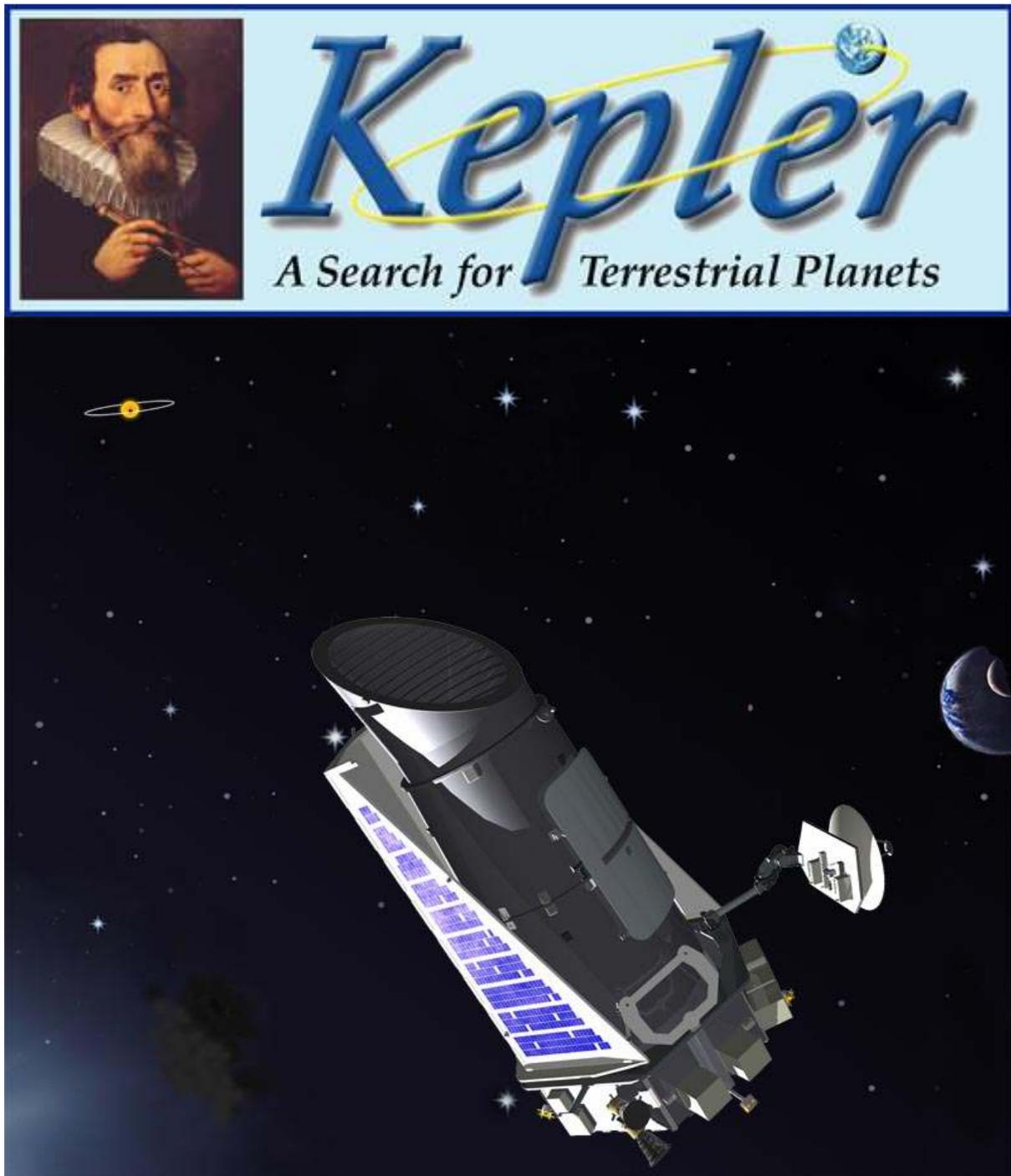


Die Kepler-Mission



Suche nach der zweiten Erde.

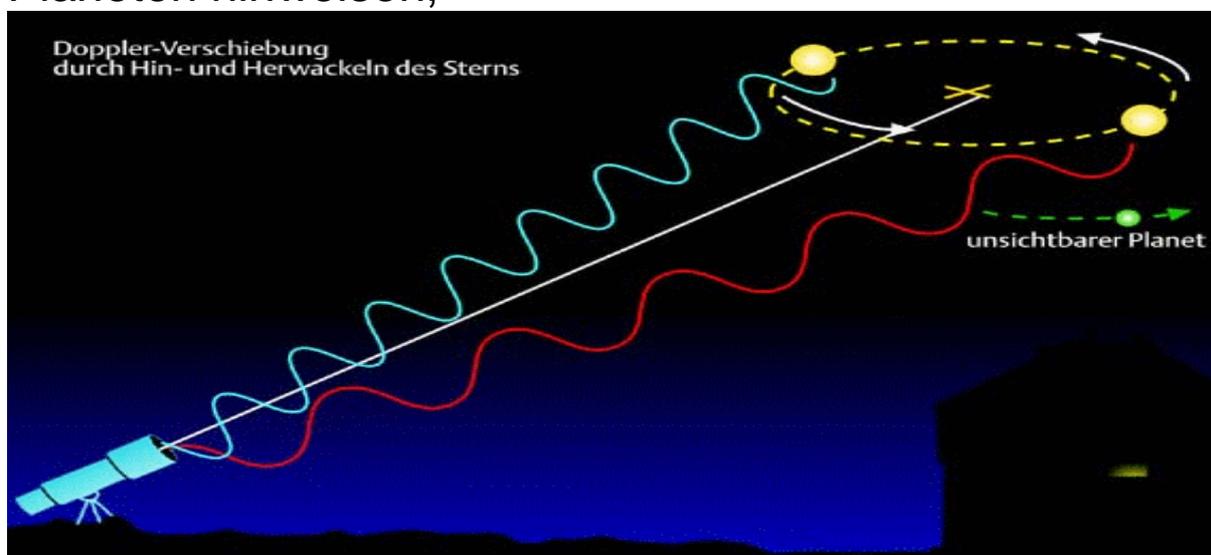
@KVHS Peine, Astro-Stammtisch
Reinhard Woltmann
24.05.2013

Rückblick

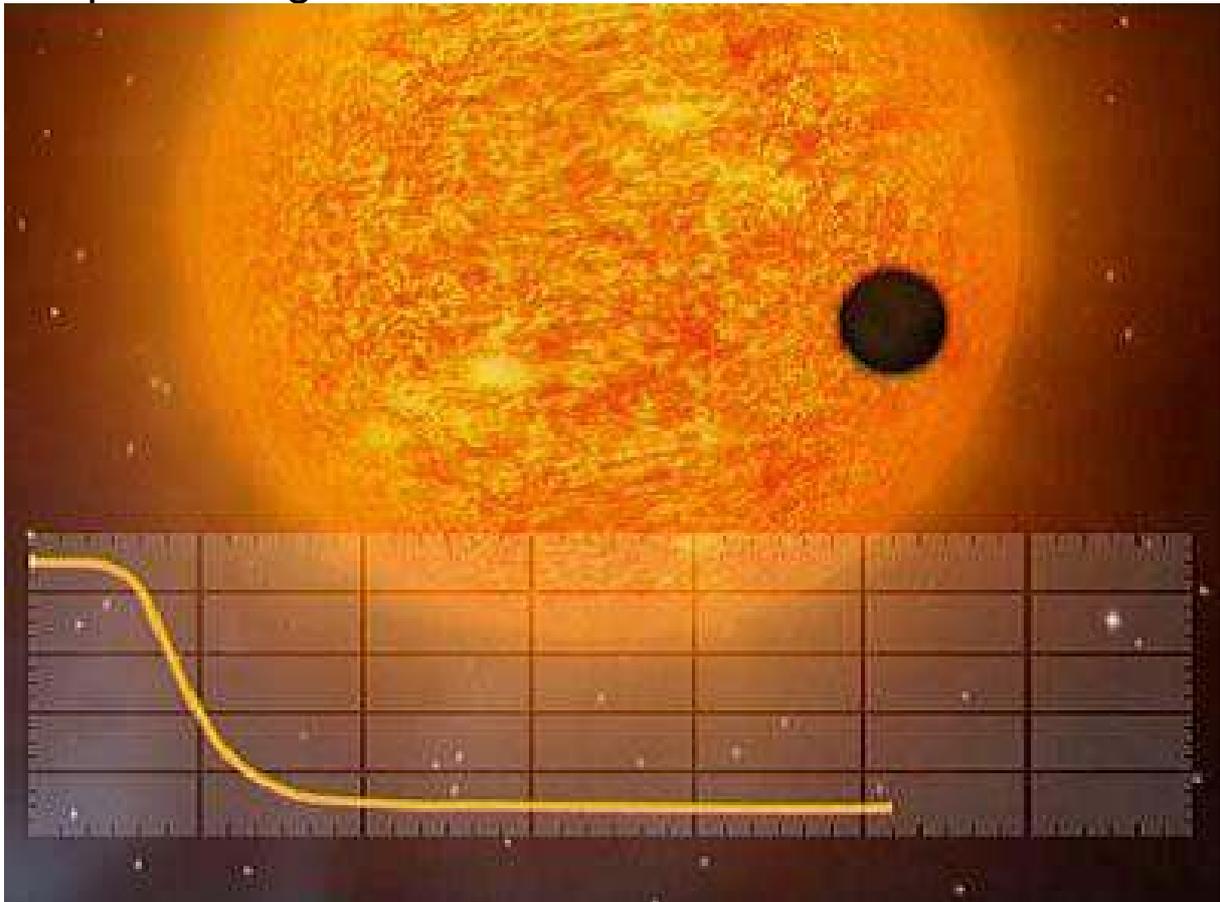
Im November 2008, also vor mehr als 4 Jahren haben wir uns das erste Mal mit Exo-Planeten beschäftigt. Damals haben wir vorrangig geklärt, was überhaupt ein Planet ist. Ihr erinnert euch das die IAU (Internationale Astronomische Union) 2006 in Prag folgende Definition beschlossen hat: Objekte, die aufgrund ihrer eigenen Schwerkraft nahezu rund sind, die zudem direkt um die Sonne kreisen und dabei ihre Umlaufbahn frei geräumt haben werden als Planet bezeichnet.

Diese Definition sollte analog auch auf Objekte die um andere Sterne kreisen angewandt werden. Doch ob ein Planetenkandidat eines weit entfernten Sterns seine Umlaufbahn freigeräumt hat ist z. Z. nicht nachweisbar. Insofern erfüllt praktisch keiner der bisher entdeckten Exoplaneten die Kriterien der IAU.

