

Johannes Kepler zum 400. Geburtstag *Friedrich Seck*

Was bedeutet uns KEPLER? Ist er für den modernen Menschen nichts mehr als der Urheber der drei nach ihm benannten Gesetze, die jeder höhere Schüler einmal im Physikunterricht kennengelernt hat, und des KEPLERSchen Fernrohrs? Hätte KEPLER nicht gelebt, wäre er nicht durch das einzigartige württembergische Bildungswesen weit über sein Elternhaus hinausgewachsen, könnte man schnöde argumentieren, so hätten spätestens nach einigen Jahrzehnten andere die gleichen Entdeckungen gemacht. Was also bedeutet uns KEPLER?

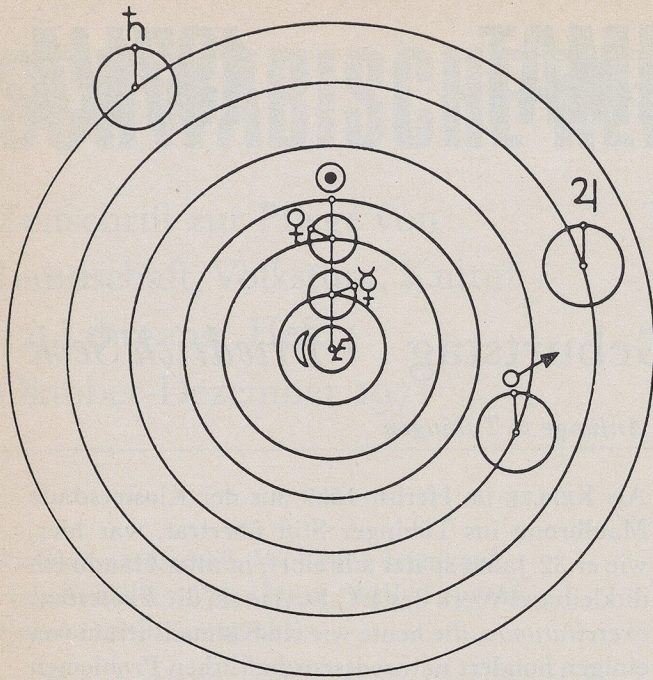
In der Tat: wenn es nur auf die Rezeption von Ergebnissen ankäme, so könnte uns KEPLERS Person gleichgültig sein, sein Name vielleicht eine bequeme Gedächtnishilfe für drei physikalische Formeln. Wenn aber Bildung mehr sein soll als bloße Faktenkenntnis, nämlich das Bewußtsein von der doppelten Bedingtheit des Menschen durch Natur und Geschichte, so kann die Geschichte der Naturwissenschaften Wesentliches dazu beitragen. Gerade die Naturwissenschaften verführen ja bei oberflächlicher Betrachtung durch die vermeintliche Gewißheit ihrer Ergebnisse leicht zu unkritischer Rezeption, was ihrem richtig verstandenen Ansehen nur abträglich sein kann. Eine gesunde Skepsis wird dann erreicht, wenn man an Beispielen die Entstehung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse studiert hat. (Auch im naturwissenschaftlichen Schulunterricht sollte deshalb die Geschichte der Naturwissenschaften stärker berücksichtigt werden!)

Aus mehreren Gründen lohnt gerade KEPLER ein tieferes Eindringen in sein Werk: hauptsächlich seiner herausragenden Bedeutung wegen, dann wegen der Eigenart seiner Darstellung, die den Leser in einigen Werken an der Entstehung der Erkenntnisse beteiligt, schließlich wegen der einzigartigen Persönlichkeit KEPLERS, die gerade in seiner württembergischen Heimat mit Recht von vielen verehrt wird. Wir beabsichtigen hier aber keine Charakterstudie, sondern im Sinn der eingangs genannten Gesichtspunkte eine Skizze der Genesis einiger wichtiger Entdeckungen KEPLERS in ihrem Zusammenhang.

Anfänge in Tübingen

Als KEPLER im Herbst 1589 aus der Klosterschule Maulbronn ins Tübinger Stift übertrat, war hier, wie er 32 Jahre später schreibt¹, in aller Hände ein dickleibiges Werk des J. C. SCALIGER, die *Exotericæ exercitationes*, die heute wie ein Sammelurium von einigen hundert naturwissenschaftlichen Problemen anmuten. KEPLER führt einige Themen an: Himmel, Seele, Geister, Elemente, Natur des Feuers, Ursprung der Quellen, Ebbe und Flut, die Gestalt der Kontinente usw. Daß es bei KEPLER das Interesse für naturwissenschaftliche Fragen angeregt hat, ist wohl das größte Verdienst dieses Buches. Denn der junge KEPLER war nach seinem Bildungsgang durch Klosterschule und Stift selbstverständlich zum Theologen bestimmt. Dem Fachstudium in den drei höheren Fakultäten Theologie, Jurisprudenz und Medizin ging allerdings regelmäßig ein allgemeinbildendes Studium in der philosophischen Fakultät (damals nach den freien Künsten, *artes liberales*, meist Artistenfakultät genannt) voraus, in dem die Studenten außer philosophischen und philologischen Fächern auch Mathematik trieben. KEPLER selbst sagt von sich, daß er die Mathematik mehr als alle anderen Wissenschaften geliebt habe (*Mathemata prae ceteris studiis amavit*)².

