



aliqui:
 in deductione motus terrestrius assignabimus eandem. Sed
 errantem primum Saturnus: qui xxx anno suum complet
 ita post hunc Iovis duodecimale revolutione mobilis d
 Mars vero qui biennio circump. Quartus in ordine annu re
 tus homini optinet: in quo terrā cum orbe lunari tamq opu
 contineri dicimus. Quinto loco Venus nono mense redit

GERHARD HARIG

Die Tat des Kopernikus

DIE TAT DES KOPERNIKUS

Gerhard Harig

Urania-Verlag Leipzig · Jena · Berlin

„Doch unter allen Entdeckungen und Überzeugungen möchte nichts eine größere Wirkung auf den menschlichen Geist hervorgebracht haben, als die Lehre des Kopernikus. Kaum war die Welt als rund anerkannt und in sich selbst abgeschlossen, so sollte sie auf das ungeheure Vorrecht Verzicht tun, der Mittelpunkt des Weltalls zu sein. Vielleicht ist noch nie eine größere Forderung an die Menschheit geschehen; denn was ging nicht alles durch diese Anerkennung in Dunst und Rauch auf: ein zweites Paradies, eine Welt der Unschuld, Dichtkunst und Frömmigkeit, das Zeugnis der Sinne, die Überzeugung eines poetisch-religiösen Glaubens; kein Wunder, daß man dies alles nicht wollte fahren lassen, daß man sich auf alle Weise einer solchen Lehre entgensetzte, die denjenigen, der sie annahm, zu einer bisher unbekannten, ja ungeahnten Denkfreiheit und Großheit der Gesinnungen berechnete und aufforderte.“

Goethe

Quellen, wobei auch trotz vorliegender deutscher Übersetzungen die Originalwerke selbst herangezogen worden sind. Der Verfasser dankt dem Direktor der Universitätsbibliothek der Karl-Marx-Universität, Herrn Prof. Dr. Johannes Müller, für sein Entgegenkommen bei der Benutzung der reichen Schätze, über die diese Bibliothek verfügt.

Die Notwendigkeit, das vorliegende Werk in zweiter Auflage herauszugeben, nutzte der Verfasser, um nach sorgfältiger Durchsicht des Textes neue Ergebnisse der historischen Einzelforschung einzuarbeiten und Ungenauigkeiten zu korrigieren. Er dankt allen Rezensenten im In- und Ausland für ihre diesbezüglichen wertvollen Hinweise und bittet seine Leser, auch weiterhin durch ihre Kritik zur Verbesserung des Werkes beizutragen. Die Grundkonzeption ist unverändert geblieben und konnte an einigen Stellen noch klarer herausgearbeitet werden.

Besonderer Dank gebührt dem Verlag, der die Drucklegung und Ausstattung des Buches mit Verständnis, Sorgfalt und großem Entgegenkommen besorgt hat.

Leipzig, im Juli 1964

Gerhard Harig

EINLEITUNG

Die Ablösung des alten geozentrischen Weltbildes durch ein neues heliozentrisches in der Renaissance ist sicher eine der folgenreichsten Errungenschaften der Naturwissenschaft gewesen und hat deshalb immer wieder das Interesse nicht nur der Wissenschaftler und Philosophen, sondern breiter Kreise gefunden. Die Namen der bedeutenden Gelehrten, denen die Menschheit diesen Fortschritt verdankt – Kopernikus, Giordano Bruno, Galileo Galilei, Kepler und Newton –, ihr Kampf und die Verfolgungen, denen sie ausgesetzt waren, sind allgemein bekannt. Bis in die Gegenwart sind deshalb immer neue Forschungen und Darstellungen dieser entscheidenden Epoche in der Geschichte der Naturwissenschaft geschrieben worden, in denen in offener oder versteckter Form die Auseinandersetzung über unser wissenschaftliches Weltbild fortgeführt wird.

Gerade aus diesem Grunde dürfte eine neuerliche Darstellung der Entstehungsgeschichte der neuen Astronomie keineswegs überflüssig sein. Sie soll im folgenden vom Standpunkt der Geschichte der Naturwissenschaften gegeben werden, das heißt, sie soll die Entstehung der neuen Astronomie in ihrem Zusammenhang mit der Entwicklung der gesamten Naturwissenschaft darstellen und dabei zugleich auf die Beziehungen und Wechselwirkungen mit den anderen Bereichen des gesellschaftlichen Seins und des gesellschaftlichen Bewußtseins sowie auf deren Triebkräfte eingehen.

Für den modernen Historiker ist es selbstverständlich, daß die Erneuerung der Astronomie, die sich im 15. und 16. Jahrhundert vollzogen hat, kein zufälliges Ereignis darstellt, das ebensogut Jahrhunderte früher oder später hätte eintreten können, sondern durch die Entwicklung des wirtschaftlichen, politischen und kulturellen Lebens jener Zeit bedingt gewesen ist.

Ebenso naheliegend ist es, diese Einwirkung mit den Grundzügen des Humanismus und der Renaissance in Verbindung zu bringen, den Einklang zwischen der neuen Astronomie und den neuen Zügen und Seiten des gesellschaftlichen Lebens

festzustellen. Schwieriger allerdings wird es, diese Beziehungen im einzelnen zu verfolgen und aufzudecken, und hier scheiden sich bereits die Geister. Während von bürgerlicher Seite auch heute noch der Einfluß idealistischer philosophischer Strömungen, insbesondere des Neoplatonismus, betont und herausgearbeitet wird, haben fortschrittliche Naturwissenschaftler, wie etwa Alexander von Humboldt, schon lange auf die Bedeutung praktischer gesellschaftlicher Bedürfnisse hingewiesen.

Entsprechendes gilt für die Wertung oder Einschätzung dieser Revolution unseres astronomischen Weltbildes. Bekanntlich ist in Verbindung mit der Relativitätstheorie die Ansicht vertreten worden, im Grunde genommen handle es sich bei dem Gegensatz zwischen einem geozentrischen und einem heliozentrischen Weltbild um eine leere, sinn- und inhaltlose Auseinandersetzung, während doch andererseits der bedeutende Fortschritt in der Naturerkenntnis nicht bestritten werden kann. Und schließlich fehlt es heute keineswegs an Versuchen, die Haltung der katholischen Kirche gegenüber der neuen Lehre zu rechtfertigen, nachdem sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Ablehnung und Verurteilung dieser Haltung fast allgemein durchgesetzt hatten.

Die Aufgabe der Geschichtswissenschaft besteht unter diesen Umständen darin, nicht bei bloßen Analogiebetrachtungen, beim Aufzeigen nächstliegender Ursachen und Anlässe stehenzubleiben oder einseitig gewisse Zusammenhänge, Ursachen und Folgen zu erforschen. Dabei wird der Historiker aus der Sache selbst heraus den Maßstab für Wertung und Parteinahme finden, der dem Fortgang der Geschichte selbst entspricht und ohne den jede historische Darstellung entweder im Sammeln von Tatsachenmaterial steckenbleibt oder in Apologetik absinkt — einen Maßstab und eine Parteinahme, die zugleich zu den Grundsätzen des historischen Materialismus hinführen, wie sie von ihm ausgehen.

Das naturwissenschaftliche Weltbild

Die Astronomie gehört mit der Mathematik zu den ältesten Wissenschaften; denn die Beobachtung der Erscheinungen am Himmel ermöglicht den Menschen die Orientierung in Raum und Zeit. Auch heute noch, wo wir über vielfältige technische Möglichkeiten zur Zeit- und Ortsbestimmung verfügen, sind der Zeitdienst und die Bestimmung der geographischen Länge und Breite unentbehrliche Funktionen der astronomischen Observatorien.

Der Wechsel von Tag und Nacht, ebenso wie der Wechsel der Jahreszeiten gehören zu den augenfälligsten und allgemeinsten Naturerscheinungen und führten schon zu Beginn der Geschichte der Menschheit zum Aufkommen des Kalenders und der Kalenderrechnung. In dem Maße, wie im Zuge der allgemeinen gesellschaftlichen Entwicklung die Bedürfnisse nach Zeit- und Ortsbestimmungen in bezug auf Häufigkeit und Genauigkeit wuchsen, entwickelten sich in den Sklavenhalterstaaten des alten Orients das Kalenderwesen, die Zeitrechnung und die Landmessung und mit ihnen die Astronomie. Die astronomischen Kenntnisse erreichten in Ägypten, Babylonien und später in der Antike einen hohen Stand und sind selbst in der Zeit des Untergangs des Römischen Reiches und der Sklavenhaltergesellschaft niemals ganz verlorengegangen.

Neben die natürlichen waren zudem schon im alten Orient eingebilddete Bedürfnisse getreten, die nicht wenig zum Ausbau und zur Pflege der Astronomie beigetragen haben. Die Astrologie als das wesentlichste dieser Bedürfnisse ist in den altorientalischen Sklavenhalterstaaten entstanden und hat sich im Hellenismus über die ganze griechisch-römische Welt ausgebreitet. Ptolemäus, dem wir die Zusammenfassung der antiken astronomischen Kenntnisse in Gestalt eines abschließenden Lehr- und Textbuches verdanken, hat ein ebensolches zusammenfassendes Lehrbuch über Astrologie geschrieben. Die astrologischen Lehren

wurden auch im Feudalismus sowohl von den arabisch- wie von den lateinisch-sprechenden und -schreibenden Völkern übernommen und weiterentwickelt. Sie gehörten am Ausgang des Mittelalters zu den Gegenständen des Hochschulunterrichtes und galten allgemein als echte und legitime Wissenschaft. Galilei und Kepler haben mit den anderen Astronomen ihrer Zeit Horoskope berechnet und gedeutet. Allein Kopernikus bildete in dieser Beziehung eine bemerkenswerte Ausnahme.

Es versteht sich von selbst, daß die Astrologie jeder wissenschaftlichen Grundlage entbehrt. Zwischen den himmlischen und irdischen Ereignissen bestehen keine derartigen Beziehungen, wie sie die Astrologie annahm. Ihre Voraussagen beruhen auf Irrtum und Täuschung. Eben deshalb zählt die Astrologie zu den eingebildeten gesellschaftlichen Bedürfnissen.

Seinen reifsten und allgemeinsten Ausdruck hat das astronomische Weltbild des Mittelalters in der berühmten „Göttlichen Komödie“ von Dante (1265—1321) gefunden. Danach ist die Erde eine im Mittelpunkt des Weltalls ruhende Kugel, die von den Elementen Wasser, Luft und Feuer umgeben ist. Im Inneren der Erde befindet sich die Hölle in Gestalt eines Kegels. Den Nabel der Landmasse (im Gegensatz zum Meer) bildet Jerusalem. Ihm diametral gegenüber befindet sich inmitten des Ozeans das Fegefeuer in Gestalt eines kegelförmigen Berges. Die Erdkugel ist von zehn konzentrischen, festen, kristallinen Kugelschalen oder Sphären umgeben, auf denen sich die Himmelskörper in der Reihenfolge Mond, Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn unter der Aufsicht und Führung von „himmlischen Intelligenzen“, das heißt von Engeln und Erzengeln, bewegen. Die achte Sphäre ist die der Fixsterne. Ihr weist Dante eine langsame Eigenbewegung in östlicher Richtung von etwa 1° im Jahrhundert zu, um die Präzession der Äquinoktien zu berücksichtigen. Die neunte oder Kristallsphäre ist das Primum mobile, durch dessen sehr rasche Bewegung die inneren Sphären in Rotation versetzt werden, ohne daß die Art, wie diese Bewegung übertragen wird, näher erläutert ist. Die zehnte Sphäre schließlich ruht. Sie ist der Wohnsitz Gottes und seiner himmlischen Heerschaaren.

Dante, der kein Astronom war, aber über eine gute astronomische Allgemeinbildung verfügte, geht in seinem Werk nicht auf Einzelheiten der mathematischen Astronomie und der ihr zugrunde liegenden Theorien seiner Zeit ein, die damals in Gestalt der ptolemäischen Astronomie in den Bestand der zeitgenössischen lateinischen Wissenschaft wieder aufgenommen worden waren.

Das Hauptwerk von Ptolemäus, der „Almagest“, war von dem Italiener Gerhard von Cremona (etwa 1114—1187), der zu dem Zweck nach Spanien gereist war und Arabisch gelernt hatte, im Jahre 1175 aus dem Arabischen ins Lateinische übersetzt worden.

Rund 100 Jahre später (1272) wurden in demselben Spanien auf Anregung und

Kosten des Königs Alfons X. von Leon und Kastilien auf Grundlage dieser Lehre die sogenannten „Alfonsinischen“ Tafeln fertiggestellt, in denen alle die Zahlenwerte enthalten waren, mit deren Hilfe die Stellung der Gestirne, ihr Auf- und Untergang, die Länge von Tag und Nacht u. ä. berechnet werden konnten. Sie bildeten bis zur Berechnung neuer astronomischer Tafeln im 15. und 16. Jahrhundert die Grundlage für alle astronomischen Berechnungen.

In dieser Astronomie galt als unumstößliche Wahrheit, daß sich alle Himmelskörper auf Kreisbahnen bewegen. Um dieses Axiom mit den Beobachtungen in Einklang zu bringen, hatte die griechisch-hellenistische Wissenschaft die Lehre von den Epizyklen und Exzentrizitäten entwickelt, nach der die Planeten einschließlich der Sonne und des Mondes sich auf Kreisen, den Epizyklen, bewegen, deren Mittelpunkte ihrerseits Kreise um den Mittelpunkt des Weltalls beschreiben bzw. auf exzentrischen Kreisen, deren Mittelpunkte nicht mit dem Mittelpunkt des Weltalls zusammenfallen. Auf diese Weise war es mathematisch möglich, weitgehend „die Erscheinungen zu retten“, wie die Formulierung der antiken und scholastischen Wissenschaft lautete. Der Ausdruck weist darauf hin, daß die These von der gleichmäßigen kreisförmigen Bewegung als Ausgangspunkt galt, dem die Wirklichkeit entsprechen mußte, das heißt, er stellte den Zusammenhang auf den Kopf; denn in Wirklichkeit handelte es sich ja gerade darum, die Annahme von der kreisförmigen Bewegung der Himmelskörper und nicht ihre scheinbare Bewegung am Himmel zu „retten“.

Dieses Anliegen war deshalb so bedeutungsvoll, weil die alte Naturwissenschaft einen prinzipiellen Unterschied zwischen himmlischen und irdischen Gegenständen ebenso wie zwischen himmlischen und irdischen Bewegungen machte. Die Erde oder, astronomisch ausgedrückt, das Gebiet unterhalb bzw. innerhalb der Sphäre des Mondes galt als vergänglich und veränderlich. Es war den Erscheinungen des Entstehens und Vergehens, von Geburt und Tod unterworfen. Die himmlischen Erscheinungen aber galten als ewig gleichbleibend und unveränderlich. Eben deshalb sollten sich alle himmlischen Körper mit gleichbleibender Geschwindigkeit auf Kreisen bewegen, die keinen Anfang und kein Ende haben. Im irdischen Bereich unterschied man zwischen „natürlichen“ Bewegungen, nach denen die irdischen Körper dem ihnen zukommenden Ort zustreben, und „erzwungenen“ Bewegungen, nach denen sie eine geradlinige Bewegung so lange ausführen, wie eine äußere Kraft auf sie einwirkt. Auf diese Weise konnte man auch das Fallen schwerer Körper nach unten erklären, denn als ihr natürlicher Ort galt der Mittelpunkt der Erde, ebenso aber auch das Aufsteigen leichter Körper und des Feuers nach oben; denn als deren natürlicher Ort galt die äußerste Grenze der sublunaren Sphäre.

Das Universum galt als endlich und begrenzt. Jenseits der Fixsternsphäre bzw. der zehnten Sphäre Dantes war nicht etwa ein leerer Raum, sondern dort gab es

überhaupt keine Existenz mehr. So fremd uns diese Vorstellung heute ist, ebenso fremd war den Gelehrten des Mittelalters die Vorstellung eines unendlichen Raumes.

Dieses naturwissenschaftliche Weltbild, das hier zunächst nur in seinen wesentlichsten Zügen dargestellt worden ist, wies eine innere Geschlossenheit auf, bei der sich eins ins andere fügte, womit zugleich deutlich wird, daß jede wesentliche Änderung eines Teils dieser Naturlehre auch wesentliche Änderungen anderer Teile nach sich ziehen mußte. Es war zugleich mit religiösen und allgemeinen philosophischen und gesellschaftlichen Vorstellungen so verschmolzen, daß eine Veränderung des naturwissenschaftlichen Weltbildes auch grundlegende Wandlungen der religiösen, philosophischen und gesellschaftlichen Vorstellungen nach sich ziehen mußte und umgekehrt. Allein schon aus diesem Zusammenhang ergibt sich die universelle Bedeutung der revolutionären Umgestaltung der Astronomie ebenso wie die Kühnheit und Unerschrockenheit ihrer Schöpfer. Sie erklärt sowohl das Aufsehen, das die neue Astronomie hervorgerufen hat, als auch die leidenschaftlichen Kämpfe und Auseinandersetzungen auf dem Gebiet der Philosophie und Politik, die sie zur Folge hatte, bei denen, um mit Engels zu sprechen, die Naturwissenschaft ebenso wie die Philosophie ihre Märtyrer auf die Scheiterhaufen und in die Gefängnisse der Inquisition liefern mußte (vgl. Friedrich Engels: *Dialektik der Natur*, Berlin 1952, S.9).

Die praktische Astronomie

Deutlich kann man am Ausgang des Mittelalters zwei Bereiche astronomischer Tätigkeit unterscheiden, die sogar relativ getrennt voneinander bearbeitet wurden: die theoretische Astronomie und neben ihr die praktische, das heißt die berechnende und beobachtende Astronomie.

Die theoretische Astronomie befaßte sich mit dem Bau des Weltalls und beruhte auf den bereits dargestellten Grundsätzen des geozentrischen Systems von Ptolemäus. Ihre Aufgabe war es, die Grundlagen zur Berechnung der Stellung der Gestirne und ihres Laufes zu liefern sowie Tabellen und Tafelwerke für den Gebrauch des praktischen Astronomen auszuarbeiten. Sie stützte sich auf direkte Beobachtungen und die Vorausberechnung der Stellung der Gestirne auf Grund der Lehre des Ptolemäus.

Die praktische Astronomie beschäftigte sich mit den Aufgaben und Problemen der Zeit- und Ortsbestimmung, mit der Kalenderrechnung sowie mit astrologischen Berechnungen und Voraussagen und diente in diesem Sinne direkt den praktischen Bedürfnissen der damaligen Gesellschaft.



Zeitgenössische Darstellung einer für das Jahr 1524 vorausgesagten Überschwemmungskatastrophe

Es mag auf den ersten Blick verwunderlich erscheinen, daß auch die Berechnung und die Deutung von Horoskopen unter den praktischen Bedürfnissen genannt werden. Wie aber bereits früher bemerkt, können auch eingebildete Bedürfnisse als Bedürfnisse des täglichen Lebens in Erscheinung treten. Am Ausgang des Mittelalters erfuhr die Astrologie eine Hochblüte. Der Glaube an die direkte Wirkung der Gestirne war allgemein verbreitet und tief in das tägliche Leben eingedrungen. Den Planeten wurden nicht nur Charaktere und Schicksale der Menschen zugeschrieben, sondern auch einzelne Körperteile, Metalle sowie bestimmte Tiere und Pflanzen. Die Kenntnis der vermeintlichen magischen Wirkungen von Planeten und Sternbildern war deshalb für die Alchimisten ebenso unentbehrlich wie für die Ärzte. So war etwa in Aderlaßkalendern genau festgelegt, an welchen Körperteilen an bestimmten Tagen ein Aderlaß Erfolg versprechen sollte.

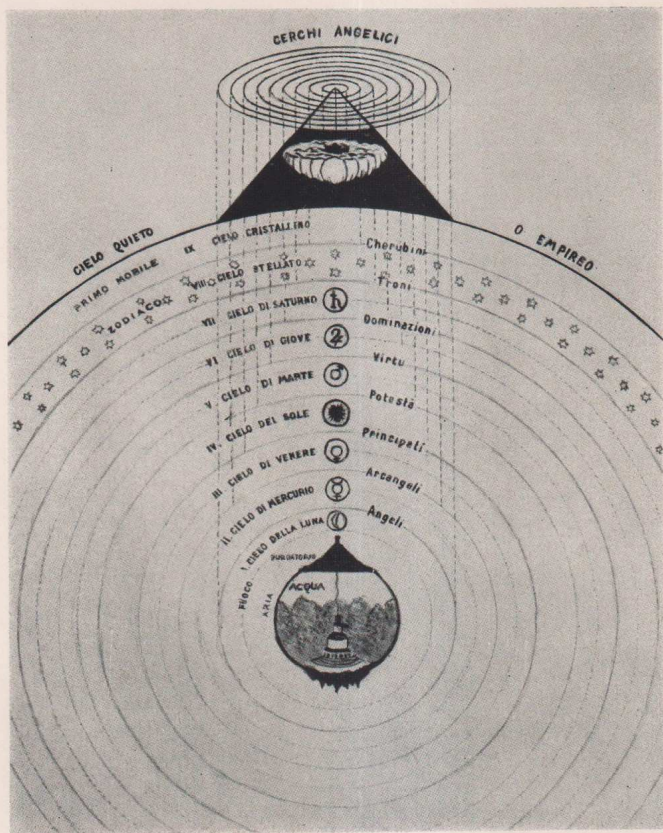
Man berechnete Horoskope sowohl für einzelne, besonders für hochgestellte Persönlichkeiten wie für besondere Ereignisse im politischen, im geschäftlichen und im persönlichen Geschehen und glaubte zum Beispiel, den glücklichen Ausgang eines Krieges ebenso wie den einer Reise von der richtigen Wahl ihres Beginns entsprechend dem Stand der Gestirne abhängig machen zu können. Welch große Rolle die Astrologie damals im öffentlichen Leben gespielt hat, geht wohl am besten daraus hervor, daß eine von dem Astronomen und Mathematiker Johann Stöffler (1452—1531) für das Jahr 1524 vorausgesagte „Weltkatastrophe“ eine so große und allgemeine Beunruhigung hervorrief, daß sich Kaiser Karl V. veranlaßt sah, Gutachten darüber anzufordern. Über diese Prophezeiung entwickelte sich unter den Astrologen eine ausgedehnte Auseinandersetzung, an der sich 56 Autoren mit weit über 100 Drucken beteiligt haben. Von Joachim I., Kurfürst von Brandenburg, ist überliefert, daß er in den kritischen Tagen vor der drohenden Überschwemmung mit seiner Familie und den wichtigsten Hofbeamten sicherheitshalber auf dem Tempelhofer Berg bei Berlin Zuflucht gesucht hat.

Unter diesen Umständen beschäftigten vor allem große und kleine Höfe ihre eigenen Astrologen. Außer dem Berechnen und Deuten von Horoskopen bestand ihre Aufgabe darin, Kalender anzufertigen.

Die Kalenderrechnung oder der Computus umfaßte die Regeln zur Berechnung der Länge des Jahres, der Monate und Tage, des Alters oder der Phasen des Mondes und die Regeln zur Bestimmung von Ostern und der anderen beweglichen christlichen Feste. Ein guter Kalender mußte darüber hinaus auch die Zeiten des Auf- und Unterganges von Sonne und Mond sowie die Tierkreiszeichen und Angaben über Sonnen- und Mondfinsternisse enthalten; er mußte über die Konstellation der Planeten sowie über die günstigsten Termine für Saat und Ernte Auskunft geben und Wettervoraussagen bringen. Die Herausgabe der Kalender galt vielfach als eine staatliche und kirchliche Angelegenheit. Die Kalender wurden gegen Abgaben vertrieben und ihre Berechnung und Anfertigung staatlichen oder städtischen Mathematikern und Astronomen übertragen.

Um diese Aufgaben lösen zu können, mußte der Astrolog oder Astronom über nicht unbeträchtliche mathematische und astronomische Grundkenntnisse verfügen und darüber hinaus durch direkte Beobachtung der Gestirne deren Stellung am Himmel feststellen. Ebenso brauchte er astronomische Tafel- oder Tabellenwerke, aus denen er die Daten für seine Berechnungen entnehmen konnte. Zur beobachtenden und berechnenden Astronomie gehörte deshalb sowohl die sphärische Trigonometrie, die ganz getrennt von den übrigen Teilen der Mathematik gelehrt und entwickelt worden ist, als auch die Konstruktion sowie der Gebrauch astronomischer Instrumente und Meßgeräte.

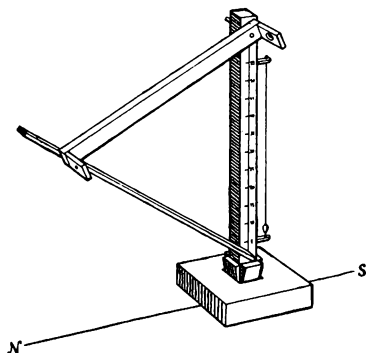
Eine weitere bedeutende und zunehmende Anwendung erfuhr die praktische Astronomie durch die Schifffahrt, die im gleichen Zeitraum mit dem Fortschreiten



Das ptolemäische Weltsystem in der Vorstellung Dantes



Astrolab des Johann Prätorius, Nürnberg; zweite Hälfte des 16. Jahrhunderts



der geographischen Entdeckungen immer weitere und gewagtere Reisen durchführte. Dabei gewann zur Orientierung auf hoher See die astronomische Bestimmung der geographischen Breite und Länge lebenswichtige Bedeutung. Die Bedürfnisse der Schifffahrt führten deshalb zur Herstellung einfacher handlicher Tafeln und zur Verbesserung der einfachen tragbaren Meß- und Beobachtungsgeräte. Ihr direkter Einfluß auf die Entwicklung der Astronomie und eines neuen astronomischen Weltbildes ist jedoch geringer, als es auf den ersten Blick scheinen könnte. Dieser Einfluß beruht eher indirekt auf einer Steigerung des Interesses an den Bewegungen der Himmelskörper überhaupt und auf einer stärkeren Verbreitung praktischer astronomischer Elementarkenntnisse. Es sollte nicht übersehen werden, daß die Erneuerung der Astronomie in Ländern begann, die keinen direkten Anteil an der Schifffahrt hatten.

Unter den astronomischen Instrumenten sind prinzipiell zwei Gruppen zu unterscheiden, deren Verwechslung vielfach auch heute noch Unklarheiten und Verwirrungen hervorruft:

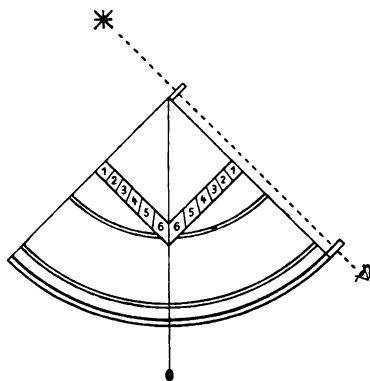
1. Instrumente zur Beobachtung der Gestirne und zur Bestimmung ihrer Stellung am Himmel durch Messen der Winkel in bezug auf bestimmte Grundkreise und Grundrichtungen und
2. Instrumente zur graphischen oder geometrischen Berechnung der Stellung der Gestirne zu einer anderen als der Beobachtungszeit, entsprechend der scheinbaren täglichen Umdrehung der Gestirne und des Laufes der Sonne, des Mondes und der Planeten. Diese zweite Art von Instrumenten ersetzte einfache, routinemäßige, aber sehr aufwendige Rechnungen durch geometrisch-mechanische Verfahren.

Zur direkten Beobachtung der Gestirne benutzte man Winkelmeßinstrumente, die mit zwei Absehen oder Dioptern ausgestattet waren, durch die man die Gestirne anvisieren konnte. Die vertikale Richtung wurde gewöhnlich durch ein Lot ermittelt. Diese Instrumente waren zum Teil von beträchtlicher Größe, damit die Teilung genügend fein ausgeführt werden konnte. Sie wurden vielfach fest aufgestellt, wobei die Hauptachse in Richtung des Meridians zeigte und, soweit vorhanden, ein Teilkreis in der Ebene des Äquators lag, das heißt in einer Ebene senkrecht zur Richtung des Nordpols am Beobachtungsort.

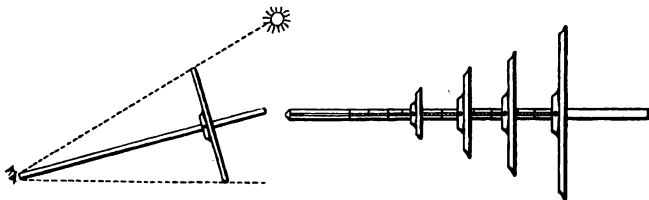
Besonders einfache und daher weit verbreitete und viel benutzte Instrumente waren der Dreistab, der Quadrant und der Jakobsstab.

Der Dreistab wurde bereits von Ptolemäus verwendet. Das Instrument bestand aus drei Stäben. Ein Stab war senkrecht aufgestellt, die beiden anderen waren am oberen und unteren Ende dieses Stabes in horizontalen Achsen drehbar befestigt, so daß alle drei Stäbe ein Dreieck bilden konnten. Der obere Stab hatte dieselbe Länge wie die Entfernung der beiden Drehpunkte und trug zwei Absehen zum Anvisieren des Gestirns; der untere Stab war etwas länger und diente zur Messung des Abstandes zwischen dem Ende des oberen Stabes vom unteren Drehpunkt. Gemessen wurde also die Sehne des Winkels, den das Gestirn mit dem Zenit bildete, wobei die Längen entsprechend normiert waren. Die Sehnenslänge ging direkt in die astronomischen Berechnungen ein.

Der Quadrant stellte, wie sein Name besagt, im Prinzip nichts anderes dar als das Viertel eines Vollkreises. Der Bogen war mit einer Kreisteilung versehen und einer der Schenkel mit zwei Absehen zum Anvisieren des Gestirns. Beob-



Der Quadrant

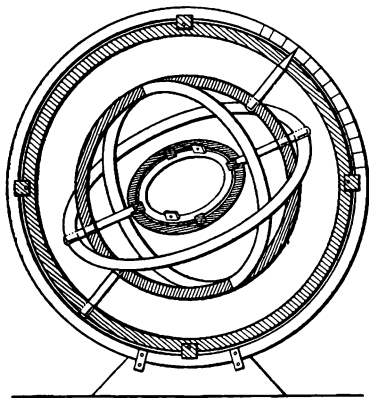


achtet wurde in Richtung zum Mittelpunkt des Kreises. Ein an diesem Mittelpunkt aufgehängtes Lot ermöglichte es, an der Kreisteilung den Höhenwinkel abzulesen. Weit verbreitet waren auch quadratische Ausführungen, bei denen zwei Quadratseiten eine lineare Teilung trugen, die mit Hilfe von Tabellen in Winkel oder Winkelfunktionen umgerechnet werden konnten. Offenbar war die Teilung bei diesen Ausführungen genauer herzustellen.

Der Jakobsstab ist von dem jüdischen Gelehrten Levi ben Gerson (1288—1344) erfunden worden. Auf einer Meßplatte konnte man einen oder mehrere Querhölzer so weit verschieben, bis beim Visieren durch eine Lochscheibe am Ende der Meßplatte die beiden Kanten der Querlatte zwei Sterne zu berühren schienen. Eine geeignete Teilung der Meßplatte — und darin bestand das Wesentliche bei der Erfindung Levi ben Gersons — gestattete es, den Winkelabstand der beiden Gestirne bzw. dessen Sinuswert abzulesen. Kürzere und längere Meßplatten dienten für verschiedene Meßbereiche. Beim Visieren zwischen Gestirn und Horizont konnte mit Hilfe des Jakobsstabes die Höhe der Sonne bzw. des Sternes über dem Horizont gemessen werden. Alle drei Geräte waren selbstverständlich auch für terrestrische Messungen geeignet.

Weitaus kompliziertere Instrumente waren die nur für astronomische Zwecke konstruierten Armillare oder auch Armillarsphären. Das Armillar bestand aus mehreren ineinandergefügten Kreisen, deren innerster zwei Absehen zum Anvisieren der Gestirne trug. Die Kreise waren so angeordnet, daß die Koordinaten des Gestirns entweder in bezug auf den Äquator oder in bezug auf die Ekliptik direkt abgelesen werden konnten. Das Instrument ersparte damit komplizierte und zeitraubende Umrechnungen. Armillare sind wahrscheinlich schon im Altertum von Hipparch und Ptolemäus benutzt worden; sie wurden später von Tycho Brahe zu Präzisionsinstrumenten weiterentwickelt.

Das wichtigste Instrument der zweiten Gruppe war das Astrolab, ein ebenfalls auf die Antike zurückgehendes Instrument, das besonders von den Arabern



durchgebildet worden ist. Es diente zur Berechnung der Position von Gestirnen zu einer bestimmten Tages- oder Jahreszeit und damit gleichzeitig zur Zeitmessung. Astrolabe in künstlerisch wertvollen Ausführungen finden sich heute im Besitz zahlreicher Museen und Sammlungen.

Das Astrolab ist ein Instrument aus Metall oder Holz, das an einem Aufhänger senkrecht aufgehängt oder gehalten werden kann. Es besteht aus einer flachen, kreisrunden Schale (Mater), in die eine Scheibe (Tympon) eingelegt ist, auf der in stereographischer Projektion, entsprechend der geographischen Breite, die geschlossenen Kurven verschiedener Höhen über dem Horizont und die strahlenförmig auseinanderlaufenden Kurven verschiedener Himmelsrichtungen als Netzwerk eingraviert sind. Über dieser eingelegten Scheibe ist drehbar eine zweite Scheibe mit einer Sternkarte angebracht. Diese Sternkarte ist dadurch „durchsichtig“ gemacht, daß sie nur vom Rand bzw. von der Mitte ausgehende Zeiger enthält, deren Spitzen die Lage der hellsten Sterne angeben. Der erhöhte Rand der Schale, in die diese beiden Scheiben eingelegt sind, ist mit einer Kreisteilung versehen. Beim Gebrauch wird der Zeiger, der einem bestimmten Stern entspricht, durch Drehen der zweiten Scheibe mit der gemessenen Höhe und Richtung dieses Sternes zur Deckung gebracht und am Umfang der Schale die Ortszeit abgelesen. Es kann auch umgekehrt für eine bestimmte Ortszeit die Stellung des Sternes am Himmel festgestellt werden. Vielfach ist deshalb auf der Rückseite noch eine drehbare Schiene mit zwei Absehen (Albidade) und eine Kreisteilung angebracht, so daß das Instrument auch zur Messung der Höhe eines Gestirns

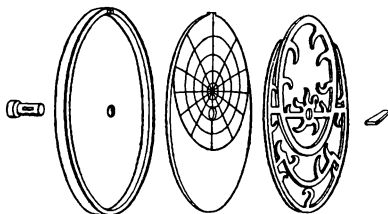
und damit zur Zeitmessung bei Nacht verwendet werden kann. Mit Hilfe weiterer, auf der Rückseite angebrachter Teilungen und Zeichnungen können auch die Auf- und Untergänge der Sonne, der Sterne und der Tierkreiszeichen bestimmt und gewisse Aufgaben der sphärischen Trigonometrie gelöst werden. Vom 11. bis zum 16. Jahrhundert sind in allen lateinischsprechenden und -schreibenden Ländern zahlreiche Schriften über die Herstellung und den Gebrauch des Astrolabs erschienen.

Neben diesen Instrumenten zur Beobachtung und Berechnung kannte man auch schon Instrumente zur Demonstration und für Lehrzwecke. So gab es z. B. Himmelsgloben und Sternkarten, auf denen die Sternbilder und Großkreise eingetragen waren. Verbreitet war auch die sogenannte Armillarsphäre, ein meist bewegliches Modell der Großkreise und ihrer Achsen. Solche Sphären wurden ebenfalls vielfach in künstlerisch bedeutsamer Ausstattung angefertigt und gehörten nicht selten zum Bestand fürstlicher Kunst- und Schatzkammern. Bekanntlich enthielten auch viele Räderuhren Vorrichtungen, die den Stand der Sonne im Tierkreis, die Phasen des Mondes u. ä. angaben.

Bei der vielseitigen und ausgedehnten praktischen Anwendung der Astronomie zur Zeit- und Ortsbestimmung, im Kalenderwesen, in der Astrologie und in der Schifffahrt konnte es nicht ausbleiben, daß die Unterschiede zwischen den auf Grund der ptolemäischen Lehre berechneten und den tatsächlich beobachteten Stellungen der Sonne, des Mondes und der Planeten offensichtlich wurden. Ebenso verlangten die Unterschiede zwischen dem Julianischen Kalender und dem tatsächlichen Ablauf des Jahres und der Monate nach Abhilfe. Der Frühlingsanfang hatte sich im 15. Jahrhundert um 10 Tage, vom 21. auf den 11. März verlagert. Zahlreiche zeitgenössische Angaben bestätigen, daß Finsternisse oder Konjunktionen von Planeten zu anderen als zu den vorausberechneten Zeiten eintraten.

Die Geschichte der Entstehung einer neuen Astronomie beginnt deshalb mit dem Bestreben, diese Differenz zu beseitigen und die Bewegungen der Himmelskörper

Bestandteile eines Astrolabs



genauer vorauszuberechnen bzw. bessere astronomische Tafeln herzustellen. Diese aus praktischen Bedürfnissen geborenen Bestrebungen wurden bedeutend gefördert durch das zunehmende allgemeine Interesse am Menschen und an menschlichen Angelegenheiten, wie es im Humanismus und in der Renaissance zum Ausdruck kommt. Sie wurden zugleich ermöglicht und erleichtert durch die Entwicklung des Handwerks und des Buchdruckes.

Ebenso wie die allgemeine geistige Bewegung hängt die Entstehung einer neuen Astronomie ursächlich mit dem Aufkommen frühkapitalistischer Produktionsverhältnisse und dem Beginn des Übergangs vom Handwerk zur Manufaktur in den wichtigsten Industriezweigen zusammen.

Georg Peurbach

Die Erneuerung der Astronomie in Europa beginnt mit dem Wirken der deutschen Mathematiker und Astronomen Georg Peurbach und Johannes Regiomontan in Wien.

Die 1365 gegründete Universität Wien zeichnete sich seit ihrem Bestehen durch besondere Pflege der Mathematik aus. Es ist bekannt, daß die mathematische Ausbildung der Studenten dort besser war als an anderen Universitäten. Dabei muß es wohl auch als eine folgerichtige Anpassung an die vorhandenen Bedürfnisse angesehen werden, daß sich die dortigen Mathematiker besonders der Astronomie und der eng mit ihr verbundenen Trigonometrie zugewendet haben. Wien war kein Handelszentrum, sondern Residenzstadt der Habsburger, deren Macht im 13. Jahrhundert begründet worden war. Es ist erklärlich, daß unter diesen Umständen auch an der Artistenfakultät, an der die Mathematik gelehrt wurde, die staatlich-politischen Aufgaben besonders betont wurden. Zu ihnen gehörten auch das Kalenderwesen, die Zeit- und Ortsbestimmung und die Astrologie. Diesen Disziplinen gegenüber trat die Arithmetik, wie sie für kaufmännische Bedürfnisse gebraucht wurde, zurück.

Georg Peurbach (1423—1461) hat nach Abschluß seines Universitätsstudiums in Wien eine längere Studienreise nach Italien angetreten und ist dort zu einem Anhänger der neuen humanistischen Bildung geworden. 1454 wurde er Hofastronom des Königs Ladislaus von Ungarn und einige Zeit später Hochschullehrer an der Universität Wien. Dort vertrat er die neue humanistische Richtung und erwarb sich große Verdienste um die Einführung des Studiums antiker Klassiker in Deutschland, indem er Vorlesungen über Juvenal, Horaz und Vergil hielt. In diesem Zusammenhang bemühte er sich als Mathematiker und Astronom besonders um die Herstellung einer korrekten lateinischen Ausgabe des „Alma-

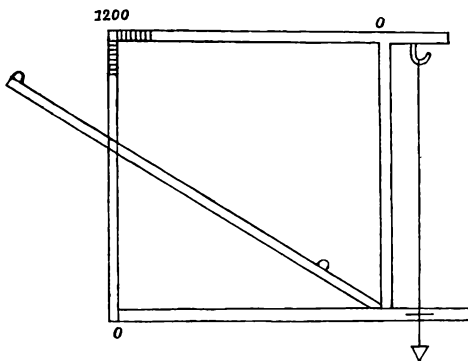
gest“ von Ptolemäus. Peuerbach war aber gleichzeitig praktischer Astronom genug, um dieses Werk nicht nur wiederherzustellen, sondern auch zu verbessern oder, genauer gesagt, zu modernisieren. Diese Modernisierung bestand in der Einführung der seit Ptolemäus von indischen und arabischen Mathematikern entwickelten Sinusrechnung.

Ptolemäus benutzte, wie es in der hellenistischen Mathematik üblich war, in der sphärischen Trigonometrie statt des Sinus die Sehne des Bogens, was zwar mathematisch auf dasselbe hinausläuft, aber die praktische Rechnung wesentlich schwerfälliger gestaltet. Die arabische Trigonometrie ist in Europa zuerst von Levi ben Gerson, dem Erfinder des Jakobsstabes, bekanntgemacht worden, auf dessen einschlägige Schrift Peuerbach zurückgegriffen hat. Peuerbach lag vor allem an einer Verfeinerung und an größerer Genauigkeit der Rechnungen. So berechnete er Sinustafeln, die von $10'$ zu $10'$ fortschreiten, während die älteren nur die Werte von halben zu halben Graden anführen.

Zu demselben Zweck konstruierte er auch ein Winkelmeßinstrument, das sowohl für astronomische als auch für geodätische Zwecke benutzt werden konnte und im 15. und 16. Jahrhundert weite Verbreitung gefunden hat. Von anderen, dem gleichen Zweck dienenden Instrumenten unterscheidet es sich dadurch, daß es keine Kreisteilung aufweist.

Das „*Quadratum geometricum*“, aus Holz oder Metall hergestellt, war ein relativ großes Instrument von etwa 1 m Seitenlänge. Zwei aneinanderstoßende Quadrat-

Peuerbachs „*Quadratum geometricum*“



seiten waren in je 1200 Teile so geteilt, daß die höchsten Ziffern an der Berührungsstelle auftraten. An der gegenüberliegenden Ecke des Quadrates war drehbar ein mit zwei Dioptern versehenes Lineal zum Visieren angebracht. Das ganze Instrument wurde mit einem Lot senkrecht aufgestellt. Aus dem abgelesenen Teilpunkt wurde nach Peurbach der Quotient aus Seitenlänge und Länge des Diopterlineals vom Drehpunkt bis zum Schnittpunkt, das heißt der Sinus des Winkels, den das Lineal mit der nächstliegenden Quadratseite einschloß, berechnet. Aus der von Peurbach berechneten Sinustafel ergab sich dann der entsprechende Winkel. Einfacher wäre es allerdings gewesen, Tangententafeln zu berechnen. Der Tangens und der Kotangens aber waren damals der europäischen Trigonometrie noch fremd. Mit Hilfe des „Quadratum geometricum“, das allerdings relativ umständlicher Rechnungen bedurfte, war es möglich, die Messungen selbst bedeutend zu verfeinern.

Vielfach stellte Peurbach Sonnenuhren her, darunter auch tragbare Reisesonnenuhren, die einen kleinen Kompaß zur richtigen Aufstellung enthielten. Dabei ist besonders bemerkenswert, daß diese Kompassse als erste in Europa die Deklination berücksichtigten. Das läßt darauf schließen, daß Peurbach und später Regiomontanus ihre Instrumente durch Vergleichsmessungen geeicht haben – für ihre Zeit ein bemerkenswerter Fortschritt.

Peurbach ist vor allem durch die Abfassung eines allgemeinen Lehrbuches der Astronomie — „Theoricae novae planetarum“ („Neue Planetentheorie“) — bekannt geworden, das zahlreiche Auflagen erlebte und bis in die zweite Hälfte des 16. Jahrhunderts an vielen Universitäten als verbindliches Lehrbuch galt. Die „Neue Planetentheorie“ stellte an die Leser höhere Ansprüche als die Lehrbücher über die Sphäre und die Kalenderrechnung und vermittelte ihnen die Grundlage zur Berechnung der (scheinbaren) Eigenbewegung der Sonne, des Mondes und der Planeten nach der Lehre des Ptolemäus. Das Werk entsprach dem höchsten Entwicklungsstand der zeitgenössischen theoretischen Astronomie und berücksichtigte die Fortschritte, die über Ptolemäus hinaus von arabischen Astronomen erzielt worden waren. Obwohl das Buch die Geometrie der Bewegung auf Exzentrern und Epizyklen für jeden Wandelstern angab, blieb es doch insofern rein theoretisch, als jeder Bezug auf die Berechnung ihrer Orte am Himmel und auf Beobachtungen fehlte.

Johannes Regiomontanus

Nach Peurbachs frühem Tode wurde sein Werk von seinem Schüler Johannes Müller aus Königsberg bei Koburg fortgesetzt, der nach seinem Geburtsort latinisiert Regiomontanus oder auch Joannes de monte Regio genannt wurde.

Regiomontan (1436–1476) hat seine erste Ausbildung schon mit 12 Jahren an der Universität Leipzig erhalten. Hier berechnete er für das Jahr 1448 einen Kalender, in dem die Planetenörter für Leipzig für jeden Tag des Jahres angegeben waren. 1450 wechselte er an die Universität Wien zu Peurbach über. Dort erhielt er als 15-jähriger vom damaligen Kaiser Friedrich III., einem überzeugten Anhänger der Astrologie, den Auftrag, das Horoskop von Leonore von Portugal zu berechnen. Leonore von Portugal war die Braut des Kaisers.

Das Horoskop, das erhalten geblieben ist, bringt eine sehr sorgfältige Berechnung der erforderlichen astronomischen Angaben. Es stimmte allerdings weder bezüglich des Lebensalters noch bezüglich der Zahl der Kinder dieser Dame und war somit ebenso wertlos wie alle Horoskope. Vom Kaiserpaar wurde es aber offenbar gut aufgenommen; denn nach der Geburt des Thronfolgers, des späteren Kaisers Maximilian I., erhielt Regiomontan 1459 den Auftrag, auch dessen Zukunft vorauszuberechnen. Seine Voraussagen erwiesen sich als ebenso unzutreffend.

Nach dem Tode Peurbachs, der ihn als seinen persönlichen Schüler und Nachfolger behandelt hatte, verbrachte auch Regiomontan mehrere Jahre in Italien, und zwar im Gefolge von Johannes Bessarion (1395–1472), den Peurbach und Regiomontan in Wien kennengelernt hatten.

Johannes Bessarion, ehemals hoher Geistlicher der orthodoxen Kirche, war zur römisch-katholischen Kirche übergetreten, vom Papst zum Bischof von Nicaea ernannt worden und spielte damals in der Kirchenpolitik eine bedeutende Rolle. Er zeigte ein besonderes Interesse für Mathematik und Astronomie und erwies sich als ein eifriger Sammler antiker Handschriften.

Regiomontan lernte in Italien Griechisch und setzte auf Wunsch Bessarions die von Peurbach begonnene Neubearbeitung und Übersetzung des „Almagest“ von Ptolemäus fort. Ein Auszug daraus erschien nach dem Tode Regiomontans unter seinem und dem Namen Peurbachs mit dem Titel „Epitome in Cl. Ptolemaei magnam compositionem“ („Auszug aus dem großen Werk des Cl. Ptolemäus“) 1496 in Venedig. Er fand in Fachkreisen weite Verbreitung und ist zum Beispiel auch von Kopernikus durchgearbeitet worden.

Im Zusammenhang mit dem Studium des Hauptwerkes von Ptolemäus, das ausführliche Kapitel über die Grundlagen der Trigonometrie enthält, schrieb Regiomontan das erste moderne Werk über Trigonometrie. Es trug den Titel „De triangulis omni modis libri quinque“ („Fünf Bücher über alle Arten von Dreiecken“). Er verfaßte zunächst das dritte und vierte Buch des Werkes, in dem die sphärische Trigonometrie behandelt wird. Dabei stützte er sich auf hellenistische und arabische Quellen. In diesen beiden Büchern wird in der Hauptsache der Sinussatz der sphärischen Trigonometrie verwendet, der von arabischen Gelehrten entdeckt worden war. Erst im folgenden 5. Buch bringt Regiomontan auch den Seitenkosinussatz der sphärischen Trigonometrie, den er wahrscheinlich

aus einem astronomischen Werk des syrischen Astronomen Albattani (858–929) entnommen hat. Es konnte nachgewiesen werden, daß Regiomontan zwei Abschriften dieses arabischen Werkes besaß. Eine davon wurde einschließlich der Anmerkungen Regiomontans nach seinem Tode 1537 in Nürnberg gedruckt.

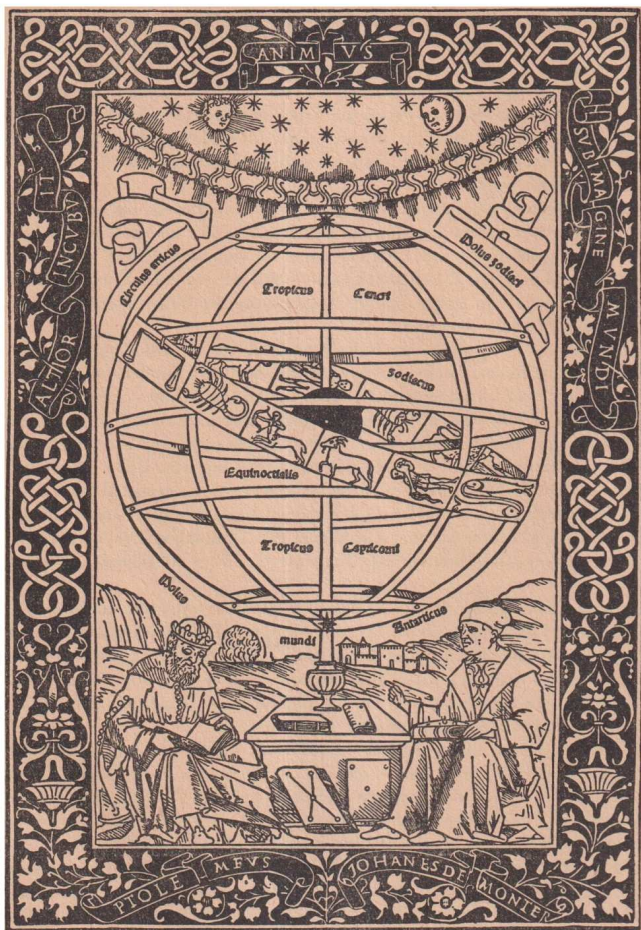
Die beiden ersten Bücher, in denen die Trigonometrie der ebenen Dreiecke behandelt wird, schrieb Regiomontan erst später. Auch hier steht der Sinussatz im Vordergrund der Darstellungen. Tangens- und Kotangensfunktionen verwendete er zunächst noch nicht.

In diesem Werk Regiomontans wurde die Trigonometrie, die bis dahin sowohl in den arabischen wie in den europäischen Ländern nur als ein Teil der Astronomie behandelt worden war, zum erstenmal als eine selbständige Wissenschaft aufgefaßt und dargestellt. Das Werk regte damit zur weiteren Entwicklung der Trigonometrie an. Die ganze spätere Entwicklung der Trigonometrie Europas nahm von ihm seinen Ausgang.

Die Darstellung der Grundlagen der Trigonometrie ergänzte Regiomontan durch die Berechnung neuer Tafeln der Winkelfunktionen. Es handelte sich zunächst um eine Sinustafel in Sexagesimalteilung, in der der Sinus von $90^\circ = 60\,000$ gesetzt ist, die Werte also auf fünf Stellen genau berechnet sind. Für noch genauere Rechnungen hatte Regiomontan wahrscheinlich auch eine Tafel hergestellt, bei der der Sinus von $90^\circ = 6\,000\,000$ gesetzt worden war. Dabei konnten die Sekunden des Winkels durch ein Interpolationsverfahren ermittelt werden. Die Tafel ist allerdings nicht im Druck erschienen. Einige Jahre später hat Regiomontan weitere Tafeln auf der Grundlage des Dezimalsystems berechnet, in denen $\sin 90^\circ = 10\,000\,000$ und der Tangens von $45^\circ = 100\,000$ gesetzt worden waren.

Nach dem Tode seines Gönners Bessarion verließ Regiomontan Italien, um als Astronom und Astrolog in die Dienste des Königs Mathias von Ungarn zu treten, der die Interessen Bessarions an der antiken Literatur und an der Astronomie teilte. In dessen Auftrag fertigte Regiomontan in Buda ein großes Tafelwerk zur Berechnung von Sternpositionen an, das den Titel „Tabulae directionum“ trug und auch die oben erwähnten Sinustafeln enthielt.

Bei der Berechnung dieser Tafeln, die in erster Linie astrologischen Zwecken dienten, wurde ihm immer klarer, daß die alten Alfonsinischen Tafeln aus dem Jahre 1272 nicht mehr richtig waren und keine genauen Planetenörter lieferten. Während andere Astrologen ein Mittel zur Verbesserung der Voraussagen in der Erhöhung der rechnerischen Genauigkeit sahen, wie etwa der Astrologe Ilkus am Hofe des Königs Mathias, der im Horoskop des Königs den Stand der Gestirne bis auf Quarten, das heißt bis auf 1 Millionstel Sekunde genau berechnete, wollte Regiomontan die Grundlagen der Rechnung sichern und verbessern. Dieses Bestreben führte ihn folgerichtig von der Verbesserung und Modernisierung



des „Almagest“ zur Behandlung und Darstellung der Trigonometrie, von dieser zu einer Verbesserung der Alfonsinischen Tafeln und schließlich zu eigenen Beobachtungen und Messungen.

