

# CHEOPS soll ferne Planeten vermessen

In benachbarten Sonnensystemen existieren unzählige Planeten. Ausgeklügelte Instrumente wie das CHEOPS-Teleskop sollen nun deren Eigenschaften erkunden. Die Weltraummission unter Berner Leitung könnte uns dem Fernziel näher bringen, einen erdähnlichen Planeten zu finden.

Von Willy Benz

Die Entdeckung des ersten Planeten ausserhalb unseres Sonnensystems durch die Schweizer Astronomen Michel Mayor und Didier Queloz löste 1995 eine Revolution aus. Die völlig unerwarteten Eigenschaften dieses Planeten regten die Phantasie und das Interesse der Wissenschaftsgemeinde und der Öffentlichkeit an wie nur sehr wenige astronomische Entdeckungen des 20. Jahrhunderts. In der Folge wurden neue wissenschaftliche Instrumente entwickelt, Regierungen und Raumfahrtbehörden lancierten spezielle Programme. Und dank Filmen, TV-Shows, Büchern, Artikeln und Websites konnte die Öffentlichkeit stets Anteil nehmen an den aufregenden Entwicklungen. Heute sind mehr als 860 dieser sogenannten Exoplaneten bekannt, und der Kepler-Satellit hat über 2740 weitere Kandidaten identifiziert.

Ausserdem wurden bereits erste Messungen und Analysen der Atmosphären von Exoplaneten durchgeführt. Diese Messungen, die zuvor auf die Planeten unseres Sonnensystems beschränkt waren, öffnen jetzt die Türe zur Charakterisierung von Exoplaneten: dies nicht nur in Bezug auf ihre physikalischen Eigenschaften, sondern auch auf die Oberflächenbeschaffenheit und damit ihre Fähigkeit, Leben, wie wir es kennen, zu beherbergen.

Doch die Herausforderungen, die sich den Forschenden stellen, sind gross: Planeten sind kleine, nicht leuchtende Körper, die um einen entfernten, zentralen Stern kreisen. Im Vergleich zu einem sonnenähnlichen Stern ist ein erdähnlicher Planet hundert Mal kleiner, tausend Mal weniger massiv und strahlt eine Milliarde Mal schwächeres Licht ab.

Solche erdähnlichen Planeten zu finden, die einen mehrere zehn Lichtjahre entfernten Stern umkreisen, ist eine bisher nicht bewältigte technologische Herausforderung. Zum Vergleich: Ein Lichtjahr entspricht rund  $10^{13}$  Kilometer oder 65 000 Mal der Entfernung Erde-Sonne. Alle bisher gemachten, oben erwähnten Entdeckungen

sind entweder Planeten mit grosser Masse (vergleichbar mit Saturn, Jupiter oder sogar noch grösser) oder Planeten, die im Vergleich zur Erde sehr nahe um ihren Stern kreisen.

## Messung der Masse eines fernen Planeten ...

Um nach Planeten ausserhalb unseres Sonnensystems zu suchen, haben sich zwei Techniken als besonders wirksam erwiesen. Die erste Methode ist ein dynamisches Verfahren, das spektroskopisch misst, wie stark ein Stern durch die Anziehungskraft eines Planeten bewegt wird. Dieses Verfahren ermöglicht es, die Masse des Planeten zu schätzen. Doch da Planeten eine sehr viel kleinere Masse haben als ihre Sterne, wird der Stern nicht gross bewegt und die Geschwindigkeiten bleiben klein (30 bis 40 Stundenkilometer bei einem Riesenplaneten, mehrere hundertmal weniger bei einem erdähnlichen Planeten). Solch kleine Geschwindigkeiten zu messen, ist äusserst schwierig und braucht viel Licht. Daher eignet sich dieser Ansatz nur bei relativ hellen (also erdnahen) und wenig aktiven Sternen, um Planeten zu suchen – umso mehr, wenn man dereinst so kleine Planeten wie die Erde finden will.

## ... und dessen Durchmesser ...

Die andere Planeten-Suchmethode besteht darin, das Licht von Sternen über einen längeren Zeitraum zu beobachten. Das Ziel ist, die kleine Verminderung der Leuchstärke zu erkennen, wenn ein Planet die Sichtlinie zwischen dem Beobachter und dem Stern quert. Ein solches Ereignis wird als «Transit» bezeichnet. Da dies nur bei einigen speziellen Orbitalgeometrien geschieht – der Stern, der Planet, und der Betrachter müssen praktisch in der gleichen Ebene liegen –, ist die Wahrscheinlichkeit eines Transits klein. Je nach Distanz zwischen Stern und Planet liegt sie bei ein bis zehn Prozent. Deshalb müssen sehr viele Sterne in den Blick genommen



Der CHEOPS-Satellit ist ein Teleskop mit einem Durchmesser von 33 Zentimetern und 1,5 Meter Länge. Er wiegt rund 200 Kilogramm.  
© Swiss Space Center, EPFL

werden, damit man die Chance hat, solche Ereignisse zu beobachten.

