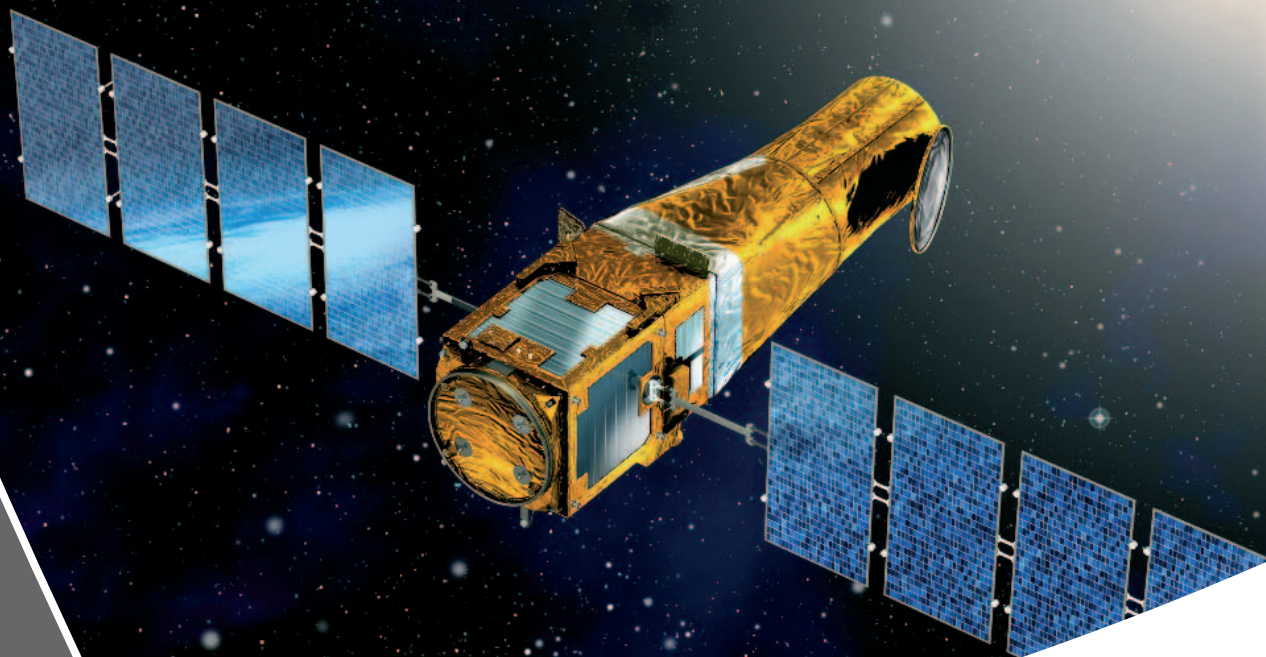
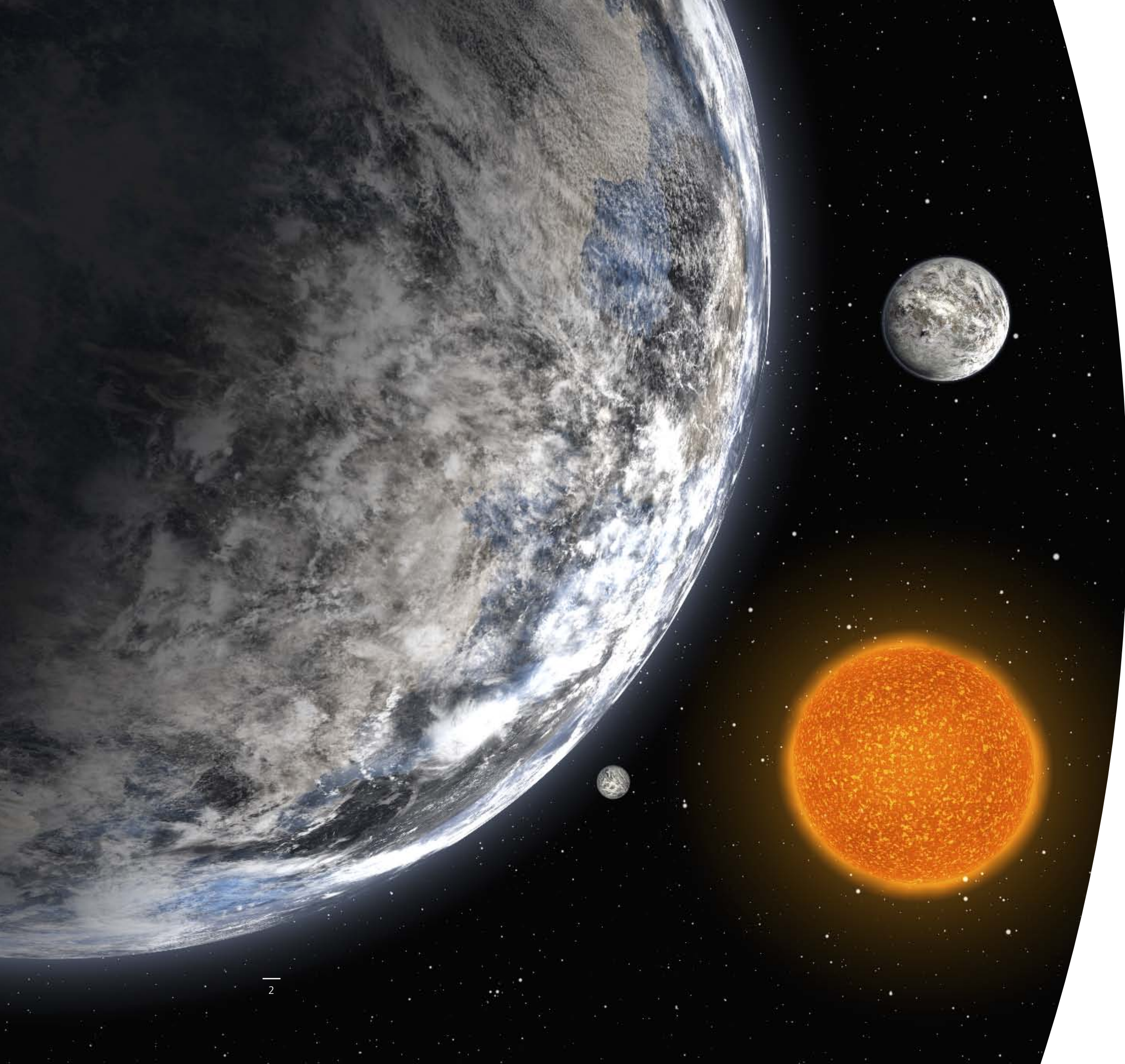




CoRoT

Planetenjäger im All
Hunting for Planets in Space





Inhalt

Content

Die Suche nach extrasolaren Planeten	
<i>Searching for extrasolar planets</i>	4
Die Suche beginnt	
<i>The search begins</i>	5
Zwischen Stern und Planet: CoRoT-3b	
<i>Between star and planet: CoRoT-3b</i>	5
Super-Erde CoRoT-7b	
<i>Super Earth CoRoT-7b</i>	6
Ein normaler Planet: CoRoT-9b	
<i>CoRoT-9b: a normal planet</i>	7
Sieben auf einen Streich	
<i>Seven in one sweep</i>	7
Vom ersten Exoplaneten bis heute	
<i>From the first exoplanet until now</i>	8
Die Dopplermethode	
<i>The Doppler method</i>	9
Planetentransits	
<i>Planetary transits</i>	10
CoRoT – 100.000 Sterne im Blickfeld	
<i>CoRoT – keeping 100,000 stars in view</i>	12
Fehlalarme ausschließen	
<i>Precluding false alarms</i>	14
Pulsierende Sterne	
<i>Pulsating stars</i>	15
Beiträge aus Deutschland	
<i>Contributions from Germany</i>	16
CoRoT geht in die Verlängerung	
<i>Extra time for CoRoT</i>	17
CoRoT als Wegbereiter für die Zukunft	
<i>CoRoT – paving the way for the future</i>	18
Technische Daten	
<i>Technical data</i>	18
Links	
<i>Links</i>	18
Impressum	
<i>Imprint</i>	19



Künstlerische Darstellung des Weltraumteleskops CoRoT.

Artist's impression of the CoRoT space telescope.

Die Suche nach extrasolaren Planeten

Mit dem Start des Satellitenteleskops CoRoT kurz nach Weihnachten 2006 begann ein neues Kapitel in der Suche nach Planeten um andere Sterne. CoRoT (Convection, Rotation and Planetary Transits) ist die erste Mission, die systematisch vom Weltall aus auf der Jagd nach extrasolaren Planeten ist. Die Entdeckungen der ersten Jahre – darunter ein Gesteinsplanet, nur wenig größer als unsere Erde – haben dazu geführt, die Mission bis zum Jahr 2013 zu verlängern. CoRoT kann also noch viele Planeten entdecken und uns helfen zu verstehen, wie verschieden oder ähnlich andere Planetensysteme im Vergleich zu unserem sind. Darüber hinaus erkundet CoRoT das Sternennere mit Hilfe seismologischer Analysemethoden, um die Entwicklung und den Aufbau der Sterne besser zu verstehen.