Als sich die politischen Verhältnisse in Ungarn durch die volksfeindliche Politik des Königs Mathias zuspitzten, ging Regiomontan im Jahre 1471 nach Nürnberg, um dort durch astronomische Beobachtungen und Messungen die Tafelwerke verbessern zu können. Nürnberg, eine der größten Handelsstädte in Deutschland, hatte sich schon in der Mitte des 15. Jahrhunderts zu einem Zentrum des Kunsthandwerks und des Instrumentenbaues entwickelt. Ein Jahr vor der Ankunft von Johannes Regiomontan in Nürnberg war hier die erste Druckerpresse aufgestellt worden.

Gemeinsam mit einem wohlhabenden Nürnberger Patrizier, dem Instrumentenbauer Bernhard Walther (1430–1504), der ein Liebhaber der Astronomie war, entfaltete Regiomontan in Nürnberg eine lebhafte Tätigkeit. Sie errichteten eine eigene Druckerei, besaßen eine Werkstatt zur Herstellung astronomischer Instrumente, führten selbst astronomische Beobachtungen durch und gaben in wenigen Jahren wichtige wissenschaftliche Werke heraus, die weite Verbreitung und Anerkennung fanden.

Aus den widerspruchsvollen Aufzeichnungen über die Werkstatt geht hervor, daß dort ein Dreistab und ein Jakobsstab für eigene astronomische Messungen und darüber hinaus Astrolabe und tragbare Sonnenuhren verschiedener Ausführungen für den Verkauf angefertigt worden sind. Schon am 2. Juni 1471 beobachtete Regiomontan in Nürnberg eine Mondfinsternis und im Januar 1472 gemeinsam mit Walther einen Kometen. Sie bestimmten seine Abstände von benachbarten Fixsternen. Die Beobachtungen waren genau genug, um später Halley in den Stand zu setzen, die Bahn des Kometen zu berechnen.

Die Druckerei war nach Regiomontans eigener Anregung gegründet worden, um die beim Abschreiben häufig auftauchenden Schreibfehler, die sich bei Zahlen besonders störend bemerkbar machten, zu vermeiden. Regiomontan hat somit den Vorzug des Buchdrucks, von einem Werk wirklich identische Kopien herstellen zu können, richtig erkannt und für wissenschaftliche Zwecke ausgenutzt. Über die Erzeugnisse der Druckerei sind wir recht genau durch einen gedruckten Prospekt bzw. eine Verlagsanzeige unterrichtet, in der 1474 die bereits erschienenen, ebenso wie die im Druck befindlichen und geplanten Werke angeführt wurden. Diese Anzeige ist zugleich die erste Verlagsanzeige überhaupt, wenn man von einzelnen früher an anderen Orten erschienenen Flugblättern absieht. Die so erfolgreich begonnene Tätigkeit wurde unterbrochen, als Regiomontan im Jahre 1475 eine Reise nach Italien antrat, von der er nicht zurückkehren sollte.

Titelbild der „Epitome“ Regiomontans

Er starb im Alter von 40 Jahren am 6. Juli 1476 in Rom an einer Infektionskrankheit. Seine Pläne sind deshalb trotz der Bemühungen Walthers, der Werkstatt und Druckerei allein weiterbetrieben, auch nur teilweise zur Ausführung gelangt.

Als erstes Werk brachte die Druckerei das Lehrbuch von Georg Peuerbach „*Theoricarum novarum planetarum*“ sowie ein sehr beliebtes Buch des Marcus Manilius heraus, der ein Anhänger des Lukrez gewesen war und unter Augustus in Rom gelebt hatte. Zum Druck vorgesehen waren weiter die Hauptwerke von Ptolemäus, eine Ausgabe der „*Elemente*“ des Euklid, die Werke von Archimedes, die Schriften über Kegelschnitte von Apollonius, die Dreieckslehre von Menelaos, die Werke Herons, die „*Optik*“ von Witelo, die pseudo-aristotelischen Schriften über die Mechanik sowie weitere mathematische, astronomische und astrologische Schriften der Antike. Das Programm verdeutlicht, welch gründliche und umfassende Kenntnisse Regiomontan besaß und durch den Buchdruck zu verbreiten gedachte.

Unter den Erzeugnissen der Druckerei sind besonders die im Jahre 1474 erschienenen „*Ephemeriden*“ oder astronomischen Jahrbücher und der gleichfalls 1474 erschienene deutsche Kalender des Regiomontan von Bedeutung. Die „*Ephemeriden*“ („*Ephemerides*“, quas vulgo dicunt almanach at triginta duos annos“, Nürnberg 1474), ein umfangreiches astronomisches Tafelwerk in Quart mit mindestens 300 000 Zahlenangaben, enthalten für jeden Tag der Jahre 1475 bis 1506 Angaben über die Örter der Sonne, des Mondes und der fünf Planeten sowie Angaben über das Mondalter, die Stellung des Mondes zu den Planeten und der Planeten zueinander. Zum Schluß wird auf den Wert der Jahrbücher „für die vielseitige Tätigkeit des Arztes, für menschliche Geburt und ihre Zukunftsdeutung, für die Wettervorhersage, für den Beginn von Beschäftigungen . . . und die unzähligen anderen zivilen Tätigkeiten“ hingewiesen. Die „*Ephemeriden*“ waren die ersten gedruckten Jahrbücher. Sie waren wegen ihrer Zuverlässigkeit sehr verbreitet und wurden mehrfach nachgedruckt. Nachweislich sind sie von Kopernikus, Christoph Kolumbus und Amerigo Vespucci benutzt worden.

Der Kalender Regiomontans war mindestens ebenso interessant. Er ist in einer deutschen und in einer lateinischen Ausgabe gedruckt worden und fand eine noch weitere Verbreitung. Der Kalender galt für die Jahre 1475 bis 1530. Er enthält außer den Angaben der einzelnen Tage und ihrer Tagesbuchstaben nach dem christlichen und römischen Kalender zusätzlich Angaben über den Lauf von Sonne und Mond und über den Eintritt des Voll- und Neumondes auf Minuten genau. In einem Anhang findet sich ein Ortsverzeichnis mit Angabe der Längen- bzw. Zeitunterschiede gegen Nürnberg, eine Übersicht über die bevorstehenden Sonnen- und Mondfinsternisse, eine Tafel zur Berechnung der goldenen Zahl und der beweglichen Feste sowie der Tageslängen und schließlich

		. Merz.	Sonne	Monde
			fische	SG SG
1	d		20 3A	2 11 2 R
2	e	σ nō S. Simplex pabst	21 3G	2 2R 2 1A
3	f	γ nō	22 3G	3 A 3 0
4	g	ε nō S. Adrian martir	23 3γ	3 20 3 13
5	A	ζ nō	24 3γ	4 3 3 2G
6	b	η nō S. Victor martir	25 3R	4 1G 4 7
7	c	Non S. Perpetua ond felicitas	26 33	5 0 4 2Z
8	d	8 idʒ	27 3Z	5 13 5 4
9	e	9 idʒ	28 31	5 2G 5 18
10	f	10 idʒ	29 30	6 7 6 1
11	g	11 idʒ	Wider 0 29	6 22 6 14
12	A	12 idʒ S. Gregörg pabst	1 28	7 6 7 28
13	b	13 idʒ	2 2A	7 19 7 11
14	c	14 idʒ	3 2G	8 2 8 2R
15	d	Idus	4 2γ	8 14 8 A
16	e	1A kal Aprilis	5 2R	8 28 8 20
17	f	1G kal S. Gerdrud Junckfraw	6 23	9 11 9 3
18	g	14 kal	7 2Z	9 24 9 1G
19	A	12 kal	8 21	10 8 9 29
20	b	13 kal	9 20	10 21 10 12
21	c	12 kal S. Benedict abt	10 18	11 4 10 24
22	d	11 kal	11 1A	11 1A 11 8
23	e	10 kal	12 1G	0 0 11 21
24	f	9 kal	13 1γ	0 1R 0 2
25	g	8 kal Verkündung Marie	14 17	0 2A 0 1A
26	A	7 kal	15 12	1 10 1 1
27	b	6 kal	16 10	1 23 1 1R
28	c	5 kal	17 9	2 6 2 2A
29	d	4 kal	18 8	2 20 2 10
30	e	3 kal	19 7	3 3 2 23
31	f	2 kal	20 6	3 1G 3 6

eine Erklärung zur Konstruktion einer Sonnenuhr. (Der „Deutsche Kalender“ des Johannes Regiomontanus. Nürnberg um 1474. Faksimiledruck mit einer Einleitung von Ernst Zinner, Leipzig 1937.)

Der Kalender war den Bedürfnissen seiner Zeit so vorzüglich angepaßt, daß er später noch mehrfach nachgeahmt worden ist. Dabei wurde er allerdings entgegen der ursprünglichen Anlage durch astrologische Angaben ergänzt, so daß er sich unter dem Titel „Das große Planetenbuch“ zu einem Handbuch der Astrologie entwickelte, das von 1544 bis 1852 eine Unmenge von Auflagen erlebte und

fälschlicherweise immer noch Regiomontan zugeschrieben wurde. Der Erfolg des Werkes hat zugleich dazu beigetragen, die von Regiomontan erstmalig verwendeten deutschen astronomischen Ausdrücke, wie zum Beispiel „Sonnenuhr“ und „Finsternis“, allgemein zu verbreiten.

Im vorliegenden Zusammenhang sei besonders darauf hingewiesen, daß in diesem Kalender der geltende Julianische Kalender stillschweigend korrigiert worden ist. Der Frühlingsanfang ist am 11. März eingetragen und nicht am 21. März, wie es der Julianische Kalender verlangte. In der lateinischen Ausgabe ist sogar ein Abschnitt über die Fehler der kirchlichen Osterrechnung enthalten. Die Abweichungen konnten in ungünstigen Fällen mehrere Wochen betragen, was natürlich bei der Festsetzung landwirtschaftlicher Termine nach dem Osterfest zu Fehlern und Schäden führen mußte. Regiomontan fügte hinzu, daß bereits sein Gönner Bessarion Vorschläge zu einer Kalenderreform gemacht habe. Es ist sehr wahrscheinlich, daß Regiomontan 1475 zu einer geplanten Reform des Kalenders vom Papst nach Rom berufen worden ist. Die Kalenderreform kam aber nicht im 15. Jahrhundert, sondern erst 1582 zustande.

Nicolas von Cues

Die große Wende in der Astronomie haben Peurbach und Regiomontan somit noch nicht herbeigeführt. Sie haben sich sogar ausdrücklich gegen die Ansicht einer täglichen Drehung der Erde ausgesprochen. Trotzdem regten ihre kritischen Bearbeitungen des Werkes von Ptolemäus, ihre eigenen Rechnungen und astronomischen Messungen zu neuen Forschungen und Fragestellungen an und bereiteten damit Neues vor.

In ähnlicher Weise wirkten auch die philosophischen Werke des großen deutschen Gelehrten Nicolas von Cues, der den Weg nicht wie Peurbach und Regiomontan von der mathematischen und praktischen, sondern von der philosophischen und theoretischen Seite her bahnte.

Nicolas von Cues (1401–1464) ist kein Astronom gewesen, sondern ein Theologe, der in hohen, einflußreichen Kirchenämtern tätig war und im Konzilienstreit auf der päpstlichen Seite eine entscheidende Rolle spielte. Er knüpfte in seinen Schriften zur Philosophie der Mathematik und Astronomie an die scholastischen Überlieferungen an und kam sowohl zu einer klaren Formulierung der Relativität jeder Bewegung als auch im Anschluß an sein Nachdenken über den Kreis zu gewissen Schlußfolgerungen über das mathematisch Unendliche. In Verbindung beider Gedankenreihen äußerte er die Ansicht, daß das Universum unendlich oder, genauer gesagt, unbegrenzt sei und deshalb kein Zentrum habe. Die Erde,



IOHANNES de REGIO MONTE dictus
alias MÜLLERVS.

*Significis Mathematicus et de
 Re Typographica Norimbergensium*

*Optime meritis.
 Natus A. 1466. A. 6. Junij. Ipse. A. 1476. A. 6. Iulij. Aet. XXI.
 R. M. Scholtan Norim.*

Johannes Regiomontan



Nikolaus Kopernikus

so erklärte er weiter, sei deshalb weder das Zentrum der Fixsternsphäre noch irgendeiner anderen Sphäre und außerdem bewege sie sich, ohne daß wir es bemerkten, „da es jedem, ob er sich auf der Erde, auf der Sonne oder auf einem anderen Stern befindet, so vorkommen wird, als stehe er auf einem scheinbar unbeweglichen Mittelpunkt“ (vgl. Nicolas von Cues, „De docta ignorantia“, 1. II, cap. 12).

Nicolas von Cues hat außer philosophischen auch mathematische Werke und ein bedeutendes Werk über die Waage geschrieben, in dem er die experimentelle Methode darlegt und verwendet. Eine seiner ersten Schriften betraf die Kalenderreform und die Verbesserung der Alfonsinischen Tafeln; eine spätere Schrift über die Quadratur des Kreises widmete er Georg Peuerbach. Aber Nicolas von Cues ist über allgemeine, vage Andeutungen nicht hinausgekommen. Im Gebrauch theologisch-mystischer Analogien zur Erklärung natürlicher Erscheinungen blieb er durchaus mittelalterlich und unwissenschaftlich. Regiomontan hat deshalb die mathematische Spekulation des Cuesaners ganz entschieden abgelehnt.

Nicolas glaubte an die Existenz und die Bewegung der himmlischen Sphären ebenso wie an die eines zentralen Gebietes im Raum, um das sich die Fixsternsphäre bewege. Er schrieb weder den Planeten noch der Erde eine Drehung um die eigene Achse zu und vertrat keineswegs die Ansicht einer vollkommenen Gleichförmigkeit des Raumes. Es ist deshalb nicht richtig, Nicolas von Cues als einen Wissenschaftler im neuen Sinne des Wortes zu bezeichnen oder ihn gar als Vorläufer des Kopernikus anzusehen, wie es gelegentlich geschehen ist. Bei Nicolas von Cues begegnen wir aber einer geistigen Strömung, die von den philosophischen Grundlagen her die alten Schranken im Denken aufzuheben begann. Seine Gedanken über das Weltall haben weitergewirkt, besonders in solchen philosophischen Kreisen, die der Lehre Platons im Gegensatz zu der des Aristoteles zuneigten. Sie haben insbesondere Giordano Bruno entscheidend beeinflußt. Um den Übergang von dem geozentrischen zu einem heliozentrischen Weltbild, das seit der Antike als Möglichkeit in den Köpfen spukte, wirklich vollziehen zu können, bedurfte es eines Gelehrten, der zwar ebenso wie Peuerbach und Regiomontan bestrebt war, die Schwächen und Fehler der zeitgenössischen Astronomie zu überwinden, nicht aber dieselben engen Bindungen weltanschaulicher und beruflicher Art zur Astrologie besaß wie jene. Er mußte darüber hinaus auf dem Gebiet der neuen wissenschaftlich-mathematischen Einstellung dieselbe Weite des Denkens besitzen wie Nicolas von Cues in seiner theologisch-philosophischen Haltung. Solange sich die Kritik der Astronomen und Mathematiker nicht auch auf die Grundlagen der Astrologie bezog, kam der Schritt zur heliozentrischen Auffassung schon deshalb nicht in Frage, weil damit eben diese Grundlagen aufgehoben worden wären. Ebenso mußte jede Betrachtung über den Bau des Uni-

versums unfruchtbar bleiben, solange sie unkonkret blieb und sich das Ziel setzte, das Wesen Gottes statt die Natur zu ergründen. Es bedurfte darüber hinaus einer gesellschaftlichen und kulturellen Atmosphäre, die eine solche neue Denkweise ermöglichte und trug. Beide Voraussetzungen waren ein Menschenalter später unter den besonders günstigen und fortschrittlichen Bedingungen gegeben, die damals in Polen bestanden. Dem Denken seiner Zeitgenossen vorausseilend, vollzog Kopernikus den entscheidenden Schritt.

Neue Thesen über die Bewegung der Gestirne

Nikolaus Kopernikus (1473–1543) war drei Jahre alt, als Regiomontan starb. Ein Jahr vor der Entdeckung Amerikas bezog er die Universität Kraków (Krakau), wo man sphärische Trigonometrie und astronomische Rechentechnik nach den Büchern von Peurbach und Regiomontan unterrichtete.

Polen befand sich damals nach der Vereinigung mit Litauen in raschem wirtschaftlichem und kulturellem Aufstieg. Der deutsche Ritterorden hatte 1466 im Friedensvertrag von Torun (Thorn) die Ansprüche Polens anerkennen und einen großen Teil der abgetrennten Gebiete an Polen zurückgeben müssen. Durch den freien Zutritt Polens zum Meer entwickelte sich ein nationaler polnischer Markt, das Bürgertum erstarkte, und die Produktion stieg an. Der Humanismus fand verständnisvolle und begeisterte Vertreter, der Buchdruck breitete sich rasch aus, der Zustrom ausländischer Studenten an der Krakówer Universität wuchs.

Kopernikus war der Sohn eines Geschäftsmannes in Torun, das nach der Wiedervereinigung mit Polen als Handelsstadt aufgeblüht war, wobei auch der Vater mitgewirkt und offensichtlich mitverdient hat. Nach dem Tod des Vaters im Jahre 1483 sorgte ein Onkel mütterlicherseits, Lukas Watzenrode, ein Geistlicher, für die Ausbildung und das Fortkommen seines Neffen.

Lukas Watzenrode (1447–1512) stand auf der Seite des polnischen Staates. Er wurde 1479 Domherr in Frombork (Frauenburg) und 1489 Bischof von Warmia (Ermland), das zu den zurückerlangten polnischen Gebieten gehörte. Watzenrode war Humanist, hatte in Italien die Rechtswissenschaften studiert und zählte zu den führenden polnischen Staatsmännern. Nachdem Kopernikus einige Jahre in Kraków studiert hatte, nahm ihn der Onkel in seinen persönlichen Dienst bei der Verwaltungstätigkeit in Warmia und sandte ihn dann zu weiterer Ausbildung und zur Vorbereitung auf eine ihm zugedachte Stellung als Domherr in From-

bork nach Italien. Dem Wunsche seines Onkels entsprechend, studierte Kopernikus in Bologna und, nachdem er die Domherrenstelle in Polen angetreten hatte, in Padua Medizin und Kirchenrecht. Am 31. Mai 1503 erwarb er in Ferrara den Doktor des Kirchenrechts.

Zugleich aber setzte er in Italien seine bereits in Kraków begonnenen astronomischen Studien fort. Er erwarb und studierte die 1496 neu erschienene „Epitome in Almagestum“ (Auszug aus dem „Almagest“) von Peurbach und Regiomontan und führte als Gehilfe und Mitarbeiter des bekannten und fortschrittlichen italienischen Astronomen Dominico Maria di Novara (1454–1504) in Bologna astronomische Beobachtungen durch. Später hielt er in Rom astronomische Vorlesungen.

Um die nach der ptolemäischen Theorie zu erwartende scheinbare Vergrößerung der Mondscheibe im ersten und letzten Viertel nachzuprüfen, beobachtete er am 9. März 1497 eine Sternbedeckung durch den Mond und im Jahre 1500 eine Mondfinsternis. Er fand die theoretische Voraussage nicht bestätigt und wurde damit in seinen prinzipiellen Einwänden gegen die herrschende astronomische Lehre bestärkt.

Diese Einwände richteten sich zunächst gegen die zunehmende Unübersichtlichkeit und Kompliziertheit der ptolemäischen Astronomie, in der man die Abweichungen der Beobachtungen von den Berechnungen nur durch die Einführung immer neuer Hilfskreise und Exzentrizitäten korrigieren konnte. Schon von Alfons X. von Kastilien, der die Berechnung der nach ihm benannten astronomischen Tafeln veranlaßt und finanziert hatte, ist der Ausspruch überliefert worden, daß er die Himmel einfacher geordnet hätte, wenn er von Gott damit beauftragt worden wäre. Verstärkt wurden die Einwände dieser Art durch eine einflußreiche neoplatonische Richtung in der Philosophie, die im 16. Jahrhundert als Opposition gegen die herrschende aristotelische oder genauer gesagt, pseudoaristotelische Lehre der Scholastik beträchtlich an Boden gewann. Auch Dominico Maria di Novara war Anhänger des Neoplatonismus. Er betonte die Harmonie und Symmetrie des Universums und suchte im Bauplan der Natur nach einfachen, durchsichtigen Grundzügen oder Prinzipien.

Kopernikus ist, wie sich an seinen Werken nachweisen läßt, von dieser geistigen Strömung stark beeinflußt worden. Da sich die Suche nach Harmonie und Symmetrie bei ihm mit der Anerkennung von Tatsachen und praktischen Zielen verband, führte sie ihn nicht zu mystischen Spekulationen. Sie half ihm vielmehr, sich von den aristotelisch-scholastischen Vorstellungen zu lösen.

Nach Polen zurückgekehrt, war Kopernikus zunächst als persönlicher Sekretär und Arzt seines Onkels tätig, bis er 1510 sein Amt als Domherr in Frombork antrat. Es handelte sich dabei keineswegs um ein geistliches Amt, sondern um eine juristische oder Verwaltungstätigkeit, die ihn mit dem politischen Geschehen

seiner Zeit in enge Berührung brachte. Als der deutsche Ritterorden seine Angriffe gegen Polen wieder aufnahm, wurde Kopernikus während des sogenannten Reiterkrieges vorübergehend zum Kommandanten der Stadt und Burg Olsztyn (Allenstein) in Warmia (Ermland) ernannt. Er erwies sich als ein umsichtiger und konsequenter Anhänger Polens. Von seinen Interessen an staatlichen Angelegenheiten zeugte auch eine interessante Schrift über das Münzwesen, in der er die vielfach geübte Praxis der Münzverschlechterung als eine gefährliche und nicht zum Ziele führende finanzielle Maßnahme entschieden zurückwies. Seine astronomischen Studien hat Kopernikus unter diesen Umständen offenbar vielfach nur nebenbei betreiben können. Er ist nie Universitätsprofessor oder Berufsastronom gewesen.

Eine erste allgemeine Darstellung seiner neuen Ansichten verfaßte Kopernikus schon wenige Jahre nach seiner Rückkehr aus Italien, etwa im Jahre 1508, unter dem Titel „*Nicolai Copernici de hypothesibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus*“ („Kleiner Kommentar des Nikolaus Kopernikus über die von ihm aufgestellten Hypothesen über die Himmelsbewegungen“). Die Schrift wurde in wenigen Exemplaren vervielfältigt und nur privat an persönliche Bekannte von Kopernikus verteilt. Unter ihnen befanden sich aber sehr interessierte und einflußreiche Männer, und so wurden die neuen Anschauungen nicht nur in Polen, sondern auch über dessen Grenzen hinaus bekannt. In seiner Schrift wies Kopernikus zunächst auf die Unzulänglichkeiten der ptolemäischen Lehre hin, die nach seiner Ansicht vor allem darin bestanden, daß man sich gezwungen sah, den Gestirnen auf ihren Kreisbahnen statt einer konstanten eine ungleichförmige Geschwindigkeit zuzuschreiben. Vom Standpunkt der dieser Lehre zugrunde liegenden Annahme war das tatsächlich ein schwerwiegender, prinzipieller Mangel; denn einer der Gründe für die Bevorzugung der Kreisbahnen bestand ja gerade darin, daß man glaubte, nur auf solchen sei zeitlich unbegrenzt eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit möglich.

Der von Kopernikus gegen das ptolemäische System erhobene Haupteinwand läßt zweierlei erkennen: Erstens packte Kopernikus das Problem im Unterschied zu Peuerbach und Regiomontan nicht vom rein mathematischen und rechnerischen, sondern vom physikalischen und philosophischen, das heißt naturwissenschaftlichen Standpunkt her an, und zweitens hielt er dabei an den Prinzipien der aristotelisch-scholastischen Bewegungslehre fest. Weder in dieser ersten Schrift noch in seinem späteren Hauptwerk findet sich eine prinzipielle Kritik der überlieferten Bewegungslehre.

Seine neuen Ansichten formulierte Kopernikus in sieben Postulaten oder Thesen, die es ermöglichen sollten, „die Gleichmäßigkeit der Bewegung“ zu wahren. Die drei ersten Postulate beziehen sich auf den Mittelpunkt des Universums und verlegen ihn in die „Umgebung der Sonne“. Das vierte Postulat erklärt den

Abstand zwischen Erde und Sonne als verschwindend klein gegenüber dem Abstand zwischen Erde und Fixsternsphäre und vergrößert damit das Universum ganz wesentlich gegenüber den üblichen Vorstellungen. Die drei letzten Postulate schreiben der Erde eine tägliche Drehung um ihre Achse und eine jährliche Kreisbewegung um die Sonne zu und erklären die Bewegungen der Fixsterne, der Sonne und die Schleifenbewegungen der Planeten für scheinbare Bewegungen.

Kopernikus hat sich mit diesen Feststellungen nicht begnügt. Sein Ziel bestand darin, auf Grund dieser Postulate eine der ptolemäischen ebenbürtige vollständige Theorie der himmlischen Bewegungen auszuarbeiten und bis zur Berechnung neuer, verbesserter astronomischer Tafeln vorzudringen.

Das war nicht nur eine schwierige, sondern auch eine sehr umfangreiche Arbeit, die ihn bis an sein Lebensende in Anspruch nehmen sollte, ohne daß er sie ganz abschließen konnte. Sie verlangte nicht nur zeitraubende Rechnungen, sondern auch deren Vergleich mit allen ihm zugänglichen früheren Messungen der Stellung der Gestirne und zur Ergänzung die Durchführung eigener astronomischer Beobachtungen. Es ist verständlich, daß Kopernikus unter diesen Umständen jahrzehntelang an seinem Hauptwerk gearbeitet hat und dessen Veröffentlichung immer wieder hinauszögerte. Es wäre vielleicht nie erschienen, wenn ihm nicht Hilfe von außen gekommen wäre.

Georg Joachim Rhetikus

Die Kunde von der neuen, Aufsehen erregenden Lehre gelangte auch an die Universität Wittenberg, die damals als wissenschaftliches Zentrum der deutschen Reformation europäische Bedeutung erlangt hatte, und bewog dort den 25jährigen Professor der Mathematik und Astronomie, Georg Joachim Rhetikus, zu Kopernikus nach Frombork zu reisen, um das Neue an der Quelle zu studieren. Joachim Rhetikus (1514–1576), dessen Name von seiner Herkunft aus dem Rhaeticon (Vorarlberg) abgeleitet ist, hatte in Zürich und Wittenberg studiert und sich anschließend in Nürnberg aufgehalten, dessen Bedeutung für die Wissenschaft und den Buchdruck durch das Wirken von Regiomontan noch gewachsen war. Er hatte dort in Johann Schöner (1477–1547), einem Schüler von Regiomontans Mitarbeiter Bernhard Walther, einen sachkundigen Astronomen und Lehrer gefunden. Schon 1537 war Rhetikus durch Vermittlung Melancthons auf eine zusätzliche Professur für Mathematik an die Universität Wittenberg berufen worden.

Vor der Abreise nach Polen suchte er noch einmal Johann Schöner in Nürnberg

auf. „Dabei“, so schrieb er ein Jahr später, „begann ich zum ersten Mal einzusehen, welche Mühe und Arbeit es sein werde, diese Königin der Wissenschaft, die Astronomie, wie sie es verdient hätte, wieder in ihr Reich einzusetzen und die Pracht ihrer Herrschaft wiederherzustellen“ (vgl. Georg Joachim Rhetikus: Erster Bericht über die 6 Bücher des Kopernikus von den Kreisbewegungen der Himmelsbahnen. Übersetzt und eingeleitet von Karl Zeller, München und Berlin 1943, S. 82).

Man kann wohl daraus schließen, daß er in Nürnberg in seinem Vorhaben bestärkt, wenn nicht gar dazu angeregt worden ist, womit der Zusammenhang von Peuerbach und Regiomontan über deren Schüler zu Kopernikus auch direkt hergestellt wäre.

In Frombork wurde Rhetikus von Kopernikus mit offenen Armen aufgenommen und in die Grundlagen der neuen Lehre und den Stand der Arbeiten eingeführt. Rhetikus ist bis auf einen kurzen Aufenthalt 1540 in Wittenberg fast zwei Jahre in Frombork geblieben und hat in dieser Zeit Kopernikus beim Abschluß seines Werkes tatkräftig unterstützt. Schon zehn Wochen nach seiner Ankunft verfaßte er für Johann Schöner in Nürnberg einen umfassenden Bericht über das neue System, der 1540 in Gdansk, dem damaligen Danzig, anonym und 1541 in Basel unter Nennung des Namens von Rhetikus gedruckt worden ist. Er trug den Titel „De libris revolutionum . . . Nicolai Copernici . . . Narratio prima“ („Erster Bericht . . . über die Bücher von den Umläufen . . . des Kopernikus“) und machte die neue Lehre schnell in der ganzen gelehrten Welt bekannt. Das Werk ist später als Anhang zu dem Hauptwerk des Kopernikus wie auch an anderen Stellen wiederholt veröffentlicht worden.

In der Einleitung der „Narratio prima“ berichtete Rhetikus, daß Kopernikus, den er mit Regiomontan und Ptolemäus gleichstellte, ein Werk in sechs Büchern geschrieben habe, „in denen er in Nachahmung des Ptolemäus, eines nach dem anderen mathematisch und geometrisch darlegend und beweisend, die ganze Astronomie dargelegt hat“ (vgl. G. J. Rhetikus, a. a. O., S. 31). In der Darstellung des Inhalts begann er aber keineswegs mit den grundlegenden neuen Anschauungen, sondern mit einer Behandlung der von Kopernikus erzielten Fortschritte in der beobachtenden und berechnenden Astronomie, das heißt in den damals so brennenden Fragen der Präzession der Äquinoktien, der Länge des tropischen Jahres, der Schiefe der Ekliptik und der Theorie des Mondes, also in Fragen, die mit der Verbesserung des Kalenders unmittelbar zusammenhingen. Dabei war von der neuen Lehre über die Bewegung der Erde zunächst noch gar nicht die Rede. Kopernikus wurde ganz unabhängig von seinen Anschauungen als ein hervorragender Astronom ausgewiesen. Fast könnte man annehmen, Rhetikus habe die in dieser Richtung liegenden Leistungen von Kopernikus für das Wichtigste und Bemerkenswerteste gehalten.

Die Grundlage des heliozentrischen Systems brachte Rhetikus ganz beiläufig am Schluß des Abschnittes über die Bewegung des Mondes. Im Anschluß daran wies er auf die Schwächen und Unzulänglichkeiten der ptolemäischen Astronomie hin, um erst nach dieser Vorbereitung die neue „Einteilung des Weltalls“ mit folgenden Worten zu schildern:

„Zuerst stellte er (Kopernikus, d. Verf.) nach Überwindung nicht geringer Schwierigkeiten durch eine Hypothese fest: Die Fixsternsphäre, die wir gewöhnlich die achte nennen, ist von Gott deswegen geschaffen, daß sie der Wohnsitz sei, der in seiner Wölbung die ganze Natur umfaßt; er hat sie daher als den Ort des Alls fest und unbeweglich begründet. Und da eine Bewegung nur durch Vergleich mit irgend etwas Festem wahrgenommen wird, wie die Seefahrer, wenn keine Länder mehr, nur Himmel ringsum und ringsum Meer sichtbar sind, im windstillen Ozean keine Bewegung des Schiffes bemerken, obwohl sie mit so großer Geschwindigkeit fahren, daß sie in einer Stunde sogar einige große Meilen durchmessen, ebenso hat Gott, um unseretwillen freilich, dieses Rund mit so vielen strahlenden Kügelchen ausgeschmückt, daß wir an ihnen, die ohne Zweifel an ihrem Platz festhaften, die Lage und Bewegungen der anderen darin enthaltenen Sphären und Planeten wahrnehmen. Ferner hat Gott, was gewiß hiermit übereinstimmt, in die Mitte dieses Schauplatzes die Sonne, die in göttlicher Majestät erstrahlt, gestellt als seinen Statthalter in der Natur und Herrscher des Weltalls. damit ‚schreiten nach ihrem Takt die Götter beim Tanz, und das All sich beugt‘ dem Gesetz, das sie gibt, und lauf‘ die gebotenen Bahnen‘.

Die übrigen Bahnen aber sind in folgender Weise verteilt: Den ersten Platz unter dem Firmament oder der Sternsphäre hat die Bahn des Saturn erhalten, in der die des Jupiter, dann die des Mars enthalten sind.

Die Sonne ist aber von der Kreisbahn des Merkur und dann der der Venus umgeben, so daß sich die Mittelpunkte der fünf Planetenbahnen in der Umgebung der Sonne befinden. Aber da zwischen dem konkaven Umfang der Mars- und dem konvexen der Venusbahn ein hinreichend weiter Raum übrig ist, wird die Erdkugel mit den zugehörigen Elementen, umgeben von der Bahn des Mondes, von einer großen Bahn, die in sich die Bahnen des Merkur und der Venus und ebenso die Sonne einschließt, herumgeführt, so daß sie nicht anders als einer von den Sternen unter den Planeten ihre eigene Bewegung ausführt“ (vgl. G. J. Rhetikus, a. a. O., S. 62/63).

Im nächsten Abschnitt seines ausführlichen Berichtes über die Lehren des Kopernikus ging Rhetikus dann auf die Bewegungen der „Erdkugel“ ein, „auf der wir sesshaft sind“. Kopernikus nahm drei solcher Bewegungen an. „Denn“ – so schreibt Rhetikus – „nachdem er die allgemeine Verteilung der Welt, wie sie eben dargelegt worden ist, angenommen hatte, hat er festgestellt, daß erstens die mit ihren Polen von der Bahn des Mondes eingeschlossene Erde, da Gottes

Wille es so fügte, wie ein Kügelchen am Dreheisen durch Drehung ihrer eigenen Kugel von West nach Ost, je nachdem sie sich der Sonne zuwendet, Tag und Nacht erzeugt und den Sterblichen eine Seite des Himmels nach der anderen vorführt,

daß zweitens der Mittelpunkt der Erde mit dem, was mit ihr verbunden ist, das heißt den Elementen und der Bahn des Mondes, von der „großen Bahn“, an die wir uns wieder erinnern, gleichmäßig in der Ebene der Ekliptik in der Reihenfolge der Zeichen herumgeführt wird,

daß drittens der Äquator und die Achse der Erde eine drehbare Neigung zur Ekliptikebene haben und gegen die Richtung der Bewegung des Mittelpunktes zurückgedreht werden, so daß, wo sich auch der Mittelpunkt der Erde befinden mag, der Äquator und die Pole der Erde wegen dieses Verhaltens der Neigung der Erdachse und wegen der Unermeßlichkeit des Fixsternhimmels immer fast nach denselben Punkten der Welt zeigen“ (vgl. G. J. Rhetikus, a. a. O., S. 67).

Während die ersten beiden Bewegungen der Erde ohne weiteres klar und verständlich sind, erscheint die dritte dem modernen Leser zunächst unverständlich, da uns heute die Vorstellung eines leeren Raumes, in dem die Erdachse eine konstante oder nahezu konstante Richtung hat, selbstverständlich ist. Eben diese Vorstellung wurde aber erst mit der Entwicklung der neuen Astronomie und Mechanik herausgebildet. Da sie Kopernikus noch fehlte, bezog er die Lage der Erdachse zunächst auf die Ebene oder genauer gesagt, auf die „Scheibe der großen Bahn“ der Erde; dabei mußte er der Erde relativ dazu eine Bewegung zuschreiben. Es ist sehr bemerkenswert, daß klarere Vorstellungen zuerst von Gelehrten entwickelt worden sind, die wie Simon Stevin und Galileo Galilei zugleich bedeutende Mechaniker waren.

Rhetikus zeigt in dem Bericht dann ausführlich, daß die tägliche Drehung der Erde die sogenannte erste Bewegung der Gestirne, das heißt die scheinbare tägliche Drehung des ganzen Himmels, erklärt; die jährliche Bewegung der Erde die sogenannte zweite Bewegung, das heißt die scheinbare Bahn der Sonne und die Schleifenbewegungen der Planeten; und die dritte Bewegung der Erde den Wechsel der Jahreszeiten und das Vorrücken der Äquinoktien. Rhetikus sagte mit Recht:

„Durch die Annahme einer bewegten Erde sind alle diese Erscheinungen gleichsam mit einer goldenen Kette aufs herrlichste miteinander verknüpft, und so beweist jeder Planet durch seine Lage, durch seine Anordnung und durch jede Ungleichmäßigkeit seiner Bewegung, daß sich die Erde bewegt und daß wir infolge der verschiedenen Lagen der Erdkugel, auf der wir festhaften, uns einbilden, daß jene in den verschiedenartigen Eigenbewegungen herumirren“ (vgl. G. J. Rhetikus, a. a. O., S. 84).

Die Ungleichmäßigkeiten allerdings, wie sie vor allem bei der Bewegung des

Mars auffallen,¹ vermochte die neue Lehre zunächst noch nicht zu erklären. Wie wir heute wissen, ergeben sie sich daraus, daß sich die Planeten auf Ellipsen und nicht auf Kreisen bewegen. So sah sich Kopernikus gezwungen, auch weiterhin Exzenter und Epizyklen in seiner Astronomie beizubehalten.

Rhetikus, der zu Anfang seiner „Narratio prima“ berichtete, er habe zunächst nur die drei ersten Bücher des Werkes seines Lehrers durchgearbeitet und die restlichen nur durchgesehen, behielt sich deren Beschreibung für einen zweiten Bericht vor. Die Abfassung ist aber unterblieben, vielleicht, weil drei Jahre nach Erscheinen der „Narratio prima“ das Werk von Kopernikus selbst vorlag.

Trotzdem ist die „Narratio prima“ nicht nur für die Verbreitung der neuen Astronomie, sondern auch für die erste Beurteilung der neuen Lehre und damit für ihre Aufnahme im Kreis der Astronomen von großer Bedeutung gewesen. Da Rhetikus die von Kopernikus erzielten Verbesserungen in der berechnenden Astronomie an den Anfang seines Berichtes gestellt hatte, lenkte er die Aufmerksamkeit der Astronomen gerade auf diese Punkte und trug so dazu bei, daß diese Verbesserungen unabhängig von den ihnen zugrunde liegenden Hypothesen allgemein anerkannt und übernommen wurden.

Ebenso trugen die wohlüberlegten Sätze, mit denen Rhetikus die Arbeitsweise von Kopernikus schilderte, sicher dazu bei, daß man wenigstens in den Kreisen der Wissenschaftler die neue Lehre nicht einfach verlachte und verspottete, ganz unabhängig davon, ob man ihr zustimmte oder nicht. Rhetikus schrieb: „Der Herr Doktor, mein Lehrer, hat aber die Beobachtungen aller Zeitalter mit seinen eigenen der Reihe nach oder in Verzeichnissen gesammelt und hat sie immer zur Einsichtnahme bei sich. Wenn dann irgendwelche Feststellungen getroffen oder wissenschaftliche Lehrsätze aufgestellt werden sollen, schreitet er von jenen ersten Beobachtungen bis zu seinen eigenen fort und wägt genau ab, in welcher Richtung Übereinstimmung zwischen ihnen allen bestehen könnte. Weiter beurteilt er die Schlüsse, die er unter Leitung der Göttin Urania richtig daraus gezogen hat, nach Ptolemäus und den Hypothesen der Alten, und nachdem er sie mit größter Sorgfalt gründlich geprüft und gefunden hat, daß diese Hypothesen unter dem Zwang des astronomischen Naturgesetzes verworfen werden müssen, stellt er gewiß nicht ohne göttliche Eingebung und Geheiß der Himmlichen neue Hypothesen auf. Darauf stellt er unter Anwendung der Mathematik auf geometrischem Wege fest, was man aus solchen Annahmen für stichhaltige Folgerungen ableiten kann, und schließlich wendet er die Beobachtungen der Alten und seine eigenen auf die angenommenen Hypothesen an, und erst dann, wenn er alle diese genannten Arbeiten zu Ende geführt hat, schreibt er endlich die Gesetze der Astronomie nieder“ (vgl. G. J. Rhetikus, a. a. O., S. 82/83).

Diese Darstellung weist Kopernikus als einen unabhängigen Denker aus, der die überlieferten Tatsachen und die alte Theorie beherrschte und sorgfältig

prüfte; sie unterstreicht sein wissenschaftliches Vorgehen, bei dem er sich weder auf Eingebungen und Offenbarungen noch auf Autoritäten berief, sondern auf Beobachtungen und Messungen. Eben das unterscheidet die Ansichten Kopernikus' grundsätzlich von der idealistischen Philosophie Platons, der erklärt hatte, die Bewegungen der Gestirne und ihre Geschwindigkeiten könnten nur durch den Verstand und das Denken, nicht aber durch das Gesicht erfaßt werden. Sie weisen Kopernikus (und Rhetikus) als Vertreter einer neuen Naturauffassung aus, die sich von der mittelalterlichen und der antiken, idealistischen Naturlehre grundsätzlich unterscheidet.

Kopernikus gehört durch seine epochemachende wissenschaftliche Leistung der ganzen Welt. Deutsche Chauvinisten, die bekanntlich gerade dem polnischen Volk jede Befähigung zu wissenschaftlichen und kulturellen Leistungen abgesprochen haben und heute noch absprechen, waren eben deshalb bemüht, die rein deutsche Abstammung von Kopernikus nachzuweisen. Im Konzentrationslager Buchenwald befand sich ein polnischer Lehrer, der nur deshalb verhaftet worden war, weil er ein Buch geschrieben hatte, in dem er nachwies, daß Kopernikus ein Pole war.

Tatsache ist, daß Kopernikus in seiner Amts- und Verwaltungstätigkeit das bis 1772 polnische Warmia gegen die Angriffe des deutschen Ritterordens verteidigte, daß er von Melanchthon, der seine Lehre ablehnte, verächtlich als Sarmate, das heißt als Angehöriger eines östlichen Volksstammes, bezeichnet wurde, und daß Kopernikus gerade auf polnischer Seite Mittel und Möglichkeiten fand, sein großes Werk auszuarbeiten. Der polnische Katholik wurde dabei von dem deutschen Protestanten Joachim Rhetikus, dem deutschen Katholiken Nikolaus Schönberg, Kardinal von Capua (1472–1537), und dem polnischen Katholiken Giese, Bischof von Chelmno (Kulm), unterstützt. Diese fruchtbare wissenschaftliche Zusammenarbeit über die Unterschiede des Glaubens und der Nationen hinweg hat zum Abschluß des Werkes entscheidend beigetragen.

Die Bücher „Über die Umläufe“

Nach der Veröffentlichung des Berichtes von Rhetikus entschloß sich der alternde Kopernikus auf Drängen seiner Freunde, vor allem Tidemann Gieses, sein Werk abzuschließen und herauszugeben. Rhetikus fertigte eine Abschrift an und brachte sie im Frühjahr 1542 dem Drucker und Verleger Johann Petreius nach Nürnberg. Die Herausgabe des Werkes übertrug er dem lutherischen Prediger Andreas Osiander, nachdem er selbst im November 1542 eine Professur für Mathematik an der Universität Leipzig angetreten hatte. Kopernikus selbst hat

noch kurz vor seinem Tode (er starb am 24. 5. 1543) ein erstes Exemplar des Buches in den Händen gehabt. Eine von Kopernikus angefertigte Abschrift, die noch mehrere nach der Abreise von Rhetikus entstandene Verbesserungen und Ergänzungen enthält und Rhetikus von Tidemann Giese nachgeschickt wurde, befindet sich heute im Besitz der Jagiellonischen Bibliothek in Kraków.

Das Hauptwerk von Kopernikus erschien gedruckt unter dem Titel „De revolutionibus orbium coelestium libri VI“ (wohl am besten zu übersetzen mit „Sechs Bücher über die Umläufe der Himmelsphären“). Die Worte „orbium coelestium“ sind wahrscheinlich von dem Herausgeber oder Verleger hinzugefügt worden. Die auch in der letzten deutschen Ausgabe beibehaltene ältere deutsche Übersetzung „Die Kreisbewegungen der Himmelskörper“ ist insofern ungenau, als Kopernikus das lateinische Wort *orbis*, wie Edward Rosen nachgewiesen hat, im Sinne von Sphäre oder Kreis, niemals aber im Sinne von Himmelskörper oder Gestirn gebrauchte. Die Frage, ob den Sphären eine reale Existenz zukommt oder ob sie nur als geometrische Ausdrücke zu verstehen sind, hat Kopernikus in allen seinen Schriften offengelassen. Da Kopernikus aber auch die Erdbahn als „*orbis magnus*“ bezeichnete, erlangte das Wort *orbis* mit der Durchbildung der neuen Astronomie allmählich die Nebenbedeutung „Kreisbahn“. Später verschwand es schließlich ganz aus dem Sprachgebrauch.

Das Werk beginnt mit einer inhaltsreichen und daher oft besprochenen Widmung an Papst Paul III., die Kopernikus wenige Monate vor seinem Tod niedergeschrieben hat. In „kräftiger, aus der innersten Überzeugung hervorbrechender, freier Sprache“, wie Alexander von Humboldt formulierte (A. v. Humboldt: Kosmos, Bd. 2, Stuttgart und Tübingen 1847, S. 347), weist Kopernikus von vornherein etwaige Angriffe von „Schwätzern“, die „es wagen sollten, wegen einer Stelle der Schrift, die sie zugunsten ihrer Thesen übel verdreht haben, dieses mein Werk zu tadeln und anzugreifen“, ganz entschieden zurück. Er führt in diesem Zusammenhang den Kirchenvater Lactantius an, den er als einen berühmten Schriftsteller, aber schwachen Mathematiker bezeichnet, der die Kugelform der Erde bestritten hatte, und schreibt: „Mathematische Dinge werden für Mathematiker geschrieben“ (Nicolaus Copernicus: Die Kreisbewegungen der Himmelskörper, Berlin 1959, S. 15), womit er offensichtlich unterstreichen will, daß deren Beurteilung Fachkenntnisse voraussetzt. Das Wort „Mathematik“ wird von Kopernikus in ganz breiter Bedeutung gebraucht und schließt damit auch die Astronomie, Optik, Geodäsie und Mechanik ein.

In der gleichen Widmung berichtet Kopernikus, daß er angesichts der Unzulänglichkeiten der ptolemäischen Astronomie sich die Mühe gemacht habe, „die Bücher aller Philosophen“, deren er habhaft werden konnte, „von neuem zu lesen, um nachzusehen, ob nicht irgendeiner einmal die Ansicht vertreten hätte, die Bewegungen der Sphären des Weltalls seien anders geartet, als diejenigen

annehmen, die in den Schulen die mathematischen Wissenschaften gelehrt haben“ (Nicolaus Copernikus, a. a. O., S. 11), und dabei auf die Ansicht von der bewegten Erde gestoßen sei. „Von hier also den Anlaß nehmend, fing auch ich an, über die Beweglichkeit der Erde nachzudenken“ (Nicolaus Copernicus, a. a. O., S. 12). Diese Angabe ist deshalb wichtig, weil sie den zweifachen Charakter im Denken der Renaissance deutlich hervortreten läßt: Man sucht die Weisheit in den antiken Schriftstellern und geht gleichzeitig weit über sie hinaus zu selbständigem Forschen und Nachdenken über.

Das Werk des Kopernikus besteht aus sechs Büchern. Es bringt im ersten Buch eine allgemeine Übersicht über das neue System, „so daß dieses Buch“, wie Kopernikus selbst in der Widmung an Paul III. schreibt, „gleichsam die allgemeine Verfassung des Universums enthält“. Darauf folgen zunächst eine Darstellung der Grundlagen der sphärischen Trigonometrie, so wie sie von Regiomontan entwickelt worden war, und in den fünf weiteren Büchern die astronomischen Rechnungen der Reihe nach für die Sonne, den Mond und die Planeten. Das Werk folgt damit in seiner Gliederung dem „Almagest“ von Ptolemäus. Die Berechnungen sind jeweils unter Verwendung alter und neuer Beobachtungsdaten bis zur Aufstellung von Zahlentafeln für die wichtigsten Parameter durchgeführt.

Kopernikus betont in seinem Werk wiederholt, daß sein heliozentrisches System das geozentrische an Harmonie und Symmetrie weit übertreffe, und hebt insbesondere die zentrale Stellung der Sonne hervor. Er schreibt darüber: „In der Mitte aber von allen steht die Sonne. Denn wer wollte diese Leuchte in diesem wunderschönen Tempel an einen anderen oder besseren Ort setzen als dorthin, von wo aus sie das Ganze zugleich beleuchten kann? Zumal einige sie nicht unpassend das Licht, andere die Seele, noch andere den Lenker der Welt nennen. Trismegistos bezeichnet sie als den sichtbaren Gott, die Elektra des Sophokles als den Allessehenden. So lenkt in der Tat die Sonne, auf dem königlichen Thron sitzend, die sie umkreisende Familie der Gestirne. Auch wird die Erde in keiner Weise um den Dienst des Mondes gebracht, sondern der Mond steht, wie Aristoteles in seinem Werk ‚De animalibus‘ sagt, mit der Erde in engstem Verwandtschaftsverhältnis. Indessen empfängt die Erde von der Sonne und wird schwanger mit jährlicher Geburt.

Wir finden also in dieser Anordnung eine bewunderungswürdige Symmetrie der Welt und einen festen, harmonischen Zusammenhang zwischen der Bewegung und der Größe der Bahnen, wie man ihn auf andere Weise nicht finden kann“ (Nicolaus Copernicus, a. a. O., S. 75).

Zweifellos kommen in der hohen Bedeutung, die hier der Sonne beigemessen wird, und im Unterstreichen der Harmonie und Symmetrie der Welt nach dem neuen System neoplatonische Ansichten zum Durchbruch. Über Platon auf die

Pythagoräer zurückgehend, vertrat diese philosophische Strömung ähnliche Ansichten.

Von weit größerer weltanschaulicher und wissenschaftlicher Bedeutung erwies sich allerdings die neue Stellung, die Kopernikus der Erde im Weltall zuschrieb. Diese war nun nicht mehr Mittelpunkt des Weltalls, sondern ein Planet unter anderen. Das Weltall hatte aufgehört, um der Erde willen zu existieren. Der Mathematiker bzw. der Astronom hatte die Menschheit und damit auch die Wissenschaft auf einen neuen Platz im Weltall gesetzt, auf dem sie sich erst neu orientieren mußten. Die Konsequenzen dieser Tatsachen sind Kopernikus selbst offensichtlich nicht voll bewußt gewesen und im allgemeinen erst in den kommenden Jahrzehnten klargeworden.

Kopernikus hat mit vielen anderen Naturwissenschaftlern gemeinsam, daß er die wissenschaftliche Arbeit nicht mit der Absicht betrieb, die Wissenschaft zu revolutionieren. Rhetikus hatte durchaus recht, wenn er in seinem „Ersten Bericht“ versicherte, daß es Kopernikus völlig ferngelegen hätte, aus einer Sucht nach Neuerungen von den Meinungen der früheren Forscher abzugehen, daß die Himmelserscheinungen und die mathematischen Beziehungen ihn vielmehr gezwungen hätten, gegen seinen Willen neue Annahmen zu machen.

Die Größe von Kopernikus liegt darin, daß er sich diesem Zwang der Tatsachen beugte, vor der revolutionären Tat nicht zurückschreckte und dem Neuen greifbare Gestalt gab. Es ist ein gewaltiger Unterschied, ob man wie Aristarch von Samos und andere antike Philosophen kühne Gedanken entwickelt bzw. wie Nicolas von Cues über das Unendliche nachdenkt, oder ob man wie Kopernikus unter Heranziehen aller inzwischen gesammelten Erfahrungen ein neues astronomisches System berechnet.

Dieses System war freilich noch keineswegs zu Ende geführt. Die neue Astronomie ist nicht wie Minerva in der griechischen Sage fertig gerüstet dem Haupt des Zeus entsprungen, sondern als ein unfertiger Entwurf entstanden, der noch manchen unnötigen Ballast der Vergangenheit aufwies. Die astronomischen und die mechanischen, physikalischen, weltanschaulichen und religiösen Vorstellungen der Zeit waren eng miteinander verbunden und aufeinander abgestimmt. Die Erneuerung der Astronomie mußte deshalb zu einer Umwälzung auch auf allen anderen Gebieten führen und konnte ihrerseits nur durch eine Umwälzung auf diesen anderen Gebieten zum Abschluß gebracht werden. Selbst auf dem Gebiet der Astronomie blieben noch viele Fragen offen. Es bedurfte insbesondere noch der Entdeckung neuer Tatsachen, um die heliozentrische Lehre zu sichern und in allen ihren Konsequenzen zu entwickeln und zu entfalten.

In der Gegenwart werden von bürgerlicher Seite in den Forschungen über Kopernikus besonders seine noch vorhandenen Bindungen an die Vergangenheit, sein Zurückbleiben gegenüber der nachfolgenden Entwicklung betont und untersucht.



Der Vorstoß in das unendliche Universum (deutscher Holzschnitt um 1530)

Herbert Dingle, ein führender bürgerlicher Philosophiehistoriker Englands, kommt auf dieser Grundlage, trotzdem er das Werk von Kopernikus als einen der großen Marksteine in der Wissenschaftsgeschichte einschätzt, zu folgendem Urteil: Das Werk des Kopernikus „bezeichnet nicht den Beginn einer neuen Epoche, sondern den logischen Abschluß der alten“ (Herbert Dingle: *The Scientific Adventure*. London 1952, S. 79).

