



**Klassische
I. Astronomie
und das
Planetensystem**

Sterne und Menschen: Beobachten und Denken

Historische Einleitung in die klassische Astronomie

Unbeeinflusst vom Menschen ziehen die Gestirne seit Jahrtausenden ihre Bahnen. Der gestirnte Himmel bildete deshalb seit jeher ein Symbol für das „Andere“ – die Natur, die Gottheit – den Gegenpol des „Ich“ mit seiner Welt des inneren Erlebens, Wünschens und Schaffens. Die Geschichte der Astronomie bildet gleichzeitig eines der erregendsten Kapitel in der Geschichte des menschlichen Geistes. Immer wieder greifen ineinander einerseits die Entstehung neuer *Denkformen* und andererseits die Entdeckung neuer *Phänomene*, oft mittels neuartiger *Instrumente*.

Wir können hier nicht die großen Leistungen der Völker des alten Orients besprechen, der Sumerer, Babylonier, Assyrer und Ägypter. Auch auf eine Darstellung der – in ihrem Sinne – hochentwickelten Astronomie der Völker des fernen Ostens, der Chinesen, Japaner und Inder müssen wir verzichten.

Der Begriff des *Kosmos* und seine Erforschung in unserem Sinne gehen zurück auf die *Griechen*, die es als erste wagten, alle dumpfe Magie abzuschütteln und – unterstützt von einer unglaublich wendigen Sprache – gedankliche Formen zu prägen, die es erlaubten, Stück für Stück die kosmischen Erscheinungen zu „verstehen“.

Wie kühn sind die Gedanken der Vorsokratiker! Thales von Milet war sich um 600 v. Chr. offenbar schon im klaren darüber, daß die Erde rund sei, daß der Mond von der Sonne beleuchtet würde, und er hat die Sonnenfinsternis des Jahres 585 v. Chr. vorhergesagt. Aber ist es nicht ebenso wichtig, daß er versuchte, das gesamte Weltall auf *ein* Prinzip, nämlich „das Wasser“, zurückzuführen?

Das wenige, was wir von Pythagoras (um die Mitte des 6. Jahrhunderts v. Chr.) und seiner Schule wissen, mutet erstaunlich modern an. Hier ist schon von der Kugelgestalt der Erde, des Mondes und der Sonne, von der Drehung der Erde und vom Umlauf zumindest der beiden inneren Planeten Merkur und Venus um die Sonne die Rede.

Als nach dem Zerfall der griechischen Staaten die Wissenschaft in Alexandria eine neue Heimat gefunden hatte, machte dort die quantitative Erforschung

der Himmelsräume anhand systematischer Messungen rasche Fortschritte. Wir sollten dabei weniger auf die zahlenmäßigen Ergebnisse sehen, als mit Freude vermerken, daß die großen griechischen Astronomen es überhaupt wagten, *geometrische Sätze* auf den Kosmos anzuwenden! Aristarch von Samos, der in der ersten Hälfte des 3. Jahrhunderts v. Chr. lebte, versuchte die *Entfernungen* Sonne–Erde und Mond–Erde sowie die *Durchmesser* der drei Himmelskörper zahlenmäßig miteinander zu vergleichen, indem er davon ausging, daß im ersten und dritten Mondviertel das Dreieck Sonne–Mond–Erde am Mond einen rechten Winkel hat. Neben diesen ersten Messungen *im Weltraum* hat Aristarch als erster das *heliozentrische Weltsystem* gelehrt und dessen schwerwiegende Konsequenz durchschaut, daß die Entfernungen der Fixsterne ungeheuer viel größer sein müßten als die von der Sonne und der Erde. Wie weit er damit seiner Zeit voraus war, sieht man am besten daran, daß schon die folgende Generation seine große Entdeckung wieder vergaß. Bald nach Aristarchs bedeutenden Arbeiten hat Eratosthenes zwischen Alexandria und Syene die erste Gradmessung ausgeführt: Er verglich den Breitenunterschied der beiden Orte mit ihrer Entfernung längs einer viel benutzten Karawanenstraße und bestimmte so schon ziemlich genau Umfang und Durchmesser der Erde. Der größte Beobachter des Altertums aber war Hipparch (um 150 v. Chr.), dessen *Sternkatalog* noch im 16. Jahrhundert an Genauigkeit kaum übertroffen war. Wenn auch seine Hilfsmittel naturgemäß nicht ausreichten, um die fundamentalen Größen des Planetensystems entscheidend zu verbessern, so gelang ihm doch die wichtige Entdeckung der *Präzession*, d. h. des Vorrückens der Tagundnachtgleichen und damit des Unterschiedes von tropischem und siderischem Jahr.