CoRoT wurde unter der Leitung der französischen Weltraumbehörde CNES geplant, gefertigt und zum wissenschaftlichen Einsatz gebracht. Das DLR ist von Anfang an mit substantiellen Beiträgen an dieser Mission beteiligt. Ebenfalls beteiligen sich Österreich, Belgien, Spanien und Brasilien sowie die Europäische Weltraumorganisation ESA. Frankreich trägt 75 Prozent der Gesamtkosten von 170 Millionen Euro. Eine russische Sojus-Fregat-Trägerrakete brachte CoRoT am 27. Dezember 2006 um 20:23 Uhr Ortszeit (= MEZ 15:23 Uhr) vom russischen Weltraumbahnhof Baikonur auf seine polare Umlaufbahn in rund 900 km Höhe.

Searching for extrasolar planets

The launch of the satellite telescope CoRoT shortly after Christmas 2006 opened a new chapter in the search for planets around other stars. CoRoT – the acronym stands for Convection, Rotation and Planetary Transits – is the first space mission which is systematically hunting for extrasolar planets. Among CoRoT's successful detections, the most exciting result was the discovery of a terrestrial planet whose radius is two times that of the Earth. These results have encouraged the prolongation of the mission until 2013. This gives CoRoT the opportunity to detect many more planets which in turn helps planetary scientists to understand the extent to which other planetary systems differ from (or resemble) our own solar system. Furthermore, CoRoT is observing the interior of stars with the help of seismological methods for a better knowledge of the evolution and structure of stars.

The CoRoT mission is led by the French space agency CNES. DLR, the German Aerospace Center, has also made substantial contributions to this project from the beginning. Other contributions come from Austria, Belgium, Spain, Brazil and the European Space Agency ESA. France bears 75% of the total cost of 170 million Euros. On December 27th, 2006 at 20:23 local time (=15:23 MEZ) a Soyuz-Fregat rocket launched from the Baikonur cosmodrome carried the satellite into its polar orbit at a distance of almost 900 kilometers from the Earth.

Die Suche beginnt

Am 3. Februar 2007 begann das Teleskop mit seiner ersten Beobachtungsphase, im Mai folgte die erste der langen Messphasen, die 150 Tage dauern. Die ersten Messungen zeigten, dass CoRoT alle gestellten Anforderungen voll erfüllt. Schon nach kurzer Zeit wurde der erste Exoplanet gefunden. Das etwa 1500 Lichtjahre entfernte Objekt mit der Bezeichnung CoRoT-1b besitzt einen Radius von 1,5 Jupiterradien. Spektroskopische Messungen mit Teleskopen auf der Erde ergaben, dass die Masse mindestens so groß wie die des Jupiters ist. Der Planet umkreist seinen Zentralstern in sehr geringem Abstand in nur 1,5 Tagen. Damit handelt es sich um einen Exoplaneten vom Typ „heißer Jupiter“.

Bis Ende 2010 haben die Wissenschaftler mit CoRoT schon 15 Entdeckungen gemacht und in Fachzeitschriften darüber berichtet. Das internationale CoRoT-Team analysiert laufend weitere Kandidaten, so dass sich die Liste der zweifelsfrei nachgewiesenen CoRoT-Planeten im Laufe der Zeit noch erheblich verlängern wird.

Zwischen Stern und Planet: CoRoT-3b

Auf einer Konferenz der Internationalen Astronomischen Union (IAU) wurden im Mai 2008 drei neue Entdeckungen vom CoRoT-Team bekannt gemacht. Neben zwei neuen „herkömmlichen“ Planeten wurde ein sehr eigenartiges Objekt der Öffentlichkeit vorgestellt: CoRoT-3b hat einen Durchmesser, der dem des Jupiters entspricht, und gleichzeitig aber eine 20fach größere Masse. Kann man CoRoT-3b mit einer Dichte höher als Platin noch einen Planeten nennen, oder ist es ein Brauner Zwerg, also ein verhinderter Stern, dessen Masse noch nicht ausreicht, um die Kernfusion im Inneren zu zünden?

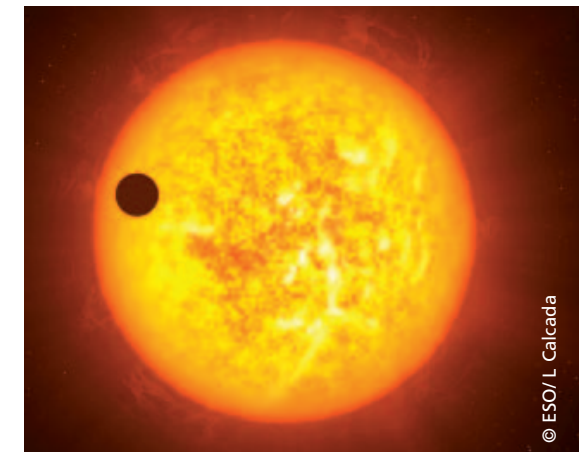
The search begins

On February 3rd, 2007, CoRoT started its first observations, which were followed in May by the first extended measuring phase that lasts for 150 days. The initial measurements showed that the telescope fully complies with all requirements that it was intended to fulfil. It did not take long for CoRoT to find its first exoplanet, which lies at a distance of about 1,500 light years. The radius of the object, designated as CoRoT-1b, is 1.5 times that of Jupiter. Spectroscopic measurements taken by telescopes on Earth established that the mass of the new planet is at least 1.3 times as large as Jupiter's. The planet is very close to its central star, taking no more than 1.5 days to complete an orbit. Therefore, we are looking at an exoplanet of the 'hot Jupiter' type.

15 discoveries have been made up until the end of 2010 which have been reported in scientific publications. Other candidates are being analysed by the international CoRoT team which will significantly increase the number of detected planets.

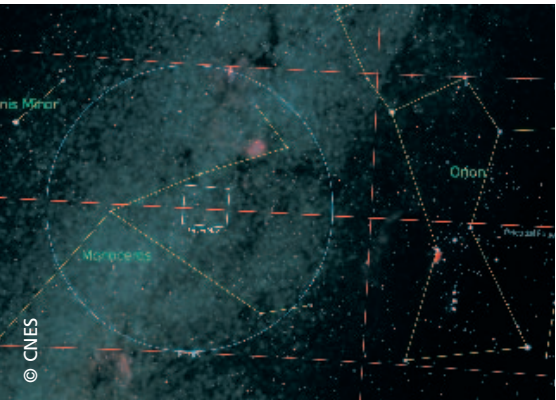
Between star and planet: CoRoT-3b

In May 2008, three new discoveries were announced by the CoRoT team at the conference of the International Astronomical Union (IAU). The scientists found two new planets and one strange object designated CoRoT-3b. CoRoT-3b is about the size of Jupiter, but its mass is 20 times that of the giant planet. There is doubt as to whether one could call this object a planet. With a density higher than that of platinum it is rather a Brown Dwarf, i. e. with mass too small to initiate nuclear fusion in the centre.



Künstlerische Darstellung des Exoplaneten CoRoT-9b, dem ersten „normalen“ Exoplaneten. Er umkreist einen sonnenähnlichen Stern im Sternbild Schlange, der 1500 Lichtjahre von uns entfernt ist.

Artist's impression of transiting exoplanet CoRoT-9b, the first 'normal' exoplanet. It is orbiting a sun-like star located in the constellation of Serpens (the Snake), 1,500 light years away from Earth.



Sternkarte mit dem Sternbild Einhorn und Orion. Das CoRoT-Feld kann innerhalb des blauen Kreises ausgerichtet werden. Während des Winters 2007/2008 wurde das rechteckige Feld in der Mitte beobachtet.

Celestial chart with the constellations of Unicorn and Orion. CoRoT's field of view is shown by the blue circle. During winter 2007/2008 the target field is shown by the rectangle.



Historische Himmelsdarstellung „Planisphaerium coeleste“, Ausschnitt mit Tierkreiszeichen, Kupferstich, koloriert, 49 x 57,5 cm, Nürnberg (David Funck) um 1500.

Historical celestial chart 'Planisphaerium coeleste' with the signs of the zodiac, copper engraving, coloured, 49 x 57,7 cm, Nürnberg (David Funck) from about 1500.

Super-Erde CoRoT-7b

Die Entdeckung von CoRoT-7b ist ein Höhepunkt in der Erfolgsgeschichte von CoRoT. Mit der Transitmethode, die CoRoT bei der Suche verwendet, lässt sich direkt der Radius des Exoplaneten bestimmen. Kennt man den Radius und die Masse eines Planeten, kann man seine Dichte bestimmen. Mit einem Wert von 5,6 g/cm³ kann CoRoT-7b kein Gasplanet sein. Der Wert ähnelt dem der terrestrischen Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars. Damit gehört CoRoT-7b zu den Gesteins-planeten. Wie die Oberfläche genau beschaffen ist, weiß man nicht. Wegen seines geringen Abstands zum Stern empfängt der Planet sehr viel Strahlung. Da der Planet aber wahrscheinlich immer die gleiche Seite dem Stern zuwendet, wird die Tagseite ständig angestrahlt und heizt sich schätzungsweise auf rund 2000 Grad Celsius auf, die Nachtseite hingegen hat vermutlich nur eine Temperatur von minus 200 Grad Celsius.

Weitere Beobachtungen des Sterns CoRoT-7 im Sternbild Einhorn gaben Hinweise, dass diese Super-Erde dort nicht alleine ihre Kreise zieht. Ein zweiter Gesteinsplanet mit acht Erdmassen umkreist den Stern mit einem etwas größeren Abstand in 3 Tagen und 17 Stunden.