Stephan F. Mason, Verfasser einer weitverbreiteten modernen Geschichte der Wissenschaft, schreibt: „Tatsächlich hatte Kopernikus die einfachste Antwort auf das griechische Problem der Erklärung der sichtbaren Himmelsbewegungen mit Hilfe kreisförmiger und gleichmäßiger Bewegungen gegeben. In dieser Methode lag nichts Neues. Sie wurde von den Astronomen seit Pythagoras benützt“ (Stephan F. Mason: *A History of the Sciences*. London 1953, S. 101).

Im gleichen Sinne schreibt E. J. Dijksterhuis: „Viel mehr als das Neue fällt in seinem (des Kopernikus', d. Verf.) Werk das Alte auf... In dem im Jahre 1543 erschienenen Werk des preußischen (! d. Verf.) Astronomen findet man, abgesehen von der Anwendung trigonometrischer Rechenarten, nichts, was nicht ebensogut im zweiten nachchristlichen Jahrhundert von einem Nachfolger des Ptolemäus geschrieben sein könnte“ (E. J. Dijksterhuis: *Die Mechanisierung des Weltbildes*. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1956, S. 320).

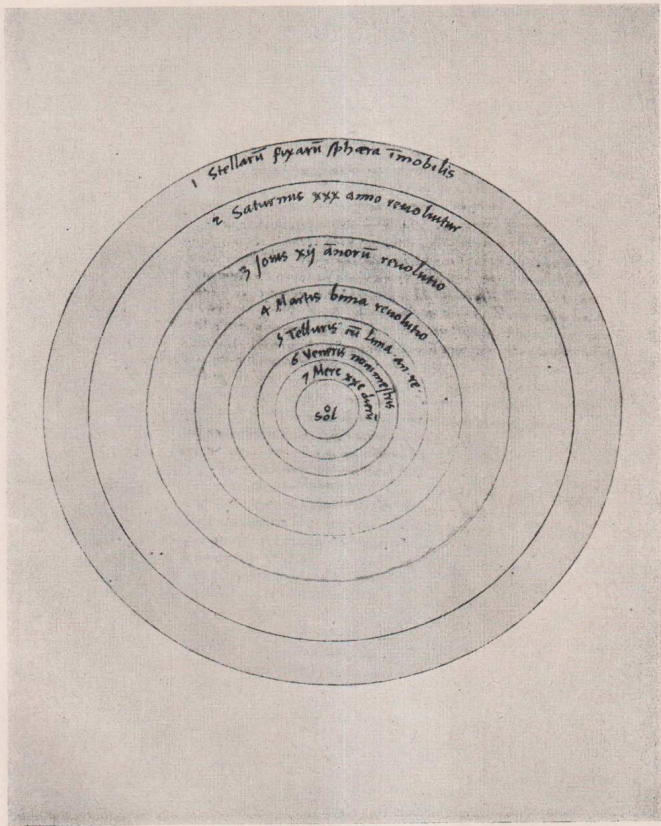
Bei diesen Beurteilungen bleibt ein wesentlicher und entscheidender Zug der neuen Lehre unberücksichtigt, auf den schon Rhetikus in seiner „Narratio prima“

hingewiesen hatte. An die Stelle zahlreicher isolierter Annahmen über die Bewegung der Sonne und der Planeten, die in jedem Einzelfall ad hoc erdacht werden mußten, war die neue Annahme von der bewegten Erde getreten, die diese unabhängig nebeneinanderstehenden Annahmen überflüssig machte. In der Widmung an den Papst hebt Kopernikus ausdrücklich hervor:

„Und so habe ich denn . . . endlich gefunden, daß, wenn die Bewegungen der übrigen Planeten auf den Kreislauf der Erde bezogen und dieser dem Kreislauf jedes einzelnen Gestirns zugrunde gelegt wird, nicht nur die Erscheinungen jener daraus folgen, sondern auch die Gesetze und Größe der Gestirne und all ihrer Bahnen und der Himmel selbst so zusammenhängen, daß in keinem seiner Teile ohne Verwirrung der übrigen Teile und des ganzen Universums irgend etwas verändert werden könnte.“ (Nicolaus Copernicus, a. a. O., S. 13.)

Zögernd und versteckt, im Gewand neoplatonischer Gedankengänge ist damit die Vorstellung umfassender Naturgesetze geboren und zugleich der prinzipielle Unterschied zwischen himmlischen und irdischen Erscheinungen aufgehoben worden. Beides aber lag zweifellos außerhalb der Vorstellungswelt der hellenistischen wie der christlichen Gelehrten und unterscheidet die neue Lehre grundsätzlich von allen früheren.

Über diesen sachlichen Unterschied hinaus übersehen die modernen Autoren bewußt oder unbewußt die bedeutenden weltanschaulichen Folgen des neuen Systems, besonders im Hinblick auf die Lehren der christlichen Religion und auf die Beziehungen zwischen Religion und Wissenschaft. Bei allem Festhalten an überlieferten Vorstellungen hat Kopernikus auf dem zentralen Gebiet der Vorstellung vom Universum eine revolutionäre Leistung vollbracht. Indem er die Grundlagen einer neuen theoretischen Astronomie schuf, hat er die Astronomie zu einer selbständigen Wissenschaft gemacht. Die Auswirkungen dieser Tat sollten nicht auf sich warten lassen. Engels beurteilt den Sachverhalt durchaus zutreffend, wenn er schreibt: „Der revolutionäre Akt, wodurch die Naturforschung ihre Unabhängigkeit erklärte und die Bullenverbrennung Luthers gleichsam wiederholte, war die Herausgabe des unsterblichen Werkes, womit Kopernikus, schüchtern zwar und sozusagen erst auf dem Totenbett, der kirchlichen Autorität in natürlichen Dingen den Fehdehandschuh hinwarf. Von da an datiert die Emanzipation der Naturforschung von der Theologie“ (Friedrich Engels: Dialektik der Natur. Berlin 1952, S. 9).



Das kopernikanische Weltsystem in der Darstellung des Kopernikus

Gegner im Lager der Reformation

Der Kampf um das neue Weltsystem begann schon mit seinem ersten Bekanntwerden. In Rom zeigte man sich dem Neuen gegenüber anfänglich aufgeschlossen. Im Jahre 1533 ließ sich Papst Clemens VII. von seinem Sekretär Johann Albrecht von Widmannstetter (1506–1557) die Grundzüge des neuen Systems vortragen und überreichte ihm dafür eine wertvolle griechische Handschrift als Geschenk. 1536 forderte Nikolaus Schönberg, Kardinal und Erzbischof von Capua, Kopernikus auf, eine Abschrift seines Hauptwerkes anfertigen zu lassen und ihm zuzusenden. Papst Paul III. verwahrte sich nicht gegen die Widmung der „De revolutionibus“. Die neue Lehre wurde in Rom noch nicht als eine religiöse oder Glaubensangelegenheit angesehen.

Anders verhielt sich das protestantische Lager. Unter den sehr viel zugespitzteren und engeren Verhältnissen in Deutschland war man hellhöriger und empfindlicher als in Rom. Hier hat man den latent vorhandenen Widerspruch zwischen der neuen Vorstellung vom Universum und den alten religiösen Lehren nicht übersehen und die neue Lehre zunächst rundweg abgelehnt. Noch vor Erscheinen des Hauptwerkes von Kopernikus erklärte Luther 1539 in einer seiner Tischreden: „Der Narr will die ganze Kunst astronomiae umkehren. Aber wie die Heilige Schrift anzeigt, so hieß Josua die Sonne stillstehen und nicht das Erdreich.“

Auch Melanchthon forderte schon 1541 staatliches Eingreifen: „Manche halten es für eine hervorragende Leistung, wenn sie verrückte Sachen machen, wie dieser sarmatische Sternforscher, der die Erde bewegt und die Sonne anhält. Wahrlich, weise Herrscher sollten die Zügellosigkeit der Geister zähmen“ (Ph. Melanchthon: *Opera quae supersunt omnia*. Vol. IV, S. 679, Braunschweig 1837). Es scheint unter diesen Umständen durchaus möglich, daß Kopernikus mit den

bereits zitierten Sätzen aus der Widmung an Paul III. über die Angriffe der „Schwätzer“ auf Luther und seinen Kreis angespielt hat, und daß diese Bemerkung ihrerseits die ablehnende Haltung der Protestanten verstärkte. Als nach dem Erscheinen des Hauptwerkes das neue System gerade in Wittenberg Zustimmung gefunden hatte, hat sich Melanchthon erneut dagegen ausgesprochen, indem er sich auf Bibelzitate berief.

Er bezeichnete die kopernikanische Lehre als „absurd“ und schrieb 1549: „Durch diese göttlichen Zeugnisse bestärkt, wollen wir die Wahrheit festhalten und nicht dulden, daß durch die Gaukeleien von Leuten, die es noch für eine Ehrensache halten, die Wissenschaften durcheinanderzubringen, die Wissenschaft verwirrt und wir von der Wahrheit abgezogen werden“ (Ph. Melanchthon: *Initia doctrinae physicae*. Wittenberg 1549).

Sein Schwiegersohn, der später als Kryptokalvinist abgesetzte und gefangen gehaltene Wittenberger Mathematikprofessor Kaspar Peucer, lehnte in seinem erstmalig 1551 erschienenen Lehrbuch der Astronomie die kopernikanische Lehre mit physikalischen und theologischen Argumenten entschieden ab.

Die protestantischen Wissenschaftler befanden sich somit in einer heiklen Lage. Rhetikus scheint sich gehütet zu haben, nach seiner Rückkehr aus Polen direkt für die neue Lehre einzutreten. Selbst in der „*Narratio prima*“ drückt er sich außerordentlich vorsichtig aus und schreibt nur: „Den Ptolemäus und seine Nachfolger liebe ich gleich wie meinen Herrn Lehrer von Herzen, weil ich ja in Wahrheit immer jene heilige Vorschrift des Aristoteles im Auge und Sinn habe: ‚Man muß beide lieben, aber sich auf die genaueren Forscher verlassen‘, wenn ich auch unwillkürlich fühle, daß ich doch mehr zu den Hypothesen meines Herrn Lehrers hinneige“ (G. J. Rhetikus, a. a. O., S. 87).

Als er, schon in Leipzig, von Mathias Lauterbach in Wittenberg einen Brief erhielt, in dem es hieß: „Wir werden den Kopernikus lieben und gegen die Angriffe und die Mißgunst der Übelwollenden verteidigen“, und in dem er gebeten wurde, einige Rechenfehler im Hauptwerk zu verbessern, hat Rhetikus nichts unternommen. Er wendete sich der Mathematik zu und hat noch vor Erscheinen der „*De revolutionibus*“ den trigonometrischen Teil des ersten Buches, ergänzt durch eine eigene Sinustafel, unter dem Titel „*De lateribus et angulis triangulorum tum planorum, tum sphaericorum libellus*“ („Büchlein über die Seiten und Winkel sowohl der ebenen wie der sphärischen Dreiecke“) herausgegeben. Trigonometrische Rechnungen beschäftigten ihn auch weiterhin und führten schließlich zur Herausgabe einer vollständigen Tafel aller 4 Winkelfunktionen auf 15 Stellen genau von $10''$ zu $10'$ fortschreitend.* Erst nach 1557, als Rhetikus

* Die Tafeln wurden erst 1596 mit finanzieller Unterstützung des Kurfürsten Friedrich IV. von der Pfalz von Valentin Otho, einem Schüler von Rhetikus, abgeschlossen und unter dem Titel „*Opus Palatinum de triangulis*“ von Bartholomäus Pitiscus (1561 bis 1613) im Jahre 1613 in Frankfurt herausgegeben. Die wenige Jahre später aufkommenden Logarithmen machten die Tafeln schnell überflüssig.

Leipzig verlassen hatte und in Kraków lebte, hat er sich wieder der Astronomie zugewendet, freilich ohne nennenswerte Ergebnisse.

Die Herausgabe des Hauptwerkes von Kopernikus war, wie bereits erwähnt, dem protestantischen Prediger Andreas Osiander (1498–1552), der später Professor der protestantischen Theologie in Königsberg wurde, übertragen worden. Dieser stellte dem Werk eine anonyme Vorrede voran, in der die neue Lehre als eine rein mathematische Hypothese bezeichnet wurde, der keine reale Bedeutung zukäme. In dem Vorwort Osianders heißt es wörtlich: „Es ist nämlich nicht erforderlich, daß diese Hypothesen wahr, ja nicht einmal, daß sie wahrscheinlich sind, sondern es reicht schon allein hin, wenn sie eine mit den Beobachtungen übereinstimmende Rechnung ergeben.“ Es schließt mit dem Satz: „Möge niemand im Betreff der Hypothesen etwas Gewisses von der Astronomie erwarten, da sie nichts dergleichen leisten kann“ (Nicolaus Copernikus: Über die Kreisbewegungen der Weltkörper. Übersetzt und mit Anm. von Dr. C. L. Menzzer, Leipzig 1939, S. 1/2).

Eine kurze Einleitung zum ersten Buch des Werkes von Kopernikus selbst, in der die Mängel und Unzulänglichkeiten des ptolemäischen Systems aufgeführt werden, wurde von den Herausgebern unterdrückt. Sie ist erstmalig 1854 veröffentlicht worden.

Die eigenmächtigen Änderungen Osianders wurden dadurch zur Fälschung, daß die Vorrede nicht von Osiander gezeichnet, sondern anonym veröffentlicht worden ist. Der unbefangene Leser mußte glauben, sie stamme von Kopernikus selbst. Es schien so, als nähme Kopernikus mit dieser Vorrede seine großartige und kühne neue Lehre wieder zurück, als reduzierte er das, was als Wahrheit über den Bau und die Harmonie des Weltalls im Werk selbst vorgetragen wurde, auf einen mathematischen Kunstgriff. Daß diese falsche Annahme tatsächlich aufkam, zeigt eine abfällige Bemerkung des französischen Mathematikers und Philosophen Pierre de la Ramé (1515–1572) aus dem Jahre 1569. Er warf Kopernikus vor, Hypothesen erdichtet zu haben, an die er selbst nicht glaubte, und bezeichnete es als „Unsinn, die Wahrheit der natürlichen Dinge mit falschen Ursachen zu beweisen“ (P. Ramus: *Scholarum Mathematicarum libri 31*. Basel 1569, S. 50).

Die Freunde von Kopernikus waren empört. Tidemann Giese erhob Protest beim Rat der Stadt Nürnberg und forderte von Rhetikus Unterstützung. In seinem Schreiben an Rhetikus vom 26. Juli 1543 heißt es: „Den Schmerz über den Verlust des Bruders und großen Mannes hätte ich durch Lesen des Buches, das ihn mir lebend wieder vorzuführen schien, ausgleichen können; aber gleich im Eingange bemerkte ich die Untreue und – Du bedienst Dich des rechten Ausdrucks – die Ruchlosigkeit des Petreius, die einen Unwillen, größer als die vorhergehende Traurigkeit, bei mir erregte. Denn wer möchte nicht ergrimmen über

eine so große, unter dem Schutze des Vertrauens begangene Schandtat? Doch ist sie vielleicht nicht sowohl diesem Drucker, der von anderen abhängig ist, als dem Neide eines Mannes zuzuschreiben, der vielleicht aus Schmerz darüber, von dem alten Bekenntnis ablassen zu müssen, falls dieses Buch Ruf erlangen sollte, die Einfalt des Druckers mißbraucht hat, um dem Werke das Vertrauen zu ihm zu entziehen. Damit aber derjenige nicht straflos ausgehe, der sich so durch fremden Betrug hat bestechen lassen, habe ich an den Senat in Nürnberg geschrieben und in dem Schreiben angegeben, was m. E. notwendig ist, um das Vertrauen zu dem Verfasser herzustellen“ (Nicolaus Copernikus, a. a. O., Leipzig 1939, Anm. S. 4). Wie aus der Fortsetzung des Briefes hervorgeht, hat Giese einen Umdruck der ersten Blätter gefordert und Rhetikus gebeten, eine neue Vorrede hinzuzufügen. Aber seine Bemühungen blieben erfolglos. Der Rat von Nürnberg erklärte sich außerstande, gegen den Drucker vorzugehen, und so enthielten auch spätere Ausgaben des Werkes das unterschobene falsche Vorwort.

Das Verdienst, den Betrug aufgedeckt zu haben, gebührt dem deutschen Astronomen Johannes Kepler. In seinem 1609 erschienenen Werk „Astronomia nova“ („Neue Astronomie“), das die Ableitung der beiden ersten nach ihm benannten Gesetze der Planetenbewegung enthält, antwortet er auf den oben erwähnten Vorwurf von Pierre de la Ramé folgendes: „Es ist ein sehr großer Unsinn, ich gebe es zu, die Natur aus falschen Ursachen zu erklären. Aber der Unsinn liegt hier nicht bei Kopernikus; denn auch er hat seine Hypothesen für wahr gehalten, ebenso wie jene Alten die ihren. Und er hat sie nicht nur für wahr gehalten, sondern auch als wahr erwiesen. Den Nachweis gebe ich mit diesem Buch.

Willst Du aber den Urheber dieses Unsinns, über den Du so erzürnt bist, wissen? Andreas Osiander ist in meinem Exemplar angegeben von der Hand des Hieronymus Schreiber in Nürnberg. Dieser Andreas, der die Ausgabe des Kopernikus überwachte, hat also selbst (wie aus seinem Brief an Kopernikus zu entnehmen ist) jene Vorrede, die Du sehr dumm nennst, er aber für sehr klug hielt, an die Spitze des Buches gesetzt. Kopernikus selbst war bereits tot oder wußte jedenfalls nichts davon. Kopernikus dichtet also nicht, sondern sagt allen Ernstes Unerhörtes, das heißt, er treibt Philosophie und das wünschest Du ja von Deinem Astronomen“ (J. Kepler: Neue Astronomie. Übersetzt und eingeleitet von Max Caspar, München-Berlin 1929, S. 4).

Das von Kepler erwähnte Exemplar der „De revolutionibus“ befindet sich heute im Besitz der Universitätsbibliothek der Karl-Marx-Universität Leipzig. Auf der Titelseite sind die Worte „Orbium coelestium“ durchgestrichen; auch ist eine Widmung des Petreius an Hieronymus Schreiber eingetragen. Die Überschrift der Vorrede ist handschriftlich ergänzt, so daß sie jetzt lautet: „Andreas Osiander ad lectorem de hypothesibus huius operis“ („Andreas Osiander an den Leser über die Hypothesen dieses Werkes“). Das Leipziger Exemplar enthält

darüber hinaus eine handschriftlich eingetragene Vorrede von Kepler in Form eines Dialoges aus dem Jahre 1598, in dem das Buch als sehr gut und gelehrt gerühmt und sein sorgfältiges, wiederholtes Studium angelegentlich empfohlen wird. Der Dialog schließt mit dem Wunsch, das Buch möge den Ruf seines Verfassers unter den Gelehrten verbreiten.

Anhänger und Gegner des kopernikanischen Systems haben seitdem das Betrugsmanöver Osianders verurteilt und Kopernikus die Ehrlichkeit seiner wissenschaftlichen Überzeugung zuerkannt. Um so auffallender ist es, wenn E. J. Dijksterhuis neuerdings eine Ehrenrettung und Rechtfertigung Osianders versucht, ja sich sogar zu der Behauptung versteigt: „Weiter ist es keineswegs klar, daß Osianders Vorrede von Kopernikus selbst mit der gleichen Entrüstung zurückgewiesen worden wäre, mit welcher dessen Freunde nach seinem Tode darauf reagiert haben“ (E. J. Dijksterhuis: Die Mechanisierung des Weltbildes, a. a. O., S. 330).

Dijksterhuis versteht die Äußerungen Osianders im Sinne des modernen Positivismus und glaubt, diesen verteidigen zu müssen. Er hält es weiter für ausgemacht, daß Osiander wie auch Kopernikus selbst die Diskussion über die neue Lehre auf den Kreis der „Berufsastronomen“ haben beschränken wollen. Beides scheint ausgesprochen unhistorisch gedacht.

Positivistisches Denken findet sich in der Geschichte der Naturwissenschaft immer dort, wo die Wissenschaftler keinen Ausweg sehen und reaktionäre Kräfte daran interessiert sind, den Fortschritt der Wissenschaft aufzuhalten. Letzteres trifft damals für Osiander und die hinter ihm stehenden Lutheraner, ersteres aber weder für Kopernikus, der ja gerade den neuen Weg gefunden und gewiesen hatte, noch für die ihm nachfolgenden Gelehrten zu.

Mit der zweiten Argumentation ist Dijksterhuis insofern im Recht, als Kopernikus, wie aus der Widmung seines Werkes hervorgeht, tatsächlich die „Schwätzer“ und die Beschränktheit der „Drohnen“ unter den Philosophen mehr fürchtete als die „Mathematiker“. In der gleichen Widmung aber heißt es stolz, daß „Gelehrte und Ungelehrte“ (docti atque indocti) sehen möchten, „daß ich durchaus niemandes Urteil scheue“. Von dem Wunsch, daß nur Gelehrte das Buch in die Hand nehmen möchten, kann somit bei Kopernikus keine Rede sein.

Nur dort, wo die neue Lehre ernst genommen wurde, hat sich die Astronomie weiterentwickelt. Als ihre weltanschaulichen und fachlichen Konsequenzen langsam klarer wurden, haben sich weder die Freunde noch die Feinde des Neuen durch die Vorrede täuschen lassen.

Nach dem ersten öffentlichen Aufsehen, das die neue Lehre hervorgerufen hatte, und nach den ersten Stellungnahmen führender kulturpolitischer Instanzen als Vorbote künftiger leidenschaftlicher Kämpfe und Auseinandersetzungen blieb die weitere Entwicklung der neuen Lehre zunächst den Astronomen überlassen. Das Werk von Kopernikus war weder in Fachkreisen noch in philosophischen Kreisen zu übersehen und wurde von den „Mathematikern“ aufmerksam studiert. Die Opposition gegen Aristoteles und die scholastische Naturlehre hielt das Interesse an dem neuen Weltsystem wach. 1566 und 1617 erschienen in Basel und Amsterdam neue Ausgaben des Hauptwerkes. Auch die „Narratio prima“ von Rhetikus wurde neu aufgelegt und dem Werk des Kopernikus beigefügt.

Die Situation gegen Ende des 16. Jahrhunderts wird deutlich an Hand einer Darstellung des großen holländischen Mathematikers und Ingenieurs Simon Stevin (1548–1620), der selbst ein überzeugter Anhänger der kopernikanischen Lehre war. In seiner Schrift „Van den Hemelloop“ bringt er 1608 zunächst eine Darstellung der Grundlagen der Astronomie nach der bisherigen Theorie und erst im letzten Teil die Lehre von der Bewegung der Erde mit folgender Begründung: „... denn obwohl sie (die Erde, d. Verf.) sich auf einem Kreis bewegt, wie die anderen Planeten, so lernt man die Anfangsgründe dieser Wissenschaft leichter nach dem Scheinbaren als nach dem Eigentlichen, wovon näher in der 7. Proposition des 3. Buches gesprochen werden soll. Was weitere Bewegungen betrifft, für welche die eigentliche Hypothese der bewegten Erde bequemer ist, so werde ich davon im obengenannten 3. Buch sprechen“ (The Principal Works of Simon Stevin, vol. III, Amsterdam 1961. S. 29).

Zwar nicht in der 7., aber in der 19. Proposition des 3. Buches – der Plan des Werkes ist während der Niederschrift geändert worden – geht Stevin dann ausführlich auf die Frage ein, warum er nicht nur und nicht von vornherein die „eigentliche“ Hypothese gebracht habe. Wenn man in einem fahrenden Schiff, so führt Stevin zum Vergleich an, eine Last um 10 Fuß nach rückwärts verlagern will, so versteht man die Angabe nach dem Schein, nämlich in bezug auf das bewegte Schiff; handelt es sich aber darum, einen Pfahl auf dem Grund des Wassers einzuschlagen, 10 Fuß hinter dem Schiff, so versteht man die Angabe im „eigentlichen“ Sinne, ob sich das Schiff nun bewegt oder nicht.

„So gibt es“ – fährt Stevin fort – „bei den Menschen zwei Arten zu sprechen und zu handeln: eine, die auf dem Schein, und eine, die auf dem Eigentlichen beruht, von denen man stets die zu wählen hat, durch die man das Vorhaben am besten verstehen und durchführen kann. Das zugegeben, so scheint es angebracht, auch in diesem astronomischen Werk dem Denken eine Grundlage in zwei Hypothe-

sen zu geben, einer scheinbaren und einer eigentlichen, je nach dem Gebot des Vorhabens, damit die Sache dadurch leicht verstanden werden kann; und zwar in der scheinbaren Hypothese beim Lernen der Anfangsgründe und beim Durchführen der oben beschriebenen Rechnungen, weil man die Worte dieses Gebietes auf der bewegten Erde gebraucht, als ob sie stillstände. So, wenn man von dem Aufgang der Weltlichter über den Horizont, vom Untergang unter den Horizont, der Ankunft im Meridian und dergleichen mehr spricht, die eigentlich ganz umgekehrt der Untergang und Aufgang des Horizonts und die Ankunft des Meridians bei den Weltlichtern sind, welche Worte dunkel wären; ja, die von Kopernikus selbst nicht gebraucht werden, obwohl sein vornehmstes Anliegen war, von der bewegten Erde zu schreiben. So, wie es im fahrenden Schiff nützlicher war, von seiner Bewegung abzusehen und sich zu verhalten, als ob es stillstände und das Scheinbare für das Eigentliche zu nehmen, so ist es in diesem Falle bequemer für das Lernen, von der Bewegung der Erde abzusehen und sich zu verhalten, als ob sie stillstände, indem man das Scheinbare für das Eigentliche nimmt. Aber wenn die Rede ist von der Bewegung in der Breite der Planeten Saturn, Jupiter, Mars, Venus und Merkur, wovon im folgenden gesprochen werden soll, dann ist es vernünftig (wie wenn der Pfahl ins Wasser gesenkt wird), bei seinen Rechnungen von Bildern auszugehen, die nach dem Gebot der eigentlichen Hypothese der bewegten Erde gezeichnet sind, weil wir dadurch besser zur Kenntnis der Ursachen der Bewegung in der Breite gelangen und weil die Auswirkungen für die erdichtete Hypothese einer festen Erde abgeleitet werden können, wie ich es hiernach beschreiben will“ (Simon Stevin, a. a. O., S. 211). Die Ausführungen zeigen, welches Umdenken die neue Lehre erforderte, und daß sie deshalb erst für schwierige theoretische Aufgaben herangezogen wurde.

Wir haben also eine ähnliche Situation vor uns wie heute in der Physik: Zunächst wird die sogenannte klassische Physik gelehrt, und erst in den höheren Studienjahren folgt das Studium der Relativitäts- und der Quantentheorie.

Man muß sich deshalb auch davor hüten, aus der Tatsache, daß ein Mathematiker und Astronom die „klassische Astronomie“ seiner Zeit vortrug, zu folgern, daß er die kopernikanische Astronomie abgelehnt habe. Diese blieb offenbar dem Studium der Fortgeschrittenen vorbehalten.*

Die gelegentlich geäußerte Vermutung, das kopernikanische System sei nur heimlich im Verborgenen gelehrt worden, ist in dieser naiven Form kaum aufrechtzuerhalten. Man muß zudem bedenken, daß sich das „Geheimnis“ kaum hätte wahren lassen.

* Entsprechendes gilt wohl auch noch bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts für das Studium und die Lehre der Mechanik nach Aristoteles bzw. nach den neuen Grundlagen durch Galilei und andere Gelehrte.

Stevin hat die Lehre des Kopernikus nicht kritiklos übernommen, sondern, wie bereits kurz erwähnt, durch den Hinweis, daß die Annahme einer dritten Bewegung der Erde überflüssig sei, weiterentwickelt. Indem er zum Vergleich das Verhalten einer Kompaßnadel heranzog, kam er zu dem Schluß, daß es „zweckmäßiger“ sei, diese Bewegung als Richtung oder ein „magnetisches Festhalten“ zu bezeichnen.

Das Eintreten Stevins für die kopernikanische Lehre blieb auf seiten der kalvinistischen Theologie nicht ohne Widerspruch. Im Erscheinungsjahr des Buches äußerte Ubbo Emmius (1547–1625), Rektor der Lateinschule und später erster Rektor der 1614 neu gegründeten Universität Groningen, ohne das Buch gelesen zu haben, die neue Lehre liefe darauf hinaus, den heiligen Geist, der die heilige Schrift inspiriert habe, der Lüge zu bezichtigen. Um so bemerkenswerter ist es, daß die Schrift Stevins als Teil eines allgemeinen Lehrbuches der Mathematik 1608 in Leiden mit höchster Unterstützung zugleich in niederländischer, französischer und lateinischer Sprache erscheinen konnte. Sie war aus dem Unterricht hervorgegangen, den Simon Stevin dem Prinzen Moritz von Nassau erteilt hatte. Sicher hat Simon Stevin auf diese Weise dazu beigetragen, daß das Hauptwerk von Kopernikus 1617, ein Jahr nachdem es auf den Index der katholischen Kirche gesetzt worden war, in Amsterdam in 3. Auflage erschien.

Außer in den Niederlanden hatte die neue Lehre Anfang des 17. Jahrhunderts auch in Deutschland und Italien Anhänger gefunden. Sie wurde unter anderem von Michael Maestlin (1550–1631) in Tübingen, dem Lehrer Keplers, vertreten und nach Galileis Angaben auch damals schon von ihm anerkannt.

Zugleich war das kopernikanische System selbst bereits weiterentwickelt und die Absicht des Kopernikus, auf der Grundlage seiner neuen Annahmen und seiner eigenen Beobachtungen bessere Tafeln zu berechnen, verwirklicht worden.

Den Anfang hatte Rhetikus mit der Trigonometrie gemacht. Sein Schüler Erasmus Reinhold (1511–1553), gleichfalls Mathematikprofessor an der Universität Wittenberg, unternahm es, auf der Grundlage der kopernikanischen Theorie neue Planetentafeln zu berechnen. Sie erschienen 1551 unter der Bezeichnung „Prutenicae tabulae coelium motuum“ („Preußische Tafeln der Himmelsbewegungen“). Herzog Albrecht von Preußen hatte unter der Bedingung, daß die Tafeln so benannt würden, die Herausgabe und den Druck finanziell unterstützt. Ein Hinweis auf das neue Weltsystem fand sich in den Tafeln allerdings nicht. Man bezog sich nur auf die neuen, von Kopernikus beobachteten und berechneten Bahnelemente. War damit die gefährliche neue Lehre auch fürs erste entschärft worden, so mußte das dadurch steigende Ansehen von Kopernikus als Astronom auf die Dauer dazu beitragen, auch seine für „absurd“ erklärte Lehre anzunehmen.

Die Pruthenischen Tafeln wurden 1571 von Maestlin in Tübingen und 1584 von

C. Strubius in Wittenberg neu herausgegeben. Sie stellten seit den Alfonsinischen Tafeln aus dem 13. Jahrhundert die ersten in Europa neu berechneten Tafeln dar. Mit ihnen war die erste Etappe in der Entwicklung der neuen Astronomie insofern abgeschlossen, als auf der neuen heliozentrischen Grundlage unter Beibehaltung der Kreisbewegung und unter Verwendung der alten Meßergebnisse die Theorie bis zur praktischen Anwendung durchgebildet worden war.

Die gregorianische Kalenderreform

Die neuen Tafeln wurden der von Papst Gregor XIII. 1582 durchgeführten Kalenderreform zugrunde gelegt – ein Beweis für ihre Überlegenheit und für die Anerkennung, die sie fanden. Die von Kopernikus ausgesprochene Hoffnung, daß sein Werk zur „Verbesserung des Kirchenkalenders“ beitragen möge, ist also in Erfüllung gegangen. Peurbach, Regiomontan und Bessarion hatten 100 Jahre früher noch erklären müssen, daß die Länge des Jahres zu ungenau bekannt sei und zu wenig sicher berechnet werden könne, um eine Kalenderreform durchführen zu können.

In dem auf Julius Cäsar zurückgehenden Julianischen Kalender ist die mittlere Jahreslänge auf $365\frac{1}{4}$ Tag festgelegt. Jedes vierte Jahr wurde ein Schaltjahr von 366 Tagen eingeschoben. Die Länge des tropischen Jahres, das heißt die Zeit von Frühlingspunkt zu Frühlingspunkt oder vom Schnittpunkt der scheinbaren Sonnenbahn mit dem Äquator im Frühling bis zum nächsten Schnittpunkt im Frühling beträgt jedoch 365,242199 Tage, das heißt, sie ist 11 min 14 s kürzer als das Kalenderjahr. Diese geringe Differenz hat im Kalender eine Verschiebung des Frühlingsanfanges nach rückwärts zur Folge, die in rund 128 Jahren einen Tag ausmacht. Der Frühlingsanfang ist im christlichen Kalender zugleich Ausgangspunkt für die Festlegung von Ostern und der anderen „beweglichen Feste“.* Im 16. Jahrhundert betrug die Differenz schon 10 Tage. Damit war eine Verbesserung des Kalenders, die in Europa erstmalig im 8. Jahrhundert vorgeschlagen worden war, dringend notwendig geworden. Die Konzile von Konstanz (1414–1418), von Basel (1431–1449) und das V. Lateranische Konzil (1512–1517) hatten die Frage behandelt, ohne zum Ziel gekommen zu sein. Erst unter Papst Gregor XIII. stand dank der Pruthenischen Tafeln die Länge des Jahres genau genug fest, um die Kalenderreform in Angriff nehmen zu können. Sie ging auf einen Vorschlag des italienischen Mediziners Luigi Lilio (gest. 1576) zurück und

* Der 1. Osterfeiertag fällt auf den 1. Sonntag nach dem 1. Vollmond nach Frühlingsanfang, der am 21. März eintreten sollte. Die Regel war so kompliziert festgelegt worden, um zu verhindern, daß Ostern mit dem jüdischen Passahfest zusammenfiel.

wurde von Christopher Clavius aus Bamberg (1537–1612), dem führenden Mathematiker des erst einige Jahre bestehenden Jesuitenordens, ausgearbeitet und durch ein neues Verfahren zur Berechnung des Osterfestes ergänzt. Der Vorschlag wurde einer Kommission von Theologen und Astronomen zur Begutachtung vorgelegt und mit einer päpstlichen Bulle 1582 in Kraft gesetzt.

Damit der Kalender wieder mit dem Stand der Gestirne übereinstimmte, sollte auf den 4. Oktober 1582 unmittelbar der 15. Oktober folgen. Um neue Differenzen zu vermeiden oder doch möglichst gering zu halten, wurde festgelegt, daß in Zukunft die nicht durch 400 teilbaren vollen Jahrhunderte keine Schaltjahre sein sollten. Die Differenz unseres heute noch geltenden Gregorianischen Kalenders gegenüber dem Sonnenjahr ist so gering, daß sie erst in rund 3330 Jahren auf einen Tag anwachsen wird.

Die gregorianische Kalenderreform ist zweifellos, vom wissenschaftlichen und praktischen Standpunkt aus betrachtet, eine vorzügliche Leistung und bezeugt den hohen Stand, den die rechnende Astronomie im 16. Jahrhundert in Europa erreicht hatte. Sie wurde trotzdem nicht allgemein durchgeführt, denn in der politischen Situation nach der Reformation erklärten sich die nichtkatholischen Länder keineswegs bereit, einer päpstlichen Bulle zu folgen und den Kalender zu ändern.

Der Bulle entsprechend, wurde der neue Kalender nur in einem Teil Italiens, in Spanien und in Portugal eingeführt. Diesen Ländern folgten noch im gleichen Jahre Frankreich und Polen und 1583/84 die deutschen katholischen Staaten sowie die katholischen Teile der Niederlande, 1587 folgte Ungarn. In den protestantischen Ländern wurden die politischen und religiösen Einwände durch an den Haaren herbeigezogene astronomische Argumente unterstützt, zu denen im Auftrag des Senats der protestantischen Universität Tübingen vor allem Maestlin, der Lehrer Keplers, mit mehreren Schriften beitrug. Clavius hat daraufhin die Kalenderreform in mehreren ausführlichen Schriften erläutert und verteidigt. Kompliziert wurde das Ganze durch ein in der päpstlichen Bulle enthaltenes Verbot, den neuen Kalender nachzudrucken, weil damit eine wichtige staatliche Einnahmequelle der Länder wegzufallen drohte. Angesichts der Widerstände gegen die Kalenderreform hat der Papst dieses Monopol allerdings auch in den katholischen Ländern nicht durchsetzen können.

Kepler, obwohl gläubiger Protestant, entschied sich für den neuen Kalender. In einer unveröffentlicht gebliebenen Schrift zur Kalenderreform etwa aus dem Jahre 1613 wies er auf die dadurch erzielten Fortschritte im Kalenderwesen und auf die politischen Hintergründe des Streites hin. Er fand die bitteren Worte: „Möchten doch die Parteien fernerhin nicht mehr sagen, unsere Mathematiker fassen die Sache so auf und unsere so, möchten sie doch lieber sagen, wir können nach unserem Belieben unsere Mathematiker sprechen machen, denn sie sind

unsere Knechte“ (Dr. F. Kaltenbrunner: Die Polemik über die gregorianische Kalenderreform, Sitzungsberichte der philosophisch-historischen Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, 87. Bd., Wien 1877, S. 582).

Diese Bemerkung zeigt nur allzu deutlich die Unfreiheit der Wissenschaftler und damit zugleich die große Bedeutung der Emanzipation der Naturwissenschaft von der Theologie für die Entwicklung der Wissenschaft. Sie läßt zugleich die Kämpfe ahnen, die damals um die neue Astronomie noch bevorstanden.

Deutschland blieb bezüglich der Kalenderrechnung gespalten. Erst im Jahre 1700 ist der Gregorianische Kalender mit einer Einschränkung bezüglich der Osterrechnung auf dem Reichstag zu Regensburg als „Reichskalender“ nicht durch den Papst, sondern durch den Kaiser eingeführt worden. Die Einschränkung wurde erst 1755 im „Verbesserten Reichskalender“ aufgehoben. Dänemark nahm den Gregorianischen Kalender gleichfalls im Jahre 1700 an, England und die englischen Kolonien nahmen ihn im Jahre 1752 an, Schweden führte ihn 1753 mit gewissen Einschränkungen ein, die erst 1844 beseitigt worden sind. Es folgten 1873 Japan, 1912 China und Albanien, 1916 Bulgarien.

Das orthodoxe russische Reich hat den Gregorianischen Kalender abgelehnt. Er wurde dort erst nach der Oktoberrevolution am 31. Januar 1918 eingeführt, in Rumänien und Griechenland sogar erst 1923 und in der Türkei 1927.

Schon im 18. Jahrhundert hat es nicht an spöttischen Stimmen gegenüber jenen gefehlt, die sich aus Gründen des politischen Prestiges und der Religion der Kalenderreform widersetzen. Voltaire formulierte:

„Der englische Pöbel sieht es lieber, daß sein Kalender mit der Sonne differiert als mit dem Papst übereinstimmt, und weigert sich, eine Reform anzunehmen, für die man dem Großtürken dankbar sein sollte, wenn er sie vorgeschlagen hätte“ (hier zitiert nach G. Sartou: Isis XVI, 1913, S. 238).

Tycho Brahe, der größte Astronom der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts, hat in den Kalenderstreit nicht eingegriffen und im wissenschaftlichen und persönlichen Gebrauch den Gregorianischen Kalender erst benutzt, als er in Prag lebte.

Über die mit der Kalenderreform erfolgte öffentliche Anwendung der von Kopernikus erzielten Fortschritte der Astronomie hinaus waren weitere Fortschritte in diesem Stadium der Entwicklung nur durch neue, genauere Beobachtungen und Messungen sowie durch die Entdeckung neuer, bis dahin unbekannter Himmelserscheinungen möglich. Sie sollten nicht lange auf sich warten lassen, ja sie lagen 1582 dank der Tätigkeit von Tycho Brahe bereits vor.

Tycho Brahes Erneuerung der Astronomie

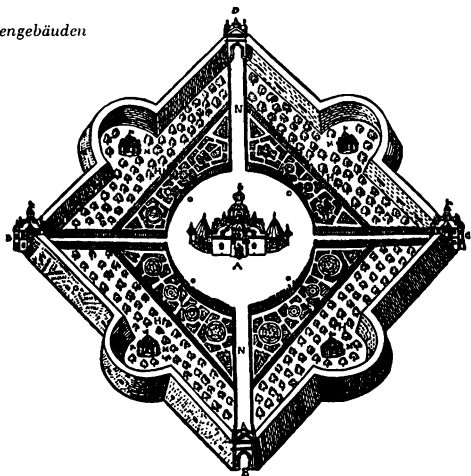
Tycho Brahe (1546–1601) war ein wohlhabender dänischer Edelmann, der die Astronomie als Liebhaberei betrieb. Er ist nie Universitätslehrer gewesen und erst gegen Ende seines Lebens, als er sein Vermögen und seine Einkünfte verloren hatte, Hofastronom geworden. Diese einzigartige und in der Geschichte der Astronomie wohl einmalige Stellung erlaubte es ihm, großzügig zu arbeiten. Das drückte sich unter anderem in einer ungewöhnlich selbstbewußten und stolzen Haltung gegenüber den wissenschaftlichen Autoritäten seiner Zeit und der Vergangenheit aus. So wird berichtet, daß in einem Raum seines Besitztumes, einer als Adelsitz und Schloß gebauten weitläufigen Sternwarte, die acht größten Astronomen der Weltgeschichte abgebildet gewesen seien wie die Vorfahren in einer Ahnengalerie. Daneben hing ein Bild von ihm selbst sowie das Phantasiegemälde seines noch ungeborenen Nachfolgers, des „Tychoniden“.

Tycho Brahe war der Begründer einer neuen beobachtenden und messenden Astronomie. Den Weg zu seinem Ruhm hat er sich mit Energie, Zähigkeit und echter Begeisterung für die Astronomie gegen die Vorurteile und Gewohnheiten seines Standes erkämpft. Nach seinen eigenen Angaben waren es drei astronomische Ereignisse, die sein Leben maßgeblich beeinflussen: eine Sonnenfinsternis im Jahre 1560, die Beobachtung einer Planetenkonstellation im Jahre 1563 und die Entdeckung eines neuen Sternes im Jahre 1572. Das erste Ereignis, verbunden mit der Tatsache, daß die Finsternis lange vorher richtig vorausgesagt worden war, erweckte das Interesse des 14jährigen Knaben für die Astronomie, als er an der Universität Kopenhagen studierte, um sich auf eine Laufbahn als Staatsmann vorzubereiten. Das zweite Ereignis, dessen Eintreffen weder nach den Alfonsinischen noch nach den Pruthenischen Tafeln genau vorausgesagt worden war, festigte drei Jahre später seinen Vorsatz, genaue Messungen als

Grundlage zuverlässiger Tafeln durchzuführen, als er seine juristischen und auch seine heimlich betriebenen astronomischen Studien an der Universität Leipzig fortsetzte. Das dritte Ereignis gewann ihn endgültig für die Astronomie, nachdem er sich vorübergehend der Chemie zugewandt hatte. Er beobachtete damals einen neuen Stern, der 16 Monate lang mit bloßem Auge sichtbar war, und stellte fest, daß er sich nicht unterhalb des Mondes in Erdnähe, sondern am Fixsternhimmel befand. Er überwand dank der prinzipiellen Bedeutung dieser Entdeckung seine anfangs gehegten Bedenken, als unabhängiger Baron Bücher zu schreiben, wie es die Berufsastronomen taten. Schließlich hob die allgemeine Anerkennung seiner Schrift über den neuen Stern sein Ansehen auch in den dänischen Hofkreisen so, daß er von König Friedrich II. von Dänemark, der wie andere Herrscher eine große Vorliebe für die Astronomie hegte, die Lehen erhielt, die es ihm ermöglichten, eine eigene Sternwarte zu bauen, einzurichten und zu betreiben, die bald zu den größten Sehenswürdigkeiten Europas gehören sollte.

Tycho Brahe war für dieses Unternehmen insofern besonders gut vorbereitet, als er nach dem Studium der Astronomie an den deutschen Universitäten Rostock, Leipzig und Wittenberg sich noch längere Zeit in Süddeutschland aufgehalten

*Der Plan von
Uraniborg mit den Nebengebäuden*

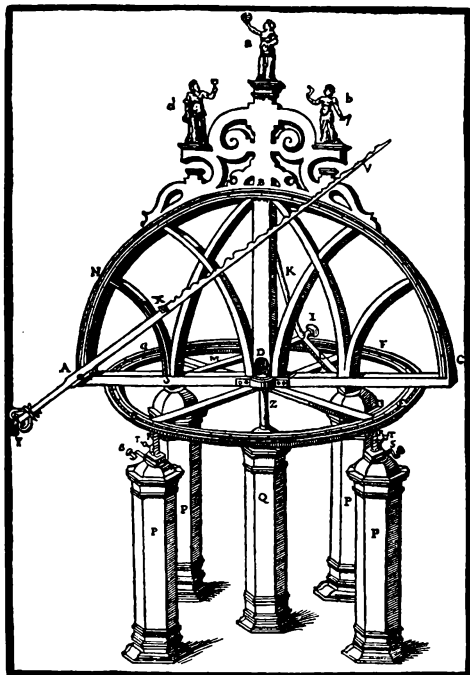


und in Augsburg vorzügliche Instrumentenmacher kennengelernt hatte, bei denen er moderne astronomische Geräte erproben und für den eigenen Gebrauch anfertigen lassen konnte. In Augsburg besuchte ihn auch der oben erwähnte französische Gelehrte Pierre de la Ramé, der eine Erneuerung der Astronomie auf Grund neuer exakter Beobachtungen forderte und damit die Pläne Tychos bestärkte.

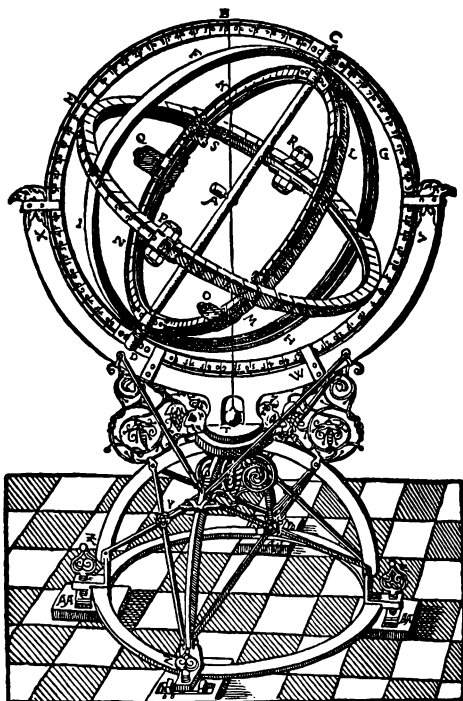
Die Sternwarte baute er auf der Insel Hven im Sund in der Nähe von Kopenhagen (heute in schwedischem Besitz), die er mit allen Einrichtungen und Bewohnern 1576 als erbliches Lehen erhalten hatte. Weitere Lehen, zusammen mit seinem eigenen Besitztum, ermöglichten es ihm, die Sternwarte großzügig anzulegen. Sie bildete eine Art astronomisches Forschungszentrum, das außer dem Hauptgebäude Wirtschaftsgebäude, eine Werkstatt, ein chemisches Laboratorium mit 16 Öfen und sogar eine Papiermühle und eine Buchdruckerei umfaßte, die Tycho Brahe bauen ließ, als sich herausstellte, daß in Dänemark die Voraussetzungen zur Herstellung von Büchern fehlten. Die Sternwarte wurde von berühmten Reisenden bei Besuchen in Dänemark gern aufgesucht, nicht immer zur Zufriedenheit von Tycho Brahe selbst, der dadurch in seinen Arbeiten gestört wurde. Es wird von ihm berichtet, daß er nur mit einem Gut geizig umgegangen sei: mit der unwiederbringlich vergehenden Zeit. Er selbst hat die ganze Anlage und die nach seinen Entwürfen hergestellten Instrumente mit allen technischen Einzelheiten der Ausführung 1598 unter dem Titel „Astronomiae Instauratae Mechanica“ („Die Mechanik der erneuerten Astronomie“) genau beschrieben.

Neben der Angabe der technischen Daten versäumte er es dabei nicht, auch auf den figürlichen Schmuck der Instrumente und auf die an geeigneter Stelle angebrachten Inschriften hinzuweisen, mit denen im Geschmack des beginnenden Barock allegorisch auf die tiefere Bedeutung der Astronomie hingewiesen wurde. So war etwa ein großer Azimutalhalbkreis mit den Figuren der Urania, das heißt der Muse der Astronomie, der Geometrie und der Arithmetik geschmückt. Die Urania trug ein blaues Gewand mit goldenen Sternen und silbernem Besatz, die Geometrie war braun und grün gekleidet, um ihre Herkunft von der Erde anzudeuten, das Gewand der Arithmetik war weiß wie Papier oder Pergament und mit Zahlzeichen bedeckt. „Der Sinn des Ganzen“, so schloß Brahe seine Beschreibung, „ist, sowohl die Instrumente zu schmücken, als auch zu zeigen, daß die Astronomie die höchste der freien Künste und tatsächlich ihre Königin ist und daß sie sich als Dienerinnen vor allen anderen Künsten die Geometrie und Arithmetik herangezogen hat, wenn das auch nicht bedeutet, daß sie auf diese herabsieht“ (Tycho Brahe: Opera omnia, Tomus V. Hauniae 1933, S. 42).

Das zweistöckige Hauptgebäude enthielt die Arbeits-, Bibliotheks- und Wohnfamilie für Tycho Brahe, seine Schüler und Diener. Es war künstlerisch reich ausgestattet und mit ungewöhnlichen technischen Einrichtungen



versehen, so zum Beispiel mit fließendem Wasser in den wichtigsten Räumen, eine Einrichtung, die es im 16. Jahrhundert weder im Louvre noch im englischen Königsschloß gab. Die Anlage wurde 1580 vollendet und nach Urania, der Muse der Astronomie, Uraniborg genannt. Bereits 1584 wurde zusätzlich noch ein weiteres Gebäude, die Stjerneborg, erbaut und eingerichtet, in dem neue Instrumente, halb in die Erde versenkt, aufgestellt wurden, um die Störung der Messungen durch den Wind zu vermeiden. Insgesamt waren in den Observatorien 28 größere Instrumente vorhanden: Dreistäbe, Jakobsstäbe, Quadranten, Armillarsphären und Sextanten, zum Teil in besonders großen Ausführungen, die eine entsprechend feine und genaue Unterteilung der Skalen ermöglichten. Viele Instrumente



waren auf einem besonderen Sockel fest montiert. Tycho Brahe wendete Instrumente mit Schrägteilung an, wie er sie in Leipzig kennengelernt hatte. Sie hatten zugleich bessere Absehen in Form von quadratischen Blenden mit verstellbaren Schlitzten, die eine wesentlich genauere Einstellung als einfache Lochblenden und ein genaueres Ablesen ermöglichten. Die beiden wichtigsten Instrumente waren eine sogenannte Äquatorialarmille, mit der die Rektaszension und Deklination der Gestirne gemessen werden konnte, und ein großer Mauerquadrant. Ein zeitgenössischer Stich zeigt Tycho Brahe bei Beobachtungen an diesem Instrument. Durch den Schlitz in der dunklen Mauer links im Bild fällt das Licht



Michael Maestlin



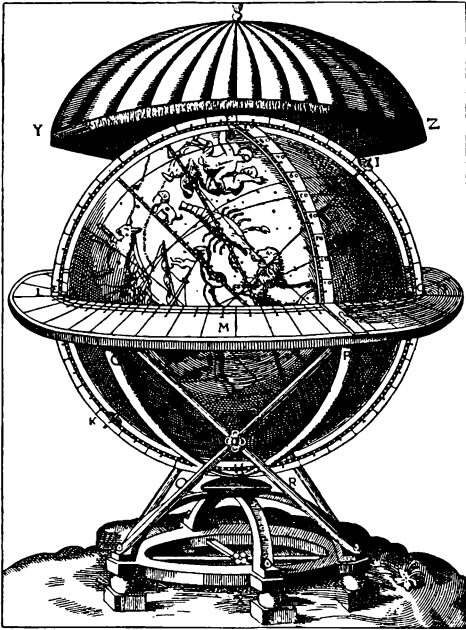
Tycho Brahe

des Sternes bei seinem Durchgang durch den Meridian auf den großen Quadranten, bei dem die Schrägeilung der Unterteilung deutlich zu erkennen ist. Ein Schüler oder Gehilfe rechts im Bild visiert den Stern durch eine verstellbare Blende über ein zweites Visier im Schlitz der Mauer an und diktiert die Ablesung einem zweiten, der sie bei Kerzenschein zusammen mit dem Zeitpunkt des Meridiandurchganges einträgt, den ein dritter Gehilfe an einer Uhr abliest. Im Hintergrund des Stiches sind weitere Instrumente sowie Arbeitsräume der Sternwarte zu sehen.

Zu den Instrumenten gehörte weiter ein großer Himmelsglobus von etwa 1,5 m Durchmesser, den sich Tycho Brahe in Augsburg hatte anfertigen lassen und auf dem er die von ihm bestimmten Positionen der Fixsterne eingravieren ließ. Der Globus befand sich später an der Universität Kopenhagen, bis er 1728 bei

*Der Mauerquadrant
Tycho Brahes*





einem Brand zerstört wurde. Nachdem Tycho sein Anwesen aufgegeben hatte, verfiel die Anlage bedauerlicherweise schnell. Schon 100 Jahre später waren kaum noch Mauerreste zu sehen.

