Exoplaneten - neuester Stand

Reinhard Woltmann

@KVHS Astro-Stammtisch

Peine

04.05.2018

Gliederung

1. Begriffserklärung Planet

2. Allgemeiner Rückblick

3. Bisherige Missionen

    - COROT
    - KEPLER
    - GAIA
    - TRAPPIST

4. Künftige Missionen

5. Aktueller Stand

6. Quellen

1.Begriffserklärung Planet:

Laut dem Duden ist ein Planet ein nicht selbst leuchtender, großer Himmelskörper, der eine Sonne (Stern) umkreist.
Das Wort „Planet“ ist altgriechischen Ursprungs, das auf Deutsch „umherirren, umherschweifen“ bedeutet. Daher wurden Planeten früher auch eingedeutscht als *Wandelsterne* bezeichnet, im Sinne von „die Umherschweifenden“ bzw. „die Wanderer“. Dabei wurde der Unterschied zwischen Planeten und anderen Himmelskörpern aufgrund des Fehlens der himmelsmechanischen Grundlagen bis in die frühe Neuzeit nicht korrekt erkannt, sodass durchaus Sonne und Mond wie auch Kometen und Asteroiden zu den Wandelgestirnen gezählt wurden.

Ein Planet des Sonnensystems ist gemäß der Definition der Internationalen Astronomischen Union (IAU) ein Himmelskörper, der

a. **sich auf einer Bahn um die Sonne befindet,**
b. **über eine ausreichende Masse verfügt, um durch seine Eigengravitation eine annähernd runde Form zu bilden und**
c. **die Umgebung seiner Umlaufbahn bereinigt hat.**

Diese Definition geht auf einen Beschluss der IAU vom August 2006 zurück. Dies führte unter anderem dazu, dass Pluto seinen vormaligen Status als Planet verlor.

Auch andere Himmelskörper, die nicht alle Punkte der Definition erfüllen, werden gelegentlich als „Planeten“ bezeichnet, zum Beispiel

- **Objekte des Sonnensystems mit annähernder Kugelgestalt, die lediglich Punkt (c) der Definition nicht erfüllen, werden „Zwergplaneten“ genannt.**
- **Für Objekte planetarer Masse, die nicht an Sterne gebunden sind, finden sich die Bezeichnungen freifliegender Planet oder vagabundierender Planet.**
- **Himmelskörper, die einen anderen Stern als die Sonne umlaufen ohne selbst ein Stern oder nachweislich ein Brauner Zwerg zu sein, werden „Exoplaneten“ oder „extrasolare Planeten“ genannt.**

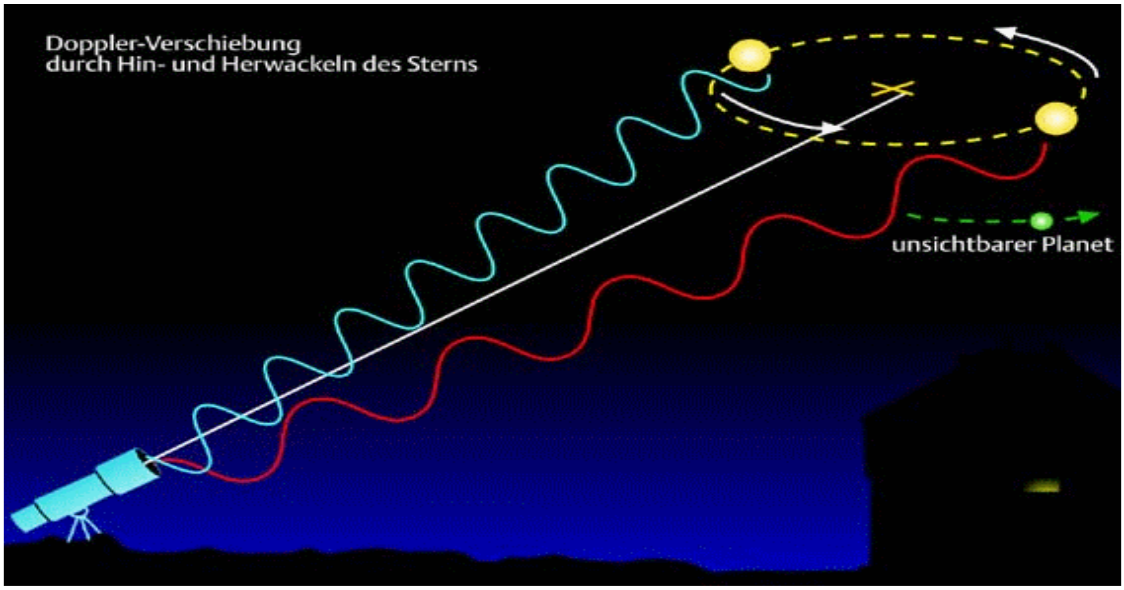
Und mit diesen Planeten wollen wir uns heute erneut beschäftigen, den seit meinem ersten Vortrag über Exoplaneten 2008 und über die Keplersonde 2013 sind ja schon ein paar Jahre vergangen, Jahre, in denen die Technik zur Erforschung von Exoplaneten große Fortschritte gemacht hat.

2. Allgemeiner Rückblick

Bereits die alten Griechen haben sich, wie wir aus der Definition kennen, mit den Wandelsternen beschäftigt. Ihnen war schon klar, dass die ihnen bekannten Planeten und dazu gehörte auch die Erde, um die Sonne kreisen. Sie wussten auch, dass die Erde eine Kugel ist und einen Umfang von ca. 40.000 km hat.
Das hat Eratosthenes, ein griechischer Gelehrter um 240 v. Chr. herausgefunden, als er zufällig im ägyptischen Syene, dem heutigen Assuan aus einem Brunnen Wasser schöpfte. Dabei stellte er fest, dass genau zur Sommer-Sonnenwende auf dem Brunnengrund kein Schatten war, die Sonne also genau senkrecht über den Brunnen stand. Ein Jahr später am gleichen Tag befand er sich in Alexandria wo er einen Obelisken betrachtete der einen Schatten warf. Flugs berechnete er, dass die Abweichung

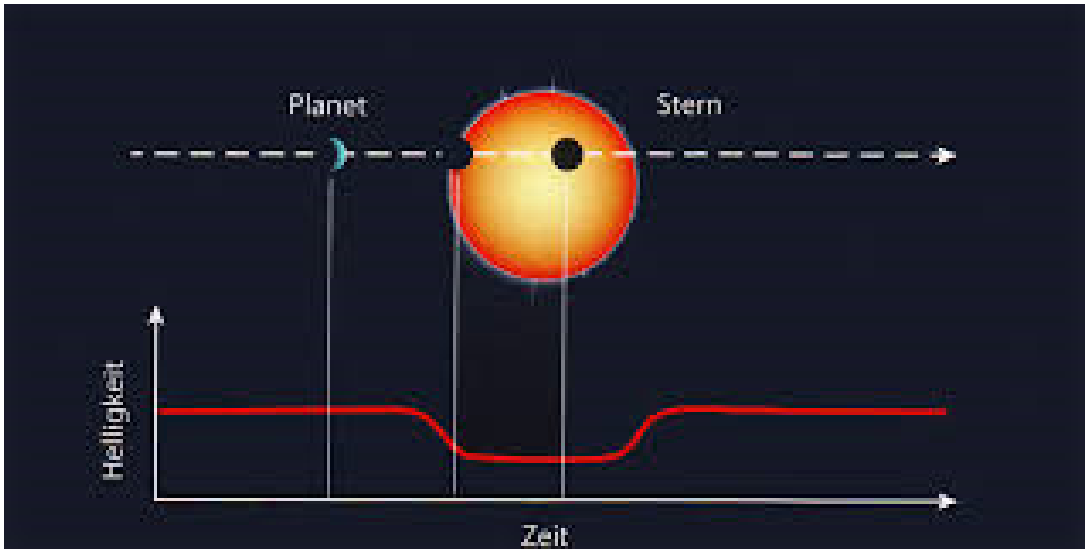
zur Senkrechten ca. 7,2 Grad betrug. Das entspricht dem 50.Teil eines Vollkreises. Da der Abstand der beiden Orte ca. 800 km betrug ergab sich ein Umfang von 40.000 km. Das war schon sehr dicht dran, denn der tatsächliche Umfang beträgt 40.075,017 km.
Das alle diese Kenntnisse von Bedeutung im dunklen Mittelalter wieder verschwanden und erst wieder vor rund 400 Jahren neu entdeckt wurden, ist wohl ein altes Übel der Menschheit. Wären alle Erkenntnisse die je von Menschen entdeckt worden erhalten geblieben und weiter entwickelt, wären wir heute sicher auf einem ganz anderen Kenntnisstand.
Doch nun zu den Exoplaneten. Bereits ab 1988, also vor 30 Jahren glaubte man die ersten Exoplaneten entdeckt zu haben, sie wurden aber später entweder als Brauner Zwerg klassifiziert oder aufgrund der noch ungenügenden Messgenauigkeit zeitweilig wieder verworfen.
Die ersten Exoplaneten überhaupt, die außerhalb des Sonnensystems bestätigt wurden, umkreisen einen Pulsar. Er wurde 1992 von polnischen Astronomen entdeckt. Bei genauen Messungen des Pulsarstrahls konnten periodisch wiederkehrende Überlagerungen festgestellt werden, die auf die Existenz von min. drei Planeten mit Umlaufzeiten von 25,3, 66,5 und 98,2 Tagen hingewiesen haben. Diese Meßmethode wird Pulsar-Timing genannt, mit ihr wurden noch weitere Exemplare entdeckt.

