02.03.2022
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet#Nachweismethoden>  
→ 02.03.2022
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet#Weitere\\_Entwicklung\\_bis\\_zum\\_Start\\_der\\_Kepler-Mission](https://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet#Weitere_Entwicklung_bis_zum_Start_der_Kepler-Mission)  
→ 02.03.2022
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Gasplanet>  
→ 02.03.2022
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Habitable\\_Zone#Begriffe](https://de.wikipedia.org/wiki/Habitable_Zone#Begriffe)  
→ 02.03.2022
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Hot\\_Neptune](https://de.wikipedia.org/wiki/Hot_Neptune)  
→ 02.03.2022
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Internationale\\_Astronomische\\_Union](https://de.wikipedia.org/wiki/Internationale_Astronomische_Union)  
→ 02.03.2022
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Kepler-1649c>  
→ 02.03.2022
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_potentiell\\_bewohnbarer\\_Planeten](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_potentiell_bewohnbarer_Planeten)  
→ 02.03.2022
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Objekt\\_planetarer\\_Masse](https://de.wikipedia.org/wiki/Objekt_planetarer_Masse)  
→ 02.03.2022
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Planet>  
→ 02.03.2022
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Radialgeschwindigkeit>  
→ 02.03.2022

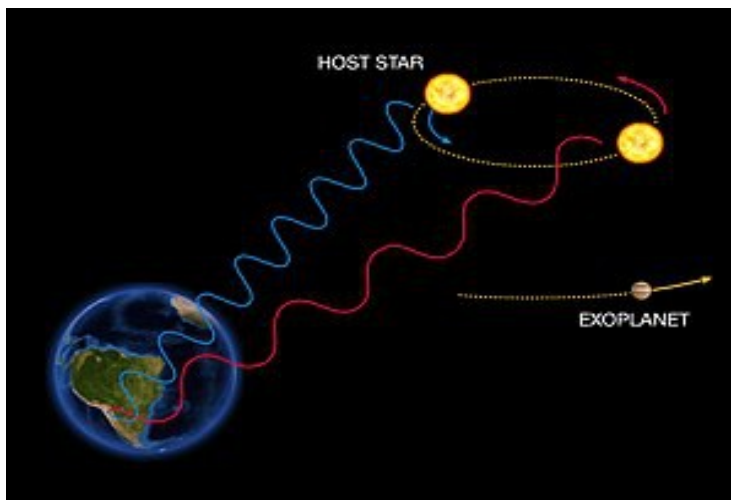
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Transitmethode>  
→ 02.03.2022
- [https://directory-eoportal-org.translate.goog/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cheops?  
\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=de&\\_x\\_tr\\_hl=de](https://directory-eoportal-org.translate.goog/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cheops?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=de&_x_tr_hl=de)  
→ 02.03.2022
- <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/k/kepler>  
→ 02.03.2022
- <https://en.wikipedia.org/wiki/WASP-103>  
→ 02.03.2022
- <https://exoplanets.nasa.gov/exoplanet-catalog/7362/kepler-47-d/>  
→ 02.03.2022
- <https://innovationorigins.com/de/supererde-lebensfeindlich-kalt/>  
→ 02.03.2022
- [https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Kepler\\_\(Weltraumteleskop\)](https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Kepler_(Weltraumteleskop))  
→ 02.03.2022
- <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Supererde>  
→ 02.03.2022
- [https://www.aanda.org/articles/aa/full\\_html/2022/01/aa42196-21/aa42196-21.html](https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2022/01/aa42196-21/aa42196-21.html)  
→ 02.03.2022
- <https://www.scinexx.de/news/kosmos/astronomen-entdecken-bisher-erdaehnlichsten-planeten/>  
→ 02.03.2022
- <https://www.sterngucker.de/stabiles-planetensystem-um-den-doppelstern-kepler-47/>  
→ 02.03.2022
- <https://www.sun.org/de/encyclopedia/exoplanets>  
→ 02.03.2022
- <https://www.wissen.de/wie-entdeckt-man-einen-exoplaneten>  
→ 02.03.2022

## 9. Darstellungsverzeichnis

- Exoplaneten (Titelbild)<sup>38</sup>



- Transitmethode: Veranschaulichung eines Transits und dessen Messung<sup>39</sup>



- Radialgeschwindigkeitsmethode<sup>40</sup>

38 [https://www.esa.int/var/esa/storage/images/esa\\_multimedia/images/2019/09/hubble\\_finds\\_water\\_vapor\\_on\\_habitable-zone\\_exoplanet\\_for\\_the\\_first\\_time/19700242-1-eng-GB/Hubble\\_Finds\\_Water\\_Vapor\\_on\\_Habitable-Zone\\_Exoplanet\\_for\\_the\\_First\\_Time.jpg](https://www.esa.int/var/esa/storage/images/esa_multimedia/images/2019/09/hubble_finds_water_vapor_on_habitable-zone_exoplanet_for_the_first_time/19700242-1-eng-GB/Hubble_Finds_Water_Vapor_on_Habitable-Zone_Exoplanet_for_the_First_Time.jpg)

39 <http://blog.exoplaneten-observatorium.de/wp-content/uploads/2013/09/transit1-620x310.jpg>

40 [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f2/The\\_radial\\_velocity\\_method\\_%28artist%E2%80%99s\\_impression%29.jpg/300px-The\\_radial\\_velocity\\_method\\_%28artist%E2%80%99s\\_impression%29.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f2/The_radial_velocity_method_%28artist%E2%80%99s_impression%29.jpg/300px-The_radial_velocity_method_%28artist%E2%80%99s_impression%29.jpg)

## **10. Versicherung der selbstständigen Erarbeitung und Anfertigung**

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken (auch aus dem Internet) entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe. Verwendete Informationen aus dem Internet sind nach Absprache mit dem Fachlehrer vollständig im Ausdruck zur Verfügung zu stellen.

Bramsche den 07.03.2022

---

Unterschrift der Schülerin / des Schülers

## **11. Einverständniserklärung zur Veröffentlichung**

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, wenn die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Bramsche den 07.03.2022

---

Unterschrift der Schülerin / des Schülers