Zu seiner Zeit gab es in Europa noch eine zweite, ähnliche Einrichtung: Die Sternwarte des Landgrafen Wilhelm IV. von Hessen in Kassel, deren Ausstattung allerdings gegen Uraniborg als bescheiden bezeichnet werden muß. Tycho Brahe stand mit dem Landgrafen, der ein Förderer ernster wissenschaftlicher Forschung war, und mit dessen Astronomen Christopher Rothmann, einem überzeugten Anhänger des kopernikanischen Systems, in enger Verbindung. Er veröffentlichte 1596 seinen wissenschaftlichen Briefwechsel mit den beiden Männern.

Tycho Brahe war nicht nur ein astronomisch interessierter Schloßherr, er war vor allem selbst ein tätiger Astronom. Er erreichte eine wesentliche und für die

weitere Entwicklung der Astronomie ganz entscheidende Erhöhung der Genauigkeit astronomischer Messungen, die ohne Benutzung von Fernrohren mit Fadenkreuz und Mikrometerschraube nicht mehr zu steigern war, und zwar nicht allein dank seiner vorzüglichen Instrumente und der Sorgfalt seiner Beobachtungen, sondern auch dank der Einführung und Entwicklung eines neuen Beobachtungsverfahrens. Dieses Verfahren bestand darin, die unvermeidlichen Instrumentenfehler durch Vergleichsmessungen zu eliminieren bzw. bei der Auswertung der Messungen durch Rechnung zu korrigieren. Ein solches Vorgehen erscheint uns heute als eine Selbstverständlichkeit, war aber zu seiner Zeit eine bedeutende Neuerung und ein entschiedener Fortschritt.

Mit diesem Verfahren führte Tycho Brahe insbesondere langjährige systematische Beobachtungsreihen der Sonne, des Mondes und der Planeten durch, die es später Kepler ermöglichten, deren Bahnen neu zu berechnen. Tycho Brahe bestimmte weiter das Vorrücken der Äquinoktien auf die Bogensekunde genau und widerlegte damit endgültig die falsche Ansicht von ihrer Trepidation*, die noch Kopernikus geteilt hatte. Die von ihm gemessene Länge des tropischen Jahres war nur um zwei Sekunden zu kurz. Ferner hat er einen neuen Sternkatalog mit den Positionen von rund 1000 Sternen aufgestellt, die alle auf dem Augsburger Globus eingetragen waren. Die hellsten Sterne dienten ihm als Bezugspunkte zur Messung der Planetenörter.

Tycho Brahe verstand es, zur Durchführung dieses umfangreichen Programms Schüler und Assistenten nach Uraniborg zu ziehen, vor allem aus den skandinavischen Ländern einschließlich Island, aber auch aus Deutschland. Nicht wenige seiner Schüler wurden später als Astronomen und Mathematiker bekannt. Nachdem er schon im Jahre 1572 durch die Beobachtung des neuen Sternes die Unhaltbarkeit der These von der Unveränderlichkeit der Fixsternsphäre nachgewiesen hatte, lieferten seine Beobachtungen eines im Jahre 1577 erschienenen Kometen neue Beweise gegen die alten Auffassungen. Er wies nach, daß dieser Komet mindestens dreimal so weit von der Erde entfernt war wie der Mond und in seinem Lauf die Sphäre der Venus kreuzte. Bis dahin hatte man allgemein angenommen, daß die Kometen irdische Erscheinungen seien, etwa Ausdünstungen der Atmosphäre, die sich entzündet hätten, und daß sie nur unterhalb des Mondes vorkämen. Weiter hatte man geglaubt, daß die himmlischen Sphären „kristalline“ durchsichtige feste Kugeln seien, an denen die Planeten befestigt seien. Beide Ansichten sind durch Tycho Brahes Messungen wissenschaftlich widerlegt worden.

* Die Lehre von der Trepidation (Schwankung) der Äquinoktien besagte, daß diese nicht stetig vorrücken, sondern eine oszillierende Bewegung von etwa 8° ausführen. Diese Lehre wird erstmalig im 4. Jahrhundert erwähnt und ist besonders von arabischen Astronomen seit dem 9. Jahrhundert verbreitet worden.

Tycho Brahe hat Kopernikus als Astronom in eine Reihe mit den größten Astronomen der Antike und der Araber gestellt und seine Beobachtungen und Messungen hochgeschätzt. Als er aus Polen ein von Kopernikus benutztes und vielleicht sogar selbst angefertigtes einfaches Meßgerät, einen Dreistab, zum Geschenk erhielt, war er so erfreut, daß er ein Lobgedicht auf Kopernikus verfaßte. Sein System aber hat er nicht übernommen. Er wollte die Astronomie auf Grund seiner eigenen Präzessionsmessungen erneuern und ist etwa seit 1582 mit einer eigenen Ansicht vom Aufbau des Universums hervorgetreten, die einen auf den ersten Blick befremdenden Kompromiß zwischen dem ptolemäischen und dem kopernikanischen System darstellt. Die Erde bildet in dem System Tycho Brahes nach wie vor den unbeweglichen Mittelpunkt des Universums, alle Planeten aber kreisen um die Sonne, die ihrerseits, ebenso wie der Mond, die Erde umkreist.

Das System fand zunächst Anhänger und wurde vielfach über das kopernikanische gestellt, da es die begrifflichen, philosophischen und mechanisch-physikalischen Schwierigkeiten vermied, die mit dem heliozentrischen System verbunden waren, und da es durch exakte Beobachtungen gesichert schien. Tycho Brahe selbst hat sich bis zu seinem Tode bemüht, die Gültigkeit seines Systems durch Beobachtungen und Rechnungen zu bestätigen und soll noch auf dem Sterbebett Kepler gebeten haben, an Hand seiner langjährigen Beobachtungen des Mars diesen Nachweis zu erbringen.

Die Gründe, die ihn bestimmt haben, ein eigenes System zu entwerfen, scheinen ebenso astronomischer wie allgemeiner Art gewesen zu sein. Tycho Brahe, der die Tatsachen als letztes Kriterium der Wahrheit ansah, konnte sich nicht damit abfinden, daß auch bei der von ihm erreichten Feinheit der Messungen die Fixsterne keine Parallaxe zeigten und lehnte deshalb die Bewegung der Erde um die Sonne ab. Gegen die Annahme einer entsprechend riesigen Entfernung, wie sie von Kopernikus selbst geäußert worden war, sprach die Tatsache, daß man dann für die Fixsterne selbst riesige Dimensionen annehmen mußte. Solange man nämlich auf Beobachtungen mit bloßen Augen angewiesen war, nahm man allgemein an, daß die Sterne nicht Lichtpunkte, sondern kleine Scheiben seien. Außerdem hielt Tycho Brahe die Annahme eines so riesigen leeren Raumes zwischen dem äußersten Planeten und der Fixsternsphäre für sinnlos, er meinte, eine solche „Raumverschwendung“ könne es in einer geordneten Welt nicht geben.* Gegen die tägliche Umdrehung der Erde erhob er u. a. den Einwand, daß dabei nach Osten bzw. nach Westen abgegebene Kanonenschüsse unter den gleichen Bedingungen verschieden weit reichen müßten.

* Die erste Parallaxe eines Fixsternes wurde erst 1838, das heißt 237 Jahre nach Tycho Brahes Tod von Bessel gemessen (61 Cygni mit einer Parallaxe von $0,3''$; kein Fixstern hat eine Parallaxe größer als $1''$).

Man hat das System Tychos mit Recht als einen Rückschritt gegenüber dem kopernikanischen bezeichnet; denn es hat sicher die Fachleute veranlaßt, die Lehre von der Bewegung der Erde abzulehnen. Die Größe Tycho Brahes besteht nicht in der Aufstellung eines eigenen Systems des Universums und auch nicht allein darin, daß er zuverlässige Daten für spätere Berechnungen bereitgestellt hat, wie man vielfach angegeben findet, sondern vor allem wohl darin, daß er mit dem Glauben an die absolute Zuverlässigkeit der antiken Beobachtungen brach und nur die Tatsachen, so wie er sie selbst beobachtet hatte, gelten ließ. Wiederholt wies er auf die Ungenauigkeit und Unzuverlässigkeit der älteren Messungen hin und äußerte den Wunsch, man hätte schon in der Antike genauer messen mögen, um Irrtümer wie den über die Trepidation der Äquinoktien zu vermeiden. Seine gesellschaftliche Stellung als unabhängiger und rücksichtsloser Feudalherr spiegelt sich damit in seiner Einstellung gegenüber den wissenschaftlichen Autoritäten ebenso wider wie die Stellung des Kopernikus in dessen unkritischer Haltung ihnen gegenüber. Als Gelehrter und Canonicus war Kopernikus im Geiste der Ehrfurcht vor ihnen erzogen worden.

Tycho Brahes Leben endete unglücklich. Nach dem Tode Friedrichs II. von Dänemark verlor er seinen Beschützer und die Wissenschaft in Dänemark ihren Förderer. In Dänemark, wo eine entsprechende Entwicklung der Produktivkräfte und Produktionsverhältnisse ausgeblieben war, fehlte ein echtes gesellschaftliches Bedürfnis nach der Entwicklung der Wissenschaften. Man nahm die Vernachlässigung seiner Lehnspflichten und die Beschwerden der Bevölkerung seiner Ländereien, die von Tycho Brahe zu Zwangsarbeit und anderen Leistungen herangezogen worden war, zum Anlaß, um ihm seine Einkünfte zu entziehen. Damit aber war ihm die Möglichkeit genommen, das kostspielige Observatorium aufrechtzuerhalten. Nach 21jähriger fruchtbarer Forschungstätigkeit mußte er das ganze Anwesen auf der Insel Hven aufgeben. Als er auch in Kopenhagen keine rechte Arbeitsmöglichkeit fand, entschloß er sich 1597, mit seiner Familie und seinen Schülern und Dienern Dänemark zu verlassen. Der beleidigte Regent verstand es nicht, ihn zu halten oder zurückzurufen. Nach vorübergehendem Aufenthalt als Emigrant in Rostock und Wandsbek bei Hamburg erhielt Tycho Brahe schließlich das großzügige Angebot des damaligen Kaisers Rudolph II., als Hofastronom in seine Dienste zu treten.

In diesen Jahren ist Tycho Brahes oben erwähnte Beschreibung von Uraniborg entstanden. Man spürt zwischen den Zeilen den bitteren Schmerz des alternden Gelehrten, wenn er sich selbst Mut zuspricht und versichert, ein echter Astronom müsse an mehreren Orten beobachten, oder wenn er plötzlich in den Ruf ausbricht: „Du, der Urania geweihtes Haus, berühmter Leuchtturm, aufgerichtet an hoher Stelle, mit Wällen befestigt, umgeben von Bäumen und Rasen in deinen Gärten, du, das in dreimal sieben Jahren alle Gestirne erforscht und dein mäch-

tiges Haupt zum Olymp erhoben hast, – stehst du jetzt unbehütet? Stehst du stumm und bist du verlassen?“ (Tycho Brahe . . . , a. a. O., S. 141).

Tycho Brahe nahm das Angebot Kaiser Rudolphs II. an und traf nach einer längeren Reise mit Zwischenstationen in Wittenberg und Dresden im Frühjahr 1599 in Prag ein. Der Kaiser stellte ihm das Palais Benatky in der Nähe Prags zur Verfügung. Hier stellte Tycho Brahe seine eigenen Instrumente auf, die er mit großer Mühe schließlich doch aus Hven erhalten hatte. Die Arbeit in der neuen Sternwarte begann im Jahre 1600.

Im gleichen Jahr trat Johannes Kepler als Mathematiker in seine Dienste. Tycho Brahe hatte damit kurz vor seinem Tode den Mitarbeiter gefunden, der seine lebenslangen Beobachtungen und Messungen zusammenfassen und auswerten sollte. Als Tycho Brahe ein Jahr später, im Oktober 1601, nach kurzer Krankheit verstarb, verschaffte sich Kepler in unerquicklichen Auseinandersetzungen mit den Erben Tycho Brahes Zugang zu dessen Beobachtungsjournalen, die für die Fortsetzung seiner Arbeiten unentbehrlich waren.

Kaiser Rudolph II., der den berühmten Astronomen überaus schätzte, ehrte sein Andenken durch ein Staatsbegräbnis. Tycho Brahe war der erste europäische Wissenschaftler, dem solch eine Ehrung zuteil wurde. Der nächste war Isaac Newton 126 Jahre später. So früh, aber auch so langsam entwickelte sich in Europa das gesellschaftliche Ansehen der Wissenschaft.

Giordano Brunos unendliche Welt

Die weltanschaulichen Konsequenzen der neuen Wissenschaft vom Universum sind in der gleichen Zeit in anderen Ländern und in anderen Kreisen unabhängig von der Arbeit der Astronomen herausgearbeitet worden.

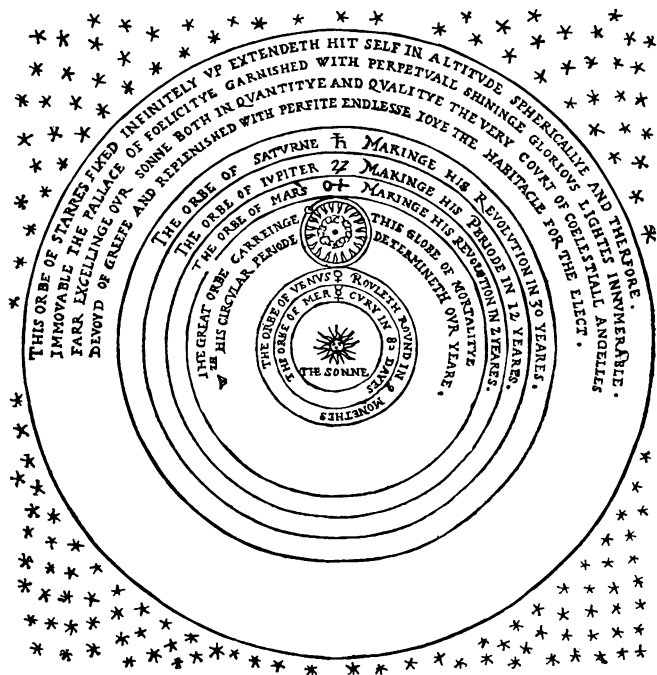
Giordano Bruno (1548–1600) aus Nola in der Umgebung von Neapel war kein Naturwissenschaftler, sondern ein Philosoph. Er ist, wie Tycho Brahe, dessen Zeitgenosse er war, ein Liebhaber und Enthusiast der Wissenschaft gewesen und hat die offiziellen Lehren abgelehnt. Auch er hat niemals eine Autorität anerkannt und einen Herrn über sich geduldet. Wie Tycho Brahe hat er ein eigenes Bild des Universums geschaffen.

Aber Giordano Bruno stand auf der anderen Seite der ökonomischen Stufenleiter. Arm und ohne Vermögen, zählte er zu den Kreisen der fahrenden Gelehrten, die von Universität zu Universität wanderten auf der Suche nach der Lösung der großen Rätsel ihrer Zeit. Sie folgten der hohen Mission, ihre eigenen Lösungen im Meinungsstreit mit anderen zu verbreiten und zu vertiefen. Es ist bezeichnend, daß Giordano Bruno seine Werke in Gesprächsform verfaßte. In

allen seinen Schriften hat er ständig polemisiert. Er war ein kühner revolutionärer Denker, dessen Gedanken und Auftreten ebenso begeisternd wie erschreckend wirkten, so daß man ihn ebenso gern kommen wie gehen sah. Überall, wo er auftauchte, sammelte sich um ihn eine kleine Gruppe begeisterter Anhänger, und überall geriet er mit den Autoritäten in Konflikt. Giordano Bruno hat seine Ansichten stets kühn und zum Teil herausfordernd vertreten. Auch in langjähriger Haft hat er sie nicht abgeschworen. Noch bei Verkündigung des Todesurteils rief er aus: „Ihr sprecht mein Urteil mit größerer Furcht, als ich es anhöre.“ Und er hatte recht mit dieser Versicherung.

Giordano Bruno trat mit 15 Jahren in den Dominikanerorden ein und erwarb dort die Grundlage einer ausgezeichneten Allgemeinbildung. Wahrscheinlich hat er das Werk von Kopernikus schon im Kloster kennengelernt. Im Alter von 24 Jahren erhielt er die Priesterweihe. Drei Jahre später floh er, der Ketzerei angeklagt, aus dem Kloster zunächst nach Rom, dann nach Oberitalien und schließlich in die Schweiz. In Genf kam es zu einem Streit mit dem führenden Philosophieprofessor der Universität und den Autoritäten der kalvinistischen Kirche. Bruno wurde verhaftet. Nach seiner Freilassung wendete er sich nach Frankreich, wo er in Toulouse sowie in Paris an der Sorbonne Aufnahme fand. Man interessierte sich besonders für seine mnemotechnischen Arbeiten, in denen er versprach, ein umfassendes Gedächtnis vermitteln zu können. Sein Ruf drang bis nach England, wohin er acht Jahre nach seiner Flucht aus dem Kloster eingeladen wurde. In Oxford kam es wieder zu einem scharfen Konflikt mit den dortigen Universitätsprofessoren, aber in den weltoffenen Kreisen Londons fand er verständnisvolle Freunde unter Wissenschaftlern, Ärzten, Schriftstellern und fortschrittlichen Politikern. 1583 bis 1585 entstanden dort seine sechs wichtigsten philosophischen Schriften in italienischer Sprache. Auch die Wahl des Italienischen statt des Lateinischen in einer englisch sprechenden Umgebung drückte seinen Protest gegen die offizielle Wissenschaft aus.

Als sein Beschützer, der französische Gesandte Michael de Cástelneau, 1585 London verließ, begann für Giordano Bruno erneut ein Wanderleben, das ihn durch Frankreich und Deutschland führte. Paris, Marburg, Wittenberg, Prag, Helmstedt, Frankfurt (Main), Zürich und nochmals Frankfurt (Main) waren Stationen seiner Reise. In Frankfurt besorgte er den Druck seiner lateinischen Werke. Hier erreichte ihn die Einladung des vornehmen Venezianers Zuane Mocenigo. Unter dem Vorwand, „die Kunst des Gedächtnisses und der Erlindung“ erlernen zu wollen, lockte Mocenigo Bruno 1591 nach Venedig und übergab ihn dort der Inquisition. Venedig lieferte ihn an Rom aus. Er wurde der Ketzerei angeklagt und, da er seine Ansichten nicht widerrief, von den Generalinquisitoren verurteilt. Am 19. Februar 1600 wurde Giordano Bruno in Rom öffentlich verbrannt. Man hatte ihm die Zunge gebunden, um ihn noch im



Das Universum nach Digges

Sterben am Reden zu hindern. Aber seine Lehren wirkten fort, und seit seinem Tode ist kein Jahr vergangen, ohne daß sein Name mit Ehrfurcht genannt worden wäre.

Giordano Bruno hat die aristotelisch-scholastische Naturlehre und die damit verbundene christliche Morallehre konsequent bekämpft und ihr eine neue Natur- und Weltanschauung entgegengestellt, die an die Schriften von Lucretius, Nicolas von Cues und Kopernikus anknüpfte. Von Lucretius übernahm Giordano Bruno die Ansicht vom leeren Raum und den sich darin bewegenden Atomen,

von Nicolas von Cues die Lehren über das Unendliche, über die Einheit der Gegensätze und das Minimum und von Kopernikus die Theorie der bewegten Erde sowie das heliozentrische System. Eine große Rolle spielten in seiner Anschauung die Lehren über Logik von Raimundus Lullus.

Auf der Grundlage einer pantheistischen Auffassung von der Beseeltheit aller Dinge in der Welt lehnte Bruno die Transzendenz Gottes sowie die Lehre von der „doppelten Wahrheit“, das heißt einer von Gott offenbarten und einer von den Menschen erkannten Wahrheit ab. Er entwickelte eine weitgehend materialistische Auffassung von der Natur und vom Erkenntnisprozeß. In seinen astronomischen und kosmologischen Lehren, die hier in erster Linie interessieren, ging er weit über die Ansichten von Kopernikus hinaus. Die Fixsternsphäre als äußerste Grenze der Welt lehnte er ab. Giordano Bruno lehrte, daß die Welt unendlich und ewig sei, daß die Sterne Sonnen wie die unsrige seien und wie sie von Erden umkreist würden.

Er hat damit – zunächst rein logisch und in Gedanken – Schlußfolgerungen aus der neuen astronomischen Theorie gezogen, an die Kopernikus selbst nicht gedacht hatte.

Solange man annahm, daß alle Sterne eine tägliche Umdrehung ausführen, war es durchaus gegeben, an eine rotierende Kugel oder Sphäre zu denken, an der die Sterne befestigt sein sollten. Ruhte aber die Fixsternsphäre, so war damit zugleich die Notwendigkeit der Existenz einer solchen Sphäre beseitigt und die Möglichkeit eröffnet, den Sternen verschiedene Entfernungen zuzuschreiben.

Soweit waren kühne Denker schon vor Giordano Bruno oder doch unabhängig von ihm gegangen. Der Engländer Thomas Digges (1546–1595), ein früherer Anhänger des kopernikanischen Systems, veröffentlichte 1576 in englischer Sprache eine Darstellung der neuen Lehre und einen Auszug aus dem Werk von Kopernikus, in der er die Fixsternsphäre als sich ins Unendliche erstreckend bezeichnete, besetzt mit Sternen in verschiedenen Entfernungen, von denen wir nur die nächsten wahrnehmen könnten. Zugleich aber hielt Digges diese unendliche Fixsternsphäre für den Aufenthalt Gottes, der Auserwählten und der Engel, das heißt, er bezog sie nicht in die Natur ein. Die Fixsternsphäre blieb der (theologische) Himmel, und der prinzipielle Unterschied zwischen Himmlichem und Irdischem, Göttlichem und Natürlichem blieb erhalten.

Ihn beseitigt und damit den letzten kühnen Schritt in der neuen Auffassung vom Universum gemacht zu haben, bleibt die revolutionäre und entscheidende Tat von Giordano Bruno. Er bezog die Welt der Sterne in die Natur ein, erklärte zugleich die Erde als Bestandteil des Himmels und nahm ihr die Ausnahmestellung, die sie auch in der Lehre des Kopernikus noch als einmalige Erscheinung im Planetensystem behalten hatte. Er betrachtete sie als eine aus einer Vielzahl von „Erden“ in einer Vielzahl von Planetensystemen. Es scheint, als ob die welt-

anschaulichen Konsequenzen dieser Erkenntnis auch von unseren Nachfahren noch die Lösung neuer Fragen und Probleme verlangen wird, zumal dann, wenn es gelingen sollte, Kontakte mit anderen „Erden“ aufzunehmen. Unter diesen Umständen ist es erklärlich, daß die Gedanken von Digges kein Aufsehen erregten und vergessen wurden, die Philosophie Giordano Brunos aber nicht übersehen werden konnte.

Giordano Bruno hat seine diesbezüglichen Ansichten besonders in dem italienisch geschriebenen Dialog „*Del infinito universo e mondi*“ („Vom unendlichen All und den Welten“, 1583) und in einem lateinischen Lehrgedicht „*De immenso et innumerabilibus*“ („Über das Unermeßliche und Unzählbare“, 1591) dargestellt. Wesentlich ist dabei vor allen Dingen, daß er sich nicht auf mathematische und astronomische Beweisführungen beschränkte, die ihm als Philosophen ohnehin fernlagen, sondern seine aus der Fachwissenschaft stammenden Vorstellungen mit den philosophischen Anschauungen von Raum und Zeit, von der Bewegung und mit der Lehre von den Elementen, das heißt mit der ganzen Naturlehre seiner Zeit in Verbindung brachte. Indem er sich mit dieser Naturlehre auseinandersetzte, entwickelte er aus ihr neue philosophische Lehren über die von ihm untersuchten Gegenstände und Begriffe. Mit Giordano Bruno wurde das heliozentrische System aus einer zunächst isolierten astronomischen Lehre zum Ausgangspunkt einer neuen Naturphilosophie, in der die bis dahin geltende Hierarchie in der Natur durch den Übergang zum Unendlichen und Unzähligen aufgelöst und durch eine allgemeine Gleichberechtigung der Erscheinungen abgelöst wurde. Bruno übertrug die ewige Bewegung und Veränderung als Attribute der Vollendung auf die Gestirne und das Universum. Ruhe und Stillstand bezeichnete er als Mangel. Damit befreite er, so faßte er es selbst auf, die Erde und die Menschheit aus ihrer untergeordneten Stellung im Kosmos. Die entgegengesetzte Ansicht, daß durch die neue Lehre die Erde ihre zentrale Stellung eingebüßt habe, wurde erst später auf Seiten derer geäußert, die dem Untergang des Feudalismus nachtrauerten.

Die Begeisterung einer hohen geistigen Mission spricht aus den an Philotheo, den Vertreter der Ansichten Giordano Brunos, gerichteten Worten, mit denen der letzte Dialog des Werkes „Vom unendlichen All und den Welten“ schließt: „Harre aus, mein Philotheo, harre aus! Verliere nicht den Mut und verzage nicht, wenn auch der große und würdevolle Senat der dummen Unwissenheit Dich mit Verschwörungen und kundiger List umgarnt und Dein göttliches Unternehmen, Deine hohe Aufgabe zu zerstören sucht . . .

Fahre fort, uns wissen zu lassen, was in Wahrheit der Himmel ist, was in Wahrheit die Planeten und alle die Sterne sind, wie in der Unendlichkeit der Welten eine von der anderen verschieden ist, wie ein unendlicher Raum nicht unmöglich, sondern notwendig ist, wie einer solchen unendlichen Wirkung eine unendliche

Ursache entspricht. Enthülle uns die wahre Substanz, Materie, Ausführung und wirkende Ursache des Ganzen und wie jeder wahrnehmbare und zusammengesetzte Gegenstand aus denselben Ursprüngen und Elementen aufgebaut ist. Überzeuge uns von dem unendlichen Universum. Schlage die konkaven und konvexen Schalen in Stücke, die so viele Elemente und Himmel begrenzen und trennen, verspötte die Bahnen der Deferenten und die festgehefteten Sterne, zerbrich und schmettere zu Boden mit dem Wirbelwind lebendigen Denkens solche Phantasien der blinden und gemeinen Herde wie die diamantenen Wälle des primum mobile und der letzten Sphäre. Löse die Vorstellung auf, daß unsere Erde einzig ist und das Zentrum der Welt. Beseitige den gemeinen Glauben an die Quintessenz. Gib uns das Wissen, daß die Zusammensetzung unseres eigenen Sternes und unserer eigenen Welt dieselbe ist, wie die der vielen anderen Sterne und Welten, die wir sehen können. Jede Unendlichkeit der großen und weiten Welten, jede Unendlichkeit der kleineren Welten ist gleichartig erhalten und neu genährt durch die Aufeinanderfolge dieser geordneten Zustände. Befreie uns von diesen äußeren Kräften zusammen mit den Grenzen und Schranken des Himmels. Öffne uns das Tor weit, durch das wir die Gleichheit unseres eigenen und aller anderen Sterne wahrnehmen können. Beweise uns, daß die Substanz der anderen Welten überall im Äther dieselbe ist wie die unserer eigenen Welt. Laß uns klar wahrnehmen, daß die Bewegung von ihnen allen aus dem Impuls der inneren Seele hervorgeht, damit wir durch eine solche Betrachtung erleuchtet mit sicheren Schritten im Wissen von der Natur voranschreiten“ (übersetzt nach D. W. Singer: Giordano Bruno, His Life and Thought. New York 1950, S. 377/78).

Das großartige Bild des Universums, das Giordano Bruno hier entwarf, sollte später durch die Entwicklung der Naturwissenschaft vollauf bestätigt werden.

Nach dem Tod von Giordano Bruno und Tycho Brahe stand um die Jahrhundertwende die nächste Generation von Gelehrten vor der Aufgabe, die kühnen philosophischen Schlußfolgerungen Giordano Brunos für die Naturwissenschaft fruchtbar zu machen und zugleich das reiche Beobachtungsmaterial Tycho Brahes auszuwerten und zu verallgemeinern. Der Größe dieser Aufgabe waren zwei Gelehrte gewachsen, deren Namen eben deshalb heute allgemein bekannt sind: Johannes Kepler (1571–1630) und Galileo Galilei (1564–1642). Neben ihnen sind noch eine ganze Reihe weiterer Astronomen am Aufbau und Ausbau der neuen Astronomie beteiligt gewesen, sehr viele verkannten aber auch die großen Aufgaben und blieben zurück.

Johannes Kepler hat die erste Seite dieser historischen Aufgabe nur teilweise begriffen und nur in einem engen Rahmen gefördert, die zweite Seite dagegen meisterhaft und endgültig gelöst. Galileo Galilei verstand die erste Seite in ihrer ganzen Tragweite, er bereicherte die Astronomie durch bedeutende neue Entdeckungen, hat aber der berechnenden Astronomie wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Er hat die zweite Seite vernachlässigt und die Bedeutung der dort erzielten Erfolge unterschätzt. Durch die Anstrengungen beider wurde die heliozentrische Astronomie im ersten Drittel des 17. Jahrhunderts voll durchgebildet.

Das Jugendwerk

Den ersten bedeutenden Fortschritt erzielte Johannes Kepler. Er stammte aus engen Verhältnissen und zeit seines Lebens hat ihn die Sorge um sein Einkommen und die Sicherung der Zukunft bedrückt, selbst dann, als er keine unmittelbare Not litt, obwohl er schon zu Lebzeiten hohes Ansehen und große

Anerkennung unter Wissenschaftlern und Staatsmännern genoß. Kepler wurde am 25. Dezember 1571 in Weil der Stadt (Württemberg) geboren. Sein Vater, der abenteuerlustig in die Weite zog und jahrelang mit den Landsknechtsheeren von zu Hause abwesend war, überließ die Erziehung und die Sorge um die Kinder der Mutter und den Großeltern mütterlicherseits. So hatte es Kepler nur der Fürsprache seines Großvaters und seinem eigenen Fleiß zu verdanken, daß er als armer Stipendiat und „Stiftler“ zuerst an einem württembergischen Gymnasium und später an der Landesuniversität Tübingen eine höhere Ausbildung erhielt. Diesen zähen Fleiß und die Fähigkeit, konzentriert zu arbeiten, hat Kepler bis an sein Lebensende bewahrt. Sie waren Voraussetzungen für seine Erfolge. Das Goethewort „Genie ist Fleiß“ trifft auf ihn ganz besonders zu.

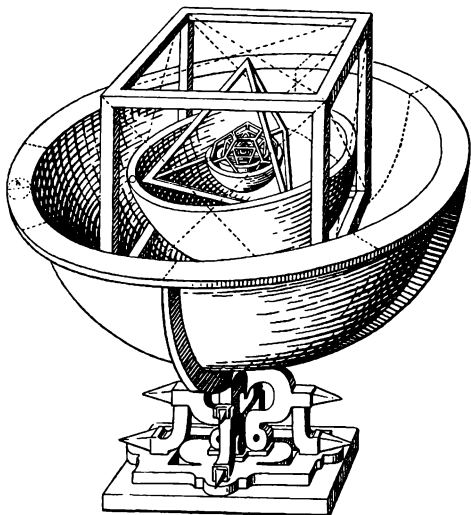
In Tübingen studierte Kepler in Vorbereitung auf das Studium der protestantischen Theologie zunächst Mathematik und Astronomie bei Michael Maestlin (1550–1631), einem ebenso kenntnisreichen Gelehrten wie ängstlichen Gefolgsmann der lutherischen Orthodoxie seines Landes. Wir haben ihn bereits als Gegner der päpstlichen Kalenderreform kennengelernt.

So war Maestlin wohl selbst etwas überrascht, als sich herausstellte, daß er in seinem Schüler einen entschiedenen Anhänger der kopernikanischen Astronomie herangebildet hatte, zumal diese auch auf seiten protestantischer Theologen noch ernsthaften Bedenken und Einwänden begegnete. Kepler hat die Verbindung mit seinem Lehrer stets aufrechterhalten, von ihm aber später nur bedingte Unterstützung empfangen.

Noch vor Abschluß seines Theologiestudiums wurde Kepler 1594 als Mathematiker der „Landschaft“, das heißt der Regierung der Steiermark, und gleichzeitig als Lehrer „der Mathematik und der Moral“ an das Gymnasium in Graz geschickt. Die Steiermark war kurz vorher protestantisch geworden, man suchte dort protestantische Lehrkräfte und hatte sich deshalb an die Universität Tübingen gewendet. Daß die Wahl auf Kepler fiel, ist somit ebenso sehr seiner Religionszugehörigkeit wie seinen mathematischen Kenntnissen zuzuschreiben. Er selbst wollte später sein Theologiestudium beenden und Geistlicher werden. Die Aufgaben, die er übernahm – sie bestanden unter anderem darin, für die Steiermark Kalender zu berechnen und herauszugeben –, trugen jedoch dazu bei, daß er sich für die Astronomie als seinen Beruf und seine Lebensaufgabe entschied.

In Graz ist Keplers erstes großes astronomisches Werk entstanden, das „Mysterium cosmographicum“ („Geheimnis der Weltbeschreibung“), das Kepler als überzeugten Anhänger des kopernikanischen Weltsystems auswies.

Kepler glaubte damals, dem Rätsel von der Struktur des Universums auf die Spur gekommen zu sein und damit eine Aufgabe gelöst zu haben, die weit über das hinausging, was das ptolemäische oder das kopernikanische System zu leisten



Modell des Universums aus dem „Mysterium cosmographicum“ Keplers

versprochen. Diese Systeme betrafen zwar die Anordnung der Planetenbahnen und der Sphären sowie die Bewegung der Gestirne, gaben aber keine Auskunft über die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten und Prinzipien ihrer Anordnung. Eben diese Beziehungen und damit die Gesetze der Struktur des Universums zu finden, war das Anliegen des jungen Mathematikers und ist bis an sein Lebensende das Bestreben Keplers geblieben. Kepler ist an diesem Ziel gewachsen und vom Träumer zum Wissenschaftler gereift.

In seinem ersten Werk, das alle Züge einer Jugendarbeit trägt, glaubte er, im Sinne der pythagoräischen Lehre und neoplatonischer Vorstellungen von der Harmonie und Symmetrie des Universums die Struktur des Weltalls aus den Eigenschaften der fünf regulären Polyeder ableiten zu können. Er glaubte bewiesen zu haben, daß um die Sonne als Mittelpunkt die Sphären der fünf Planeten und der Erde in solchen Abständen angeordnet seien, daß die fünf regulären Polyeder zwischen sie eingefügt werden können, und zwar so, daß

jede Sphäre zugleich die umbeschriebene und die eingeschriebene Kugel zweier aufeinander folgender Polyeder bildet. Kepler selbst datierte seine Einsicht vom 19. Juli 1595 und faßte sie in folgende Sätze: „Die Erde ist das Maß für alle anderen Bahnen. Ihr umschreibe ein Dodekaeder; die dieses umspannende Sphäre ist der Mars. Der Marsbahn umschreibe ein Tetraeder; die dieses umspannende Sphäre ist der Jupiter. Der Jupiterbahn umschreibe einen Würfel; die diesen umspannende Sphäre ist der Saturn. Nun lege in die Erdbahn ein Ikosaeder; die diesem eingeschriebene Sphäre ist die Venus. In die Venusbahn lege ein Oktaeder; die diesem eingeschriebene Sphäre ist der Merkur“ (Johannes Kepler: *Das Weltgeheimnis – Mysterium cosmographicum*. Übersetzt und eingeleitet von Max Caspar, München und Berlin 1936, S. 24).

Da es nur fünf reguläre Polyeder gibt, glaubte er den Grund gefunden zu haben, warum gerade sechs Gestirne die Sonne umkreisen. Damit war nach seiner Meinung das Geheimnis der Struktur des Universums oder, in seiner theologisch gebundenen Deutung, das Geheimnis, nach dem Gott die Welt geschaffen hatte, enthüllt. Der junge Gelehrte war selbst von seiner Einsicht, wie sie ihm durch die Mathematik enthüllt schien, tief ergriffen.

Liest man das Werk heute durch, so ist man erstaunt, daß ein Mathematiker und Astronom so viele rein philosophische und theologische Argumente für das entdeckte „Weltgeheimnis“ vorbringt, die sich etwa auf die Attribute Gottes und auf Werturteile über regelmäßige Figuren und Körper stützen. Kepler glaubte sogar, die Dreieinigkeit Gottes im heliozentrischen System entdeckt zu haben, wo die Sonne dem Vater, die feste und unbewegliche Fixsternsphäre dem Sohn und der Zwischenraum mit den Planeten dem Heiligen Geist entsprechen sollten. Kepler hat den Bauplan des Universums rein spekulativ und a priori abgeleitet und erst nachträglich mit den beobachteten und berechneten Werten verglichen. Seine theologischen Neigungen rissen den Wissenschaftler mit sich fort und verwiesen das „Mysterium cosmographicum“ in das Reich mystischer Phantasien. Keplers an Geometrie und Astronomie geschulter Verstand aber nötigte ihn schließlich, die Tatsachen ernst zu nehmen. So verschwieg er nicht, daß seine Erkenntnisse mit den kopernikanischen Rechnungen nicht genau übereinstimmten. Er wollte damit, wie er sich äußerte, andere veranlassen, die Untersuchungen fortzusetzen.

Maestlin, selbst Neoplatoniker, dem Kepler das Manuskript übersandte, veranlaßte ihn, eine allgemeine Darstellung des kopernikanischen Systems voranzustellen und führte selbst schwierige Berechnungen durch, die er dem Werk hinzufügte. Für den Senat der Universität Tübingen fertigte er ein positives Gutachten für die Drucklegung an, die er schließlich selbst besorgte. Auf sein Verlangen wurde dem Werk die „Narratio prima“ von Rhetikus als Anhang hinzugefügt. Man hatte jedoch in Tübingen sichtlich Bedenken wegen des offenen

Bekenntnisses zur kopernikanischen Lehre, die das ganze Werk durchzog, und riet Kepler deshalb, jede Rechtfertigung der kopernikanischen Lehre gegenüber theologischen Angriffen zu unterlassen. Kepler fügte sich und begnügte sich mit der Bemerkung, er werde in seinem Werk nichts sagen, „was ein Unrecht gegen die Heilige Schrift bedeuten würde, und wenn Kopernikus mit mir eines solchen beschuldigt würde, so würde ich das nicht gelten lassen“ (Johannes Kepler: Das Weltgeheimnis, a. a. O., S. 29). Erst in einer zweiten Auflage des „Mysterium cosmographicum“ im Jahre 1621 äußerte er sich gegen die früher über ihn verhängte Zensur, nachdem er bereits zwölf Jahre zuvor in seiner „Astronomia nova“ einer engstirnigen und wörtlichen Auslegung der Bibel mutig entgegengetreten war.

Die im Sinne Osianders von dem Tübinger Rektor Hafenreffer erhobene Forderung „bei der Darlegung derartiger Hypothesen rein nur als Mathematiker“ aufzutreten, „der sich nicht darum zu kümmern hat, ob diese Lehre den geschaffenen Dingen entspreche oder nicht“ (Johannes Kepler: Das Weltgeheimnis, a. a. O., S. XX), lehnte Kepler aber von vornherein entschieden ab und schrieb schon in der ersten Ausgabe: „Niemals konnte ich auch in dieser Sache jenen zustimmen, die sich auf den Fall einer Beweisführung stützten, bei der zufällig auf Grund falscher Voraussetzungen durch zwingende Gründe etwas Wahres herauskommt, und sich darauf versteifen, es sei möglich, daß die Anschauungen des Kopernikus' falsch, die aus ihnen zu erschließenden Erscheinungen aber richtig seien, wie wenn sie sich auf wahre Prinzipien stützten“ (Johannes Kepler: Das Weltgeheimnis, a. a. O., S. 29).

Das Werk fand geteilte Aufnahme. Während der Neoplatoniker Georg Limnaeus (1554–1611), Professor der Mathematik an der neu gegründeten Universität Jena, begeistert zustimmte, lehnte Johann Praetorius (1537–1616), der vom Mechaniker zum Professor der Astronomie an den Universitäten Wittenberg und Altdorf aufgerückt war, das spekulative Vorgehen Keplers ab. „Auf einer anderen Grundlage, auf Grund der Beobachtungen und a posteriori sind die Entfernungen zu bestimmen. Ob hernach die regulären Körper damit übereinstimmen oder nicht, was hat das zu bedeuten?“ heißt es in einem seiner Briefe (Joanni Kepleri Astronomi Opera omnia, ed. Ch. Frisch, Vol. I., Frankfurt, Erlangen 1858, S. 60).

Auch Tycho Brahe erhob entsprechende Einwände: „Die Harmonie und Ebenmäßigkeit der Anordnung ist a posteriori, wenn die Bewegungen und die Anlässe zu den Bewegungen ganz genau feststehen, nicht a priori, wie Du und Maestlin es wollen, zu ermitteln“, schrieb er dem Autor (Joanni Kepleri, a. a. O., S. 46/47). Galilei dankte höflich für die Übersendung des Werkes, hat sich aber auf keinen weiteren Briefwechsel eingelassen, wahrscheinlich, weil er das Verfahren Keplers grundsätzlich ablehnte. Nach Keplers Tod äußerte er: „Ich habe Kepler stets



Johannes Kepler



Galileo Galilei

wegen seines freien und feinen Verstandes geschätzt, allein meine Art zu philosophieren ist von der seinigen durchaus verschieden“ (Johannes Kepler: Das Weltgeheimnis, a. a. O., S. XXVII).

In einer Anmerkung zur 2. Auflage seines Jugendwerkes schrieb Kepler: „... daß in dem vorliegenden Büchlein die Keime gelegt sind für alles und jedes, was ich seither in der neuen, nach Meinung des Publikums törichten Astronomie auf Grund der höchst zuverlässigen Beobachtungen Tycho Brahes aufgestellt und bewiesen habe“ (Johannes Kepler: Das Weltgeheimnis, a. a. O., S. 142).

Er hat damit auf die Seite seines Schaffens hingewiesen, die ihn davor bewahrte, in dem Abgrund der Spekulation zu versinken: auf seine unerschütterliche Überzeugung, daß die Ergebnisse der Berechnungen mit den Beobachtungen übereinstimmen müssen. Diese Forderung war schon von Peurbach und Regiomontan erhoben und von Kopernikus zum Grundsatz seiner Astronomie gemacht worden. Sie veranlaßte Tycho Brahe, neue, exakte Beobachtungen durchzuführen, und sie bewog Kepler, seine Rechnungen in jahrelanger Arbeit wieder und wieder zu verbessern und nicht eher zu ruhen, bis sie die Beobachtungen richtig wiedergaben.

Bei Kepler verband sich die Suche nach der Harmonie und Symmetrie des Universums mit der Besinnung auf die Tatsachen zu einer Auffassung der Naturgesetzlichkeit, die auf dem Weg von der theologischen zur wissenschaftlichen Weltanschauung lag und ihn selbst auf diesem Weg vorwärtsführen sollte. Indem er an dem Kriterium der Praxis festhielt, lernte er, die von ihm gesuchte Harmonie des Universums mehr und mehr als Naturgesetz anstatt als Zahlenverhältnis zu begreifen.

Die Physik des Himmels

Zunächst hatte er den lebhaften Wunsch, das reiche Beobachtungsmaterial Tycho Brahes kennenzulernen und benutzen zu können. Dieser Wunsch ging schon einige Jahre später in Erfüllung, als Tycho Brahe in Prag neue Mitarbeiter suchte. Damals war die Macht der Habsburger in der Steiermark wiederhergestellt worden, die Landstände waren aufgelöst und das Land wurde zwangsweise rekatholisiert. Unter diesen Umständen wollte und konnte Kepler als Protestant nicht in Graz bleiben. Er nahm das Angebot Tycho Brahes, der ja ebenfalls Protestant war, an und trat 1600 als Mathematiker und Assistent Tycho Brahes in die Dienste Kaiser Rudolfs II. in Prag.

Tycho Brahe beauftragte ihn, die Bewegung des Mars auf Grund der Beobachtungsdaten zu berechnen, weil gerade sie den Astronomen besondere Schwierig-

keiten bereitete. Er wies ihn damit auf den Weg der induktiven Methode, den er in seiner Kritik am „Mysterium cosmographicum“ gefordert hatte. Das war der Weg, der Kepler zur Entdeckung der drei nach ihm benannten Gesetze der Planetenbewegung geführt hat.

Kepler hat diese Aufgabe nach dem Tode von Tycho Brahe mit unermüdlichem Fleiß in jahrelanger, zäher Arbeit fortgesetzt und nicht geruht, bis seine Berechnungen mit den Beobachtungsdaten genau übereinstimmten. Dabei wurden an solche Berechnungen weit höhere Ansprüche gestellt als noch ein halbes Jahrhundert früher.

Von Tycho Brahe war die Meßgenauigkeit wesentlich erhöht worden. Noch Kopernikus hatte erklärt, er wäre glücklich, wenn sich seine Berechnungen auf 10' genau herausstellen sollten. Kepler aber begnügte sich damit keineswegs, sondern setzte seine Rechnungen auch dann fort, als die ersten Ansätze einen Fehler von 8' bei der Berechnung der Marsposition gegenüber den Beobachtungen ergaben. In der „Neuen Astronomie“ schrieb er selbst, daß Ptolemäus einen Fehler von 8' in der Rechnung nicht berücksichtigt hätte, da die Meßgenauigkeit nur bei 10' gelegen habe und fuhr dann fort: „Für uns, denen die göttliche Güte in Tycho Brahe einen so sorgsamten Beobachter geschenkt hat, aus dessen Beobachtungen der Fehler der ptolemäischen Rechnung im Betrag von 8' sich verrät, geziemt es sich, daß wir dankbaren Sinnes diese Wohltat Gottes anerkennen und ausnutzen. Das heißt, wir sollen uns Mühe geben, daß wir . . . endlich die wahre Form der Himmelsbewegung aufspüren . . . Da jener Fehler aber jetzt nicht vernachlässigt werden durfte, so wiesen allein diese 8' den Weg zur Erneuerung der ganzen Astronomie; sie sind der Baustoff zu einem großen Teil dieses Werkes geworden“ (Johannes Kepler: Neue Astronomie. Übersetzt und eingeleitet von Max Caspar, München/Berlin 1929, S. 166).

Kepler stellte den ganzen Werdegang dieser Berechnungen in seinem Werk „Astronomia nova“ („Neue Astronomie“) dar, das 1606 abgeschlossen war und 1609 mit finanzieller Unterstützung des Kaisers veröffentlicht wurde.

Der vollständige Titel des Werkes lautet in deutscher Übersetzung: „Die neue Astronomie, ursächlich begründet, oder die Physik des Himmels, dargestellt in Untersuchungen über die Bewegungen des Sternes Mars auf Grund der Beobachtungen des Edelmannes Tycho Brahe auf Geheiß und Kosten Rudolfs II., römischen Kaisers usw., in mehrjährigen beharrlichen Studien ausgearbeitet zu Prag von Sr. Heil. Kais. Maj. Mathematiker Johannes Kepler.“

Wie Kepler in der Vorrede ausführte, hatte er die Bewegungen des Mars sowohl nach dem System von Ptolemäus wie auch nach dem von Tycho Brahe und nach dem von Kopernikus berechnet und dabei die physikalische Überlegenheit der kopernikanischen Lehre nachgewiesen. Kepler, der infolge der ungünstigen Entwicklung der Mathematik bei seinen Berechnungen einen halb

empirischen Weg einschlagen mußte, verglich sein Vorgehen mit den Entdeckungsreisen und Irrfahrten von Kolumbus, Magalhães und der Portugiesen.

Wir wollen ihm nicht auf seinen Irrfahrten, wohl aber in die neu entdeckten Gebiete folgen.

Die drei Keplerschen Gesetze werden heute gewöhnlich in folgender Reihenfolge angeführt:

1. Die Planeten bewegen sich auf Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.

2. Die Verbindungsgerade Sonne – Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.

3. Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen der großen halben Achsen ihrer Bahnellipsen.

Heute können wir diese Gesetze aus dem allgemeinen Gravitationsgesetz Newtons mit wenigen Überlegungen ableiten. Historisch aber ist der Weg in umgekehrter Richtung zurückgelegt worden. In langwierigen Rechnungen, die noch dadurch außerordentlich erschwert waren, daß nicht einmal die Logarithmen bekannt waren, geschweige denn die Infinitesimalrechnung, mußten aus den Beobachtungen durch unermüdliches Probieren die Bewegungsgesetze abgeleitet werden. Erst nach Keplers Tod wurde dann aus den Bewegungsgesetzen nun schon unter Zuhilfenahme von Logarithmen und gleichzeitig mit der Entwicklung der Grundbegriffe der Infinitesimalrechnung das Gravitationsgesetz abgeleitet. Kepler hat das 2. Gesetz vor dem 1. Gesetz entdeckt und das 3. Gesetz erst nach zehn Jahren weiterer Rechnung gefunden.

Der Titel des Werkes „Neue Astronomie, ursächlich begründet, oder die Physik des Himmels“ bedeutete, wie aus dem Vorwort hervorgeht, zugleich ein Programm. Es besagte, daß sich Kepler nicht mit einer formalen Auffassung der Astronomie begnügte und sie nicht auf Geometrie und Trigonometrie beschränkt wissen wollte, sondern ihr darüber hinaus die Aufgabe zuwies, die physikalischen und natürlichen Ursachen der himmlischen Bewegungen zu erforschen. Schon 1605 hatte er in einem Brief erklärt: „Ich glaube, daß beide Wissenschaften (Astronomie und Physik, d. Verf.) so eng miteinander verflochten sind, daß die eine ohne die andere nicht zur Vollkommenheit gelangen kann.“

Kepler nahm an, daß die Quelle der Bewegung der fünf Planeten und der Erde in der Sonne zu suchen sei, und schrieb ihr, lange vor deren Entdeckung, eine Rotation zu. Er meinte, „daß die Sonne zwar an ihrem Platz bleibe, sich aber wie in einer Drehbank drehe und aus sich in die Weite der Welt eine immaterielle Spezies ihres Körpers analog der immateriellen Spezies ihres Lichtes aussende. Diese Spezies drehe sich bei der Rotation des Sonnenkörpers ebenfalls nach Art eines reißenden Strudels, der sich über die ganze Welt hin erstrecke, und trage gleichzeitig die Planetenkörper im Kreis herum mit sich fort, in stär-

kerem oder schwächerem Zug, je nachdem sie nach dem Gesetz ihrer Ausströmung dichter oder dünner ist“ (Johannes Kepler: Neue Astronomie, a. a. O., S. 34). Unter dieser Voraussetzung setzte er die Sonne selbst in den Mittelpunkt der Welt, was Kopernikus in seinen genaueren Berechnungen nicht aufrechterhalten konnte. Gleichzeitig brach er mit der von Kopernikus vertretenen These, daß die wahre Bewegung der Planeten unbedingt mit konstanter Geschwindigkeit erfolgen müsse. Dieser scheinbare Rückschritt zu der Lehre von Ptolemäus erwies sich de facto als ein Fortschritt, der Kepler den Weg zur Ableitung des Flächensatzes oder des 2. Keplerschen Gesetzes aus den Bewegungsdaten öffnete. Unter der weiteren (falschen) Annahme, daß die Bahngeschwindigkeit eines Planeten mit seiner Entfernung von der Sonne abnimmt, gelangte er zu der Vorstellung, daß sich der Mars nicht auf Kreisen, sondern in einem Oval um die Sonne bewege. Schließlich bestimmte er dieses Oval als eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt – eine Bezeichnung, die Kepler in die Wissenschaft eingeführt hat – die Sonne steht. Damit war auch das 1. Keplersche Gesetz entdeckt.

Die kopernikanische Astronomie war um ein bedeutendes Stück weiterentwickelt und zugleich wesentlich vereinfacht worden. Das „Unkraut der Epizyklen und Exzenter“ war aus der Astronomie entfernt und mit ihm waren die aristotelisch-scholastischen Dogmen von der kreisförmigen Bewegung und der Konstanz der Geschwindigkeit beseitigt.

Gleichzeitig löste sich Kepler von der Vorstellung eines Strebens der Körper zum Weltmittelpunkt und setzte an dessen Stelle ein „körperliches Bestreben zwischen verwandten Körpern nach Vereinigung oder Verbindung“, das heißt die noch verschwommene Vorstellung einer allgemeinen Anziehungskraft. Unter dieser Annahme, so führte er aus, seien die physikalischen Einwände gegen die Erdbewegung hinfällig, und er fuhr fort: „Kopernikus freilich nimmt lieber an, daß die Erde und alles Irdische, mag es auch von der Erde losgerissen sein, durch ein und dieselbe bewegende Seele informiert wird, die gleichzeitig, indem sie die Erde dreht, auch jene von ihren Körpern losgerissenen Teilchen dreht... Es genügt jedoch für die losgelösten Teilchen jene körperliche Kraft, jene animalische ist überflüssig“ (Johannes Kepler: Neue Astronomie, a. a. O., S. 27).

Mit der ganzen herkömmlichen Astronomie hatte Kepler noch im „Mysterium cosmographicum“ angenommen, daß die Himmelskörper von „himmlichen Intelligenzen“ oder doch von „Seelenkräften“ auf ihren Bahnen gelenkt würden, und den Gestirnen eine Seele zugeschrieben. Nachdem er sich aber davon überzeugt hatte, daß es keine festen himmlischen Sphären geben könne, setzte er in der „Astronomia nova“ an ihre Stelle magnetische oder Anziehungskräfte und schrieb: „Wenn es sodann keine festen Bahnen gibt, geraten die bewegenden Verstandes- oder Seelenkräfte in eine recht mißliche Lage, insofern man von ihnen verlangen muß, auf so viele Dinge achtzugeben, damit sie den Planeten

gleichzeitig jene doppelte Bewegung ausführen lassen. Man zwingt sie nämlich zum wenigsten, gleichzeitig und auf einmal auf die Anfänge, Mittelpunkte und Umlaufzeiten beider Bewegungen achtzugeben. Wenn sich aber die Erde bewegt, so kann, wie ich beweise, das meiste von nicht beseelten Kräften, also körperlichen, magnetischen Kräften bewirkt werden“ (Johannes Kepler: Neue Astronomie, a. a. O., S. 24).

