



Von Brigit Bucher

# Faszination Exoplanet

Kevin Heng, Christophe Lovis und Sascha Quanz erforschen weitentfernte Planeten in anderen Sonnensystemen. Unter anderem sind sie auf der Suche nach Leben. Dabei wandeln sie immer an der Grenze des Machbaren. Eine Begegnung mit drei Projektleitern aus dem NFS PlanetS.

1995 entdeckten die beiden Schweizer Astronomen Michel Mayor und Didier Queloz von der Universität Genf den ersten Exoplaneten: 51 Pegasi b umkreist seinen sonnenähnlichen Stern in 60 Lichtjahren Entfernung von unserer Erde. Für diese bahnbrechende Leistung wurden die beiden 2019 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet, und ein regelrechtes Jagdfieber nach Exoplaneten – also Planeten ausserhalb unseres Sonnensystems – setzte ein. Entdeckt wurden bislang rund 4400 solcher Exoplaneten, unter anderem von Weltraumteleskopen wie KEPLER und TESS mit der Transitmethode (siehe Infografik Seite 29).

Inzwischen geht es nicht mehr nur um die Entdeckung, sondern auch um die Charakterisierung von Exoplaneten. Anhand der Daten von Teleskopen auf der Erde und im Weltraum können der Radius und die Masse von Exoplaneten bestimmt werden, daraus lässt sich die Dichte ableiten. So erhält man wichtige Informationen über diese Planeten – zum Beispiel, ob sie überwiegend aus Gesteinen und Eisen bestehen,

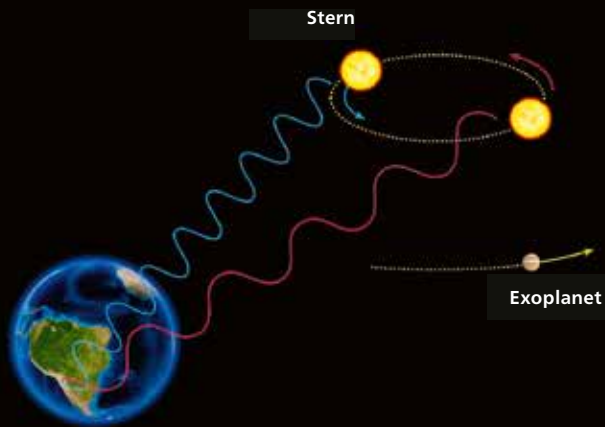
also sogenannte terrestrische Planeten wie die Erde sind, oder aus Gasen wie Saturn und Jupiter oder ob sie sogar komplett von tiefen Ozeanen bedeckt sind. Dies wiederum ist ein entscheidender Schritt, um zu bestimmen, ob auf einem Planeten lebensfreundliche Bedingungen herrschen.

Die drei Projektleiter Kevin Heng, Christophe Lovis und Sascha Quanz sind überzeugt: Innerhalb der nächsten Jahrzehnte werden da draussen im All Anzeichen von Leben, sogenannte Biosignaturen, gefunden werden – wenn wir es denn richtig anstellen. Ihr Optimismus stützt sich auf folgende Schätzungen: Etwa ein Drittel aller Sterne in unserer Milchstrasse wird von terrestrischen Exoplaneten umkreist, die sich in der sogenannten habitablen Zone befinden, wo es weder zu heiss noch zu kalt ist und Wasser in flüssiger Form existieren kann – eine Grundvoraussetzung für Leben, wie wir es kennen. Alleine in unserer Milchstrasse kommt man so insgesamt auf mehr als 30 Milliarden Orte, wo Leben entstanden sein könnte. Und unsere Galaxie ist nur eine von Milliarden Galaxien im Universum.



Das Extremely Large Telescope (ELT), an dessen Instrumentierung auch  
dar NFS Planets beteiligt ist, wird mit seinem 39-Meter-Spiegel das grösste  
«Auge in den Himmel» sein.

