

Sven Piper

Exoplaneten

Die Suche nach
einer zweiten Erde

mit einem Vorwort von Geoffrey Marcy



Springer

EXOPLANETEN

SVEN PIPER

EXOPLANETEN

DIE SUCHE NACH EINER ZWEITEN ERDE



Springer

Sven Piper
Norbertstr. 4
59067 Hamm
Deutschland
sven.piper@astris.de

ISBN 978-3-642-16469-9 e-ISBN 978-3-642-16470-5
DOI 10.1007/978-3-642-16470-5
Springer Heidelberg Dordrecht London New York

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Einbandabbildung: Gary Tonge

Einbandentwurf: eStudio Calamar S.L.

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Springer ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

**Für Olessja Mut (1980–2009)
Die leider viel zu früh von uns gegangen ist.**

GELEITWORT

Sollte die Menschheit das Glück haben, noch ein paar Tausend Jahre zu überleben, wird sie das vergangene Jahrtausend als die Zeit zweier großer Entdeckungen betrachten. Überseereisen in großen Schiffen zur Erforschung aller Kontinente und Inseln der Erde sind ein Tribut an unseren großen Entdeckerdrang. Auch die Reise von 1969 über den ausgedehnten Raum zwischen Erde und Mond hinweg repräsentiert diesen Geist – die Sehnsucht, das Unbekannte zu erforschen. Nicht weil es einfach oder gewinnbringend, sondern weil es schwierig und geheimnisvoll ist. Sicherlich liegt dieser menschliche Entdeckerdrang in unserer DNA begründet, verankert durch frühere Generationen, die nicht trotz sondern gerade aufgrund schwieriger Reisen überlebt haben.

Das vergangene Jahrtausend brachte auch Erkundungen anderer Art. Wissenschaftsorientierte Menschen nutzten hervorragende Instrumente, wie zum Beispiel Teleskope oder Mikroskope, um zu erforschen, ohne tatsächlich zu reisen. Copernicus, Kepler, Galileo und Newton demonstrierten das Potenzial, das sich aus der Kombination wundervoller wissenschaftlicher Geräte und einer sorgfältigen, kritischen Denkweise schöpfen lässt. Ihre Entdeckungen sind die Grundlagen jener vorausschauenden Fähigkeiten, die es der Menschheit ermöglichen, ihr Wissen durch einfaches Sammeln von Informationen und das Ableiten allgemeiner Beziehungen sowie einfacher Verbindungen zu erweitern.

Am Ende des 20. Jahrhunderts verbindet die Entdeckung von Planeten, die andere Sterne umkreisen, das vergangene mit dem gegenwärtigen Jahrtausend. Die Entdeckung Hunderter andere Sterne umkreisender Planeten repräsentiert den Höhepunkt der wissenschaftlichen Errungenschaften des vergangenen Jahrtausends. Ermöglicht wurde dies durch großartige Erfindungen, wie z. B. Teleskope und Computer, die Optik und fortgeschrittene Physik. Aber die Entdeckung neuer Welten um andere Sterne stellt auch eine Brücke in das nächste Jahrtausend dar. In den nächsten hundert Jahren wird es sicher immer schärfere Bilder dieser Planeten geben. So „entdecken“ wir deren Kontinente, Inseln und Ozeane mit Hilfe virtueller großer Schiffe – nämlich der weltraumgestützten Teleskope. Wer kann daran zweifeln, dass wir Menschen in hundert Jahren wirkliche Schiffe bauen werden, die empfindliche Kameras, Instrumente und menschliche Memorabilien in diese andere Sterne umkreisenden Welten tragen werden. Dadurch wird die Menschheit beginnen, in der Galaxis aufzuziehen, mit dem Ziel, auf den Sternen ihre physikalischen, chemischen und biologischen Wurzeln zu finden.

Schon in den nächsten 10 Jahren wird die Menschheit die ersten erdähnlichen Planeten entdecken – mit Kontinenten, Ozeanen, Seen und Temperaturen, die für die Darwinsche Evolution von organischen Verbindungen hin zu intelligenten Lebensformen geeignet sind. Die Kepler-Mission der NASA wird wahrscheinlich zu Dutzenden bewohnbaren erdähnlichen Planeten führen, deren Größe, Masse, und Temperatur die neuen Disziplinen der Exobiologie, Exogeologie, exo-atmosphärischen Wissenschaft und Exo-Ozeanografie enorm vorantreiben werden. Ebenso beeindruckend wird die Entdeckung neuartiger Welten sein, die wir uns noch gar nicht vorstellen können. Da wird es steinige Planeten mit erdgleicher Masse geben, jedoch bedeckt von tiefen Ozeanen, die zum Teil mehr Wasser als Fels aufweisen. Einige dieser erdähnlichen Planeten werden zu etwa gleichen Teilen aus Eisen, Fels, Wasser, Wasserstoff und Helium bestehen – anders als alle Welten, die wir in unserem Sonnensystem vorfinden. Einige dieser neuen Welten werden vorwiegend aus Eisen und Nickel bestehen, andere aus Wasserstoff und Helium. Und einige dieser Welten werden mehrere Monde und Ringe aufweisen, die im Sternenlicht wie exquisite, kosmische Juwelen funkeln.