Einige Jahre später (1621) hat er noch deutlicher gesagt, man müsse den von ihm im „Mysterium cosmographicum“ benutzten Ausdruck Anima (Seele) durch den Ausdruck Vis (Kraft) ersetzen (Johannes Kepler: Das Weltgeheimnis, a. a. O., S. 129).

Kepler wollte, wie er es an anderer Stelle ausdrückte, die Natur nicht mehr „instar divini animalis“ („als ein göttliches, beseeltes Wesen“), sondern „instar horologii“ („als ein Uhrwerk“) ansehen (Joanni Kepleri: Opera omnia, a. a. O., Bd. 2, S. 84). Ebenso wie er die platonischen Vorstellungen von der Gleichförmigkeit der Bewegung und von den Kreisbahnen aufgegeben hatte, gab er folgerichtig und konsequent auch die philosophische Grundlage dieser Vorstellungen auf. Mit dem Wechsel von Anima zu Vis war die Mechanik des Himmels proklamiert und der Übergang von der religiösen und theologischen Naturauffassung, von der er ausgegangen war, zur materialistischen Naturwissenschaft vollzogen.*

Ganz folgerichtig ist Kepler immer konsequent für die schon von Kopernikus geforderte Emanzipation der Astronomie von der Theologie eingetreten. In der „Astronomia nova“ heißt es ganz unmißverständlich: „Auf die Meinungen der Heiligen aber über diese natürlichen Dinge antworte ich mit dem einzigen Wort: In der Theologie gilt das Gewicht der Autorität, in der Philosophie aber das der Vernunftgründe. Heilig ist zwar nun Laktanz, der die Kugelgestalt leugnete, heilig Augustinus, der die Kugelgestalt zugab, aber Antipoden leugnete; heilig das Offizium unserer Tage, das die Kleinheit der Erde zugibt, aber ihre Bewegung leugnet. Aber heiliger ist mir die Wahrheit, wenn ich, bei aller Ehrfurcht vor den Kirchenlehrern, aus der Philosophie beweise, daß die Erde rund, ringsum von Antipoden bewohnt, ganz unbedeutend und klein ist und auch durch die Gestirne hineilt“ (Johannes Kepler: Neue Astronomie, a. a. O., S. 33).

Es leuchtet ein, daß Keplers Schriften von der katholischen Kirche verboten wurden. Sein Wunsch, an seiner Heimatuniversität Tübingen eine Professur zu erhalten, scheiterte an dem Einspruch der protestantischen Theologen.

Trotz dieser Entwicklung zu einer mechanischen Naturauffassung hat Kepler sein Suchen nach der Struktur und der Harmonie der Natur und des Universums nicht aufgegeben. Zehn Jahre nach der „Astronomia nova“ erschien das umfang-

* Dijksterhuis bemerkt zu dieser von Kepler in seiner „Astronomia nova“ dargestellten Wendung treffend, daß „wir hier sozusagen die Tür, die den Saal der antiken und mittelalterlichen Naturwissenschaft von dem der klassischen trennt, sich in ihren Angeln drehen sehen“ (E. J. Dijksterhuis: Die Mechanisierung des Weltbildes, a. a. O., S. 357).

reiche Werk „*Harmonices mundi*“ („Die Weltharmonien“), in dem er harmonische Proportionen, reguläre Vielecke und Polyeder, musikalische Harmonien und schließlich die Harmonien der Himmelsbewegungen behandelte, das heißt in dem er die Aufgaben auf Grund tieferen mathematischen Wissens und breiterer Kenntnis erneut zu lösen versuchte, die er sich schon im „*Mysterium cosmographicum*“ gestellt hatte.

So abwegig und unwissenschaftlich dieses Suchen nach Harmonien und damit die Zielstellung des Werkes auch gewesen ist, ebenso deutlich finden wir auch in diesem Werke die Besinnung auf die Tatsachen, die sein Werk von kabbalistischen, magischen und mystischen Werken grundsätzlich unterscheidet. Kepler lehnte jede bloße Zahlenmystik entschieden ab, verspottete diejenigen, die irgendeine Zahl für vollkommener als eine andere hielten, und betonte die Bedeutung der Quantität für die Naturerkenntnis gegenüber der bloß qualitativen Naturlehre der Aristoteliker.

Diese auf die Mathematik und das Rechnen bezogene Naturauffassung des Astronomen, verbunden mit dem seit Prag neu übernommenen Grundsatz, seine Ergebnisse induktiv abzuleiten, führte ihn auf der Suche nach den Weltharmonien zur Entdeckung des 3. Keplerschen Gesetzes über die Beziehungen zwischen den Umlaufzeiten und den mittleren Entfernungen der Planeten. Kepler begann ein Vierteljahrhundert nach Veröffentlichung seines Jugendwerkes, die von ihm gesuchte Harmonie des Universums als Naturgesetz anstatt als bloßes Zahlenverhältnis zu begreifen und glaubte sich am Ziele seines Strebens. Unmittelbar unter dem ersten Eindruck der Entdeckung schrieb er: „Ich fühle mich hingerissen und besessen von einem unsäglichem Entzücken über die göttliche Schau der himmlischen Harmonien“ (Johannes Kepler: *Weltharmonik*. München-Berlin 1939, S. 31). Die Entdeckung ging in der Tat über die ersten beiden Gesetze hinaus, da sie nicht nur allgemeine Gesetze für die einzelnen Planetenbahnen formulierte, sondern allgemeine Beziehungen zwischen den Bahnen verschiedener Planeten.

So fruchtbar sich sein Suchen nach Harmonien in diesem Fall erwies, so deutlich zeigten sich aber auch dessen Grenzen. Den kühnen Schlußfolgerungen von Giordano Bruno über die Unendlichkeit der Welt und der Zahl der Fixsterne vermochte Kepler sich nicht anzuschließen. Er konnte sich eine unendliche Welt nur als regelmäßig im Raum verteilte Anordnung der Sterne vorstellen und suchte mathematisch und logisch zu beweisen, daß dann der Sternhimmel anders aussehen müsse, als wir ihn kennen. Die Behauptung, der Anblick des Himmels von einem beliebigen Gestirn aus gesehen gleiche dem unseren, versuchte er zu entkräften. Für Kepler blieb die Sonne das Zentrum der Welt und das durch einen weiten Zwischenraum von den Sternen getrennte Sonnensystem eine Art großer Hohlraum und damit eine ausgezeichnete Stelle im Universum.

Mit der Entdeckung des 3. Keplerschen Gesetzes war die kopernikanische Astronomie so weit durchgebildet, daß eine einheitliche Darstellung der gesamten neuen Lehre ohne Rückgriff auf die ptolemäische Astronomie mit ihren Epizyklen möglich geworden war. Kepler hat eine lehrbuchmäßige Darstellung der kopernikanischen Astronomie geschaffen und in den Jahren 1618, 1620 und 1621 in drei Teilen einen „Abriß der kopernikanischen Astronomie“ („*Epitome Astronomiae Copernicae*“) herausgegeben.

Der Charakter dieser Schrift als Lehrbuch wird dadurch deutlich unterstrichen, daß der ganze Stoff, wie es damals zu diesem Zweck üblich war, in kurzen Fragen mit entsprechenden längeren Antworten, das heißt, fast in Form von Prüfungsfragen und -antworten, dargestellt ist. Dabei werden gerade in dieser Form auch die alten aristotelischen Ansichten widerlegt, und ebenso die Einwände der Gelehrten und Theologen gegen die Bewegung der Erde.

Die Darstellung ist schon deshalb als eine bedeutende Leistung anzusehen, weil Kepler den ganzen Stoff neu geordnet hat. Er löste diese Aufgabe sehr geschickt, indem er gleich anfangs, wo er die einfachen Grundkenntnisse über die Gestirne, die sphärische Trigonometrie und die Himmelskreise vermittelte, die tägliche Rotation der Erde einführte. Anschließend behandelte er das Planetensystem auf der Grundlage seines 3. Gesetzes einschließlich seiner Vorstellungen über die von der Sonne ausgehende Kraft der Planetenbewegung und die Harmonie des Universums und erst danach die Bewegung der einzelnen Planeten und ihre Bahnen nach den beiden ersten Keplerschen Gesetzen. Es folgten dann die notwendigen Angaben über den Lauf der Sonne, der oberen und unteren Planeten sowie des Mondes in bezug auf deren scheinbare Bewegung und schließlich die Berechnung der Aspekte und Konstellationen von Gestirnen, wie sie in der Astrologie gebraucht wurden. Kepler schloß das Werk mit einem Buch über den Fixsternhimmel und die Präzession der Äquinoktien. Das klar und verständlich geschriebene Lehrbuch hat das Studium und die Verbreitung der kopernikanischen Astronomie außerordentlich erleichtert und gefördert.

Um die Entdeckung der drei Keplerschen Gesetze auch für die praktische Astronomie voll nutzbar zu machen, bedurfte es nunmehr nur noch der Berechnung neuer astronomischer Tafeln und Jahrbücher. Kepler hat sich auch dieser mühsamen und umfangreichen Rechenarbeit unterzogen. 1627 erschienen in Ulm die sogenannten „Rudolphinischen Tafeln“ als neue Grundlage astronomischer Rechnungen. Mit ihnen hatte Kepler ebenso wie Kopernikus bzw. dessen direkte Schüler und Nachfolger seine großen Entdeckungen bis zur praktischen Anwendung durchgebildet.

Obgleich Kepler kein praktischer Astronom gewesen ist und selbst höchstens

gelegentlich Beobachtungen und Messungen mit einfachen Instrumenten durchgeführt hat, verfolgte er die Ergebnisse der praktischen Astronomie mit größtem Interesse. Auch zur Entwicklung dieses Zweiges der Astronomie hat er wichtige Beiträge geleistet. Das zeigen insbesondere seine Aufgeschlossenheit gegenüber den astronomischen Entdeckungen Galileis, von denen noch die Rede sein wird, und sein Vorschlag des sogenannten „Keplerschen Fernrohres“, das für astronomische Zwecke weitaus besser geeignet war als die von Galilei herrührende Konstruktion. Darüber hinaus waren seine Schriften über geometrische Optik und seine mathematischen Untersuchungen für die Astronomie von großer Bedeutung.

Aus seinem Nachlaß wurde 1634 von seinem Sohn Ludwig Kepler eine kurze Schrift mit dem Titel „Traum oder nachgelassenes Werk über die Astronomie des Mondes“ herausgegeben, die in Form eines phantastischen Berichtes die Himmelserscheinungen schildert, wie sie sich einem Beobachter auf dem Monde darbieten.

Das Bemerkenswerte an dieser Schrift besteht nicht etwa, wie gelegentlich behauptet worden ist, in den halb spielerischen Allegorien, in die Kepler im Geschmack des Barock seinen Traum kleidete, sondern darin, daß an einem Beispiel das Auftreten scheinbarer Bewegungen mathematisch und astronomisch genau dargestellt und damit der Unterschied zwischen „eentlichen“ und „scheinbaren“ Hypothesen, von dem Simon Stevin gesprochen hatte, herausgearbeitet und klargestellt wurde. Zu einer Zeit, als der Begriff der relativen Bewegung noch keineswegs klar war, stellten diese Überlegungen an das Abstraktionsvermögen der Leser außerordentlich hohe Anforderungen. Sie zeigten zugleich, wie konsequent Kepler die Lehre von der bewegten Erde durchdacht hatte.

In einem nach 1625 verfaßten Anhang beschrieb Kepler weiter die wichtigsten Erscheinungen auf der Mondoberfläche. Dabei schloß er aus der Regelmäßigkeit der Krater darauf, „daß auf der Oberfläche des Mondes ein Geschlecht lebt, begabt mit der Vernunft, um jene geräumigen Höhlen zu erbauen, vorhanden in sehr vielen Individuen“ (Ludwig Günther: *Keplers Traum vom Mond*, Leipzig 1898, S. 168). Kepler eröffnete damit eine ganze Folge wissenschaftlicher und philosophischer Untersuchungen über die Bewohner anderer Himmelskörper, die die letzten Reste der früheren Vorstellungen von einem prinzipiellen Unterschied zwischen himmlischen und irdischen Erscheinungen überwinden und beseitigen half.

Unter den damaligen politischen Ereignissen in Deutschland verlief das persönliche Leben Keplers mit zunehmendem Alter eher stürmischer als ruhiger. Kaiser Rudolph II., zu dessen Hofmathematiker er 1601 nach dem Tode Tycho Brahes ernannt worden war, mußte auf den Thron verzichten und starb im Jahre 1612. Kepler fand im gleichen Jahr eine Stelle als „Landschaftsmathema-

tiker“ der oberösterreichischen Stände in Linz, wo er wieder für den Kalender zu sorgen und Mathematikunterricht zu erteilen hatte. Gleichzeitig war er verpflichtet, an der Herstellung einer Karte dieses Erzherzogtums mitzuwirken.

Wenige Tage nach dem Abschluß seines Werkes über die Weltharmonie brach 1618 der große Krieg aus, der im Laufe seiner 30 Jahre in den deutschen Ländern so große Verwüstungen anrichten sollte. Die Kriegseignisse, insbesondere die Besetzung von Linz durch katholische Truppen, veranlaßten Kepler, die Stadt 1626 zu verlassen und nach Ulm überzusiedeln, wo er die Herausgabe der „Rudolphinischen Tafeln“ betrieb. Aber schon ein knappes Jahr später reiste er nach Prag, wo er durch Vermittlung von Kaiser Ferdinand II. in die Dienste Wallensteins trat. Wallenstein, ein überzeugter Anhänger der Astrologie und Liebhaber der Astronomie, schlug ihm als Herzog von Mecklenburg vor, eine Professur an der Universität Rostock zu übernehmen. Er wies ihm Sagan in Schlesien als vorläufigen Wohnsitz an. Im Sommer 1628 traf Kepler mit seiner Familie in Sagan ein. Ehe er von dort nach Rostock übersiedeln wollte, plante er eine lange Reise zum Reichstag nach Regensburg, um dort wegen der beträchtlichen Summe, die ihm die beiden deutschen Kaiser von seinem Gehalt schuldig geblieben waren, vorstellig zu werden. Er trat diese Reise im Spätherbst 1630 an, was bei dem damaligen Kriegszustand gewiß kein bequemes und einfaches Unternehmen war, traf am 14. Oktober 1630 in Leipzig ein und erreichte Anfang November Regensburg. Dort ist er wenige Tage nach seiner Ankunft an einer Erkältungskrankheit, die er sich auf der Reise zugezogen hatte, im Alter von 59 Jahren gestorben.

Wie aus zahlreichen seiner Briefe hervorgeht, hat die Unsicherheit der damaligen politischen Verhältnisse, die sich auch auf seine Familienverhältnisse auswirkte, Leben und Arbeit dieses großen deutschen Wissenschaftlers sehr belastet. Zweimal mußte er lange Reisen nach seiner Heimatstadt antreten, um seine von den Protestanten als Hexe angeklagte Mutter vor der Folter und dem Feuertod zu bewahren. Der ständige Krieg erschwerte die Verbindung zwischen den Gelehrten sowie den Druck und die Veröffentlichung ihrer Werke.

Mit der Verarmung und Zerstörung vieler deutscher Städte und dem Rückgang des deutschen Bürgertums, mit dem Stillstand von Handel und Produktion kam in Deutschland auch die Entwicklung der Wissenschaft im 2. Viertel des 17. Jahrhunderts zum Erliegen. Im Unterschied zu Tycho Brahe hat Kepler in Deutschland keinen unmittelbaren Schüler und Nachfolger gefunden. Er ist vor der Verurteilung Galileis durch die katholische Kirche gestorben und hat seine Stimme zu dessen Verteidigung nicht mehr erheben können.

Die astronomischen Entdeckungen

Galileo Galilei (1564–1642) aus Florenz war sieben Jahre älter als Kepler und hat ihn um 12 Jahre überlebt. Er studierte einige Zeit an der Universität Pisa Medizin, um sich dann der Physik oder Mechanik zuzuwenden, deren Grundlagen er sich vor allem bei Ostilio Ricci an der „Accademia del Disegno“ in Florenz aneignete, einer Art Technikum für Künstler und Kunsthandwerker. Bei ihm lernte Galilei die Teile der mathematischen Wissenschaften kennen, die in den Lehrplänen der Universitäten fehlten: die praktischen und angewandten Bereiche. Diese Verbindung mit der angewandten Wissenschaft war für die Forschungen und Leistungen Galileis von ausschlaggebender Bedeutung. Seine Entdeckungen auf dem Gebiet der Physik und Astronomie waren vielfach mit der Erfindung eines Instrumentes oder der Verbesserung bekannter Instrumente und ihrer Anpassung an neue Zwecke verbunden. Eine spezielle astronomische Ausbildung hat Galilei nie erhalten.

Er hielt seit 1589 an der Universität Pisa und ab 1592 an der Universität Padua als Professor für Mathematik Vorlesungen über die Grundlagen der Geometrie, Mechanik und Astronomie nach Euklid, Aristoteles und Ptolemäus. Diese Vorlesungen dürften sich kaum von den üblichen unterscheiden haben. Zugleich unterrichtete er eine Reihe Privatschüler in praktischer Mechanik und unterhielt eine kleine Werkstatt zur Anfertigung von physikalischen Instrumenten. Vermutlich sah er hier und nicht an der Universität seine Haupttätigkeit. Gelegentlich stellte Galilei für 60 Lire ein Horoskop.

Angeregt durch die Kenntnisse, die ihm aus der Praxis außerhalb der offiziellen Wissenschaften zuflossen, zweifelte er schon in jungen Jahren an der Gültigkeit und Richtigkeit der aristotelisch-scholastischen Naturlehre. Sein Interesse galt der Mechanik und insbesondere der Bewegungslehre. Schon als Student ent-

deckte Galilei den Isochronismus der Pendelschwingung, und bald gelangte er in bezug auf die Fallbewegung zu Ergebnissen, die der herrschenden Lehre widersprachen. Nach jahrzehntelangen Forschungen war es ihm schließlich 1609 gelungen, die Fallgesetze zu entdecken und richtig abzuleiten. Diese Entdeckungen fanden jedoch zunächst wenig Anerkennung. Auch mit den neuen Ansichten von Kopernikus machte sich Galilei bekannt. In dem oben erwähnten Dankschreiben an Kepler für die Übersendung des „Mysterium cosmographicum“ vom 4. August 1597 erklärte er: „... Ich tue das um so lieber (Keplers Buch lesen, d. Verf.), weil ich zu der Ansicht des Kopernikus schon seit vielen Jahren gekommen bin und von dieser Annahme aus von mir auch die Ursachen vieler Naturvorgänge erklärt worden sind, die zweifellos durch die gewöhnliche Hypothese nicht zu erklären sind. Ich habe darüber vieles an direkten und indirekten Beweisen geschrieben, aber bisher noch nicht zu veröffentlichen gewagt, abgeschreckt durch das Schicksal von Kopernikus selbst, der unser Lehrer ist. Er hat sich bei einigen wenigen unsterblichen Ruhm erworben, von unzähligen vielen aber (denn so groß ist die Zahl der Toren) wird er verlacht und ausgepiffen“ (Galileo Galilei: *Le opere de Galileo Galilei*. Edizione nazionale, vol. X, Firenze 1900, S. 68).

Es entspricht Galileis Interesse für praktische Erfindungen und Instrumente und seinen in der Werkstatt gesammelten Erfahrungen, daß er 1609 auf die Nachricht von der Erfindung des Fernrohrs selbst ein solches konstruierte; es entspricht seiner ökonomischen Situation und seinem Ruf als Universitätsprofessor, daß er das Instrument der Republik Venedig anbot, zu deren Gebiet Padua gehörte, und dafür eine Verdoppelung seines Gehaltes erreichte. Es entspricht schließlich seinen astronomischen Ansichten, daß er das Fernrohr etwa drei Monate später, im Herbst 1609, zum Himmel richtete, denn nach den allgemein geltenden Ansichten war nicht zu erwarten, daß es dort etwas Neues zu sehen gäbe.

Im Verlauf weniger Wochen entdeckte er jedoch eine Fülle bis dahin unbekannter Erscheinungen, wodurch er veranlaßt wurde, nunmehr in aller Öffentlichkeit für die kopernikanische Lehre einzutreten.

Während Kopernikus sozusagen ein Revolutionär der Wissenschaft wider Willen gewesen ist, der seine neuen Ansichten und Einsichten zu rechtfertigen und zu verteidigen suchte, ist Galilei, nachdem er einmal die Beweise in den Händen zu haben glaubte, kühn zum Angriff gegen alte, überlebte Ansichten angetreten.

Er veröffentlichte seine Entdeckungen Anfang 1610 in einer kleinen Schrift mit dem Titel: „Die Botschaft von den Sternen, welche große und höchst wunderbare Entdeckungen offenbart und jedermann, besonders aber den Philosophen und Astronomen, zum Betrachten darbietet, wie sie von Galileo Galilei aus Florenz, Mathematiker an der Hochschule von Padua, mit Hilfe des kürzlich von ihm erfundenen Perspicills beobachtet worden sind am Anblick des Mondes, an

S I D E R E V S N V N C I V S

MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
vnicuique, præsertim verò

PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quæ à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO

Patavini Gymnasij Publico Mathematico

PERSPICILLI

Nuper à se reperti beneficio sunt observata in LVNÆ FACIE, FIXIS IN-
NUMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBVLOSIS,

Apprime verò in

QVATVOR PLANETIS

Circa IOVIS Stellam disparibus intervallis, atque periodis, celeri-
tate mirabili circumvolutis; quos, nemini in hauc vsque
diem cognitos, nouissimè Author depræ-
hendit primus; atque

MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.



VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M D C X
Superiorum Permissu, & Privilegio.

Titelblatt des „Sidereus Nuncius“ Galileis

unzähligen Fixsternen, an der Milchstraße, den Nebelflecken, besonders aber an Planeten, die den Jupiter in ungleichen Abständen und Perioden mit wunderbarer Geschwindigkeit umkreisen und niemandem bis auf diesen Tag bekannt

waren, die der Autor vor kurzem als erster entdeckt und ‚mediceische Sterne‘ zu nennen beschlossen hat.“ Es dürfte kaum ein zweites wissenschaftliches Werk geben, in dem auf so geringem Umfang eine solche Fülle bedeutender neuer Entdeckungen erstmalig bekanntgegeben worden sind. Das Werk enthielt Ausführungen über die Berge und die Täler des Mondes, es gab den Hinweis, wie man aus der Länge der Schatten die Höhe der Mondberge bestimmen könne, es beschrieb eine große Zahl neu entdeckter Fixsterne, die mit bloßem Auge nicht sichtbar sind, und bestätigte die alte Ansicht Demokrits, daß die Milchstraße eine Anhäufung von Sternen sei. Insbesondere aber berichtete es von der Entdeckung von vier Jupitermonden und gab vorläufige Angaben über deren Umlaufzeiten.

Diese Entdeckungen waren deshalb so aufsehenerregend, weil nach der aristotelisch-scholastischen Lehre einzig und allein um die Erde als Mittelpunkt des Weltalls kreisförmige Bewegungen anderer Himmelskörper stattfinden konnten. Die Sonderstellung der Erde war plötzlich und überraschend auch in dieser Beziehung durchbrochen und die kopernikanische Lehre, wenn nicht bestätigt, so doch jedenfalls indirekt außerordentlich gestützt. Zugleich trugen die Entdeckungen auf der Mondoherfläche, die man bis dahin für eine glatte Spiegelfläche gehalten hatte, wesentlich dazu bei, die Lehre von dem prinzipiellen Unterschied zwischen himmlischen und irdischen Körpern zu erschüttern. Die Entdeckung zahlreicher neuer Sterne rief die Anschauungen Giordano Brunos von ihrer unendlichen Anzahl und von der Unendlichkeit der Welt ins Gedächtnis zurück.

Berichte von den Entdeckungen waren schon vor Erscheinen der „Sternenbotschaft“ bekannt geworden und hatten weit über den Kreis der Fachleute hinaus großes Interesse gefunden. Die erste Auflage der „Sternenbotschaft“ in Höhe von 550 Exemplaren war in wenigen Tagen ausverkauft.

Kepler berichtete von der Aufnahme der Entdeckungen folgendes: „Als mir das Doktor Johannes Matthäus Wackher von Wackhenfels, der angesehene kaiserliche Ratsherr und Berichterstatter der kaiserlich-geistlichen Oberbehörde, vom Wagen aus vor meiner Wohnung erzählte, da überschlich mich ein wunderbares Gefühl bei dem seltsamen Bericht. Ich fühlte mein Gemüt im tiefsten bewegt (denn unerwartet löste sich so ein alter Gelchrtensreit von uns beiden). Bald war er freudig ergriffen, ich fieberhaft erregt; dann lachten wir beide in unserer Verwirrung; jetzt erzählte er wieder weiter und ich lauschte gespannt – so kamen wir kaum zu Rande“ (Joanni Kepleri: Opera omnia, a. a. O., Bd. 2, S 489). Einige Zeit später erhielt Kepler von Kaiser Rudolph II. ein Exemplar des „Sidereus Nuncius“ mit der Aufforderung, dazu Stellung zu nehmen. Kepler zeigte sich auf der Höhe der Situation. In einer gründlichen Abhandlung mit dem Titel „Dissertatio cum nuntio sidereo nuper ad mortales misso“ („Dissertation

mit dem kürzlich zu den Sterblichen gesendeten Sternenboten“) ging er der Reihe nach auf die einzelnen Entdeckungen ein, erkannte sie ohne Einschränkung an und unterstrich deren Bedeutung für die Bestätigung der kopernikanischen Lehre. Ein prinzipieller Unterschied zwischen Himmel und Erde existierte für Kepler überhaupt nicht mehr, und in kühnem Gedankenflug entwickelte er weit vorausblickend die Möglichkeiten kosmischer Flüge, als er an Galilei gerichtet ausrief: „Wer hätte jemals geglaubt, daß die Seefahrt auf dem weit gedehnten Weltmeer ruhiger und gefahrloser sei, als in den eng drohenden Buchten der Adria, der Ostsee oder der britischen Meerenge. Schaff’ nur Fahrzeuge und Segel, die der Himmelsluft angepaßt sind, dann kommen schon Menschen, die sich nicht einmal vor jener weiten Üde fürchten werden. Inzwischen wollen wir, sozusagen kurz vor der Ankunft dieser kühnen Himmelsfahrer, Himmelsländerkarten ausarbeiten – ich für den Mond, Du, Galilei, für den Jupiter“ (Joanni Kepleri: Opera omnia, Bd. 2, S. 502). Diese von optimistischem Vertrauen in den menschlichen Verstand und Unternehmungsgeist getragenen Äußerungen sprechen deutlich von einer neuen Auffassung über Himmel und Erde, wie sie im Mittelalter undenkbar gewesen wäre.

Kepler entwickelte in der gleichen Schrift Vorschläge zur Konstruktion eines verbesserten Fernrohres (des sog. Keplerschen Fernrohres), die kurze Zeit später von dem deutschen Astronomen Christoph Scheiner (1575–1650) aufgegriffen worden sind und zur schnellen Erforschung des Himmels wesentlich beigetragen haben.

Galilei selbst war durch seine Entdeckungen mit einem Schlag bekannt geworden und erntete allgemeine Anerkennung. Er erhielt die erbetene Anstellung als „Philosoph und Erster Mathematiker des Großherzogs von Toscana“ in Florenz, die ihm bei höheren Einkünften mehr Zeit für seine Forschungsarbeiten ließ. Er reiste 1611 selbst nach Rom, wurde als Mitglied in die „Accademia dei Lincei“ zu Rom aufgenommen, die bedeutendste wissenschaftliche Vereinigung seines Landes, und erreichte die Bestätigung seiner Entdeckungen durch die Mathematiker des Collegium Romanum, der zentralen wissenschaftlichen Instanz des Jesuitenordens. Der Zusammenhang der neu entdeckten Erscheinungen mit der kopernikanischen Lehre wurde dabei allerdings nicht berührt.

Gleichzeitig setzte Galilei seine astronomischen Beobachtungen in doppelter Richtung fort. Einmal durchforschte er den Himmel nach weiteren bisher unbekannten Erscheinungen, offensichtlich immer deutlicher mit dem Ziel, neue Beweise für das kopernikanische Weltsystem zu finden. Die Erforschung des Fix-

*Eine Seite aus der Handschrift des „Sidereus Nuncius“
mit Zeichnungen der Jupitermonde*

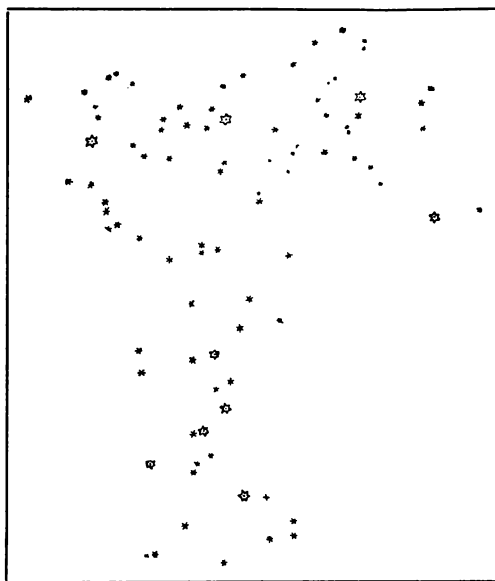
et Jone producta paulatim uerum autem Iachinon.
 Sic decima nota Hora noctis secunda talis fuit stellaz dispositio: erat
 * O * * . nasep ~~secunda~~ recta linea ad uigam ex tres in Jone hab
 6: Orientalis uero a Jone distabat min: 6. Inter Jone
 et primam signatam occidentalem mediabat min: 5. interitium: hanc autem
 ab occidentali aberat min: 4. Annoti erat tunc nasep inter orientalem stellam
 et Jone stellam mediam, uerum Jone propinqua, adeo ut illa fore congerat;
 et Jone quida hanc manifesti uidebatur mediam in uero Jone in orientalem stellam
 bene equidistant occupante. ita ut talis fuit fuerit configuratio. Stella super
 * * O * * non ita in defectu dimidi exiguu fuit; ueritatis hora
 sexta reliquis magnitudine fere fuit equalis.

Sic undecima. Hora 1: 15. dispositio stellarum una est. Aderat ex stellis adeo
 * O * . exiguu, ut uix f. p. possent; a Jone et altere ad magis distabant
 minuto uero: uicinus erat aliquid ex occidente duo, ex occidente
 stellis. Circa Hora 6. hoc factu erat dispositio. Orientalis a Jone
 * O * . duplo magis aberat quam Jone, nasep min: 2. media occidentalis
 a Jone distabat 0: 40. ad occidentalem uero 0: 10. Tertia hora
 septima tres ex occidente uix fuerunt stellis, quos Jone propinqua ab
 * O * . | 0: 10. inter hanc et occidentalem interualla erat minutis secun
 dis 40. inter has uero alia spectabant paulatim ad meridionem
 deflectentes; ab occidentali non pluribus decem secundis remotis.

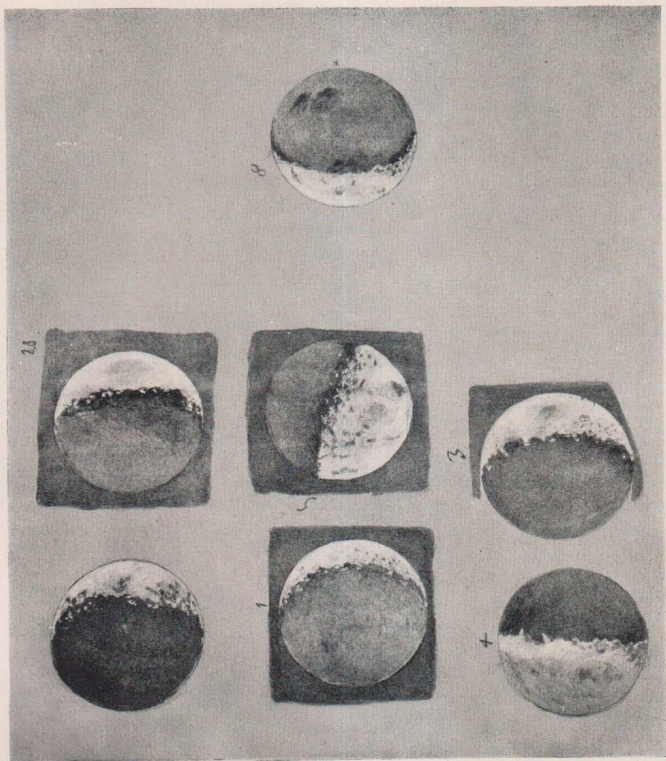
Sic undecima prima Hora 0: 30. Aderat ex oriente stellis tres, equaliter
 * * * O * . inter se, et a Jone distantes; interstitia uero, secundu exis
 timatione 10. secundis inter se. Aderat quoque stella
 ex occidente a Jone distans min: 4: 4. Orientalis Jone propinqua erat
 omni minima, relique uero aliquanto maiora, alij Jone se propinque equali.

Sic undecima secunda Hora 2: conuulsi fuit stellaz dispositio. A stella
 * O * . | orientalis ad Jone minutis primis 5. fuit interuallum
 a Jone ad occidentalem pri: 7. Duo uero occidentales in
 terminis distabant ad uicem. 0: 40. propinquior uero Jone aberat illi
 m. p. 1. Inter media stellis, minores erat extrinsecus: post uero secundu
 eandem recta linea in subteritiorum longitudine extense, nisi quod uicium
 occidentali media paulatim in austrum deflectebat. Sed Hora noctis 6.
 * O * * . | in hac constitutione uix, uix. Orientalis dimidi exi:
 gua erat, distans a Jone ut antea min: 5. Pro uero
 occidentalis, et a Jone, et ad uicem equaliter distabant; erantq. inter
 se priores signis min: 1. non propinque: et stella Jone uicinis reliquis
 quibus sequentibus minor est distabat; omnesq. eandem recta equit:
 14. dispositio uidebatur.

sternhimmels nämlich, die später ganze Generationen von Astronomen beschäftigten und immer mehr in den Vordergrund der Astronomie treten sollte, ließ er beiseite und konzentrierte sich auf das Planetensystem. Schon vor seiner Romreise entdeckte er die Phasen der Venus, deren Vorhandensein die Bewegung dieses Planeten um die Sonne bewies, sowie die Sonnenflecke. Er deutete sie sofort als Erscheinungen auf der Oberfläche der Sonne und schloß aus ihrer sich verändernden Lage auf eine Rotation der Sonne um ihre Achse. Weniger mutig war der Jesuitenpater Christoph Scheiner gewesen, der die Sonnenflecke unabhängig von Galilei entdeckt hatte, sie aber, befangen in der Lehre von der fleckenlosen Reinheit der Himmelskörper, nur als den Vorübergang dunkler Körper vor der Sonne zu deuten gewagt hatte. Noch früher waren die Sonnenflecke und die Rotation der Sonne von Johann Fabricius in Friesland entdeckt und beschrieben worden.



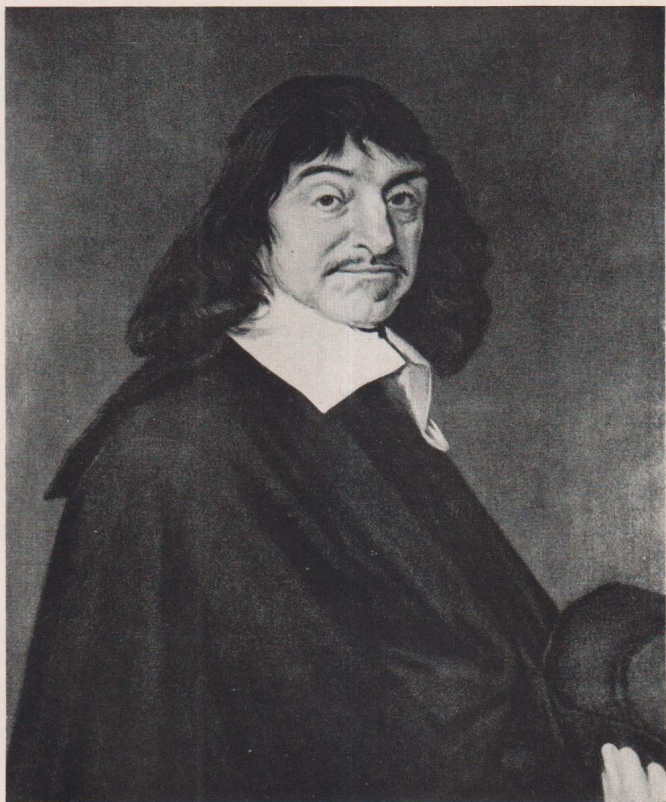
*Eine Zeichnung
Galileis von den
Fixsternen im Orion*



Zeichnungen Galileis vom Mond



Titelblatt der *Dialogue Galileis*



René Descartes



Pierre Gassendi

Aus diesem Zusammentreffen entwickelte sich ein langjähriger Prioritätsstreit, der von Galilei mit ausgesprochenem Starrsinn geführt worden ist und zu den Differenzen zwischen ihm und dem Jesuitenorden viel beigetragen hat.

Das Ringsystem des Saturn vermochte Galilei mit seinem Fernrohr nicht aufzulösen. Er glaubte vielmehr, drei nebeneinanderstehende Himmelskörper zu sehen und verglich den Anblick mit dem eines Herren, der von zwei Dienern seitlich gestützt wird.

Zum anderen hat Galilei, der ja kein Astronom im eigentlichen Sinne und an der Mechanik mehr interessiert war als an der Himmelskunde, fast 10 Jahre lang regelmäßig die Jupitermonde beobachtet, um ihre Umlaufzeiten zu bestimmen. Er hatte nämlich richtig begriffen, daß der Jupiter mit seinen Monden als eine Uhr zur Bestimmung einer von der Erdumdrehung unabhängigen Zeit benutzt werden könne. Der Vergleich dieser Zeitangabe mit der Ortszeit mußte ein bequemes Mittel zur Bestimmung der geographischen Länge liefern, deren Messung besonders für die Hochseeschifffahrt notwendig, aber damals immer noch nicht genau genug möglich war. Galilei hat dieser praktischen Auswertung seiner astronomischen Entdeckungen bedeutend mehr Aufmerksamkeit und Fleiß zugewendet, als gewöhnlich angenommen wird – allerdings ohne Erfolg. Die scheinbaren Umlaufzeiten der Jupitermonde sind nicht konstant, sondern wegen der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit verschieden groß, entsprechend der unterschiedlichen Entfernung Erde–Jupiter.*

Der Streit um die beiden Weltsysteme

Im Zusammenhang mit den neuen astronomischen Entdeckungen entbrannte der Streit um die Weltsysteme aufs neue, der eben nicht, wie Osiander es ansah, eine mathematische Frage verschiedener Berechnungssysteme war. Auf beiden Seiten formierten sich die Lager. Dabei erwies es sich als wesentlich, daß Galilei, der im Kreis der Schulgelehrten nur auf Ablehnung gestoßen war, dazu überging, italienisch zu schreiben. Er trug auf diese Weise die Diskussion über den engen Kreis der Astronomen hinaus in ein breites italienisch schreibendes und lesendes Publikum, das sich aus Vertretern der weltlichen und kirchlichen städtischen Intelligenz zusammensetzte. In Florenz bildete sich bald ein Kreis seiner Anhänger, die von den Gegnern als Galileisten bezeichnet wurden. Zunächst war es um die Anerkennung der neu entdeckten Tatsachen gegangen.

* Bekanntlich sind die Jupitermonde nicht zur Bestimmung der geographischen Länge, sondern zur ersten Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit herangezogen worden (Olaf Römer, 1675).

Obwohl sich die starren Anhänger des Alten einfach weigerten, durch ein Fernrohr zu sehen; obwohl Beobachtungen mit schlechten Instrumenten anfangs Zweifel an der Realität der neuen Erscheinungen aufkommen ließen, hatten Galilei und seine Anhänger alle Argumente auf ihrer Seite. Mit der Entscheidung des Collegium Romanum hatten sie einen ersten Erfolg errungen. Auch die verschiedenen physikalischen Einwände gegen die Bewegung der Erde ließen sich, wenn nicht widerlegen, so doch entkräften.

Unter diesen Umständen kam den theologischen Argumenten gegen das kopernikanische Weltsystem immer größere Bedeutung zu, und die Gegner Galileis zögerten nicht, die Stellen der Bibel, die gegen die Bewegung der Erde und den Stillstand der Sonne sprechen, nachdrücklich ins Feld zu führen.

Letzten Endes ging es bei diesen Auseinandersetzungen um die prinzipielle Frage, ob Tatsachen oder Autoritäten über die Richtigkeit oder Unrichtigkeit einer Theorie entscheiden. Galilei nahm in dieser Frage dieselbe entschiedene Haltung ein wie Kepler, indem er sich für die Tatsachen, das heißt für das Kriterium der Praxis entschied. Im Unterschied zu Kepler aber, der die Interpretation der Bibelstellen auf Anraten der Tübinger Universität offengelassen hatte, hat Galilei in die theologischen Auseinandersetzungen eingegriffen und als gläubiger Katholik direkt gefordert, daß sich die Interpretation der Bibel nach den Tatsachen zu richten habe. In einem Schreiben vom 21. Dezember 1613 an Benedetto Castelli (1577–1644), einem seiner Anhänger, heißt es: „Da die Bibel, wie wohl vom heiligen Geist eingegeben, aus den angeführten Gründen an vielen Stellen Auslegungen zuläßt, die sich vom Wortlaut entfernen, und da wir nicht mit Sicherheit behaupten können, daß alle Ausleger von Gott inspiriert seien, so glaube ich, man würde klug handeln, wenn man niemandem gestattete, Bibelstellen dazu zu verwenden und gewissermaßen zu nötigen, die Wahrheit irgendwelcher wissenschaftlicher Schlußfolgerungen zu stützen, von denen später die Beobachtung und beweisende und zwingende Gründe das Gegenteil lehren könnten. Und wer wird dem menschlichen Geist Schranken ziehen wollen?“ (Galileo Galilei, a. a. O., Bd. 5, S. 283/84).

Die Lage spitzte sich zu, als im Dezember 1614 der Dominikaner Tommaso Caccini in Florenz die kopernikanische Lehre bei einer Predigt scharf verurteilte. Er versicherte, die Mathematik sei eine Erfindung des Teufels und forderte die Austreibung der Mathematiker aus den christlichen Staaten. Um keine Zweifel aufkommen zu lassen, gegen wen sich seine Ausfälle richteten, hatte er seiner Predigt den Bibeltext: „Ihr Männer von Galiläa, was stehet Ihr und sehet gen Himmel?“ zugrunde gelegt. Wenige Wochen später zeigte Niccolo Lorini, ein anderer Dominikaner, der nicht einmal den Namen von Kopernikus genau kannte, Galilei und die Galileisten insgeheim unter Vorlage einer gefälschten Abschrift des Briefes an Castelli bei der Inquisition an.

Galilei erwiderte 1615 die Angriffe seiner Gegner mit einem Schreiben an die fromme Großherzoginmutter Christine von Lothringen, in dem er die Beziehung zwischen Naturwissenschaft und Theologie noch grundsätzlicher und ernster behandelte als in dem ersten Brief an Castelli. Er bestritt die Behauptung, daß die Wissenschaften Geometrie, Astronomie, Musik und Medizin in den heiligen Büchern viel ausgezeichneter und genauer enthalten seien als bei Archimedes, Ptolemäus, Boethius und Galen und beschwor die Theologen, nicht aus „angemaßter Autorität“ in den Fragen der anderen Wissenschaften, die sie nicht ausübt und studiert haben, etwas zu dekretieren, nur weil der Theologie, was Galilei ausdrücklich bejahte, „königliche Autorität ersten Ranges“ zukomme. „Denn es wäre“, so fuhr Galilei fort, „wie wenn ein absoluter Fürst im Bewußtsein, frei befehlen und Gehorsam verlangen zu können, ohne Arzt und Architekt zu sein, verlangte, daß man nach seiner Art heile und baue“ (Galileo Galilei, a. a. O., Bd. 5, S. 325). Gegen Ende des Briefes erklärte er freimütig: „Wenn auch nicht zu bezweifeln ist, daß der Papst bezüglich dieser und anderer Lehrsätze, die nicht direkte Glaubenssätze sind, stets die absolute Macht behält, sie zuzulassen oder sie zu verurteilen, so liegt es bereits nicht in der Macht irgendeines Geschöpfes, sie wahr oder falsch sein zu lassen, im Unterschied davon, daß sie von ihrer Natur und de facto so befunden werden“ (Galileo Galilei, a. a. O., Bd. 5, S. 343).

In der „Emanzipation der Naturforschung von der Theologie“ (Engels) ist Galilei deutlich noch einen wesentlichen Schritt weitergegangen als Kepler.

In Verkennung der gesellschaftlichen und politischen Zusammenhänge und Triebkräfte glaubte Galilei, die Kirchenführung in deren eigenem Interesse für diese neuen Auffassungen gewinnen zu können, und so reiste er auf die Nachricht seiner römischen Freunde, wonach ein Verbot der kopernikanischen Lehre bevorstehe, Ende 1615 erneut nach Rom. Er erreichte dort zwar eine persönliche Rehabilitierung – die gegen ihn erhobenen Vorwürfe der Ketzerei wurden für unbegründet erklärt – aber in seinem Hauptanliegen erlitten er und seine Anhänger eine empfindliche Niederlage.

Im Februar 1611 waren von der Inquisition elf Theologen – keine Astronomen und Mathematiker, wie Galilei gefordert hatte – mit der Prüfung der kopernikanischen Lehre beauftragt worden. Ihrem Gutachten entsprechend wurde Anfang März 1616 ein Dekret erlassen, in dem die Sätze vom Stillstand der Sonne und der Bewegung der Erde als falsch und der Heiligen Schrift widersprechend bezeichnet werden. Um die Ausbreitung dieser Ansicht zu verhindern, wurden das Hauptwerk von Kopernikus und eine weitere Schrift von Diego von Spuniza (Didacus Stunica) bis zu ihrer „Korrektur“ suspendiert. Eine Schrift von Paolo Antonio Foscarini, der beweisen wollte, daß die beanstandeten Sätze der Bibel nicht widersprechen, sowie „alle anderen Bücher, die dasselbe lehren“, wurden

verboten. Galileis Briefe und Schriften wurden in dem Dekret zwar nicht genannt, aber der Kardinal Bellarmin informierte Galilei über die Entscheidung der Kirchenführung und ermahnte ihn, die kopernikanische Lehre weder zu verbreiten noch an ihr festzuhalten. Von einem besonderen Verbot, das ihn verpflichtet hätte, sie in seinen Reden und Schriften überhaupt nicht zu erwähnen, war damals zunächst nicht die Rede.

Galilei hat trotz dieser Entscheidung den Kampf um die kopernikanische Lehre nicht aufgegeben und die Hoffnung nicht fallenlassen, daß es ihm gelingen würde, die kirchlichen Autoritäten zu einer Revision ihres Standpunktes zu veranlassen.

Nach dem Tode seines Vorgängers wurde 1623 der Kardinal Maffeo Barberini (1568–1644) zum Papst gewählt. Mit ihm stand Galilei seit Jahren in angeregtem wissenschaftlichen Verkehr. 1620, also bereits nach der Verurteilung der kopernikanischen Lehre, hatte Barberini ihn in einem lateinischen Gedicht als Entdecker neuer astronomischer Tatsachen gefeiert. Die Gegner der scholastischen Naturlehre setzten deshalb große Hoffnungen auf den neuen Papst. Man war überzeugt, in Urban VIII., wie sich Barberini nannte, den „Papst der Virtuosi“, das heißt der Anhänger der Experimentalwissenschaft, gefunden zu haben (vgl. Galileo Galilei, a. a. O., Bd 13, S. 139). Die „Accademia dei Lincei“ widmete ihm die damals gerade fertiggestellte Streitschrift Galileis „Il Saggiatore“ („Die Goldwaage“), in der in meisterhaftem Italienisch die peripatetische Naturlehre angegriffen und widerlegt wurde und der auf Autoritätsglauben beruhenden scholastischen Methode die Grundsätze einer neuen, messenden, experimentellen und auf Mathematik beruhenden Methode naturwissenschaftlicher Forschung gegenübergestellt wurden. Urban VIII. nahm diese Widmung an. Unter diesen Umständen reiste Galilei im April 1624 wiederum nach Rom, um Papst Urban VIII. für die neue Wissenschaft zu gewinnen. Aber Urban VIII. traf keine Entscheidung, und Galilei kehrte nach zweimonatigem Aufenthalt zwar vom Papst hochgeehrt, aber unverrichteter Dinge nach Florenz zurück.

Das öffentliche Interesse an astronomischen Fragen ließ in der Folgezeit weder in Italien noch im Ausland nach. Die kopernikanische Astronomie wurde weiterentwickelt. 1627 bis 1630 erschienen als Abschluß der Arbeiten Keplers die neuen Rudolphinischen Tafeln. Die Gegner, allen voran die Jesuiten, begannen, sich auf das System von Tycho Brahe zu orientieren.

Ohne direkt auf diese Entwicklung-Bezug zu nehmen, aber sicher nicht in Unkenntnis davon, entschloß sich deshalb Galilei, seinen lange gehegten Plan auszuführen und ein Werk über die Weltsysteme zu schreiben. Die freundliche und ehrenvolle Aufnahme durch Urban VIII. hatte ihn wohl in dem Glauben bestärkt, auf diese Weise eine Aufhebung oder Änderung des Dekretes von 1616 durchsetzen zu können.

Das Werk war 1630 abgeschlossen und erschien 1632 mit Erlaubnis der päpstlichen Zensur im Druck. Es ist der berühmte „Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico, e copernicano“ („Dialog über die zwei grundsätzlichen Weltsysteme, das tolemaische und das kopernikanische“). Dieser in italienischer Sprache geschriebene Dialog wendete sich an die italienische Öffentlichkeit und führte eben damit die Auseinandersetzungen um die Weltsysteme in aller Breite fort.

Als Gesprächspartner auf der einen Seite treten zwei italienische Edelleute auf: Filippo Salviati, der den Namen eines mit Galilei befreundeten, aber bereits verstorbenen Florentiner Patriziers trägt und die Ansichten Galileis vertritt, sowie Gionfrancesco Sagredo, benannt nach einem venezianischen Ratsherrn, der den gebildeten und interessierten Laien vorstellt und damit die Menge derjenigen, die Galilei belehren und gewinnen wollte. Ihnen steht ein Anhänger der peripatetischen Naturlehre gegenüber, dem Galilei wohl nicht ohne Doppeldeutigkeit nach einem berühmten Kommentator des Aristoteles aus dem 6. Jahrhundert u. Z. den Namen Simplicio gab.

In dem Werk werden die Hauptpunkte des Streites mit offensichtlicher Bevorzugung der kopernikanischen Ansichten behandelt. Galilei läßt sich keine Möglichkeit entgehen, auf innere Widersprüche der peripatetischen Naturlehre hinzuweisen, und widerlegt geduldig auch die unsinnigsten Argumente gegen die doppelte Bewegung der Erde. In der Vorrede führt Galilei aus, er wolle im „Dialog“ zeigen, daß die neue Lehre in Italien wenigstens ebensogut bekannt sei wie in anderen Ländern, ihr Verbot also nicht auf Unkenntnis beruhe. Zum Schluß wird von Simplicio noch das Argument vorgebracht, Gott könne alle die Erscheinungen selbstverständlich übernatürlich auch auf ganz andere Weise hervorrufen. Damit schien zwar die kirchliche Entscheidung gerechtfertigt, aber wohlgemerkt nicht im Rahmen der Wissenschaft, sondern gegen sie. Die Trennung von Wissenschaft und Religion wurde damit noch mehr vertieft.

Die Darstellung der beiden Systeme ist äußerst einfach und damit auf das Wesentliche reduziert. Deutlich erkennt man, daß sich Galilei weniger für die rein astronomische, dafür aber um so mehr für die mechanisch-physikalische und weltanschauliche Seite der Frage interessierte. Häufig werden Hinweise auf einfache physikalische Erscheinungen und Experimente statt langatmiger philosophischer Auseinandersetzungen und mathematischer Ableitungen gebracht. Am ersten Tag des Gespräches wird die Frage der Gleichartigkeit bzw. des prinzipiellen Unterschiedes zwischen irdischen und himmlischen Erscheinungen behandelt, am zweiten Tage die tägliche Umdrehung der Erde, am dritten ihre jährliche Bewegung um die Sonne und am vierten und letzten wird eine neue Theorie der Gezeiten erörtert. Galilei versuchte, die Gezeiten auf die tägliche und jährliche Bewegung der Erde zurückzuführen. Allerdings hat sich gerade diese Theorie bei

näherer Prüfung als falsch erwiesen; sie spielt aber deshalb eine so große Rolle im Dialog, weil Galilei glaubte, an irdischen Erscheinungen einen Beweis für die doppelte Bewegung der Erde gefunden zu haben.

Der glänzend und lebendig geschriebene Dialog fand eifrige Leser, und die anrührende Angelegenheit wurde damit zu einem Politikum ersten Ranges. Sie bedrohte mit der himmlischen auch die irdische Macht der katholischen Kirche und des Papstes.

