

Mackowiak, Bernhard: Die Erforschung der Exoplaneten: auf der Suche nach den Schwesterwelten des Sonnensystems. Stuttgart: Kosmos, 2015. 175 Seiten. ISBN 978-3-440-14611-8

Im Jahre 1995 wurde im Sternbild Pegasus der erste Exoplanet (51 Pegasi b) entdeckt und seitdem sind noch viele weitere Planeten in anderen Sternsystemen dazugekommen. Das Buch gibt einen spannenden Einblick in die Exoplaneten-Forschung. Die Angaben zur Beobachtungstechnik in Kapitel 7 wurden von mir aktualisiert.

1 Fremde Welten in Science und Fiction

Bereits in der Antike machte man sich Gedanken darüber, ob es neben unserer Erde weitere (bewohnte) Planeten im Weltall gibt. Die griechischen Gelehrten waren sich noch nicht darüber einig, ob unsere Erde das Zentrum des Weltalls sei (Ptolemäisches Weltbild) oder ob sie wie die anderen Planeten um die Sonne kreist. Im 16. Jhd. setzte sich dann mit Nikolaus Kopernikus langsam das heliozentrische Weltbild durch (sog. Kopernikanische Wende). Und bereits Johannes Kepler und Galileo Galilei spekulierten Anfang des 17. Jhds. über Bewohner auf dem Mond.

Die Erfindung des Fernrohrs war ein wichtiger Meilenstein für die Astronomie. Im Jahre 1610 entdeckte Galileo Galilei damit die Sonnenflecken, die Mondberge und die vier hellsten Jupitermonde. Die ersten Fernrohre waren Linsenteleskope, bei denen das Licht durch Linsen gebrochen wird (sog. Refraktor). Bei dieser Bauart ist der Objektivdurchmesser begrenzt: „Je größer man die Linse formt, desto schwerer wird der Glasblock und umso leichter verformt er sich; die Abbildungsqualität sinkt erheblich.“ (S. 20) Deshalb sind die großen Teleskope heute alles Spiegelteleskope, bei denen das Licht von einem sphärischen oder parabolischen Hohlspiegel reflektiert wird (sog. Reflektor). Das größte derzeit geplante Spiegelteleskop ist das European Extremely Large Telescope (E-ELT) in Cerro Armazones in Chile mit einem Durchmesser von 39 m.* Das sichtbare Licht bildet allerdings nur einen kleinen Teil im elektromagnetischen Spektrum und eine weitere Beobachtungsmöglichkeit sind die ab 1920 betriebenen Radioteleskope, die den Bereich der Radiowellen erfassen.

Auf den Seiten 24-31 geht der Autor auf Darstellungen in der Science-Fiction-Literatur ein.

2 Ein neuer Himmel

Ein indirekter Hinweis für die mögliche Existenz von Exoplaneten sind die Beobachtungsdaten der 1983 gestarteten Satellitenmission IRAS (Infrared Astronomical Satellite). Der

* Das ursprünglich von der Europäischen Südsternwarte (ESO) geplante Overwhelmingly Large Telescope (OWL) mit 100 m Spiegeldurchmesser wurde aus technischen und finanziellen Gründen verworfen. „Je größer der Durchmesser des Teleskopspiegels ist, desto leistungsfähiger ist das Instrument. Doch mit zunehmendem Durchmesser leidet der Spiegel unter seinem Eigengewicht, und das Schwenken des Instruments beeinflusst die Spiegelkrümmung, was sich negativ auf die Abbildungsqualität auswirkt.“ (S. 40) Mit „aktiver Optik“ wird versucht, die perfekte Spiegelform zu halten, indem der Spiegel auf hydraulischen Stellgliedern gelagert wird, die den Spiegel nach Anweisung eines Computers korrigieren, der Ist- und Sollform des Spiegels vergleicht. Eine andere Korrekturtechnik ist die „adaptive Optik“, bei der nicht mechanische Einflüsse, sondern in der Atmosphäre auftretende Temperaturschwankungen und Luftbewegungen ausgeglichen werden. „Wie stark dieses Ausgleichen zu sein hat, wird durch Vermessen eines Kontrollsterns oder durch einen mittels Laser künstlich erzeugten Sterns bestimmt. Ein im Teleskop montiertes optisches System, verbunden mit einem Computer, erfasst das Ausmaß der atmosphärischen Störungen einige hundert Mal pro Sekunde und korrigiert diese. Dadurch entsteht ein sehr scharfes Bild des kosmischen Objekts, wie es sonst nur von Weltraumteleskopen wie Hubble empfangen werden kann.“ (S. 40) Der Nachfolger des Hubble-Weltraumteleskops ist das James Webb Space Telescope, das mit seinem 6,5 m durchmessenden Hauptspiegel Licht im Infrarotbereich untersucht und damit ideal für die Exoplaneten-Suche ist (s. S. 81).