## So lassen sich Exoplaneten entdecken



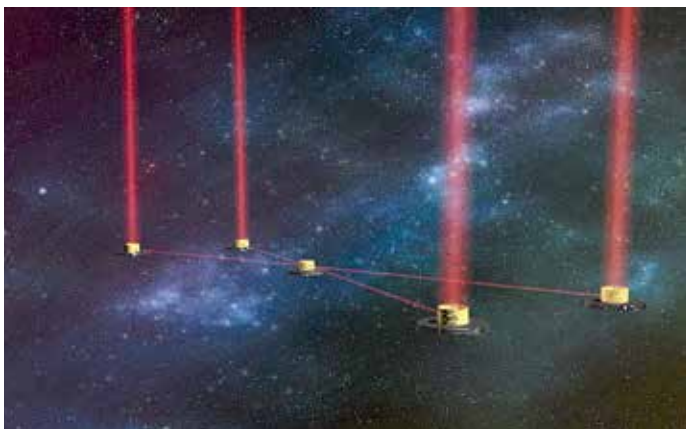
### Doppler-Verfahren

Umkreist ein Planet einen Stern, so spürt nicht nur der Planet die Gravitationskraft des Sterns, sondern der Stern spürt auch die Gravitationskraft des Planeten und wird seinerseits auf eine Umlaufbahn um den gemeinsamen Schwerpunkt gezwungen.

Wenn der Stern sich auf dieser Bahn auf die Betrachtenden zubewegt, verschiebt sich sein Licht zu kürzeren Wellenlängen in Richtung Blau. Entfernt sich der Stern, wird sein Licht röter. Aus dieser periodischen Verschiebung kann auf die Existenz eines Planeten geschlossen und seine Masse abgeschätzt werden.

Illustration des Teleskopenschwarms der LIFE-Mission. Infrarotlicht wird von vier frei fliegenden Teleskopen aufgenommen und zu einem in ihrer Mitte fliegenden Instrument weitergeleitet und dort kombiniert.

[www.life-space-mission.com](http://www.life-space-mission.com)



### Beobachtungen von der Erde aus

Christophe Lovis, Senior Lecturer an der Universität Genf, setzt auf Teleskope auf der Erde, um die Atmosphären von Exoplaneten zu erforschen. Im Rahmen des NFS PlanetS leitet er das Projekt «Exoplanet atmospheres at high spectral resolution». Wenn ein Exoplanet vor seinem Stern vorbeizieht, dringt das Licht des Sterns durch die Atmosphäre des Planeten, bevor es von einem Teleskop aufgefangen wird. In der Atmosphäre des Exoplaneten befinden sich Moleküle und Atome, die einen Teil des Lichts absorbieren. Man spricht von den Fingerabdrücken, die diese Moleküle und Atome im Licht des Sterns hinterlassen. «Mit empfindlichen Spektrografen analysieren wir diese Fingerabdrücke, um die Zusammensetzung der Atmosphäre eines Exoplaneten zu bestimmen», wie Lovis erklärt. Besonders interessant sind die so-

genannten Biosignaturen von Molekülen, die mit Leben assoziiert werden wie Wasser, Sauerstoff oder Methan.