Wenn Galilei geglaubt hatte, auf Urban VIII. als einen an der Wissenschaft interessierten Mann rechnen zu können, so hatte er die politische Situation vollkommen verkannt. Der Papst als Herrscher des Kirchenstaates und Oberhaupt der katholischen Kirche stand damals in machtpolitischen Gegensätzen zu Spanien, dem Kaiser und Venedig, das heißt zu starken katholischen Mächten. Die Entwicklung in Frankreich und England verlief nicht nach dem Wunsch der römischen Kurie. Der große Krieg in Deutschland brachte der päpstlichen Macht keineswegs die erhoffte Verstärkung oder Entlastung. Der Papst selbst vertrat eine gemäßigte Politik, hatte aber innerhalb der Kirche die spanisch-deutsche Partei gegen sich. Diese hat ihn offenbar gezwungen, gegen Galilei einzuschreiten. Der „Dialog über die zwei grundsätzlichen Weltsysteme“ wurde schon im August 1632 verboten. Galilei sollte einen Monat später vor dem Gericht der Inquisition in Rom erscheinen. Er traf im Februar 1633 dort ein, das Urteil wurde nach mehreren Verhören am 22. Juni 1633 bekanntgegeben. Galilei hatte danach die Lehre von dem Stillstand der Sonne und der doppelten Bewegung der Erde auf den Knien abzuschwören und wurde wegen seines Eintretens für diese Lehre zu lebenslänglicher Haft und kirchlicher Buße verurteilt.

Juristisch stand das Gericht vor keiner leichten Aufgabe, da sich Galilei zu seiner Verteidigung auf die Druckerlaubnis der Dialoge und auf das Rehabilitations-schreiben Bellarmins aus dem Jahre 1616 berufen konnte. Die Inquisition griff deshalb auf ein Dokument zurück, wonach Galilei schon im Jahre 1616 von Bellarmin verboten worden sein sollte, die kopernikanische Lehre „in irgendeiner Weise mündlich oder schriftlich“ zu behandeln, und bezichtigte ihn, dieses Verbot vor dem Papst und der Zensur verschwiegen zu haben. Ob es sich bei diesem Schriftstück um eine nachträgliche Fälschung handelt oder ob schon 1616 ein falsches Protokoll der Unterredung Bellarmins mit Galilei angefertigt wurde, ließ sich bisher nicht eindeutig feststellen. Auf jeden Fall hat das sorgfältige Studium des Prozeßverlaufes durch moderne Historiker gezeigt, daß es einer Rechtsbeugung bedurfte, um die Verurteilung auch formell aussprechen zu können.

Galilei selbst konnte auf keine Hilfe und Unterstützung von irgendeiner Seite rechnen und hat den verlangten Schwur geleistet.

Aber die Emanzipation der Naturwissenschaft von der Theologie war weder

durch die Verurteilung Galileis und seinen erzwungenen Schwur noch durch das Verbot seiner Schriften aufzuhalten oder gar rückgängig zu machen. Die Erzählung, daß Galilei nach seinem Schwur ausgerufen habe „E pur si muove!“ („Und sie bewegt sich doch!“), ist zwar eine spätere Erfindung, aber sie charakterisiert treffend die Machtlosigkeit und Haltlosigkeit religiöser Dogmen gegenüber den Tatsachen.

Der Kampf Galileis gegen den Dogmatismus der Kirche hat über seine wissenschaftliche Bedeutung hinaus stets auch eine politische Bedeutung behalten. Obwohl Galilei selbst als großherzoglichem Mathematiker eine revolutionäre Haltung fernlag, hat die bloße Tatsache, daß er für die Aufhebung eines sinnlosen Verbotes kämpfte, die Zustimmung aller derjenigen gefunden, die auch auf anderen Gebieten gegen überholte Einrichtungen und sinnlose Verbote kämpften. Galileis Unterwerfung zeigt zugleich, daß die Wissenschaft im 17. Jahrhundert noch nicht reif und entwickelt genug war, um ihre hohe gesellschaftliche Verantwortung wahrzunehmen oder auch nur in vollem Umfang zu begreifen.

Die neue Dynamik

Galilei selbst hat nach der Verurteilung seine wissenschaftlichen Forschungen keineswegs aufgegeben. In einem bescheidenen Haus in Arcetri bei Florenz, wohin er nach einigen Monaten Gefängnishaft von der Inquisition verbannt worden war, vollendete er, gereift in den philosophischen und wissenschaftlichen Kämpfen eines langen Lebens, seine Bewegungslehre. Er hat damit der alten aristotelisch-scholastischen Naturlehre und Weltanschauung einen noch stärkeren Stoß versetzt als mit seinen astronomischen Arbeiten – einen Stoß, der ihr Ende für immer besiegelte und zugleich der neuen Astronomie zum endgültigen Siege verhalf.

Deutlich brachte Galilei diesen inneren Zusammenhang dadurch zum Ausdruck, daß er seine neue Mechanik wiederum als Gespräch und Auseinandersetzung zwischen den Vertretern der neuen und der alten Auffassungen niederschrieb und dabei sogar dieselben Gesprächspartner beibehielt wie in dem verbotenen „Dialog über die zwei grundsätzlichen Weltsysteme“. Eine genaue Analyse des Werkes zeigt überdies, daß Galilei keine Gelegenheit vorübergehen ließ, neue mechanische Beweise für die kopernikanische Lehre vorzubringen und die alten Argumente gegen die Umdrehung der Erde zu widerlegen.

Das Werk mit dem Titel „Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze atte alla meccanica et ai movimenti locali“ („Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenschaften, die Mechanik

und die lokale Bewegung betreffend“) erschien 1638, das heißt fünf Jahre nach Galileis Verurteilung, in den protestantischen Niederlanden. Es war durch Vermittlung des Grafen von Noailles, eines französischen Gesandten in einem der italienischen Staaten, dorthin gebracht worden, da in den katholischen Ländern kein Werk von Galilei erscheinen durfte. Galilei hatte es aufgegeben, von der Inquisition eine tiefere Einsicht zu erwarten.

Eine neue Mechanik, genauer gesagt, eine Dynamik oder Bewegungslehre war für die Astronomie unentbehrlich, weil es nur mit ihrer Hilfe möglich war, zu einer kausalen Erklärung der Bewegungen der Gestirne, insbesondere der Planeten, zu gelangen.

Schon Kepler hatte versucht, eine „Physik des Himmels“ zu schaffen. Er war aber über wertvolle Anregungen nicht hinausgekommen, weil er noch nicht die richtigen Fragen zu stellen wußte. In der Naturwissenschaft kommt es darauf an, die Eigenschaften und Bewegungen der Materie zu erforschen. Es führt aber in die Irre, nach Wesen und Sinn der Erscheinungen zu fragen. Die Frage, warum sich die Planeten auf Kreisen oder Ellipsen bewegen, ist nicht dadurch zu beantworten, daß man nur die Eigenschaften geometrischer Figuren und Körper oder die Eigenschaften von Proportionen untersucht, sondern viel einfacher dadurch, daß man statt der geometrischen Gesetze der Bahnen die Gesetze der Bewegung selbst erforscht. Dieses Einfache aber war außerordentlich schwer zu machen.

Die Grundlage dazu hat Galilei gelegt, den in dem Streit um die beiden Weltssysteme besonders auch die mechanischen Fragen interessierten. In seinen Untersuchungen über Statik und Dynamik, denn das sind in moderner Bezeichnung die beiden neuen Wissenschaften, die er in den Unterredungen behandelte, überwand er die aristotelisch-scholastischen Begriffe der „natürlichen“ und „erzwungenen“ Bewegung. Er führte an ihrer Stelle die Begriffe der gleichmäßigen und beschleunigten Bewegung in die Naturwissenschaft ein, die er aus der Beobachtung und dem Experiment abgeleitet hatte. Gleichzeitig löste er das Problem der zusammengesetzten Bewegung. Auf diese Weise entdeckte Galilei die Gesetze des freien Falles und des Wurfes, von denen die weitere Entwicklung der Mechanik ihren Ausgang genommen hat.

Beide Vorgänge waren weder im Rahmen der aristotelisch-scholastischen Bewegungslehre noch vom Standpunkt einer pythagoräisch-platonischen Naturlehre widerspruchsfrei zu deuten und deshalb weder von der offiziellen Wissenschaft noch von den Neoplatonikern wirklich erklärt, das heißt begrifflich erfaßt worden. Erst durch die Untersuchungen Galileis wurde ein völlig neuer Ausgangspunkt geschaffen. Man hat deshalb nicht mit Unrecht bemerkt, daß man ebenso gut von einer „Galileischen Revolution“ sprechen könne, wie man von der „Kopernikanischen Revolution“ zu sprechen pflegt. Gerade durch die Neubegrün-

dung der Mechanik wurde die neue Astronomie als Naturwissenschaft legitimiert.*

Wir haben im ersten Kapitel gesehen, daß die aristotelisch-scholastische Naturlehre ein zwar falsches und unwissenschaftliches, aber doch in sich abgerundetes und geschlossenes Weltbild bot, bei dem astronomische, mechanische, physikalische und biologische ebenso wie politische und religiöse Vorstellungen aufeinander abgestimmt waren und sich zu einem Ganzen fügten. Mit dem Aufkommen und der Durchbildung des kopernikanischen Weltsystems in der Astronomie war dieser Vorstellungskreis durchbrochen. Die neue Astronomie mußte deshalb zunächst in dieser alten Naturlehre als ein Fremdkörper erscheinen, als „absurd“, „philosophisch falsch“ oder, wie Kepler formulierte, als „töricht“. Lange Zeit haben sich ihre Anhänger vergeblich bemüht, die neuen Anschauungen mit den alten Vorstellungen auf anderen Gebieten, insbesondere in der Bewegungslehre, zu verbinden. Die natürliche Bewegung zum Mittelpunkt der Welt wurde durch eine natürliche Bewegung zum Mittelpunkt der einzelnen Gestirne ersetzt bzw. erweitert, ohne daß durch diese und ähnliche Erweiterungen und Abänderungen der traditionellen Vorstellungen eine befriedigende Lösung gefunden worden wäre – im Gegenteil, mit der Vervielfältigung trat eine Zersplitterung ein, die zur Auflösung, aber keineswegs zur Festigung der traditionellen Vorstellungen beitrug.

Die Meinung, das kopernikanische System werde sich einfach als eine sinnlose Phantasterei im Selbstlauf erledigen, hatte sich mit den astronomischen Entdeckungen über die Entfernung der neuen Sterne und der Kometen, besonders aber mit den Entdeckungen Galileis als Irrtum erwiesen. Die neue Lehre mit Gewalt zu unterdrücken, war von vornherein ein falscher Weg, da auf diese Weise die echten Schwierigkeiten und Widersprüche, die unstreitig vorhanden waren, nicht beseitigt werden konnten.

Die Lösung dieser Krise konnte deshalb nur darin bestehen, daß auch die anderen wesentlichen Teile der aristotelisch-scholastischen Naturlehre prinzipiell verändert und auf eine neue Grundlage gestellt wurden.

Diese neue Grundlage der Mechanik ist allerdings nicht direkt von astronomischer Seite oder aus den Beobachtungen am Himmel abgeleitet worden. Es waren vielmehr recht irdische Beweggründe und Erfahrungen, nämlich die Produktionspraxis und die Militärtechnik, die zu einer Revision der Grundlagen der Bewegungslehre und zur Entstehung der Dynamik geführt haben. Trotzdem

* Selbstverständlich hat Galilei auch auf dem Gebiet der Mechanik Vorläufer gehabt, an deren Gedankengänge er anknüpfen konnte, und selbstverständlich war es kein Zufall, sondern durch die Entwicklung der Produktion und der gesellschaftlichen Zustände bedingt, daß gerade zu Lebzeiten Galileis die Probleme des freien Falles und des Wurfes behandelt und gelöst worden sind. Es würde jedoch vom Thema abführen, die Geschichte der Mechanik, bei der die praktischen Erfahrungen eine große Rolle gespielt haben, hier darzustellen.

verdient die Tatsache besondere Beachtung, daß die neue Bewegungslehre eben auch in enger Verbindung mit der neuen Astronomie geschaffen worden ist – eine Tatsache, die vielfach übersehen und in ihrer Bedeutung nicht erkannt worden ist. Indem sich Galilei bemühte, mechanische Beweise für das kopernikanische Weltsystem zu finden, indem ihn überhaupt das neue Weltsystem von der mechanischen Seite her besonders interessierte, schuf er seine Bewegungslehre. Seine astronomischen und seine mechanischen Forschungen standen nicht isoliert nebeneinander, sondern förderten sich gegenseitig. Galilei verstand es, das Neue, das von der Astronomie ausging, auf die Mechanik zu übertragen und dadurch die Isoliertheit des kopernikanischen Weltsystems zu überwinden, und zwar nicht etwa dadurch, daß dieses System von den übrigen traditionellen Vorstellungen aufgesogen oder mit ihnen verbunden worden wäre, sondern vielmehr dadurch, daß die traditionellen Vorstellungen auch auf den anderen Gebieten, insbesondere auf dem Gebiet der Mechanik, aufgegeben und durch neue, tiefere abgelöst wurden. Das Neue erwies sich als unüberwindlich, setzte sich durch und führte zu einer Umgestaltung des ganzen naturwissenschaftlichen Weltbildes.

Die Experimentalwissenschaft

Nach dem Erscheinen der „Discorsi“ stand vor der Astronomie die Aufgabe, die nunmehr vorhandenen neuen Grundlagen der Mechanik mit den neuen Grundlagen der Astronomie zu vereinigen und zu einer „Physik des Himmels“, von der Kepler bereits gesprochen hatte, zu verbinden. Im Prinzip ist diese Vereinigung so verlaufen: Nachdem in der ersten Etappe der prinzipielle Unterschied zwischen Himmel und Erde in Gedanken beseitigt worden war und man die Erde unter die Himmelskörper eingereiht hatte, ging man in der zweiten Etappe kühn daran, irdische Gesetzmäßigkeiten auf die himmlischen Erscheinungen zu übertragen. Die „Physik des Himmels“ konnte nur zugleich eine „Physik der Erde“ sein. Damit wurde der Kreis geschlossen und die Einheit des Weltbildes in einer viel tieferen und geschlosseneren Form wiedergewonnen, als es der scholastischen Naturlehre möglich gewesen war.

Diese letzte Etappe der Entwicklung spielte sich in anderen Ländern und unter gereiften gesellschaftlichen Bedingungen ab, als die vorangegangene. Die Herausbildung einer neuen, umfassenden Naturlehre verlangte einen größeren Rahmen und eine größere Unabhängigkeit des Denkens, als sie ein Land wie Italien gewährleisten konnte, das zwar Geburtsland der Renaissance, aber zugleich auch Zentrum des Katholizismus war. Die weit größeren Möglichkeiten, die die neue Naturwissenschaft zu ihrer Synthese brauchte, fanden sich in Frankreich, in den befreiten Niederlanden und in England, das heißt in den Ländern Europas, die im 17. Jahrhundert ökonomisch und politisch am weitesten entwickelt waren.

In Verbindung mit den geographischen Entdeckungen hatte sich in diesen Ländern seit Ausgang des 16. Jahrhunderts der Überseehandel mächtig entwickelt. Gleichzeitig machte in der Produktion der Übergang vom Handwerk zur Manufaktur rasche Fortschritte. Im Zusammenhang mit Handel und Gewerbe bildete

sich die Bourgeoisie als eine neue gesellschaftliche Schicht heraus, die in Wirtschaft und Politik einen wachsenden Einfluß gewann. Der Feudaladel wurde zugunsten einer erstarkenden Zentralgewalt zurückgedrängt, und zu Ende des 17. Jahrhunderts hatten sich stabile Regierungen herausgebildet, die die Entwicklung der nationalen Produktion und des nationalen Marktes förderten.

Demgegenüber blieben Spanien und Portugal, wo der durch die Entdeckungen in beiden Indien aufgehäufte Reichtum nicht von einer entsprechenden Entwicklung der Produktion und der Herausbildung einer neuen gesellschaftlichen Schicht begleitet war, ökonomisch und politisch zurück. Die spanische Armada Philipps II. war 1588 von der englischen Flotte vernichtet worden, und damit war der Weg zur Vorherrschaft Englands auf den Ozeanen geöffnet. Die deutschen und österreichischen Länder waren durch den Dreißigjährigen Krieg, an dem sich auch Schweden beteiligte, in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts zerstört worden und konnten sich nur langsam erholen. Die östlichen Länder Europas waren im 17. Jahrhundert im wesentlichen noch Rohstofflieferanten, denen eine eigene Manufaktur fehlte.

Neben dem Stand und der Entwicklung der Produktivkräfte und der Produktionsverhältnisse übte im 17. Jahrhundert auch die Kirche einen wesentlichen Einfluß auf die Wissenschaft aus. Sie stand ohne Unterschied des Glaubensbekenntnisses in allen Ländern auf der Seite der Reaktion und versuchte, das alte geozentrische Weltbild und die scholastische Naturlehre zu bewahren. Der Unterschied bestand nur darin, daß der katholischen Kirche als einer internationalen Organisation weit mächtigere Mittel für diese Zwecke zur Verfügung standen als den protestantischen Landeskirchen verschiedener Prägung einschließlich der anglikanischen. Es hing deshalb im großen gesehen von dem Kräfteverhältnis der neuen, an der Entwicklung der gesellschaftlichen Zustände und der Produktion interessierten Schichten der Gesellschaft und der Kirche ab, ob und wann die neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse anerkannt wurden und sich selbständig weiterentwickeln konnten.

Im ganzen 17. Jahrhundert und noch darüber hinaus hat die Kirche die Universitäten in allen Ländern fest in der Hand behalten. Hier wurden die traditionellen Wissenschaften betrieben und die alten scholastischen Lehren gepflegt. Die Universitäten fielen deshalb auch noch im 17. Jahrhundert als Zentren des wissenschaftlichen Fortschritts aus. Keiner der Bahnbrecher der neuen Astronomie und der neuen Auffassungen von der Wissenschaft ist im 16. und 17. Jahrhundert Universitätsprofessor gewesen oder geblieben. Das gilt ebenso für Kopernikus, Tycho Brahe, Kepler und Galilei wie für Hooke, Newton und Halley, die die wissenschaftliche Revolution abgeschlossen haben, wie für Giordano Bruno, Francis Bacon, René Descartes und Pierre Gassendi als den führenden Philosophen der neuen Naturforschung.

Nach dem Verbot der neuen Lehre und der Verurteilung Galileis führten seine Schüler und Nachfolger in Italien ein schwieriges Rückzugsgefecht zur Verteidigung der Wissenschaft. Nur auf dem Gebiet der Hydrodynamik haben Evangelista Torricelli (1608–1647) und Vincenzo Viviani (1622–1703) das Vermächtnis Galileis bewahren und seine Anregungen zu neuen wichtigen Entdeckungen erweitern können. Die vollen Konsequenzen aus der Entdeckung des Luftdrucks, aus der Erfindung des Barometers und der Pendeluhr sind außerhalb Italiens in Frankreich, Deutschland, Holland und England gezogen worden.

Auch die 1657 in Florenz gegründete Accademia del Cimento (Akademie des Experimentes), die unter der Schirmherrschaft des Großherzogs Ferdinand II. von Toscana und seines Bruders Leopold stand, sollte keinen Bestand haben. Sie wurde nach 10 Jahren fruchtbarer Tätigkeit wieder aufgelöst, als Ferdinand II. zum Kardinal ernannt wurde. Eines ihrer Mitglieder, Antonio Oliva, wurde damals in Rom von der Inquisition verhaftet und beging im Gefängnis Selbstmord, um der Tortur zu entinnen. Mit der Auflösung dieser Akademie hörte Italien endgültig auf, eine führende Rolle in der Entwicklung der Wissenschaft zu spielen.

Anders wirkte sich die Verurteilung Galileis in den von der katholischen Kirche unabhängigen Ländern aus. Schon das Verbot der kopernikanischen Lehre im Jahre 1616 hatte hier die frühere Verurteilung dieser Lehre in den Hintergrund treten lassen und eine zunehmende Aufgeschlossenheit ihr gegenüber zur Folge. Das Urteil von 1633, das man in ganz Europa von der Kanzel verlas, wurde von vornherein als ein Urteil des Papsttums empfunden. In Süddeutschland wurde der „Dialog über die zwei grundsätzlichen Weltsysteme“ sofort von drei protestantischen Gelehrten – Matthias Bernegger (1582–1640) in Straßburg, Georg Michael Lingsheim (1556–1636) in Heidelberg und Wilhelm Schickard (1592–1635) in Tübingen – aus dem Italienischen ins Lateinische übersetzt und damit der wissenschaftlichen Welt außerhalb Italiens zugänglich gemacht.

Außer dem Dialog wurden auch Galileis Brief an die Großherzoginmutter Christine und die 1616 verbotene Schrift Foscarinis ins Lateinische übersetzt und beide als Anhang zu dem Dialog 1636 herausgegeben. Damit wurde der Kampf für die neue Astronomie und Naturforschung mit dem Kampf gegen die katholische Kirche und das Papsttum verbunden und zu einer Angelegenheit der Reformation erklärt. Die Entwicklung der Naturwissenschaft in den nicht-katholischen Ländern erhielt damit zweifellos neue Impulse, die katholische Kirche aber hatte das Gegenteil dessen erreicht, was sie beabsichtigt hatte.

Galilei, der diese Tat als eine Art „Rache“ empfand, schöpfte neuen Mut und begann seine Arbeit an den „Discorsi“.

Die günstigsten Bedingungen entwickelten sich in England und in den befreiten Niederlanden.

Die befreiten Niederlande bildeten im ganzen 17. Jahrhundert Zuflucht und Freistatt für politisch Verfolgte und Freigeister. Hier sind die „Discorsi“ Galileis gedruckt worden, hier hatte sich schon im ersten Viertel des 17. Jahrhunderts Simon Stevin (1548–1620) für die kopernikanische Lehre ausgesprochen und die Statik neu begründet, hier wurden schon seit 1620 von Wilhelm Jansson Blaeu (1571–1638), einem früheren Assistenten von Tycho Brahe, Planetarien und Himmelsgloben hergestellt und die beiden Weltsysteme in weitverbreiteten Schriften beschrieben. Hier fand René Descartes Zuflucht vor politischen Verfolgungen. Auf der Grundlage eines hochentwickelten Handwerks waren in den Niederlanden zu Anfang des 17. Jahrhunderts das Fernrohr und das Mikroskop erfunden worden und wurde später auch die Pendeluhr konstruiert. Aus den Niederlanden stammte der große Mathematiker, Physiker und Astronom Christian Huygens (1629–1695), der wesentliche Beiträge zur Formierung des neuen Weltbildes beigetragen hat.

In England wirkten sich die revolutionären Ereignisse des 17. Jahrhunderts trotz vorübergehender Behinderung der Tätigkeit einzelner Wissenschaftler insofern besonders fruchtbar auf die Entwicklung der Wissenschaften aus, weil dadurch die Schicht derjenigen, die sich für das Neue im wirtschaftlichen, politischen und kulturellen Leben einsetzten, bedeutend verbreitert und gestärkt, die reaktionären Kräfte aber zurückgedrängt wurden. In England hatte bereits Giordano Bruno verständnisvolle Förderer und Anhänger gefunden. Hier trat schon im Jahre 1620 der Lordkanzler Francis Bacon (1561–1626) mit einem grundlegenden Werk hervor, in dem er der Wissenschaft einen neuen Sinn gab, die induktive Methode als allein zum Ziele führend empfahl und scharfe Angriffe gegen die ganze scholastische Wissenschaft aussprach. Von ihm stammt der Ausspruch: „Wissen ist Macht.“ Er rief seine Zeitgenossen auf, die Herrschaft über die Natur zu erringen und erklärte gleichzeitig: „Die Herrschaft des Menschen über die Dinge hängt allein von den Künsten und Wissenschaften ab; denn wir können der Natur nur befehlen, indem wir ihr gehorchen.“

Obwohl Bacon kein Verständnis für die konkreten Fortschritte in der Wissenschaft seiner Zeit zeigte und zum Beispiel die Lehre von Kopernikus und Kepler ablehnte, weil sie ihm zu spekulativ erschien, stammt von ihm das Programm einer neuen „aktiven Wissenschaft“, die als experimentelle Naturforschung oder „experimentelle Naturphilosophie“ im 17. Jahrhundert glänzende Erfolge errang. Er eröffnete einen entschiedenen Kampf gegen die sogenannten okkulten Qualitäten und substantiellen Formen, mit deren Hilfe die Scholastik glaubte, die Naturerscheinungen erklären zu können. Bei Bacon ist nicht mehr von der Ergebenheit in ein von Gott bestimmtes Schicksal, vom diesseitigen Jammertal und von jenseitiger Vergeltung die Rede. Hier fühlte sich der Mensch stark genug, sein Los durch eigene Anstrengungen zu verbessern. Bacon war der An-

sicht, daß der Mensch auf Erden das Himmelreich errichten oder, wie er sich ausdrückte, das verlorene Paradies wiedergewinnen und „das Königreich des Menschen“ schaffen könne.

Diese neue Auffassung von der Wissenschaft konnte sich in England infolge des Herannahens der Revolution ohne Rückschlag weiterentwickeln, hier fand die neue „experimentelle Naturphilosophie“ bei Geschäftsleuten, Unternehmern, Ärzten, Geistlichen und Staatsmännern immer mehr Anhänger. Sie erwarteten von ihr nicht allein neue Erkenntnisse, sondern auch neuen Reichtum und praktischen Nutzen wie bei der Entdeckung unbekannter Länder und Erdteile und betrieben sie nicht als Beruf, sondern als Liebhaberei.

Diese „Virtuosi“, wie sie in ganz Europa genannt wurden, lehnten wohlgesetzte scholastische Disputationen ab, in denen die Meinungen und Aussprüche antiker und christlicher Autoren kommentiert wurden, und schworen auf das Experiment und die eigene Erfahrung.

Seit den 40er Jahren fanden sich am Gresham-College in London, einer von dem Gründer der englischen Börse gestifteten Ausbildungsstätte für Kaufleute und Seefahrer, etwa 20 Interessenten zu regelmäßigen Zusammenkünften ein. Diese wurden später in Oxford fortgesetzt und ab 1660 wieder nach London verlegt, wo ihre Teilnehmer schließlich die Anerkennung ihrer Vereinigung und ein königliches Privileg erhielten, das sie als „Royal Society for the promoting of science“ auswies. Mit der Royal Society war 1660 ein neuartiges organisatorisches Zentrum der Wissenschaft außerhalb der Universitäten entstanden, dem im 17. und 18. Jahrhundert eine ganze Reihe ähnlicher Zentren in Gestalt der verschiedenen staatlich geförderten Akademien der Wissenschaften folgen sollte. Sie vermittelten den Gedanken- und Meinungs Austausch der Gelehrten durch Briefwechsel und Zeitschriften und hatten im 18. Jahrhundert wesentlichen Anteil an der Förderung der neuen Wissenschaft und ihrer gesellschaftlichen Anerkennung. Der Royal Society gehörten u. a. Robert Hooke, Edmund Halley und Isaac Newton an, die die wissenschaftliche Revolution auf dem Gebiet der Astronomie und Mechanik zum Abschluß brachten.

In Frankreich wurde die Entwicklung der neuen Wissenschaft unter dem Einfluß der katholischen Kirche und der mit ihr verbundenen Universitätslehrer um Jahrzehnte aufgehalten. Im Jahre 1624 war auf Betreiben der theologischen Fakultät in Paris bei Todesstrafe verboten worden, „irgendwelche Grundsätze gegen die alten und bewährten Autoren festzuhalten oder zu lehren und andere Disputationen anzustellen, als durch die Doktoren besagter Fakultät gebilligt wird.“

Descartes hatte unter dem Eindruck der Verurteilung der kopernikanischen Lehre ein Manuskript über das Weltsystem vernichtet und war 1628 in die befreiten Niederlande emigriert. Erst in den 30er Jahren begann sich das Neue langsam

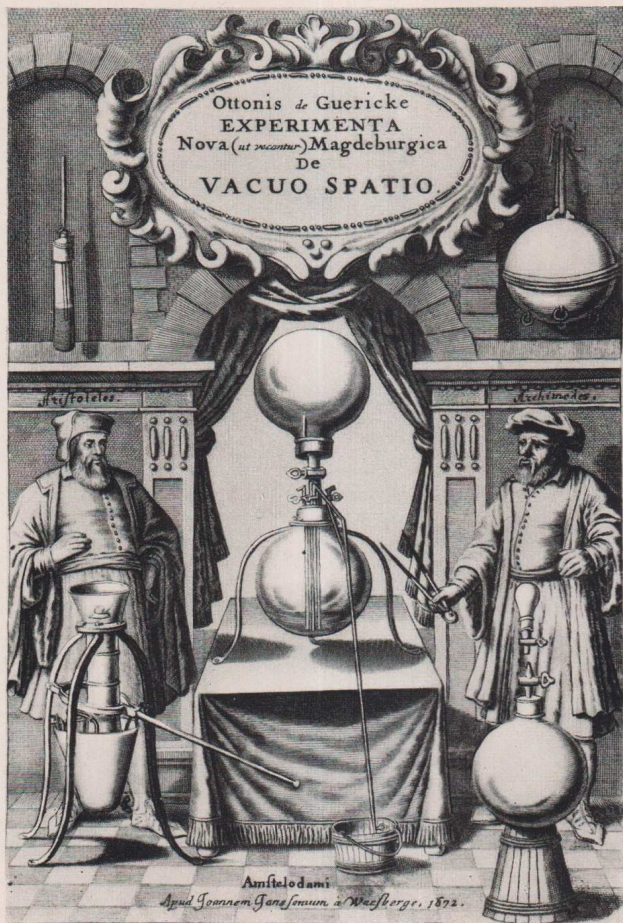
durchzusetzen. Der Minoritenpater Marin Mersenne (1588–1648) übersetzte 1634 Galileis bis dahin unveröffentlichte Abhandlung über das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten und später auch seine „Discorsi“ ins Französische. Er blieb mit Descartes befreundet und vermittelte durch einen ausgedehnten Briefwechsel das neue Gedankengut und den wissenschaftlichen Meinungsaustausch zwischen den fortschrittlichen Gelehrten Europas. Bei ihm fanden sich Gelehrte zusammen, die außerhalb der Universitäten standen und die neuen Entdeckungen sowie die philosophischen Ansichten von Bacon und Descartes studierten. Neben Blaise Pascal (1623–1662), der die Versuche Torricellis über den Luftdruck bestätigte und erweiterte, und dem überragenden Mathematiker Pierre Fermat (1601–1665) hat dabei besonders der Minoritenpater Pierre Gassendi (1592 bis 1655) eine wichtige Rolle gespielt.

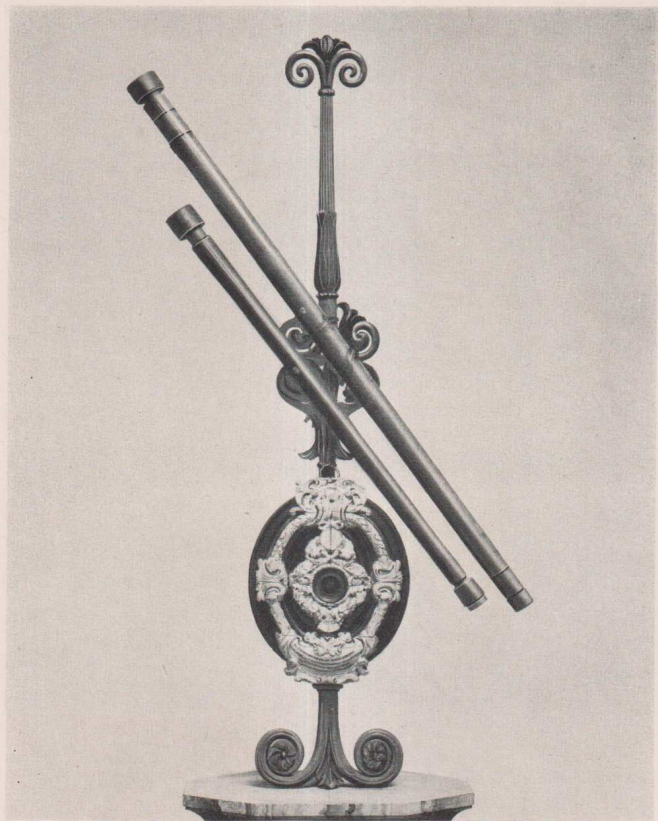
Gassendi, von dessen Erneuerung der antiken Atomlehre später ausführlich die Rede sein wird, hat sich jahrzehntelang mit Astronomie beschäftigt. Er hat alle wesentlichen Erscheinungen und Ereignisse am Himmel mit dem Fernrohr beobachtet. Allgemeinen Widerhall fand seine Beobachtung über den Durchgang des Merkur vor der Sonne am 7. November 1631, den Kepler 1629 richtig vorausgesagt hatte. Sie stellte eine neue Bestätigung des kopernikanischen Systems und der Keplerschen Gesetze dar. Gassendi hat diese Beobachtung 1632 in einer kleinen Schrift veröffentlicht und Schickard in Tübingen zugesandt. 1647 veröffentlichte er das Werk „Institutio Astronomica juxta Hypotheses veterum, quam Copernici et Tychonis“ („Die Astronomie sowohl nach den alten Hypothesen wie nach denen von Kopernikus und Tycho“), in dem die Grundsätze der verbotenen Lehre sowie die Antworten der Kopernikaner auf die Einwände gegen ihre Lehre behandelt wurden. Als Anhänger von Kopernikus nannte Gassendi Rhetikus, Rothmann, Maestlin, Lansberg, einen niederländischen Astronomen, Wilhelm Schickard, Kepler und Galilei. Er erwähnte die Verurteilung Galileis, fügte aber hinzu, daß die Rechtgläubigen behaupteten, gegen Galilei hätten besondere Gründe vorgelegen, die auf andere nicht zuträfen. Ein Jahr vor seinem Tode (1654) erschien ein Werk Gassendis mit Biographien von Tycho Brahe, Nikolaus Kopernikus, Georg Peuerbach und Regiomontan, in denen die Leistungen dieser Männer voll gewürdigt werden. Mit Galilei stand Gassendi nach dessen Verurteilung im Briefwechsel.

Die Zusammenkünfte der Anhänger der neuen Naturforschung unter den französischen Gelehrten wurden nach dem Tode Mersennes in Paris fortgesetzt und führten schließlich 1666 zur Gründung der „Académie Royal des Sciences“. Als ihr eigentlicher Begründer und Schirmherr gilt mit Recht Colbert (1619–1683), der allmächtige Minister Ludwigs XIV., der sich als Vertreter einer merkantilistischen Politik von der Förderung der Mathematik und Naturwissenschaften unmittelbaren Nutzen für den absolutistischen Staat versprach.



Otto von Guericke





Fernrohr Galilei

Der erste Versuch, die neuen Erkenntnisse der Mechanik und Astronomie in einem einheitlichen Weltbild zusammenzufassen, stammt von dem französischen Philosophen und Mathematiker René Descartes.

René Descartes (1596–1650) hat sich nach Ausbildung in einer von Jesuiten geleiteten Lehranstalt tief enttäuscht von der Inhaltlosigkeit des dort gebotenen Lehrstoffes zunächst dem praktischen Leben zugewendet, hat mit Erfolg Rechtswissenschaft studiert und den Beruf eines Offiziers ergriffen, ohne jedoch als Jurist, Staatsmann oder Offizier tätig geworden zu sein. Er lebte vielmehr im Stand eines Offiziers als Privatgelehrter von den Einkünften aus seinen Besitzungen. Um ungestört von den machtpolitischen Kämpfen in Frankreich und frei von Verfolgungen durch den katholischen Klerus und die ihm hörige offizielle Wissenschaft seine Werke ausarbeiten und drucken lassen zu können, emigrierte er 1628 in die befreiten Niederlande. Erst 1649, als er sich dort auch von den Protestanten verfolgt fühlte, übersiedelte er an den Hof der Königin Christine von Schweden nach Stockholm, wo er nach wenigen Monaten an einer Lungenentzündung gestorben ist.

Descartes hat wenig geschrieben und das Wenige nur auf Drängen seiner Freunde veröffentlicht. Er wünschte keinen Zusammenstoß mit der katholischen Kirche und hat, wie bereits erwähnt, seine erste Schrift mit dem Titel „Le monde“ unter dem Eindruck der Verurteilung Galileis niemals abgeschlossen und herausgegeben. Diese Schrift soll eine umfassende Darstellung der Welt vom Standpunkt der kopernikanischen Lehre enthalten haben. Sein erstes Werk erschien erst 1637, das heißt ein Jahr vor den „Discorsi“ Galileis, ebenso wie diese in Leiden. Es enthält seinen berühmten „Discours de la méthode“ („Abhandlung über die Methode“) sowie je eine Abhandlung über die Dioptrik, die Meteore und die Geometrie. Die Aufsehen erregende Schrift hat er im Gefolge der sich anschließenden Auseinandersetzungen durch die umfangreicheren Werke „Meditationes de prima philosophia“ („Gedanken über die erste Philosophie“, 1641) und die „Principia philosophiae“ („Die Prinzipien der Philosophie“, 1644) ergänzt und vertieft.

Die Bedeutung der Philosophie des Descartes für die Naturwissenschaft besteht darin, daß er die Trennung von Naturwissenschaft und Theologie über die Einzelfragen und Einzelverfahren hinaus durch eine scharfe Trennung von Geist und Materie verallgemeinerte, denen er beiden eine objektive, reale Existenz zuschrieb. Die Frage nach dem Primat der Materie bzw. des Geistes wird in seiner dualistischen Philosophie allerdings nicht gestellt, und selbst die Frage nach dem Zusammenhang beider Bereiche bleibt undurchsichtig (und mußte es bleiben).

Descartes lehnte jede übernatürliche, göttliche Offenbarung und Erkenntnis und jede Berufung auf Autoritäten grundsätzlich ab. Er versuchte, die Welt allein aus ihrem inneren Zusammenhang durch einfaches, logisches Denken und Schließen zu erfassen. Er wurde damit der Begründer des französischen Rationalismus, der die Wahrheit durch die Erarbeitung einfacher und klarer Grundbegriffe zu erfassen versuchte.

Mit der Trennung von Geist und Materie war auch die Lehre vom Geistigen oder die Metaphysik von der Lehre von der Materie oder der Physik vollständig geschieden und damit jeder außerirdische Einfluß auf das Naturgeschehen konsequent und von vornherein abgelehnt. Eben deshalb konnte der französische Materialismus, den Marx und Engels direkt als „cartesischen Materialismus“ bezeichneten, an Descartes anknüpfen. Die Natur stellt nach Descartes ein einheitliches Ganzes dar, in dem es keine prinzipiellen Unterschiede zwischen himmlischen und irdischen Erscheinungen oder natürlicher und erzwungener Bewegung gibt und in dem keine okkulten und formalen Qualitäten existieren. Sie wird von allgemein gültigen Naturgesetzen beherrscht. „Die Regeln, nach denen sich die Veränderungen (in der Natur, d. Verf.) vollziehen, nenne ich Naturgesetze“, schrieb Descartes.

In seinem Bestreben, die realen Erscheinungen auf die einfachsten und allgemeinsten Begriffe zurückzuführen, erklärte Descartes die Ausdehnung zum einzigen allgemeinen Merkmal der Materie und damit zugleich den homogenen Raum zur ausgedehnten Materie. Die den ganzen Raum ausfüllende, mit ihm identische Materie oder Substanz ist nach Descartes rein passiv. Sie wird nur durch äußere Kräfte in Bewegung gesetzt, wobei jede Bewegung als lokale Bewegung oder einfache Ortsveränderung aufgefaßt ist. Diese Lehre von der Bewegung als reiner Ortsveränderung ebenso wie die prinzipielle Trennung von Stoff und Kraft sind zu Grundzügen der klassischen Naturwissenschaft geworden. Descartes bezog auch bereits die chemischen und biologischen Erscheinungen in diese mechanischen Prinzipien ein. Den menschlichen Körper betrachtete er als eine „irdische Maschine“ und glaubte, mit dem von Harvey entdeckten Blutkreislauf ein starkes Argument zugunsten seiner Auffassung anführen zu können. „Gebt mir Materie, und ich will eine Welt daraus bauen“ – so hat Kant in seiner Schrift „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ das Programm der mechanischen Naturauffassung später formuliert.

Descartes hat die Welt bzw. die Natur auf das Quantitative reduziert und eben damit auch einer durchgängigen mathematischen Behandlung zugänglich gemacht. Was bei Kepler noch pythagoräisch-platonische Weltharmonie war, ist bei Descartes zum Prinzip einer rationalen Erforschung des Naturgeschehens erhoben.

In der Durchführung dieses Programms eines einheitlichen mechanischen Welt-

bildes scheiterte Descartes allerdings, da er von falschen Vorstellungen von der Struktur der Materie und den Gesetzen ihrer Bewegung ausging.

Da die Materie oder die Substanz nach der Ansicht Descartes' mit dem Raum identisch ist, ihn somit vollständig ausfüllt, erforderte die Bewegung eines Körpers notwendig die Bewegung aller anderen Körper. Descartes glaubte nun diese Schwierigkeit dadurch beheben zu können, daß er der Materie eine Bewegung in geschlossenen Ringen oder Wirbeln zuschrieb, bei denen in einer unbestimmt gelassenen Form Anfang und Ende der Bewegung zusammenfallen sollten. Dabei, so fügte er hinzu, sei es keineswegs erforderlich, daß diese Bewegung genau kreisförmig verlaufe oder alle Wirbel die gleiche Form oder Größe besitzen, da sich Unterschiede gegenseitig aufheben und ausgleichen könnten.

Der Ortsbewegung legte Descartes drei Gesetze zugrunde, von denen die beiden ersten Gesetze wichtige Vorformen des Trägheitsgesetzes bzw. des Gesetzes von der Erhaltung der Bewegung waren, während das dritte Gesetz, das den (elastischen) Stoß zum Inhalt hatte, falsch war. Gerade dieses Gesetz aber war für seine Wirbeltheorie von ausschlaggebender Bedeutung.

Descartes hat niemals versucht, seine Vorstellungen von Materie und Bewegung mathematisch oder physikalisch durchzubilden. Er gab im einzelnen kaum einen mathematischen Beweis und drückte sich auch bezüglich funktioneller Zusammenhänge stets nur sehr allgemein aus. Ebenso unbestimmt blieben auch seine Aussagen über die Endlichkeit bzw. Unendlichkeit des Raumes und damit der Materie. Descartes bezeichnete die Materie als „indefinit“ oder unbegrenzt bzw. endlos, aber nicht als unendlich, und glaubte damit, die Frage nach dem Zentrum des Universums und nach einem prinzipiellen Unterschied zwischen himmlischen und irdischen Erscheinungen als sinnlos erwiesen zu haben. Er konnte aber keinen physikalischen oder mathematischen Unterschied zwischen „unendlich“ und „endlos“ aufzeigen.

Descartes hat seine Vorstellung vom Universum mit einer Lehre von der Entstehung und Entwicklung der Welt verbunden, die ihn als einen Anhänger der neuen Astronomie ausweist.

Danach hat Gott am Anfang die Welt, das heißt Raum und Materie, in Bewegung gesetzt und sie dann ihren eigenen Gesetzen überlassen. Infolge der notwendig einsetzenden Wirbelbewegung haben sich einzelne Körper oder Raumteile, die relativ zueinander ruhten, zu schwereren Körpern zusammengeschlossen. Andere haben einander abgeschliffen, und die kleinsten Teilchen sind in Zentren zusammengeführt worden, die die Sonnen jedes großen Wirbels bilden. Die großen harten Teile wurden nach außen getrieben und bilden die Planeten, die eine Rotation um ihre Achse ausführen. Der Zwischenraum zwischen ihnen wird von den feinen Teilchen gebildet, die bei den gegenseitigen Zusammenstößen und Abschleifungen entstanden sind. Der Wirbel um den Zentralkörper

führt die Planeten in einer Kreisbewegung mit, wobei sie ihrerseits von einem rotierenden Wirbel umgeben sind, in dem sie selbst ruhen. Descartes glaubte, auf diese Weise die Lehre der christlichen Kirche von der ruhenden Erde retten zu können. In dem Wirbel, so sagte er, ruhe die Erde ebenso wie jemand, der in einem sich bewegendem Schiff schlafend im Bett liegt.

Die Kometen hielt Descartes für Körper, die sich schneller bewegen als der sie umgebende Wirbel und deshalb von einem Wirbel zum anderen, das heißt von einem Sonnensystem zum anderen wandern.

Man kann diesem Weltbild, das von Descartes auch auf die irdischen Erscheinungen im einzelnen ausgedehnt wurde, eine gewisse Geschlossenheit und Großartigkeit nicht absprechen. Nach der Zerschlagung und Auflösung der aristotelisch-scholastischen Vorstellungen vom Weltgebäude liegt hier die erste einheitliche neue Vorstellung vom Weltganzen auf Grund neuer Einsichten und Erkenntnisse vor. Eben deshalb hat die Lehre von Descartes eine so große Bewunderung seiner Zeitgenossen erweckt und für die Weiterentwicklung der Naturwissenschaft eine so große Bedeutung erlangt.

Der französische Gelehrte Bernard Le Bovier de Fontenelle (1657–1757), der ein überzeugter Anhänger von Descartes und seit 1697 ständiger Sekretär der Französischen Akademie der Wissenschaften war, hat 1686 das Wesen der alten und neuen Naturlehre in seinen berühmten „Unterhaltungen über die Vielheit der Welten“ dargestellt:

„Ich stelle mir die Natur immer als ein großes Schauspiel vor, ähnlich der Oper. Von dem Ort in der Oper, wo Sie sich befinden, sehen Sie die Bühne nicht ganz so, wie sie ist; man hat die Dekorationen und Maschinen so aufgestellt, daß sie von fern einen angenehmen Eindruck machen, und man verbirgt vor Ihrem Blick die Räder der Gegengewichte, die alle Bewegungen hervorbringen; ebenso bemühen Sie sich kaum darum, zu erraten, wie das alles zugeht. Es gibt vielleicht nur einen im Parterre versteckten Maschinisten, der sich über einen ihn außerordentlich erscheinenden Flug beunruhigt und absolut herausfinden will, wie dieser Flug durchgeführt worden ist. Sie sehen, daß dieser Maschinist den Philosophen gleicht. Aber was in bezug auf die Philosophen die Schwierigkeit vergrößert, ist der Umstand, daß bei den Maschinen, die uns die Natur vorführt, die Seile vollständig verborgen sind, und zwar so gut, daß man lange gebraucht hat, um zu erraten, was die Bewegungen des Universums verursacht.

Denn stellen Sie sich alle die Weisen in der Oper vor, die Pythagorasse, die Platone, die Aristotelesse und alle die Leute, deren Namen uns heute so laut in den Ohren klingen; stellen Sie sich vor, sie sähen den Flug von Phaeton (in der griechischen Mythologie Sohn des Helios, d. Verf.), den die Winde emporheben, ohne daß sie die Seile entdecken könnten und wüßten, wie die Rückseite der

Bühne eingerichtet ist. Einer von ihnen würde sagen: ‚Eine gewisse geheime Tugend hebt Phaeton empor‘, ein anderer ‚Phaeton ist aus gewissen Zahlen gebildet, die ihn steigen lassen‘, ein anderer ‚Phaeton hat eine gewisse Vorliebe für die Höhe der Bühne, er fühlt sich gar nicht wohl, wenn er dort nicht ist‘, ein anderer ‚Phaeton ist zwar nicht zum Fliegen geschaffen, aber er will lieber fliegen, als die Höhe der Bühne leer lassen‘ und hundert andere Phantastereien, so daß ich mich wundere, daß die ganze Antike nicht ihr Ansehen verloren hat.

Schließlich sind Descartes und einige andere Moderne gekommen, die gesagt haben: ‚Phaeton steigt, weil er von Seilen gezogen wird und weil ein Gewicht sinkt, das schwerer ist als er.‘ Man glaubt also nicht mehr, daß sich ein Körper bewegt, wenn er nicht von einem anderen Körper gezogen oder vielmehr gestoßen wird; man glaubt nicht mehr, daß er steigt oder sinkt, – wenn nicht durch die Wirkung eines Gegengewichtes oder einer Feder; und wer die Natur so sähe, wie sie ist, sähe nur die Rückseite der Opernbühne“ (Fontenelle: *Entretiens sur la pluralité des mondes*. Ed. by R. Shackleton, Oxford 1955. S. 63/64).

Das Wertvolle und für seine Zeit Fortschrittliche an diesem Weltbild von Descartes war das Programm einer mechanischen Naturerklärung, das Vergängliche aber dessen Durchführung. Dieses Versagen entsprang letzten Endes daraus, daß Descartes, der die Welt aus Vernunftgründen deuten wollte, der Erfahrung und der Praxis als Quelle der Erkenntnis nur eine sekundäre Bedeutung beimaß. Die Mechanik Galileis hat er eben wegen ihrer experimentellen Grundlage mißachtet und erklärt: „Ich finde im allgemeinen, daß er (Galilei, d. Verf.) besser philosophiert, als man es gewöhnlich tut, indem er so viel wie möglich die Fehler der Schule meidet und versucht, die physikalischen Probleme nach mathematischen Gesichtspunkten zu behandeln. Hierin stimme ich ganz mit ihm überein und glaube, daß es kein anderes Mittel gibt, um die Wahrheit zu finden. – Indessen hat er nicht die ersten Ursachen der Natur betrachtet, sondern nur die Gründe einiger spezieller Naturwirkungen gesucht; so kommt es, daß er ohne wirkliches Fundament gebaut hat.“

Descartes' Versuch, ein einheitliches mechanistisches Weltbild zu schaffen, mußte eben wegen dieser Geringschätzung der „speziellen Naturwirkungen“ scheitern. Die Naturwissenschaft konnte nicht quantitativ werden, wie es Descartes forderte, ohne experimentell zu werden, was er übersah. Das von ihm entwickelte Programm einer neuen theoretischen Naturwissenschaft konnte deshalb erst befriedigend durchgeführt werden, nachdem die Experimentalphysik oder, wie man sich damals ausdrückte, die neue „experimentelle Naturphilosophie“ wesentliche Fortschritte gemacht hatte.

Entgegen der Auffassung von einer kontinuierlich verteilten Materie hatte der französische Gelehrte Pierre Gassendi (1592–1655), der der kopernikanischen Astronomie zuneigte, unabhängig von Descartes im zweiten Viertel des 17. Jahrhunderts die antike Atomlehre von Demokrit, Epikur und Lukrez erneuert und sie 1649 in einem Werk über das Leben, die Sitten und die Ansichten von Epikur dem damaligen Stand der Wissenschaft und den Lehren der Kirche angepaßt.

Gassendi lehnte die naturphilosophischen Ansichten Epikurs ganz entschieden ab, soweit sie vom Standpunkt der christlichen Theologie aus unannehmbar waren, das heißt die Lehre von der Ewigkeit und Unzerstörbarkeit der Atome, von ihrer unendlichen Anzahl und von der Naturnotwendigkeit ihrer Bewegung. Er übernahm aber alle diejenigen, die sich auf die atomistische oder korpuskulare Struktur der Materie bezogen und reihte sich damit ganz eindeutig in die Reihe der Gegner der aristotelisch-scholastischen Naturlehre ein. So wie Galilei die Lehre von den „natürlichen“ und „erzwungenen“ Bewegungen bekämpft hatte und Descartes gegen die Wirkung transzendenter und geistiger Kräfte in der Natur aufgetreten war, wendete sich Gassendi ganz entschieden gegen die Annahme substantieller Formen und okkulten Qualitäten.

Wie bei Epikur gab es nach Gassendi in der Natur nur Atome und den leeren Raum. Die Atome sollten, wenn auch nicht mathematisch, so doch physikalisch unteilbare, feste, undurchdringliche kleinste Körper und allein durch ihre Größe, ihre Gestalt und ihre physikalisch noch ganz unbestimmt definierte „Schwere“ charakterisiert sein. Alle übrigen Eigenschaften, die wir an den uns umgebenden Körpern wahrnehmen und die von den Scholastikern durch die Annahme entsprechender Qualitäten „erklärt“ worden waren, wie Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit, Glätte und Rauheit, Trockenheit und Feuchtigkeit, Biegsamkeit und Starrheit, Farbe, Geschmack und Geruch, aber auch Wärme und Kälte, Schmelzen und Gerinnen, Verdunsten und Kondensieren, Sichausdehnen und Sichzusammenziehen usw. sollten allein aus diesen drei Grundeigenschaften der einzelnen Atome und aus der Verbindung der Atome und ihrer Anordnung im Raum herrühren und abgeleitet werden.

Natürlich hat Gassendi diese Ableitung nicht wirklich gebracht. Seine Ansicht über die Struktur der Materie blieb ebenso wie die Wirbellehre von Descartes nur ein Programm.

Von den Physikern und noch mehr von den Chemikern unter den Anhängern der neuen Experimentalphilosophie ist aber diese Anschauung bereitwillig aufgenommen worden. Im 17. Jahrhundert sind viele kühne und oft recht naive Vorstellungen über die Gestalt und die Bewegung der Atome erdacht worden, um die Eigenschaften der uns umgebenden Körper zu erklären.

In der Auseinandersetzung zwischen den Anhängern der Auffassung von einer korpuskularen Struktur der Materie und denen, die ihre kontinuierliche Verteilung vertraten, ging es aber in erster Linie nicht um Gestalt, Größe und Schwere der Korpuskeln, sondern vielmehr um die Frage, ob es in der Natur ein Vakuum oder einen leeren Raum geben könne. Die Naturforscher spalteten sich dabei in das Lager der „Plenisten“, das heißt derer, die den Raum für ausgefüllt hielten, und in das Lager der „Vacuisten“, die die Existenz eines Vakuums zuließen und anerkannten.