Zur Mathematik gehörte nach damaliger Anschauung die Astronomie, und der Tübinger Mathematiker, MICHAEL MÄSTLIN, war ein nicht genialer, aber doch sehr tüchtiger Astronom, dem KEPLER seine erste Bekanntschaft mit KOPERNIKUS verdankte. Dessen neue Theorie des Sonnensystems war zwar mittlerweile seit 50 Jahren bekannt³, doch kann keine Rede davon sein, daß sie sich schon durchgesetzt hätte. Zu viele Gründe schienen gegen die Bewegung der Erde zu sprechen: physikalische (die Erde müsse sich unter einem senkrecht hochgeworfenen Stein wegbewegen, dieser müsse also an einer anderen Stelle herunterfallen), astronomische (der Fixsternhimmel müsse von gegenüberliegenden Punkten der Erdbahn aus, also etwa zu Frühjahrs- und Herbstanfang, verschieden erscheinen, wenn er



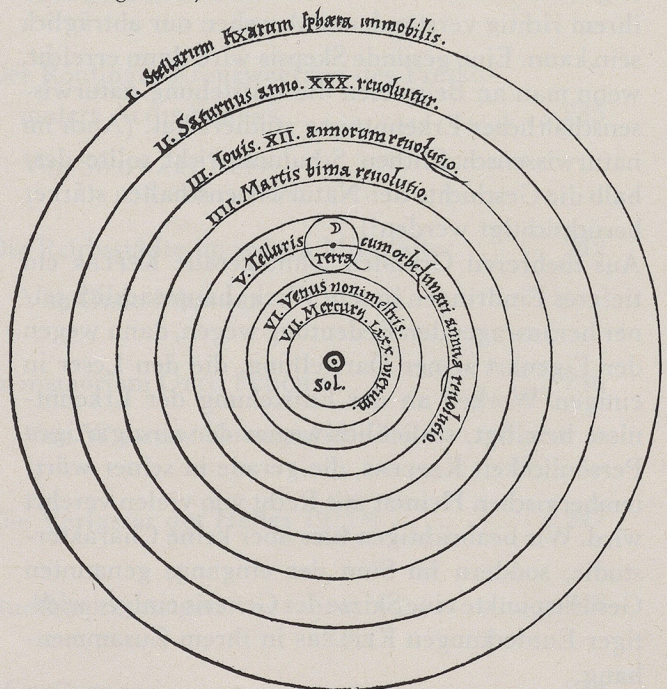
Das Weltsystem des PTOLEMÄUS (schematisch). In der Mitte die Erde E, um sie laufen Mond ☾ und Sonne ☉ auf einfachen Kreisen. Die übrigen Planeten Merkur ☿, Venus ♀, Mars ♂, Jupiter ♃ und Saturn ♄ kreisen auf Epizykeln, die sich ihrerseits auf Kreisen (Deferenten) um die Erde bewegen. (Aus E. J. DIJKSTERHUIS: Die Mechanisierung des Weltbildes, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1956.)

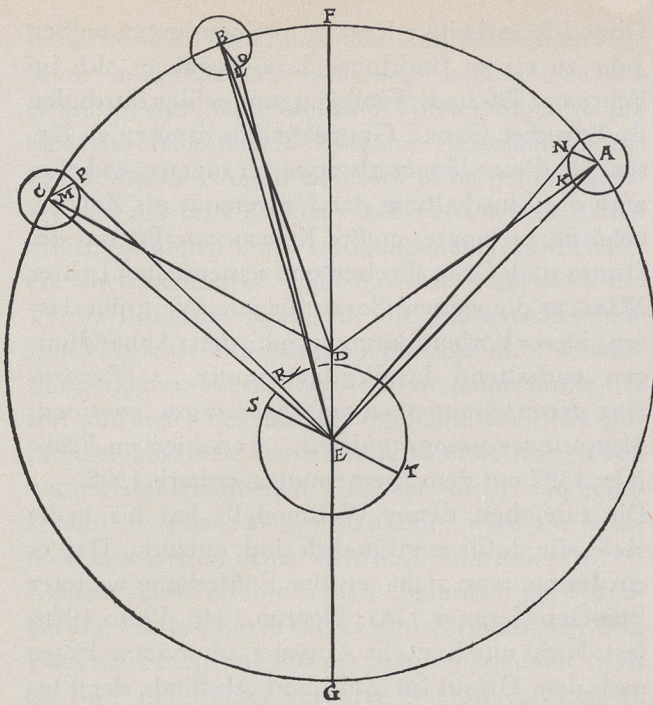
nicht unendlich weit entfernt sei) und schließlich theologische (Gott habe nach Josua 10, 12f. die Sonne, nicht die Erde, stillstehen lassen, um Josua die Vernichtung der Amoriter zu ermöglichen). Im Universitätsunterricht behauptete das alte geozentrische System des PTOLEMÄUS, das der Anschauung nicht die Abstraktion von der täglichen Erfahrung der ruhenden Erde zumutete, unangefochten das Feld. Auch das Weltsystem TYCHO BRAHES, das Sonne und Mond um die Erde, alle anderen Planeten um die Sonne kreisen läßt und damit einen Kompromiß zwischen dem ptolemäischen und dem kopernikanischen System darstellt, hatte viele Anhänger gewonnen. So war es schon etwas Besonderes, wenn KEPLERS Lehrer MÄSTLIN um 1590 Anhänger des KOPERNIKUS war. Das hinderte ihn allerdings nicht daran, das ptolemäische System sowohl seinen Vorlesungen als auch seinem in vielen Auflagen verbreiteten Lehrbuch der Astronomie (*Epitome Astronomiae*) zugrunde zu legen. Eine Zeit, die wie die unsere eine unbeschränkte akademische Lehrfreiheit postuliert, kommt leicht in Versuchung, sich diesen Gegensatz mit der Kategorie «Unterdrückung» zu erklären. MÄSTLIN, heißt es dann etwa, habe es nicht wagen können, in dem durch verwandtschaftliche Bande zusammengeschweißten Professo-

renkollegium, in dem die Theologie den Taktstock führte, aus der Reihe zu tanzen⁴. Er habe deshalb – eine Behauptung, die ein Biograph vom anderen übernimmt⁵ – nur ausgewählte Schüler, darunter natürlich KEPLER, heimlich in das kopernikanische System einführen können. Um die Vorgänge richtig zu würdigen, muß man aber bedenken, daß damals alle Fächer nach anerkannten antiken Autoren gelesen wurden. So lasen MÄSTLINS Kollegen PLANER, LIEBLER, HEILAND Logik, Physik (d. i. Naturphilosophie) und Ethik nach ARISTOTELES und gaben ihren Lehrbüchern die Form von ARISTOTELESKOMMENTAREN⁶. Was ARISTOTELES für die Philosophie, GALEN für die Medizin, das war PTOLEMÄUS für die Astronomie.