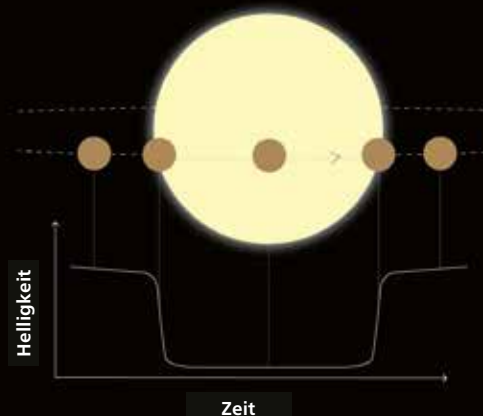
Lovis verwendet für seine Forschung Daten von Instrumenten wie HARPS und ESPRESSO. Mit der Entdeckung des ersten Exoplaneten mittels dem Doppler-Verfahren (siehe Infografik oben) hatte sich die Astronomieabteilung der Universität Genf an der Weltspitze auf diesem Gebiet positioniert. Michel Mayor hatte den Spektrografen ELODIE entwickelt, mit dem er und Didier Queloz den ersten Exoplaneten um einen sonnenähnlichen Stern entdeckten. Es folgten 2003 unter Leitung der Universität Genf und mit Beteiligung der Universität Bern der Bau und die Installation des Spektrografen HARPS auf dem 3,6-Meter-Teleskop der Europäischen Südsternwarte ESO in La Silla in Chile. Inzwischen wurde HARPS in der Präzision von ESPRESSO übertroffen, einem weiteren Spektrografen, der ebenfalls in Genf gebaut und auf dem Very Large Telescope (VLT) Observatorium, dem Flaggschiff der ESO in Paranal in der chilenischen Atacama-Wüste, installiert wurde.

Christophe Lovis ist der sogenannte Instrument Scientist von ESPRESSO und in dieser Funktion verantwortlich für die wissenschaftliche Leistung und Datenverarbeitung des Spektrografen. «Es ist natürlich toll, dass ich Beobachtungen und Daten von Instrumenten verwenden kann, die wir hier in Genf gebaut haben und an denen ich beteiligt bin», so Lovis. Und bereits tüftelt er an einem nächsten Instrument: «RISTRETTO wird die Technik der hochauflösenden Spektrografie kombinieren mit einem adaptiven optischen System – eine Weltneuheit,



## Transitmethode

Zieht ein Planet vor seinem Stern vorbei, schwächt er dessen Licht ab, was zu einem Einbruch in der Lichtkurve des Sterns führt. Dadurch lässt sich der Radius des Planeten berechnen und mit bereits vorhandenen Daten zur Masse auch die Dichte bestimmen.



die uns die noch präzisere Charakterisierung von Exoplaneten ermöglichen soll», wie Lovis begeistert erzählt. Lovis ist auch der Schweizer Vertreter im Wissenschaftsteam für HIRES, einem hochmodernen Spektrographen für das Extremely Large Telescope (ELT) der ESO, das 2025 seinen Betrieb aufnehmen soll.

### Ein Schwarm von Teleskopen im Weltraum

Sascha Quanz, Professor für Exoplaneten und Habitabilität an der ETH Zürich, leitet im NFS PlanetS die Projekte «Direct imaging of forming and mature planetary systems» und «Observational signatures of habitability». Sein Ziel ist visionär: «Wir wollen direkte Bilder von Exoplaneten machen.» Erreichen will er dies mit der Weltraummission LIFE, die er unter anderem der Europäischen Weltraumorganisation ESA vorgeschlagen hat für ihr Wissenschaftsprogramm für die Jahre 2035 bis 2050. LIFE soll eine grosse Anzahl erdähnlicher Planeten im Detail charakterisieren und sie auf Spuren von Leben untersuchen, indem die thermische Strahlung der Planeten gemessen wird. Dafür muss das Teleskop jedoch gross genug sein, um überhaupt das Signal des Planeten und das viel stärkere Signal des Sterns voneinander trennen zu können.

Auf der Erde kommen momentan Teleskope zum Einsatz, die Spiegel bis zu zehn Metern haben. Das ELT wird einen 39-Meter-Spiegel haben. «Ein Teleskop von dieser Grösse hat in einer Rakete leider keinen Platz», erklärt der ETH-Professor lachend. Quanz will deswegen einen Schwarm von fünf Teleskopen ins All

schicken, die in Formation fliegen und die so «zusammengeschaltet» werden, dass das Signal eines Sterns ausgeblendet wird, damit das Signal eines seiner Planeten überhaupt lesbar wird. Selbstbewusst sagt Quanz: «LIFE ist komplementär zu dem, was die NASA mit ihrem Wissenschaftsprogramm verfolgt, und bietet sogar wissenschaftliche Vorteile.»