Descartes hatte 1644 erklärt: „Wenn man fragt, was geschehen würde, wenn Gott alle Materie, die in einem Gefäß enthalten ist, fortnehme und nicht zuließe, daß eine andere an die Stelle der fortgenommenen gelangt, so lautet die Antwort: Die Wände des Gefäßes werden aneinanderstoßen. Wenn sich nämlich zwischen zwei Körpern nichts befindet, so müssen sie sich berühren, da jeder Abstand eine Ausdehnung bedeutet, Ausdehnung ohne Substanz aber nicht möglich ist“ (R. Descartes: *Principia philosophiae*. 2. Teil, § 18).

Dieser leere Raum konnte nun aber im Barometerrohr und seit den 50er Jahren mit Hilfe der Luftpumpe hergestellt werden. Allen philosophischen Argumentationen über eine subtile Substanz oder über Ausdünstungen, die diesen Raum ausfüllen sollten, zum Trotz setzte sich bei den Experimentatoren die Anschauung durch, daß der leere Raum eine physikalische Realität sei.

Die Entdeckung des Vakuums bestärkte zugleich die Anhänger der neuen Experimentalphilosophie in ihrer Überzeugung von einer atomaren oder korpuskularen Struktur der Materie. Immer deutlicher schälte sich als Programm der neuen Naturwissenschaft die Aufgabe heraus, eine Bewegungslehre und darüber hinaus eine Naturlehre zu entwickeln, die von der Grundkonzeption ausging, daß sich im leeren Raum kleinste Teilchen bewegen. Die mechanistische Auffassung von Descartes, die Welt auf „Materie“ und „Bewegung“ zurückzuführen, nahm damit eine schon weitaus konkretere Gestalt an.

Die Verbindung der Frage nach der Struktur der Materie mit der Frage nach der Struktur und dem Bau des Weltalls findet sich ganz unmittelbar bei Otto von Guericke (1602–1686), dem Erfinder der Luftpumpe.

Otto von Guericke stammte aus Magdeburg, das damals als Handelsstadt und Stapelplatz große Bedeutung besaß. Beim Studium in Leiden und auf einer Studienreise durch England und Frankreich hatte er die drei fortschrittlichen Länder seiner Zeit kennengelernt, ehe er Ratsherr und Festungsbaumeister seiner Vaterstadt wurde. Nach anstrengender diplomatischer Tätigkeit im Dienste der Stadt und bei ihrem Wiederaufbau nach der Zerstörung während des Dreißigjährigen Krieges begann er etwa 1650 mit seinen berühmt gewordenen Magdeburger Versuchen über den leeren Raum und die Wirkung des Luftdruckes. Einige solcher Versuche hat er 1654 auf dem Reichstag von Regensburg vorge-

führt.* Infolge der Nachwirkungen des langen Krieges kam Guericke erst in den Jahren 1661–1663 zur Niederschrift seiner Versuche. Das Werk wurde, wohl nicht ohne Verschulden des Verlegers, infolge der komplizierten Lage in Deutschland erst 1672 unter dem Titel „Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio“ („Die neuen sogenannten Magdeburger Experimente über den leeren Raum“) veröffentlicht, als die Untersuchungen über das Vakuum besonders durch Robert Boyle (1627–1691) in England schon wesentlich erweitert worden waren. Keineswegs überholt aber waren Guerickes grundlegende Ausführungen über den leeren Raum und das Universum.

Unter der Kapitelüberschrift „Aus welchem Grund der Autor zur Erforschung des Vakuums geführt worden ist“ wies er zunächst auf die riesige Ausdehnung des Weltalls hin, um dann folgendermaßen fortzufahren: „Als ich dies lange erwog und immer häufiger dem Geheimnis des Weltbaues nachsann, ließ mich nicht nur (der Gedanke) an die Riesenmassen der Gestirne und an ihre jede menschliche Vorstellungskraft übersteigenden unermeßlichen Entfernungen erschauern, sondern vor allem bannte mich dieser zwischen ihnen ungeheuerlich sich breitere und ins Grenzenlose sich erstreckende Raum und entfachte er in mir die unauslöschliche Begierde nach seiner Erforschung. Was mochte das für ein Etwas sein, das jegliches Ding umfaßt und ihm die Stätte seines Seins bleibend darbietet? Ist es ein himmlisches Feuer? Ist es fest, wie die Aristoteliker wollen, oder flüssig nach der Meinung des Kopernikus und des Tycho Brahe, oder ist es gar eine zarteste Quintessenz oder am Ende doch der stets bestrittene, jeder Substanz bare Raum oder was sonst?“ (O. v. Guericke: Experimenta nova . . . Amsterdam 1672, S. 53/54).

Im Vorwort aber setzte er auseinander, daß bloßes Nachdenken ohne Berufung auf die Erfahrung in den Naturwissenschaften nicht zum Ziele führe und erklärte: „Weil aber schon seit alters die Gelehrten sich so leidenschaftlich über das Vakuum, ob es nämlich vorhanden oder nicht vorhanden sei und was es denn sei, gestritten und jeder seine einmal vorgefaßte Meinung verbissen wie ein Soldat seine Festung gegen den anstürmenden Feind verteidigt hat, wurde dadurch ein so glühendes Verlangen in meinem Inneren entfacht, die Wahrheit über eine so umstrittene Frage zu erkunden, daß es weder betäubt noch gelöscht werden konnte, ehe ich nicht bei einiger Muße einen Versuch darüber ins Werk gesetzt hatte“ (O. v. Guericke, a. a. O., 2. Seite der Vorrede).

Das Vakuum, das Guericke mit seiner Luftpumpe herstellte, war somit für ihn zugleich der Zustand, der nach Ansicht der kopernikanischen Astronomie in dem Zwischenraum zwischen Planeten und Fixsternen herrschte. Guericke selbst legte

* Neuere Forschungen haben ergeben, daß der berühmte Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln allerdings erst einige Zeit später angestellt und in Regensburg noch nicht gezeigt worden ist.

auf diesen Zusammenhang so großen Wert, daß er im ersten und zweiten Buch seines Werkes der Beschreibung seiner Experimente und ihrer Ergebnisse eine ausführliche Darstellung des Weltsystems nach Ptolemäus und Kopernikus vorausschickte und das Werk mit drei Büchern über die Erde, den Mond, das Planetensystem und die Fixsterne abschloß.

Im zweiten Buch seines Werkes diskutierte Guericke die Begriffe Ort, Vakuum und Raum und die Frage der endlichen oder unendlichen Ausdehnung und der Erschaffung des Raums. Das Resultat war letzten Endes schon in dem von ihm gebildeten Begriff des „vacuum spatium“ (leerer Raum) enthalten.

Nach Guericke ist der Raum das, „in dem jeder Körper oder jede Substanz entweder ihren Bestand hat oder haben kann, damit nichts schwindet oder nur insofern schwindet, als ein Körper aufgenommen wird, es ist aber permanent und unbeweglich, in allem und durch alles, sei es körperlich oder unkörperlich (vorhanden), das nichts veranlassen kann, hier oder dort, erfüllt oder leer zu sein“ (O. v. Guericke, a. a. O., S. 55). Guericke hat damit den physikalisch unbestimmten Begriff des Leeren oder des Vakuums zu dem physikalisch bestimmten des leeren Raumes verdichtet und gleichzeitig als erster Naturwissenschaftler den Unterschied zwischen Raum und Materie begrifflich herausgearbeitet. In Weiterführung seiner Gedanken leitete er daraus ab, daß der Raum unendlich, unerschaffen und ewig sei.

Dieser Beitrag Guericques zur Herausbildung des neuen astronomischen Weltbildes verdient besonders deshalb hervorgehoben zu werden, weil er mit aller wünschenswerten Deutlichkeit zeigt, daß das neue Weltbild gerade auch in dieser Beziehung nicht spekulativ ersonnen, sondern aus der Erfahrung erschlossen und abgeleitet worden ist.

Newton hat bei seiner Grundlegung der Mechanik an diese Vorstellungen angeknüpft. Er unterschied zwischen absolutem und relativem Raum und sagte von dem absoluten Raum nur, er bleibe vermöge seiner Natur und ohne Beziehung auf einen äußeren Gegenstand stets sich selbst gleich und unbeweglich oder, mit anderen Worten, der absolute Raum existiere unabhängig von den Gegenständen.

Wir wissen, daß Newton das Werk Guericques kannte und schätzte und daß eine direkte Verbindung zwischen den Leistungen beider besteht.

Der französische Historiker Alexandre Koyré hat im Gegensatz dazu neuerdings nachzuweisen versucht, daß die Grundkonzeption Newtons vom leeren Raum allein auf den Einfluß des englischen Neoplatonikers Henry More (1614–1687), eines Zeitgenossen Newtons, zurückzuführen sei. Henry More lehnte den Dualismus von Descartes ab, schrieb auch dem Geist eine Ausdehnung zu und identifizierte den Raum mit Gott. Er glaubte an die Existenz von Geistern und wurde deshalb von Robert Hooke und anderen Mitgliedern der Royal Society ver-

spottet (vgl. A. Koyré: From the Closed World to the Infinite Universe, Baltimore 1957).

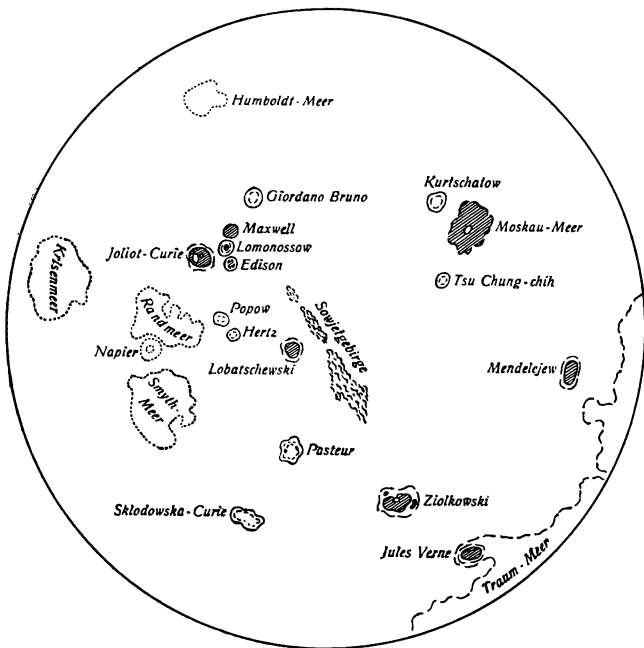
Abgesehen davon, daß Newton selbst in seinen Schriften Henry More niemals erwähnte, ist diese Ehrenrettung des philosophischen Idealismus schon allein deshalb unbegründet, weil der naturwissenschaftliche Begriff des „leeren Raumes“ und die naturwissenschaftliche Unterscheidung von Raum, Ausdehnung und Materie auf empirischem Wege gefunden und herausgearbeitet worden sind. Der Begriff des absoluten Raumes brauchte also keineswegs von außen in die Naturwissenschaft und Astronomie hineingetragen zu werden; er entwickelte sich vielmehr dank der Fortschritte der Experimentalwissenschaft in ihr selbst. Die Neoplatoniker aber knüpften nur an die Ergebnisse der Naturwissenschaft an, ohne sie zu befruchten.

Die Astronomie in der Mitte des 17. Jahrhunderts

Im Jahre 1651 erschien in Bologna unter dem Titel „*Almagestum novum*“ („Der neue *Almagest*“) ein umfangreiches Handbuch der Astronomie von dem Jesuitenpater Giovanni Battista Riccioli (1598–1671), Professor der Philosophie, Theologie und Astronomie am Jesuitenkolleg in Bologna. Darin setzte sich der Pater das Ziel, das Dekret gegen die kopernikanische Lehre und das Urteil gegen Galilei zu rechtfertigen und die neuen Ergebnisse der Astronomie vom Standpunkt der geozentrischen Lehre zu interpretieren.

Riccioli hat sich die Arbeit nicht leicht gemacht. Er hat die umfangreiche Literatur seiner Zeit sorgfältig studiert und alles zusammengetragen, was an Beobachtungen, Messungen, Entdeckungen und Theorien vorlag. An dem Werk mit seinen 1438 eng bedruckten, zwispaltigen Folioseiten hat sicher ein ganzer Stab fleißiger Jesuitenschüler mitgearbeitet. Es vermittelt uns heute einen Einblick in den Stand der Astronomie um die Mitte des 17. Jahrhunderts vom Standpunkt der katholischen Kirche aus.

Auf 211 Seiten beschäftigte sich Riccioli kritisch mit der Lehre der bewegten Erde. Zunächst führte er ganz im Geiste der Scholastik die Zahl der Autoritäten ins Feld. 38 Autoren, die seit Aristoteles den Stillstand der Erde behauptet hatten, stellte er folgende 14 Wissenschaftler gegenüber, die seit Kopernikus eine Bewegung der Erde gelehrt hatten: Kopernikus, Rheticus, Maestlin, Kepler, Rothmann, Galilei (anfänglich), Gilbert (tägliche Bewegung), Foscarini, Didacus Stunica, Ismael Bullialdus, Jacob Lansberg, Peter Herigonius, Gassendi (anfänglich) und Descartes. In dieser Liste fehlten nicht nur Nicolas von Cues, sondern auch eine Reihe bedeutender zeitgenössischer Wissenschaftler aus England und den befreiten Niederlanden, von den Vorläufern in der Antike ganz zu schweigen. Nach einer kurzen Darlegung des kopernikanischen Systems wurden insgesamt



Die Rückseite des Mondes mit den 1959 festgelegten Bezeichnungen

49 Argumente für eine Bewegung der Erde sowie dafür angeführt, daß sich die Sonne im Mittelpunkt der Welt befindet. Sie wurden nach allen Regeln der Scholastik beantwortet und widerlegt. Darauf folgten 77 astronomische, physikalische und naturphilosophische Argumente zugunsten der kirchlichen Lehre. Sie wurden ausführlich begründet und belegt. Schließlich wurden allgemeine theologische Thesen über den Wert und die Bedeutung der Angaben der Bibel in astronomischen und physikalischen Fragen gemäß den Lehren der Kirche und des heiligen Offiziums vorgetragen. Riccioli hatte nicht von ungefähr

10 Jahre lang Theologie gelehrt. Am Ende folgten Auszüge aus den Dekreten gegen die Lehre des Kopernikus sowie das Urteil gegen Galilei und die von ihm abgelegte Abschwörungsformel in vollem Wortlaut. Riccioli schloß diesen Teil seines Handbuches mit der „einzigen Schlußfolgerung, die allein in diesem Streite zu ziehen ist“: „Allgemein ist festzustellen, daß die Erde im Mittelpunkt der Welt von Natur aus unbeweglich stillsteht und daß sich die Sonne um sie sowohl in täglicher wie jährlicher Bewegung bewegt“ (G. B. Riccioli: *Almagestum novum*. Bologna 1651, II. Teil, S. 500).

Die Beweisführung war trotzdem bereits überholt, ehe sie verfaßt worden war. Sie ist auch der letzte Versuch geblieben, die geozentrische Lehre zu retten. In der Folgezeit mußte die katholische Kirche ihre Dogmen immer mehr den Er rungenschaften der Wissenschaft anpassen. Sie konnte diese nicht mehr zwingen, sich der Theologie zu beugen. Das generelle Verbot der Schriften über die kopernikanische Lehre mußte unter dem Druck des wissenschaftlichen Fortschritts schon 1757 gelockert werden. Das Verbot des „*Dialoges über die beiden grundsätzlichen Weltsysteme*“ Galileis wurde allerdings vollständig erst 1835 aufgehoben, als das ptolemäische System bereits der Vergangenheit angehörte. Selbst Riccioli konnte 1651 das geozentrische System in der überlieferten Form nicht aufrechterhalten und mußte Zugeständnisse an die neuen astronomischen Entdeckungen machen. Er entwickelte deshalb in Anlehnung an Tycho Brahe ein eigenes System. Danach steht die Erde unbeweglich im Mittelpunkt der Welt, und um sie bewegen sich der Mond und die Sonne, die ihrerseits von Merkur, Venus und Mars umkreist werden. Im Gegensatz zu dem System von Tycho Brahe aber bewegen sich Jupiter und Saturn nicht um die Sonne, sondern um die Erde als Mittelpunkt ihrer Bahnen. Riccioli begründete diese Änderung und Annäherung an das ptolemäische System damit, daß der Jupiter vier Begleiter habe und der Saturn zwei. Er hatte dabei nicht etwa die noch gar nicht entdeckten Saturnmonde im Auge, sondern den irrtümlich als zwei Begleiter gedeuteten Ring. Damit seien, so lehrte er, Jupiter und Saturn der Sonne mit ihren drei Begleitern ebenbürtig. Riccioli hielt an der Existenz einer festen Fixsternsphäre, die *Primum mobile* als neunten, und der unbeweglichen zehnten Sphäre als Sitz der Seeligen fest, ganz wie Dante. Er sah sich aber genötigt anzunehmen, daß die Sphären der Planeten flüssig seien, damit sie einander durchdringen könnten. Die Überlegenheit des neuen Systems gegenüber dem kopernikanischen sollte das im Geschmack des Barock gehaltene Titelbild allegorisch darstellen. Das ptolemäische System liegt seitlich am Boden. Ptolemäus selbst gibt mit den Worten: „Ich werde aufgerichtet, indem ich korrigiert werde“ seine Zustimmung.

Die Existenz von Bergen und Tälern auf dem Mond gab Riccioli zu. Er hat dem Werk eine auf Francesco Maria Grimaldi (1618–1663), dem Entdecker der

Beugung des Lichtes, zurückgehende Karte des Mondes beigelegt, auf der die Krater nach bekannten Astronomen benannt waren. Dieser Brauch hat sich dank der Autorität des Handbuches durchgesetzt und ist 1959 auch auf die Rückseite des Mondes ausgedehnt worden.

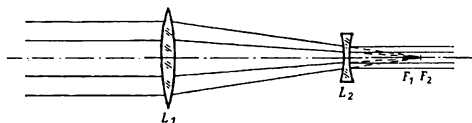
Lang und breit diskutierte Riccioli alle Beobachtungen und Messungen von Kometen und neuen Sternen. Die Frage, ob diese oberhalb oder unterhalb der Sphäre des Mondes zu finden wären, erklärte er, entgegen den damals schon vorliegenden eindeutigen Messungen, für unentschieden. Er wendete sich gegen die Ansicht der Neoplatoniker, daß die Himmelskörper beseelt seien, aber ebenso gegen die Ansätze zu einer „Physik des Himmels“ und erklärte, daß die Gestirne von „himmlischen Intelligenzen“ auf ihren Bahnen geführt würden. Er versuchte somit auch in bezug auf das Wesen der himmlischen Erscheinungen das scholastische Weltbild aufrechtzuerhalten.

Am Anfang seines Handbuches kündete Riccioli zwei weitere ebenso umfangreiche Bände an, in denen unter anderem die Optik und die astronomischen Instrumente, die mathematische Geographie, die Chronologie und die Beobachtungsdaten behandelt werden sollten. Davon sind aber nur einzelne Teile erschienen. Die Hoffnung der katholischen Kirche, die Astronomie werde sich auf dem damals erreichten Stand stabilisieren und die kopernikanische Lehre werde sich als irrig und haltlos herausstellen, erwies sich als Trugschluß. Riccioli war offenbar nicht in der Lage, die Fortschritte der praktischen Astronomie in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts in gleicher Breite und Vollständigkeit zu verfolgen. Trotzdem das Werk als Gegenstück zu Keplers Lehrbuch der kopernikanischen Astronomie dank der Macht der katholischen Kirche als Handbuch und Standardwerk der offiziellen Wissenschaft allgemeine Verbreitung fand, konnte es den weiteren Fortschritt nicht aufhalten.

Fernrohre und Sternwarten

Neben den Experimentaluntersuchungen über das Vakuum erwies sich besonders die weitere Verbesserung des Fernrohrs von großer Bedeutung für die Entwicklung der praktischen Astronomie im 17. Jahrhundert. Nachdem Galilei das Fernrohr nacherfunden und in die Astronomie eingeführt und nachdem Kepler kurz darauf eine neue, speziell für astronomische Zwecke geeignete Konstruktion angegeben hatte, die Scheiner ausführte, ist das Fernrohr durch die vereinten Bemühungen von Wissenschaftlern und Handwerkern ständig weiterentwickelt worden.

Schon Galilei hatte die Leistung seiner Fernrohre von dreifacher auf dreißig-



Strahlengang im galileischen Fernrohr,

L_1 = Objektiv mit Brennweite F_1 ; L_2 = Okular mit Brennweite F_2

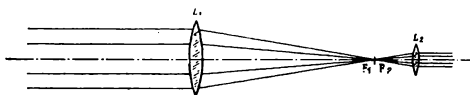
fache lineare Vergrößerung gesteigert. Die Bemühungen bestanden zunächst darin, die Vergrößerung durch Verwendung entsprechender Linsen noch weiter zu erhöhen. Viele Astronomen haben daher Apparate zum Linsenschleifen konstruiert und mit deren Hilfe die Linsen für ihre Fernrohre selbst hergestellt. Bald aber zeigten sich die Grenzen der Linsenfernrohre mit einfachen Objektiven und Okularen. Sie zeigten unscharfe Bilder oder Bilder mit farbigen Rändern. Diese Fehler waren dadurch bedingt, daß Linsen mit kugelförmig gekrümmter Oberfläche eine verschiedene Brennweite haben, wenn die Lichtstrahlen durch die Mitte bzw. durch den Rand der Linse hindurchgehen (sogenannte „sphärische Aberration“), und daß das Licht verschiedener Farbe verschieden stark gebrochen wird (sogenannte „chromatische Aberration“).

Die Ursache der „sphärischen Aberration“ wurde erkannt, nachdem das Brechungsgesetz entdeckt worden war. Da dieser Fehler mit wachsender Krümmung der Linse zunimmt, ging man seit der Mitte des 17. Jahrhunderts dazu über, Linsen mit großer Brennweite zu benutzen. Beim astronomischen oder keplerschen Fernrohr ergab sich aber die Länge des Fernrohrs aus der Summe der Brennweiten von Objektiv und Okular, so daß damit Fernrohre mit Linsen großer Brennweite selbst ungewöhnlich lang wurden.

Der Astronom Johann Hevel (1611–1687), lat. Hevelius, der als Besitzer einer Bierbrauerei über die notwendigen Mittel verfügte, um sich im Jahre 1641 in Gdansk, dem damaligen Danzig, eine eigene Sternwarte einrichten zu können, besaß ein Fernrohr von rund 45 m Länge mit selbstgeschliffenen Linsen. Es war

Strahlengang im keplerschen Fernrohr,

L_1 = Objektiv mit Brennweite F_1 ; L_2 = Okular mit Brennweite F_2



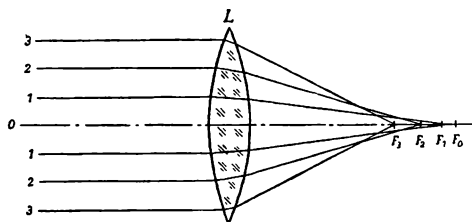
vor der Stadt auf freiem Felde montiert. Das Rohr selbst war in den größeren Ausführungen durch ein bloßes hölzernes Gerüst ersetzt. Es bedurfte sicher eines äußerst geübten und geduldigen Beobachters, um mit einem solchen Fernrohr überhaupt Beobachtungen durchzuführen. Leider ist die Sternwarte Hevels einschließlich der unersetzlichen Aufzeichnungen seiner Beobachtungen und Messungen im Jahre 1679 durch einen Brand zerstört worden.

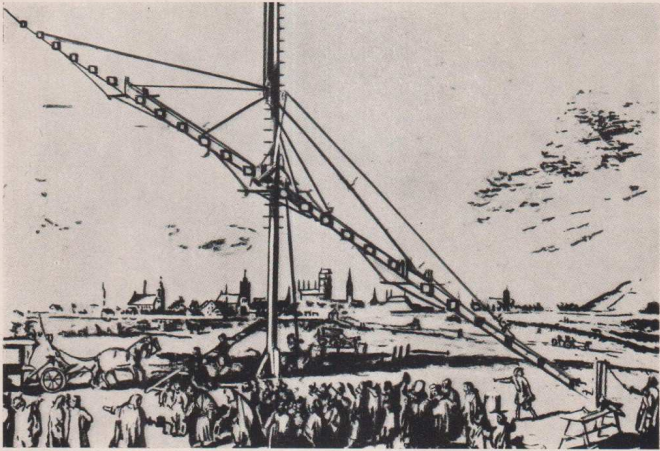
Den letzten Schritt in dieser Richtung vollzog der große holländische Mathematiker, Astronom und Physiker Christian Huygens (1629–1695). Er entschloß sich, auf das Rohr überhaupt zu verzichten und Objektiv und Okular getrennt zu montieren. Huygens schenkte der Royal Society ein solches „Luftfernrohr“ mit einem selbstgefertigten Objektiv von 37 m Brennweite und hat mit seinem Bruder sogar Objektive von 52 m und 64 m Brennweite hergestellt. Auf dem Gelände des Pariser Observatoriums wurde ein alter, hölzerner Wasserturm aufgestellt, an dessen Spitze das Objektiv des größten Pariser Fernrohrs befestigt wurde.

Natürlich war auch mit diesen Fernrohren die Beobachtung äußerst schwierig und nur bei günstigen Luftverhältnissen überhaupt möglich. Trotzdem hat man Fortschritte erzielt. Huygens entdeckte einen Mond des Saturn und vermochte die Gestalt des Saturn, die man bis dahin mit weniger stark vergrößernden Fernrohren nicht hatte ermitteln können, als einen Planeten, der von einem Ring umgeben ist, richtig zu deuten. Giovanni Dominico Cassini (1625–1712), Direktor der Pariser Sternwarte, entdeckte die Teilung dieses Ringes und weitere vier Monde des Saturn. An Hand von Flecken auf der Oberfläche des Jupiters und des Mars bestimmte er die Rotationsdauer dieser Planeten. Auch die Oberfläche des Mondes und seine Libration wurden genau studiert.

Die besten Mondkarten der damaligen Zeit waren wohl diejenigen von Hevel, der 1647 einen Atlas mit selbstgestochenen Kupferstichen für jeden Tag des Mondalters herausgab.

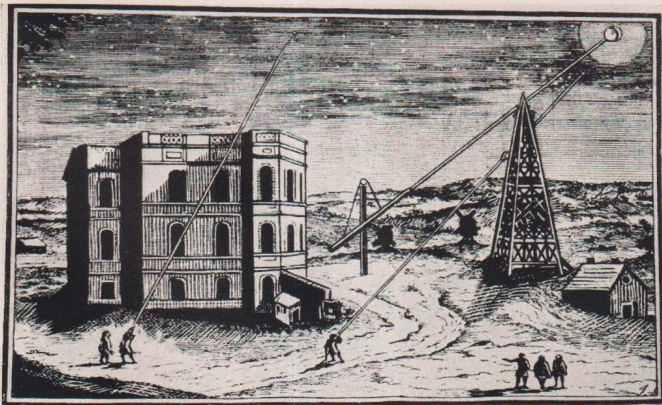
*Sphärische Aberration einer Sammellinse,
 F_0, F_1, F_2, F_3 = Brennpunkte der Strahlen 0, 1, 2, 3; L = Linse*

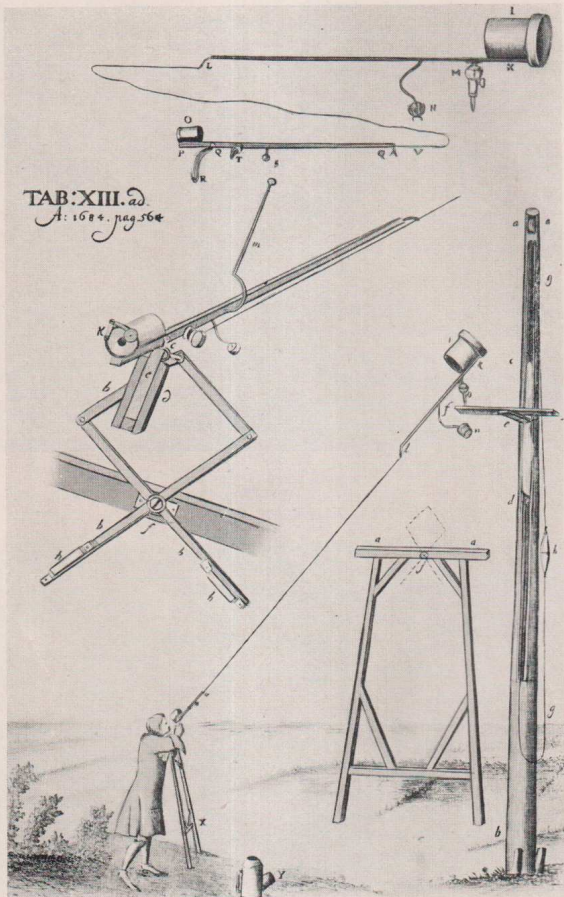




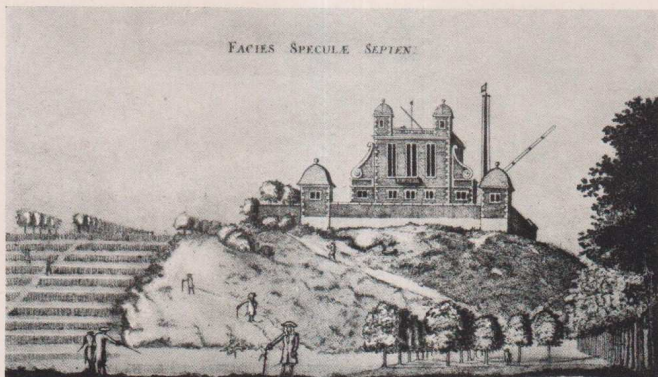
Das Riesenfernrohr von Hevelius

Die Sternwarte von Paris im 17. Jahrhundert





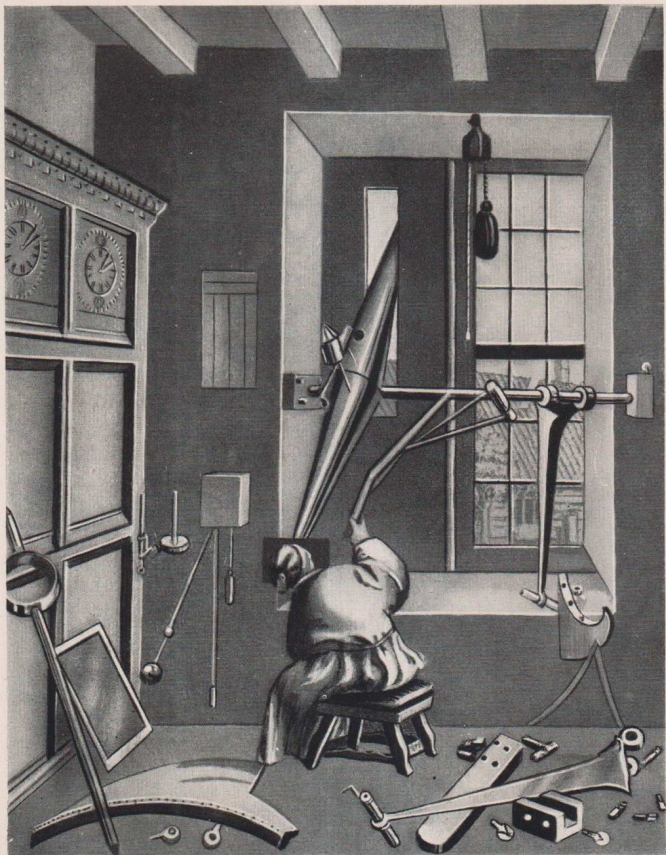
Das „Luftfernröhr“ von Huygens



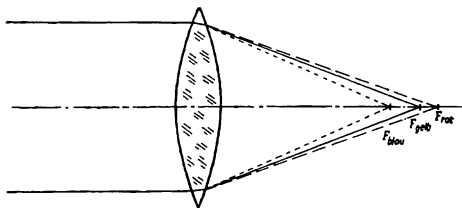
Die Sternwarte von Greenwich im 17. Jahrhundert

Beobachtungsraum der Sternwarte von Greenwich





Das Durchgangsinstrument von Römer



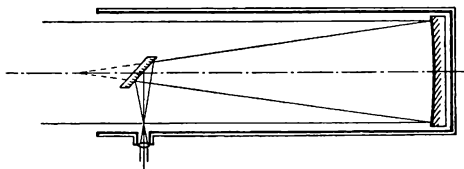
Chromatische Aberration einer Sammellinse, F = Brennpunkt

Um das Fernrohr auch für Messungen verwenden zu können, wurde es 1668 von dem französischen Astronomen Jean Picard (1620–1682) im Brennpunkt des Objektivs mit einem Fadenkreuz versehen, das mit dem Stern zusammen im Okular abgebildet wurde. Dadurch wurde es möglich, die Stellung des beobachteten Gestirnes genau zu bestimmen.

Kleinste Winkeldifferenzen konnten festgestellt werden, als man an der gleichen Stelle des Fernrohrs ein Mikrometer anbrachte, das es gestattete, die Abstände zweier Gestirne zu messen, die gleichzeitig im Gesichtsfeld auftauchten. In der Ausführung unterschiedlich, bestand das Konstruktionsprinzip darin, daß zwei Fäden oder Kanten meßbar gegeneinander verschoben werden konnten. Die den gemessenen Abständen entsprechenden Winkel wurden dadurch festgestellt, daß man mit einer Pendeluhr die Zeit bestimmte, die ein Stern bei feststehendem Fernrohr brauchte, um von der ersten Marke des Mikrometers zur zweiten zu wandern.

Einen letzten Fortschritt in dieser Richtung erreichte der dänische Astronom Olaf Römer (1644–1710), als er ein Fernrohr mit einem erleuchteten Netz von horizontalen und vertikalen Drähten im Brennpunkt des Objektivs genau in der Nord-Süd-Richtung aufstellte und mit diesem „Passageinstrument“ oder „Durchgangsinstrument“ und einer Pendeluhr den Durchgang der Gestirne durch den Meridian bestimmte. Mit solchen Instrumenten wurden die Winkelmessungen zugleich einfacher und genauer. Leider sind auch die Instrumente Römers und seine Beobachtungen 1728 bei einem großen Brand in Kopenhagen vernichtet worden.

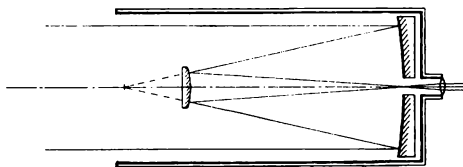
Die Ursache für die „chromatische Aberration“ wurde erst von Isaac Newton im Zusammenhang mit seinen Untersuchungen der Spektren erkannt. Da Newton es für unmöglich hielt, sie in Linsenfernrohren zu beseitigen, gab er seine „Glasarbeiten“, das heißt die Versuche, fehlerfreie Linsen herzustellen, auf und ging daran, ein Spiegelteleskop zu konstruieren.



*Spiegelteleskop
nach Newton*

In diesem Spiegelteleskop war das Objektiv des Linsenfernrohrs durch einen konkaven Spiegel ersetzt. Die von diesem Spiegel reflektierten Strahlen wurden auf einen kleinen Planspiegel in der Mitte des Rohres nach der Seite reflektiert, und der Gegenstand wurde dort durch ein Okular betrachtet. Nach Überwindung vieler experimenteller Schwierigkeiten in bezug auf das Material des Spiegels und die geeignete Methode, einen Hohlspiegel zu schleifen, gelang es Newton 1668 zunächst, ein kleines Modell von etwa 15 cm Länge mit einem Hohlspiegel von 2,5 cm Durchmesser herzustellen. Trotz seiner geringen Größe, die in der Zeit der Riesenteleskope besonders auffallen mußte, zeigte das Fernrohr die Jupitermonde und die Phasen der Venus. Ein zweites, größeres und besseres Instrument übersandte Newton 1671 König Karl II. von England, der es der Royal Society zur Prüfung übergab. Die Mitglieder der Gesellschaft waren begeistert und wählten Newton 1672 zum Mitglied der Royal Society.

Unabhängig von Newton hat gleichzeitig auch der französische Astronom Cassegrain ein Spiegelteleskop gebaut, bei dem im Unterschied zu der Newtonschen Konstruktion die vom Hauptspiegel reflektierten Strahlen an einem kleinen Konvexspiegel gegenüber der Mitte des durchbohrten Hauptspiegels nochmals reflektiert wurden, so daß der Gegenstand am Ende des Fernrohres in dessen Achse betrachtet werden konnte. Neuere Untersuchungen dieser ersten Instrumente haben allerdings gezeigt, daß Spiegelfernrohre, die den damaligen Linsenfernrohren in ihren Leistungen gleichkamen, erst 1711 von dem englischen Astronomen John Hadley (1682–1744) hergestellt worden sind.



*Spiegelteleskop
nach Cassegrain*

Glücklicherweise hat sich Newtons Annahme, die sphärische Aberration sei nicht zu korrigieren, als ein Irrtum herausgestellt. Der Mathematiker Euler (1707 bis 1783) berechnete 1747, daß es möglich sein müsse, durch Kombination von Linsen aus verschiedenen Glassorten die sphärische Aberration auszugleichen, und der englische Optiker und Instrumentenmacher John Dollond (1706–1761) stellte 1758 zwar nicht das allererste, aber doch die ersten brauchbaren achromatischen Fernrohrobjektive her. Heute verfügt die Astronomie dank der Fortschritte der Optik über lichtstarke Refraktoren und Spiegelteleskope mit starken Vergrößerungen, bei denen die Abbildungsfehler durch die sphärische Aberration weitgehend korrigiert sind.

Diese verbesserten Instrumente waren schon keine Liebhaberinstrumente mehr wie die Fernrohre, die Galilei und andere zuerst auf den Himmel gerichtet hatten. Sie waren nicht nur kostspielig, sondern erforderten auch sorgfältige Montierung und genaue Feststellung der Instrumentenfehler, um Beobachtungen und Messungen mit der notwendigen Genauigkeit durchführen zu können. Unter diesen Bedingungen entstanden 1672 in Paris, und 1675 in Greenwich die ersten staatlichen Sternwarten der Neuzeit, die sich bald umfassenden Aufgaben zuwendeten.

Wie eng auch dieser Fortschritt der Astronomie mit den praktischen Bedürfnissen verbunden war, geht deutlich aus der Geschichte der Gründung der Sternwarte von Greenwich hervor. Damals war der Vorschlag gemacht worden, die geographische Länge auf See durch Messung von Mondörtern zu bestimmen. Der englische Astronom John Flamsteed (1646–1719), vom König um ein Gutachten über diesen Vorschlag ersucht, gab die Auskunft, daß sich das Verfahren nicht eigne, weil die Bewegung des Mondes nicht genau genug bekannt sei. Daraufhin ordnete König Karl II. an, daß man „zum Nutzen seiner Seeleute“ solche Messungen durchführen solle. Diese Anordnung führte zur Gründung der Sternwarte in Greenwich, zu deren erstem Direktor Flamsteed ernannt wurde.* Zu den Aufgaben der Sternwarten gehörten neben der immer noch nicht gelösten Aufgabe, astronomische Methoden zur Längenbestimmung auf See auszuarbeiten, weiterhin die Herstellung neuer Sternkataloge sowie die Durchführung von Gradmessungen zur Bestimmung der Größe und der Gestalt der Erde. Dieser zuletzt genannten Aufgabe hat sich besonders die Pariser Sternwarte angenommen, die zu diesem Zweck im 18. Jahrhundert Expeditionen nach Peru und Lapland durchführte. Sie konnte sich dabei auf die Erfahrungen von Jean Picard (1620 bis 1682), einem Schüler von Gassendi, stützen, der schon 1671 in der Nähe

* Für die Längenbestimmung brauchbare Mondtafeln sind erstmalig von Tobias Mayer (1723–1762) im Jahre 1752 in Göttingen herausgegeben worden.

von Paris eine Gradmessung durchgeführt hatte. Das Ergebnis dieser Messung sollte später die Annahme Newtons über die allgemeine Massenanziehung voll auf bestätigen.

Der erste neue Sternkatalog, der auf Beobachtungen und Messungen mit dem Fernrohr beruhte, wurde aus dem Nachlaß von Flamsteed 1729 herausgegeben. Ende des 18. Jahrhunderts gab es in Europa bereits rund 130 Sternwarten.

Die Mehrzahl der Welten

Die neuen Entdeckungen am Himmel warfen die noch immer ungelösten Fragen nach der Unendlichkeit des Weltalls und nach der Bewohntheit und Bewohnbarkeit der Himmelskörper neu auf und beschäftigten nicht nur den Verstand, sondern auch die Phantasie der Naturwissenschaftler, Philosophen und Schriftsteller.

Schon 1638 erschien das viel gelesene Werk des englischen Naturforschers und späteren Bischofs John Wilkins „Discovery of a New World“ („Entdeckung einer neuen Welt“), in dem lang und breit aus den neuen astronomischen Entdeckungen abgeleitet wurde, daß der Mond „eine Welt“, das heißt ein der Erde ähnlicher und wahrscheinlich bewohnter Himmelskörper sei. Ihm folgte als Ergänzung zwei Jahre später die Schrift „Discourse of a New Planet“ („Abhandlung über einen neuen Planeten“), in der gezeigt wurde, daß die Erde ein Planet wie die anderen sei. Beide Werke erlebten bis Ende des 17. Jahrhunderts fünf englische Auflagen, wurden 1656 ins Französische und noch 1713 unter dem Titel „Vertheidigter Copernicus oder curioser und gründlicher Beweis der Copernicanischen Grundsätze in zweyen Theilen verfasst und dargethan I. Daß der Mond eine Welt oder Erde, II. Die Erde ein Planet seye“ ins Deutsche übersetzt.

John Wilkins (1614–1672), der zu den ersten Förderern und Begründern der Royal Society in London gehörte und ein Liebhaber und Parteigänger der neuen Experimentalphilosophie gewesen ist, trat in seinen Büchern offen als Anhänger der kopernikanischen Astronomie auf und verbreitete in allgemeinverständlicher Form die Anschauung von der Mehrheit der Welten und der Bewohnbarkeit des Mondes. Geschickt stellte er seinen Darlegungen eine Betrachtung darüber voran, daß eine Wahrheit anfangs oft abgelehnt und verlacht wird und falsche Ansichten allgemein verbreitet sein können, wobei er für den ersten Fall die Existenz von Antipoden und für den zweiten die griechischen Ansichten über die Ursache der Mondfinsternisse als Beispiel anführte. Wilkins verzichtete auf eine Darlegung der Grundlagen der Himmelskunde nach Art der fachwissen-

schaftlichen Lehrbücher und auf mathematische Ableitungen, setzte sich aber eingehend mit entgegenstehenden Ansichten auseinander. Den theologischen Gegnern der verschiedensten Konfessionen hielt er entgegen, daß die Bibel nicht wörtlich zu verstehen sei und die neuen Ansichten keineswegs der Religion widersprächen. In seinen positiven Ausführungen stützte er sich vor allem auf Galilei, Kepler und andere Kopernikaner, selbst Giordano Bruno wurde als Kronzeuge angeführt. Dabei erlaubte er sich allerdings, über die zurückhaltenden Ansichten der Astronomen hinausgehend, recht bestimmte Aussagen über die Beschaffenheit und Bewohntheit des Mondes zu machen, wobei neben richtigen manche phantastische, uns heute zum Teil naiv anmutende Vorstellungen und vorschnelle Verallgemeinerungen einfließen.

An Kepler anknüpfend zweifelte er nicht daran, daß sich beherzte Männer finden würden, die eine Reise zum Mond wagen würden und meinte, man könne Vögel so abrichten, daß sie einen Menschen zum Mond tragen. Auf jeden Fall, so formulierte er am Schluß des ersten Buches, „sollte dergleichen Invention, wann solche zum Stand kommen könnte, von so vortrefflichem Nutzen sein, daß diese schon genug wäre, nicht nur allein einen Mann, sondern auch die Zeit, in welcher er lebet, in einen großen Ruhm zu setzen“ (Johann Wilkins, Vertheidigter Copernicus . . . Leipzig 1713, S. 111/112).

Die so mutig und unbeschwert gezogenen Schlußfolgerungen aus den neuen astronomischen Entdeckungen fanden bereitwillige Aufnahme und großes Interesse. Die gleichen Themen wurden in den folgenden Jahrzehnten wieder und wieder behandelt, sowohl in der Fachliteratur wie in populärwissenschaftlichen und philosophischen Werken. Damit aber war das Eis gebrochen. Die solange hintangehaltene öffentliche Diskussion der weltanschaulichen Konsequenzen der kopernikanischen Astronomie war im europäischen Maßstab eröffnet.

Den größten Erfolg hatte Bernard Le Bovier de Fontenelle (1657–1757) mit seinem Werk „Entretiens sur la pluralité des mondes“ („Unterhaltungen über die Mehrheit der Welten“), in dem er, wie bereits erwähnt, die neue mechanische Naturauffassung vertrat.

Auch die Schrift Fontenelles wendete sich nicht an den Fachmann, sondern an eine breite, gebildete Leserschaft. Gesprächspartnerin des Philosophen ist eine Marquise, die sich dem Neuen gegenüber aufgeschlossen und aufnahmebereit zeigt. Fontenelle verstand es, seinen Stoff auch dem Gefühl nahezubringen und die wissenschaftlichen mit allgemein philosophischen Betrachtungen zu verbinden. Treffend charakterisierte Goethe in seiner Farblehre Inhalt und Stil des Werkes von Fontenelle, wenn er schrieb: „Was die Erde von ihrem hohen Rang verloren, ward ihr gleichsam durch Gesellschaft ersetzt, und für Menschen, die sich gern mitteilen, war es ein angenehmer Gedanke, früher oder später einen Besuch auf den umliegenden Welten abzustatten.“

Den Erfolg in wissenschaftlich interessierten Kreisen hatte das Werk besonders dem Umstand zu verdanken, daß dort die astronomischen Anschauungen nicht getrennt und isoliert von den physikalischen und den allgemeinen naturwissenschaftlichen Anschauungen dargelegt, sondern als eine einheitliche neue Auffassung von der Natur vorgetragen wurden. Die Astronomie bildete jetzt nicht mehr einen Fremdkörper in der Naturlehre, sondern eine der Hauptstützen der neuen Naturauffassung.

Fontenelle ging dabei allerdings noch von der Grundkonzeption Descartes' und seiner Wirbellehre aus. Die Haltlosigkeit dieser Lehre war mit dem Jahre 1686 durch die Entwicklung der Dynamik und Mechanik schon weitgehend nachgewiesen worden.

Ein weit inhaltsreicheres Buch hat Christian Huygens über das gleiche Thema geschrieben, in dem er zugleich seine Anschauungen und Kenntnisse von der Natur am Ausgang des 18. Jahrhunderts zusammenfaßte. Von der Ansicht ausgehend, daß die Erde ein Planet sei und ihr deshalb keine Sonderstellung zukomme, leitete Huygens ab, daß auch die übrigen Planeten der Erde ähnlich und bewohnt sein müßten. Er vertrat die Anschauung von einer „natürlichen Folge“ und „Verkettung der Materie“ der unbelebten und belebten Natur, der Pflanzen und Tiere, ihres Baues und ihrer Organe und schließlich von dem Zusammenhang von Mensch und Natur. Auf Grund dieser Einsicht in das Walten allgemeingültiger Naturgesetze und das harmonische Zusammenwirken aller Naturerscheinungen kam er zu dem Ergebnis, daß auch die Bewohner anderer Planeten den Menschen ähnlich sein müßten, in Gesellschaft leben und sprechen und schreiben könnten. Sie sollten auch entsprechende gesellschaftliche Einrichtungen und wissenschaftliche Kenntnisse haben wie die Erdbewohner. Mit scharfen Worten wendete er sich gegen eine phantastische Erzählung des Jesuitenpaters Athanasius Kircher (1601–1680), der als Katholik und Anhänger des Systems von Tycho Brahe die Lehre von der stillstehenden Erde verteidigte, die Himmelskörper als von „himmlischen Intelligenzen“ bewegt schilderte und überdies astrologische Ansichten über den Einfluß der Sterne auf Charakter und Schicksal der Menschen vertrat.

Anschließend schilderte Huygens „die Jahre, Tage und Astronomie“ der einzelnen Planeten, das heißt den Anblick des Himmels und der Bewegung der Gestirne von den einzelnen Planeten aus gesehen, um zuletzt auf die Fixsterne einzugehen. Er hielt sie für Sonnen, die ihrerseits von bewohnten Planeten umkreist werden.

Die mit der neuen Astronomie verbundene Entthronung der Erde und des Menschen als Mittelpunkt und Sinn der Schöpfung ist bei Huygens umgeschlagen in eine Vermenschlichung des unendlichen Universums. Der Himmel ist irdisch geworden wie die Bewegungen der Gestirne.

Heute können wir die Frage nach der Existenz denkender Wesen auf anderen Himmelskörpern nicht so naiv und spekulativ beantworten wie Wilkins, Fontenelle und Huygens. Es ist aber sicher, daß die jetzt beginnende direkte Erforschung des Kosmos auch die Frage nach der Stellung des Menschen im Universum früher oder später zu einer Frage der menschlichen Praxis reifen lassen wird.

Die Gravitation

Die neuen Vorstellungen vom Weltall, von der Struktur der Materie, vom absoluten Raum und von einheitlich geltenden und wirkenden Naturgesetzen, wie sie von der Experimentalphilosophie entwickelt worden waren, fanden ihre Zusammenfassung und einen für Jahrhunderte gültigen Abschluß in den Grundsätzen der Newtonschen Mechanik, die die Bewegung aller himmlischen und irdischen Körper umfaßt. Damit wurde es möglich, die von Kepler zuerst geforderte „Physik des Himmels“ als Himmelsmechanik zu verwirklichen und zugleich die Isolierung der neuen Astronomie von der übrigen Naturlehre wissenschaftlich zu überwinden.

Um eine solche umfassende Mechanik schaffen zu können, bedurfte es zusätzlich zu den bisher genannten Fortschritten in der Erkenntnis der Natur der begrifflichen und fachlichen Klärung der Frage nach den zwischen den Körpern wirkenden Kräften. Sie fand ihre Lösung in der Lehre von der Gravitation oder der allgemeinen Massenanziehung, die wohl die schwierigste und problematischste Seite der neuen Mechanik darstellte.

Heute sind wir mit diesem Begriff vertraut und übersehen deshalb nur zu leicht, daß die Gravitation ein neuer Begriff war, der der scholastischen Physik ebenso fremd gewesen ist wie der Mechanik von Descartes.

In der aristotelisch-scholastischen Physik war die Gravitation überflüssig, da man den Fall als die „natürliche“ Bewegung eines schweren Körpers zu seinem „natürlichen“ Ort, dem Mittelpunkt der Welt, ansah. Ebenso wenig bedurfte die Kreisbewegung der Himmelskörper einer Erklärung, da man diese als prinzipiell verschieden von den irdischen Körpern ansah und ihnen vollkommene Bewegungen auf Kreisbahnen, ohne Anfang und Ende und ewig bestehend, als überirdische Eigenschaft zuschrieb.

Mit der Anerkennung der kopernikanischen Astronomie waren aber die Fragen neu aufgeworfen worden: Warum fällt ein Stein? Warum bewegen sich die Planeten? Descartes hatte die Antwort durch seine Lehre von den Wirbeln zu geben versucht, aber keinen Erfolg damit gehabt.

Einen anderen, und wie sich zeigen sollte, weit fruchtbareren Weg hat Kepler eingeschlagen.

Wie bereits kurz erwähnt, hat er in seinen Bestrebungen, eine „Physik des Himmels“ zu schaffen, als erster von einer gegenseitigen Anziehung der Körper gesprochen. Er ging dabei von den magnetischen Erscheinungen aus, deren Wirkungsbereich er durch einen kühnen Analogieschluß erweiterte. Diese Überlegung lag damals insofern nahe, als der Engländer William Gilbert (1540–1603), Leibarzt der Königin von England, diese Erscheinungen experimentell gründlich erforscht und in einem viel beachteten Werk mit dem Titel „De magnete, magneticisque corporibus et de magno magnete tellure“ („Über den Magneten, die magnetischen Körper und den großen Magneten Erde“) im Jahre 1600 beschrieben hatte. In diesem Werk hatte Gilbert nachgewiesen, daß die Erde selbst wie ein großer Magnet wirkt, womit eine Übertragung dieser Eigenschaft auf andere Himmelskörper und Analogieschlüsse in der Art Keplers nahegelegt waren. Den grundsätzlichen Unterschied zwischen Gravitation und Magnetismus und ihren Gesetzen hat erst Newton in seinen „Prinzipien“ klargestellt.

Kepler erklärte die „herkömmliche Lehre über die Schwere“ für falsch und setzte an ihre Stelle eine neue „wahre Lehre von der Schwere“, in der unter anderem folgende Grundsätze gelten sollten:

„Die Schwere besteht in dem gegenseitigen körperlichen Bestreben zwischen verwandten Körpern nach Vereinigung oder Verbindung (von dieser Ordnung ist auch die magnetische Kraft), so daß die Erde viel mehr den Stein anzieht, als der Stein nach der Erde strebt.“

„Wenn man zwei Steine an einem beliebigen Ort der Welt versetzen würde, nahe beieinander außerhalb des Kraftbereiches eines dritten Körpers, dann würden sich jene Steine, ähnlich wie zwei magnetische Körper an einem zwischenliegenden Ort vereinigen, wobei sich der eine dem anderen um eine Strecke nähert, die der Masse des anderen proportional ist.“

„Kein Ding aber, das aus körperlichem Stoff besteht, ist absolut leicht; vielmehr ist das, was entweder seiner Natur nach oder durch zufällig hinzukommende Wärme dünner ist, verhältnismäßig leichter . . . Man darf nämlich nicht glauben, daß es bis zur Grenzfläche der Welt entweicht, wenn es emporgehoben wird, oder daß es von der Erde nicht angezogen wird; denn es wird nur weniger angezogen als das Schwere und so von dem Schweren verdrängt, so daß es ruht und von der Erde an seinem Ort festgehalten wird.“

Gleichzeitig nahm Kepler an, „daß sich die anziehende Kraft des Mondes bis

zur Erde . . . die anziehende Kraft der Erde bis zum Mond und noch viel höher“ erstrecke (Johannes Kepler: Neue Astronomie. München-Berlin 1929, S. 25/27).