Die erste Entdeckung eines Exoplaneten in einem Orbit um einen Stern, ähnlich der Sonne, wurde 1995 mit Hilfe der Radialgeschwindigkeitsmethode gemacht, der Planet 51 Pegasi b. Er kreist in 4,2 Tagen um den ca. 50 Lichtjahre von der Erde entfernten Stern 51 Pegasi (Sternbild: Pegasus) und hat in etwa 0,6-mal die Masse des Jupiter.

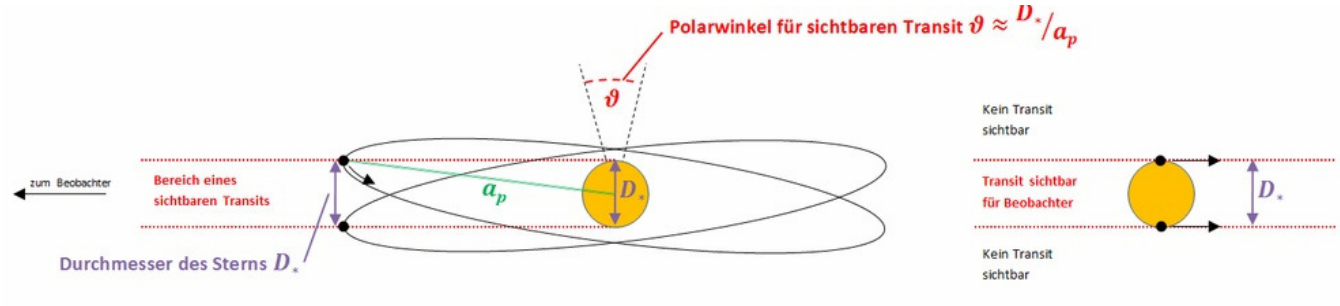


Und so funktioniert die Radialgeschwindigkeitsmethode: Umkreist ein Begleiter einen Stern, so bewegen sich beide Körper um ihren gemeinsamen Schwerpunkt im Raum. Diese Bewegung kann gemessen werden. Durch die Rotation des Sterns ums Baryzentrum bewegt er sich mal auf den Beobachter zu, mal entfernt er sich. Dabei wird das Licht des Sterns blau bzw. rot verschoben. Die Stärke dieser Wellenlängenverschiebung, auch als Dopplereffekt bekannt, gibt Aufschluss über die Masse des Begleiters.

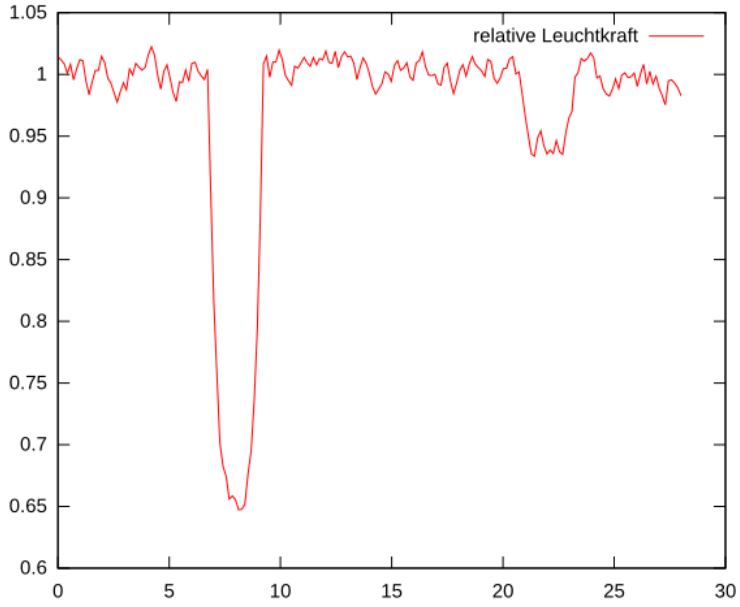
Eine weitere Messmethode, und die bisher erfolgreichste, ist die Transitmethode. Dabei wird der Helligkeitsabfall des beobachteten Stern ermittelt, wenn ein Planet vor ihm vorbeizieht.



Die grundlegende Voraussetzung dafür ist der relativ seltene Fall, dass die Planetenbahn in der gleichen Ebene liegen muss wie die Verbindungslinie Erde-Stern. Die Sichtebene darf dabei nur sehr gering geneigt sein.



Das bedeutet, dass sich der Planet einmal während der Umrundung des Sterns genau vor dem Stern befindet und eine halbe Umdrehung später genau hinter dem Stern. Das ergibt dann eine charakteristische Helligkeits-verlaufskurve.



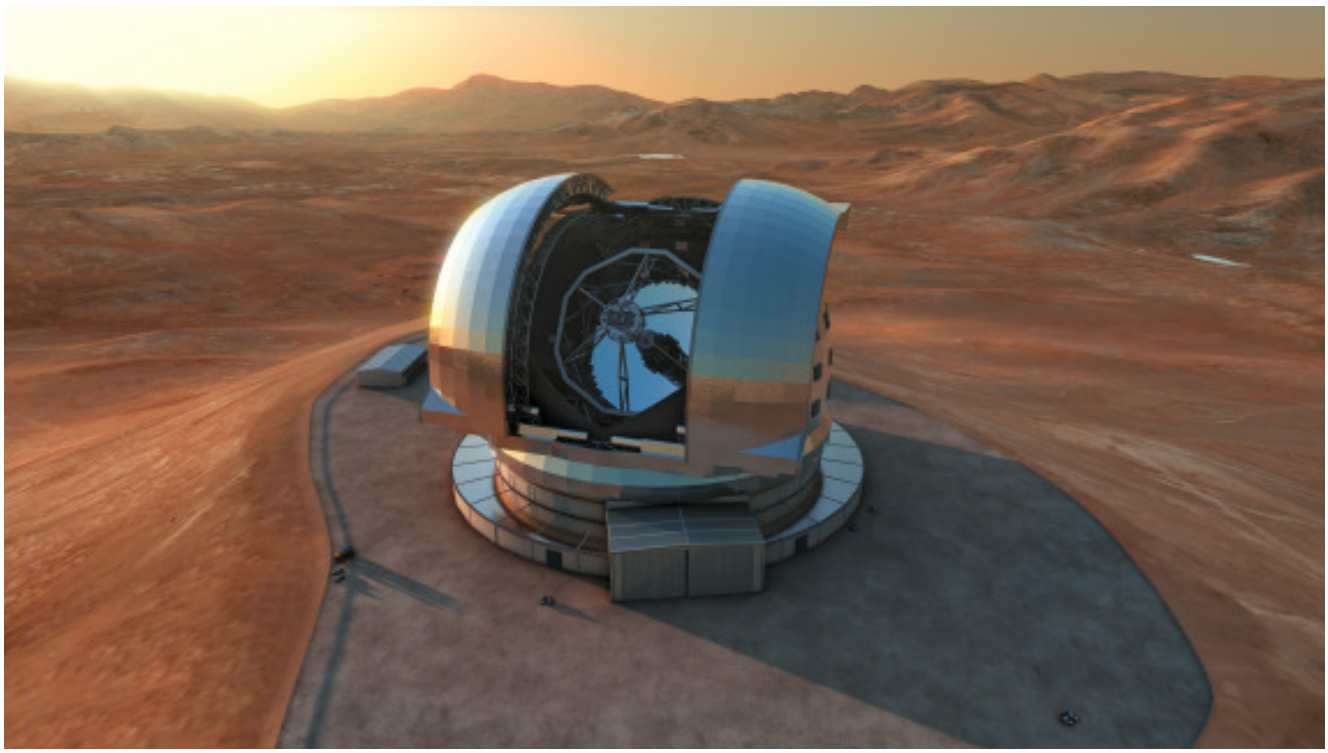
Bei dem tieferen Minimum befindet sich der Planet genau vor dem Stern und verdeckt ihn zum Teil. Man würde also, falls man sich viel näher am Stern befindet, den Planeten als schwarzen Fleck sehen, so wie wir es vom Merkur- oder Venustransit kennen. Das zweite Minimum entsteht, wenn sich der Planet genau hinter dem Stern

befindet. Auch wenn der Planet von sich selber kein sichtbares Licht abstrahlt, so spielt doch seine Wärmestrahlung auch eine Rolle in der gemessenen und aufgetragenen Intensität. Die Zeit-Differenz zwischen den beiden Minima ist die Hälfte der Umlaufzeit.