Die großartigste Reise überhaupt haben wir jedoch gerade erst begonnen. Die Menschheit muss größte Anstrengungen unternehmen, um extraterrestrische, intelligente Zivilisationen in der Milchstraße aufzuspüren. Wir müssen großflächige Radioteleskopanlagen bauen, die selbst schwächste Radio- oder TV-Signale einer Zivilisation aus 100 000 Lichtjahren Entfernung – also vom anderen Ende unserer Galaxis – empfangen können. Weitere Teleskope sollten gebaut werden, um den Himmel nach intelligenten Lebensformen abzusuchen, die ultraviolettes, sichtbares und Infrarot-Licht nutzen. Wir Menschen werden eine halb entwickelte, biologische Kuriosität im Universum bleiben, solange wir uns nicht dem großen galaktischen Netzwerk wirklich fortgeschrittener Zivilisationen anschließen. Unsere galaktischen Nachbarn zu treffen bietet die Chance, Erkenntnisse, Kunst, Musik, Wissenschaft und Methoden zur Konfliktbewältigung zu teilen. Vielleicht hängt sogar das schiere Überleben unserer Art davon ab, dass wir weiterhin erdähnliche Planeten erforschen und deren Bewohnern die Hand schütteln – und sei es nur per Teleskopsignal.

Sven Pipers Buch erzählt in akkuraten Details von der herrlichen Suche nach anderen Welten. Es bietet dabei einen kurzen Blick auf die bisherige Vorgehensweise und einen Ausblick auf künftige Entwicklungen. Das Buch zeichnet die Geschichte vergangener Entdeckungen auf sowie die Abenteuer, die uns in der Zukunft gewiss sind – wenn wir nur weiter nach oben schauen.

University of California, Berkeley
September 2010

Geoff Marcy

VORWORT

Die Astronomie wird oft als die älteste Wissenschaft beschrieben, und seitdem die Menschheit ihr Nomadendasein aufgegeben hat und sesshaft wurde, starren Menschen in den Himmel und lassen sich von dem dort Erblickten faszinieren. Doch nicht nur das, denn kaum nachdem die Menschen gelernt hatten fruchtbares Land urbar zu machen, entwickelten sie die ersten Theorien vom Aufbau der Welt und schufen die ersten Religionen.

Mit dem Aufkommen der ersten Hochkulturen wurden die ersten Kalender entwickelt, die ersten Objekte am himmlischen Firmament nach den eigenen Gottheiten benannt und die ersten Überlegungen darüber angestellt, ob die Erde einzigartig wäre und menschenähnliche Wesen auch noch woanders existieren könnten.

Seit diesen Tagen hat sich die Menschheit technologisch erstaunlich schnell weiterentwickelt. 1610 richtete zum ersten Mal Galileo Galilei sein Teleskop auf den Planeten Jupiter und revolutionierte die Astronomie. Er entdeckte nicht nur die nach ihm benannten Galileischen Monde (Io, Europa, Kallisto und Ganymed) des Jupiters, sondern er fand auch heraus, dass das Band der Milchstraße aus vielen einzelnen Sternen besteht.

Im 18. Jahrhundert hievte Wilhelm Herschel, mit seinem selbst gebauten Teleskop, das seiner Zeit weit voraus war, die Astronomie auf eine neue Stufe und entdeckte den Planeten Uranus.

Durch mathematische Berechnungen und eine gezielte Suche nach weiteren Planeten im äußeren Sonnensystem wurde man auf den Planeten Neptun aufmerksam, der heute, nachdem Pluto offiziell nur noch als Zwergplanet zählt, der achte und letzte vollwertige Planet unseres Sonnensystems ist.

Doch damit nicht genug, mit den scharfen Augen des Hubble-Weltraumteleskops, den Infrarotaugen des Spitzer-Weltraumteleskops, erdgebundenen Observatorien und zahlreichen weiteren Projekten in Planung, wie z. B. der Gaia-Mission, stehen wir vor einer neuen Revolution, denn mit den technischen Möglichkeiten der heutigen Zeit ist es nur noch eine Frage der Zeit, bis eine zweite Erde gefunden wird.

Über 450 extrasolare Planeten wurden bereits entdeckt und der menschliche Entdeckerdrang kennt keine Grenzen. Aufgrund des technologischen Fortschritts ist die heutige Generation von Menschen die erste, die eine realistische Chance hat, auf die Fragen, „ob wir allein im Universum sind“ und „ob es eine zweite Erde gibt“, eine Antwort zu finden.