Quanz arbeitet mit bestehenden Teleskopen, auch um zu verstehen, wo die Grenzen bei den heutigen Beobachtungstechniken sind. Er entwickelt unter anderem Algorithmen, mit denen bestehende, bodengebundene Instrumente aus dem Bereich der adaptiven Optik verbessert werden können. Quanz erklärt: «Das



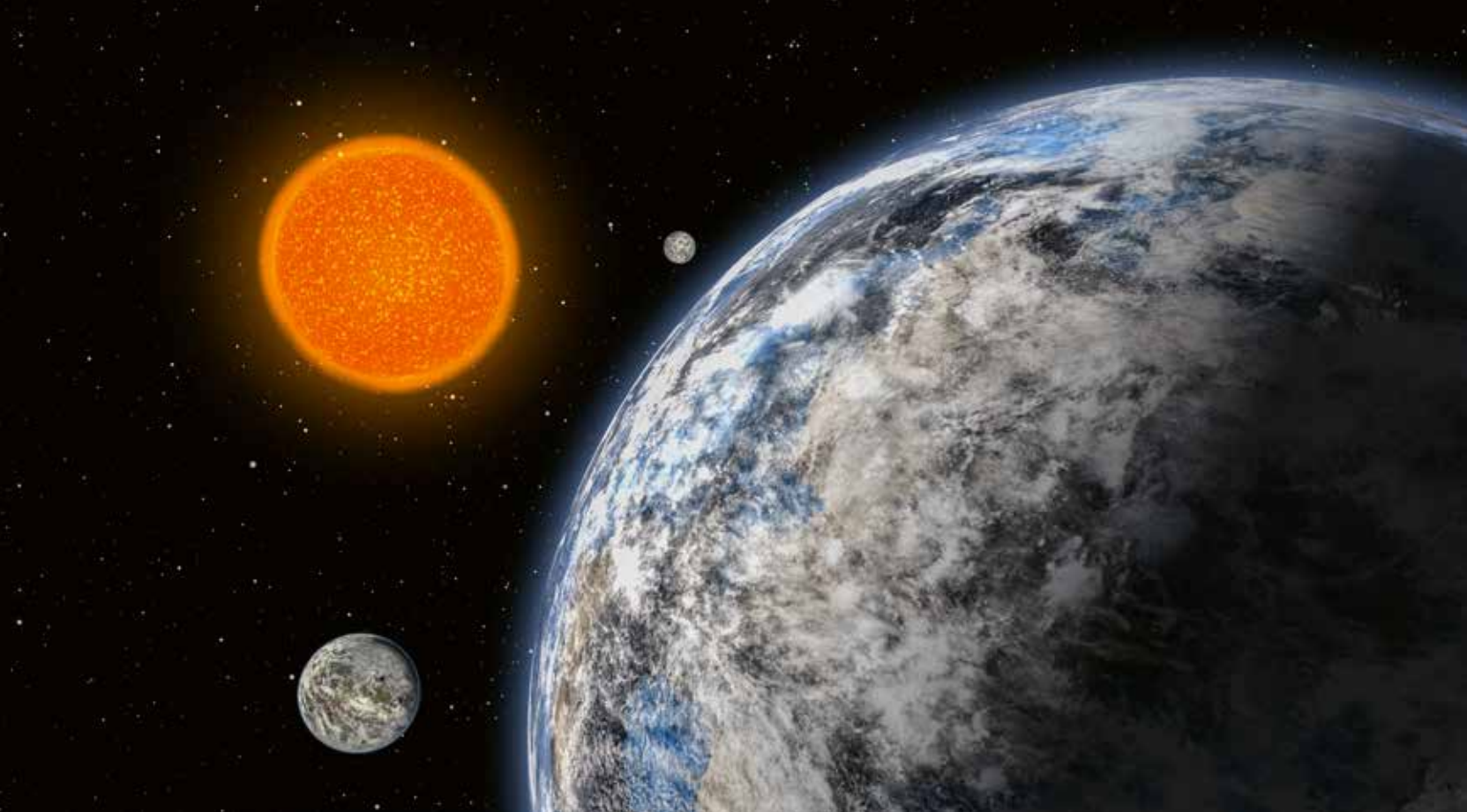
**«Mein Lieblings-exoplanet wird der sein, auf dem wir Hinweise auf mögliches Leben finden.»**