Weiterhin haben wir uns mit den Methoden befasst, mit denen heute Exoplaneten gefunden werden. Wir haben festgestellt, daß es sich dabei überwiegend um indirekte, also um keine direkte Abbildung handelt. Die häufigsten Methoden waren die Radialgeschwindigkeitsmethode, bei der die Bewegung eines beobachteten Sterns durch den Dopplereffekt erkannt wird und damit auf einen Planeten hinweisen,



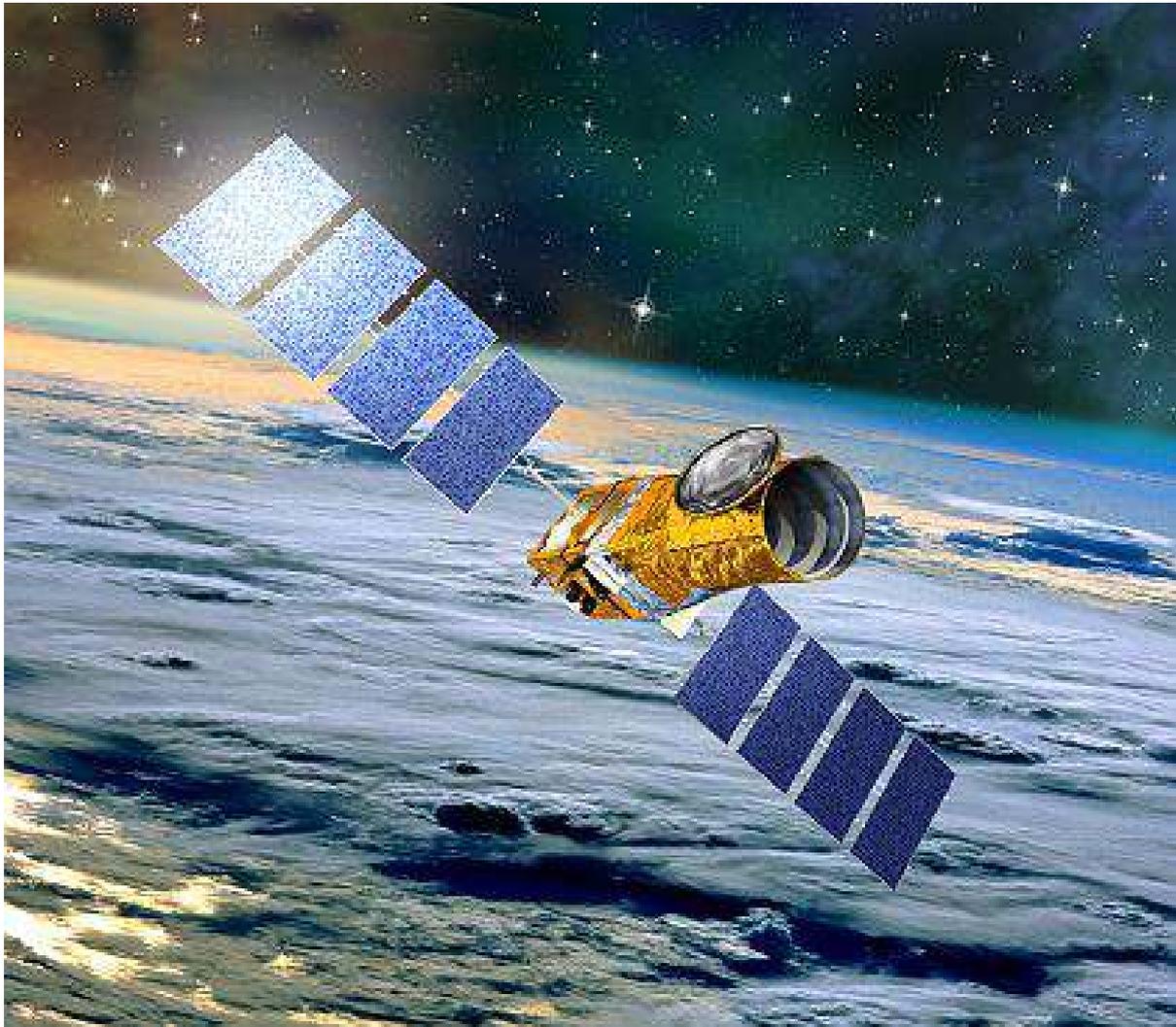
sowie durch die Transitmethode, bei der durch den periodischen Helligkeitsabfall des Sterns auf einen Exoplaneten geschlossen wird.



Ein weiterer Punkt war, mit welchen Missionen man seinerzeit und zukünftig die Suche nach Exoplaneten vorantreiben wollte. Das große Ziel war, einen Planeten zu entdecken, der dem Charakter unserer Erde sehr nahe kommt. Anscheinend ist es der größte Wunsch der Menschheit in den Weiten des Universums außerirdische Leben zu entdecken.

Corot, eine Mission der französischen Raumfahrtbehörde CNES sowie der ESA und Brasiliens war bereits seit Dez. 2006 im All und lieferte reichlich Daten. Leider versagte ab März 2009 die eine Hälfte der so genannten fotogrammetrischen Kette, sodass Corot neu ausgerichtet werden musste und danach nur noch eingeschränkt Daten ermitteln konnte. Allerdings wurde die Mission, die eigentlich nur bis Ende März 2010 aktiv

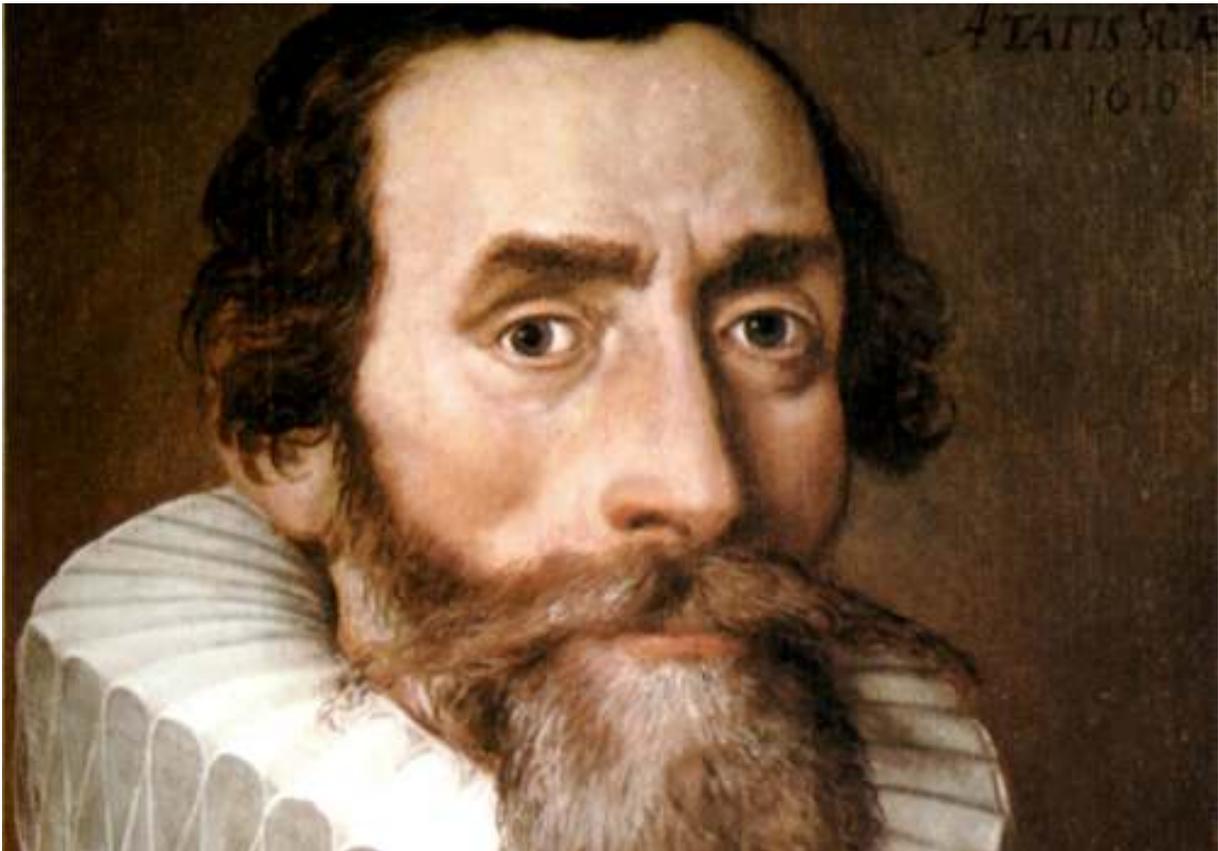
laufen sollte, bis zum 31.03.2013 verlängert. Am 02.11.2012 kam es leider abermals zu einem Computerausfall sodass seither keine Daten mehr übertragen werden konnten. Ob der Defekt noch behoben werden kann ist unklar. Die Mission gilt vorerst als unterbrochen.



Bei dieser Mission sollten neben der Suche nach Exoplaneten mittels der Transitmethode auch asteroseismologische Daten, also Daten über die innere Struktur der beobachteten Sterne wie zum Beispiel der Radius des thermonuklear aktiven Kerns, der Heliumanteil bzw. die Metallizität, die Dicke der äußeren Konvektionsschichten, die Winkelgeschwindigkeit vom Mittelpunkt des Sterns bis zur Oberfläche usw. gewonnen werden.

Für März 2009 war weiterhin der Start einer Mission der NASA in Vorbereitung. Auch diese Mission sollte Exoplaneten mittels der Transitmethode suchen. Die Mission wurde benannt nach einem berühmten deutschen Astronom, der als erster die Gesetzmäßigkeiten der Planetenumlaufbahnen erkannte:

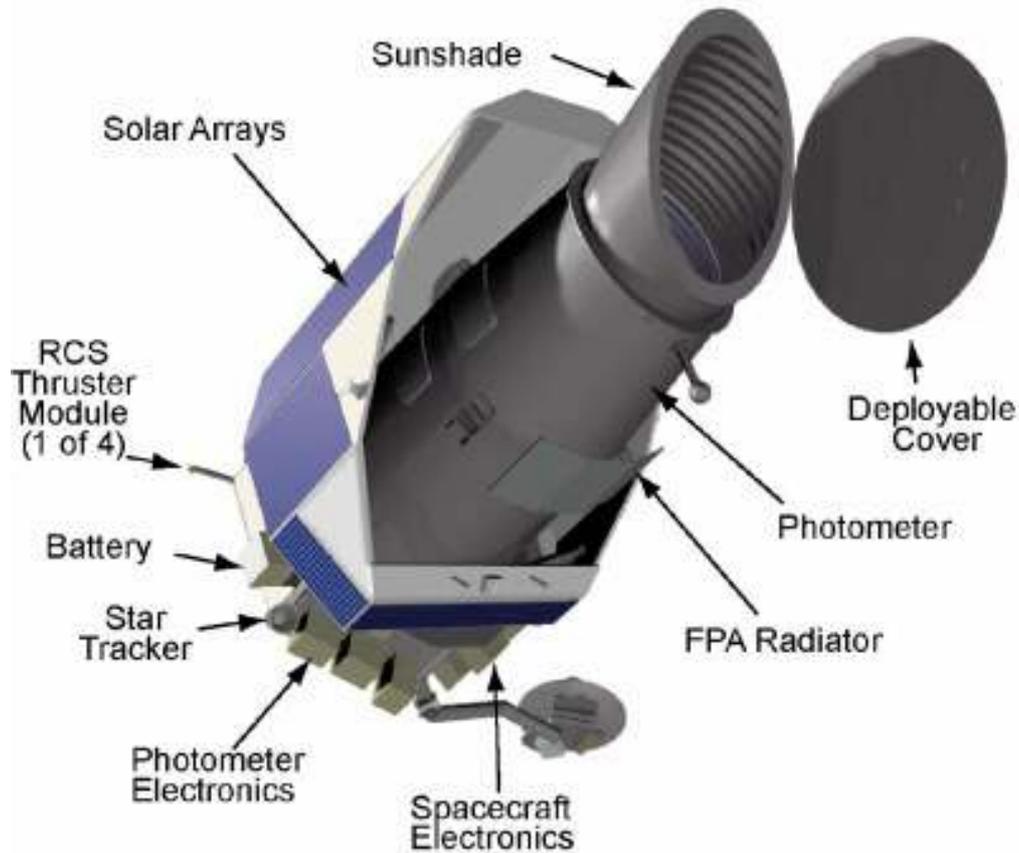
Johannes Kepler



** 27. Dezember 1571; † 15. November 1630*

Die Sonde

Die Keplersonde ist ein Weltraumteleskop und wurde von der amerikanischen Firma Ball Aerospace & Technologies Corp. gebaut. Sie besteht im Wesentlichen aus einem ca. 5m hohem Tubus umgeben von einem Solarpanel an dessen Boden die gesamte Elektronik und Steuerung, sowie die Korrektur-Antriebstechnik die Fotometerelektronik und der Sender untergebracht sind.