Hamm
Oktober 2010

Sven Piper

DANKSAGUNG

Folgenden Personen möchte ich für ihre Mithilfe an diesem Buch danken, ohne sie wäre es nicht möglich gewesen, das vorliegende Buch zu schreiben:

Geoff Marcy (University of California in Berkeley), **Helmut Lammer** (Österreichische Akademie der Wissenschaften), **Gordon Walker** (University of British Columbia), **Gero Rupprecht** (European Southern Observatory), **Debra Fisher** (Yale University), **Alex Wolszczan** (Pennsylvania State University), **Alan Gould** (University of California in Berkeley), **Michel Auvergne** (Observatoire de Paris), **Adam Showman** (University of Arizona), **Ashely Yeager** (W. M. Keck Observatory), **Alexandra von Lieven** (Freie Universität Berlin), **Dirk Schulze-Makuch** (Washington State University), **Mary J. Edwards** (Corning Incorporated), **Jean Schneider** (Observatoire de Paris), **Richard Stephenson** (University of Durham), **Cristian Beaugé** (Observatorio Astronómico de Córdoba), **Mike E. Brown** (Caltech) and last but not least **Stefan Deiters** (astronews.com).

INHALTSVERZEICHNIS

1	Geschichte der Astronomie	1
2	Die Entdeckung der ersten extrasolaren Planeten	39
3	Die Techniken für die Jagd nach Exoplaneten	55
4	Teleskope und Missionen für die Suche nach Exoplaneten	65
5	Das erste Bild einer fremden Welt und die Schwierigkeiten bei der Suche nach Exoplaneten	91
6	Welche Typen von Exoplaneten gibt es?	109
7	Die interessantesten Exoplaneten	121
8	Zukünftige Entwicklungen	139
9	Leben im Universum	155
10	Die Suche nach außerirdischen Intelligenzen	197

GESCHICHTE DER ASTRONOMIE

Zwei Dinge sind unendlich, das Universum und die menschliche Dummheit, aber bei dem Universum bin ich mir noch nicht ganz sicher.

ALBERT EINSTEIN (1879–1955)

Seit Jahrtausenden blicken Menschen begeistert zum Himmel hinauf und verewigten teilweise ihre Beobachtungen auf Felswänden, Lehm- oder Steintafeln. So gibt es uralte Zeugnisse von Supernovae und Kometenerscheinungen, Sonnen- und Mondfinsternissen. Dank dieser „Pioniere“ der Astronomie wurden die ersten Kalender entwickelt und unsere Vorfahren bildeten für die himmlischen Erscheinungen Monumente und Kult-Objekte.

Eines der ältesten Objekte dieser Art ist das Ganggrab von Newgrange in Irland, genauer gesagt in der Grafschaft Meath am Fluss Boyne. Diese etwa 3200 v. Chr. errichtete Anlage zählt zu den ältesten und bedeutendsten Megalithanlagen in Europa. Zur Wintersonnenwende lässt sich hier ein beeindruckendes Schauspiel beobachten, denn nur wenige Tage vor und nach diesem Zeitpunkt wird die innere Kammer für wenige Minuten beleuchtet, auch wenn aufgrund der Präzession – das Taumeln der Erdachse – heute nicht mehr die hintere Platte erreicht wird. Ferner sind die Steine des Ganges und der Grabkammer mit verschiedenen geometrischen Mustern versehen, darunter auch mit

Spiralmustern, wie sie in späterer Zeit in vielen antiken Kulturen vorkamen und vor allem in den Tempeln von Tarxien auf Malta und im mesopotamischen Raum zu finden sind, die häufig als ein Symbol des kosmischen Kreislaufs interpretiert werden. Abgesehen vom Aufbau der Anlage wissen wir aber nur sehr wenig über die astronomischen Kenntnisse der Menschen dieser Zeit, außer dass in der Nähe mit Dowth und Knowth zwei weitere bedeutende Anlagen errichtet wurden, wobei Letztere aus zwei Gängen und Kammern besteht, deren Eingänge genau nach Osten und Westen und damit auf Sonnenauf- und -untergang zu den Tagundnachtgleichen ausgerichtet sind. Es handelt sich bei diesen Anlagen also nicht nur um Grabstätten, sondern um eine Art Tempel des Sonnenlichts.^{1,2}

Ein weiteres bekanntes Beispiel ist auch die kreisförmige Steinanlage von Stonehenge im Südwesten von England, etwa 13 km nördlich von Salisbury, die in mehreren Bauphasen vor über 4000 Jahren errichtet und über die Jahrhunderte immer weiter aus- und umgebaut wurde. Wobei Stonehenge wohl auch schon früher ein ritueller Kultplatz war und die Spuren bis in die Jungsteinzeit reichen. Aktuelle Forschungen durch Mike Parker Pearson von der Universität Sheffield deuten darauf hin, dass Stonehenge keineswegs isoliert betrachtet werden darf, sondern Teil einer größeren Anlage von Grabhügeln und weiteren Kultstätten aus Holz war, die durch Prozessionswege miteinander verbunden waren.