Konkret misst diese fotometrische Methode den Anteil der Oberfläche des Sterns, die durch den Planeten bedeckt wird, und ist damit ein Mass für den Durchmesser des Planeten. Planeten, die grösser sind als unser Neptun, können vom Boden aus entdeckt werden, kleinere hingegen müssen vom Weltall aus gesucht werden.

Da man sie nur schlecht bewegen kann, decken bisherige, auf solche Messungen spezialisierte Weltraumteleskope nur eine oder wenige Regionen des Himmels ab, dringen dafür aber relativ tief und verfolgen dadurch meistens entfernte Sterne. Deshalb umkreisen Planeten, die durch diese Methode entdeckt und vermessen werden, eher schwache Sterne.

## ... ergibt Hinweise auf seine Struktur

Sobald man Masse und Durchmesser eines Planeten kennt, ist seine mittlere Dichte einfach zu errechnen – womit man einen ersten Anhaltspunkt für die chemische Zusammensetzung hat. Das ist bemerkens-

wert: Ohne den Planeten je tatsächlich gesehen zu haben, haben wir eine Vorstellung von seiner Masse, seiner Grösse, seiner inneren Struktur und davon, woraus er besteht. Da die beiden wichtigsten Nachweisverfahren auf zwei verschiedene Arten von Sternen (hell und nah respektive schwach und fern) fokussiert sind, ist die Anzahl an kleinen Planeten leider noch sehr begrenzt, für die sowohl die Masse wie der Durchmesser bekannt sind.

Die Idee, wie man diese Situation verbessern könnte, kam einer Gruppe von Forschenden der Universitäten Bern und Genf erstmals im Jahr 2008. Es braucht dazu ein kleines Weltraumteleskop, das den ganzen Himmel in den Blick nimmt und mit extremer Präzision das Licht heller Sterne beobachten kann, von denen bereits bekannt ist, dass Planeten um sie kreisen. Falls ein solches Teleskop realisierbar wäre, könnte man die Anzahl der Planeten deutlich erhöhen, für die sowohl Masse als auch Durchmesser exakt bekannt sind.

Schliesslich wurde ein Team unter der Führung des Center for Space and Habitability (CSH) der Universität Bern mit Forschenden vom Observatoire de Genève, des Space Center an der EPF Lausanne und des Instituts für Astronomie der ETH Zürich zusammengestellt. Die erforderlichen Finanzmittel wurden 2011 von den Schweizer Behörden und der Industrie (RUAG Space) gesprochen. Bis Anfang 2012 wurde ein realisierbares Projekt erarbeitet – damit war CHEOPS (CHARakterizing ExOPlanet Satellite) geboren!

Nun blieb noch das Problem, wie die Kosten der Mission selbst von geschätzten 90 Millionen Euro zu finanzieren sind. Zum Glück lancierte im März 2012 die Europäische Weltraumorganisation (ESA) eine neue Kategorie von vergleichsweise kleinen wissenschaftlichen Missionen, sogenannten S-Missionen. Diese erhalten von der ESA 50 Millionen Euro und sollen innerhalb von vier Jahren starten. Das waren genau die zusätzlichen Mittel, die es brauchte, um CHEOPS vom Papier in die Realität umzusetzen. Mit Hilfe weiterer Kollegen aus Österreich, Belgien, Frankreich, Italien, Schweden und Grossbritannien wurde CHEOPS eingereicht – und im Oktober 2012 aus den 26 eingegangenen Vorschlägen zur ersten ESA S-Mission gekürt. Der Start des Satelliten ist für Ende 2017 vorgesehen; er soll dreieinhalb Jahre lang etwa 500 helle Sterne beobachten und ihre Planeten charakterisieren.

### CHEOPS – die erste Schweizer Weltraummission

Unterdessen hat der Stress für das Projektteam stark zugenommen. Zum ersten Mal ist die Schweiz – mit dem CSH der Univer-

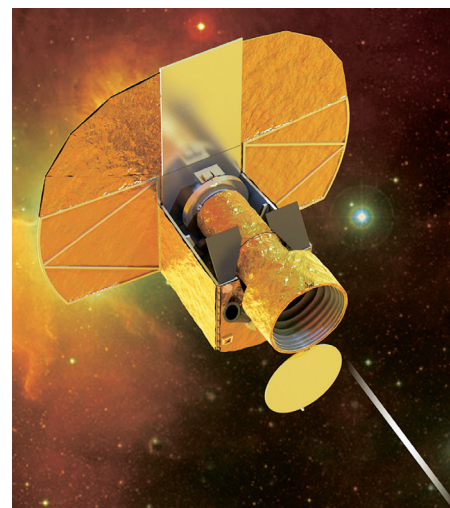
sität Bern als federführender Institution – zusammen mit der ESA nicht nur für ein Instrument oder Teile davon verantwortlich, sondern für eine ganze Mission. Von der Bodenstation und den Labors über den Satelliten bis zu seinen einzelnen Komponenten muss alles geplant, gebaut und überprüft werden. Um diese Herausforderung zu meistern, müssen Kompetenzen aus allen Bereichen gebündelt werden: Forscher und Ingenieure bringen wissenschaftliche Fragestellungen und innovative technologische Ansätze ein, die Industrie ihre Fähigkeit zum Bau anspruchsvoller, weltraumtauglicher Hightech-Instrumente. Und die Bundesverwaltung sichert einen geeigneten internationalen Rahmen, in dem das Projekt realisiert werden kann.