CoRoT-7b wurde durch die regelmäßigen Bedeckungen (Transits) seines Zentralsterns entdeckt. Um die Masse von CoRoT-7b bestimmen zu können, wurden von der Erde Beobachtungen mit der Radialgeschwindigkeitsmethode durchgeführt: CoRoT-7b hat etwa die 4,8-fache Masse der Erde. Die zusätzlichen Beobachtungen führten auch noch zur Entdeckung eines weiteren Planeten in dem System, CoRoT-7c.

Super Earth CoRoT-7b

The discovery of CoRoT-7b was a highlight in the successful story of CoRoT. Using the transit method the radius of the planet can be derived directly from the measured light curve. This makes the transit method unique. Knowing the radius and the mass of a planet the density can be determined. Taking the values of CoRoT-7b the density is 5.6 g/cm³. Therefore, CoRoT-7b is not a gas planet like Jupiter or Saturn but a terrestrial planet like Mercury, Venus, Earth and Mars. The surface may be rocky like Earth and covered in liquid lava. As the planet is very close to its central star it receives a lot of radiation. But similar to the moon which always shows the same side to the Earth the planet has a permanent dayside and nightside. On the dayside it is extremely hot, maybe 2000 degree Celsius, on the nightside the temperature may be as low as minus 200 degrees Celsius.

Additional Observations of the star CoRoT-7 in the constellation unicorn gave hints that the Super Earth is not the only planet there. A second terrestrial planet of eight Earth masses orbits the star at larger distance in 3 days and 17 hours.

CoRoT-7b was discovered by the periodic little dips in the light curve of its star caused by transits. For a determination of the mass of CoRoT-7b ground-based observations with the radial-velocity method have been executed; the mass of CoRoT-7b is 4.8 times that of the Earth. The additional observations led to the discovery of another planet, CoRoT-7c.

Ein „normaler“ Planet: CoRoT-9b

CoRoT-9b ist mit einer Umlaufzeit von 95 Tagen der erste langperiodische Planet, der mit der Transitmethode entdeckt wurde. Die Zeit, die er für einen Umlauf seines Sternes braucht, entspricht fast der des Merkurs mit rund 88 Tagen. CoRoT-9b ist damit ein Planet, der den Planeten unseres Sonnensystems schon ziemlich nahe kommt und durch seine „Normalität“ auffällt. Vermutlich ist es ein Gasplanet mit relativ moderaten Temperaturen zwischen -20 und +160 Grad Celsius, je nachdem, ob und in welchem Umfang reflektierende Wolken vorhanden sind.

Sieben auf einen Streich

Sechs neue Planeten und einen weiteren Braunen Zwerg konnte das CoRoT-Team im Juni 2010 bekannt geben. Alle neuen Planeten gehören zur bekannten Gruppe der „heißen Jupiter“. Jeder einzelne Planet hat aber seine Besonderheit. CoRoT-10b bewegt sich auf einer sehr exzentrischen Bahn, die einmal sehr nahe und einmal sehr weit weg vom Stern liegt, viel extremer als wir es von unserem Planetensystem kennen. Der Stern CoRoT-11 rotiert um seine eigene Achse in nur 40 Stunden – zum Vergleich: die Sonne braucht für eine Umdrehung 27 Tage. CoRoT-12b, CoRoT-13b und CoRoT-14b sind heiße Jupiter, aber mit sehr verschiedenen Dichten. Die Entdeckung eines zweiten Braunen Zwerges, CoRoT-15b, ist eine kleine Sensation, denn braune Zwerge sind seltener als Planeten.

CoRoT-9b: a ‘normal’ planet

For CoRoT-9b it takes 95 days to complete one orbit around its central star. Although this is not the longest period of an extrasolar planet, it is the first long periodic planet which was detected with the transit method. The period is close to the number we know from our planetary system. For comparison: the shortest period in our planetary system is that of Mercury's with 88 days. In this sense CoRoT-9b is close to normal. Furthermore, CoRoT-9b is a gaseous planet with moderate temperatures. Depending on the existence and abundance of reflecting clouds the temperature is between -20 and +160 degrees Celsius.

Seven in one sweep

The CoRoT Team announced six new planets and another Brown Dwarf in June 2010. All new planets are 'hot Jupiters', but every single one has its own special feature. CoRoT-10b orbits its star on a very eccentric orbit, which brings it very close and very far away from the star. This amount of eccentricity is not present in our planetary system. The star of the planet CoRoT-11b is a very fast rotator. In comparison to the rotation period of the Sun, which is 27 days, this star takes 40 hours for a complete rotation. CoRoT-12b, CoRoT-13b and CoRoT-14b are 'hot Jupiters', but with widely varying densities. The discovery of a second Brown Dwarf, CoRoT-15b is a minor sensation since Brown Dwarfs are much rarer than planets.

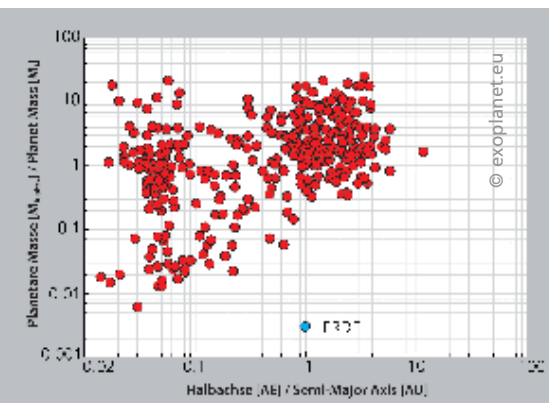
Tabelle der durch CoRoT entdeckten Planeten
Table of the planets detected by CoRoT

Name/name	Masse/mass (M _{Jupiter})	Radius/radius (R _{Jupiter})	Periode [Tagel] period [days]	Große Halbachse semi-major axis [AU]†
CoRoT-1b	1,03	1,49	1,51	0,0254
CoRoT-2b	3,31	1,465	1,74	0,0281
CoRoT-3b*	21,66	1,01	4,26	0,057
CoRoT-4b	0,72	1,19	9,20	0,09
CoRoT-5b	0,467	1,388	4,04	0,04947
CoRoT-6b	2,96	1,166	8,89	0,0855
CoRoT-7b	0,0151	0,15	0,85	0,0172
CoRoT-7c+	≥0,0264	–	3,70	0,046
CoRoT-8b	0,22	0,57	6,21	0,063
CoRoT-9b	0,84	1,05	95,27	0,407
CoRoT-10b	2,75	0,97	13,24	0,1055
CoRoT-11b	2,33	1,43	2,99	0,0436
CoRoT-12b	0,917	1,44	2,83	0,04016
CoRoT-13b	1,308	0,885	4,04	0,051
CoRoT-14b	7,6	1,09	1,51	0,027
CoRoT-15b*	60	1,15	3,06	–

† AU = Astronomical Unit oder Astronomische Einheit; Maß für die Entfernung der Erde von der Sonne (ca. 150 Millionen km)/Measure for the distance between Earth and Sun (about 150 million km)

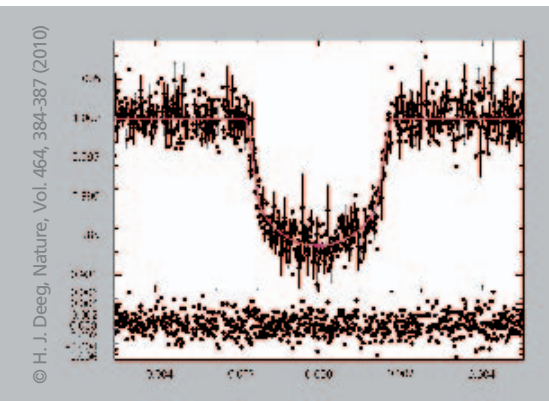
* Diese beiden Objekte sind keine Planeten, sondern Braune Zwerge. These two objects are not planets, but Brown Dwarfs.

+ Radialgeschwindigkeitsmessungen von CoRoT-7b haben auf die Existenz eines zweiten Planeten in diesem Sternensystem hingewiesen. Da CoRoT-7c jedoch kein Transitplanet ist, kann sein Radius nicht bestimmt werden. Radial velocity measurement of CoRoT-7b indicated a second planet in that stellar system. CoRoT-7c is not a transiting planet, therefore no radius can be determined.



Planetenmasse über der großen Halbachse für alle Planeten, die mit der Radialgeschwindigkeitsmethode und Transitmethode entdeckt wurden (Stand: Juli 2010).

Planetary mass versus semimajor axis for all planets detected with the radial velocity and transit method (as of July 2010).



Transitmesskurve des Exoplaneten CoRoT-9b.

Light curve of transiting planet CoRoT-9b.

Vom ersten Exoplaneten bis heute

Ende des Jahres 1995 gelang Michel Mayor und Didier Queloz vom Observatorium Genf die erste zweifelsfreie Entdeckung eines extrasolaren Planeten, der einen sonnenähnlichen Stern umkreist. Seitdem hat sich das Wissen über ferne Planeten, kurz Exoplaneten genannt, so stürmisch entwickelt wie in kaum einem anderen Zweig der Planeten- und Astrophysik. Weltweit starteten Astronomen zahlreiche Suchprogramme und entdecken mit ihnen ständig neue Welten. Zu Beginn des Jahres 2011 waren bereits über 500 extrasolare Planeten bekannt, darunter 52 Systeme mit mehreren Planeten.