Alle Steine im inneren Kreis, mit Ausnahme des Altarsteins aus grünem Sandstein, bestehen aus Blaustein und stammen aus den Preseli Hills im Südwesten von Wales, etwa 215 km von Stonehenge entfernt, während die äußeren Steine aus Sandstein bestehen.

Die Ausrichtung der riesigen Steinmonolithe deutet auf eine Funktion als Sonnenobservatorium hin, mit dem die Zeitpunkte der Sommer- und Wintersonnenwende bestimmt werden konnten, wobei auch die umstrittene Theorie vertreten wird, dass Stonehenge als eine Art pri-

¹ Dröbner, R.: *Astronomie in Stein, Panorama*, Wiesbaden (1990), S. 25–27, 37–40, 229–232.

² Bernardini, E.: *Meilensteine der Archäologie*, Neuer Kaiser Verlag, Klagenfurt (2006), S. 26–29.

mitiver „Computer“ für Mond- und Sonnenfinsternisse gedient haben könnte.³

Auch wenn viele europäische Kulturen ähnliche Monumente errichteten, sind die bekanntesten Megalithkulturen (im Englischen „Henge“) meist im Süden von England anzutreffen, aber es gibt solche Anlagen auch im Norden von Schottland wie zum Beispiel den Ring von Brodgar auf der Hauptinsel von Orkney oder Callanish, die größte megalithische Anlage Britanniens, auf der Isle of Lewis.

Aus einer späteren Epoche, der Bronzezeit, stammt die Himmelscheibe von Nebra, eine Bronzescheibe von 32 cm Durchmesser mit einem Gewicht von ca. 2 kg, die in mehreren Phasen modifiziert wurde. Auf ihr befinden sich in Gold, das nachweislich aus unterschiedlichen Quellen stammt, viele kleine Punkte und eine große Scheibe sowie eine Sichel, bei denen es sich wohl um die Plejaden, die Sonne und den Halbmond handelt. Außerdem zwei Horizontbögen, von denen heute aber nur noch einer vorhanden ist, die mit ihrer 82°-Ausrichtung eine exakte Bestimmung der Winter- und Sommersonnenwende für Mitteleuropa ermöglichten, sowie 25 weitere, bisher nicht identifizierte Sterne. Ferner befindet sich auf der Scheibe eine Sonnenbarke, wie sie vor allem aus dem Mittelmeerraum und hier insbesondere aus Ägypten bekannt ist. Der Zweck der 40 etwa 3 mm großen Löcher, die relativ gleichmäßig am Rand der Scheibe verteilt sind, bleibt im Dunkeln.⁴

Hergestellt wurde die Scheibe zwischen 2100 und 1700 v. Chr. und wahrscheinlich um 1600 v. Chr. vergraben. Die Scheibe besteht aus Bronze, einer Legierung aus Kupfer und Zinn, und besitzt heute eine grünliche Korrosionsschicht (Patina), die erst durch die lange Lagerung unter der Oberfläche entstanden ist.

Gefunden wurde die Scheibe bei Raubgrabungen im Juli 1999 am Mittelberg in Nebra in Sachsen-Anhalt zusammen mit zwei Bronzeschwertern, zwei Beilen, einem Meißel und Bruchstücken von Armreifen.

³ Couper, H. und Henbest, N.: *The History of Astronomy, Cassell Illustrated*, London (2007), S. 18.

⁴ Reichert, U.: *Der geschmiedete Himmel*, in: *Zeitschrift SdW, Dossier Astronomie vor Galilei* (2006), S. 6–13.

SUMERER UND BABYLONIER

Die erste Hochkultur in der Menschheitsgeschichte waren die Sumerer auf dem Gebiet des heutigen Iraks. Sie entwickelten als erste das Rad und ihre pyramidenartigen Stufentempel, die Zikkurate, zeugen von großer Baukunst. Ferner hatten sie schon eine ausgeprägte Form der Mathematik, ausgeklügelte Bewässerungssysteme und erfanden die sogenannte Keilschrift. Sie hinterließen ihr berühmtestes Werk, den Gilgamesepos, in Steintafeln, die auch heute noch zum Teil erhalten sind, und förderten die Kunst. Ihr Einfluss verbreitete sich durch Handel und Eroberungen in der damals bekannten Welt. Welche Rolle die Astronomie bei ihnen gespielt hat, ist umstritten, aber sie waren die Vorfahren der Babylonier.