Mit diesen Sätzen war die scholastische Lehre von der Schwere überwunden und ein neuer richtiger Ausgangspunkt gefunden, der sich für die Astronomie als ebenso fruchtbar erweisen sollte wie für die Physik und Mechanik. Kepler selbst hat schon ganz zutreffend die Gezeiten auf die anziehende Wirkung des Mondes auf die Weltmeere zurückgeführt.

Das Gravitationsgesetz selbst hat Kepler allerdings nicht richtig erkannt. In Verbindung mit seiner Vorstellung von einer von der Sonne ausgehenden Antriebskraft, die mit ihrer Rotation die Planeten auf ihren Bahnen herumführen sollte, dachte er nicht an eine räumliche, sondern an eine flächenhafte Ausbreitung der Anziehungskraft. Er kam so folgerichtig zu der Annahme, daß diese Kraft proportional der Entfernung (anstatt dem Quadrat der Entfernung) abnehmen müsse. Um die absolute Ruhe der Sonne im Mittelpunkt des Weltalls (abgesehen von ihrer Rotation) zu sichern, lehnte er gleichzeitig, im Gegensatz zu seinen allgemeinen Sätzen über die Schwere, eine Gravitationswirkung der Planeten auf die Sonne ab. Damit hatte er sich selbst den Weg zur erfolgreichen Weiterentwicklung der Gravitationslehre abgeschnitten.

Keplers Grundgedanke aber wirkte fort.

Die Frage, ob es eine mit der Entfernung abnehmende Schwerkraft überhaupt gebe und nach welchen Gesetzen diese Schwerkraft abnehme, sowie die Frage, ob aus dieser Annahme die Bewegung der Planeten nach den drei Keplerschen Gesetzen abgeleitet werden könne, ist im 17. Jahrhundert mehrfach aufgetaucht und zu lösen versucht worden.

So findet sich in dem umfangreichen Werk des französischen Gelehrten Ismael Boulliau (1605–1694) „Astronomia philolaica“ („Philolaische Astronomie“, 1645, nach Philolaos, einem Schüler des Pythagoras), in dem die Lehre Keplers kritisiert wird, die Feststellung, daß eine Kraft, die sich von einem Zentrum aus gleichmäßig ausbreitet, mit dem Quadrat des Abstandes abnehmen müsse. Die Annahme einer von der Sonne ausgehenden Anziehungskraft wird aber ausdrücklich abgelehnt. Der italienische Mathematiker Giovanni Alfonso Borelli (1608–1679), der bis zum Verbot der Accademia del Cimento eines ihrer aktivsten Mitglieder gewesen ist, vermutete, daß die elliptischen Bahnen der Planeten durch eine Art Schwingung um die Gleichgewichtslage entstünden. Dabei sollten Zentrifugalkräfte, die von der Geschwindigkeit abhängen, und Zentripetalkräfte, die von der Entfernung abhängen, zusammenwirken. Er war also auf dem rechten Weg.

Die ersten tieferen Einsichten in diese Zusammenhänge wurden aber bezeichnenderweise nicht auf mathematischem, sondern auf physikalischem Wege erreicht.

Robert Hooke (1635–1703), „Kurator für Experimente“ der Royal Society in London und wohl der vielseitigste Experimentator des 17. Jahrhunderts, versuchte das Rätsel der Schwerkraft experimentell zu lösen.

Um die Abnahme der Schwerkraft mit der Entfernung festzustellen, hat Robert Hooke 1666 Wägungen ausgeführt, bei denen sich der zu wiegende Körper einmal in der gleichen Höhe wie das Gewicht und ein anderes Mal in davon verschiedener Höhe befand. Die Versuche wurden an der Paulskirche und an der Westminsterabtei in London durchgeführt. An einer Waagschale war ein langer Draht befestigt, der bis zum Erdboden reichte. Ein schwerer Körper wurde einmal auf die Waagschale gelegt und das nächste Mal am Ende des Drahtes befestigt. Hooke hat entsprechende Versuche auch in tiefen Schächten ausgeführt; denn er vermutete richtig, daß die Anziehungskraft auf der Erdoberfläche am größten, darüber oder darunter aber kleiner sein müsse. Als er mit seinen relativ groben Methoden keine Differenzen feststellen konnte, schlug er vor, die Experimente mit einem Pendel zu wiederholen – ein Vorschlag, der später zur Bestimmung der Erdbeschleunigung tatsächlich verwirklicht worden ist.

Auch zur Lösung der Frage nach der Bahn der Planeten bediente sich Hooke des Pendels. Er ging von der richtigen Annahme aus, daß die Planeten sich bei einem einmaligen Anstoß nur geradlinig weiterbewegen könnten und daher die Krümmung ihrer Bahn auf eine Anziehungskraft des Zentrums zurückgeführt werden müsse. So kam er auf den genialen Einfall, die Bewegung eines konischen Pendels zu untersuchen. Er hob den Körper eines großen Fadenpendels aus seiner Ruhelage und stellte fest, daß er elliptische Schwingungen ausführte, wenn er mit entsprechender Geschwindigkeit senkrecht zur Verbindungslinie mit der Mittellage angestoßen wurde. Um auch noch die Mondbewegung zu demonstrieren, befestigte Hooke bei seinem nächsten Versuch am unteren Teil des Pendelfadens ein zweites, kürzeres Pendel. Dann beschrieb der gemeinsame Schwerpunkt beider Pendel Ellipsen- bzw. Kreisbahnen.

Acht Jahre später, im Jahre 1674, formulierte Hooke die Grundzüge seiner Hypothese zur Erklärung der Planetenbewegung in folgenden Sätzen: „Ich werde hiernach ein Weltsystem erklären, das in manchen Einzelheiten von jedem bis jetzt bekannten System verschieden ist, das aber in allen Dingen den gewöhnlichen mechanischen Gesetzen entspricht.

Dasselbe hängt von drei Annahmen ab:

Erstens, daß alle himmlischen Körper eine Anziehung oder Gravitation nach ihrem eigenen Mittelpunkt ausüben, so daß sie nicht nur ihre eigenen Teile anziehen und dieselben, wie wir an der Erde beobachten, von dem Davonfliegen abhalten, sondern daß sie auch alle anderen himmlischen Körper, welche sich in ihrer Wirkungssphäre befinden, anziehen. Und so üben nicht nur die Sonne und der Mond einen Einfluß auf den Körper und die Bewegung der Erde und

diese wieder auf jene aus, sondern ebenso üben auch Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn durch ihre Anziehung einen beträchtlichen Einfluß auf die Bewegung der Erde aus, in derselben Weise wie die entsprechende Anziehung der Erde einen beträchtlichen Einfluß auf die Bewegung eines jeden von ihnen hat. Die zweite Annahme ist die, daß alle möglichen Körper, welche eine einfache und geradlinige Bewegung einmal erhalten haben, dieselbe so lange in einer geraden Linie fortsetzen, bis sie durch eine andere wirkende Kraft in ihrer Bewegung abgelenkt und gezwungen werden, einen Kreis, eine Ellipse oder eine andere zusammengesetztere Linie zu beschreiben.

Die dritte Annahme ist die, daß die anziehenden Kräfte in ihrer Wirkung um so größer sind, je näher die Körper, auf die sie wirken, dem Zentrum der Anziehung sind. Was freilich die Grade dieses Wachstums betrifft, so habe ich sie noch nicht experimentell bestätigt; aber es ist dies sicher ein Begriff, der, wenn er, wie er sollte, völlig anerkannt wird, den Astronomen mächtig helfen wird, alle himmlischen Bewegungen auf ein Gesetz zurückzuführen, was ohne ihn niemals geschehen wird“ (hier zitiert nach der deutschen Übersetzung in: S. R. Rosenberger: Isaac Newton und seine physikalischen Prinzipien. Leipzig 1895, S. 154).

Wie sich zeigt, hatte Hooke das Wesen der Sache erfaßt. Obwohl er aber wahrscheinlich schon drei Jahre später die Abnahme der Gravitation mit dem Quadrat der Entfernung richtig erkannt hatte, war er nicht in der Lage, aus diesen drei Annahmen die Keplerschen Gesetze abzuleiten. Als Experimentator fehlten ihm die dazu notwendigen mathematischen Kenntnisse.

Die Londoner Virtuosi wendeten sich deshalb durch Vermittlung des Astronomen Edmund Halley (1656–1742) an Isaac Newton in Cambridge. Dieser erklärte zu ihrer großen Überraschung, er besitze den Beweis schon seit mehreren Jahren.

Die Theorie der Planetenbewegung hat Newton aber nicht damals, sondern erst 1687 in seinem Hauptwerk, den „Mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie“, erstmalig veröffentlicht.

Man hat lange gerätselt, warum Newton seine epochemachende Entdeckung, über deren Bedeutung er sich selbst durchaus im klaren war, nicht schon viel früher bekanntgemacht hat. Nach einer zum erstenmal von Voltaire berichteten Begebenheit soll Newton ja schon 1666, als er den Fall eines Apfels beobachtete, den Zusammenhang richtig erkannt haben. Das war im gleichen Jahr, als Hooke seine ersten Pendelversuche ausführte.

Newton selbst hat seine damaligen Berechnungen später folgendermaßen geschildert: „In dem gleichen Jahr (1666, d. Verf.) begann ich über die Gravitation nachzudenken, die sich bis zur Mondbahn erstreckt ... Aus dem Keplerschen Gesetz, daß die Umlaufzeiten der Planeten im eineinhalbfachen Verhältnis zu den Entfernungen von den Zentren ihrer Bahnen stehen, folgerte ich, daß die Kräfte, die die Planeten in ihren Bahnen halten, umgekehrt proportional zu

dem Quadrat ihres Abstandes von den Zentren sein müssen, um die sie sich drehen. Hieraus weiter schließend, verglich ich die Kraft, die notwendig ist, um den Mond in seiner Bahn zu halten, mit der Schwerkraft auf der Oberfläche der Erde und fand, daß sie fast genau gleich sind“ (S. I. Wawilow: Isaac Newton. Berlin 1951, S. 97/98).

Der Zusammenhang zwischen der Gravitation und den Planetenbahnen war Newton somit schon in diesen Jahren klar. Man hat sich lange Zeit an das „fast gleich“ des letzten Satzes der Newtonschen Aussage gehalten und angenommen, Newton habe seine Berechnungen deshalb nicht veröffentlicht, weil falsche Werte über das Verhältnis der Entfernung des Mondes zum Durchmesser der Erde keine völlige Übereinstimmung der Ergebnisse seiner Rechnungen mit der Erfahrung ergaben.

Neuere Forschungen haben aber deutlich gemacht, daß viel größere Schwierigkeiten in ganz anderer Beziehung auftauchten und überwunden werden mußten, ehe von einer befriedigenden Lösung dieser mechanischen und mathematischen Aufgabe gesprochen werden konnte. Sie ergaben sich aus Newtons Auffassung von der korpuskularen Struktur der Materie. Von diesem Standpunkt aus war natürlich die Gravitation nur als eine Eigenschaft der Atome oder Korpuskel selbst und nicht etwa als Eigenschaft der Zusammenballung von Atomen zu begreifen. Damit ergab sich die Anziehungskraft der Erde auf einen Stein als Summe der Anziehungskräfte aller ihrer einzelnen Atome oder Korpuskeln. Diese aber befinden sich in verschiedenen Entfernungen von dem Stein, wobei die Unterschiede dieser Entfernungen wegen der Größe der Erdkugel im Verhältnis zu der relativ kleinen Entfernung eines fallenden Steines von der Erdoberfläche keineswegs vernachlässigt werden durften. Newton hat höchstwahrscheinlich mit diesem Problem gerungen, als ihn Halley im Jahre 1684 aufsuchte. Es gehört zu Newtons glänzendsten mathematischen Leistungen, daß es ihm mit Hilfe seiner Fluxionsrechnung gelang zu beweisen, daß eine Vollkugel auf einen außer ihr befindlichen Körper die gleiche Anziehungskraft ausübt, wie wenn ihre gesamte Masse im Mittelpunkt vereinigt wäre.

Die Grundlagen der Mechanik

Newton gab jetzt dem Drängen seiner Freunde nach und schrieb sein lange vorbereitetes grundlegendes Werk über die Prinzipien der Mechanik nieder. Am 28. April 1686 legte er der Royal Society den ersten, im März 1687 den zweiten und am 6. April 1687 den dritten und letzten Teil des Werkes vor. Es erschien mit Unterstützung seines Schülers Halley, der die Drucklegung und sogar die

Druckkosten übernahm, im Jahre 1687 unter dem Titel „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“ („Die mathematischen Prinzipien der Naturlehre“).

Unter veränderten gesellschaftlichen Bedingungen wiederholte sich somit beim Abschluß der Umgestaltung der Astronomie und des naturwissenschaftlichen Weltbildes die gleiche Erscheinung wie zu deren Beginn. Ein junger, begeisterter Anhänger der neuen Lehre bewog deren Schöpfer, sein Hauptwerk zu vollenden und übernahm die Sorge für sein Erscheinen. Ohne eine solche Hilfe wären weder das Werk von Kopernikus noch die „Prinzipien“ von Newton veröffentlicht worden. Die Wiederholung macht deutlich, daß der neuen Lehre einschließlich ihrer weltanschaulichen Konsequenzen die Zukunft gehörte.*

Die wissenschaftlichen Kreise Englands waren sich der Bedeutung der „Prinzipien“ durchaus bewußt. Nach deren Erscheinen veranstaltete die Royal Society eine Sondersitzung, um dem König ein Exemplar zu überreichen. Dabei gab Halley eine Übersicht über den Inhalt des Werkes, die nach einleitenden, an den König gerichteten Redewendungen folgendermaßen begann: „Dieser unvergleichliche Verfasser, der endlich bewogen worden ist, sein Werk zu veröffentlichen, hat in diesem Werk ein sehr bemerkenswertes Beispiel von der Größe der Geisteskräfte gegeben; er hat zugleich gezeigt, welches die Prinzipien der Naturphilosophie sind, und daraus die Schlußfolgerung soweit gezogen, daß er seinen Gegenstand erschöpft zu haben scheint und denen, die nach ihm kommen, wenig zu tun übrig gelassen hat. Sein großes Können in der alten und neuen Geometrie, unterstützt durch seine eigenen Verbesserungen der letzteren (ich meine sein Verfahren der unendlichen Reihen), hat ihn befähigt, Probleme zu meistern, die wegen ihrer Schwierigkeit ungelöst geblieben wären, hätte ein weniger qualifizierter (Wissenschaftler) sie in Angriff genommen.“

Die Abhandlung ist in drei Bücher geteilt, von denen die zwei ersten den Titel ‚*De motu corporum*‘ (‚Über die Bewegung der Körper‘) tragen, das dritte den Titel ‚*De systemate mundi*‘ (‚Über das Weltsystem‘) trägt.

Das erste (Buch) beginnt mit Definitionen der benutzten Ausdrücke und unterscheidet Zeit, Raum, Ort und Bewegung in absoluter und relativer, wirklicher und scheinbarer, mathematischer und gewöhnlicher (Bedeutung) und zeigt die Notwendigkeit dieser Unterscheidung. Diesen Definitionen werden die Gesetze der Bewegung mit einigen Ergänzungen hinzugefügt, und zwar betreffs der Zusammensetzung und der Zerlegung irgendwelcher geradliniger Kräfte aus schiefen bzw. in schiefe Kräfte . . . die Gesetze des Rückstoßes bewegter Körper nach ihrem Zusammenstoß usw.“

Über das dritte Buch heißt es in der Inhaltsübersicht dann später: „Das dritte

* Edmund Halley ist nach dem Tode Flamsteeds Direktor der Greenwicher Sternwarte geworden. Am bekanntesten wurde er durch die Berechnung der Bahn des nach ihm benannten Kometen von 1682 als einer langgestreckten Ellipse und seiner Umlaufzeit von nicht ganz 76 Jahren. Der Komet erschien, wie vorausgesagt, erneut Ende 1758 und ebenso 1835 und 1910.

PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore J. S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos
Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.

Julii 5. 1686.



5532

LONDINI,

Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud
plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

Titelblatt der „Philosophiæ naturalis principia mathematica“ von Newton

und letzte Buch heißt ‚De systemate mundi‘ (‚Über das Weltsystem‘). Hier werden die Ausführungen der beiden vorangegangenen Bücher zur Erklärung der wichtigsten Naturerscheinungen herangezogen. Hier wird die Wahrheit der Hypothesen von Kepler bewiesen und eine volle Lösung aller Schwierigkeiten der Astronomie gegeben, die nichts anderes sind als die notwendigen Folgen davon, daß die Sonne, die Erde, der Mond und die Planeten alle eine Gravitation oder ein Streben zu ihrem Mittelpunkt haben, das proportional zu ihrer Masse ist und dessen Stärke doppelt proportional zum reziproken Abstand ist. Hier sind

ebenso unwiderlegbar die Erscheinungen der Gezeiten oder der Ebbe und Flut des Meeres, die Abplattung der Erde (wovon die Präzession der Äquinoktien oder die Rotation der Erdachse herrührt) und die Abplattung des Jupiters zusammen mit der rückläufigen Bewegung der Mondknoten bestimmt, deren Größe und Ungleichheiten genau a priori festgestellt werden. Zuletzt wird an die Theorie der Bewegung von Kometen mit solchem Erfolg herangegangen, daß am Beispiel des großen Kometen, der 1682 erschien, deren Bewegung ebenso genau berechnet wird, wie wir die Örter der ersten Planeten angeben können: . . .“ (Isaac Newtons Papers and Letters in Natural Philosophy. Ed. by J. B. Cohen, New York 1958, S. 405 ff.).

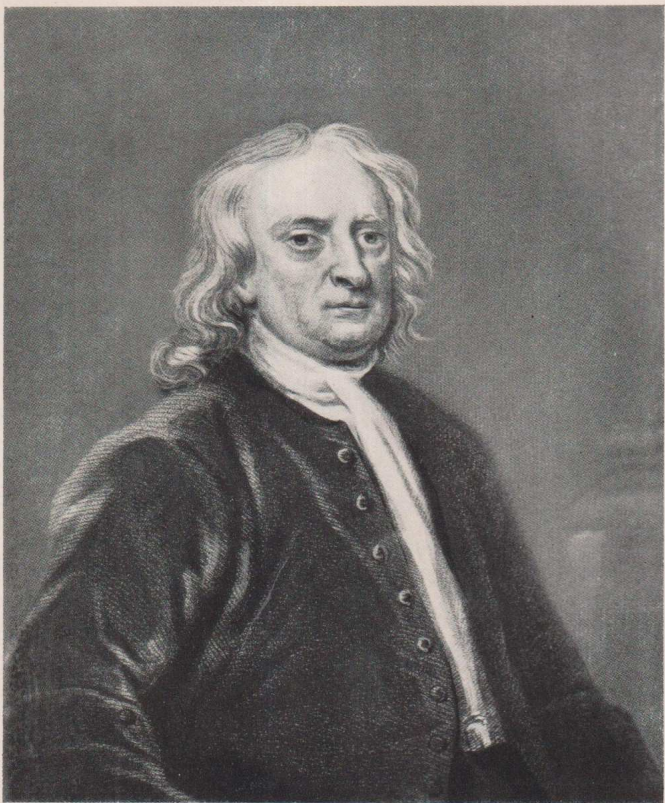
In dem Werk Newtons ist die Synthese aus der Dynamik Galileis, der Vorstellung von der korpuskularen Struktur der Materie und der Annahme einer allgemeinen Gravitation vollzogen. Die aristotelisch-scholastische Mechanik und die ptolemäische Astronomie sind überwunden und durch eine neue, einheitliche mechanische Naturwissenschaft abgelöst.

Die neue Mechanik wies nur an einer, allerdings entscheidenden Stelle einen strittigen Punkt auf. Den letzten Bausteinen der Materie außer Größe, Gestalt und Bewegung eine Anziehungskraft als zeitlos wirkende Fernkraft zuzuschreiben, erschien durchaus nicht als selbstverständlich. Der große Huygens zum Beispiel bezeichnete das „Prinzip der Anziehung“ geradezu als „absurd“. Die Annahme der Gravitation erregte besonders den Widerspruch und den Widerstand der Cartesianer, die darin einen Rückfall in die Annahme okkulten Qualitäten der Scholastik sahen.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, darauf hinzuweisen, daß Newton sich ausdrücklich zu den Grundsätzen der Experimentalphilosophie bekannt hat und selbst ein glänzender Experimentator gewesen ist. In den „Prinzipien“ hat Newton das Gravitationsgesetz keineswegs etwa postuliert, sondern vielmehr an astronomischen Beobachtungen und Messungen nachgewiesen, daß im ganzen Planetensystem eine in gleicher Weise wirkende Gravitation existiert. Erst nachdem er auf diese Weise das Gravitationsgesetz als ein weiteres „experimentelles physikalisches Prinzip“ (Wawilow, a. a. O., S. 129) erhalten hatte, ging Newton dazu über, umgekehrt aus dem allgemeinen Gravitationsgesetz die Keplerschen Gesetze, die Abplattung der Erde und der Planeten, die Abnahme der Schwere mit der Entfernung, die Präzession der Äquinoktien und die Erscheinung von Ebbe und Flut abzuleiten. Dabei verglich er die theoretischen Ergebnisse jeweils mit den beobachteten und gemessenen Werten. Die zweifache Rolle der Praxis als Grundlage der Erkenntnis und als Kriterium der Wahrheit tritt bei diesem aus der neuen Naturwissenschaft entwickelten Verfahren, das sich von dem scholastischen Vorgehen grundsätzlich unterscheidet, wie an einem Musterbeispiel deutlich hervor.



Edmund Halley



Isaac Newton

Wenn Newton gerade in bezug auf die Gravitation den oft angeführten Satz formulierte „Hypotheses non fingo“ („Ich ersinne keine Hypothesen“), so ist dieser Satz nicht etwa im positivistischen Sinne als ein Verzicht auf die Erklärung der Naturerscheinungen oder auf die Suche nach der Ursache der Gravitation zu verstehen, sondern als Ablehnung eines unwissenschaftlichen Spekulierens ohne ausreichende experimentelle Erfahrung. Gedanken oder Vermutungen über die Ursache der Gravitation und anderer Naturerscheinungen zu äußern, hat Newton keineswegs für unwissenschaftlich gehalten, sondern selbst praktiziert.

Die Befürchtungen der Cartesianer, die Newtonsche Mechanik könne zum Mittelalter zurückführen, erwies sich allerdings als gegenstandslos. Die Verbindung der Grundgesetze der Mechanik mit dem Gravitationsgesetz ist ein Ausdruck der Tatsache, daß sowohl die Trägheit wie das Gewicht eines Körpers durch dieselbe Eigenschaft, nämlich durch die Masse bestimmt sind und gemessen werden können. Einstein hat 1927 sehr richtig betont: „Die logische Geschlossenheit des Newtonschen Begriffssystems lag darin, daß als Ursache der Beschleunigung der Massen eines Systems nur diese Massen selbst auftreten“ (Albert Einstein: Newtons Mechanik und ihr Einfluß auf die Gestaltung der theoretischen Physik. Naturwissenschaften Bd. 15, S. 274, 1927).

Erst durch die allgemeine Relativitätstheorie Einsteins, in der die Maßverhältnisse des Raumes mit der Materie und ihrer Verteilung im Raum verknüpft sind, ist es gelungen, das Rätsel der Gravitation zu lösen. Sie erwies sich keineswegs als eine Qualität der Materie oder Substanz, sondern als ein Ausdruck ihrer Daseinsweise in Raum und Zeit. In einer höheren Form hat somit Descartes, der zweifellos der tiefere Denker war, gegenüber Newton recht behalten, freilich in einer Weise, von der er selbst nichts ahnen konnte.

Isaac Newton

Wer war dieser Gelehrte, dem die Naturwissenschaft so Entscheidendes verdankt?

Isaac Newton (1642–1727) wurde am 25. Dezember 1642 nach dem Julianischen oder am 5. Januar 1643 nach dem Gregorianischen Kalender geboren, das heißt zu Ende des ersten Jahres des großen englischen Bürgerkrieges. Newton war 7 Jahre alt, als Karl I. hingerichtet wurde, er erlebte die Regierung Cromwells, die Restauration der Stuarts, die sogenannte „glorreiche Revolution“ von 1688, die Wilhelm III. von Oranien an die Macht brachte, und starb als hochangesehener Gelehrter des wieder erstarkten konstitutionellen Britischen Königreiches. Er stammte aus dem kleinen Dorf Woolthorpe in der Nähe von Grantham an

der Ostküste Englands. Der Vater war noch vor der Geburt des Sohnes gestorben. Kluge und einflußreiche Verwandte bestimmten die Mutter, das Kind nicht als nützliche Arbeitskraft auf dem Bauernhof zu behalten, wie es zunächst vorgesehen war, sondern den jungen Isaac in die benachbarte Stadt Grantham zur Schule und später auf die Universität zu schicken.

Newton wurde im Sommer 1661 als „Subserver“, das heißt als dienender Student oder studierender Diener in das Trinity-College in Cambridge aufgenommen. Er mußte im Internat diejenigen bedienen, die schon Examina abgelegt hatten. Newton wurde bald Assistent des vielseitigen Mathematikers Isaac Barrow (1630–1677), eines Royalisten. Dieser gab 1669 seinen Lehrstuhl zugunsten seines begabten Schülers auf, um zunächst Geistlicher in London und später Direktor des Trinity-College zu werden.

Newton hat im Unterschied zu vielen anderen Gelehrten seiner Zeit keine Reise durch Europa unternommen und ist über Grantham, Cambridge und später London, das heißt über eine Entfernung von knapp 200 km nicht hinausgekommen. Seine Verwandten waren Anhänger der anglikanischen Kirche, offensichtlich royalistisch gesinnt und gegen Cromwell eingestellt. Auch in Cambridge, wohin Newton erst nach der Restauration kam, wurde er entsprechend beeinflußt. In seinem späteren Leben sympathisierte er mit der Partei der Whigs, das heißt der Partei der englischen Bourgeoisie, insbesondere der Kaufleute, die gegen die katholische Kirche und gegen die alten Feudalrechte kämpfte. Schon vor 1688 trat er als Vertreter der Universität Cambridge gegen die Versuche auf, die Universität zu rekatholisieren. Im Parlament aber, dessen Mitglied er nur kurze Zeit gewesen ist, soll er nur einmal gesprochen haben, und zwar, um darum zu bitten, die Fenster des Saales zu öffnen.

In den Cambridger Jahren hat Newton seine großen wissenschaftlichen Leistungen vollbracht, wobei die Jahre von 1665 bis 1667, die er wegen einer furchtbaren Pestepidemie fern von seinen Lehrverpflichtungen in seinem Heimatdorf verbrachte, die fruchtbarsten gewesen zu sein scheinen. Damals entstanden die Grundlagen seiner großen wissenschaftlichen Werke. Er führte in dieser Zeit seine Experimentaluntersuchungen über das Licht durch, konstruierte das erste Spiegelteleskop und stellte regelmäßig umfangreiche chemische Untersuchungen an, die allerdings ohne besonderes Ergebnis geblieben sind. 1672, im Alter von 30 Jahren, wurde er auf Grund der Erfindung des Spiegelteleskopes Mitglied der Royal Society in London.

Im Alter von 53 Jahren erhielt Newton 1695 auf sein Ersuchen durch Vermittlung des späteren Finanzministers Montague zuerst die Stelle eines Aufsehers und drei Jahre später die des Direktors der englischen Münze, womit für ihn eine umfangreiche administrative und praktische Tätigkeit verbunden war. In diesen Jahren wurde in England eine Finanzreform durchgeführt, die mit dem

Einzug der alten und der Ausgabe neuer Silbermünzen verbunden war und eine Steigerung der Produktion von Silbermünzen auf mehr als das Achtfache erforderte. Newton hat diese organisatorische und technische Aufgabe innerhalb von drei Jahren gelöst und sich damit als ein zuverlässiger Anhänger des neuen Königshauses erwiesen.

1701 gab Newton seine Professur in Cambridge endgültig auf. Er schloß sich in den letzten 25 Jahren seines Lebens eng an die Hofkreise Englands an und wurde 1705 in den Adelsstand erhoben. Damals beschäftigte er sich in der Hauptsache mit der Herausgabe und Verbesserung seiner beiden Hauptwerke, der „Prinzipien“ und der „Optik“, sowie seiner mathematischen Schriften. Sein Prioritätsstreit mit Leibniz um die Entdeckung der Infinitesimalrechnung wurde vom Hof als eine nationale englische Angelegenheit betrachtet und war dadurch noch weniger erfreulich.

Außerhalb der Naturwissenschaft interessierte sich Newton besonders für theologische Fragen, wie etwa für die Deutung der Apokalypse oder für die Frage der Dreieinigkeit, in der er im Gegensatz zur anglikanischen Kirche einen unitarischen Standpunkt vertrat.

Nach Veröffentlichung und Bekanntwerden seiner „Prinzipien“ hat Newton sich wiederholt dagegen verwahrt, aus seiner Mechanik Schlußfolgerungen im Sinne des philosophischen Materialismus abzuleiten. Als der anglikanische Bischof und spätere Leiter des Trinity-College in Cambridge, Richard Bentley, 1693 eine Vorlesung gegen den „Atheismus vom Ursprung und Bau der Welt“ hielt, unterstützte ihn Newton mit seinen Ratschlägen. Er suchte nachzuweisen, daß die geordnete Welt, wie sie seine Physik zeigte, nicht mechanisch entstanden, sondern nur nach einem göttlichen Plan konstruiert sein könne; ja, Newton war sogar der Ansicht, daß Gott von Zeit zu Zeit eingreifen müsse, um trotz der gegenseitigen Störung der Planeten die Stabilität des Planetensystems zu sichern. Die klassische Mechanik wurde auf diese Weise mit Unterstützung Newtons für die Kirche und die Bourgeoisie annehmbar gemacht. Ihre Ergebnisse gingen allerdings weit über diese ideologischen Schranken hinaus und konnten auch durch Newton selbst nicht aufgehoben werden. Die weitere Entwicklung der Newtonschen Mechanik hat entschieden zur Überwindung der Reste religiöser Vorstellungen in der Naturwissenschaft beigetragen.

Der weitere Ausbau der theoretischen und praktischen Astronomie und Mechanik brachte immer neue Bestätigungen der Allgemeingültigkeit des Gravitationsgesetzes und der Grundlagen der Mechanik. Die ptolemäische Astronomie erschien schon in der Mitte des 18. Jahrhunderts so fremdartig, daß R. G. Boscovich (1711–1787), der als Jesuit und Mathematiker des Collegium Romanum an das Verbot der kopernikanischen Lehre gebunden war, 1746 schrieb: „Für meinen Teil, der ich voll Ehrfurcht für die Heilige Schrift und die Verordnungen der heiligen Inquisition bin, betrachte ich die Erde als unbeweglich. Trotzdem will ich der einfacheren Darstellung halber so sprechen, als ob sich die Erde bewege; denn es ist erwiesen, daß von den zwei Hypothesen der Anschein diese Vorstellung begünstigt“ (hier zitiert nach A. T. White: Geschichte der Fehde zwischen Wissenschaft und Theologie in der Christenheit. Leipzig o. J., Bd. I, S. 139/40).

Die Lage hatte sich somit vollständig geändert. Was beim Erscheinen des Werkes von Kopernikus als jeder Anschauung widersprechend abgelehnt und verspottet worden war, wurde 200 Jahre später als durch den Anschein bevorzugt bezeichnet.

Zugleich wurde die Astronomie mit dem weiteren Ausbau der Mechanik und der Infinitesimalrechnung im 18. Jahrhundert immer mehr zu dem großen Vorbild einer Naturwissenschaft, die alle Naturerscheinungen auf mechanische Vorgänge zurückzuführen versuchte.

Als der große französische Mathematiker und Astronom Pierre Simon Laplace (1749–1827) in seinem Werk „*Traité de Mécanique céleste*“ („Abhandlung über die Himmelsmechanik“) auch die letzten Unregelmäßigkeit der Planetenbewegungen aus den Gesetzen der Mechanik und dem Gravitationsgesetz abgeleitet zu haben glaubte und die Stabilität des Sonnensystems bewiesen hatte, schrieb er ein glänzendes, allgemeinverständliches Werk über das mechanische Welt-

system, in dem er die Astronomie als „ein großes Problem der Mechanik“ bezeichnete, in der „die Elemente der Bewegungen der Gestirne, ihre Gestalten und ihre Massen die unabhängigen, einzig unentbehrlichen Größen sind, die diese Wissenschaft aus den Beobachtungen entnehmen muß“ (P. S. Laplace: *Exposition du système du monde*. 4. Ed., tome seconde, Paris 1813, S. 2). In diesem Werk entwickelte Laplace zugleich seine Anschauungen über die Entstehung des Planetensystems, mit denen auch die Kosmogonie, das heißt die Lehre von der Geschichte des Weltalls, auf eine wissenschaftliche Grundlage gestellt wurde. Laplace wiederholte damit ganz ähnliche Überlegungen, wie sie Kant 1755 in seiner Schrift „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprung des ganzen Weltgebäudes nach Newtonschen Grundsätzen abgehandelt“ geäußert hatte (vgl. die Neuausgabe dieser Schrift: Berlin 1955).

Mit dieser Ausdehnung der Astronomie auf die Erforschung der Entwicklung des Weltalls beginnt ein neuer Abschnitt in der Geschichte der gesamten Naturwissenschaft, der sie weit über die Grenzen der mechanischen Naturwissenschaft hinausgeführt hat. Engels nennt deshalb diesen Ansatz geradezu den „Springpunkt alles ferneren Fortschritts“ (F. Engels: *Dialektik der Natur*. Berlin o. J., S. 14). Mit der sogenannten Kant-Laplaceschen Theorie der Entstehung des Planetensystems wurden auch die letzten Vorbehalte religiöser Art über eine göttliche Schöpfung der Welt überwunden und die Emanzipation der Astronomie von der Theologie vollendet.

Diese Forderung ist freilich von Newton noch nicht erhoben worden. Er versuchte diese „gefährlichen“ Folgen seiner tiefen Naturerkenntnis zu verbergen und machte seinen Frieden mit der Religion. Selbst Kant hielt die Natur noch für ein „sicheres Beweistum der Gottheit“. Der materialistische Kern aber setzte sich durch, und zu Beginn des 19. Jahrhunderts antwortete Laplace auf eine Frage Napoleons nach der Existenz Gottes im Weltbild der Astronomie, er brauche eine solche Hypothese nicht.

Laplace wies die Vorbehalte Newtons gegenüber der Annahme einer von Gott unabhängigen Natur zurück und schrieb zum Schluß seines Werkes über das Weltsystem: „Die Astronomie ist nach der Würde ihres Gegenstandes und der Vollendung ihrer Theorien das schönste Denkmal des menschlichen Geistes, der edelste Nachweis seines Verstandes. Von Sinnestäuschungen und Eigenliebe verführt, hat sich der Mensch lange Zeit als Mittelpunkt der Bewegungen der Gestirne betrachtet. Sein eitler Hochmut wurde durch die Ängste bestraft, die sie ihm einflößten. Schließlich haben wenige Jahrhunderte Arbeit den Schleier sinken lassen, der ihm das Weltsystem verbarg. Er sah sich dann auf einem fast nicht wahrnehmbaren Planeten im Sonnensystem, dessen riesige Ausdehnung selbst nur ein unscheinbarer Punkt in der Unermeßlichkeit des Raumes ist. Diese

erhabenen Ergebnisse, zu denen ihn diese Entdeckung geführt hat, sind wohl geeignet, ihn über den Rang zu trösten, den sie der Erde zuschreiben, da sie ihm seine eigene Größe in der außerordentlichen Kleinheit der Basis zeigt, die ihm dazu ausreicht, die Himmel zu messen.

Bewahren wir sorgfältig und vermehren wir den Schatz der hohen Kenntnisse, die Freuden der denkenden Wesen. Sie haben der Schifffahrt und Geographie wichtige Dienste geleistet; ihre größte Wohltat aber ist es, die Ängste zerstreut zu haben, die durch die Himmelserscheinungen hervorgerufen wurden, und die Irrtümer zerstört zu haben, die aus der Unkenntnis unserer wahren Beziehungen zur Natur entstanden sind – Irrtümer und Ängste, die sofort wieder auftauchen würden, wenn die Fackel der Wahrheit zum Erlöschen käme“ (P. S. Laplace, a. a. O., S. 456/57).

Aus diesen hochherzigen Worten sprechen die beste Tradition des philosophischen Materialismus, der tiefe Humanismus und der edle Stolz der Wissenschaft, wie er schon in dem unsterblichen Werk von Lukrez (etwa 98–45 v. u. Z.) „Über die Natur der Dinge“ zum Ausdruck gekommen war. Auch Lukrez hatte sein Werk geschrieben, um die Menschen von der Furcht vor Göttern und Geistern zu befreien. Sein Ruf wurde von Laplace wieder aufgenommen, als nach vielhundertjähriger Herrschaft der Theologie in Europa die Wissenschaft stark und mächtig genug geworden war, um sich von ihr zu befreien, und die befreite Wissenschaft als Rufer im Kampf um die allgemeine geistige Befreiung auftreten konnte.

Seitdem Laplace diese Sätze niederschrieb, ist das kopernikanische Weltsystem ständig erweitert und vertieft und ebenso ständig aufs neue bestätigt worden. Heute können wir die riesigen Entfernungen der Fixsterne messen, und heute wissen wir, daß sie aus den gleichen chemischen Stoffen bestehen wie unsere Erde. Wir kennen ihre Bewegungen und ihre Anordnungen in Milchstraßensystemen und Übersystemen, wir wissen einiges über ihren inneren Aufbau, ihr Entstehen und Vergehen.

In fruchtbarer Zusammenarbeit zwischen theoretischer und praktischer Astronomie wurden drei neue große Planeten (Uranus 1781, Neptun 1846, Pluto 1930) und zahlreiche kleine entdeckt, die sogenannten Planetoiden. Wir besitzen heute die „Himmelslandkarten“, von denen Kepler gesprochen hat, und kennen sogar die Rückseite des Mondes. Schon zeigen die ersten Flüge kosmischer Raketen, daß die Astronomie aus einer passiven zu einer aktiven Naturwissenschaft geworden ist und daß die Gesetze der Planetenbewegungen ebenso wie das Fallgesetz und die Wurfgesetze es uns ermöglichen, die Natur zu beherrschen und zu verändern.

Gleichzeitig beweist uns die moderne Naturwissenschaft, daß das auf Descartes und Newton zurückgehende Programm der klassischen Naturwissenschaft, alle

Naturerscheinungen rein mechanisch zu erklären, zu eng und einseitig gewesen ist. Die Erforschung der Sterne wie der Atome zeigt heute, daß wir im Begriff sind, neue, tiefere Erkenntnisse vom Bau des Universums und von der Struktur der Materie zu erringen, als es den Begründern der klassischen Naturwissenschaft möglich gewesen ist. Sie macht zugleich deutlich, daß die Errungenschaften der klassischen Naturwissenschaft zum gesicherten Bestand unseres Wissens von der Natur gehören.

Die Emanzipation der Naturwissenschaft von der Theologie, wie sie von Kopernikus eingeleitet worden ist, erwies sich als ein gewaltiger Schritt vorwärts in der Entwicklung der Wissenschaft und damit der menschlichen Gesellschaft. Sie gab dieser, um mit Marx zu sprechen, die Möglichkeit, „die Wahrheit des Diesseits zu etablieren“, nachdem das Jenseits der Wahrheit verschwunden war, und endete damit immer wieder mit der Forderung, einen Zustand aufzugeben, der der Illusion bedarf.

PERSONENREGISTER

- Albattani 27
Apollonius 30
Archimedes 30, 99
Aristarch von Samos 46
Aristoteles 30, 33, 50, 54, 90, 123

Bacon, Francis 108, 110 ff.
Barberini, Maffeo (Papst Urban VIII.)
100, 102
Barrow, Isaac 146
Bellarmine, Robert 100, 102
Bentley, Richard 147
Bernegger, Matthias 109
Bessarion, Johannes 26, 27, 32, 57
Blau, Wilhelm Jansson 110
Boethius 99
Borelli, Giovanni Alfonso 138
Boscovich, R. G. 148
Boulliau (Bullialdus), Ismael 123, 138
Boyle, Robert 120
Brahe, Tycho 19, 59 ff., 76, 80 ff., 88 ff.,
108 f., 112, 120, 125, 134
Bruno, Giordano 9, 33, 70 ff., 87, 93,
108 f., 133

Caccini, Tommaso 98
Cassegrain 130
Cassini, Giovanni Domenico 128
Castelli, Benedetto 98

Clavius, Christopher 58
Colbert, Jean-Baptiste 112
Cremona, Gerhard von 12
Cues, Nicolas von 32 ff., 46, 72, 123

Dante 12
Demokrit 118
Descartes, René 108, 113 ff., 119, 121,
123, 134, 136, 145, 150
Digges, Thomas 73
Dijksterhuis, E. J. 47, 53
Dingle, Herbert 47
Dollond, John 131

Einstein, Albert 145
Emmius, Ubbo 56
Engels, Friedrich 14, 99, 114, 149
Epikur 118
Euklid 30, 90
Euler, Leonhard 131

Fabricius, Johann 96
Fermat, Pierre 112
Flamsteed, John 131 f.
Fontenelle, Bernard Le Bovier de 116,
133 ff.
Foscarini, Antonio 99, 109, 123

Galen 99

- Galilei, Galileo 9, 12, 41, 56, 76, 80, 89 ff.,
108 f., 112 f., 118 f., 123 f., 126, 131,
133, 144
- Gassendi, Pierre 108, 112, 118 f., 123, 131
- Gerson, Levi ben 19, 24
- Giese, Tidemann 43, 52
- Gilbert, William 123, 137
- Goethe, Johann Wolfgang von 5, 133
- Grimaldi, Francesco Maria 125 f.
- Guericke, Otto von 119 ff.
- Hadley, John 130
- Halley, Edmund 29, 108, 111, 140, 142
- Harvey, William 114
- Herigonius, Peter 123
- Heron 30
- Hevel (Hevelius), Johann 127 f.
- Hipparch 19
- Hooke, Robert 108, 111, 121, 139 ff.
- Horaz 23
- Humboldt, Alexander von 10
- Huygens, Christian 110, 128, 134 f., 144
- Kant, Immanuel 114, 149
- Kepler, Johannes 9, 12, 52 f., 56, 58, 67 f.,
70, 76 ff., 89 ff., 93 f., 98 ff., 104, 107 f.,
108, 110, 112, 114, 123, 126 f., 133,
136 ff., 150
- Kepler, Ludwig 88
- Kircher, Athanasius 134
- Kolumbus, Christoph 30
- Kopernikus, Nikolaus 9, 12, 30, 33 ff.,
42 ff., 56 f., 59, 67 ff., 80 ff., 91 f., 99,
101, 109, 112, 120, 123, 142, 148, 150
- Koyré, Alexandre 121
- Lactantius (Laktanz) 44, 85
- Lansberg, Jacob 112, 123
- Laplace, Pierre Simon 148 ff.
- Lauterbach, Mathias 51
- Leibniz, Gottfried Wilhelm 147
- Lilio, Luigi 57
- Limnaeus, Georg 80
- Lingelsheim, Georg Michael 109
- Lucretius (Lukrez) 30, 118, 150
- Lullus, Raimundus 72
- Luther, Martin 48 f.
- Maestlin, Michael 57 f., 77, 79, 112, 123
- Manilius, Marcus 30
- Mason, Stephan F. 47
- Mayer, Tobias 131
- Melanchthon, Philipp 38, 43, 49 f.
- Menclaos 30
- Mersenne, Marin 112
- Mocenigo, Zuane 71
- More, Henry 121 f.
- Newton, Isaac 9, 70, 83, 108, 111, 121 f.,
129 ff., 132, 136, 140 ff., 145 ff., 149 f.
- Novara, Dominico Maria di 36
- Osiander, Andreas 43, 51 ff., 80, 97
- Pascal, Blaise 112
- Petereus, Johann 43, 51 f.
- Peucer, Kaspar 50
- Peuerbach, Georg 23 ff., 30, 32 f., 35 ff.,
57, 81, 112
- Picard, Jean 129, 131
- Platon 33, 43, 45
- Practorius, Johann 80
- Ptolemäus, Claudius 11, 14, 18 ff., 23 ff.,
30, 39, 42, 45, 47, 82, 90, 99, 121
- Ramé, Pierre de la 51 f., 62
- Regiomontan, Johannes 23, 25 ff., 38 f.,
57, 112
- Reinhold, Erasmus 56
- Rhetikus, Georg Joachim 38 ff., 50 ff., 54,
56, 112, 123
- Ricci, Ostilio 90
- Riccioli, Giovanni Battista 123
- Römer, Olaf 97, 129
- Rothmann, Christopher 66, 112, 123
- Scheiner, Christoph 94, 96
- Schickard, Wilhelm 109, 112

Schreiber, Hieronymus 52
Schönberg, Nikolaus 43, 49
Schöner, Johannes 38 f.
Stevin, Simon 41, 54, 56, 88, 110
Stöffler, Johann 16
Stunica, Didacus 99, 123

Torricelli, Evangelista 109, 112

Vespucci, Amerigo 30

Viviani, Vincenzo 109
Voltaire 59, 140

Wackhenfels, Johannes Matthäus Wackher
von 93
Walther, Bernhard 29 f., 38
Watzenrode, Lukas 35
Widmannstetter, Johann Albrecht von 49
Wilkins, John 132, 134
Witelo 30

Alfonsinische Tafeln 13, 27, 33, 57, 60
 Almagest 12, 26, 45
 Äquator 18, 41, 57
 Äquatorialarmille 64
 Äquinoktien 41, 67
 —, Präzession der 12, 39, 87, 144
 —, Trepidation der 67, 69
 Armillar 19, 21
 Armillarsphäre 19, 21, 63
 Astrolab 19 ff., 29
 Astrologie 11 ff., 16, 21, 26, 31, 33, 87
 Astronomie, praktische 14 f., 17, 88, 126
 —, theoretische 14 f., 25

Computus 16

Dreistab 17 f., 29, 63, 67 f.
 Durchgangsinstrument 129

Ekliptik 19, 41
 Epizyklen 25, 42, 84, 87
 Erde 12, 41, 45 f., 97, 132, 134
 Exzenter 25, 42, 84
 Exzentrizitäten 13

Fernrohr 126 ff.
 —, keplersches 88, 94, 127
 —, galileisches 91, 127
 —, Luftfernrohr 128

Fixsterne 12, 38, 68, 87, 93 f., 121, 134
 Fixsternhimmel 61, 87, 96
 Fixsternsphäre 14, 33, 38, 40, 67, 73, 125

geozentrisches System 14
 (siehe auch ptolemäisches Weltsystem
 und ptolemäische Astronomie)
 Gravitation 136, 139 ff., 144 f.
 Gravitationsgesetz 83, 137, 144 f., 148

heliocentrisches System 37 ff.
 (siehe auch kopernikanisches Welt-
 system)
 Horoskop 12, 15 f., 26, 27, 90

Inquisition 14, 71, 102

Jakobsstab 19, 24, 29, 63
 Jupiter 12, 40, 92, 94, 97, 128, 144
 Jupitermonde 93 f., 97, 130

Kalender 11, 16 f., 26, 30 ff., 39, 57 ff., 85
 Kalender, Gregorianischer 57 ff., 145
 Kalender, Julianischer 21, 32, 57, 145
 Kalenderrechnung 11, 15 f.
 Kalenderreform 25, 32 ff., 57 ff., 145
 Kalenderwesen 21, 23
 Kant-Laplacesche Theorie 149
 Keplersche Gesetze 82 ff., 112, 137 f., 140,
 144

- Kometen 29, 67, 105, 125, 144
 kopernikanisches Weltsystem 98 ff.
 (siehe auch heliozentrisches System)
- leerer Raum 118 ff.
 (siehe auch Vakuum)
- Mars 12, 42, 82, 84, 125, 128
 Materialismus 114, 147, 150
 Materie 113 ff., 118 ff., 134, 141, 144 f.
 Mauerquadrant 64
 Mechanik des Himmels 85
 Meridian 18, 129
 Merkur 12, 40, 112, 125
 Metaphysik 114
 Milchstraße 92 f.
 Milchstraßensystem 150
 Mond 12 f., 40 ff., 45, 67 f., 88, 93 f., 126.
 132, 138, 140 f., 150
 Mondfinsternis 16, 30, 36, 132
 Mondkarte 126, 128
 Mondoberfläche 88, 93
- Parallaxe 68
- Planeten 13, 16 f., 21, 25, 30, 33, 38, 40,
 45, 68, 83, 87, 92, 104, 116, 121, 125,
 132 ff., 137, 138 f., 140, 143, 144, 150
 Planetenbahnen 78, 87, 140
 Planetenbewegung 87, 90, 139 ff., 148,
 150
 Planetenörter 27, 67, 144
 Planetensystem 73, 87, 96, 121, 144, 149
 Platonisten 119
 Primum mobile 12
 Pruthenische Tafeln 56 f., 60
 ptolemäische Astronomie 12 ff., 36 f., 87
 (siehe auch geozentrisches System)
 ptolemäisches Weltsystem 37, 101 ff., 125
 (siehe auch geozentrisches System)
- Quadrant 18 f., 63
- Rationalismus 114
 Reformation 109
 Rektaszension 64
 Royal Society 111, 121, 128, 130, 132,
 139, 141, 144, 146
 Rudolphinische Tafeln 87, 89, 100
- Saturn 12, 40, 125, 128
 —, Ringsystem des 97, 128
 Schiffahrt 17, 21
 Sextant 63
 Sonne 12 f., 24, 38, 45 f., 68, 86 f., 112,
 134, 138
 Sonnenfinsternis 16, 30, 60
 Sonnenflecke 96
 Sonnenuhr 25, 31 ff.
 Spiegelteleskop 130, 146
 Sternwarte 131 f.
 Stjerneborg 63
 Struktur der Materie 115, 118 ff., 136,
 144, 151
- Trägheitsgesetz 115
 Trigonometrie 24 ff., 26 ff., 56
 Trigonometrie, sphärische 16, 24 ff., 45,
 87
- Uraniborg 61, 63 f., 67, 69
- Vacuisten 119
 Vakuum 119 ff.
 (siehe auch leerer Raum)
 Venus 12, 40, 125
 —, Phasen der 96, 130
- Wirbel 115 f., 137
 Wirbelbewegung 115
 Wirbellehre 115, 118, 134

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	7
Einleitung	9
Die Astronomie im Mittelalter	11
Das naturwissenschaftliche Weltbild	11
Die praktische Astronomie	14
Die Wegbereiter der neuen Astronomie	23
Georg Peurbach	23
Johannes Regiomontan	25
Nicolas von Cues	32
Nikolaus Kopernikus	35
Neue Thesen über die Bewegung der Gestirne	35
Georg Joachim Rheticus	38
Die Bücher „Über die Umläufe“	43
Die ersten Kämpfe und Erfolge	49
Gegner im Lager der Reformation	49
Erste Anhänger und Fortschritte	54
Die gregorianische Kalenderreform	57
Neue Systeme des Universums	60
Tycho Brahes Erneuerung der Astronomie	60
Giordano Brunos unendliche Welt	70
Johannes Kepler	76
Das Jugenderwerk	76

Die Physik des Himmels	81
Die Auswertung der Ergebnisse	87
Galileo Galilei	90
Die astronomischen Entdeckungen	90
Der Streit um die beiden Weltsysteme	97
Die neue Dynamik	103
Die Anfänge der mechanischen Naturauffassung	107
Die Experimentalwissenschaft	107
René Descartes	113
Die Struktur der Materie und der leere Raum	118
Fortschritte der Astronomie	123
Die Astronomie in der Mitte des 17. Jahrhunderts	123
Fernrohre und Sternwarten	126
Die Mehrzahl der Welten	132
Das mechanische Weltsystem	136
Die Gravitation	136
Die Grundlagen der Mechanik	141
Isaac Newton	145
Fortgang und Ausblick	148
Personenregister	152
Sachregister	155
Bildnachweis	159

Zur Veröffentlichung der Abbildungen erteilen uns freundlicherweise die Genehmigung:

Staatlicher Mathematisch-Physikalischer Salon Dresden — Zwinger (Astrolab des Johann Prätorius);

Universitätsbibliothek der Karl-Marx-Universität Leipzig
(Nikolaus Kopernikus);

Bibliothèque Nationale, Paris (Pierre Gassendi, Photo J. Colomb-Gérard);

Museo di Storia della Scienza, Florenz (Fernrohre Galileis);

Royal Greenwich Observatory, Hailsham, Sussex

(Die Sternwarte von Greenwich im 17. Jahrhundert und Beobachtungsraum der Sternwarte von Greenwich.)

2., überarbeitete Auflage, 3,6.—7. Tausend · Alle Rechte vorbehalten

Copyright 1965 by Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin

Verlag für populärwissenschaftliche Literatur · VLN 212—475/34/65 ES 18 D 1

Schutzumschlag, Einband und Zeichnungen: Rolf Müller, Gera

Gesamtherstellung: H (1) VEB Druckerei der Werktätigen, Halle (Saale)

Printed in the German Democratic Republic