Sascha Quanz

Funkeln der Sterne kommt durch Turbulenzen in der Erdatmosphäre zustande, die die Genauigkeit der Himmelsbeobachtungen stören.» Moderne Teleskope mit adaptiven Optiksyste men können diese Störungen korrigieren. «In einem neuen Ansatz analysieren wir anhand der Historie von vielen Nächten, in denen Messungen gemacht wurden, wie sich die Turbulenzen entwickeln, und trainieren die Systeme mit Algorithmen, immer besser zu werden.» Quanz ist zudem wie sein Kollege Christophe Lovis aus Genf auf dem Gebiet der Instrumentenentwicklung aktiv: «Wir sind unter anderem involviert bei der Instrumentierung des VLT und des ELT. Dies ist eines der Resultate des NFS PlanetS. So wird METIS, ein Instrument der ersten Generation für das ELT, von einem Konsortium gebaut, zu dem die ETH Zürich in Zusammenarbeit mit PlanetS gehört.» Wichtig für die Entwicklung von solchen neuen Instrumenten sind Modelle und Simulationen von Atmosphären von Exoplaneten, wie Quanz ausführt: «Wir arbeiten damit, um zu verstehen, wie wir die Instrumente zukünftig designen müssen, damit sie das messen, was wir wollen.»

### Die revolutionäre Datenplattform

Kevin Heng, Direktor des Center for Space and Habitability CSH an der Universität Bern, ist ein Meister der Simulationen und Modelle zu den Atmosphären von Exoplaneten. Im Rahmen des NFS PlanetS leitet er das Projekt «Theory and simulation of exoplanetary atmospheres». «Mich interessieren besonders theoretische Fragen und die Datenanalyse», sagt Heng. Die Expertise



Künstlerische Darstellung von drei Super-Erden, die ein europäisches Team mit dem HARPS-Spektrografen am 3,6-Meter-Teleskop der ESO in La Silla, Chile, nach fünfjähriger Beobachtungszeit entdeckt hat.



**«Mein Lieblings-exoplanet ist Proxima b – ein wahrer Glückstreffer.»**

Christophe Lovis

des Professors für Astrophysik und seiner Forschungsgruppe ist weltweit gefragt, wenn es beispielsweise um Atmosphärenchemie oder um Zirkulations- und Klimamodelle zu Exoplaneten geht. So sind die Berner Forschenden etwa Teil des «Alien Earths»-Projekts der NASA unter der Leitung der Universität Arizona, einem interdisziplinären Forschungsprojekt zur Biologie und Biochemie der frühen Erde und potenziell lebensfreundlicher Planeten.

Heng erzählt von DACE (Data Analysis Center for Exoplanets), einer Daten-Plattform des NFS PlanetS, die unter der Leitung von Damien Ségransan von der Universität Genf laufend ausgebaut wird. DACE dient der Visualisierung, dem Austausch und der Analyse von Daten zu Exoplaneten. Es ist die einzige derartige Plattform weltweit, die für Forschende frei zugänglich ist. Sie umfasst eine breite Palette von Beobachtungsdaten von verschiedenen Teleskopen und theoretischen Daten und stellt Werkzeug bereit, um diese zu analysieren und zu vergleichen. Anschaulich erklärt Heng eines der Anwendungsgebiete: «Wir haben ja nicht die Möglichkeit, Proben bei Exoplaneten einzusammeln. Was wir jedoch tun können, ist, beispielsweise die Daten von Spektrografen nach Fingerabdrücken bestimmter Moleküle zu durchsuchen.» Während fünf Jahren hat Simon Grimm vom CSH sämtliche dieser Muster, die aus wissenschaftlichen Studien