Zu jedem Neujahr wurde in Babylon der Schöpfungsmythos *Enuma elish* vorgetragen, der etwa im 8. Jahrhundert v. Chr. auf sieben Tontafeln niedergeschrieben wurde, und den fortschreitenden Bildungsprozess des Kosmos von anfänglichem Chaos zu einer stabilen Ordnung während der Regentschaft des Gott-Königs Marduk enthält. So konnte der amtierende König jedes Jahr aufs Neue seine Herrschaft durch die kosmische Ordnung legitimieren.⁵

Ein Jahrhundert später begannen sie mit täglichen Aufzeichnungen über den Nachthimmel, und so gibt es zahlreiche Berichte über astronomische Beobachtungen wie Mond- und Sonnenfinsternisse oder das Auftauchen des Halleyschen Kometen im September 164 v. Chr.

Der babylonische Kalender hatte 360 Tage, eingeteilt in 12 Monate von je 30 Tagen, sowie regelmäßige Schalttage, um auf die Umlaufperiode von 365 Tagen zu kommen. Aber auch die Einteilung des Kreises in 360 Grad sowie die zwölf Tierkreiszeichen gehen auf die Babylonier zurück.

Ferner wurde bei den Babyloniern der Planet Venus mit der Göttin der Liebe, Ishtar (Innana bei den Sumerern), gleichgesetzt, wie auch später bei Griechen und Römern. Deswegen trägt auch heute noch eine

⁵ Fahr, H.J. und Willerding, E.A.: Die Entstehung von Sonnensystemen, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg (1998), S. 6.

markante Region auf unserem Schwesterplaneten den Namen *Ishtar Terra*.

Da es auch heute noch gut erhaltene Tontafeln mit astronomischen Aufzeichnungen gibt, werden den Babylonier häufig die fortgeschrittensten Kenntnisse zugesprochen.

ÄGYPTEN

Etwas anders verhielt es sich in Ägypten. Die Ägypter sahen ihre Götter als Personifikationen verschiedener Sterne an und so führten insbesondere Priester astronomische Beobachtungen durch. Dementsprechend sind die astronomischen Aufzeichnungen religiös gefärbt, und es ist heute schwierig den tatsächlichen Kenntnisstand der ägyptischen Astronomie zu beurteilen, da dieser im Kontext der ägyptischen Mythologie betrachtet werden muss, die je nach lokaler Tradition durchaus unterschiedlich gehandhabt wurde. Systematische Beobachtungen wurden jedenfalls hauptsächlich für die Kalendererstellung vorgenommen, und es ist sicher, dass auch die alten Ägypter das Gnomon (Vorgänger der Sonnenuhr) verwendeten, dessen älteste Überlieferung aber aus Babylon stammt. Dennoch enthalten viele ägyptische Bauwerke eine astronomische Ausrichtung, wie zum Beispiel die Cheopspyramide, die bis auf wenige Bogenminuten genau nach den Himmelsrichtungen ausgerichtet ist.

Dem Stern Sirius, Hauptstern im Sternbild Großer Hund (und daher auch als Hundsstern bekannt), kam dabei eine besondere Bedeutung zu, da sein Auftauchen am Nachthimmel die Zeit der Nilüberschwemmungen ankündigte. Auch das Sternbild Orion, der „große Wagen“ und die „Dekane“, eine Gruppe von 36 Sternbildern, waren für die ägyptische Zeitmessung von besonderer Bedeutung, wie mir die Ägyptologin Alexandra von Lieven von der Freien Universität Berlin erklärte.

Eine der interessantesten astronomischen Anlagen steht in Nabta Playa etwa hundert Kilometer westlich von Abu Simbel. Diese monolithische Anlage wird von amerikanischen Forschern als das „ägyptische Stonehenge“ bezeichnet, konnte aber bisher kaum erforscht werden und

könnte nun durch das Toshka-Projekt, ein Bewässerungsprojekt der ägyptischen Regierung, für immer verloren gehen. Erste Datierungsversuche deuten darauf hin, dass diese Anlage etwa 5000 v. Chr. errichtet und zur Bestimmung der Sommersonnenwende verwendet wurde.⁶

Imhotep, dem Baumeister der Djoser-Pyramide, der nach seinem Tod vergöttlicht wurde, kommt womöglich eine besondere Bedeutung für die ägyptische Astronomie zu. Auch wenn viele Berichte über ihn fiktiv sind (und viele ihm zugeschriebene Werke vermutlich mesopotamischen oder griechischen Ursprungs sind), galt er doch als Multitalent und wurde so als Weiser, Arzt, Astrologe und noch vieles mehr verehrt. Dass es bis heute kaum Informationen über bekannte Astronomen aus dem alten Ägypten gibt, liegt auch daran, dass einzelne Personen selten so herausgestellt wurden, wie es bei den Griechen der Fall war. Und während es von den Babyloniern gut erhaltene Tontafeln gibt, hielten die Ägypter ihre Kenntnisse auf Papyrusrollen fest, die sich zwar in der trockenen Wüste, nicht jedoch im feuchten Fruchtländchen halten.