Auch die Radialgeschwindigkeitsmethode ist nur anwendbar wenn der Exoplanet sich auf der gleichen Sichtebene befindet, allerdings darf die Sichtebene bis etwa 45° nach oben oder unten geneigt sein, während dies bei der Transitmethode teilweise nur wenige Winkelminuten sind.

Man sieht also, das mit den beiden bekanntesten Messmethoden nur relativ wenig Sterne in Frage kommen wo diese Methoden angewandt werden können, trotzdem wurden bisher schon sehr viele Planeten dadurch nachgewiesen.

Drei weitere Methoden zur Auffindung sollen hier nur kurz erwähnt werden, es ist die Microlensing- die Astrometrie- und die Direktabbildungsmethode, wobei Letztere durch die rasante Entwicklung immer empfindlicher und größerer erdgebundener Teleskope weiter zunimmt.

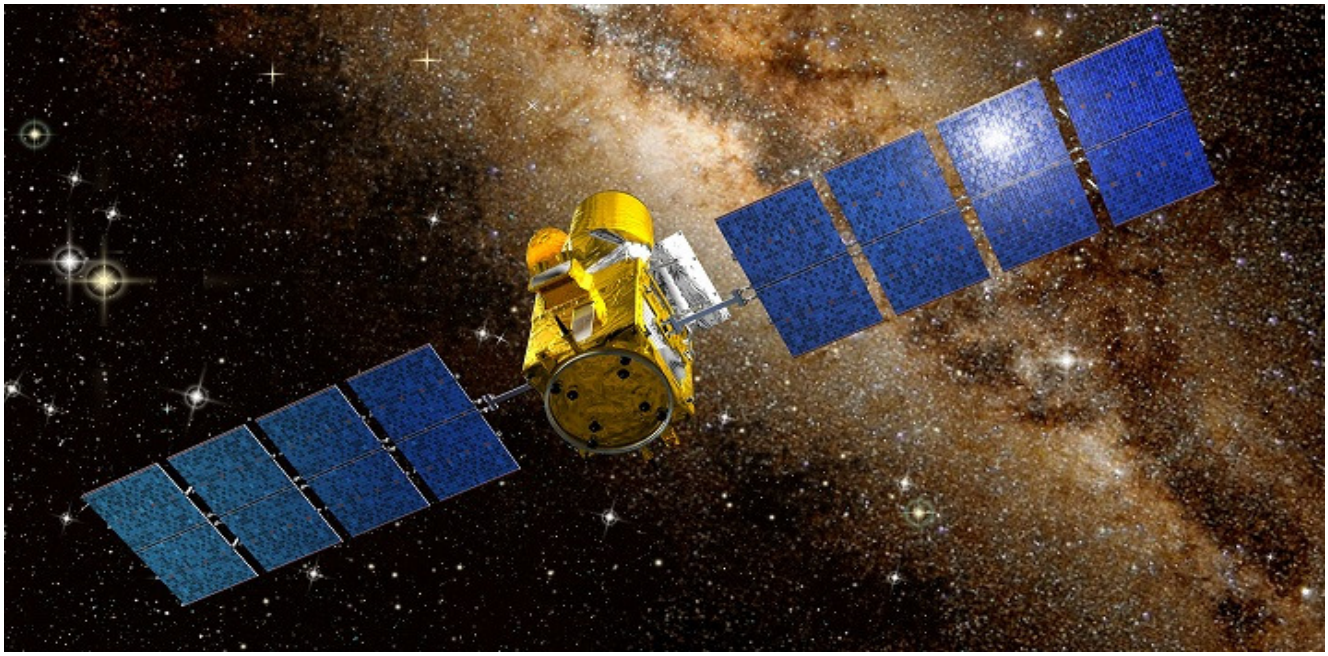


European Extremely Large Telescope (E-ELT) Illustration

2. Bisherige Missionen

- COROT

Das Weltraumteleskop Corot war die erste Satellitenmission, die Exoplaneten nach der Transit-Methode gesucht hat. Sie war ein Gemeinschafts-Projekt der französischen Weltraumbehörde CNES und der ESA. Es verfolgte Helligkeitsveränderungen einer Vielzahl von Sternen, um daraus Informationen über deren innere physikalische Eigenschaften abzuleiten.
Raketenstart war im Dezember 2006. COROT hatte ein Spiegelteleskop mit einem Hauptspiegel-Durchmesser von 27 cm an Bord. Die am Teleskop angebrachte Kamera hatte vier CCDs. Zwei der CCDs (E1 und E2) wurden für die Suche nach Exoplaneten eingesetzt und zwei (A1 und A2) für die Asteroseismologie. E1 und A1 sowie E2 und A2 bilden dabei jeweils eine so genannte photometrische Kette.
Im April/Mai 2007 entdeckte COROT seinen ersten Exoplaneten. Es handelt sich dabei um einen Gasriesen der den Namen „CoRoT-1 b erhielt“. Er hat die 1,3-fache Masse des Jupiter und ist rund 1.500 Lichtjahre von der Erde entfernt.

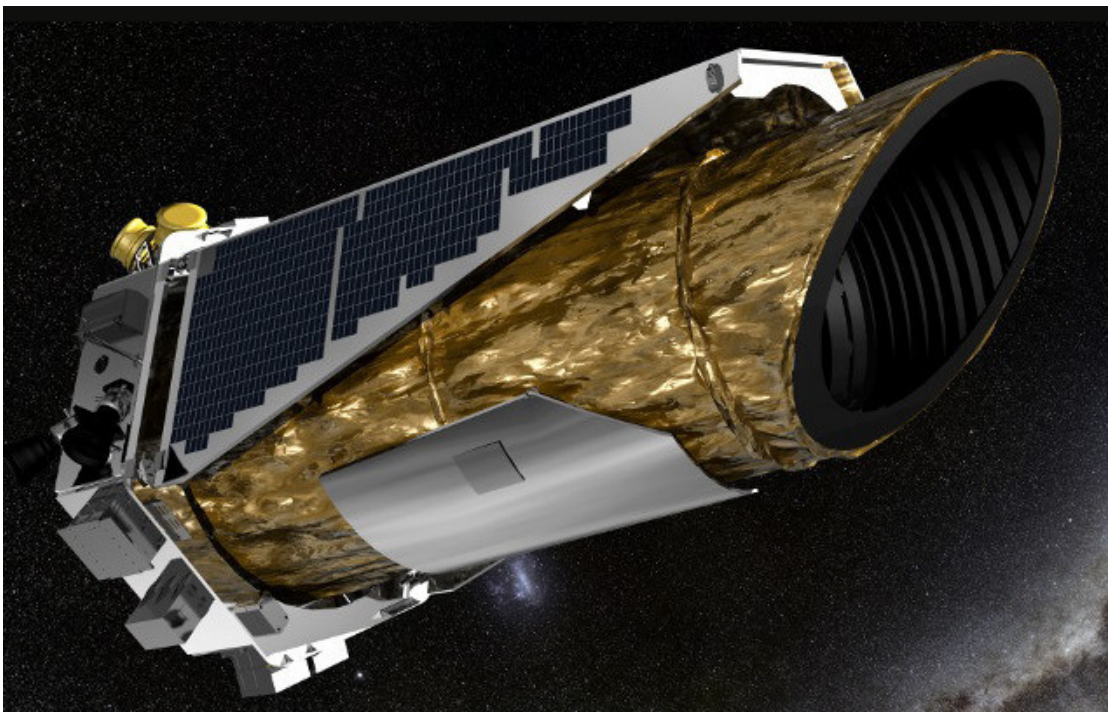


Ein Computerdefekt im November 2012 setzte den Beobachtungen von Corot ein vorzeitiges Ende; vorgesehen war eine Laufzeit der Mission bis Ende 2013. Am 20. Juni 2013 wurde die Mission offiziell für beendet erklärt, am 17. Juni 2014 wurde der Satellit abgeschaltet.