Für die Astronomen und Planetenforscher ging mit dieser Entdeckung ein lang gehegter Traum in Erfüllung: Wohl jeder war von der Existenz extrasolarer Planeten überzeugt gewesen, aber alle Entdeckungsversuche blieben bis dahin ohne Erfolg. Doch nun war es endlich möglich, ferne Planetensysteme zu studieren und Antworten auf entscheidende Fragen zu geben: Ist unser Planetensystem der Normalfall oder stellt es mit seinen Eigenschaften eine Ausnahme dar? Gibt es extrasolare Planeten, auf denen lebensfreundliche Bedingungen herrschen, wie wir sie von der Erde her kennen?

Die bisher entdeckten Planeten und Planetensysteme unterscheiden sich deutlich von unserem Planetensystem. In vielen Fällen bewegen sich recht massereiche Gasplaneten in sehr geringem Abstand um ihren Stern. Einige dieser „heißen Jupiter“ umkreisen ihn innerhalb weniger Tage. In unserem Sonnensystem befinden sich die Gasplaneten dagegen weit außen, wo sie über zehn Jahre für einen Umlauf benötigen.

Der erste extrasolare Planet und die meisten der bis heute bekannten Planeten wurden mit der Radialgeschwindigkeitsmethode entdeckt. Diese Methode beruht auf dem Dopplereffekt und hat – wie jedes Verfahren – seine messtechnischen Grenzen.

From the first exoplanet until now

Late in 1995, Michel Mayor and Didier Queloz of the Observatory of Geneva succeeded in establishing without doubt the first discovery of a planet orbiting a sun-like star. Since then, our knowledge about extrasolar planets, or exoplanets in short, has been developing at a pace unequalled in any other field of planetary physics and astrophysics. Having begun numerous search programs, astronomers worldwide keep discovering new worlds. Early 2011, more than 500 extrasolar planets had become known, including 52 systems with more than one planet.

For astronomers and planetary scientists this was the fulfillment of a long-nursed dream: While practically every one of them was convinced that extrasolar planets exist, all attempts at discovering them had failed until then. Now, however, it has at long last become possible to study remote planetary systems on the basis of concrete observations. Some of the crucial questions that arise in this context are: Is our planetary system the norm or is it exceptional, together with its properties? Are there any extrasolar planets on which conditions prevail that favour life, such as those we are familiar with on Earth?

Most of the planets and planetary systems discovered so far appear to have little in common with ours. In many cases, planets with a fairly large mass travel around their star at a small distance. Some of these 'hot Jupiters' take no more than a few days to circle around their star. Conversely, the gas giants of our own solar system are located much further away, taking more than ten years for a single orbit.

Up to now, no astronomer has discovered a rocky planet as small as Earth. The first extrasolar planet and most of the detections were made with the radial velocity method. This method is based on the Doppler effect, but it has – as any measurement method – its limitations.

Die Dopplermethode The Doppler method

Ein Zentralstern und ein ihn umkreisender Himmelskörper ziehen sich gegenseitig mit ihrer Schwerkraft an. Deshalb kreisen beide Körper um ihren gemeinsamen Schwerpunkt. Dieser liegt innerhalb des Sterns, fällt aber nicht exakt mit dessen Massenmittelpunkt zusammen. Der Stern dreht sich demzufolge – zusätzlich zu seiner Eigenrotation – um den Schwerpunkt, während ihn der Planet umkreist. Von der Erde aus gesehen bewegt sich der Stern am Himmel mit der Umlaufperiode des Planeten mal auf den Beobachter zu, mal von ihm weg. Diese periodische Bewegung spiegelt sich im Spektrum des Sterns in geringen Wellenlängenverschiebungen der Spektrallinien wieder (Dopplereffekt) und lässt sich sehr genau messen.

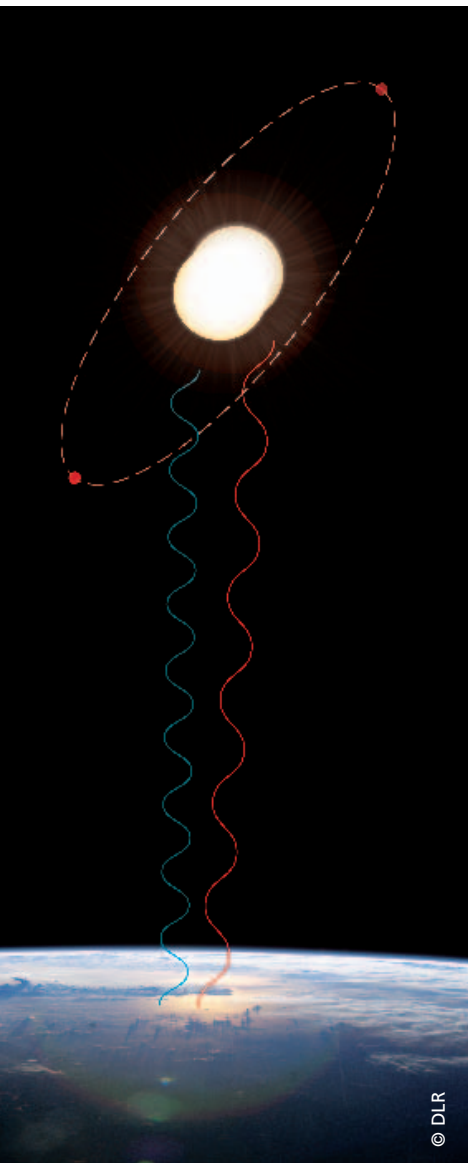
Mit der Dopplermethode können die Astronomen Sternbewegungen bis herunter zu Geschwindigkeiten von etwa 1 Meter pro Sekunde (3,6 km/h) messen. Zum Vergleich: Unsere Sonne führt aufgrund der Schwerkraft des Jupiters eine Kreisbewegung mit 12 m/s aus, was mit heutiger Technik leicht nachweisbar ist. Die viel masseärmere Erde hingegen verursacht eine Bahngeschwindigkeit von nur 9 cm/s, was weit unterhalb der heutigen Nachweisgrenze liegt.

Im Mai 2007 konnte man jedoch mit Gliese 581d einen Planeten nachweisen, der eine Mindestmasse von rund fünf Erdmassen besitzt und vermutlich ein Gesteinsplanet ist. Die Entdeckung eines solch massearmen Planeten gelang, weil er seinen Zentralstern in einem sehr geringen Abstand umkreist und dieser ein Zwergstern mit lediglich einer Drittel Sonnenmasse ist. Beide Eigenschaften begünstigen den Nachweis mit Hilfe der Dopplermethode. Ob auf diesem Gesteinsplaneten flüssiges Wasser existiert, hängt vor allen Dingen vom Vorhandensein einer Atmosphäre ab. Darüber ist jedoch bisher nichts bekannt.

A central star and a planet orbiting it attract each other by their gravitation. Thus, both bodies move around a common centre of gravity. While this may be located within the star, it does not exactly coincide with its centre of mass. Consequently, in addition to its proper rotation, the star circles this centre of gravity as the planet circles around it. Seen from Earth, the movement of the planet in its orbit causes the star to shift alternately towards and away from the observer. These periodic movements cause the wavelength of the star's spectral lines to shift slightly within its electromagnetic spectrum, and this Doppler effect can be measured very precisely.

The Doppler method enables astronomers to measure stellar movements at speeds as low as about 1 metre per second (3.6 km/h). To put this in perspective: Jupiter's gravity causes our own Sun to move in a circle at a speed of 12 m/s, which is easy to demonstrate with today's technology. Conversely, the Earth with its much smaller mass causes a circular movement of no more than 9 cm/s, which is far below today's limits of detection.

In May 2007, however, the scientists were able to identify Gliese 581d, a planet with a mass at least five times as large as that of Earth which can probably be classified as rocky. A planet of such a low mass could only be detected because it orbits its central star at a very low distance, and because that star is a dwarf with a mass of no more than one third of the Sun's. Both these characteristics favor detection by the Doppler method. The existence of water in the liquid state depends mainly on whether or not the rocky planet has an atmosphere. However, nothing is known about that at this time.



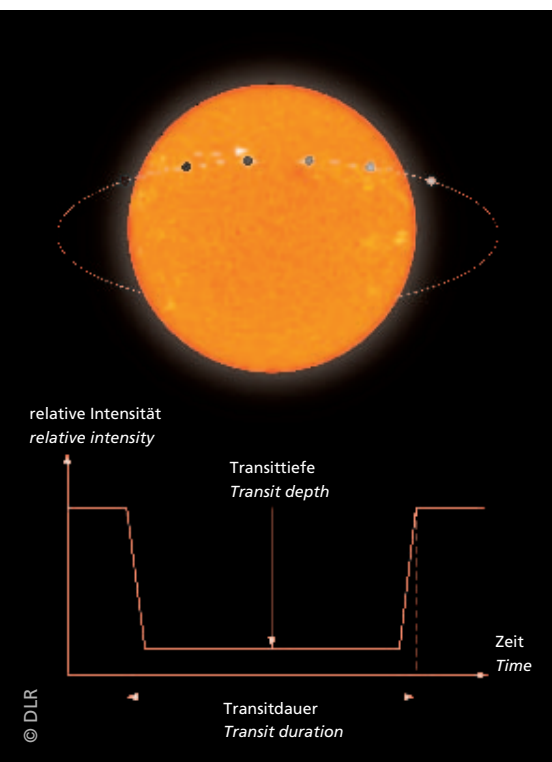
Darstellung der Dopplermethode: Stern und Planet drehen sich um einen gemeinsamen Schwerpunkt. Die Wellenlänge der Spektrallinien im Sternenlicht wird periodisch verschoben.