In späterer ptolemäischer Zeit, benannt nach Ptolemaios I. Soter, dem General Alexander des Großen, der sich die Herrschaft über Ägypten sicherte, blühte das Wissen vor allem wegen der Großen Bibliothek von Alexandria noch einmal auf und zahlreiche Gelehrte lebten und lehrten wenigstens zeitweise hier.

Hypatia von Alexandria (370–415) war eine von ihnen und aufgrund ihrer außergewöhnlichen mathematischen Fähigkeiten gilt sie als eine der intelligentesten Frauen des Altertums. Sie wurde von ihrem Vater Theon von Alexandria, einem bekannten Gelehrten, der um das Jahr 360 auch Ptolemäus' Hauptwerk kommentierte, hauptsächlich auf den Gebieten der Mathematik, Astronomie und Astrologie unterrichtet. Berühmt wurde sie dafür, dass sie Konzepte entwickelte, die auf Kegelschnitten (Hyperbeln, Parabeln und Ellipsen) basierten. Einige Quellen schrieben ihr auch die Entwicklung des Astrolabiums zu. Quelle hierfür ist u. a. ein Brief von Synesios von Kyrene, dem späteren Bischof von Ptolemais, der ein Schüler Hypatias war, was aus heutiger Sicht

⁶ http://www.daserste.de/wwiewissen/beitrag_dyn~uid,s8y572myqxu0istl~cm.asp (02.01.2010).

aber nicht unumstritten ist, da auch Claudius Ptolemäus (100–175) ein solches Gerät schon benutzt haben soll, und es möglicherweise bereits durch Eratosthenes (284–202 v. Chr.) entwickelt wurde.

Hypatia von Alexandria lehrte platonische Philosophie am Museion von Alexandria, zu dem auch die Große Bibliothek gehörte um das Jahr 400 und ist heute vor allem wegen ihrer Todesumstände bekannt. Sie lebte zu einer Zeit in Alexandria, als das noch junge Christentum die anderen Religionen verdrängte. Dies führte ab dem Jahr 390 zu Spannungen und Tumulten. Hypatia wurde 415 eines Tages auf dem nach Hause von einem Mob angegriffen, entkleidet und in einer Kirche getötet, und es ist wahrscheinlich, dass Kyrill von Alexandria, ein Führer unter den damaligen Christen, der später „heilig“ gesprochen wurde (sein Gedenktag ist der 27. Juni), an ihrem Tod nicht ganz unschuldig war. Kyrill sah in ihr wohl eine Gefahr, da er mit dem damaligen römischen Präfekten von Alexandria, Orestes, heftige politische Auseinandersetzungen hatte und Orestes und Hypatia eng miteinander befreundet waren.

Zu Zeiten Kaiser Augustus' (63 v. Chr.–14 n. Chr.) spielte ein ägyptischer Obelisk womöglich bei den Römern noch eine wichtige astronomische Rolle. Dieser Obelisk von 21,79 m Höhe stammte aus Heliopolis und wurde einst im Auftrag des Pharaos Psammetich II. (der von 595 bis 589 v. Chr. regierte) errichtet. Edmund Buchner, ehemaliger Direktor des Deutschen Archäologischen Instituts in Rom, veröffentlichte 1976 die Idee, dass dieser „Zeiger“ für eine groß angelegte Sonnenuhr benutzt wurde, welche als *Solarium Augusti* bekannt ist, was heutzutage aber angezweifelt wird. Aus irgendeinem Grund wurde der Obelisk verschüttet und erst 1748 wieder ausgegraben. Heute steht er vor dem Palazzo Montecitorio, dem Sitz des italienischen Parlaments.⁷

DIE WISSENSCHAFTLICHE REVOLUTION DER GRIECHEN

Die Griechen benannten die himmlischen Gestirne zwar auch nach ihren Göttern, wie z. B. den Roten Planeten nach ihrem Kriegsgott

⁷ Drößler, R.: *Astronomie in Stein*, Panorama, Wiesbaden (1990), S. 118–128.