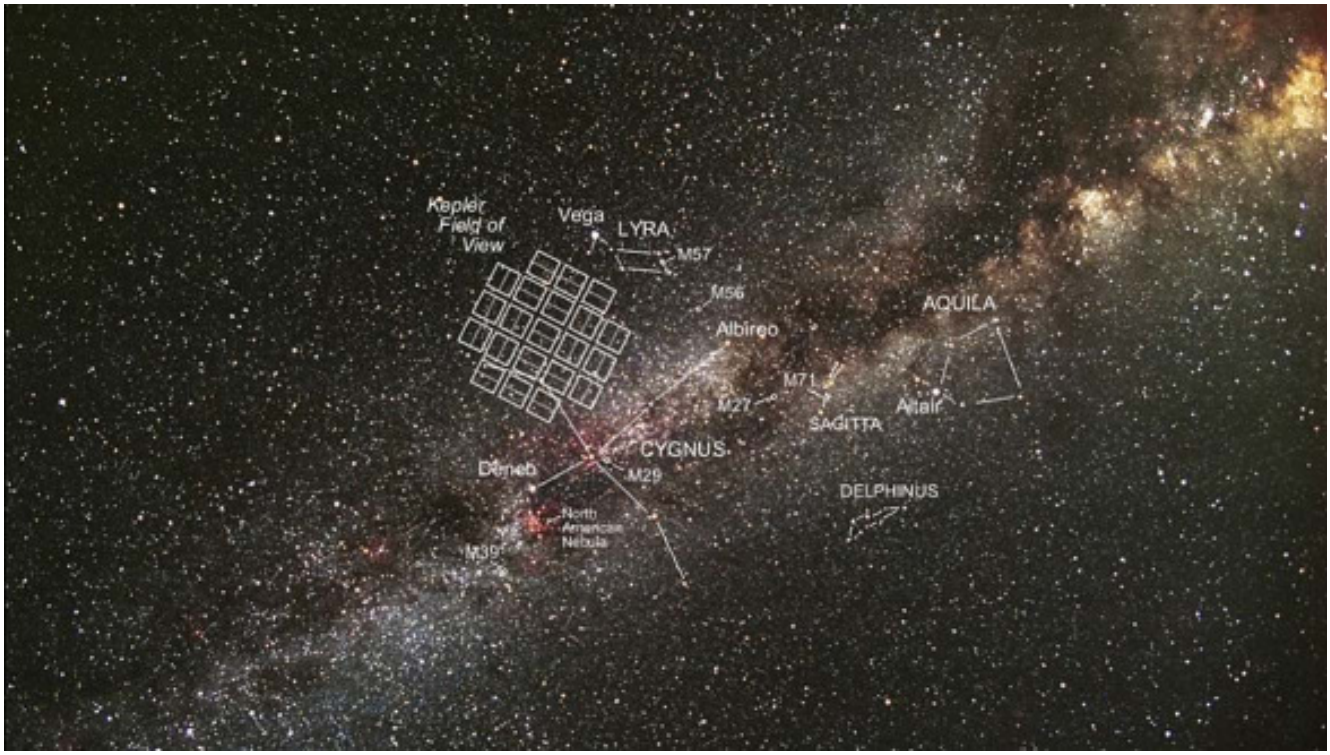
Insgesamt wurden von 2007 bis 2013 neben vorrangig astroseismologische Messungen auch 32 Exoplaneten und 2 braune Zwerge entdeckt.

- KEPLER

Die zweite und die beiweiten bis heute erfolgreichste Satelliten-Mission zur Suche nach Exoplaneten mittels der Transit-Methode war die Kepler-Mission.
Im März 2009 gestartet lieferte das von der NASA entwickelte Weltraumteleskop ab Januar 2010 permanent Daten von detektierten Exoplaneten-Kandidaten. Dabei wurde mittels des Kepler-Fotometers, dass als Schmidt-Teleskop ausgeführt ist und dessen Hauptspiegel ein Durchmesser von 1,4 m aufweist, mithilfe der 42 CCD-Sensoren ein Suchfeld von 105 Quadratgrad, dem so genannten Kepler-Suchfeld, überwacht.



Das Suchfeld befand sich zwischen den Sternen Wega in der Leier und Deneb im Schwan. Dabei wurden rund 150.000 Sterne gleichzeitig überwacht und jede Helligkeitsabweichung in der Größenordnung von bis zu 0,01 % registriert.

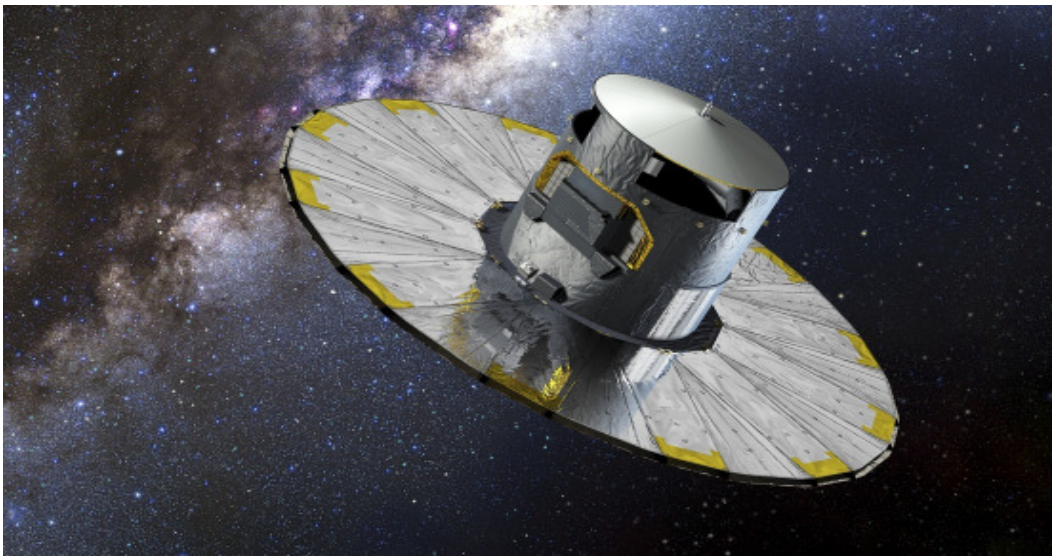


Mitte Mai 2013 erklärte die NASA, dass Kepler infolge zweier defekter Reaktionsräder nicht mehr mit der bisherigen Präzision ausgerichtet werden kann. Am 15. August 2013 wurde daraufhin die bis dahin sehr erfolgreiche Hauptmission eingestellt.
Am 25. November 2013 gab die NASA bekannt, eine Möglichkeit gefunden zu haben, das Teleskop trotz Ausfall der zwei Reaktionsräder wieder einsatzbereit zu machen.
Dabei sollten die zwei verbliebenen Motoren gegen den Druck der Photonen der Sonne arbeiten und so Kepler stabilisieren. Dies erlaubt aber nur noch Beobachtungen entlang der Ekliptik, und das Teleskop musste alle 75 Tage auf eine neue Himmelsregion ausgerichtet werden. Somit konnten nur Exoplaneten mit Umlaufzeiten bis zu 25 Tagen erfasst werden.

Ab Mai 2014 konnte Kepler dann mit der modifizierten Mission, jetzt *K2* genannt, seine Beobachtungen fortsetzen. Nach neusten Meldungen wird die Mission in einigen Monaten beendet sein, weil die Tanks zum Betreiben der Stellmotoren leer sein werden.
Bis dahin sollen noch so viele Daten wie möglich gesammelt und zur Erde geschickt werden.
Bisher wurden bei der Kepler-Mission 2342 und der K2-Mission 307 Planeten bestätigt, weitere 2245 bzw. 479 Planetenkandidaten müssen noch bestätigt werden.
Da die Auswertungen aber noch lange nicht abgeschlossen sind, werden sich noch etliche Veränderungen ergeben.

- GAIA

Eine weitere Satellitenmission die unter anderem auch Exoplaneten aufspüren soll, ist die von der ESA entwickelte Raumsonde GAIA.
Im Dezember 2013 gestartet und nach einer Testphase im Juni 2014 in Betrieb genommen soll sie vorrangig Milliarden von Sternen in der Milchstrasse vermessen. Dazu wurde die bisher größte CCD-Kamera verbaut, die je im Weltall zum Einsatz kam. Seine 106 CCDs verfügen über je 4500x1966 Pixel, somit insgesamt 938MP. Im Vergleich dazu, Kepler verfügte über 95MP.