Illustration of the Doppler method: star and planet orbit their center of mass. The wavelength of the spectral lines in the star's spectrum are periodically shifted.



Künstlerische Darstellung eines Planetentransits beim Stern CoRoT-7. Neben der Planetenscheibe ist auch ein Sternfleck dargestellt.

Artist's view of a planetary transit in the star CoRoT-7. A star spot is visible next to the dark planet disk.



Darstellung der Transitmethode.
Illustration of the transit method.

Die Dopplermethode hat noch eine weitere Einschränkung: Man kann nur jene Geschwindigkeitskomponente der Sternbewegung beobachten, die entlang der Sichtlinie zum Stern (radial) erfolgt. Daher auch der Begriff Radialgeschwindigkeitsmethode. Nur wenn die Ebene der Planetenumlaufbahn genau senkrecht zur Himmelsebene, d.h. exakt auf den Betrachter zu liegt, beobachtet man den vollen Ausschlag der Sternbewegung. Dann können Astronomen die tatsächliche Masse des Planeten ermitteln. In den meisten Fällen ist die Bahnebene jedoch zur Sichtlinie des Beobachters geneigt und man erhält lediglich eine untere Grenze für die Masse des Planeten.

Planetentransits

Eine zweite Möglichkeit Exoplaneten aufzuspüren bietet die Transitmethode, die beim Weltraumteleskop CoRoT zum Einsatz kommt. Sie funktioniert nach einem einfachen Prinzip. Wenn der Umlauf eines Exoplaneten glücklicherweise so erfolgt, dass dieser von der Erde aus betrachtet jedes Mal vor seinem Stern vorbeizieht, so schwächt sich das Sternenlicht während dieses Transits geringfügig ab. Es ereignet sich eine Art Mini-Sonnenfinsternis, die den Planeten verrät.

In unserem eigenen Sonnensystem konnten wir einen vergleichbaren Fall am 8. Juni 2004 beobachten. An diesem Tag zog die Venus, von der Erde aus betrachtet, als schwarze Scheibe vor der Sonne vorbei. Ferne Sterne erscheinen jedoch selbst im größten Teleskop stets nur als Punkt. Hier äußert sich ein Planetentransit lediglich in einem geringfügigen Helligkeitsabfall des Sternenlichts. Mit Transitbeobachtungen wurden bislang über 60 Planeten entdeckt.

Die große Herausforderung besteht nun darin, diese extrem geringe Intensitätsschwankung zu messen. Sie ergibt sich unmittelbar aus dem Verhältnis der Querschnittsfläche des Planeten zu derjenigen des Sterns. Ein Planet von der Größe Jupi-

The Doppler method is limited in yet another way: The movement of a star can only be observed in the two directions along the line of sight, i.e. radially. This is why this approach is called the radial velocity method. The full amplitude of a star's movement can only be observed if the plane of the planetary orbit is precisely perpendicular to the plane of the sky, so that it points exactly at the observer. If this is so, astronomers can determine the actual mass of the planet. In most cases, however, orbits are inclined relative to the observer's line of sight, so that planet seekers can obtain no more than a lower limit for the mass of a planet from their measurement curves.

Planetary transits

The transit method offers another option for detecting exoplanets. The principle is quite simple. If, by some happy coincidence, an exoplanet's orbit is such that, seen from the Earth, it passes in front of its star every time, the light emitted by the star will weaken slightly during such a transit. What happens then is a kind of mini-eclipse that reveals the planet's existence.

In our own solar system, we were able to observe a similar incident on June 8, 2004. On that day, Venus passed across the Sun, showing up as a black disk. However, faraway stars appear as mere dots even in the largest telescopes, so that planetary transits can be detected only by a slight decline in a star's brightness.

Now, the great challenge lies in measuring such extremely small fluctuations in intensity. These are directly related to the ratio between the cross-sectional area of a planet and that of its star. A planet the size of Jupiter will dim the light of a Sun-like star by about one hundredth. The Earth, being so much smaller, will cause a loss of intensity of somewhat less than one tenth of a thousandth (10^{-4}). CoRoT needs to be sensitive enough to detect these very small variations and

ters schattet das Licht eines sonnenähnlichen Sterns um ungefähr ein Hundertstel ab. Bei der viel kleineren Erde beträgt der Intensitätsabfall etwas weniger als ein Zehntausendstel (10^{-4}). CoRoT muss also genügend empfindlich sein, um solch kleine Gesteinsplaneten absolut sicher nachweisen zu können. Die Dauer eines Transits liegt je nach Umlaufdauer zwischen wenigen Stunden und einigen zehn Stunden.

Eine weitere Schwierigkeit ist, dass sich ein Transit nur ereignet, wenn der Planet zwischen Beobachter und dem Stern vorbeizieht. Statistisch ist dies eher die Ausnahme als die Regel. Nimmt man als Beispiel die Verhältnisse in unserem Sonnensystem, so wird man von einem fernen Stern aus nur in etwa fünf von eintausend Fällen zufällig den Transit eines Planeten wie der Erde beobachten können. Damit die Transitsuche Aussicht auf Erfolg hat, muss man also – wie bei der Suche nach einem vierblättrigen Kleeblatt auf einer Wiese – sehr, sehr viele Sterne beobachten, um dem Wahrscheinlichkeitskriterium hinreichend Rechnung zu tragen.

Die Transitmethode hat den entscheidenden Vorteil, dass sich aus der Stärke des Lichtabfalls der Durchmesser des Planeten ermitteln lässt. Beobachtet man die Transits über mehrere Umlaufperioden hinweg, so erhält man mit bekannter Sternmasse aus der Periode den Bahnradius. Darüber hinaus kann man aus der Transiddauer die Neigung der Bahnebene bestimmen. Kombiniert man die Transit- und Radialgeschwindigkeitsmessungen miteinander, so kann man die wahre Masse eines Planeten und mit dem bekannten Durchmesser auch die Dichte ermitteln – eine sehr bedeutende Größe zur Charakterisierung der wahrscheinlichen Zusammensetzung des Planeten.

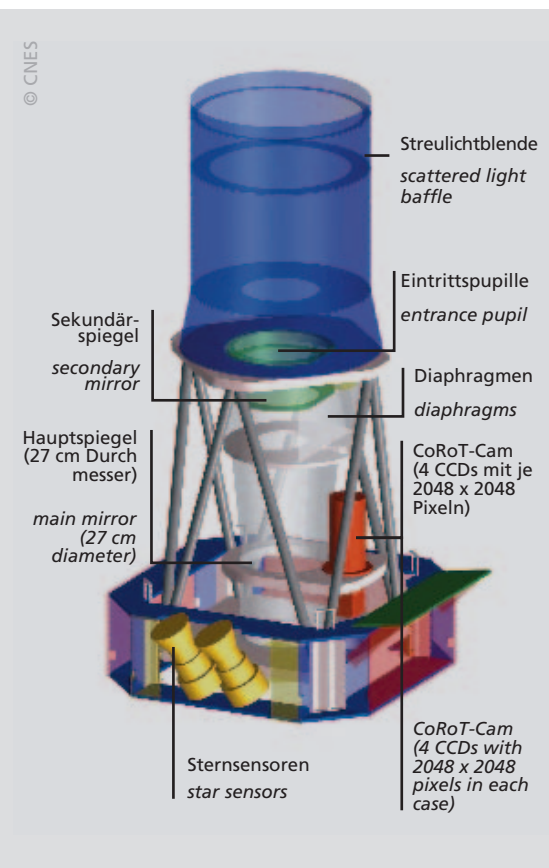
In Kombination mit theoretischen Modellen können Astro- und Planetenphysiker aus diesen Größen Schlüsse über den inneren Aufbau der Planeten ziehen. Von etwa 100 Planeten kennt man diese Parameter, da man sie mit beiden Methoden beobachten konnte.

hence to identify such small rocky planets. Depending on the orbital period of such planets, the duration of its transit may range between a few and some tens of hours.

Another difficulty lies in the fact that a transit will happen only if the planets orbit is between the observer and the star. Statistically speaking, this is the exception rather than the rule. Observers looking from some faraway stars at our own solar system, for example, will be able to watch the transit of a planet like Earth only in about five out of one thousand cases if the declination of the planet's orbit is randomly distributed. To search for transits with any chance of success, therefore, a great many stars must be observed to satisfy this criterion, which CoRoT is doing.

A crucial advantage of the transit method lies in the fact that the diameter of a planet can be determined directly and absolutely from the extent to which it dims the light of a star. If transits are observed during several orbits, and if the mass of the star is known, the orbital period can be computed from these two quantities. Moreover, the duration of a transit gives us the inclination of the orbital plane. By combining transit and radial velocity measurements, the true mass of a planet and, if its diameter is known, even its density can be determined – a quantity of great importance to characterising the likely composition of the planet.

Using these quantities together with theoretical models, astrophysicists and planetary scientists may draw conclusions about the inner structure of a planet. We know these parameters of around 100 extrasolar planets since they were measured with the radial velocity method as well as with the transit method.