Mars, doch waren sie anders als die meisten anderen Kulturen davon überzeugt, dass sie hinter das Geheimnis der himmlischen Objekte kommen könnten. Thales von Milet (625–550 v. Chr.) war einer von ihnen. Dieser erste Wissenschaftler war davon überzeugt, dass nicht der Wille der Götter hinter Katastrophen oder der Bewegung von himmlischen Objekten steckt, sondern dass es Naturkräfte gibt, welche u. a. für Erdbeben verantwortlich sind. Auch Aristoteles (384–322 v. Chr.) missfiel die Idee eines göttlichen Wesens als Schöpfer und er war deshalb davon überzeugt, dass der Kosmos seit unendlichen Zeiten besteht und unendlich lang fortexistieren wird.⁸ Thales von Milet war es auch, der dem berühmten Mathematiker Pythagoras (570–510 v. Chr.) riet, nach Ägypten zu reisen, wo dieser viel über die spirituellen Rituale der Ägypter und auch etwas über deren geometrisches Wissen lernte. Pythagoras fand durch das Beobachten einer Mondfinsternis heraus, dass die Erde eine Kugel ist und lernte außerdem auf seinen Reisen, dass er neue Sterne sehen konnte je weiter er nach Süden kam. Er schrieb, dass der Schattenabdruck der Erde auf dem Mond gekrümmt ist, und gründete später – wieder in Griechenland – eine geheime Schule, in der alle Schüler Vegetarier sein mussten und auch keine persönlichen Besitztümer haben durften. Nach dem Tod von Pythagoras besuchte eine aufstrebende Persönlichkeit die Schule und war von den dort unterrichteten Theorien zutiefst beeindruckt. Diese gründete 387 v. Chr. eine Philosophieschule in Athen, an deren Pforte stand: „Niemand darf eintreten, der nicht geometrisch denkt“. Es handelte sich hierbei um niemand Geringeren als Platon (427–347 v. Chr.). Ferner hatte dieser keinen Zweifel daran, dass sich die Sonne, der Mond und die Planeten auf Kreisbahnen bewegen.⁹

Später bestimmte Eratosthenes (284–202 v. Chr.) als Erster mit ziemlicher Genauigkeit den Umfang der Erdkugel. Dazu stellte er am Tag der Sommersonnenwende in Alexandria einen Stab auf und maß die Länge des Schattens. Da er wusste, dass zum gleichen Zeitpunkt die

⁸ Fahr, H.J. und Willerding E.A.: Die Entstehung von Sonnensystemen, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg (1998), S. 7.

⁹ Couper, H. und Henbest, N.: The History of Astronomy, Cassell Illustrated, London (2007), S. 60–65.

Sonne in Syene senkrecht am Himmel steht und somit überhaupt keinen Schatten wirft, konnte er aus der Winkeldifferenz und Entfernung zwischen Alexandria und Syene den ungefähren Umfang der Erde berechnen. Wenige Jahre später stellte Hipparchos von Nicäa (190–120 v. Chr.) den ersten Sternenkatalog auf, der ein Maß für die Helligkeit von Sternen enthielt und das siderische Jahr bis auf sieben Minuten genau bestimmte, doch leider hat dieser Katalog die Zeit nicht überdauert.¹⁰

Das bedeutendste Werk der Antike, das bis heute erhalten geblieben ist, sind die Bücher des *Mathematike Syntaxis* (Mathematische Zusammenstellung) von Claudius Ptolemäus (100–175), welche aufgrund ihrer arabischen Übersetzung heute als „Almagest“ bekannt sind und neben dem geozentrischen Weltbild auch Beschreibungen von verschiedenen astronomischen Geräten enthalten und über viele Jahrhunderte als das Standardwerk galten.

Ptolemäus verwendete ein Dioptra (Vorgänger des Jakobsstabs), das aber nicht so ausgefeilt war wie das Dioptra von Heron von Alexandria (der um das 1. Jahrhundert lebte) und wahrscheinlich auf Archimedes von Syrakus (287–212 v. Chr.) zurückgeht, um den Winkeldurchmesser von Sonne und Mond zu bestimmen. Außerdem benutzte er ein Astrolabium, um Hipparchos' Sternenkatalog zu aktualisieren, während er sich mit dem Gnomon, einem der wichtigsten Instrumente der Babylonier und Ägypter, nur kurz beschäftigte.¹¹ Seit seiner Zeit teilt man die Sterne am Firmament in unterschiedliche Helligkeitsklassen ein.

CHINA

Auch die Astronomie in China lässt sich bis ins 3. Jahrhundert v. Chr. zurückverfolgen. Die Chinesen legten dabei – ähnlich wie die Babylonier – großen Wert darauf, alle Vorgänge am Himmel zu erfassen und setzten für die astronomischen Beobachtungen Staatsbeamte ein, wo-

¹⁰ Cole, G.: *Wandering Stars*, Imperial College Press, Singapore (2006), S. 6.