MÄSTLIN folgte also nur einer Tradition, wenn er Astronomie nach PTOLEMÄUS las; nichts hinderte ihn, dabei auch KOPERNIKUS zu seinem Recht kommen zu lassen, wie KEPLER in der Vorrede zum *Mysterium cosmographicum* (1596) bezeugt: «Als ich vor 6 Jahren in Tübingen bei dem berühmten Magister MICHAEL MÄSTLIN studierte, begeisterte ich mich, durch die vielfache Unbequemlichkeit der üblichen Meinung über die Welt bewegt, dermaßen für KOPERNIKUS, den Mästlin in seinen Vorlesungen häufig erwähnte, daß ich nicht nur oft seine Ansichten in den naturwissenschaftlichen Disputationen der Kandidaten verteidigte, sondern auch eine sorgfältige Abhandlung verfaßte darüber, daß die erste

Das Weltsystem des KOPERNIKUS (schematisch). Die Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn bewegen sich in Kreisen um die Sonne. (Aus KOPERNIKUS: *De revolutionibus orbium coelestium*, Nürnberg 1543.)





Genauere Darstellung der Bewegung eines Planeten nach KOPERNIKUS am Beispiel des Saturn. Der große Kreis ABC um D (der Deferent) trägt den kleineren, hier in drei verschiedenen Lagen gezeichneten Epizykel, auf dem der Planet läuft. Auf den eingezeichneten Kreisen befindet er sich in N, O bzw. P. – Der Kreis RST um E ist die Erdbahn. (Aus KOPERNIKUS: *De revolutionibus orbium coelestium*, Nürnberg 1543.)

Bewegung von der Erdrotation herrühre. Ich ging schon so weit, der Erde auch die Bewegung der Sonne aus physikalischen oder, wenn man will, metaphysischen Gründen zuzuschreiben, wie es KOPERNIKUS aus mathematischen getan hatte. Zu dem Zweck trug ich teils aus MÄSTLINS Reden, teils aus Eigenem die Vorzüge zusammen, die KOPERNIKUS bei mathematischer Betrachtung dem PTOLEMÄUS voraus hat⁷.»

Angesichts der mannigfachen und damals schwer zu entkräftenden Bedenken, die man gegen KOPERNIKUS geltend machte, ist es sehr bemerkenswert, daß schon der junge Student KEPLER sich für das neue Weltsystem begeisterte, das ja, genau betrachtet, nicht weniger kompliziert war als das ptolemäische. Einen Vorzug hatte es allerdings schon vom mathematischen Standpunkt aus: es führte die Rückläufigkeit und die Schleifen (technisch gesprochen, die zweite Ungleichheit) der fünf echten Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn auf die Bewegung der einen Erde um die Sonne zurück. Aber dieser Vorzug wog gering in den Augen der meisten Astronomen. Ihnen galt durch die lange Herrschaft des ptolemäischen Systems als einzige Aufgabe der Astronomie die rechnerische Bestimmung der Planetenbahnen, wobei die Realität der benutzten

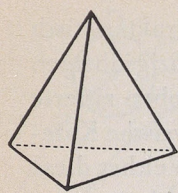
Theorie wenig interessierte. Es ist charakteristisch für die geistige Selbständigkeit des zwanzigjährigen KEPLER, daß er schon damals, wie die oben zitierte Stelle zeigt, physikalische oder metaphysische Kategorien in die Astronomie hineinträgt. Welches diese Grundsätze im einzelnen waren, läßt sich nur vermuten; wahrscheinlich gehört dazu das Prinzip der Einfachheit, das KEPLER im *Mysterium* einige Seiten weiter unter den physikalischen Gründen anführt, die für KOPERNIKUS sprechen: «Die Natur liebt die Einfachheit, sie liebt die Einheit»⁸, vielleicht sogar schon hier die Betrachtung, daß der Sonne als «Herz der Welt, König, Herrscher der Sterne, sichtbarem Gott»⁹ der Platz in der Mitte der Welt gebühre, daß sie Quelle nicht nur des Lichts, sondern auch der Bewegung der Planeten sei.

In Tübingen gediehen diese astronomischen Spekulationen, die KEPLER auch nach seiner Magisterpromotion (11. August 1591) neben dem Theologiestudium fortsetzte, nur bis zu akademischen Disputationen und unveröffentlichten Manuskripten. Von allem dem ist uns nichts erhalten, manches wird, uns nicht erkennbar, in seine Schriften eingegangen sein. Sicher wissen wir das von der Mondastronomie, in der KEPLER die Himmelsphänomene einmal vom Standpunkt des Mondbewohners darstellt, um ihre Bedingtheit durch den Standort des Beobachters zu zeigen und so für KOPERNIKUS zu werben. Ihre Urform lag schon 1593 vor, später hat KEPLER sie immer wieder umgearbeitet, bis er in seinem Todesjahr 1630 mit ihrem Druck begann. Sie erschien 1634 unter dem Titel «Ein Traum oder nachgelassenes Werk über die Mondastronomie» (*Somnium seu opus posthumum de astronomia lunari*).