Darstellung des CoRoT-Satelliten und seiner wichtigsten Bauteile.

Diagram of the CoRoT satellite and the most important construction units.

CoRoT – 100.000 Sterne im Blickfeld

Die meisten bisher mit der Transitmethode entdeckten Planeten sind etwa so groß wie Jupiter. Kleinere Planeten lassen sich mit erdgebundenen Teleskopen zurzeit nicht entdecken, es sei denn, sie umkreisen sehr kleine Sterne. Die Entdeckung des Gesteinsplaneten CoRoT-7b, der um einen sonnenähnlichen Stern kreist, zeigt die Möglichkeiten der Beobachtung mit der Transitmethode vom Weltraum aus.

Herz des CoRoT-Satelliten ist ein Teleskop mit einem Spiegel von 27 Zentimetern Durchmesser. Bei der Konstruktion handelt es sich um einen Schiefspiegler. Hier reflektiert der Hauptspiegel das einfallende Lichtbündel schräg aus der Hauptachse des Teleskops heraus auf einen Sekundärspiegel. Dieser lenkt das Licht seitlich an der Hauptachse in Richtung Hauptspiegel zurück, so dass die Brennebene neben dem Spiegel liegt. Der Strahlengang ist also z-förmig gefaltet, was eine kompakte Bauweise ermöglicht. Zum anderen erzeugen Schiefspiegler besser definierte Aufnahmen von Sternen als viele andere Spiegelteleskope, weil sich im Strahlengang keine Halterungsstrukturen befinden, die Streulicht und Beugungseffekte erzeugen. Darüber hinaus blendet ein solches Teleskop seitlich einfallendes Streulicht sehr effektiv aus. Da Streulicht ein empfindlicher Störfaktor ist, wurde zudem auf den Teleskoptubus eine schwarze Abblendlöhre montiert. Sie reduziert mögliches Streulicht auf ein Zehnbillionstel.

Alle diese Maßnahmen zur Streulichtreduzierung erhöhen die Messempfindlichkeit ganz erheblich. Darüber hinaus ist CoRoT gegenüber einem erdgebundenen Teleskop im Vorteil, weil es nicht durch die lichtrübende und turbulente Atmosphäre hindurchschauen muss. Denn die Luftunruhe erzeugt ebenfalls Helligkeitsschwankungen im beobachteten Sternenlicht, was die Messempfindlichkeit begrenzt. Und schließlich beobachtet CoRoT die Sterne unabhängig vom irdischen Tag-Nacht-Rhythmus.

CoRoT – keeping 100,000 stars in view

Most of the exoplanets discovered by the transit method so far are about as large as Jupiter. At the moment, no telescope on the ground is capable of discovering any smaller planets with the transit method unless they are orbiting small stars. CoRoT-7b has shown the potential of the transit method in space.

The heart of the satellite is formed by a telescope with a mirror measuring 27 centimeters in diameter. The design is that of an off-axis mirror system, in which the primary mirror obliquely reflects the incoming light away from the main axis of the telescope and on to a secondary mirror, which directs it back towards the primary mirror parallel to the main axis, so that the focal plane lies next to the primary mirror. The path of the beam is folded like the letter Z, enabling a highly compact construction. Furthermore, the star images produced by such oblique telescopes are superior to those of many other reflectors because the path of the beam is not obstructed by any fixtures which might scatter or bend it. Since scattered light is a major nuisance, the front end of the telescope was fitted with a black absorption tube (baffle) which reduces the incidence of scattered light by a factor of 10 billion. The reduced scattering leads to quite a considerable increase in the measuring sensitivity for various devices.

Moreover, CoRoT has the advantage over ground-based telescopes because it does not look through a turbid and turbulent atmosphere. Air turbulence also causes fluctuations in the apparent brightness of observed stars, thus impairing measuring sensitivity. And last but not least, CoRoT is able to observe the stars independently of the terrestrial rhythm of day and night.

The orbit and orientation of the satellite have been selected so as to almost completely avoid interference by scattered light from the Earth and the Sun. The

Die Bahn und die Ausrichtung des Satelliten wurden so gewählt, dass kaum störendes Streulicht von Erde und Sonne ins Teleskop gelangt. Das Teleskop umkreist die Erde auf einer polaren Bahn in 896 Kilometern Höhe. Dabei ist es stets auf ein bestimmtes Himmelsfeld ausgerichtet. Dessen Lage wurde so gewählt, dass das Fernrohr senkrecht zu seiner Bahnebene ausgerichtet ist. Damit erreicht man, dass das Teleskop immer von der Sonne weg weist. Auch die Erde gerät nie in das Blickfeld des Teleskops. Selbst im ungünstigsten Fall, wenn die Erde 20 Grad seitlich von der Teleskopachse steht, fallen pro Sekunde nur etwa zwei unerwünschte Lichtteilchen (Photonen) auf ein Pixel der Kamera.

Durch den Umlauf der Erde um die Sonne ändert sich jedoch kontinuierlich die Ausrichtung des Teleskops relativ zu unserem Zentralgestirn. Um die beschriebenen Beobachtungsbedingungen stets zu erfüllen, muss der gesamte Satellit zwei Mal pro Jahr um 180 Grad gedreht werden. Auf diese Weise schaut er abwechselnd einmal in den Innen- und das andere Mal in den Außenbereich unserer Milchstraße.

Diese Methoden zusammen mit einer speziell entwickelten Auswertesoftware ermöglichen es, noch Helligkeitskontraste bis herunter zu zwei Hunderttausendstel zu messen. Das Instrument erfüllt dieses Empfindlichkeitskriterium und kann Planeten aller Größe bis herunter zum Erddurchmesser auffinden.

Transits treten sehr selten auf. Um die Wahrscheinlichkeit einer Entdeckung zu erhöhen, muss CoRoT daher sehr viele Sterne gleichzeitig beobachten. Das Teleskop hat mehrere Himmelsfelder jeweils 150 Tage lang im Blick und misst kontinuierlich die Helligkeiten von rund 12.000 Sternen pro Feld. Jedes Feld ist 2,8 mal 2,8 Quadratgrad groß, was etwa dem 30-Fachen der Vollmondfläche entspricht. In den ersten Jahren hat CoRoT somit insgesamt über 100.000 Sterne mit scheinbaren Helligkeiten zwischen der 11. und 16. Größenklasse beobachtet. Weitere Bildfelder folgen in der Phase der Missionsverlängerung.

telescope encircles the Earth in a polar orbit at an altitude of 896 kilometres, pointing steadily at a specific segment of the sky. The location of each sector is such that the alignment of the telescope remains perpendicular to its orbital plane. This ensures that the telescope always points away from the Sun and that the Earth never enters its field of vision. Even under the most unfavorable circumstances, i.e. when the Earth is positioned 20 degrees lateral to the axis of the telescope, no more than about two undesirable light particles (photons) will impinge on one of the camera's pixels per second.

However, the orientation of the telescope relative to our central star changes constantly as the Earth orbits the Sun. To ensure that the conditions described above are fulfilled at all times, the entire satellite must be rotated by 180 degrees twice a year. Because of this, it alternately looks at the interior and the exterior part of our Milky Way.

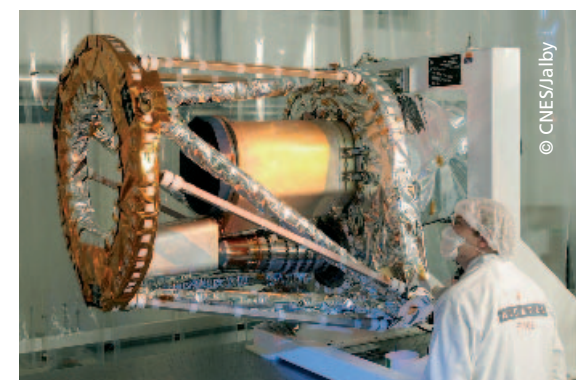
Together with an evaluation software specifically developed for the purpose, methods are applied which permit measuring variations in brightness down to two hundred thousandths. Consequently, since the satellite fulfills the sensitivity criterion outlined above, it should be capable of detecting planets having sizes down to two or three times the diameter of Earth.

As mentioned above, transits occur very rarely. To increase the probability of detection, therefore, CoRoT must observe a large number of stars at the same time. The telescope will keep five segments of the sky in view for 150 days each, continuously recording the brightness of around 12,000 stars in each segment. Each segment measures 2.8 by 2.8 degrees, which corresponds to about 30 times the area of sky covered by the full moon. In the first years of its mission CoRoT has observed more than 100,000 stars with an apparent brightness between the 11th and 16th order of magnitude. During the extension of the mission more segments will be observed.



Zusammenbau des CoRoT-Satelliten bei Intespace, Toulouse.

Construction of the CoRoT satellite at Intespace, Toulouse.





Fehlalarme: Nicht nur ein Planet kann einen Stern regelmäßig abdunkeln. Auch andere Ereignisse können eine ähnliche Lichtkurve erzeugen: Doppelstern (oben), Sternfleck (Mitte), System aus Stern und Braunem Zwerg (unten).

False alarms: Periodic decreases in the star light may not be due to a planet but to other events. Examples: Double star (above), star spots (middle) or a system of star and Brown Dwarf (bottom).