Satellit suchte nach „kalten“ Objekten, die im Infrarot leuchten, und entdeckte dabei „[...] bei vielen Sternen starke Infrarotstrahlung, die auf Staubscheiben und die in ihnen abspielenden Verklumpungsprozesse zurückzuführen war“ (S. 39); solche Aggregationsscheiben um Sterne sind nach der allgemein gültigen Theorie eine Vorstufe der Planetenbildung. Allerdings waren in den letzten hundert Jahren immer wieder Planetenentdeckungen behauptet worden, die sich dann als falsch erwiesen. Deshalb waren auch die Schweizer Astronomen Michel Mayor und Didier Queloz erst skeptisch bei ihrer Entdeckung von 51 Pegasi b. Zum Beispiel können Braune Zwergsterne, deren Masse sich zwischen jupiterartigen Gasriesen und massearmen Sternen bewegt, einen Exoplaneten vortäuschen. Der Erfolg von Mayor und Queloz beruhte auf der höheren Empfindlichkeit ihres Suchgeräts und auf dem selbst geschriebenen, schnelleren Computerprogramm für die Auswertung.

3 Unsere Heimatadresse im Kosmos

Im Zentrum unseres Sonnensystems steht ein ca. 4,6 Milliarden Jahre alter, gelber Zwergstern des Spektraltyps G2V mit einer Oberflächentemperatur von 5.500 Grad und einer Kerntemperatur von rund 15 Millionen Grad. Die Sonne besteht vorwiegend aus Wasserstoff (73,5 %) und Helium (24,9 %) und hat eine 330.000-mal größere Masse als die Erde (dies entspricht 99,86 % der Gesamtmasse des Sonnensystems). „Umkreist wird die Sonne von acht großen Planeten* (die wiederum von weit über 100 Monden begleitet werden), verschiedenen Zwergplaneten (derzeit sind neun bekannt), hunderttausenden Asteroiden und zahllosen Kometen.“ (S. 52) Die acht Planeten unterscheiden sich in vier Gesteinsplaneten (Merkur, Venus, Erde, Mars), zwei Gasplaneten (Jupiter, Saturn) und zwei Eisplaneten (Uranus, Neptun). Bei den Monden gibt es neben reinen Gesteinsbrocken auch solche mit Ozeanen unter einer Eisschicht oder vulkanischer Tätigkeit (Lavavulkanismus und Kryovulkanismus); der Saturnmond Titan ist besonders interessant, da er eine dichte Atmosphäre besitzt und daher bei der Suche nach außerirdischem Leben auch Exomonde berücksichtigt werden müssen.

In einer Entfernung von 50 AE (astronomische Einheit = Abstand Erde zur Sonne) befindet sich der Kuiper-Gürtel mit Klein- und Zwergplaneten, sog. Transneptun-Objekte. Fast auf halbem Weg zum nächsten Stern trifft man in etwa 1,5 Lichtjahren Entfernung auf die Oort'sche Wolke, wo sich Milliarden von Kometen befinden; im Bereich der Ekliptik (der Ebene der Erdbahn) geht die Oort'sche Wolke in den Kuiper-Gürtel über.

Unser Sonnensystem befindet sich etwa 28.000 Lichtjahre vom Zentrum der Milchstraße entfernt; die Milchstraße selbst ist eine Balkenspiralgalaxie mit einem Durchmesser von rund 120.000 Lichtjahren.