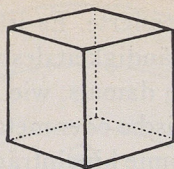
Das Weltgeheimnis

Nach seinem Wechsel nach Graz, wo er Mathematiklehrer an der evangelischen Landschaftsschule geworden war, warf sich KEPLER mit neuer Energie auf astronomische Spekulationen. Ihren Niederschlag finden sie im *Mysterium cosmographicum* (Weltgeheimnis), seinem ersten astronomischen Hauptwerk. «Drei Dinge waren es vor allem», schreibt er dort, «deren Ursachen ich hartnäckig suchte, warum sie so und nicht anders sind: *Zahl, Größe und Bewegung* der (Planeten-)Sphären¹⁰.» Mit anderen Worten: KEPLER fragt

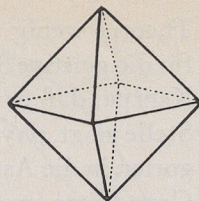
1. warum gibt es gerade sechs Planeten, nicht mehr, nicht weniger?
2. Warum haben sie gerade diese (aufgrund des kopernikanischen Systems berechenbaren) Abstände von der Sonne und keine anderen?
3. Warum haben sie gerade diese und keine anderen Umlaufgeschwindigkeiten?



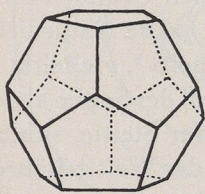
Tetraeder



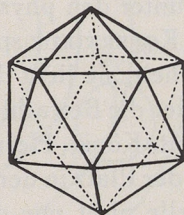
Hexaeder (Würfel)



Oktaeder



Dodekaeder



Ikosaeder

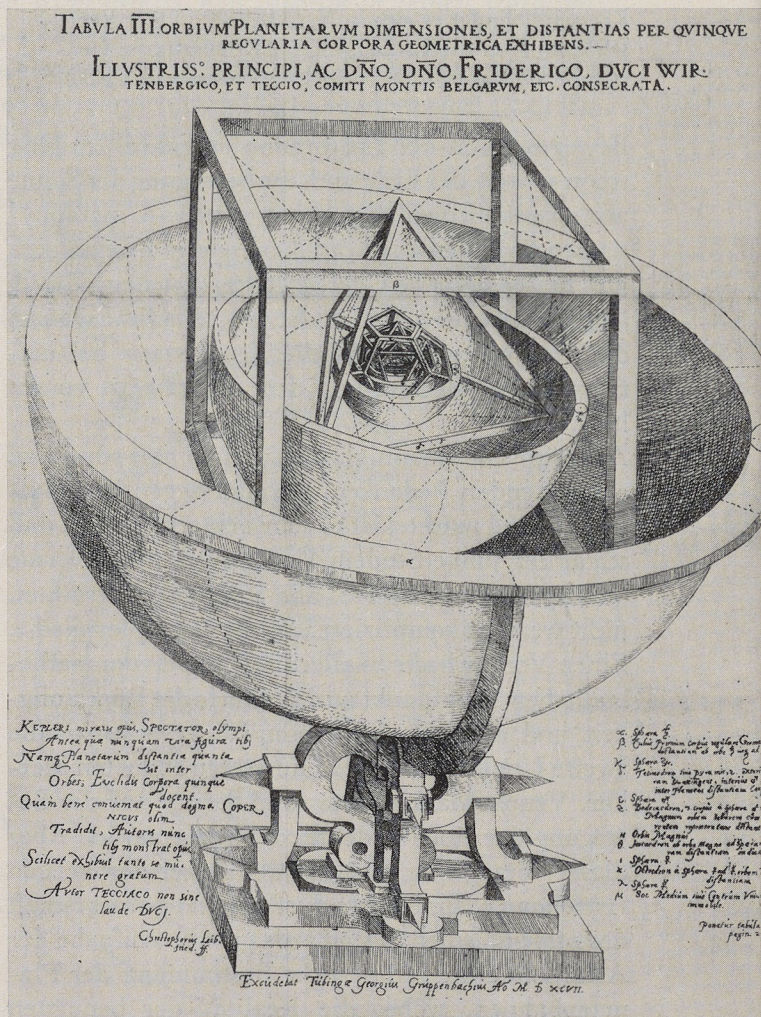
Die 5 regelmäßigen Körper (regulären Polyeder). (Aus Lexikon der alten Welt, Zürich und Stuttgart 1965.)

Die beiden ersten Fragen löst er, nachdem verschiedene Versuche, über die er berichtet, fehlgeschlagen waren, durch eine elegante geometrische Konstruktion mit Hilfe der fünf regelmäßigen Körper Würfel, Tetraeder (Vierflächner), Dodekaeder (Zwölfflächner), Ikosaeder (Zwanzigflächner) und Oktaeder (Achtflächner)¹¹.

Der Grundgedanke der Konstruktion ist einfach. Das kopernikanische System kannte die sechs Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn. Alle bewegen sich, schematisch gesprochen, auf konzentrischen Kreisen um die Sonne. Denkt man sich die sechs Kreise zu sechs konzentrischen Kugeln (Sphären) ergänzt, so hat man ein vereinfachtes Bild des kopernikanischen Systems. KEPLERS Idee ist es nun, zwischen die sechs Kugeln die fünf regulären Körper so einzuschieben, daß jeder die beiden benachbarten Sphären berührt. In KEPLERS Worten: «Die Erde [genauer: die Erdbahn] ist der Kreis, der alle mißt. Ihr umschreibe ein Dodekaeder: der es umfassende Kreis wird Mars sein. Dem Mars umschreibe ein Tetraeder: der es umfassende Kreis wird Jupiter sein. Dem Jupiter umschreibe einen Würfel: der ihn umfassende Kreis wird Saturn sein. Nun beschreibe der Erde ein Ikosaeder ein: der ihm einbeschriebene Kreis wird Venus sein. Der Venus beschreibe ein Oktaeder ein: der ihm einbeschriebene Kreis wird Merkur sein¹².» Da die Bahnen nicht exakt kreisförmig sind und auch der Mond noch in der Erdsphäre Platz finden muß, werden noch einige Modifikationen nötig. Damit gewinnt KEPLER aber ein ziemlich genaues Abbild des Planetensystems. Für noch verbleibende Abweichungen von den Beobachtungen entschuldigt er sich mit deren Ungenauigkeit.