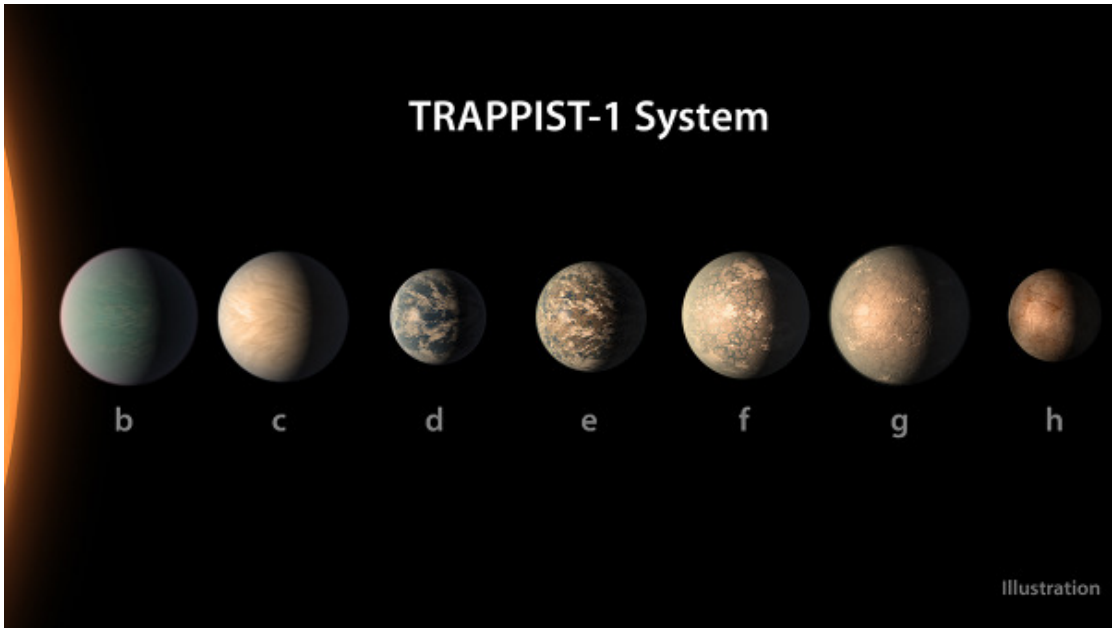
Die CCDs wurden mit unterschiedlichen Aufgaben belegt, so wird ein Teil für astrometrische, ein Teil für photometrische und ein Teil für radialgeschwindigkeits-spektometrische Aufgaben belegt.
Die Beobachtungen erlauben auch die Erfassung von Exoplaneten mit Massen ähnlich wie Jupiter und mehrjährigen Umlaufzeiten anhand der Bewegungen des Sterns um das gemeinsame Massezentrum, einschließlich der Bestimmung der Massen. Der Übergangsbereich zwischen großen Exoplaneten und braunen Zwergen wird dabei genauer bestimmt.
Nominal war der Betrieb der Sonde bis Juni 2019 geplant, aufgrund des diesmal genügenden Treibstoffvorrats wurde das Missionsende auf Ende 2020 festgelegt. Die endgültige Veröffentlichung für die während der Missionsdauer gewonnenen Daten wird gegen Ende des Jahres 2022 erwartet. Darin sollen enthalten sein die astrometrischen und photometrischen Daten aller erfassten Normal- und veränderlichen Sterne, alle Doppel- und Mehrfach-Sternsysteme, nicht aufgelöste Doppelsterne, Galaxien und Quasare, sowie eine Liste von Exoplaneten. Vorab wurde bereits ein erster Teilkatalog veröffentlich, ein zweiter soll demnächst folgen.

-TRAPPIST

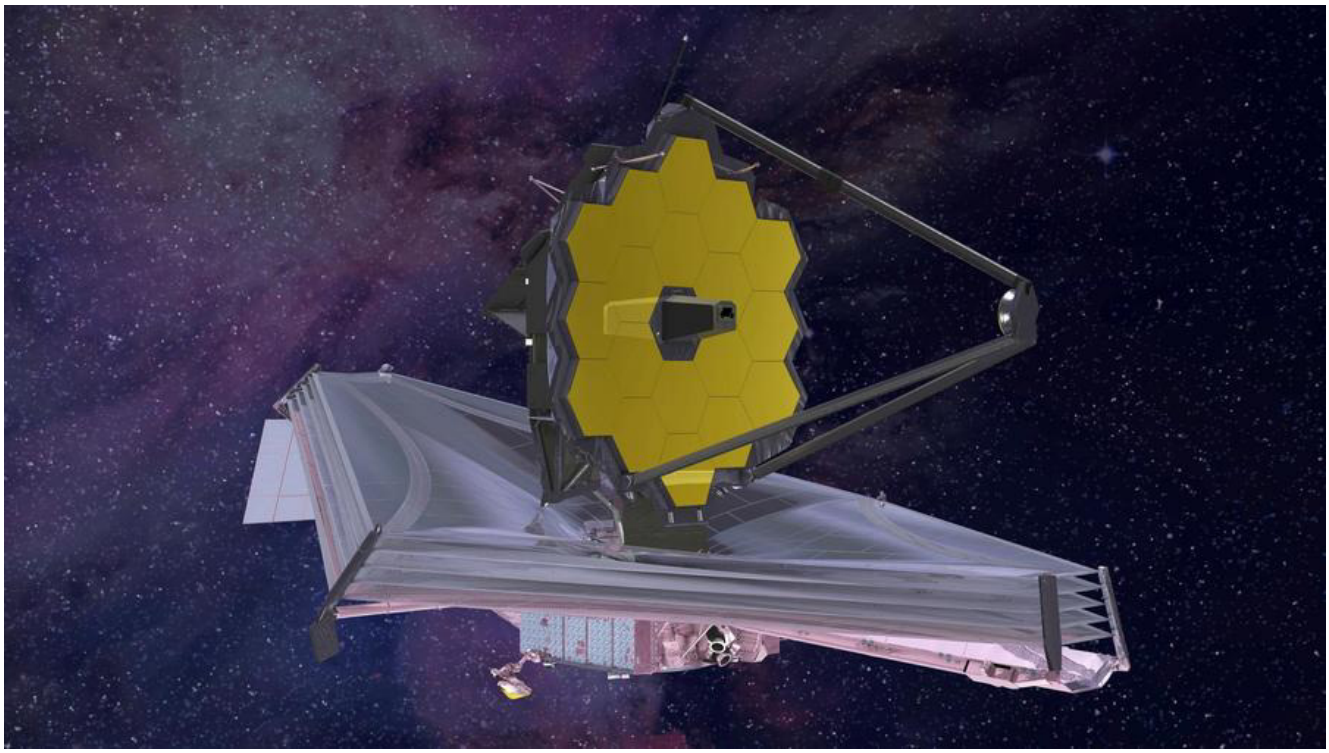
Trappist ist ein belgisches optisches RC-Cassegrain-Spiegelteleskop auf einer deutschen Montierung mit robotischer Steuerung das im Jahr 2010 in Betrieb genommen wurde. Es ist Teil des La-Silla-Observatoriums der Europäischen Südsternwarte in Chile. Das Teleskop ist ein Gemeinschaftsprojekt der Universität Lüttich und der Sternwarte Genf. Die CCD-Kamera verfügt über 4,2 Megapixel und der Spiegeldurchmesser beträgt 600 mm entsprechend 24 Zoll. Eine wissenschaftliche Aufgabe neben der

Entdeckung von Exoplaneten ist die Untersuchung von Kometen und anderen kleinen Körpern in unserem Sonnensystem.

Mit dem Teleskop Trappist wurde das Planetensystem um den Stern Trappist-1 entdeckt, eine der spektakulären Entdeckungen der Jahre 2016/17.
Mindestens sieben Planeten umkreisen den 39 Lichtjahre entfernten Zwergstern. Das zeigen weitere Beobachtungen eines internationalen Astronomenteams unter anderem mit dem Weltraumteleskop Spitzer. Die Planeten ähneln bezüglich Größe und Masse unserer Erde. Zudem sei auf allen sieben Planeten die Existenz von flüssigem Wasser möglich, sagen die Wissenschaftler .



„Bei der Suche nach Leben ist dieses System zurzeit wahrscheinlich unsere beste Chance“, erklärt einer der beteiligten Forscher. Mit dem James Webb Space Telescope, dessen Start die NASA für Oktober 2018 vorsieht, ließen sich die Atmosphären dieser Planeten untersuchen.



Es könnte zum Beispiel Ozon nachweisen falls dieses Molekül dort vorkommt, und das könnte ein Anzeichen biologischer Aktivität sein.