Die Theorie der *Planetenbewegung*, von der wir nun sprechen wollen, mußte im Rahmen der griechischen Astronomie naturgemäß ein *geometrisch-kinematisches* Problem bleiben. Allmähliche Verbesserung und Erweiterung der Beobachtungen auf der einen Seite und die Herausbildung neuer mathematischer An-

sätze auf der anderen Seite bilden die Grundelemente, aus denen Philolaus, Eudoxus, Heraklid, Apollonius und andere eine Darstellung der beobachteten Planetenbewegungen durch Ineinanderfügen immer komplizierterer Kreisbewegungen anstrebten. Ihre abschließende Form erhielten die antike Astronomie und Planetentheorie erst viel später durch Claudius Ptolemäus, der um 150 n. Chr. in Alexandria sein Handbuch der Astronomie (Mathematik) in 13 Büchern *Μαθηματικῆς Συναξέως* schrieb. Später erhielt die Syntaxis das Beiwort *μεγίστη* (größte), woraus der arabische Titel des *Almagest* entstand. Der Inhalt des *Almagest* beruht weitgehend auf den Beobachtungen und Forschungen des Hipparch, doch hat Ptolemäus insbesondere in der Theorie der Planetenbewegung auch Neues hinzugefügt. Das geozentrische Weltsystem des Ptolemäus brauchen wir vorerst nur in Umrissen zu skizzieren: Die Erde ruht in der Mitte des Weltalls. Die Bewegungen von Mond und Sonne am Himmel lassen sich noch ziemlich einfach durch Kreisbahnen darstellen. Die Bewegungen der Planeten beschreibt Ptolemäus mit Hilfe der *Epizykel-Theorie*: Der Planet läuft auf einem Kreis um, dem Epizykel, dessen immaterieller Mittelpunkt auf einem zweiten Kreis, dem Deferenten, sich um die Erde bewegt. Die Verfeinerungen dieses Systems durch Einführung weiterer, auch exzentrischer Kreise usw. wollen wir hier nicht erörtern. Der *Almagest* zeigt in seiner geistigen Haltung deutlich den Einfluß der aristotelischen Philosophie oder – besser gesagt – des *Aristotelismus*. Dessen Denkschemata, die aus Werkzeugen lebendiger Forschung längst zu Dogmen einer erstarrten Lehre geworden waren, dürften zu der erstaunlichen historischen Dauerhaftigkeit des ptolemäischen Weltsystems nicht unwesentlich beigetragen haben.

Wir können hier nicht im einzelnen berichten, wie nach dem Verfall der Akademie in Alexandria zunächst die nestorianischen Christen in Syrien und dann die Araber in Bagdad das Werk des Ptolemäus übernahmen und weiterbildeten.

Übersetzungen und Kommentare des *Almagest* bildeten die wesentlichen Quellen des ersten abendländischen Lehrbuches der Astronomie, des *Tractatus de Sphaera* von Ioannes de Sacrobosco, einem gebürtigen Engländer, der bis zu seinem Tode im Jahre 1256 an der Universität Paris lehrte. Die *Sphaera* wurde immer wieder neu herausgegeben und kommentiert; noch

zu Galileis Zeiten war sie *der* „Text“ im akademischen Unterricht.

Die geistigen Hintergründe des neuen Denkens waren bestimmt zum Teil dadurch, daß nach der Eroberung von Konstantinopel durch die Türken (1453) viele wissenschaftliche Werke aus der Antike dem Abendlande durch byzantinische Gelehrte zugänglich gemacht wurden. Einige sehr bruchstückhafte Überlieferungen über die heliozentrischen Systeme der Antike haben Kopernikus offenbar stark beeindruckt. Sodann bemerken wir ein Abgehen von der erstarrten Doktrin der Aristoteliker und eine Hinwendung zu dem viel lebendigeren Denken im Sinne der Pythagoräer und Platos. Die „platonische“ Vorstellung, daß der Vorgang der Erkenntnis in einer fortschreitenden Anpassung unserer inneren Welt der Begriffe und Denkformen an die immer vollständiger durchforschte äußere Welt der Erscheinungen bestehe, ist seit Cusanus über Kepler bis Niels Bohr Gemeingut aller bedeutenden Forscher der Neuzeit gewesen. Endlich war mit dem Emporblühen des Handwerks die Frage nicht mehr „was sagt Aristoteles?“, sondern „wie macht man . . . ?“.