bekannt sind, zusammengetragen und auf Anregung von Heng wurden diese nun auf DACE von Ségransan und seinem Team zugänglich gemacht: «Wenn man beispielsweise nach Wasser auf einem Exoplaneten sucht, kann man nun also seine Daten mit DACE nach dem Muster des Moleküls durchsuchen», erklärt Heng, und man merkt, wie stolz er auf diese Errungenschaft ist.

Heng sagt, dass eine der wichtigsten Fragen auf dem Gebiet der Exoplanetenforschung sei, ob die Moleküle in den Atmosphären durch geochemische oder biochemische Prozesse entstanden sind. «Kürzlich war die Aufregung gross, als berichtet wurde, dass bei der Venus Monophosphan gefunden wurde, ein Molekül, das mit Leben in Verbindung gebracht wird. Neben der Frage, ob man tatsächlich Monophosphan gefunden hat, geht es nun eben genau um diese Frage, nämlich ob das Vorkommen auf Prozesse zurückgeführt werden kann, die mit Leben in Verbindung stehen.» Und genau diese Frage stellt sich auch bei Daten von Exoplaneten: Wenn man ein Molekül entdeckt, muss man sich fragen, ob es geochemisch oder biochemisch bedingt ist.

#### **Interdisziplinäre Zusammenarbeit**

Im NFS PlanetS finden all die klugen Köpfe zusammen. Die Frage nach Leben und nach der potenziellen Bewohnbarkeit von Planeten kann nur interdisziplinär beant-



## «Super-Erden, auch Mini-Neptune genannt, gehören zu meinen Lieblingsexoplaneten.»

Kevin Heng

wortet werden, wie Sascha Quanz sagt: «Die Fragen nach dem Ursprung des Lebens, was überhaupt Leben ist, welche Spuren es hinterlässt und welche überhaupt nachgewiesen werden können auf anderen Planeten – diese Fragen hängen unweigerlich zusammen, und man kann sie nur beantworten, wenn die Expertisen aus der Astrophysik, Geochemie, Geophysik, Biologie und Chemie zusammengebracht werden.» Der NFS PlanetS sei die perfekte Plattform für Exoplanetenforschung, weil man sich gegenseitig optimal ergänze. Für grosse Projekte wie Missionen im Weltraum und Instrumente für bodengebundene Teleskope sind zudem internationale Konsortien und Teams am Werk, und eine einzelne Forschungsgruppe oder ein Institut allein ist nicht in der Lage, eine führende Rolle zu übernehmen. «Wenn das Ziel der Schweiz ist, auch zukünftig international eine grosse Rolle zu spielen in der Weltraumforschung, kann das nur mit einem nationalen Effort passieren. Wir haben innerhalb des NFS gelernt, zusammenzuarbeiten, sodass wir nach aussen hin gemeinschaftlich viel homogener und grösser auftreten können als individuell», zeigt sich Quanz überzeugt. Christophe Lovis erzählt, dass momentan gerade die Phase 3 des NFS definiert wird, die im Jahr 2022 beginnt: «Ich werde Teil des Bereichs sein, der sich auf das Thema Habitabilität konzentriert und der die Projekte von Kevin Heng und Sascha

Quanz einschliesst.» Es werden formelle Arbeitsgruppen eingerichtet, die sich mit spezifischen wissenschaftlichen Fragen beschäftigen. «So gehen wir zum Beispiel der Frage nach, welche Art von Biosignaturen besonders relevant und in naher Zukunft zugänglich sein werden, also welche Art von Molekül bei welchem Planeten mit welchem Instrument nachweisbar sein könnte», so Lovis weiter.