Die Milchstraße bildet zusammen mit der ca. 2,5 Millionen Lichtjahre entfernten Andromedagalaxie, der Galaxie im Sternbild Dreieck und rund 30 kleineren Galaxien die sog. Lokale Gruppe. Diese gehört wiederum zum Virgo-Galaxiensuperhaufen.

Warum ist die Erde in unserem Sonnensystem der einzige Planet mit höherem Leben?

- Der Abstand zur Sonne ist so, dass flüssiges Wasser vorhanden ist („habitale Zone“).
- Ihre Masse ist ausreichend groß, sodass sie das Wasser auf der Oberfläche halten und eine Atmosphäre bilden kann (z.B. schützende Ozon-Schicht, Thermoisolation), aber nicht zu groß, sodass die Lufthülle zu dicht ist und infolge geringer Sonneneinstrahlung die Photosynthese behindert wird.

* Die Internationale Astronomische Union definiert seit 2006 einen Planeten als Himmelskörper, a) der nicht selbst leuchtet, b) der sich auf einer Umlaufbahn um die Sonne bewegt, c) dessen Masse so groß ist, dass sich der Planetenkörper in verschiedene Schichten gliedert (z.B. Erdkruste, Erdmantel, Erdkern) und d) der das bestimmende Objekt seiner Umlaufbahn ist (z.B. erfüllt Pluto dieses Bedingung nicht, da auf seiner Bahn weitere planetenartige Körper kreisen). (s. S. 54)

- Die Rotationsgeschwindigkeit ist nicht zu langsam, sodass sich die Tagseite zu stark aufheizen und die Nachtseite extrem abkühlen würde; eine zu schnelle Rotationsgeschwindigkeit zöge wiederum enorme Windgeschwindigkeiten nach sich.
- Die Achsneigung von 23,5 Grad ermöglicht moderate Schwankungen der Jahreszeiten. Bei zu starker Neigung wären Sommer mit lebensfeindlicher Hitze und Winter mit extremer Kälte die Folge; bei einer genau senkrecht stehenden Achse besteht die Gefahr, dass die Atmosphäre an den Polen ausfriert und am Äquator verdampft.
- Das Vorhandensein des Mondes stabilisiert die Erdachse und sorgt für den Gezeitenwechsel an den Küsten, was im Laufe der Evolution den Übergang der Lebewesen von Wasser an Land erleichterte.
- Die Planetenbahn um die Sonne ist nahezu kreisförmig, sodass diesbezügliche Temperaturschwankungen gering sind.
- Die Erde ist groß genug, dass der Eisenkern noch heiß ist und zusammen mit dem zähflüssigen Erdmantel eine schützende Magnetosphäre gegen die energiereiche Sonnenstrahlung, den sog. Sonnenwind, aufbauen kann (Dynamoeffekt).
- Durch die Plattentektonik verursachter Vulkanismus sorgt für einen Nachschub an Treibhausgasen wie Kohlendioxid (natürlicher Treibhauseffekt ohne den die Durchschnittstemperatur auf der Erde ca. 30 Kelvin niedriger läge).

4 Verborgenen im Rampenlicht

Planeten senden kein eigenes Licht aus und sind nur zu sehen, wenn sie von ihrer Heimatsonne angestrahlt werden. Aufgrund der enormen Helligkeit des Sterns im Vergleich zum Planeten ist es daher in der Regel nicht möglich, einen Planeten direkt zu entdecken. Es werden deshalb indirekte Verfahren zur Suche nach Exoplaneten eingesetzt und auch miteinander kombiniert, weil jede Technik ihre unterschiedlichen Stärken und Schwächen hat.

a) Radialgeschwindigkeitsmethode: Wenn man „von der Seite“ auf eine Planetenbahn blickt und ganz genau misst, bewegt sich ein Planet nicht um den Stern, sondern beide bewegen sich um einen gemeinsamen Schwerpunkt, das sog. Baryzentrum. Der Stern schlingert also in winzigen Bewegungen hin und her, was man durch die Beobachtung des Lichtspektrums feststellen kann (sog. Dopplereffekt). „Dabei verschieben sich die dunklen Spektrallinien entweder in den blauen Bereich, wenn sich der Stern auf den Beobachter zubewegt, oder in den roten, wenn er sich entfernt.“ (S. 68) Das Nachweisverfahren eignet sich besonders für massereiche Planeten in geringem Abstand zu ihrem Zentralstern, weil kleine und weit entfernte Planeten nur eine geringe Anziehung auf ihre Sonne ausüben.