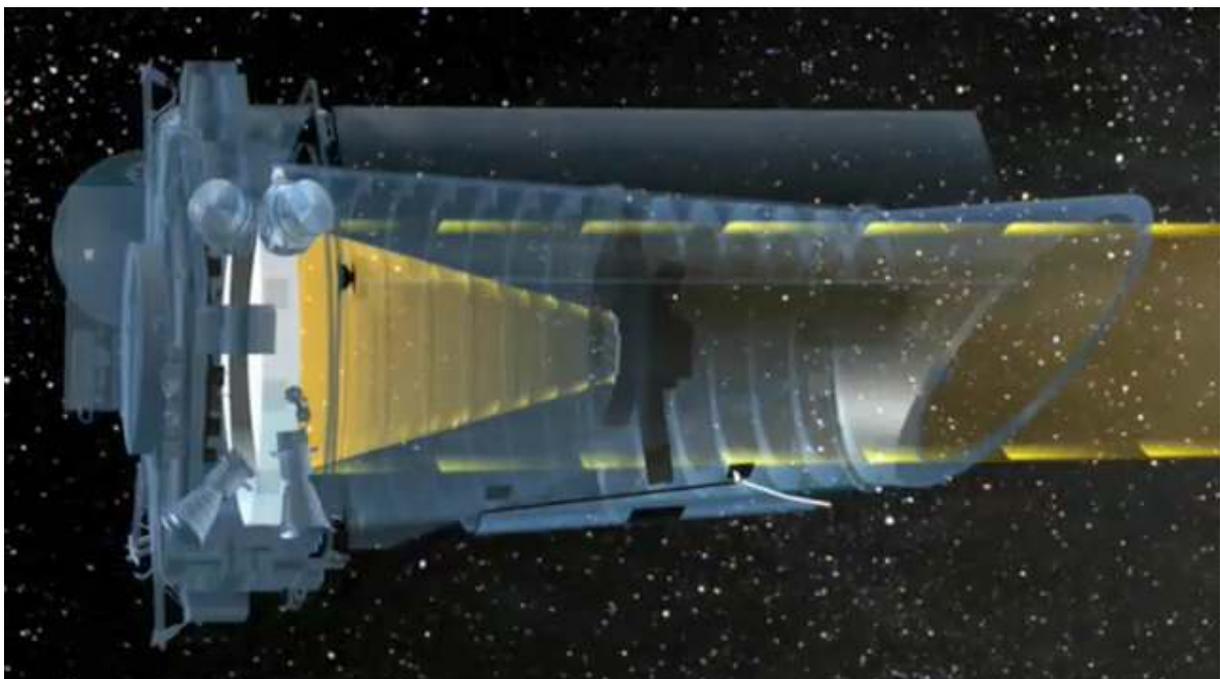
Die Optik des Kepler-Fotometers ist als Schmidt-Teleskop ausgeführt. Im vorderen Strahlengang befindet sich die Schmidt-Platte mit 0,95m Durchmesser, die zur Kompensation der sphärischen Aberration dient.

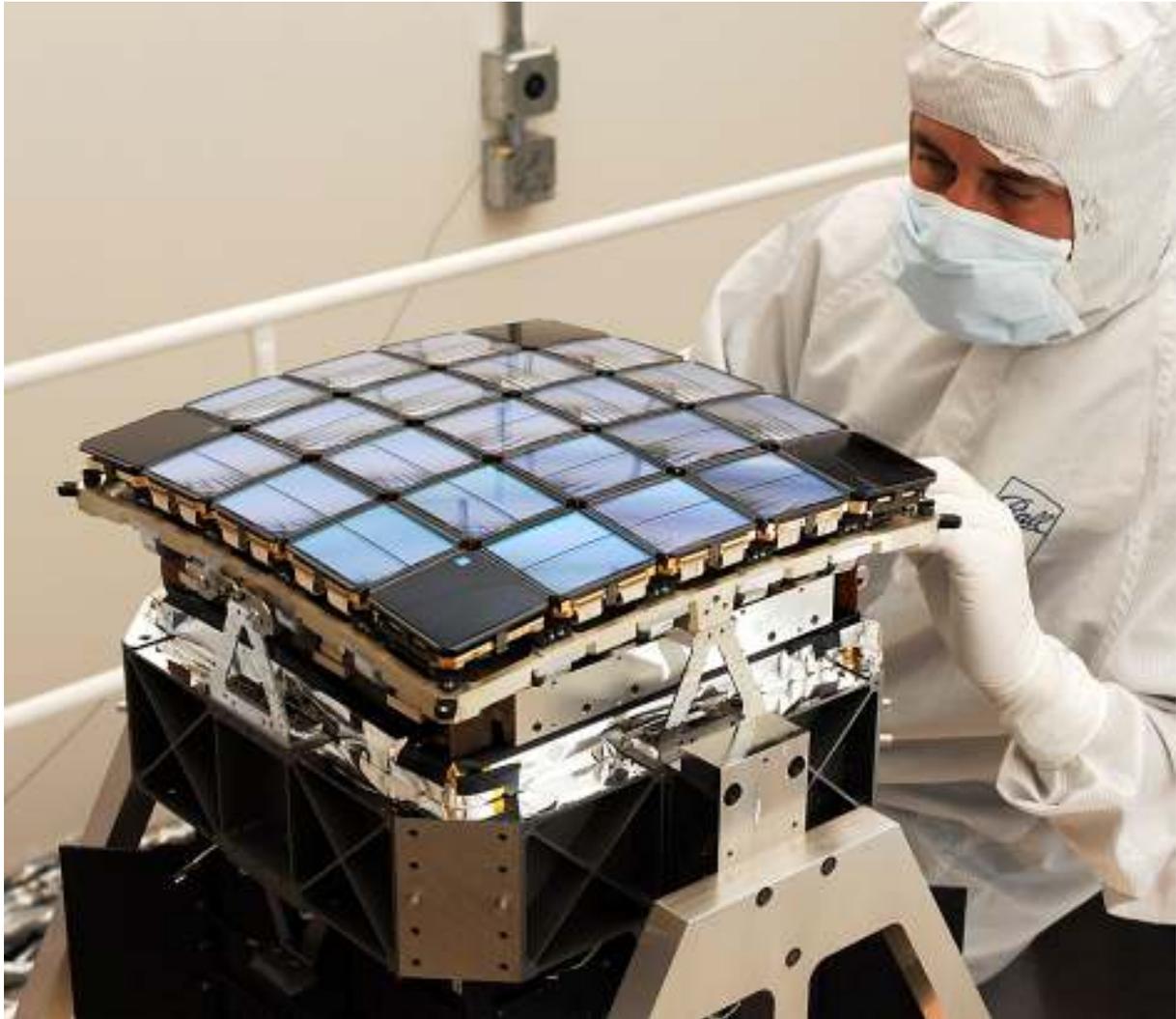


Die Hauptspiegelbasis besteht aus rund 100 hexagonalen Segmenten, die zu einem Stück mit 1,4 m Durchmesser zusammengesetzt wurden, darauf ist der eigentliche sphärische Hauptspiegel montiert.



Das eingefangene Licht fällt durch die Schmidt-Platte auf den Hauptspiegel und wird von dort auf die Fotoplatte fokussiert.





Im Fokus befindet sich eine Anordnung aus 42 CCD-Sensoren, die ein Feld von 105 Quadratgrad, das entspricht in etwa einer Handfläche bei ausgestrecktem Arm, überwachen können. Jeder CCD-Sensor hat eine Größe von 50 mm x 25 mm, was 2200 x 1024 Pixeln entspricht, so dass die Kamera insgesamt über 95 Megapixel verfügt. Zur Erhöhung der fotometrischen Genauigkeit wurde die Optik leicht defokussiert.

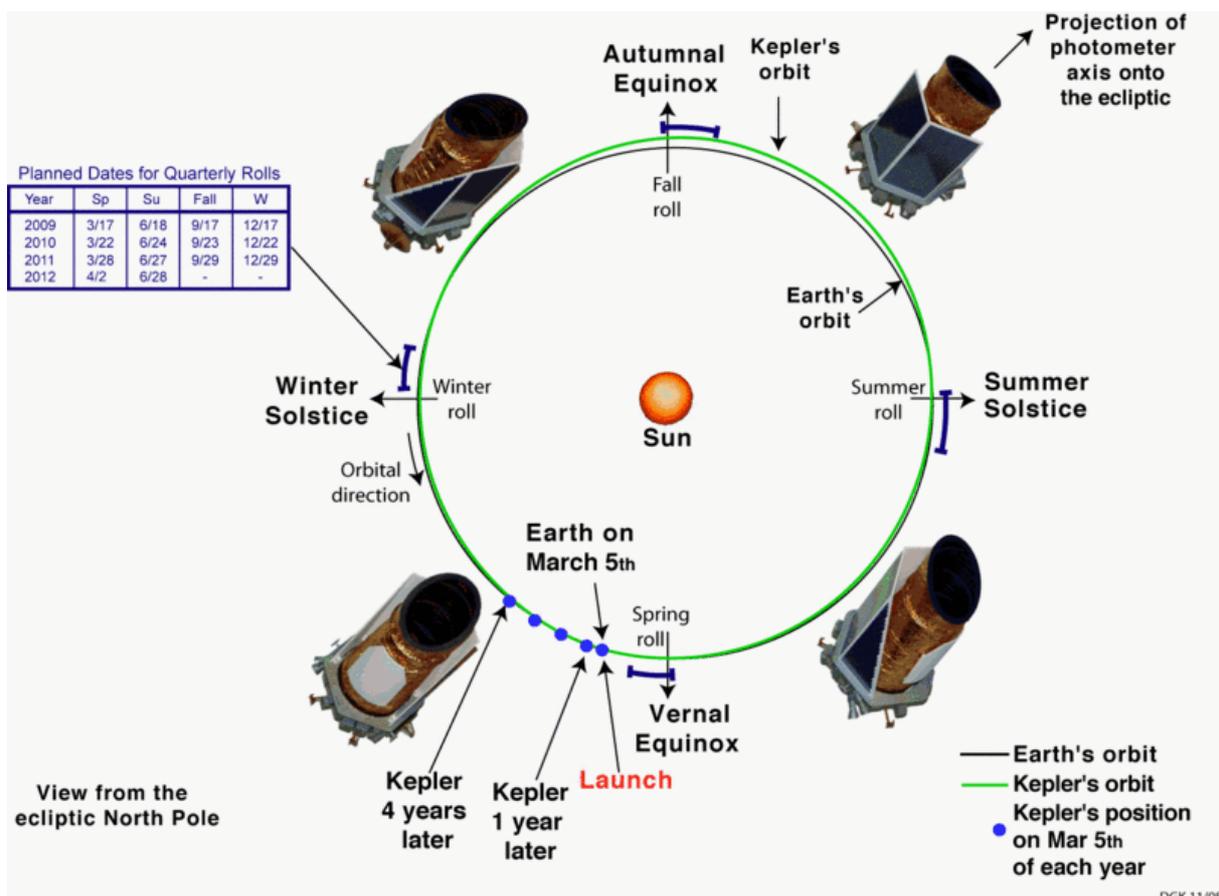
Start und Positionierung

Am 07.03.2009 um 03:50 Uhr UTC erfolgte der Start der ca. 600 Mio. teuren Sonde von der Startrampe LC-17B auf Cape Canaveral. Als Trägerrakete diente eine Delta II 7920-10L Rakete mit der Seriennummer D-339. Das Startgewicht der Sonde betrug 1039 kg. Der Flug verlief

ohne Zwischenfall sodass Kepler planmäßig im Orbit
ausgesetzt werden konnte.