Diese Idee arbeitete KEPLER in einem guten halben Jahr zu einem Buch aus; dann begab er sich im Februar 1596 nach Tübingen, um es hier durch den Buchdrucker GEORG GRUPPENBACH drucken zu lassen. Da dieser länger als erwartet zögerte, wobei er auch die Einschaltung der Universität als Zensurbehörde verlangte, mußte KEPLER vor Beginn des Drucks nach Graz abreisen und seinem alten Lehrer MÄSTLIN die weitere Sorge für sein Werk überlassen. Der «Vorbote kosmographischer Abhandlungen, enthaltend das Weltgeheimnis...» (*Prodromus dissertationum cosmographicarum, continens Mysterium cosmographicum...*) erschien im Frühjahr 1597 mit dem Erscheinungsvermerk 1596. Die Schönheit dieses Weltmodells hat bis heute viele, die dafür empfänglich sind, entzückt. Daß es ein Irrtum war, steht seit der Entdeckung weiterer Planeten (Uranus 1781, Neptun 1846, Pluto 1930) fest. Nicht nur KEPLERS Antwort, schon seine Frage nach dem Grund für Zahl und Abstände der Planeten hat in der klassischen und modernen Natur-

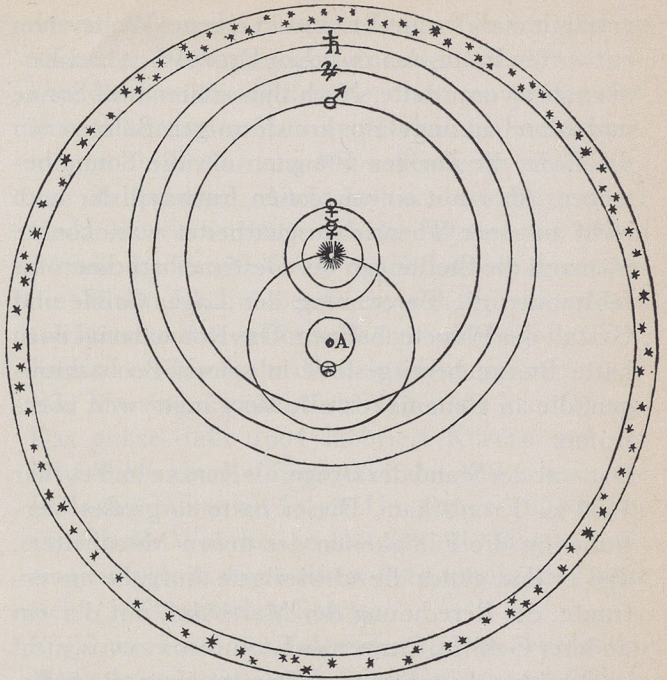
KEPLERS Weltmodell aus seinem «Mysterium cosmographicum», Tübingen 1596.



wissenschaft keinen Platz. Und doch sollte man sich, bevor man KEPLERS Gedanken belächelt, daran erinnern, daß heute ähnliche Vorstellungen in die moderne Atomphysik Eingang gefunden haben: das BOHRsche Atommodell läßt ja bei jeder Atomart auch nur feste Zahlen von Elektronen zu, denen diskrete Bahnen zur Verfügung stehen, nicht aber die Zwischenräume. Man hat mit Recht auch die TITIUS-BODEsche Regel für die Planetenabstände zum Vergleich herangezogen, die auch nicht wesentlich genauere Werte für die Planetenabstände liefert und jeder Begründung entbehrt; weil ihre einfache algebraische Form unseren Vorstellungen von naturwissenschaftlichen Gesetzen mehr entgegenkommt als KEPLERS Konstruktion, wird sie heute noch in astronomischen Lehrbüchern tradiert¹³.

KEPLER selbst erlebte seinen Gedanken als Offenbarung Gottes, durch die es ihm vergönnt sei, dem Plan der Schöpfung auf die Spur zu kommen. Statt im Buch der Bücher verehrte er Gott von nun an – eine von ihm und anderen oft gebrauchte Metapher – im Buch der Natur; er vertauschte den Beruf des Theologen mit dem des Astronomen. An dem Fünfkörpermodell des Planetensystems hat er sein Leben lang festgehalten, hat sich bemüht, es nach den genaueren Beobachtungen TYCHO BRAHES, nachdem sie ihm zur Verfügung standen, zu modifizieren und durch seine harmonischen Spekulationen zu vertiefen. 25 Jahre später bekennt er in der zweiten Auflage des Werks (Frankfurt 1621): «Fast alles, was ich seit jener Zeit an astronomischen Büchern veröffentlicht habe, konnte sich auf eines der in diesem Buch vorgelegten Hauptstücke beziehen, dessen Erklärung oder Vervollkommen es enthielt¹⁴.»