Im 15. Jahrhundert zeigt sich mit einem Mal – zunächst in Italien und bald auch im Norden – ein ganz neuer Geist in Wissenschaft und Leben. Die tiefsinnigen Meditationen des Kardinals Nicolaus Cusanus (1401 bis 1464) beginnen wir erst heute wieder zu würdigen. Es ist höchst interessant zu sehen, wie bei ihm Ideen über die Unendlichkeit der Welt und über quantitative Naturforschung aus dem religiösen bzw. theologischen Nachdenken entspringen. Gegen Ende des Jahrhunderts (1492) schon folgt die Entdeckung Amerikas durch Christoph Columbus, der dem neuen Weltgefühl den klassischen Ausdruck gab „il mondo e poco“. Wenige Jahre später begründete Nicolaus Kopernikus (1473–1543) das *heliozentrische Weltsystem*.

Kopernikus sandte um 1510 an mehrere namhafte Astronomen in Briefform den erst 1877 wieder aufgefundenen „Kleinen Kommentar“ *De Hypothesibus Motuum Caelestium A Se Constitutis*, *Commentariolus*, welcher schon die meisten Ergebnisse des erst 1543, im Todesjahr des Kopernikus, in Nürnberg gedruckten Hauptwerkes *De Revolutionibus Orbium Caelestium* enthält.

An der für die ganze Antike und das Mittelalter verbindlichen Idee von der „Vollkommenheit der Kreis-

bewegung“ hat Kopernikus zeitlebens festgehalten und andere Bewegungen nie in Betracht gezogen.

Erst Johannes Kepler (1571–1630) gelang es – ausgehend von pythagoräisch-platonischen Traditionen – sich zu einem allgemeineren Standpunkt „mathematisch-physikalischer Ästhetik“ aufzuschwingen. Ausgehend von den alles bisherige an Genauigkeit weit übertreffenden Beobachtungen Tycho Brahes (1546–1601) entdeckte er seine drei *Planetengesetze*. Die beiden ersten Gesetze hat Kepler durch eine ungeheuer mühevollen trigonometrische Durchrechnung der Marsbeobachtungen T. Brahes in der *Astronomia Nova* (Prag 1609) gefunden. Das dritte Keplersche Gesetz ist in den *Harmonices Mundi* (1619) mitgeteilt. Keplers grundlegende Schriften zur Optik, das Keplersche Fernrohr, die Rudolphinischen Tafeln (1627) u.v.a. können wir nur erwähnen.

Um dieselbe Zeit richtete in Italien Galileo Galilei (1564–1642) das 1609 von ihm erbaute *Fernrohr* an den Himmel und entdeckte kurz nacheinander: die „Maria“, die Krater und andere Gebirgsformationen auf dem Mond, die vielen Sterne in den Plejaden und Hyaden, die vier großen Jupitermonde und ihren freien Umlauf um den Planeten, die erste Andeutung des Saturnrings und die Sonnenflecken. Galileis *Sidereus Nuncius* (1610), in dem er seine Entdeckungen mit dem Fernrohr beschreibt, der *Dialogo Delli Due Massimi Sistemi Del Mondo, Tolemaico, e Copernicano* (1632) und die nach seiner Verurteilung durch die Inquisition entstandenen *Discorsi E Dimostrazioni Matematiche Intorno A Due Nuove Scienze* (1638), mit den Anfängen der theoretischen Mechanik, sind nicht nur wissenschaftliche, sondern in der Darstellung auch künstlerische Meisterwerke. Die Beobachtungen mit dem Fernrohr, die Beobachtungen der Supernovae von 1572 durch Tycho Brahe und von 1604 durch Kepler und Galilei, endlich die Erscheinungen mehrerer Kometen förderten die vielleicht wesentlichste Erkenntnis jener Zeit, daß nämlich – im Gegensatz zur Meinung der Aristoteliker – *kein* grundsätzlicher Unterschied bestehe zwischen himmlischer und irdischer Materie und daß *dieselben Naturgesetze* im Bereich der *Astronomie* und der *terrestrischen Physik* gelten (bezüglich der Geometrie hatten dies schon die Griechen erkannt). Dieser Gedanke – erst der Rückblick auf Kopernikus macht uns seine Schwierigkeit klar – beflügelte den enormen Aufschwung der Naturforschung im Anfang des 17. Jahrhunderts.