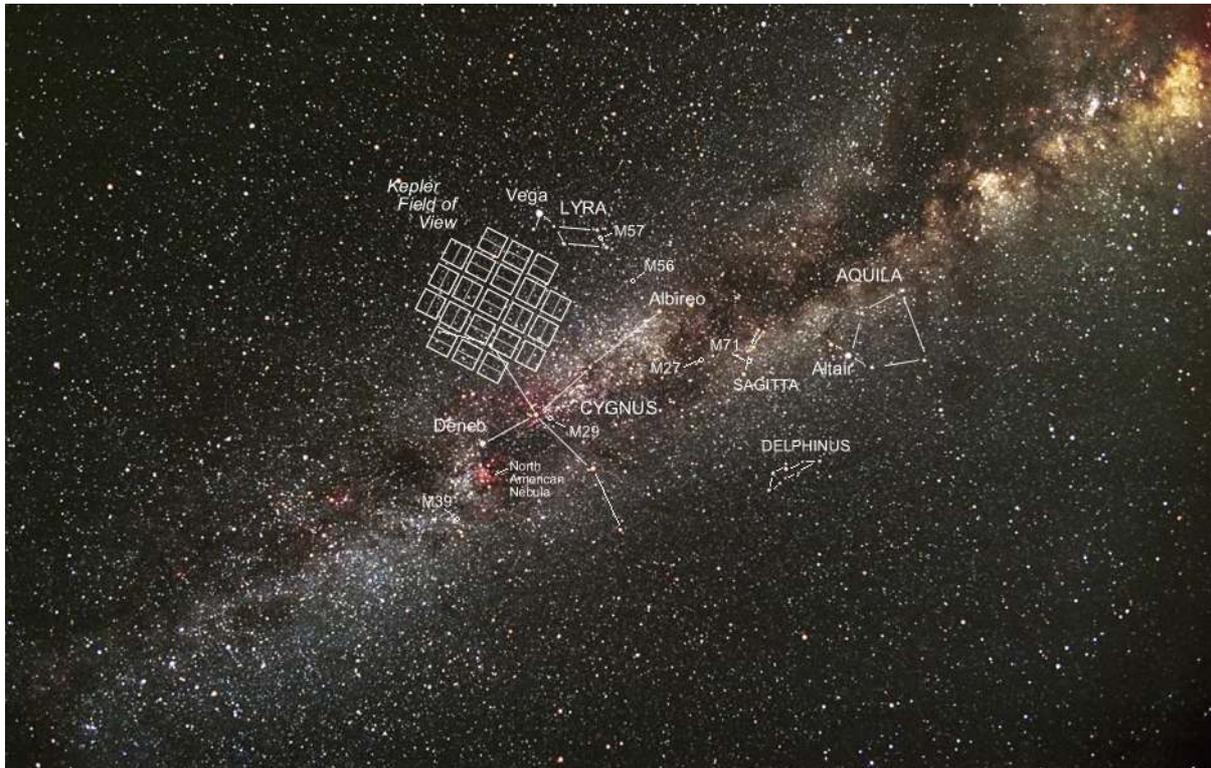


Um die Beobachtungen möglichst ungestört durchführen zu können, wurde das Teleskop nicht in eine Umlaufbahn um die Erde gebracht. Kepler befindet sich stattdessen in einem Sonnenorbit, dessen Umlaufzeit und Exzentrizität etwas von dem der Erde abweichen. Die Sonde läuft dabei der Erde hinterher und entfernt sich im Laufe der Jahre immer weiter von dieser. So ist es möglich, die Beobachtungsregion ohne periodische Verdeckung durch die Erde zu überwachen.



Wissenschaftliche Aufgaben

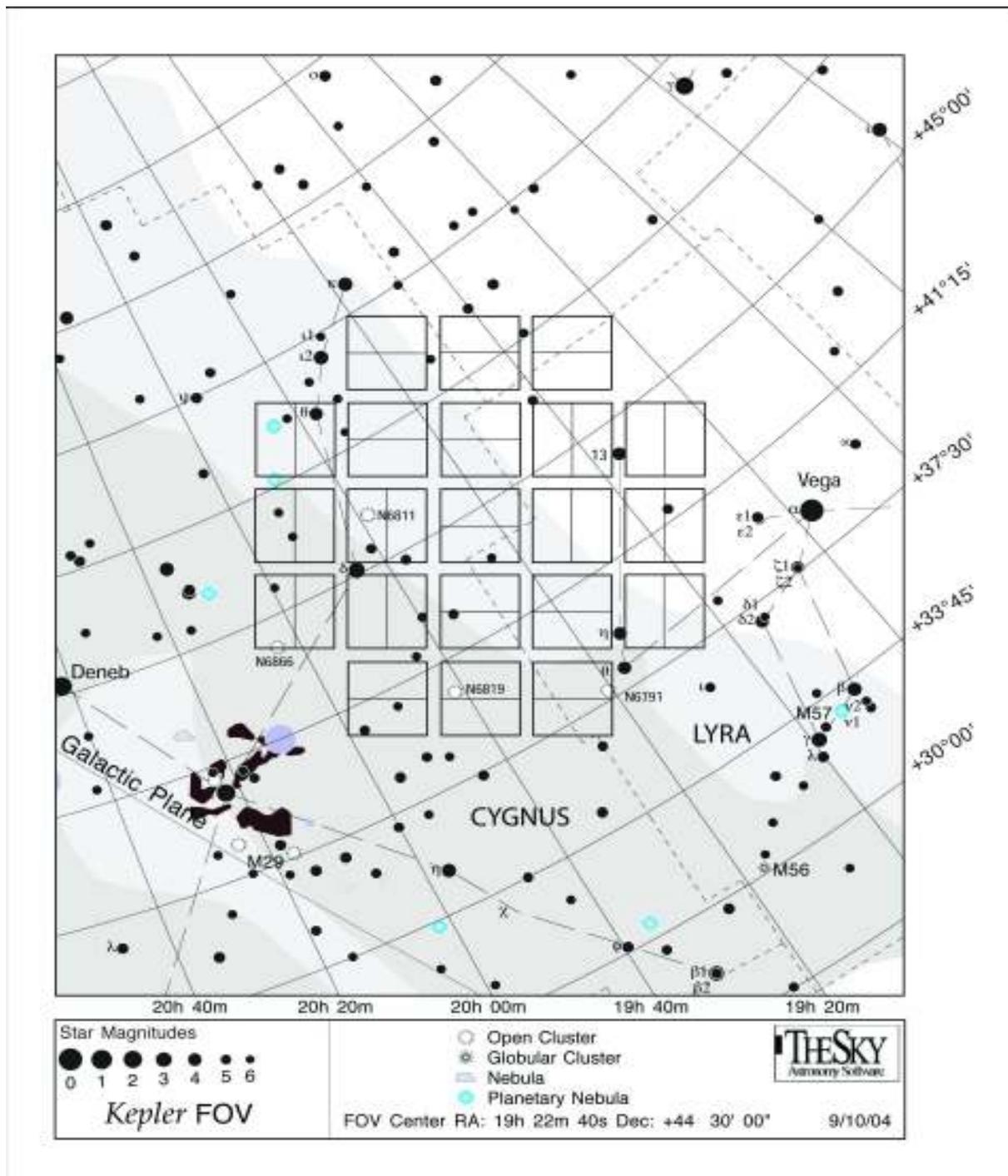
Das Teleskop beobachtet einen festen Ausschnitt des Sternenhimmels zwischen den Sternbildern Schwan und Leier. Dabei werden kontinuierliche Aufnahmen in einem Abstand von 30 Minuten gemacht.



Mit dem Fotometer wird permanent die Helligkeit von nach NASA-Angaben genau 156.453 Sternen gleichzeitig im so genannten Kepler-Suchfeld überwacht um geringste Helligkeits-Schwankungen festzustellen, die auf den Durchgang eines Planeten zwischen dem Stern und dem Teleskop schließen lassen.

Besondere Zielsetzung des Projekts ist, vergleichsweise kleine Planeten, wie unsere Erde oder kleiner, und damit auch potenziell bewohnbare, also extrasolare Planeten im Bereich der habitablen Zone zu entdecken.

Gleichzeitig liefert das Teleskop durch die fotometrischen Messungen Basisdaten zu anderen, veränderlichen Sternen die ebenfalls Helligkeits-Schwankungen aufweisen. Daraus lassen sich Rückschlüsse über die im Inneren ablaufenden Prozesse ziehen.



Die Suche nach erdähnlichen Planeten

Bei einem Durchgang eines extrasolaren Planeten in Erdgröße wird am Weltraumteleskop eine Abdunkelung in der Größenordnung von zum Teil weniger als 0,1 % erwartet. Das erfolgt bei zentralem Durchgang vor dem Bild des Sternes für einen Zeitraum von rund einem halben Tag. Ist der Durchgang nicht zentral, dann ist die Zeit der Abdunkelung kürzer. Wenn sich die gleiche

Helligkeitsänderung bei diesem Stern noch zweimal wiederholt und dabei die beiden Intervalle gleich sind, wird ein Planet auf einer festen Umlaufbahn als Ursache angenommen und gilt als entdeckter Kandidat. Aus der so ermittelten Umlaufzeit und der Helligkeitsänderung lassen sich nach den Keplerschen Gesetzen die Umlaufbahn und Größe des erdähnlichen Planeten ermitteln. Durch die entsprechend ermittelte Entfernung des entdeckten Exoplaneten zu seiner Sonne und durch die Temperatur dieser Sonne, ermittelt nach Leuchtkraft- und Spektralklasse, kann die Temperatur auf dem Planeten und damit seine mögliche Bewohnbarkeit annähernd genau ermittelt werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Bahnneigungen der Planeten gegen unsere Sichtlinie tritt allerdings nur bei einem Bruchteil erdähnlicher Planeten eine aus unserer Richtung beobachtbare Bedeckung auf.

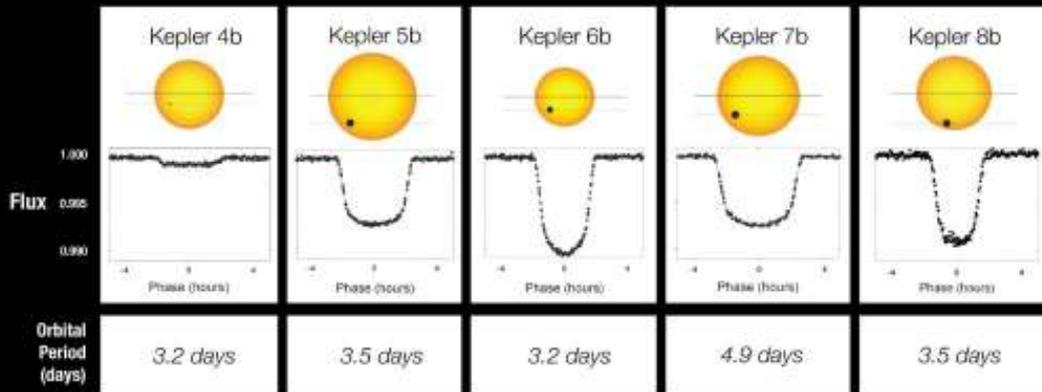
Verlauf der Mission und Ergebnisse

Nach umfangreichen Tests und Kalibrierung der Sensoren nahm das Teleskop zwei Monate nach dem Start am 02. Mai 2009 seine Arbeit auf.

Im Januar 2010 wurden die ersten fünf von Kepler entdeckten Planeten bekannt gegeben, Kepler 4b bis 8b. Kepler 1b bis 3b waren bereits vor dem Start der Sonde mit terrestrischen Beobachtungsmethoden entdeckt worden und wurden dieser Mission zugerechnet. Bei allen handelt es sich um Planeten, die ihre Sterne in Entfernungen von weniger als 0,1 astronomischen Einheiten umkreisen und die eine deutlich höhere Oberflächentemperatur aufweisen als jeder Planet unseres Sonnensystems. Dies war nach den bisherigen Erkenntnissen die man von Exoplaneten hatte auch so zu erwarten.