4. Künftige Missionen

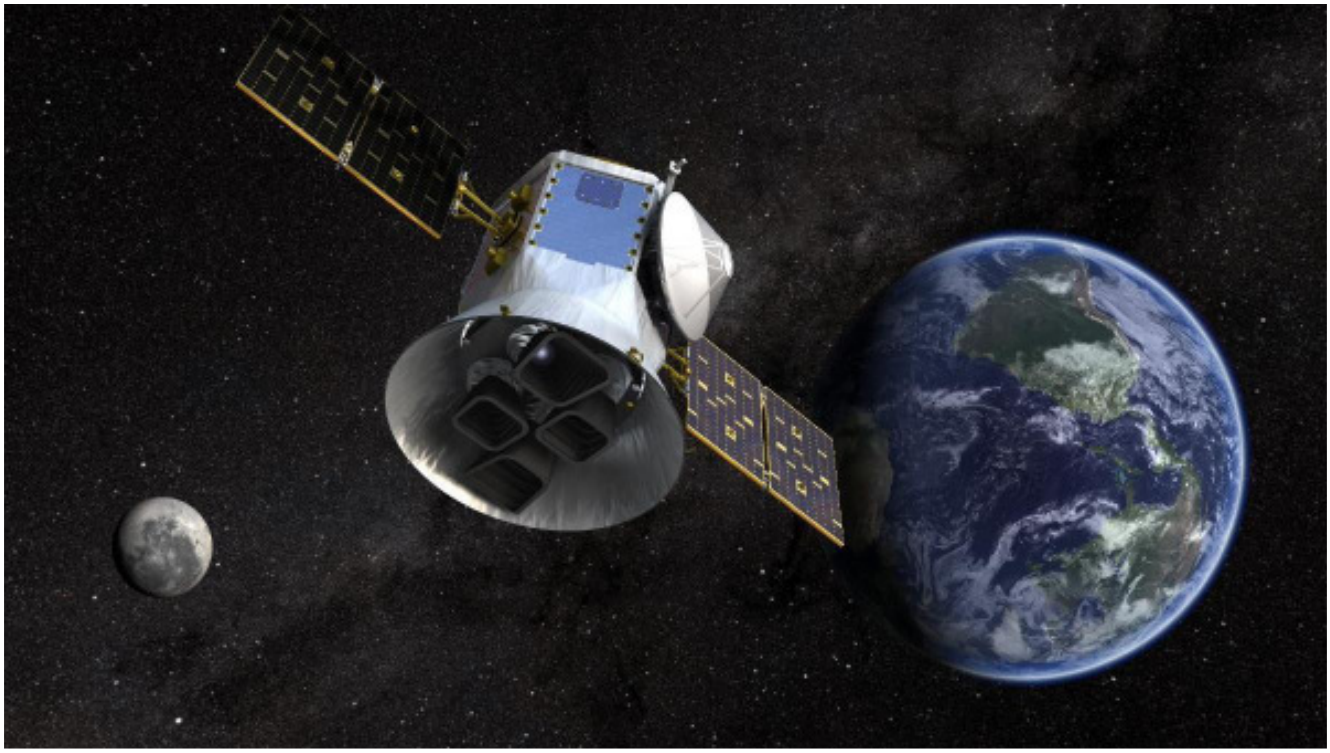
-TESS

Das Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) ist ein Weltraumteleskop der NASA zur Suche von Exoplaneten. Der erste Start wurde noch verschoben, jetzt hat es aber geklappt. Das Weltraumteleskop TESS hob in der Nacht vom 18. auf den 19.04.2018 an Bord einer Falcon-9-Rakete des privaten Raumfahrtunternehmens SpaceX vom Weltraumbahnhof Cape Canaveral in Florida ab.

In spätestens zwei Monaten soll der Planetenjäger in seiner Umlaufbahn angekommen sein und Daten senden. Es ist das erste Mal, dass die NASA die Dienste von SpaceX für eine wissenschaftliche Mission in Anspruch nimmt. Bislang hatte SpaceX in erster Linie mit seinem Dragon-Frachter im Auftrag der NASA Nachschub zur Internationalen Raumstation ISS gebracht.

Die rund 200 Millionen Dollar teure Mission ist zunächst auf etwa zwei Jahre angelegt. Der Start war eigentlich in der Nacht zum Dienstag geplant, musste dann aber verschoben werden, um zusätzliche Tests an den Navigationssystemen durchzuführen.

Wie schon beim Weltraumteleskop Kepler verwendet auch TESS die Transitmethode, um Exoplaneten zu entdecken. Jedoch liegt der Fokus eher auf Sternen, die der Erde am Nächsten sind. Es wird mit bis zu 3.000 Planetenkandidaten gerechnet, wovon 300 in der Größenordnung der Erde sein sollen, mit maximal dem doppelten Durchmesser der Erde.

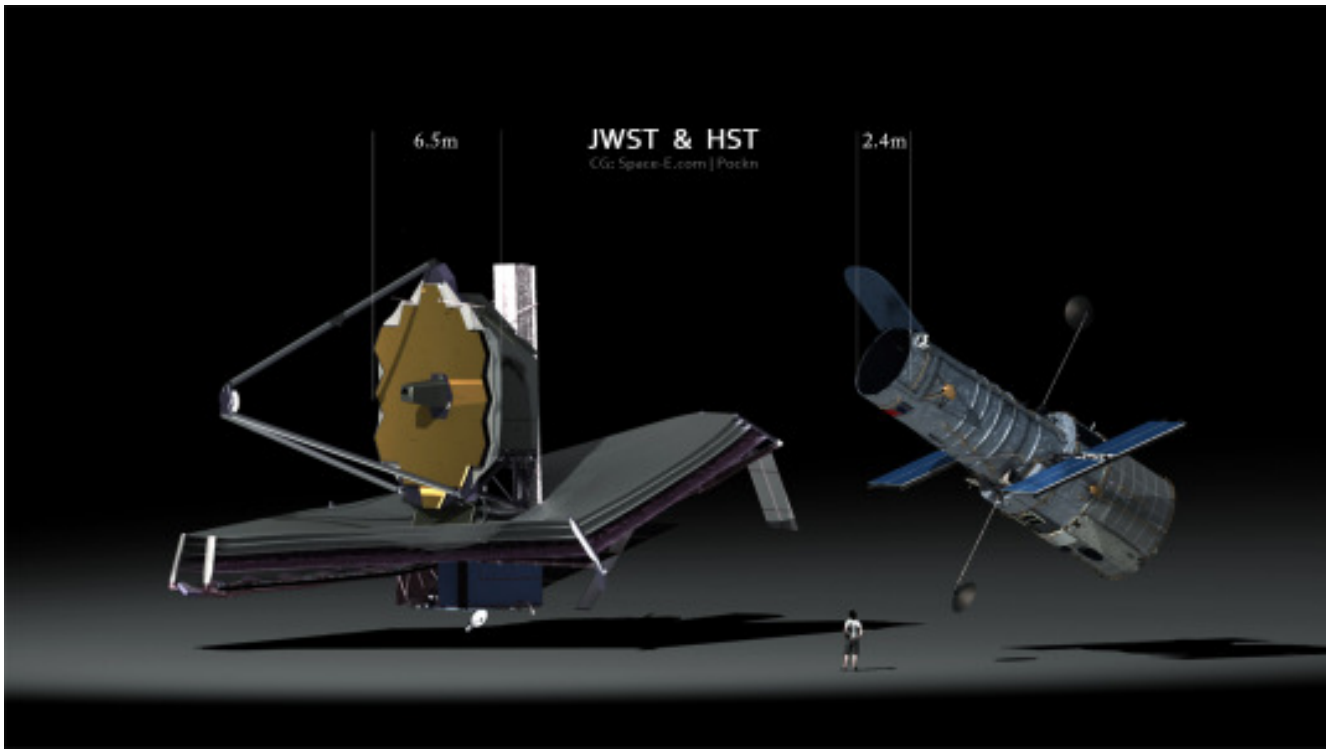


Kepler beobachtete lediglich einen kleinen Ausschnitt des Sternenhimmels, TESS dagegen soll Signale aus dem gesamten Himmel erfassen. Dazu ist das Teleskop mit vier Hochleistungskameras ausgestattet. TESS soll 500.000 Sterne beobachten, mehr als viermal so viele wie Kepler. Von den 100.000 hellsten im Bildbereich werden die Kameras jede Minute eine Aufnahme abspeichern.

Nahe Sterne strahlen hell. Für die Kepler-Kameras oft zu hell, sodass sie die vorbeiziehenden Planeten nicht ausmachen konnten. Die Bilder waren gewissermaßen überbelichtet. Die Kameras von TESS dagegen werden auch Sterne erfassen, die bis zu hundert Mal heller sind als die, die Kepler beobachtet hat.
TESS wird dabei nach Transits suchen und einen Katalog von Exoplanet-Kandidaten erstellen. Anhand des Katalogs können erdbasierte Teleskope Folge-Untersuchungen durchführen und somit die Kandidaten bestätigen oder verwerfen. Die erdbasierten Teleskope werden im Verbund arbeiten, um die Masse der Planeten zu bestimmen. Da die Größe der Planeten über die

Transitmethode bereits bekannt ist, können mit diesen Daten dann bereits Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Planeten gezogen werden.