Auch W. Gilberts Untersuchungen über Magnetismus und Elektrizität, Otto v. Guericques Versuche mit der Luftpumpe und der Elektrisiermaschine und vieles andere gehen aus von dem Wandel des astronomischen Weltbildes.

Wir können hier nicht die vielen Beobachter und Theoretiker würdigen, welche die neue Astronomie aufgebaut haben, unter denen so bedeutende Köpfe wie J. Hevelius, Chr. Huygens, E. Halley hervorrangen.

Eine ganz neue Epoche der Naturforschung beginnt mit Isaac Newton (1642–1727). Sein Hauptwerk *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687) stellt zunächst mit Hilfe der hierzu geschaffenen Infinitesimal-(Fluxions-)rechnung die theoretische *Mechanik* auf eine sichere Grundlage. Deren Verbindung mit dem *Gravitationsgesetz* erklärt die Keplerschen Gesetze und begründet mit einem Schlage die gesamte terrestrische und *Himmelsmechanik*. Im Bereich der Optik erfindet er das Spiegelteleskop und diskutiert die Interferenzerscheinungen der „Newtonschen Ringe“. Fast nebenbei entwickelt Newton die grundlegenden Ansätze für viele Zweige der theoretischen Physik.

Ihm vergleichen können wir nur den *Princeps Mathematicorum*, Carl Friedrich Gauß (1777–1855), dem die Astronomie die Theorie der *Bahnbestimmung*, wichtige Beiträge zur *Himmelsmechanik* und höheren Geodäsie sowie die Methode der kleinsten Quadrate verdankt. Nie wieder hat ein Mathematiker eine solche Treffsicherheit im Entwurf neuer Forschungsgebiete mit einer so eminenten Geschicklichkeit in der Durchrechnung spezieller Probleme vereinigt.

Wir können hier auch nicht die Leistungen der großen Himmelsmechaniker von L. Euler über J. L. Lagrange und P.-S. Laplace bis H. Poincaré würdigen. Hingegen sollten wir zum Abschluß dieser Übersicht noch kurz auf die Entdeckungen der weiteren, über die Kenntnis der Antike hinausgehenden Planeten eingehen.

Völlig überraschend wurde 1781 *Uranus* von W. Herschel entdeckt. In der Lücke zwischen Mars und Jupiter (Abb. 2.15) vermutete schon Kepler einen Himmelskörper. G. Piazzi entdeckte dann am 1.1.1801 als ersten Planetoiden die *Ceres*; aber Mitte Februar ging sie in Sonnennähe „verloren“. Schon im Oktober desselben Jahres hatte der 24jährige C. F. Gauß ihre Bahn und Ephemeride berechnet, so daß F. Zach sie wieder auffinden konnte. Im Anschluß an diese mathematische Leistung löste Gauß das allgemeine Problem der

Bahnbestimmung eines Planeten usw. aus drei vollständigen Beobachtungen. Heute sind mehrere tausend Planetoiden, meist zwischen Mars und Jupiter bekannt (Abschn. 3.3).

Aus Störungen der Uranusbahn schlossen J. C. Adams und J. J. Leverrier auf einen Planeten noch längerer Umlaufzeit und berechneten seine Bahn und Ephemeride. Nahe der vorausberechneten Position fand J. G. Galle 1846 den *Neptun*.

Störungen der Bahnen von Uranus und Neptun führten zur Vermutung eines transneptunischen Planeten. Die langjährige Suche, an der P. Lowell († 1916) maß-

geblichen Anteil hatte, führte schließlich zum Erfolg: C. Tombaugh entdeckte 1930 am Lowell Observatory den *Pluto* als „Sternchen“ 15. Größe.

Ausgedehnte Suchprogramme nach einem „Planeten X“ jenseits von Pluto blieben erfolglos. Es gibt *keine* Anzeichen für einen weiteren „größeren“ Planeten. Jedoch gelang 1992 D. Jewitt und J. Luu die Entdeckung eines *kleinen* Körpers (von etwa 200 km Durchmesser) auf einer exzentrischen Bahn mit einer großen Halbachse von 44 AE. In rascher Folge konnten anschließend zahlreiche weitere „Planeten“ jenseits der Bahnen von Neptun und Pluto gefunden werden.