b) Astrometrische Methode: Bei diesem Verfahren schaut man „quer zur Sichttrichtung“ auf die Bahn und sieht durch die Gravitation ebenfalls ein winziges Wackeln des Sterns. Allerdings ist die Methode nur für Sterne bis maximal 40 Lichtjahren Entfernung geeignet und anfällig gegenüber atmosphärischen Störungen. Mit dieser Methode werden z.B. die Messdaten des Satelliten Gaia analysiert.

c) Transitmethode: Hierbei handelt es sich um die gegenwärtig wichtigste Methode, mit der auch kleine Planeten entdeckt werden können. Diese sog. „Durchgangsmethode“ funktioniert, indem der Planet vor dem Stern vorbeizieht (sog. Bedeckung) und es dabei zu einer vorübergehenden Absenkung der Gesamthelligkeit kommt. „Um diese minimale Helligkeitsveränderung zu messen, bedarf es aber hochgenauer Fotometrie. Wie stark die Helligkeit abnimmt, wird durch das Größenverhältnis von Planetenscheibe gegenüber der Sternscheibe bestimmt. [...] Ferner dauert die Helligkeitsabnahme unter Umständen Stunden, so dass rund um die Uhr beobachtet werden muss. Das ist nur mit einem globalen Netz von Messstationen möglich [z.B. automatisiertes Suchteleskop SuperWASP] oder vom Weltraum aus [z.B. Spitzer-Weltraumteleskop].“ (S. 72 f.)

d) Mikrolinsenmethode: Diese Methode beruht darauf, dass große Massen durch ihre Gravitation den Raum krümmen, sodass z.B. im Schwerfeld eines Sterns das Licht der Hintergrundsterne abgelenkt wird. Wenn ein Transitstern ein Hintergrundobjekt passiert, wird das Hintergrundlicht während des Vorbeiziehens systematisch verstärkt und dann wieder abgeschwächt. Hat der Transitstern einen Planeten kann dieser während dieses Vorbeiziehens eine Lichtbündelung (sog. Gravitationslinse) verursachen. Damit können auch sehr kleine Planeten nachgewiesen werden mit dem Nachteil, dass „[...] der Transitstern in einer Achse mit einem Hintergrundobjekt liegen und vom Beobachter aus gesehen so nahe vor dem Hintergrundstern vorbeiziehen [muss], dass dessen Hintergrundlicht deutlich verstärkt wird.“ (S. 75) Eine solche Konstellation ist eher selten, sodass rund eine Million Sterne durchmustert werden müssen, bevor durchschnittlich ein Planet mit dieser Methode gefunden wird.

e) Berechnung gestörter Planetenbahnen: Hierbei handelt es sich um die Analyse von bereits bekannten Exoplaneten-Bahnen; durch Computersimulationen kann bei Störung der Planetenbahn auf die Existenz weiterer Planeten geschlossen werden.

f) Lichtlaufzeiten-Methode: Wenn von einem Zentralstern (Pulsar) oder einem zentralen Doppelstern in einem genauen Zeitabstand Lichtsignale ausgehen, kann bei einer zeitlichen Verschiebung dieses periodischen Signals auf den Einfluss durch einen umlaufenden Planeten geschlossen werden.

Für eine direkte Beobachtung wählt man den infraroten Bereich des Lichts, da die Kontrastverhältnisse zwischen Stern und Exoplanet besser sind als im sichtbaren Bereich; zusätzlich wird das Licht des Sterns durch eine Blende abgedeckt. Die Methode funktioniert am besten bei Planeten in sehr großem Abstand zu ihrem Stern und bei gerade erst entstandenen Planeten, die noch nicht abgekühlt sind.

5 Vom Heißen Jupiter bis zur zweiten Erde

Der eingangs erwähnte Planet 51 Pegasi b hat eine ca. 150-mal größere Masse als die Erde und umkreist seinen Stern, innerhalb von vier Tagen in einer Entfernung von nur 0,05 AE, was etwa 7,5 Millionen Kilometern entspricht. Man geht davon aus, dass seine Oberflächentemperatur um die 980° C liegt, aber Genaueres weiß man über den Exoplaneten nicht. Er ist ein Beispiel für die neue Exoplaneten-Klasse der „Hot Jupiter“.