In der Tat finden sich Gedanken, die für die spätere Erneuerung der Astronomie durch KEPLER wichtig wurden, schon in diesem Erstlingswerk. KOPERNIKUS hatte, hierin getreuer Ptolemäer, die Sonne etwas außerhalb des Weltmittelpunktes stehen und die Planeten sich um einen leeren Punkt drehen lassen – KEPLER denkt physikalisch und metaphysisch und bezieht deshalb alle Bewegungen auf die Sonne. Im 20. Kapitel ist er bereits der Beziehung zwischen Bahnhalbmesser und Umlaufzeit der Planeten auf der Spur, die er erst 1618 in seinem dritten Gesetz finden sollte, und erklärt die mit zunehmendem Abstand von der Sonne abnehmenden Umlaufgeschwindigkeiten richtig mit einer von der Sonne ausgehenden Zentralkraft, die mit zunehmender Entfernung schwächer wird. Den gleichen Grund gibt er im 22. Kapitel für die in Sonnennähe und -ferne wechselnden Geschwindigkeiten des einzelnen Planeten an. Diese Erwägungen führen später zu seinem zweiten Gesetz, dem Flächensatz.



TYCHO BRAHES Weltsystem (schematisch). In der Mitte die ruhende Erde A. Um sie kreisen Sonne und Mond. Die übrigen 5 Planeten Merkur ☿, Venus ♀, Mars ♂, Jupiter ♃ und Saturn ♄ kreisen um die Sonne und mit ihr mittelbar um die Erde. (Aus CHRISTIAN LONGOMONTANUS: *Astronomia Danica*, Amsterdam 1640.)

Tycho Brahe

Nicht nur als Keimzelle späterer Werke war das *Mysterium cosmographicum* von Bedeutung. Es machte KEPLER in der ganzen Welt bekannt und verschaffte ihm vor allem das Wohlwollen des dänischen Astronomenfürsten TYCHO BRAHE. Nachdem dieser sich, durch ein Zerwürfnis mit dem dänischen König von seiner Sundinsel vertrieben, im Juni 1599 mit seiner Assistentenschar und einem Teil seiner Instrumente am Kaiserhof in Prag niedergelassen hatte, zog es die beiden Männer unwiderstehlich zueinander: BRAHE war, obwohl er KEPLERS Gedanken ablehnte, an KEPLERS Talent zur Förderung seiner eigenen Planetentheorie interessiert, KEPLER seinerseits brauchte BRAHES genaue Beobachtungen zur Nachprüfung seines Planetenmodells. So reiste er im Januar 1600 nach Prag und blieb (mit zwei mehrmonatigen Unterbrechungen) bis zu TYCHOS Tod am 24. Oktober 1601. Wenige Tage danach wurde KEPLER wie selbstverständlich als TYCHOS Nachfolger zum kaiserlichen Mathematiker ernannt.

Die Zusammenarbeit mit TYCHO verlangte von KEPLER zunächst einen Wechsel des Arbeitsgebiets. Für die kosmologischen Spekulationen, denen er auch nach Vollendung des *Mysterium* gefrönt hatte, blieb ihm nun keine Zeit mehr. Wir haben schon

erwähnt, daß TYCHO BRAHE ein eigenes Weltsystem entworfen hatte, das zwischen PTOLEMÄUS und KOPERNIKUS vermittelte. Nach ihm sollten sich Sonne und Mond in ungefähr kreisförmigen Bahnen um die Erde, die übrigen Planeten um die Sonne bewegen. Aber mit einem bloßen Entwurf, der noch nicht zu einer Theorie ausgearbeitet war, konnte niemand die Stellungen der Gestirne berechnen. Es fehlte also die Berechnung der Lage, Größe und Gestalt der Planetenbahnen. Das Rohmaterial dazu hatte BRAHE bereitgestellt in seinen Beobachtungen, die an Genauigkeit alle Vorgänger weit übertrafen.

Das war der Stand der Dinge, als KEPLER im Februar 1600 zu TYCHO kam. Dieser hatte so großes Vertrauen in die Fähigkeiten des neuen Mitarbeiters, daß er ihm gleich die schwierigste Aufgabe anvertraute: die Berechnung der Marsbahn, mit der ein anderer Gehilfe, CHRISTIAN LONGOMONTANUS, nicht zu Streich gekommen war. Damit waren die äußeren Voraussetzungen zu KEPLERS epochemachenden Entdeckungen geschaffen: TYCHOS Beobachtungen standen ihm nun zur Verfügung, und gerade der Planet war ihm aufgegeben, der wegen seiner am meisten vom Kreis abweichenden Bahnform sich am schwersten in ein konventionelles Bahnschema fügte. Ohne diese beiden Voraussetzungen hätte er seine beiden ersten Planetengesetze nicht finden können.

KEPLERS größtes Kapital sind freilich sein Genie und sein unermüdlicher Arbeitseifer. Sein Verhältnis zu TYCHO und damit seine Stelle in der Astronomiegeschichte erfaßt er mit geradezu unheimlichem Scharfblick in einem Brief, den er acht Wochen nach BRAHES Tod an MÄSTLIN schreibt. Nachdem er BRAHES Theorie von Sonne und Mond erwähnt hat, fährt er fort: «Sieh, wie Gott seine Gaben austeilt und keiner alles kann. TYCHO steht wie ein HIPPARCH am Fundament des Gebäudes, er hat die größte Plackerei gehabt. Keiner kann alles. Dieser HIPPARCH braucht einen PTOLEMÄUS, der die übrigen fünf Planeten darüberbaut. Während er lebte, habe ich das getan¹⁵.» Der Anspruch, ein zweiter PTOLEMÄUS zu sein, war gewiß der höchste, den er stellen konnte. Er war ein Wechsel auf die Zukunft, den KEPLER in den kommenden Jahrzehnten einlöste. Im gleichen Brief fällt kurz zuvor die ebenfalls zutreffende Äußerung, KOPERNIKUS und BRAHE seien mutatis mutandis nach der Art des PTOLEMÄUS verfahren (indem sie nämlich mit Deferenten und Epizykeln rechneten). KEPLER weiß, daß seine Astronomie eine *neue* Astronomie sein wird.