Andere Teleskope, wie zum Beispiel das James Webb Space Telescope, sollen dann die Atmosphären der entdeckten Planeten untersuchen.

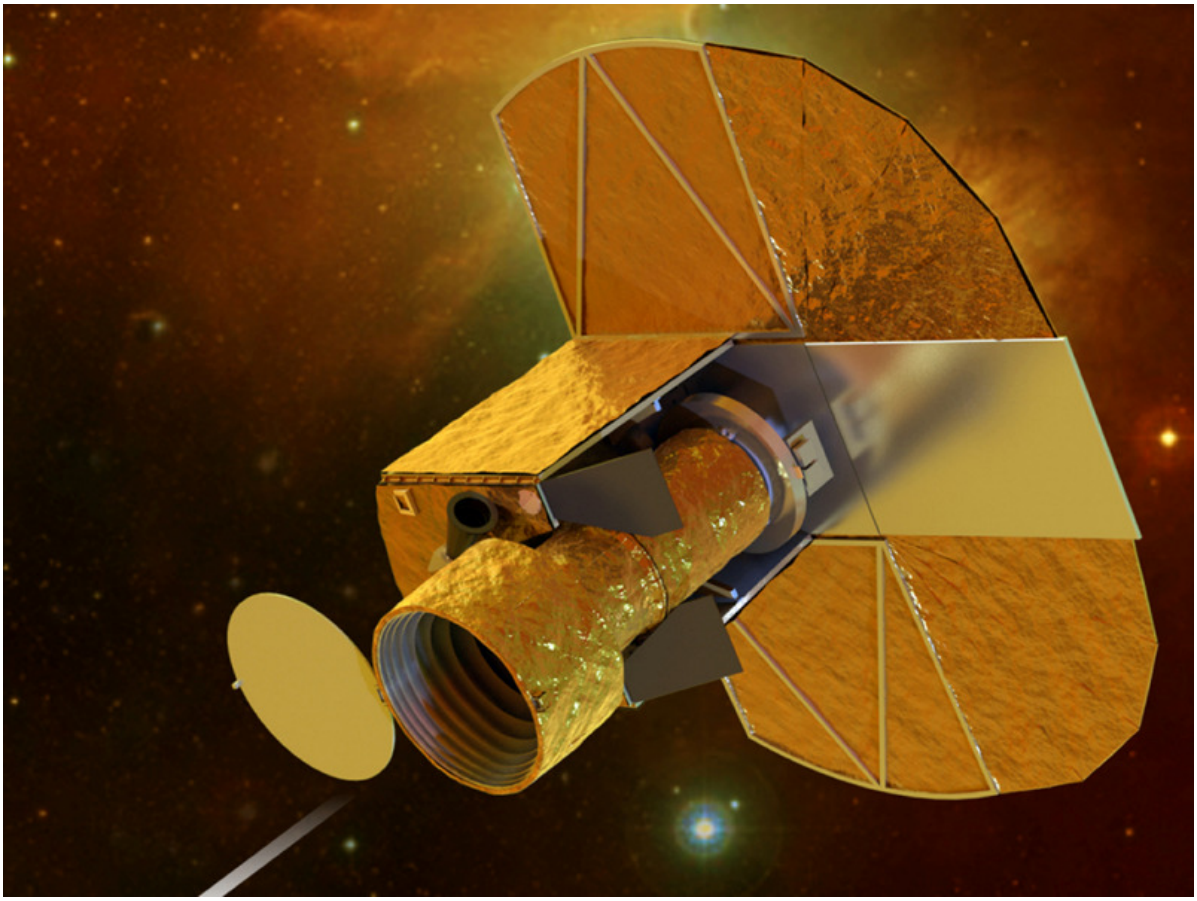


Das James Webb Space Telescope JWST ist der wissenschaftliche Nachfolger des Hubble-Teleskops und ein Gemeinschaftsprojekt der NASA, ESA und der CSA aus Kanada. Es sollte im Oktober 2018 starten, der Termin wird aber voraussichtlich verschoben.

-CHEOPS

CHEOPS (für CHaracterising ExOPlanets Satellite) ist ein geplanter Planetenjäger mit Schweizer Präzision. In Zusammenarbeit mit der Europäischen Raumfahrtagentur ESA und zehn weiteren Partnerländern wird die Schweiz das Weltraumteleskop CHEOPS in den Orbit bringen mit dem Hauptziel, Exoplaneten in der näheren Umgebung

der Erde zu charakterisieren und zu untersuchen. Es wird dafür etwa 500 Sterne mit bereits bekannten Planetensystemen aus einer Erdumlaufbahn beobachten und dabei entdeckte Exoplaneten mit höchster Genauigkeit vermessen.
Gegenüber den Dimensionen des von der ESA und der NASA in den Orbit gebrachten Teleskops ist das von der Schweiz entwickelte Cheops-Weltraumteleskop nur ein Zwerg. Seine Länge beträgt 1,2 Meter, der Durchmesser 32 Zentimeter und die Masse 290 Kilogramm.



Die Sonde soll Ende 2018 starten und die erste einer Reihe so genannter S-Klasse-Missionen sein, die innerhalb vergleichsweise kurzer Zeit (4 Jahre) und mit beschränktem Budget realisiert werden sollen.
Das CHEOPS-Team will eine Nische der Exoplaneten-Forschung besetzen: Es sollen nicht, wie bei den bisherigen Teleskope Corot, Kepler und Co. hunderttausend Sterne beobachten, um neue Planeten zu

entdecken. CHEOPS nimmt stattdessen einen Stern ins Visier und kann bei den interessantesten der bereits entdeckten Planeten ihre Größe mit hoher Präzision messen. Damit ist es den anderen eine Nasenlänge voraus.
Die Anderen haben die Statistik geliefert und so die außerordentliche Vielfalt zwischen den Planeten und Planetensystemen gezeigt: Das CHEOPS-Team will jetzt Planeten charakterisieren, herausfinden, woraus sie bestehen, welche Temperatur auf ihnen herrschen und ob es Wasser auf ihnen gibt.
Wie viele andere Exoplaneten-Forscher hofft auch das Cheops-Team, dass sie vielleicht diejenigen sind, die als erste die Erde 2.0 entdecken.

-PLATO

Als zweite Mission in dieser Reihe wurde bereits die Mission PLATO benannt.
PLATO soll nacheinander zwei Himmelsauschnitte über zwei bis drei Jahre beobachten und über die Transitmethode Planeten nachweisen. Er soll dabei die Arbeit von CoRoT und Kepler fortsetzen.
PLATO soll allerdings ein deutlich größeres Beobachtungsgebiet sowie eine auf erdähnliche Planeten spezialisierte Optik haben, so dass im Gegensatz zu den Vorgängern auch viele Funde von Gesteinsplaneten in Erdgröße bei helleren bzw. sonnenähnlichen Sternen erwartet werden.