Eine andere Gruppe von Exoplaneten sind die „Supererden“, die von der Masse her zwischen Erde und Uranus (zehnfache Erdmasse) angesiedelt werden. Wenn sich diese Planeten innerhalb der habitablen Zone um ihren Zentralstern befinden, besteht die Hoffnung, dass sich dort ebenfalls Leben entwickelt haben könnte. Man unterscheidet verschiedene Typen von Supererden:

a) Gesteinsplaneten in geringer Entfernung zum Zentralgestirn, aber gerade noch in der habitablen Zone.

b) Lebensfreundliche Supererden in der Mitte der habitablen Zone mit einer Atmosphäre.

c) Wasserwelten, die zu mehr als 75 Prozent aus Wasser bestehen und mit einem Eispanzer bedeckt sind.

Das Aussehen solcher Welten ist recht spekulativ. Sollte es auf den Supererden eine Plattentektonik geben, würde aufgrund der großen Planetenmasse der Kohlenstoff-Silikat-Zyklus durch Vulkanismus und Subduktion der Platten in den Erdmantel wahrscheinlich viel schneller ablaufen und damit möglicherweise besonders gute Voraussetzungen für Leben bieten. Auf jeden Fall verhindert eine große Masse, dass Atmosphäre und Wasser ins Weltall entweichen.

Auf den Seiten 97-123 stellt der Autor 24 typische oder besondere Exoplaneten-Systeme vor. Die *Extrasolar Planets Encyclopaedia* (www.exoplanet.eu) gibt den neuesten Stand der Exoplaneten-Suche wider.

6 Leben auf Exoplaneten?

„Nach neuesten Schätzungen hat jeder zweite Stern in unserer Milchstraße Planeten. Darunter sind auch eine ganze Zahl Welten, die durchaus erdähnliche Eigenschaften aufweisen. Allerdings haben deren bisher bekannte Vertreter viel größere Dimensionen als unser Heimatplanet – die 'Supererden'. Eine wirkliche Schwesterwelt der Erde – 'Terra II' – wurde bisher noch nicht gefunden.“ (S. 125) Allerdings dürfte einer zweiten Erde nur noch eine Frage der Zeit sein und vielleicht gibt es dort auch Leben.

Was ist Leben? Die Übergänge vom Unbelebten zum Leben sind fließend, aber es lassen sich trotzdem drei Hauptmerkmale bestimmen: a) die Reproduktion, b) die Mutation (erbliche Veränderung) in Verbindung mit Selektion, d.h. dem Überleben der besser an die Umwelt angepassten Individuen und c) ein Metabolismus (Stoffwechsel).

Hinsichtlich günstiger Umweltbedingungen sind die folgenden Faktoren zu berücksichtigen: a) ein geeigneter Temperaturbereich, b) das Vorhandensein von flüssigem Wasser, c) der Zentralstern muss lange stabil bleiben, um eine Evolution des Lebens zu ermöglichen (sonnenähnliche gelbe G-Typ-Sterne und rote Zwerge bzw. M-Typ-Sterne).

Der Autor erläutert nur kurz die Drake-Gleichung und die Suche nach außerirdischem Leben; ich verweise hierzu auf die ausführlichere Darstellung in meinem Exzerpt „Die Gesellschaft der Außerirdischen“ von Schetsche/Anton.

7 Der zweiten Erde auf der Spur

Dieses Kapitel gibt einen Überblick der aktuellen und zukünftigen Beobachtungstechnik, um Exoplaneten zu finden und zu erforschen.