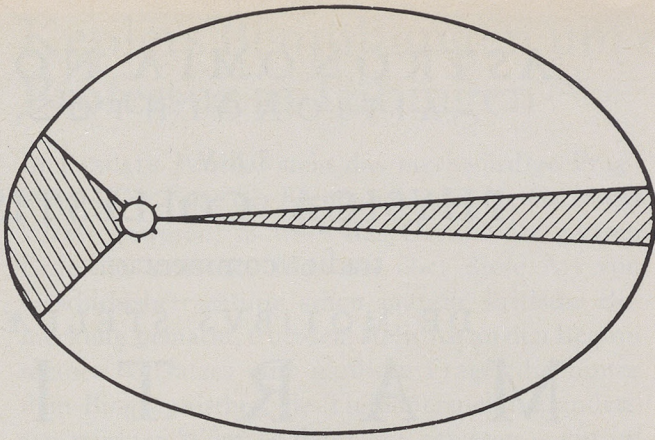
Freilich fängt auch KEPLERS Theorie der Planetenbewegung mit Kreisen an, wie es sich scheinbar von



TYCHO BRAHE mit 3 Gehilfen bei der Beobachtung am Mauerquadranten. (Aus BRAHE: *Astronomiae instauratae mechanica*, Nürnberg 1602.)

selbst verstand. Im Juni 1601 glaubt er sogar sagen zu können, daß alle Planeten sich in vollkommenen Kreisen bewegen, in denen die Sonne etwas exzentrisch steht; die Bahngeschwindigkeit sei in Sonnennähe größer als in Sonnenferne, und zwar wirklich, nicht nur scheinbar¹⁶.

Obwohl er noch mit den alten Mitteln Exzenter und Ausgleichspunkt arbeitet, hat sich KEPLER damit schon weit von KOPERNIKUS entfernt, der ungleichförmige Kreisbewegungen nicht zulassen wollte und deshalb sogar noch mehr Epizykel als PTOLEMÄUS benötigt hatte. Auf der Suche nach einer genauen Beschreibung der Geschwindigkeit des Planeten in den verschiedenen Punkten seiner Bahn kam KEPLER zur Annahme eines Radiensatzes, nach dem die Geschwindigkeit des Planeten seiner Entfernung



KEPLERS 1. und 2. Gesetz: 1. Die Planeten bewegen sich auf Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. 2. Die Verbindungslinie Sonne–Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen. Der Planet legt also die Bögen längs der beiden schraffierten Sektoren von gleicher Größe in gleichen Zeiten zurück, d. h. er bewegt sich in Sonnennähe schneller als in Sonnenferne. Die Abplattung der Ellipse ist stark übertrieben gezeichnet. (Aus GRIMSEHLs Lehrbuch der Physik, Bd. 1, 19. Aufl. Leipzig 1965.)

zur Sonne umgekehrt proportional sein sollte. Mit diesem, wie wir wissen, falschen Satz konnte er aber nicht rechnen. Erst auf dem Umweg über eine (wie KEPLER genau wußte) nicht ganz korrekte Summenbildung über die Radien kam er etwa 1602 zum Flächensatz: die Verbindungslinie Planet–Sonne überstreicht in gleichen Zeitabschnitten gleiche Flächenstücke (2. KEPLERSches Gesetz).

KEPLERS Kreishypothese funktionierte für Mars erstaunlich gut. Die Abweichungen von den Beobachtungen betrugen in der Länge nur zwei Bogenminuten. Bei der Prüfung der Breiten zeigte sich aber eine Unstimmigkeit im Ansatz, nach deren Korrektur der Fehler in der Länge bis zu acht Minuten betrug. Auch mit dieser Ungenauigkeit hätte sich jeder frühere Astronom zufriedengegeben – KOPERNIKUS beansprucht nur eine Genauigkeit von zehn Minuten. KEPLER war nicht zufrieden, weil die Abweichung außerhalb der Fehlergrenze von BRAHES Beobachtungen lag, die zu ignorieren ihm seine Gewissenhaftigkeit verbot. So wies, wie er schreibt¹⁷, dieser Fehler von acht Minuten den Weg zur Erneuerung der ganzen Astronomie.

Da er sich auf BRAHES Beobachtungen verlassen kann, ist KEPLER gezwungen, seine eigenen Voraussetzungen zu überprüfen: «Es muß also etwas in unseren Annahmen falsch sein. Angenommen war aber, daß die Bahn, die der Planet durchläuft, ein vollkommener Kreis sei und daß es in der Apsidenlinie einen einzigen Punkt ... gebe, um den Mars in gleichen Zeiten gleiche Winkel beschreibe. Eines

davon oder vielleicht beides ist also falsch. Denn die benutzten Beobachtungen sind nicht falsch¹⁸.»

Um die Kreisförmigkeit der Bahn zu prüfen, bestimmt KEPLER nun aus den vorhandenen Beobachtungen die Entfernung Mars–Sonne zu verschiedenen Zeitpunkten. Auch das war ein ganz neuer Gedanke. Vorher hatte sich die Astronomie, indem sie nur die *Projektionen* der Planetenbahnen auf die Himmelskugel beschrieb, sich mit einer rein zweidimensionalen Betrachtungsweise begnügt. Erst KEPLER erschließt ihr die dritte Dimension.

Die Marsbahn erweist sich als nicht kreisförmig. Das ganze Jahr 1604 laboriert KEPLER mit der Hypothese einer eiförmigen Bahn und erkennt sie Ende des Jahres als falsch. Um Ostern 1605 hat er endlich die Wahrheit in Händen: die Marsbahn ist eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht (1. KEPLERSches Gesetz).