¹¹ Strano, G.J.: *Astronomie vor Galilei*, in: *Zeitschrift SuW Dossier Galilei und die anderen – Hintergründe einer Revolution der Astronomie* (01/2009), S. 22–25.

bei sie insbesondere außergewöhnlichen Erscheinungen wie z. B. Kometen, Sonnenflecken und neuen Sternen besondere Aufmerksamkeit schenkten. Dabei war Astronomie in China Teamarbeit. Fünf Astronomen schauten von einer speziellen Plattform aus in den Himmel, jeweils einer in jede der vier Himmelsrichtungen, während der fünfte auf dem Rücken lag und nach oben schaute. Wenn ein chinesischer Astronom am Himmel etwas Außergewöhnliches entdeckte, notierte er dies genau und meldete die Erscheinung am nächsten Morgen dem kaiserlichen Astronomen, der diese für den Herrscher interpretierte. Auch wenn dies mehr mit Astrologie als Astronomie zu tun hatte, sind die chinesischen Aufzeichnungen überaus wertvoll.¹²

So wurde beispielsweise auch die berühmte Supernovaexplosion von 1054 (Krebsnebel) im Sternbild Stier beobachtet und aufgezeichnet, die selbst am helllichten Tag sichtbar war, während aus dem europäischen und arabischen Raum keinerlei Berichte vorliegen.^{13,14} Aber auch das Auftauchen des Halleyschen Kometen wurde seit 240 v. Chr. ebenso festgehalten wie die Supernovae in den Jahren 1006, 1181, 1572 und 1604. Außerdem entwickelten die Chinesen im 1. und 2. Jahrhundert den Vorläufer des Kompasses, in dem sie bereits eine Magnetnadel benutzten.¹⁵

Zu den bekanntesten chinesischen Astronomen zählt Liu Xin (46 v. Chr.–23 n. Chr.), der einen Sternenkatalog mit 1080 Sternen aufstellte, den Wert der Zahl Pi wesentlich genauer bestimmte und einen Kalender entwickelte, der lediglich 11 Minuten von der tatsächlichen Rotationsperiode der Erde um die Sonne abwich, weshalb heutzutage ein Marskrater nach ihm benannt ist. Sowie Zhang Heng (78–139), welcher die Arbeiten Liu Xins fortsetzte und den genauesten Wert von Pi in der chinesischen Antike bestimmte und sich ferner auch Gedanken über den Aufbau des Universums machte und einen Sternenkatalog mit über

¹² Couper, H. und Henbest, N.: *The History of Astronomy*, Cassell Illustrated, London (2007), S. 38–41.

¹³ Feulner, G.: *Astronomie*, Compact, München (2006), S. 9.

¹⁴ Gingerich, O.: Die islamische Periode der Astronomie, in: *Zeitschrift SdW, Dossier Astronomie vor Galilei* (2006), S. 45.

¹⁵ Meissner, R.: *Geschichte der Erde*, C.H. Beck, München (2004), S. 34.

2500 Sternen veröffentlichte. Außerdem war er ein großer Erfinder und entwickelte das erste Seismometer und eine wassergetriebene Armillarsphäre, die über eine Klepsydra (Wasseruhr) reguliert wurde und sich mit der täglichen Himmelsbewegung mitdrehte. Leider wissen wir heute nichts mehr über deren Genauigkeit. Auch der buddhistische Mönch und Mathematiker Yi Xing (683–727) leistete Pionierarbeit. Er führte eine groß angelegte Himmelsbeobachtung durch und verbesserte die astronomischen Daten für Finsternisse und das Kalendersystem. Einer der begabtesten chinesischen Astronomen war zudem Zu Chongzhi (429–500). Dieser entwickelte im 5. Jahrhundert einen neuen Kalender, der bis auf die Minute genau ging, und erkannte das Taumeln der Erdachse, auch wenn es ihm nicht gelang die Präzession richtig zu berechnen. Seine Berechnungen der Umlaufbahnen von Mond und Jupiter waren jedoch außergewöhnlich präzise.

Ich fragte Richard Stephenson von der University of Durham, einen der wenigen westlichen Experten für die chinesische Astronomie, ob er es für möglich hält, dass es in der Antike schon einen Wissensaustausch gab. Anders als Joseph Needham (1900–1995), der dies durchaus für möglich hielt, bezweifelt Stephenson dies aber vor dem Beginn des 13. Jahrhunderts, da chinesische Sternbilder und Planetennamen keine Parallelen zu den abendländischen Bezeichnungen aufweisen. Ferner erklärte er mir, dass die chinesischen Astronomen äquatoriale himmlische Koordinaten verwendeten, welche nicht zu den bei uns verwendeten himmlischen Längen- und Breitengraden passen, die auf der Idee der Ekliptik basieren. Außerdem unterscheidet sich auch die chinesische Astrologie von der okzidentalen. Wobei es aber nicht ausgeschlossen ist, dass vereinzelt antike Kenntnisse aus dem Mittelmeerraum nach China gelangten, dort aber keine sichtbaren Spuren hinterlassen haben. Erst als islamische Gelehrte in China auftauchten und dort als Astronomen arbeiteten, wurden die antiken griechischen Kenntnisse auch in Fernost bekannt und um das Jahr 1368 gab es sogar ein spezielles Büro islamischer Astronomen auf chinesischem Boden. Durchgesetzt hat sich die westliche Astronomie aber erst im späten 16. Jahrhundert, als die ersten jesuitischen Missionare nach China kamen und auch westliche Instrumente mit sich führten.