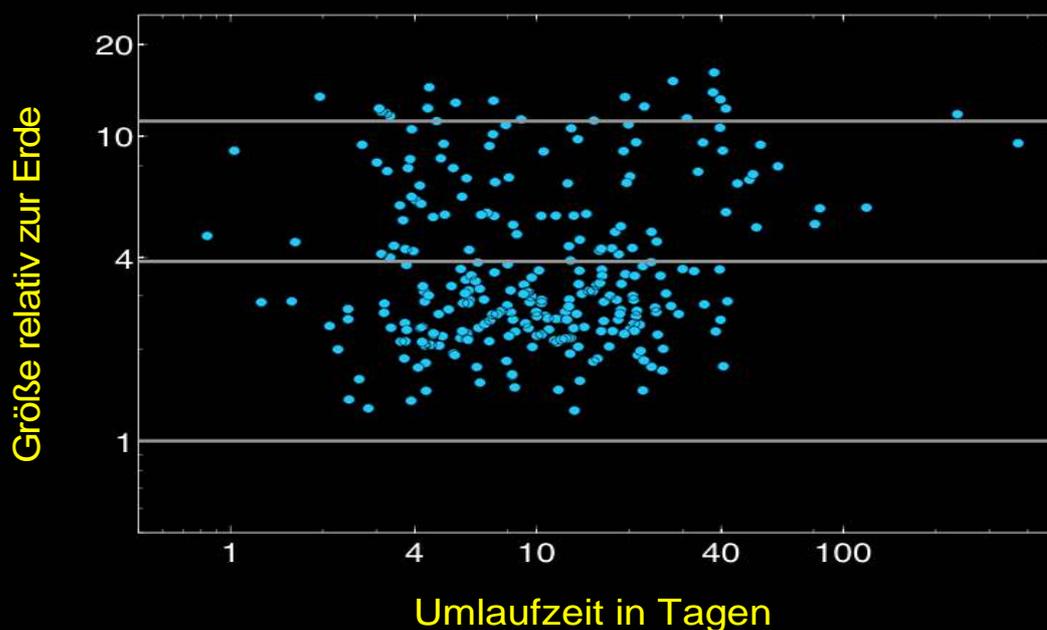
Kepler's erste Ergebnisse

Lichtkurven der Transits



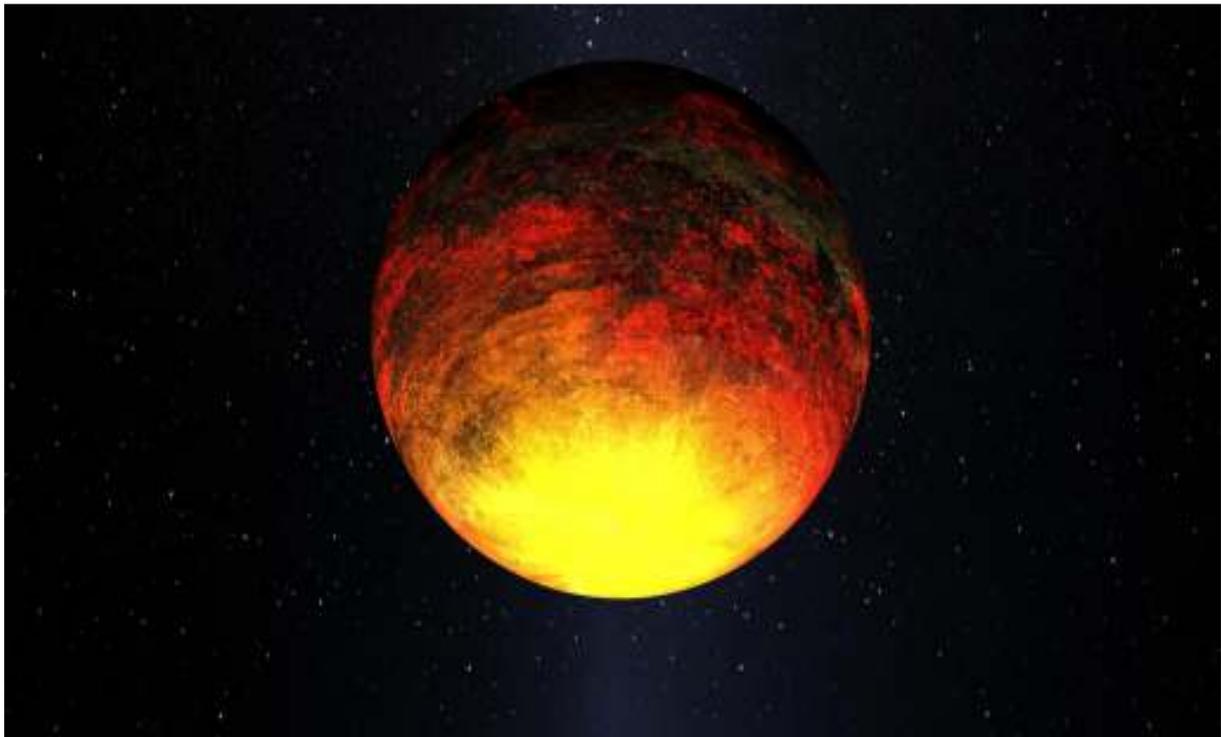
Im Juni 2010 wurden die Daten von 312 der bis dahin identifizierten Exoplanetenkandidaten veröffentlicht.

Planetenkandidaten bis Juni 2010



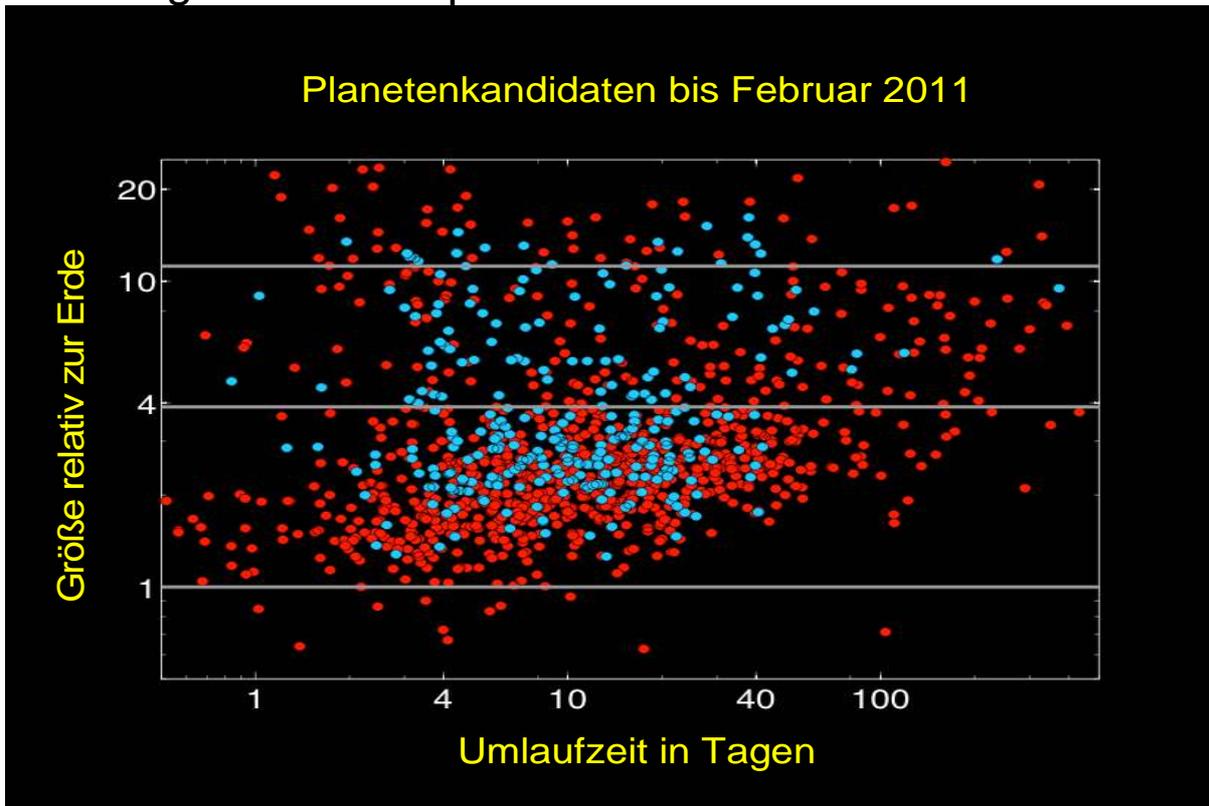
Die Entdeckung von Transiten kühlerer, potentiell erdähnlicherer Planeten nahm wegen ihrer längeren Umlaufperiode auch eine längere Beobachtungsphase in Anspruch und wurde erst für eine spätere Phase der Kepler-Mission erwartet.

Im Januar 2011 wurde bekannt gegeben, dass Kepler den bislang kleinsten Gesteinsplaneten entdeckt hat und zwar Kepler-10b. Er wurde durch Beobachtungen von Mai 2009 bis Januar 2010 aufgespürt. Kepler-10b besitzt die 4,6-fache Masse und 1,4-fache Größe der Erde und umrundet seinen Zentralstern alle 0,84 Tage. Er ist diesem etwa 20-mal näher als Merkur der Sonne.

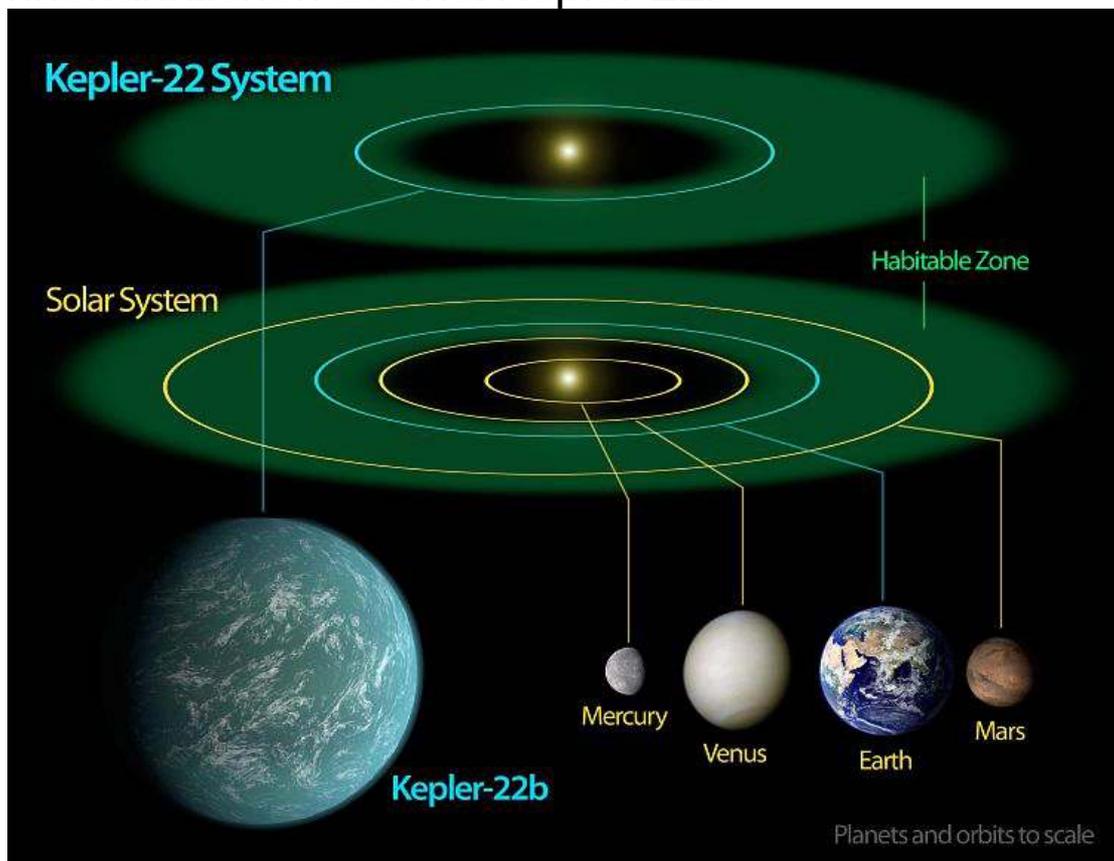


Am 02.Feb.2011 gab die NASA bekannt, dass 1202 Planetenkandidaten seit Missionsbeginn ermittelt wurden. Insgesamt wurden 68 annähernd erdgroße Kandidaten entdeckt, davon könnten einige in der habitablen Zone ihres Zentralsterns liegen.

Als weitere Planetenkandidaten wurden 288 Supererden, 662 in der Größe Neptuns, 165 in der Größe Jupiters und 19 größer als Jupiter ermittelt.