Fehlalarme ausschließen

Wenn ein Stern periodisch seine Helligkeit ändert, muss die Ursache hierfür nicht unbedingt ein Planetentransit sein. Es gibt noch eine ganze Reihe anderer Möglichkeiten, wie etwa das Auftreten von Sternflecken, Pulsationen eines Sterns oder Doppelsterne. Diese Fehlalarme lassen sich zum Teil durch einen Trick entlarven.

Das beobachtete Himmelsfeld, in dem man nach extrasolaren Planeten sucht, wird in der Brennebene auf zwei Flächen-CCD mit jeweils 2048 mal 2048 Pixel abgebildet. Vor diesem Detektor befindet sich ein Prisma, welches das Sternenlicht in seine Spektralfarben auffächert. Auf den CCDs entsteht so von jedem Stern ein Spektrum als kleines längliches Farbband. Auf diese Weise lässt sich eine Helligkeitsänderung in den drei Farben Rot, Grün und Blau messen.

Bei einem Planetentransit muss der Helligkeitsverlauf in allen drei Farbbereichen gleich verlaufen. Tritt ein Sternenfleck auf, so erfolgt die Helligkeitsabnahme im Blauen stärker als im Roten. Transits durch Doppelsterne lassen sich durch Nachfolgebeobachtungen mit der Radialgeschwindigkeitsmethode identifizieren.

Precluding false alarms

Periodic changes in the brightness of a star are not necessarily caused by the transit of a planet. There are quite a number of other potential causes, such as stellar spots and pulsations or the presence of a twin star. Some of these false alarms can however be unmasked as follows:

At the focal level, the segment of sky in which CoRoT searches for extrasolar planets is projected onto two CCD arrays of 2,048 by 2,048 pixels each. Before it reaches the detector arrays, the beam passes through a prism where the light of each star is broken up into its spectral colours. Consequently, the spectrum of each star shows up on the CCD in the form of a small elongated colour bar. In this way, changes in brightness can be measured in three colours – red, green, and blue.

In the event of a planetary transit, the change in brightness will be the same in all three colours. A sunspot on the other hand will cause brightness to decline more in the blue than in the red range. Twin-star transits can be identified by follow-up observations using the radial velocity method.

Pulsierende Sterne

Der Name CoRoT steht für Convection, Rotation and Planetary Transits, was eine weitere Aufgabe des Teleskops andeutet: das Studium von Sternpulsationen. Schon vor Jahren hat man herausgefunden, dass unsere Sonne in vielen unterschiedlichen Frequenzen pulsiert. Ursache für diese Vibrationen sind auf- und absteigende Gasmassen (Konvektion) im Innern, die den Himmelskörper anschlagen wie ein Klöppel die Glocke.

Bei einigen wenigen Sternen ließen sich solche Pulsationen ebenfalls nachweisen. Sie eröffnen die Möglichkeit, den inneren Aufbau der Gestirne zu ermitteln. Weil dies nach ganz ähnlichen Prinzipien funktioniert, mit denen Geophysiker mit Hilfe von seismischen Wellen das Erdinnere erkunden, heißt dieses relativ neue Forschungsgebiet Astroseismologie. Auch diese Sternpulsationen führen zu winzigen Helligkeitsschwankungen. Sie lassen sich jedoch leicht von Planetentransits unterscheiden, weil sie mit wesentlich höherer Frequenz erfolgen.

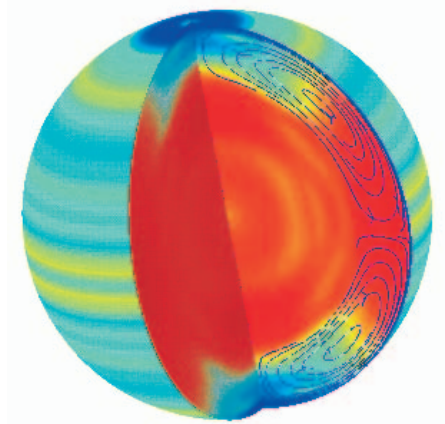
CoRoT misst bei ungefähr zehn ausgewählten Sternen die Sternpulsationen pro Durchgang. Die Daten zeigen, dass das Teleskop hierbei Helligkeitsänderungen von weniger als 10^{-6} registrieren kann. Damit wurden bereits in der ersten 60-tägigen Beobachtungsphase bei einem Stern Vibrationssignale mit Perioden zwischen 500 und 670 Sekunden deutlich nachgewiesen.

Pulsating stars

The name CoRoT stands for Convection, Rotation and Planetary Transits, indicating yet another function of the telescope: studying the pulsations of stars. Many years ago, it was found that our Sun pulsates at many different frequencies. These vibrations are caused by rising and falling masses of gas (convection) in its interior that make our central star 'ring like a bell'.

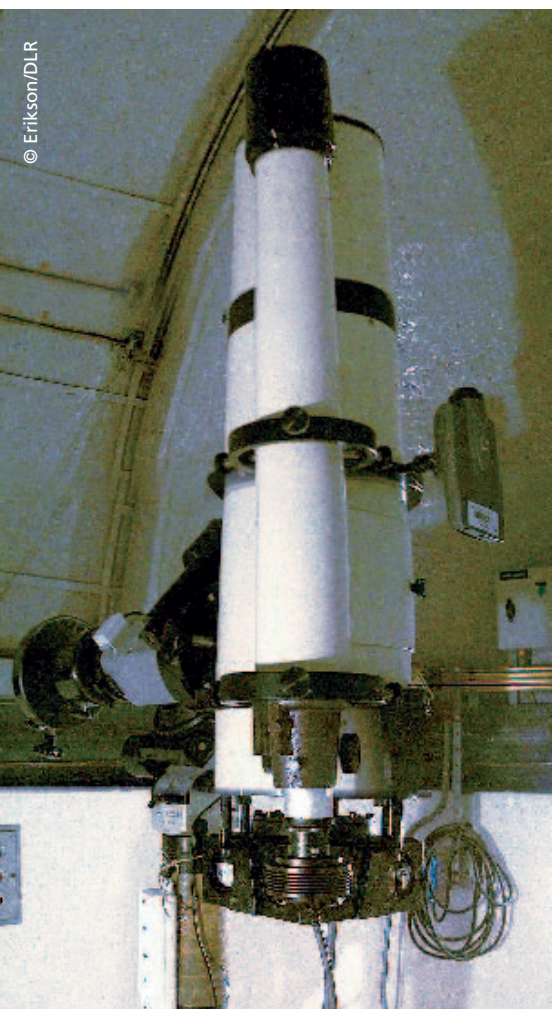
Similar pulsations have been demonstrated in a small number of other stars, offering an option of studying their internal structure. Since this is done on the basis of principles that quite closely resemble those of the methods by which geophysicists explore the interior of the Earth with the aid of seismic waves, this relatively new field of research was called astroseismology. Such stellar pulsations also cause minute fluctuations in brightness which, however, are easily distinguished from planetary transits because of their much higher frequency.

CoRoT will measure the pulsations of about ten selected stars per run. Its initial data demonstrated that the telescope is capable of registering brightness variations of less than one millionth (10^{-6}). This made it possible to detect unmistakable vibration signals with periods of between 500 and 670 seconds in one particular star during the first 60-day observation phase.



CoRoT sucht nicht nur nach extrasolaren Planeten, sondern auch nach pulsierenden Sternen. Die Pulsationen im Sterninneren zeigen sich – ähnlich wie ein Transit – in einer typischen Variation in der Lichtkurve.

CoRoT is not only searching for planets, but also for pulsating stars. Similar to a transit, pulsations can be detected by typical variations in the light curve.



© Erikson/DLR

Beiträge aus Deutschland

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ist in mehrfacher Hinsicht am CoRoT-Projekt beteiligt. Im Auftrag der Bundesregierung und mit finanzieller Förderung der Raumfahrtagentur des DLR wurde am DLR in Berlin innerhalb von fünf Jahren die On-Board-Software entwickelt und erprobt. Sie bildet gewissermaßen CoRoTs Gehirn, das die Instrumente steuert und für die präzise Ausrichtung des Satelliten sorgt. Sie übernimmt auch einen Teil der Datenverarbeitung auf dem Satelliten und steuert die fehlerfreie Übertragung der Beobachtungsdaten zur Erde.

Im Gegenzug erhalten die deutschen Forscher die Messdaten. Mit speziell hierfür entwickelter Software analysieren sie die Daten auf Planetensignale.

Trotz der leistungsfähigen Software an Bord wird es nicht möglich sein, zwischen einem Fehlalarm und einem echten Transit eindeutig zu unterscheiden. Es bedarf immer weiterer Messungen mit bodengebundenen Teleskopen. Das DLR-Institut für Planetenforschung betreibt hierfür das Teleskop BEST (Berlin Exoplanet Search Telescope) am Observatoire de Haute Provence in Südfrankreich und ein weiteres, BEST II, in der chilenischen Atacama-Wüste. So konnten Beobachtungen mit BEST zur sicheren Identifikation des ersten von CoRoT gefundenen Planeten CoRoT-1b beitragen. Dabei wurden mögliche Störanteile zur gemessenen Sternhelligkeit von benachbarten Sternen ausgeschlossen.

BEST (Berlin Extrasolar Planet Search Telescope) steht in Frankreich.

BEST, the Berlin Extrasolar Planet Search Telescope, is located in France.