CHEOPS soll aus einem Teleskop mit 33 Zentimetern Durchmesser bestehen, das auf einer Höhe von 650 bis 800 Kilometern exakt über der Tag-Nacht-Grenze fliegt – so haben die Sonnensegel Licht, das Teleskop aber blickt ins Dunkel. Es wird die erste Mission sein, die Transits bei hellen Sternen untersucht, von denen bereits bekannt ist, dass sie Planeten beherbergen. Durch die Möglichkeit, nahezu jeden Bereich des Himmels in den Blick zu nehmen, bietet sich die einzigartige Chance, für einige Planeten die Durchmesser zu bestimmen, für die bis jetzt erst die Masse bekannt waren. Da man bereits weiss, wo und zu welchem Zeitpunkt man Messungen vornehmen muss, ist CHEOPS zudem das effizienteste Instrument, um kleine Planeten (respektive deren Transits) zu entdecken und dabei ihre Durchmesser zu messen.

### Auftakt zur Suche nach weiteren Erden

Das Wissen um die Masse und den Durchmesser eines Planeten, der so klein ist wie die Erde – oder höchstens ein paar Mal so gross –, verschafft uns Erkenntnisse über seine chemische Zusammensetzung: Ist er aus Stein, Eis oder Gas? Aber wir wollen mehr wissen. Wir wollen wissen, ob diese Planeten eine Atmosphäre haben, wie massiv diese ist, wie sie sich zusammensetzt und wie die Bedingungen an der Oberfläche sind. Letztlich wollen wir wissen, ob einige Planeten der Erde ähnlich sind und ob sie Leben beherbergen könnten. CHEOPS wird nicht in der Lage sein, diese Fragen zu beantworten. Dazu reicht es nicht, die Intensität des Lichts der Sterne zu beobachten.

Untersucht werden muss dafür das Spektrum des Lichts, das der Planet selbst reflektiert – und das ist eine viel grössere Herausforderung. Es bräuchte eine sehr ausgeklügelte Infrastruktur, um von der Erde oder aus dem All das Licht eines Planeten erkennen, sortieren und sammeln



Grafische Darstellung des CHEOPS-Satelliten im Flug. Der ausgeklappte Sonnenschirm im Hintergrund schützt das Teleskop vor der Sonneneinstrahlung – denn konstante Temperaturen sind für präzise Messungen unerlässlich.

© Swiss Space Center, EPFL

zu können. Denn es wird überstrahlt vom milliardenmal stärkeren Licht des dazugehörigen Sterns. Eine Messinfrastruktur für Planetenlicht existiert also noch nicht, doch es gibt Projekte, solche Instrumente zu installieren: zuerst 2015 auf dem 8-Meter «VLT Teleskop» des European Southern Observatory (ESO) und danach zu Beginn des nächsten Jahrzehnts auf dem geplanten Grossteleskop «ESO E-ELT» mit 40 Metern Durchmesser. Bis solche Messungen im All vorgenommen werden können, wird es noch länger dauern.

Trotzdem ist es Astronomen bereits gelungen, die Spektren von Planetenatmosphären bei Planetentransits zu messen. Denn während eines Transits durchquert ein Bruchteil des Lichts des Sterns die Atmosphäre des Planeten, wobei die Planetenatmosphäre ihre Signatur im Spektrum hinterlässt. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, einmal das Spektrum zu messen, wenn Planet und Stern beide (nebeneinander) sichtbar sind, und es ein zweites Mal zu messen, wenn sich der Planet hinter dem Stern versteckt. Nun kann man dieses so gewonnene Spektrum des Sterns vom gemeinsamen Spektrum abziehen und erhält unter dem Strich das Spektrum des Planeten. Künftige Weltraummissionen sollen genau solche Messungen ermöglichen: «JWST» soll 2018 starten und, falls es ausgewählt wird, «EChO» 2024. Der Schlüssel für den Erfolg dieser Missionen wird sein, geeignete Ziele zu kennen. Ein wichtiger Zweck von CHEOPS besteht genau darin, diese Ziele zu eruieren.

**Kontakt:** Prof. Dr. Willy Benz, Physikalisches Institut, Abteilung Weltraumforschung und Planetologie, Center for Space and Habitability, [willy.benz@space.unibe.ch](mailto:willy.benz@space.unibe.ch)