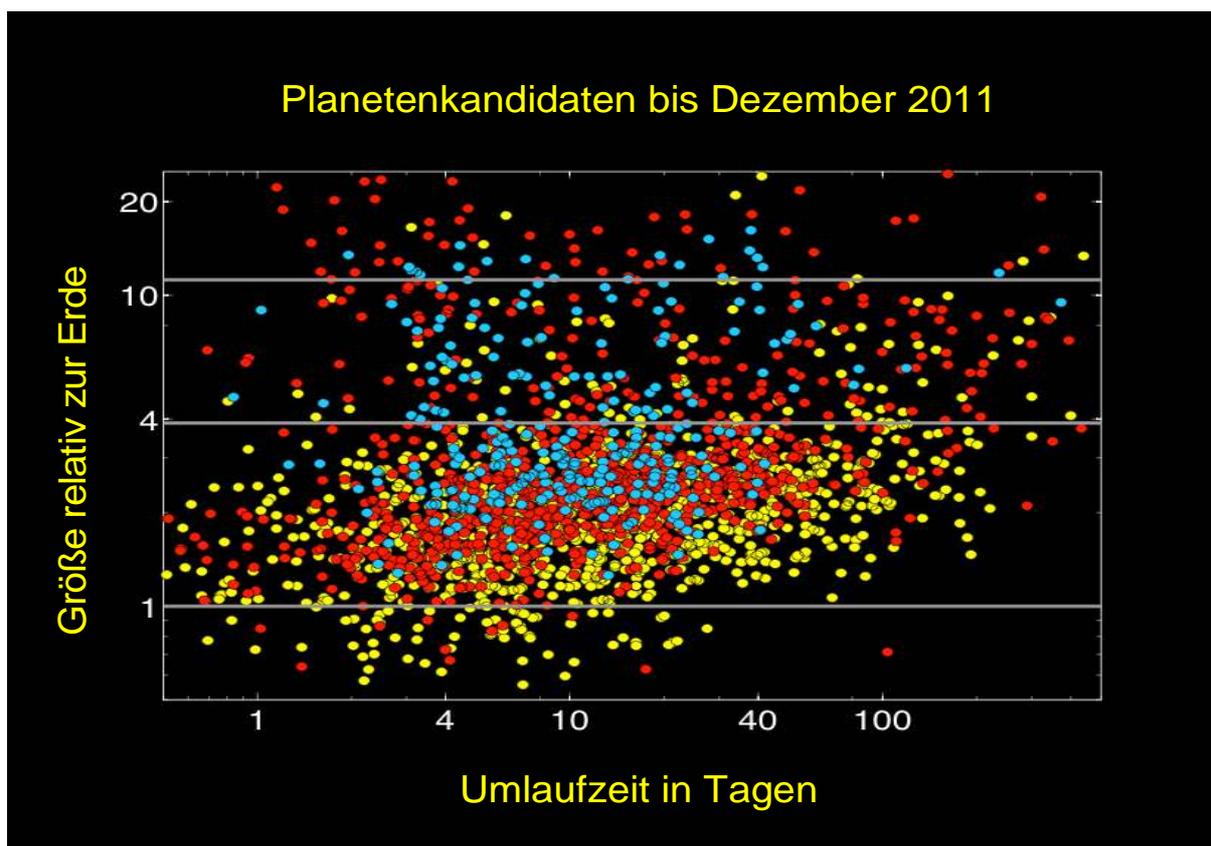


Am 5. Dezember 2011 bestätigte die NASA den ersten Planeten innerhalb der habitablen Zone eines sonnenähnlichen Sterns. Kepler-22b



Der von Kepler-22b umkreiste Stern gehört der Spektralklasse G5 an. Für einen Umlauf benötigt der extrasolare Planet etwa 290 Tage. Er hat etwa den 2,4-fachen Durchmesser der Erde, also ca. 30.500 km, und ist damit möglicherweise eine Supererde. Der Planet befindet sich in der habitablen Zone, was prinzipiell erdähnliche Temperaturen und die Existenz von Wasser in flüssiger Form ermöglicht.

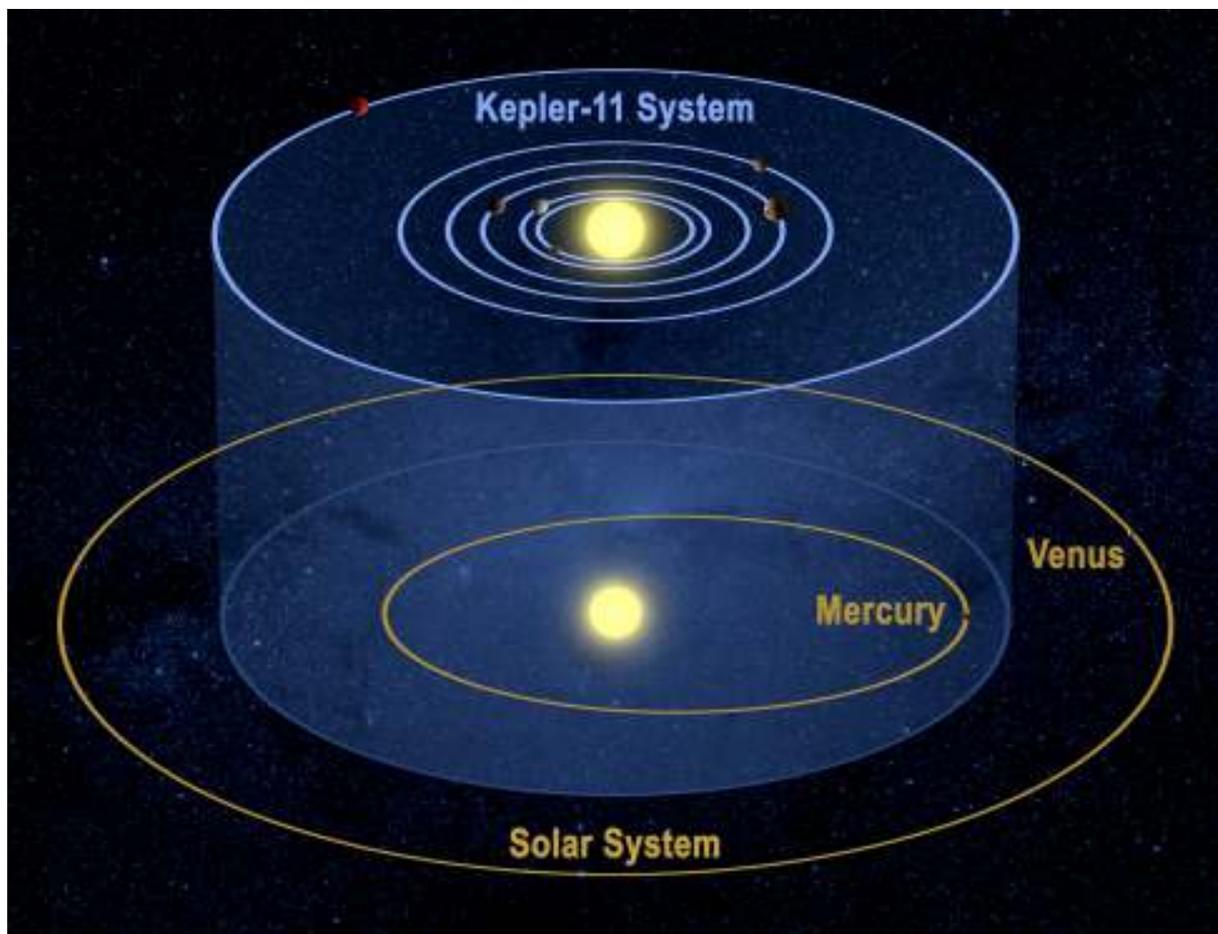
Ebenfalls im Dezember 2011 gab die NASA bekannt, dass sich die Zahl der Planetenkandidaten auf 2326 erhöhte, wovon 207 ungefähr so groß wie die Erde sind. Ferner wurden bis dato 680 Supererden, 1181 Neptunähnliche, 203 Jupiterähnliche und 55 Planeten, die größer als Jupiter sind, beobachtet.



Neben diese stetig wachsende Liste von Planetenkandidaten, bei denen strenge Existenz-Prüfungen noch ausstehen, gibt es eine Liste der offiziell bestätigten Planeten. Diese wurden einer

Vielzahl komplexer Tests unterworfen, um auszuschließen, dass die beobachteten Helligkeitseinbrüche andere Ursachen haben; erst danach kann man von einem Planeten sprechen.

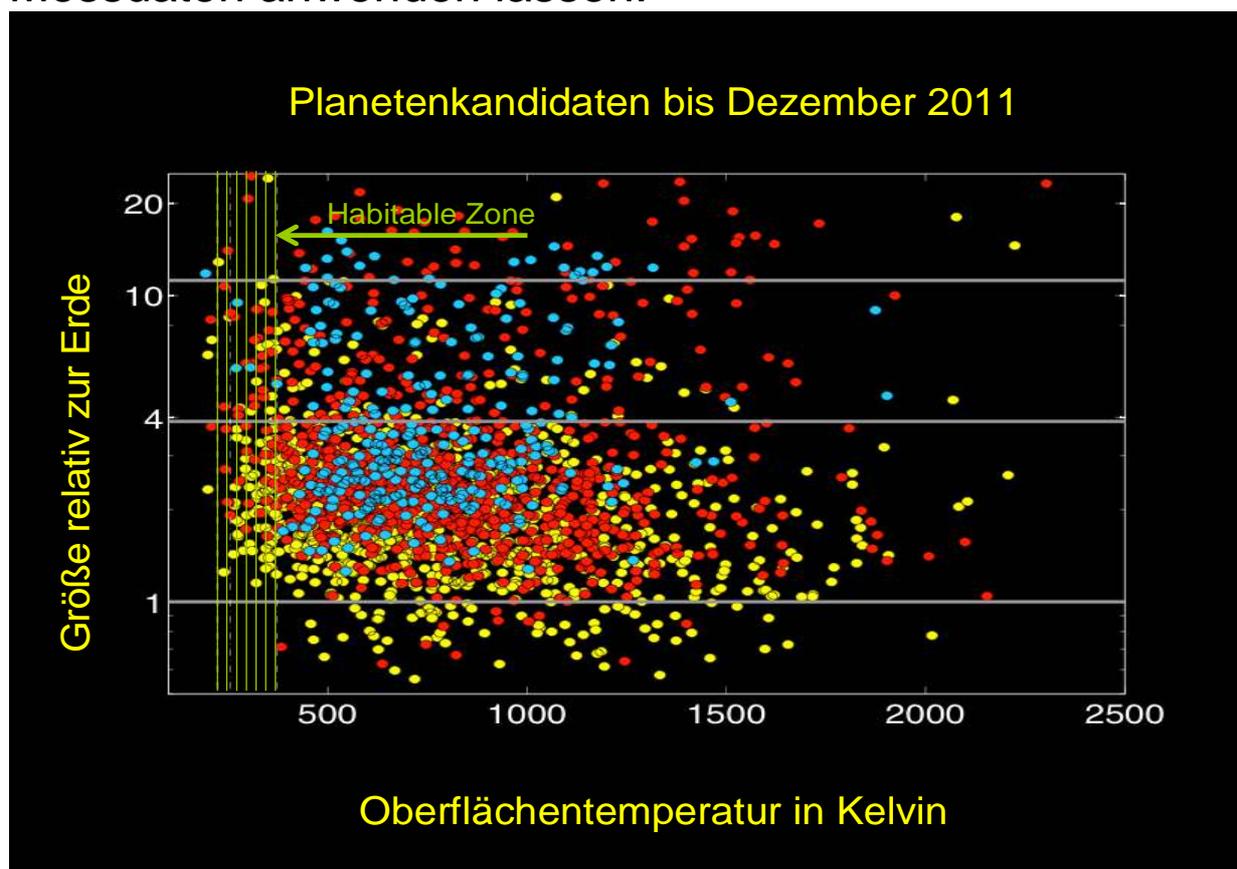
Unter der großen Mengen der bisher entdeckten Planetenkandidaten befinden sich auch einige in Mehrfachplanetensystemen mit bis zu 5 Planeten. Das bisher einzige bekannte Sechsfachsystem Kepler 11, ein Stern der G-Klasse ca. 2000LJ entfernt, wurde Anfang 2011 bekannt gegeben.



Auffällig ist, dass es in Mehrfachsystemen keine großen Gasriesen von Typ Jupiter mit Umlaufzeiten von wenigen Tagen und kleinen Bahnradien gibt, während dies bei Einzelplanetensystemen häufig vorkommt. Hier zeichnet sich möglicherweise ein generelles Prinzip bei der Entstehung von Sternensystemen ab.