### Der lange Atem und das schnelle Scheitern

Man braucht einen langen Atem auf dem Gebiet der Exoplanetenforschung. So kann es beispielsweise Jahrzehnte dauern von der ersten Idee bis zum Bau eines Instruments. Ist ihre Arbeit manchmal frustrierend? Lovis gibt unumwunden zu: «Ja, natürlich, es ist immer wieder frustrierend. Das ist ein unvermeidlicher Teil der Wissenschaft. Man muss lernen, damit umzugehen. Der Fortschritt in der Forschung ist nie linear, es ist immer ein Vor und Zurück.» Beim Bau von Instrumenten gebe es immer Verzögerungen und unvorhergesehene Schwierigkeiten. Sie bauen schliesslich Prototypen, die per Definition noch nie zuvor gebaut wurden. Sie müssen immer bereit sein, zu reagieren und eine Alternative zu finden.

Auch Kevin Heng sagt, dass Forschung kein Nine to five-Job sei, bei dem man immer das Gleiche mache. Forschung sei nicht vorhersehbar und strukturiert. Und:

«Man muss sich daran gewöhnen, zu scheitern. Eine nützliche Erkenntnis, für die ich aber einige Jahre gebraucht habe, war: Man muss lernen, schnell zu scheitern. Es gibt immer eine Lektion oder eine kostbare Erfahrung, die man dabei macht. Wenn man also scheitert, warum nicht schneller scheitern?»

### Die Forscher und ihre Lieblinge

Dieses Jahr soll nach einiger Verzögerung das James Webb Space Telescope JWST seine Suche nach Exoplaneten antreten. Die drei Exoplanetenforscher sehen dem Start und den Möglichkeiten, die das JWST bieten wird, mit grosser Spannung entgegen. Haben sie denn bereits jetzt einen Lieblingsexoplaneten? Christophe Lovis: «Für mich ist das ganz klar Proxima b bei Proxima Centauri, dem Stern, der unserer Sonne am nächsten ist.» Es handelt sich bei Proxima b um einen terrestrischen Planeten, der erst noch in der habitablen Zone ist. «Ein wahrer Glückstreffer», wie Lovis sagt, «denn dies eröffnet spannende Möglichkeiten für uns, ihn zu studieren. Wäre das System weiter von uns entfernt, wären der Stern und der Planet aus unserer Sicht näher beieinander und weniger gut beobachtbar.»

Heng sagt: «Natürlich sind die erdähnlichen Planeten interessant wegen möglichen Biosignaturen, die man dort finden könnte.» Unser Sonnensystem habe uns glauben lassen, dass es nur zwei Arten von Planeten gäbe: terrestrische Planeten wie die Erde oder den Mars und Gas- und Eisriesen wie Jupiter oder Neptun. «Aber was uns die verschiedenen Missionen wie Kepler, TESS oder CHEOPS zeigen, ist, dass es viele Planeten von der Grösse zwischen Erde und Neptun gibt. Von diesen Exoplaneten haben wir noch keine Ahnung, wie sie chemisch aussehen und wie ihre Atmosphären zusammengesetzt sind.» Deswegen gehören diese Super-Erden, die auch Mini-Neptune genannt werden, zu Hengs Lieblingsplaneten.

Und wie steht es bei Sascha Quanz? «Ich habe noch keinen Lieblingsexoplaneten. Es wird der sein, auf dem wir Hinweise auf mögliches Leben finden.»

### Kontakte

Prof. Dr. Kevin Heng, Universität Bern,  
kevin.heng@csh.unibe.ch

Dr. Christophe Lovis, Université de Genève,  
christophe.lovis@unige.ch

Prof. Dr. Sascha Quanz, ETHZ,  
sascha.quanz@phys.ethz.ch

Bilder S. 26–31: ESO, ESA, ETH Zürich, Alessandro DellaBella, zVg