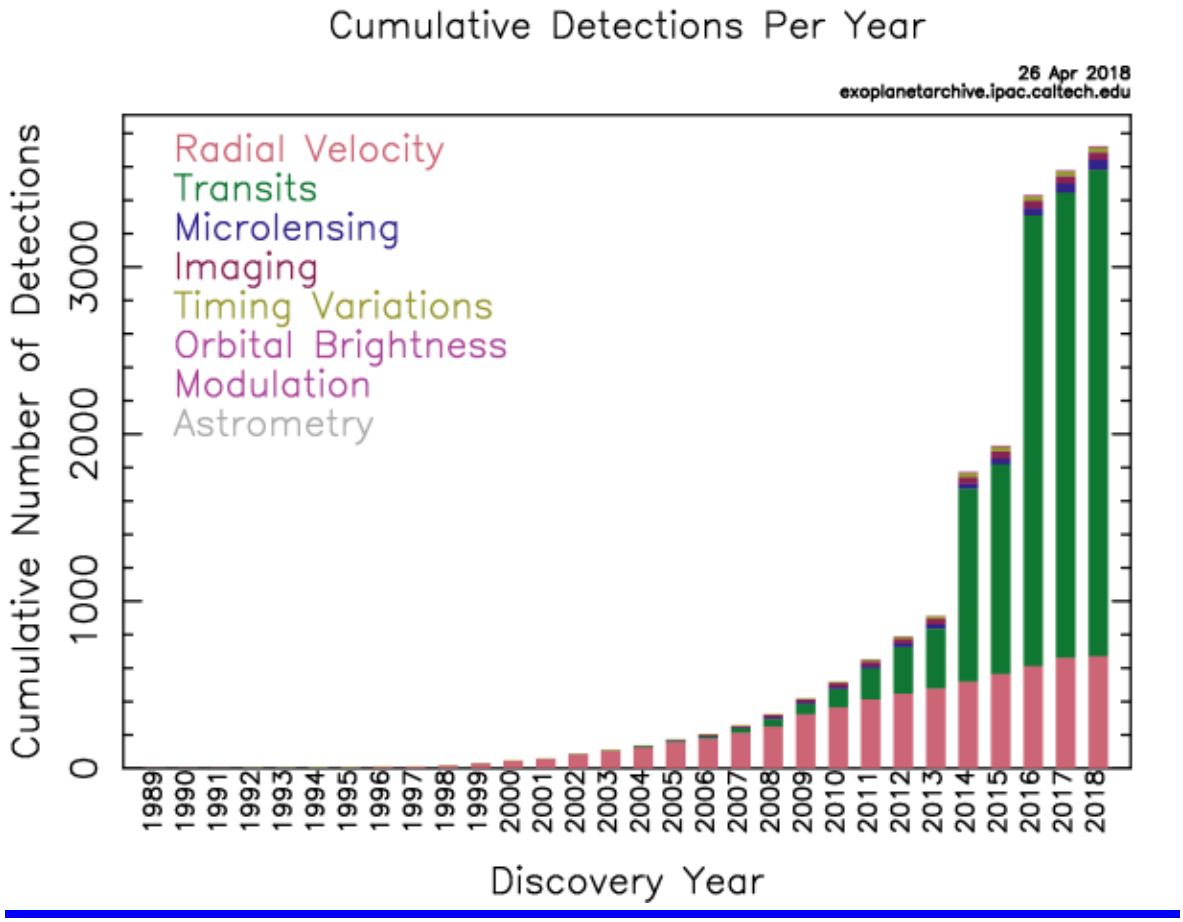
PLATO erhält 34 Kameras, jede bestückt mit einer 120-mm-Weitwinkeloptik. Jede Kamera bekommt ihre eigene Fokalebene (Brennpunkt) mit vier großformatigen CCD-Sensoren. Weiter sollen Planetenbeherbergende Sterne nach asteroseismologischen Methoden vermessen werden.

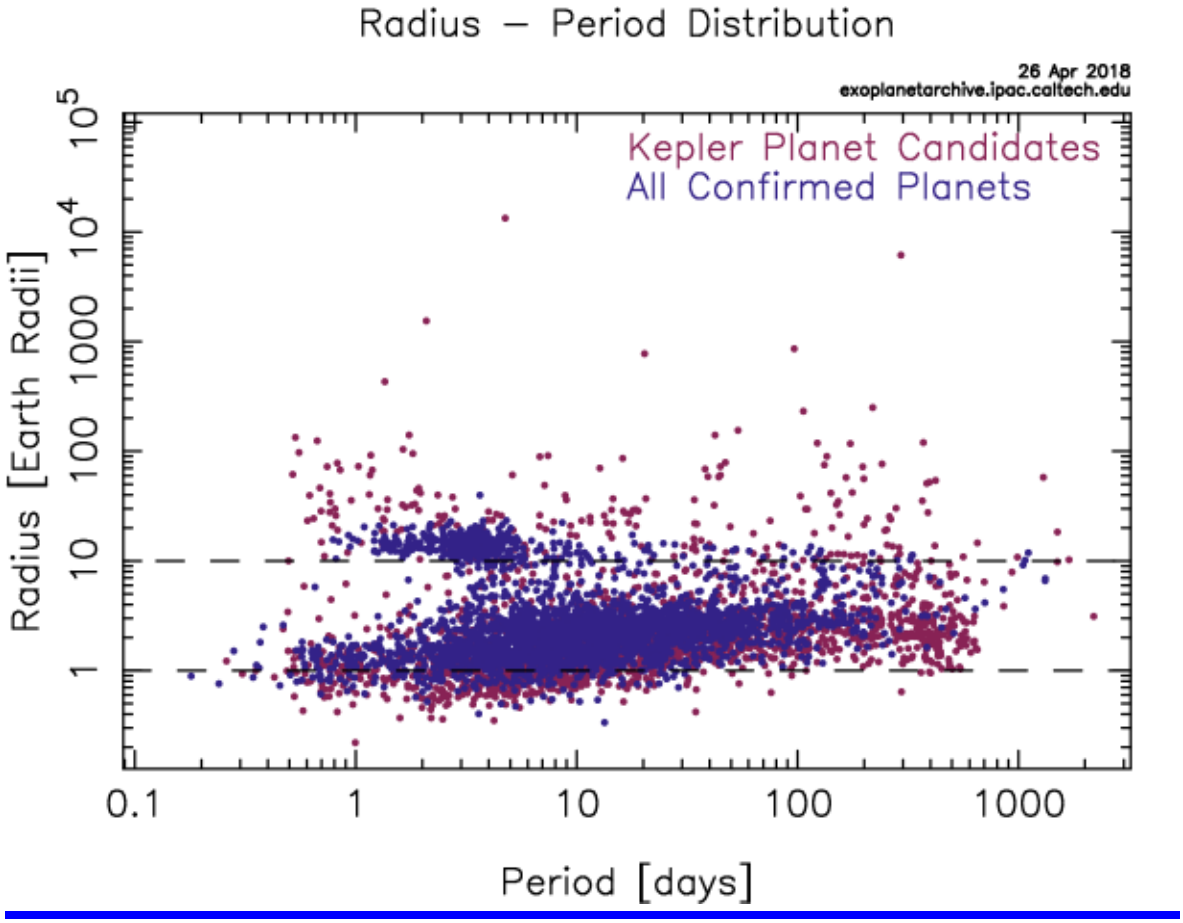
In Kombination mit den Daten von Gaia erhält man so wichtige Informationen, die für viele weitere Berechnungen zu den Exoplaneten notwendig sind.

5. Aktueller Stand

Mit dem Stand vom März 2018 sind insgesamt 3759 Exoplaneten in 2808 Sternsystemen nachgewiesen. 627 Mehrfachsysteme haben zwei bis sieben nachgewiesene Planeten.

Anzahl entdeckter Exoplaneten pro Jahr										
(Stand März 2018)										
1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	
1	1	0	0	3	0	0	3	7	0	15
1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
8	11	22	14	31	26	31	33	30	58	264
2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
61	85	117	197	157	189	844	186	1464	147	3447
2018										
33										33
gesamt										3759
Kandidaten										4496
Sternsysteme										2808
Gesteinsplaneten										929


Cumulative Detections Per Year
26 Apr 2018
exoplanetarchive.ipac.caltech.edu
Radial Velocity
Transits
Microlensing
Imaging
Timing Variations
Orbital Brightness
Modulation
Astrometry
Cumulative Number of Detections
0
1000
2000
3000
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
Discovery Year


Radius – Period Distribution
26 Apr 2018
exoplanetarchive.ipac.caltech.edu
Kepler Planet Candidates
All Confirmed Planets
Radius [Earth Radii]
1
10
100
1000
10^4
10^5
0.1
1
10
100
1000
Period [days]

6.Quellen

https://lp.uni-goettingen.de/get/text/7693
https://exoplanets.nasa.gov/news/
https://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet
https://de.wikipedia.org/wiki/COROT_(Weltraumteleskop)#Exoplanetensuche
https://lp.uni-goettingen.de/get/text/7693
http://www.dlr.de/pf/Desktopdefault.aspx/tabid-327/1154_read-2072/
https://de.wikipedia.org/wiki/Gaia_(Raumsonde)#Gaia_Data_Release_DR1
https://de.wikipedia.org/wiki/Transiting_Exoplanet_Survey_Satellite
https://www.nasa.gov/content/about-tess
http://www.ethlife.ethz.ch/archive_articles/121019_cheops_per/cheops_l-hires.jpg
https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2017/sieben-exoplaneten-um-zwergstern-aufgespuert/
https://www.tagesschau.de/ausland/tess-nasa-weltraum-101~_origin-2160c225-2c25-49fd-8900-8a79ca45e5c0.html
https://de.wikipedia.org/wiki/CHEOPS_(Weltraumteleskop
http://sci.esa.int/plato/
https://de.wikipedia.org/wiki/PLATO

Die Ausarbeitung dient keiner kommerziellen Nutzung sondern wurde ausschließlich zu Informationszwecken bei unserem Astro-Stammtisch benutzt. Etwaige Copyright-Verletzungen wären unbeabsichtigt, der Verfasser bittet dies zu Entschuldigen..