Das NASA-Weltraumteleskop Kepler wurde 2009 gestartet und arbeitete mit der Transitmethode. Im Juli 2012 kam es zu einer teilweisen Störung der Lagestabilisierung des Teleskops und die Mission wurde vorzeitig eingestellt. Im Jahr 2014 gelang es der NASA den Satelliten in einem geänderten Modus zu reaktivieren, sodass im Rahmen der Mission K2 weiter nach Exoplaneten gesucht werden kann. Ende Oktober 2018 wurde dann der Betrieb eingestellt: https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/main/index.html Ende 2019 startete die ESA den **Satelliten Cheops** (**C**haracterising **E**xoplanets **S**atellite). Es handelt sich um ein kleines optisches Teleskop in einer niedrigen Erdumlaufbahn, um bereits bekannte Planetensysteme naher Sterne genauer zu untersuchen, z.B. Durchmesser und Dichte der Planeten. Hier geht es zur offiziellen Webseite der Satelliten-Mission: <https://cheops.unibe.ch/de/>.

Das Weltraumteleskop PLATO (**P**lanetary **T**ransits and **O**scillation of stars) wird voraussichtlich ab 2026 vom Lagrange-Punkt 2 aus in Betrieb gehen. Dieser Lagrange-Punkt liegt auf der direkten Verbindungslinie Sonne-Erde 1,5 Millionen km hinter der Erde und ist als „Parkplatz“ für alle Arten von Weltraumlaboratorien geeignet, die dort ungestört vom Sonnenlicht beobachten können. PLATO soll mit 34 kleinen Teleskopen und Kameras für sechs Jahre nach erdgroßen Exoplaneten im Orbit um benachbarte Sterne suchen. Nähere Informationen zum Stand der Mission gibt es auf <https://www.dlr.de/pf/plato> oder <https://platomission.com/>.

Der NASA-Satellit TESS (**T**ransiting **E**xoplanet **S**urvey **S**atellite) sucht seit 2019 auf Basis von Erfahrungswerten und Computersimulationen mit der Transitmethode nach Exoplane-

* Es ist allerdings fraglich, ob M-Klasse-Sterne überhaupt geeignet sind, um Leben auf den sie umkreisenden Planeten zu ermöglichen. Zum einen liegt die habitable Zone relativ nah am Stern, was zu einer gebundenen Rotation der ihn umkreisenden Planeten führt (ggf. könnte dies durch eine dichte Atmosphäre und mögliche Ozeane ausgeglichen werden). Zum anderen könnte die lange Phase der Kontraktion des Sterns zu Temperaturen von über 1.000 °C auf den Planeten führen, was die Wasservorräte auf dem umkreisenden Planeten verdampfen würde und außerdem würde die Atmosphäre durch die zu dieser Zeit herrschende intensive Röntgen- und UV-Strahlung zerstört (s. S. 134 f.).

ten in bis zu 100 Lichtjahren Entfernung: <https://www.nasa.gov/tess-transiting-exoplanet-survey-satellite>

Ganz aktuell: Das **James Webb Space Telescope** (JWST) wurde am 25.12.2021 gestartet. Es ist nach dem 2002 verstorbenen ehemaligen Leiter der NASA benannt und gilt als Nachfolger des Hubble-Weltraumteleskops. Allerdings wird es nicht im Bereich des sichtbaren Lichts, sondern im Infrarotlicht forschen. Der 6,5 Meter durchmessende Hauptspiegel besteht aus 18 sechseckigen Segmenten, die sich wegen der Größe der Gesamtspiegelfläche erst im All entfalten. Um das Fernrohr und die Zusatzinstrumente von der eigenen Infrarotstrahlung sowie von der Infrarotstrahlung von Sonne, Erde und Mond abzuschirmen, wird das Instrument auf minus 220 °C gekühlt und durch einen großen, mehrlagigen Sonnenschild geschützt. Es wird ebenfalls vom Lagrange-Punkt 2 aus betrieben. Alle Neuigkeiten zum Teleskop gibt es unter: <https://www.jwst.nasa.gov/>.

Die im Weltall stationierten Teleskope haben den Nachteil, dass sie nicht gewartet werden können und daher nur eine begrenzte Lebensdauer haben. Daher werden weiterhin auch erdgebundene Teleskope gebaut, die sich dank neuer Spiegelmaterialien, moderner Bauweise und verbesserter optischer Methoden auch mit Weltraumteleskopen messen können (z.B. Very Large Telescope der ESO in Chile und die Keck-Teleskope auf Hawaii). Die folgenden drei Riesenteleskope sind in Planung:

Das **Very Large Telescope (VLT)** der Europäischen Südsternwarte (ESO) ist derzeit das weltweit modernste Teleskop. Es besteht aus vier 8,2-Meter-Spiegelteleskopen und arbeitet mit SPHERE**, einem System zur Bildverbesserung, um einen höchstmöglichen Kontrast bei der direkten Beobachtung von Planeten außerhalb des Sonnensystems zu erzielen. Ein virtueller Besuch des Teleskops ist über <https://www.eso.org/public/germany/telesinstr/paranal-observatory/vlt/> möglich.