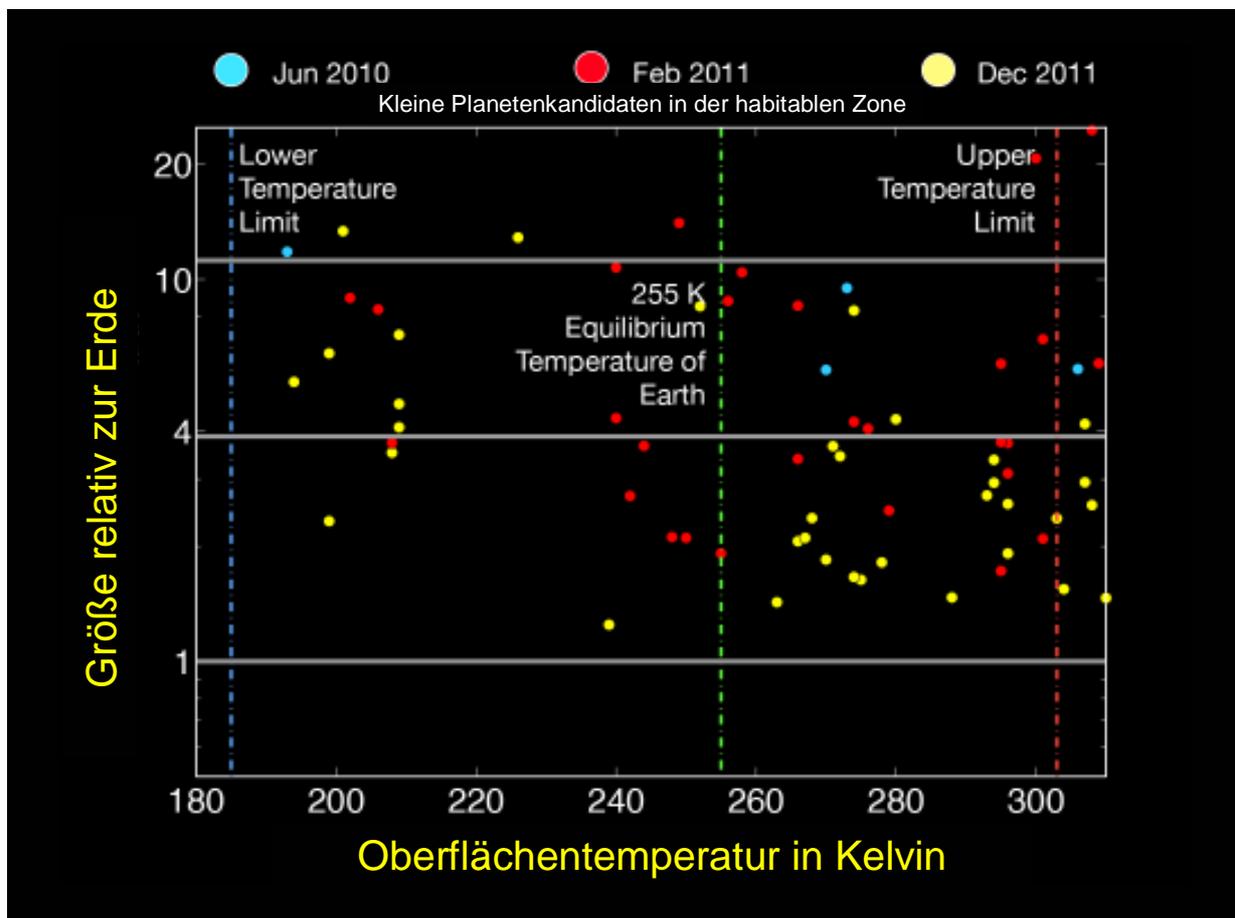
Ausblick

Seit Missionsbeginn ist im Vergleich zu den Daten der ersten Monate ein klarer Trend zu erkennen. Es werden vermehrt kleinere Planeten mit weiten Umlaufbahnen um ihren Heimatstern entdeckt. Die Anzahl der Planeten, die kleiner als zwei Erddurchmesser sind, hat sich nahezu verdoppelt. Ebenso ist der Anteil von Exoplaneten mit einer Umlaufzeit von mehr als 50 Tagen deutlich stärker angewachsen als derjenige mit kürzeren Bahnperioden. Dieser Trend ist auf die Zunahme der verarbeiteten Datenmenge und auf die längere Beobachtungszeit zurückzuführen, wie auch auf die stetigen Verbesserungen der Daten-Analysemethoden, die sich dann rückwirkend auf alle bisher aufgenommenen Messdaten anwenden lassen.



Bei allen Aktualisierungen des Kepler Katalogs nimmt die Anzahl der erdgroßen Planeten in der habitablen Zone ihrer Sterne zu. Insgesamt 46 Planetenkandidaten

befinden sich in dem lebensfreundlichen Gürtel um ihre Heimatsonne, zehn von ihnen sind ungefähr so groß wie die Erde.

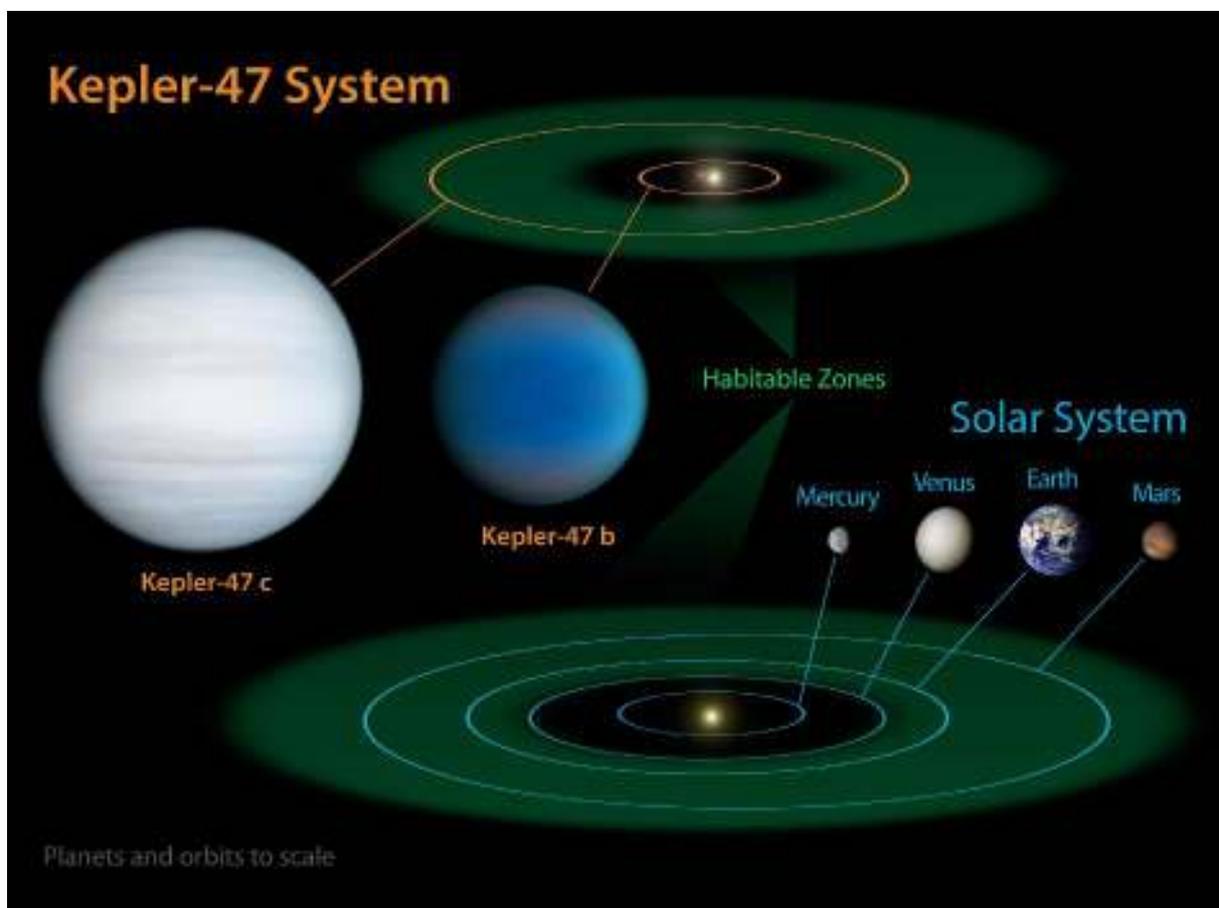


Die wachsende Anzahl erdähnlicher Planeten in den habitablen Zonen bedeutet, dass bald genauere statistische Aussagen über die Häufigkeit einer zweiten Erde in unserer Milchstraße möglich sind. Die Wissenschaftler können dann besser als bisher abschätzen, ob es einen, zehn oder vielleicht hunderte Planeten wie den unseren gibt. Noch sei es für konkrete Aussagen allerdings zu früh, warnen die Astronomen. Vieles deute darauf hin, dass die verwendeten, komplexen Datenanalysemethoden noch nicht ausgereift genug seien, um wirklich alle erdähnlichen Exoplaneten aufzuspüren. Viele weitere Geschwister der Erde verstecken sich vermutlich noch in der riesigen Menge an Messdaten, die noch nicht gesichtet wurden.

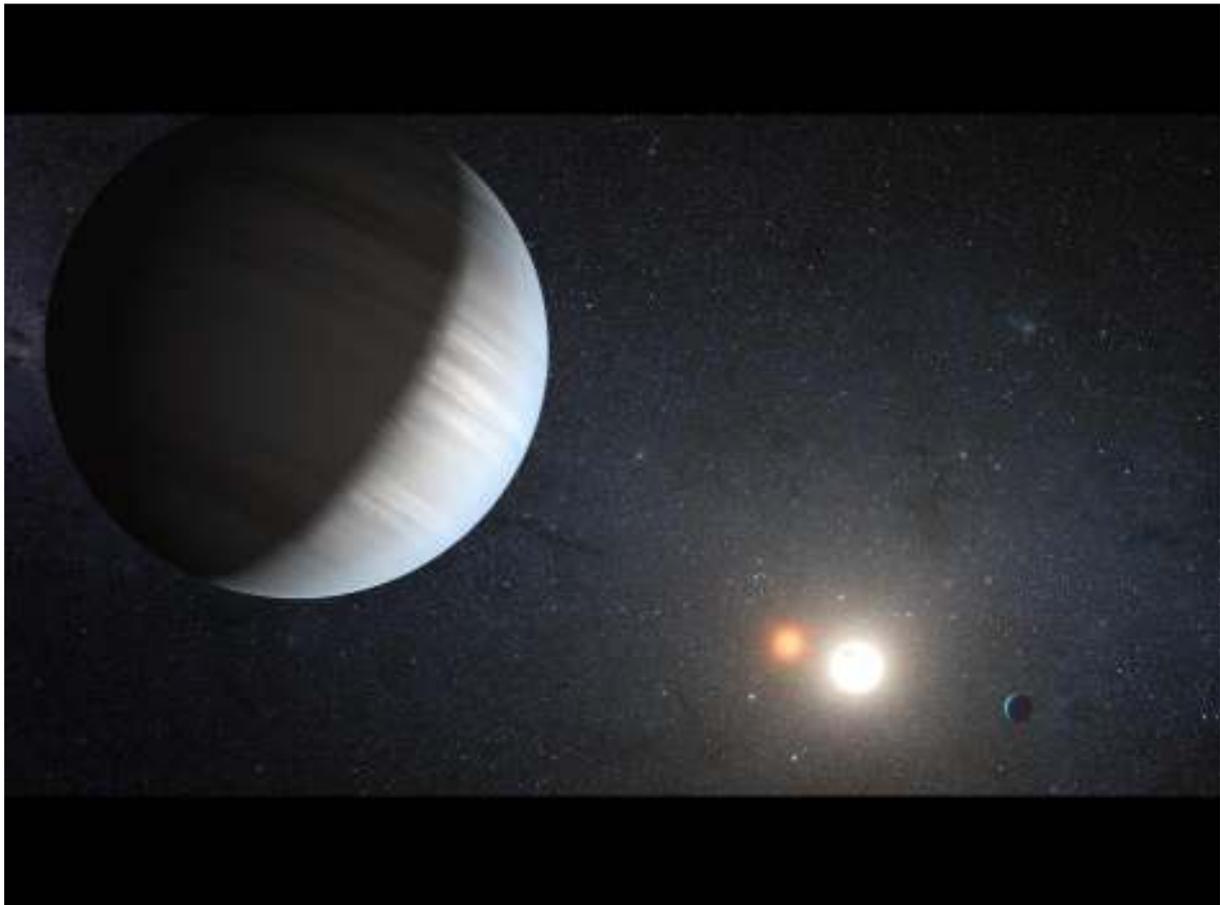
Bei einigen der neu identifizierten Kandidaten haben nicht Computer den Großteil der Arbeit erbracht, sondern Freizeitwissenschaftler und Amateure.