Contributions from Germany

The German Aerospace Center (DLR) is involved in the CoRoT project in more respects than one. Commissioned by the Federal Government and financially supported by the DLR Space Agency, DLR's Institute of Planetary Research in Berlin developed and tested CoRoT's onboard software over a period of five years. In a manner of speaking, this software forms CoRoT's 'brain', controlling its instruments and monitoring its precise alignment. Moreover, it processes part of the data on the satellite itself and eliminates errors in the transmission of observation data back to Earth.

In return, German researchers receive the measurement data. Using another specially-developed software package, they will search through them for planet signals and analyse these further.

Despite the capability of the onboard software, it will not be possible to differentiate unequivocally between a false alarm and a genuine transit. Follow-up measurements by ground-based telescopes will be indispensable for that. Specifically for this purpose, DLR's Institute for Planetary Research operates the BEST telescope at the Observatoire de Haute Provence in the south of France and, more recently, BEST II in the Chilean Atacama desert. BEST observations helped to secure the identification of the first planet found by CoRoT, CoRoT-1b. These measurements served to preclude the possibility of spurious interference by neighbouring stars in the measured brightness of its star.

Der gesamte deutsche Beitrag zur Mission beträgt rund fünf Millionen Euro. Die deutschen Beteiligungen im Projekt werden von der Raumfahrt-Agentur im DLR vertreten und gefördert. Zusammen mit der Thüringer Landessternwarte in Tautenburg und dem Rheinischen Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln beteiligt sich das Team des DLR-Projekts am Institut für Planetenforschung maßgeblich an der Mission durch Datenanalyse, Simulationsrechnungen und Nachbeobachtungen.

CoRoT geht in die Verlängerung

Am 23. Oktober 2009 haben die französische Raumfahrtagentur CNES und ihre Partner, darunter das DLR, entschieden, die Laufzeit von CoRoT um drei Jahre zu verlängern. Damit wird CoRoT voraussichtlich bis zum 31. März 2013 nach Signalen von extrasolaren Planeten suchen und den beteiligten Wissenschaftlern Messdaten liefern, die mit bodengebundenen Teleskopen nicht möglich sind. Doch auch nach Abschalten des Satelliten geht es mit der Datenanalyse weiter, die noch mindestens zwei Jahre nach Aufnahme des letzten Datenpunktes erfolgen wird.

All in all, Germany's contribution to the mission amounts to around five million Euros. The Space Agency within DLR represents and supports the German participations in the project. Jointly with the Thüringer Landessternwarte in Tautenburg and the Rheinische Institut für Umweltforschung at the University of Cologne DLR's project team is participating essentially by analysing data and conducting mathematical simulations and follow-up observations.

Extra time for CoRoT

On October 23, 2009 the French space agency CNES and its partners, including DLR, decided to extend the CoRoT mission for three years. Therefore CoRoT is expected to look for signals of extrasolar planets until March 2013 and deliver data, which cannot be obtained by ground-based telescopes. After the shutdown of the satellite the data analysis will go on for at least two years thereafter.

Technische Daten/technical data

Satellit/Satellite	
Startmasse <i>Take-off weight</i>	630 kg
Abmessungen (ohne Sonnensegel) <i>Dimensions (solar panel not included)</i>	4,1 m x 2,0 m x 2,0 m
Elektrische Leistung <i>Electric power</i>	530 Watt
Teleskop/Telescope	
Hauptspiegel <i>Primary mirror</i>	27 cm
Brennweite/Focal length	110 cm
Umlaufbahn/Orbit	
Lage <i>Orientation</i>	polare Kreisbahn <i>polar orbit</i>
Höhe/Altitude	896 km
Umlaufzeit <i>Orbital period</i>	2 Stunden <i>2 hours</i>
Mission	
Start	27. Dezember 2006 vom Raketenstart- platz Baikonur
Launch	December 27, 2006 from Baikonur
Dauer <i>Duration</i>	bis März 2013 until March 2013

Links/Links
CoRoT im DLR/CoRoT at the DLR:
www.dlr.de/corot

CoRoT-Seiten des deutschen CoRoT-Teams
CoRoT pages of the German CoRoT Team:
www.corot.de

CoRoT-Seiten der französischen Raumfahrt-
agentur CNES/CoRoT *pages of the French
Space Agency CNES:* smc.cnes.fr/CoRoT

CoRoT-Seiten der ESA/CoRoT *pages of ESA:*
www.esa.int/science/corot

Deutsches Kompetenzzentrum für Exoplaneten
Jena/Tautenburg/*German Authority Center for
exoplanets Jena/Tautenburg:*
www.exoplanet.de

Enzyklopädie der extrasolaren Planeten
Encyclopedia of extrasolar planets:
www.exoplanet.eu

Zukünftige Satellitenprojekte zur Erforschung
von Exoplaneten/*future satellite projects for
the research of exoplanets:*
kepler.nasa.gov
gaia.esa.int
plato.esa.int

CoRoT als Wegbereiter für die Zukunft

Der Nachweis eines Planeten, der einen sonnenähnlichen Stern in größerem Abstand umkreist und etwa die Größe der Erde besitzt, wäre ein Meilenstein in der Geschichte der Astronomie und Planetenforschung. Mit derzeitigen Beobachtungstechniken ist es jedoch nicht möglich, solche Körper direkt zu untersuchen, weil ihre Zentralsterne sie um das Milliardenfache überstrahlen. An vielen Instituten suchen Astronomen weltweit nach neuen Techniken, dieses Problem zu überwinden. Ein anderes Ziel ist es, die atmosphärischen Bestandteile solcher Planeten zu entdecken. Molekularer Sauerstoff, Ozon oder Kohlendioxid wären Anzeichen für biologische Aktivität auf einem Planeten.

Seit März 2009 ist das NASA-Teleskop Kepler im Orbit. Es arbeitet nach einer ganz ähnlichen Technik wie CoRoT, verfügt aber über ein Teleskop mit 95 cm Durchmesser und wird damit im Verlauf von drei Jahren rund doppelt so viele Sterne wie CoRoT beobachten. Kepler soll in der Lage sein, Transits erdgroßer Planeten zu finden. Im Jahr 2012 soll dann der ESA-Satellit Gaia starten und die Positionen von einer Milliarde Sternen vermessen. Bei dieser Aufgabe könnte er auch mehrere tausend Planeten entdecken, wenn auch aus der Familie der Gasriesen. Weitere Weltraummissionen zur Suche und Analyse extrasolarer Planeten sind in Europa und den USA in der Planung, wie zum Beispiel das Welt-
raumteleskop PLATO der ESA, das sich voraussichtlich 2018 auf die Suche nach erdähnlichen Planeten und so genannten „Super-Erden“ machen wird.

CoRoT – paving the way for the future

It would be a milestone in the history of astronomy and planetary research if a planet were to be detected circling around a Sun-like star with about the same size and period as the Earth. According to current knowledge, such an object would most likely be a rocky planet. However, it is impossible to study such planets with today's observation methods because their central stars are billions of times brighter than the planets themselves. In many institutes world-wide, astronomers are searching for new technologies to overcome this problem. In the future, they hope to be able to search through planetary atmospheres for the spectral signatures of molecular oxygen and ozone because these in large quantities indicate biological activity on a planet.

At the same time, several space projects are on their way to search for extrasolar planets and study them in depth. In March 2009, NASA's telescope Kepler was launched. Using a technology which closely resembles that of CoRoT, it is equipped with a 95-centimeter telescope which it uses to observe about twice as many stars as CoRoT in the course of four years. Kepler should therefore be capable of finding some earthlike planets. In 2012, the ESA satellite Gaia will be launched to measure the positions of one billion stars, and it may well discover several thousand exoplanets in the process, presumably gas giants. Further space missions are being planned both in Europe and the USA, like the PLATO space-telscope of ESA that is scheduled for 2018 with the goal to search for terrestrial planets and so-called 'super Earths'.

Impressum/Imprint

Herausgeber/Publisher	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
	Institut für Planetenforschung <i>Institute of Planetary Research</i>
Anschrift/Address	Rutherfordstraße 2 12489 Berlin
Redaktion/Editorial Office	Dr. Ruth Titz-Weider, Dr. John Lee Grenfell, Dipl.-Geol. Ulrich Köhler
Gestaltung/Layout	CD Werbeagentur GmbH, Troisdorf
Druck/Print	K+L DruckenPlus GmbH, Berlin
Drucklegung/Press Date	Berlin, Februar 2011
	Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige Verwendung nur nach vorheriger Absprache mit dem DLR gestattet. <i>Reprint (in whole or in part) or other use only permitted with prior consent of DLR.</i>
	www.DLR.de/pf

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 13 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

DLR at a glance

DLR is Germany's national research centre for aeronautics and space. Its extensive research and development work in Aeronautics, Space, Energy, Transport and Security is integrated into national and international cooperative ventures. As Germany's space agency, DLR has been given responsibility for the forward planning and the implementation of the German space programme by the German federal government as well as for the international representation of German interests. Furthermore, Germany's largest project-management agency is also part of DLR.

Approximately 6,700 people are employed at thirteen locations in Germany: Cologne (headquarters), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen, and Weilheim. DLR also operates offices in Brussels, Paris, and Washington D.C.



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

German Aerospace Center

**Raumfahrt-Agentur
Space Agency**

Bonn-Oberkassel
Königswinterer Straße 522–524
53227 Bonn
Germany

**Institut für Planetenforschung
Institute of Planetary Research**

Rutherfordstraße 2
12489 Berlin
Germany

www.DLR.de/pf