Das **Extremely Large Telescope (ELT)** der ESO wird seit 2014 auf dem 3.064 m hohen Cerro Armazones in der Atacamawüste in Chile gebaut und soll im Jahre 2027 den Betrieb aufnehmen. Der Hauptspiegel hat einen Durchmesser von 39,3 m und ist aus 798 sechseckigen Spiegelementen von jeweils 1,42 m Durchmesser zusammengesetzt, die einzeln steuerbar sind, um die beste Bildqualität zu erzielen. „Das E-ELT wird 100.000.000-mal mehr Licht sammeln als das menschliche Auge, 8.000.000-mal mehr als das Teleskop Galileo Galileis und 26-mal mehr als eines der VLT-Hauptteleskope, und es werden sich mit seiner Hilfe 15-mal so viele Details am Sternenhimmel ausmachen lassen wie mit dem Hubble-Weltraumteleskop.“ (S. 163) Es soll nicht nur neue Exoplaneten entdecken, sondern auch die Zusammensetzung von Exoplaneten-Atmosphären untersuchen. Hier bekommt man nähere Informationen und kann auch den Baufortschritt über eine Webcam beobachten: <https://elt.eso.org/>.

Das **Thirty Meter Telescope** wird einen 30 m durchmessenden Hauptspiegel haben, der aus 492 sechseckigen, einzeln steuerbaren Segmenten besteht, die jeweils einen Durchmesser von 1,4 m haben. Durch Verzögerungen bei der Baugenehmigung wird das Teleskop nun voraussichtlich ebenfalls ab 2027 auf dem 4.050 m hohen Mauna Kea in Hawaii in Betrieb gehen. Hier geht's zur offiziellen Webseite: <https://www.tmt.org/>.

Das **Giant Magellan Telescope** wird wohl erst im Jahre 2029 auf dem Gelände der Las-Campanas-Sternwarte in Chile fertiggestellt. Es arbeitet mit sieben Primärspiegeln, die je 8,4 m Durchmesser besitzen, wobei sechs Spiegel wie Blütenblätter um den siebten Mittelspiegel angeordnet sind und damit ein effektiver Spiegeldurchmesser von 24,5 m entsteht. Wie die anderen Teleskope wird es mit adaptiver Optik arbeiten, d.h. die Spiegelsegmente sind einzeln justierbar. Die offizielle Webseite: <https://www.gmto.org/>.

* * SPHERE steht für „**S**pectro **P**olarimetric **H**igh-contrast **E**xoplanet **R**esearch“ bzw. übersetzt „spektropolarimetrische Erforschung von Exoplaneten im Hochkontrastbereich.“

8 Exoplaneten für jedermann

Welche Möglichkeiten bestehen, um sich privat mit der Exoplaneten-Suche zu befassen? Für die Entdeckung von Exoplaneten reicht das handelsübliche Beobachtungsequipment nicht aus. Eine Möglichkeit für den engagierten Hobby-Astronomen bleibt die Messung der Helligkeitsschwankungen von Sternen, die durch Exoplaneten-Transite hervorgerufen werden. Ein solches Vorhaben erfordert jedoch Erfahrung und extrem genaue Messungen der Sternhelligkeit. Der Autor empfiehlt: „Zur Planung und Auswertung eigener Beobachtungen (Lichtkurven) ist die „Exoplanet Transit Database“ (ETD) unter <http://var2.astro.cz/ETD/> eine gute Anlaufstelle.“ (S. 168)

Eine einfachere Möglichkeit ist, sich z.B. bei www.planethunters.org an der Suche nach Exoplaneten zu beteiligen, indem man hilft nach Einbuchungen im Verlauf von Lichtkurven zu suchen, die auf einen Exoplaneten hindeuten können.