Beim Projekt namens Planet-Hunters können Freiwillige über eine Internetseite aufbereitete Kepler-Messdaten visuell inspizieren und nach Transitereignissen suchen. Das Potenzial dieses Ansatzes zur Datenanalyse ist enorm: Seit dem Start des Projekts im Dezember 2010 haben etwa 100000 „Freiwillige“ unzählige Transite in den Keplerdaten identifiziert, für die die Profiastronomen Jahre gebraucht hätten.

Unter anderen wurde nach Kepler-16 mit Kepler-47 ein weiteres Doppelsternsystem entdeckt, das erste bekannte derartige System mit mehr als einem Planeten, einer davon in der habitablen Zone seiner Sterne. Solche Systeme gelten sonst wegen der komplexen Bahndynamik als sehr instabil. Bemerkenswert ist die gemeinsame Bahnebene der beiden Planeten.



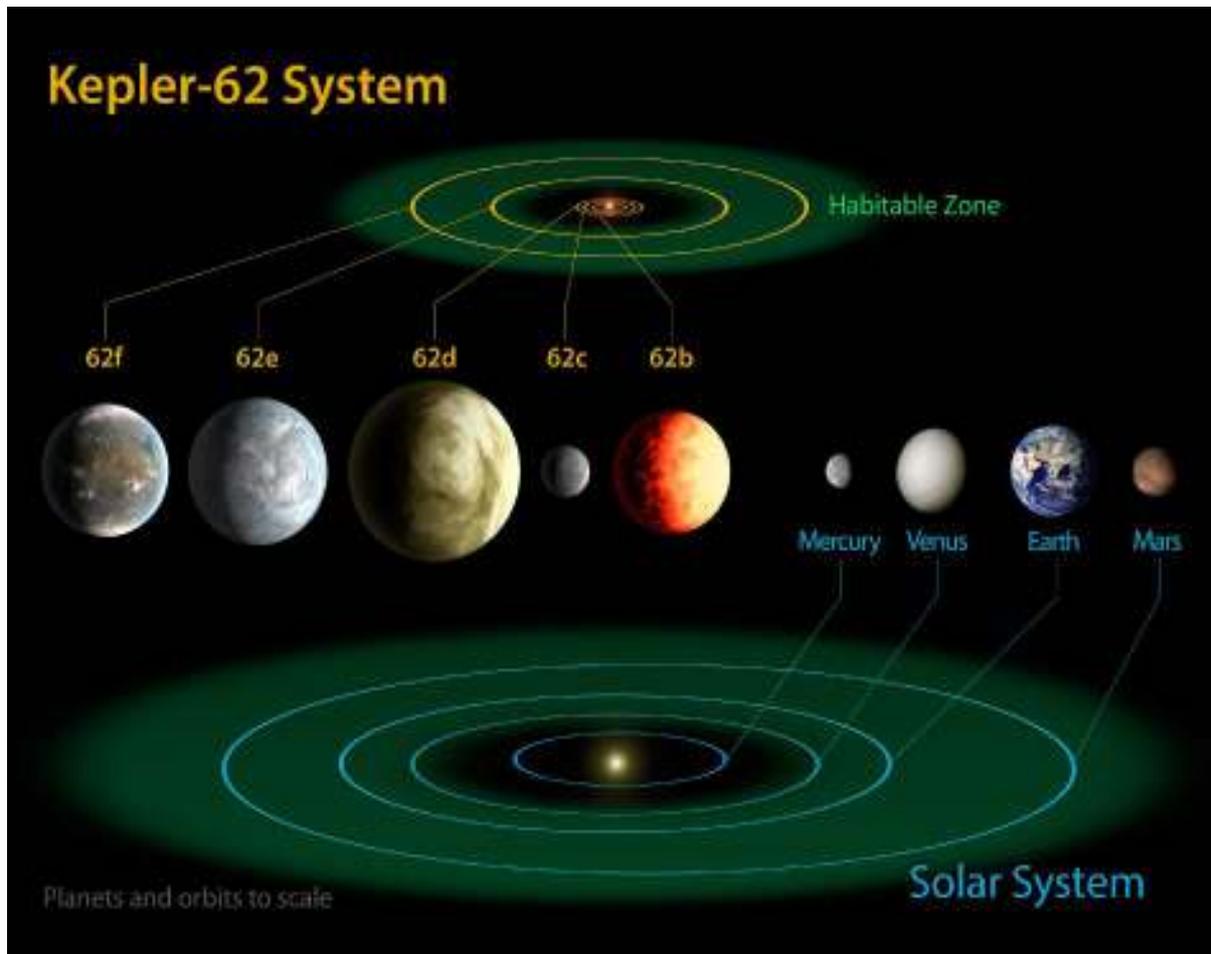
Die Sterne umkreisen sich in 7,45 Tagen gegenseitig. Der größere der beiden Sterne hat eine Größe ähnlich der Sonne, aber nur 84 % ihrer Leuchtkraft, während der kleinere nur ein Drittel der Sonnengröße aufweist. Der innere Planet, Kepler-47 b, umkreist beide Sterne in 49,5 Tagen und hat einen Radius von etwa drei Erdradien. Der äußere Planet, Kepler-47 c, befindet sich in der habitablen Zone. Seine Umlaufperiode beträgt 303,2 Tage.



Doppelsternsystem Kepler-47

Ein weiteres Highlight war Kepler 62, ein Stern der Spektralklasse K2V im Sternbild Leier, 1200 Lichtjahre von der Erde entfernt. Er ist etwas kälter als die Sonne und wird von mindestens fünf Exoplaneten umkreist. Als aussichtsreiche Planetenkandidaten mit erdähnlichen Bedingungen könnten dabei Kepler-62 e und Kepler-62 f dienen. Beide Himmelskörper sind wohl etwas korpulente Geschwister unserer Erde.

Die beiden äußeren Planeten des Systems liegen in der habitablen Zone ihres Sterns. Kepler-62e ist rund 60 Prozent größer als die Erde und umkreist sein Zentralgestirn einmal innerhalb von 122 Tagen. Kepler-62f ist rund 40 Prozent größer als die Erde und braucht 267 Tage für eine Umrundung.



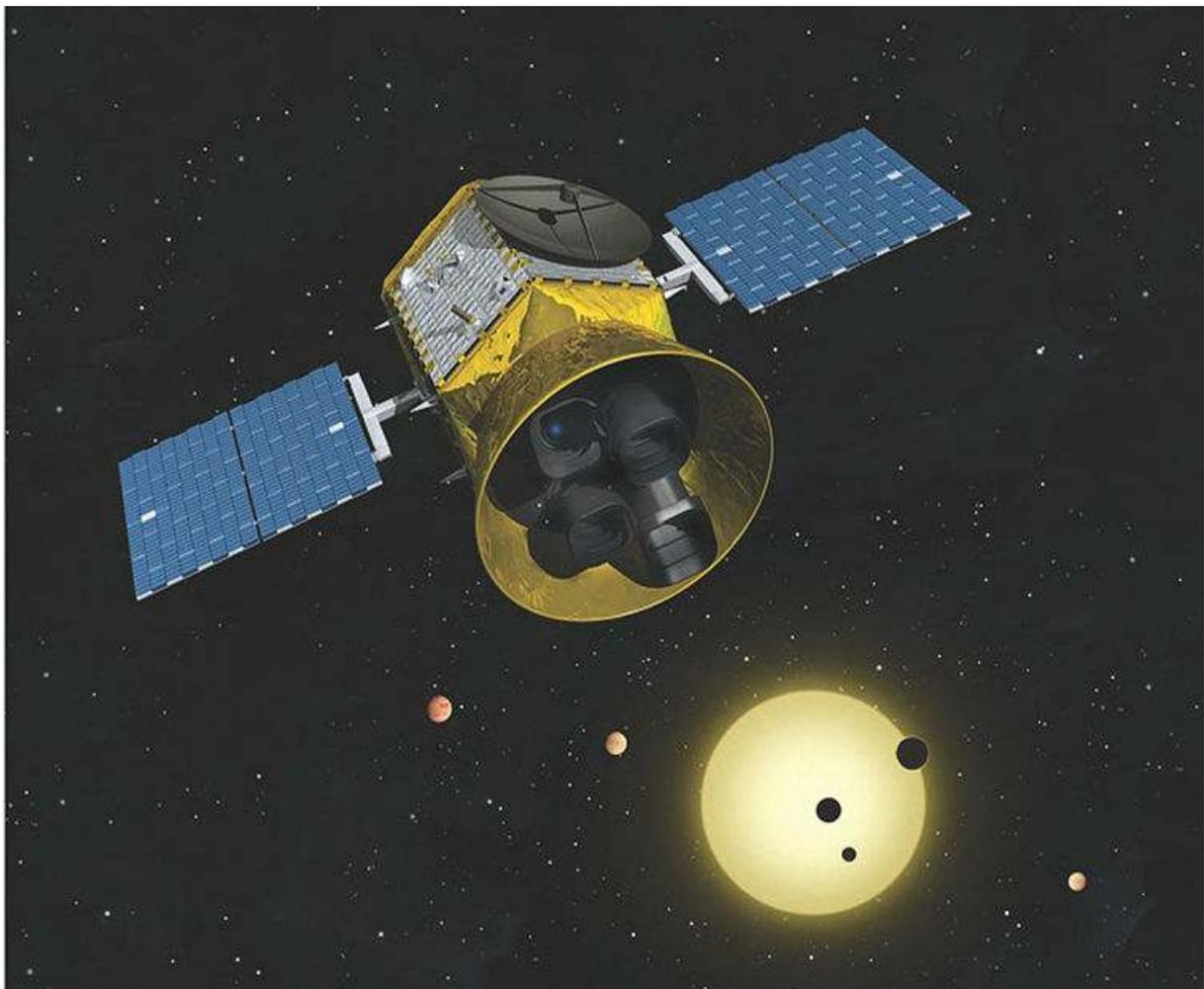
Die Vorgehensweise zeigt, dass verbesserte vielfach automatische Analysemethoden und die Einbindung von Freizeitwissenschaftlern die Chancen steigern, die Suche nach einer zweiten Erde zu einem Erfolg zu führen.

Die Zukunft für die Kepler-Mission, die ursprünglich bis Ende 2012, danach aber bis 2016 verlängert wurde, schien rosig auszusehen.

Am 15. Mai 2013 teilte die NASA mit, es gebe ernsthafte technische Schwierigkeiten. Ein weiteres Drallrad sei ausgefallen und Kepler könne nun infolgedessen nicht mehr mit der bisherigen Präzision ausgerichtet werden. Bereits im Juli 2012 war eines der 4 Räder ausgefallen. Kepler konnte aber auch mit den verbliebenen 3 Rädern noch problemlos justiert werden.

Damit scheint eine erfolgreiche Weiterführung der Mission in Frage gestellt.

Bleibt anzumerken das Kepler die bisher erfolgreichste Mission auf der Suche nach einer zweiten Erde ist und aufgrund der Vielzahl von ungesichteten Messdaten noch für manche Überraschung gut sein wird, bevor im April 2017 die nächste NASA-Mission mit Namen TESS diese Erfolgsserie hoffentlich fortsetzen kann.



Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS)

Quellennachweise

[https://de.wikipedia.org/wiki/Kepler_\(Weltraumteleskop\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kepler_(Weltraumteleskop))

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/bild-670019-46140.html>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c5/Exoplanet_Discovery_Methods_Bar.png

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kepler10b_artist.jpg

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Kepler-16.jpg>

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kepler-22b_System_Diagram.jpg

<http://www.spiegel.de/fotostrecke/exoplaneten-kuenstlerblicke-in-fremde-welten-fotostrecke-25070.html>

<http://kepler.nasa.gov/multimedia/artwork/?ImageID=32>

<http://kepler.nasa.gov/images/MilkyWay-Kepler-cRoberts-1-full.png>

<http://www.ball Aerospace.com/gallery/kepler/>

<http://www.keplermission.com/ill.html>

http://de.wikipedia.org/wiki/Extrasolarer_Planet

<http://www.seti.org/sites/default/files/tess.jpg>

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.