Wohl im Lauf des folgenden Jahres wurde das Manuskript fertig. Aus äußeren Gründen verzögerte sich der Druck bis 1609. Mit vollem Recht trägt das Werk den Titel *Neue, ursächlich begründete Astronomie oder Physik des Himmels*. Neu waren KEPLERS Grundgesetze der Planetenbewegung, der Ellipsensatz und der Flächensatz. Den Bruch mit der Tradition, den sie bedeuten, kann man sich kaum tief genug vorstellen, denn sie verstoßen gegen zwei Dogmen der Astronomie, die noch älter sind als PTOLEMÄUS: das Dogma der Kreisförmigkeit aller Planetenbewegungen und das von ihrer gleichbleibenden Geschwindigkeit. Ebenso wichtig und für die Zeitgenossen unfassbar aber ist die Einführung physikalischer Denkweisen in die Astronomie, die Frage nach dem «Warum» in einer Wissenschaft, die sich bisher auf eine mathematische Darstellung der Planetenbewegung beschränkt hatte, an deren Realität im Ernst niemand glauben konnte. Erst KEPLER hat die Astronomie, die bis dahin zur Mathematik gehört hatte, zu einer Naturwissenschaft gemacht. Mit einigem Recht spricht man darum heute in Abänderung eines Kantschen Worts lieber von einer keplerschen als von einer kopernikanischen Wende in der Astronomie.

Gegenüber der prinzipiellen Bedeutung dieser Wende will es wenig heißen, daß KEPLERS konkrete physikalische Vorstellungen sich größtenteils als falsch erwiesen haben: weil ihm der allgemeine Gravitationsbegriff noch fehlt, schreibt er den Zusammenhalt des Planetensystems einer magnetischen Kraft zu; weil er noch dem aristotelischen Trägheitsbegriff folgt, nach dem ein Körper, auf den keine Kraft wirkt, in Ruhe ist, braucht er eine Kraft, die die Planeten auf ihrer Bahn umtreibt, und findet sie in den Sonnenstrahlen, die er sich speichenartig mit

der Sonne rotierend denkt. Die richtige physikalische Deutung der KEPLERSchen Gesetze und ihre Einbettung in eine umfassende Theorie der Mechanik gelang bekanntlich erst NEWTON.

Der spekulierende und der analysierende Kepler

Wir haben KEPLER von zwei Seiten gezeigt, die man der bequemerem Darstellung halber gern trennt: den spekulierenden KEPLER im *Weltgeheimnis*, den nüchtern analysierenden KEPLER in der *Neuen Astronomie*. Die Trennung läßt sich gewiß nicht in voller Schärfe vertreten: bei der Berechnung der Planetenbahnen in der *Astronomia nova* ist ihm die Spekulation ein steter Leitfaden, bei aller Spekulationslust im *Mysterium* verzichtet er niemals auf die Nachprüfung anhand der ihm vorliegenden Daten. Daß die Trennung doch eine gewisse Berechtigung hat, bezeugt KEPLER selbst, wenn er sich gegen Ansprüche von Gelehrten zur Wehr setzt, die ihn zur Vollendung seiner Rudolphinischen Tafeln drängen: «Ich bitte euch, meine Freunde, verdammt mich nicht ganz zur Tretmühle mathematischer Rechnungen, gönnt mir auch Zeit für meine philosophischen Spekulationen, die meine einzige Freude sind¹⁹.»

Es ist hier nicht der Ort zur Würdigung der beiden Werke, in denen sich die zwei Seiten von KEPLERS Schaffen vollenden, der Rudolphinischen Tafeln und der Weltharmonik. Es muß genügen, wenn wir an einigen Beispielen gezeigt haben, wie KEPLERS astronomische Erkenntnisse allmählich gewachsen sind, wie eine aus der anderen entstanden ist, wie Spekulation mit nüchterner, ja ermüdender Rechnung, Wahrheit mit Irrtum untrennbar verknüpft ist. Darauf, daß KEPLER nicht nur Astronom war, sondern auch in der Optik und der Mathematik, in der Chronologie und sogar in der Theologie Bedeutendes geleistet hat, können wir nur noch hinweisen.

Anmerkungen:

- ¹ Gesammelte Werke, München 1937 ff., Bd. 8, S. 15.
- ² Opera omnia Bd. 5, 1864, S. 477.
- ³ KOPERNIKUS' «*Revoluciones*» waren 1543 erschienen. Drei Jahre vorher hatte GEORG JOACHIM RHETICUS das neue Weltssystem in seiner «*Narratio prima*» vorgestellt.
- ⁴ MAX CASPAR: JOHANNES KEPLER, Stuttgart 1948 u. ö., S. 48.
- ⁵ Man findet sie z. B. bei CHRISTIAN FRISCH in KEPLER: Opera omnia Bd. 8, 2 S. 989 und bei MAX CASPAR a. a. O.
- ⁶ Vgl. im Ausstellungskatalog «KEPLER und Tübingen» (Tübinger Kataloge Nr. 13; Text: F. SECK) die Nummern 37, 43, 44.
- ⁷ Ges. Werke Bd. 1, S. 9.
- ⁸ Ebenda S. 16, Z. 21.
- ⁹ Ebenda S. 70, Z. 31 f.
- ¹⁰ Ebenda S. 9, Z. 33 f.

ASTRONOMIA NOVA ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,

SEV

PHYSICA COELESTIS,

tradita commentariis

DE MOTIBVS STELLÆ

MARTIS,

Ex observationibus G. V.

TYCHONIS BRAHE:

Jussu & sumptibus

RVDOLPHI II

ROMANORVM

IMPERATORIS &c:

Plurium annorum pertinaci studio
elaborata Pragæ,

A S^c. C^c. M.^{ia} S^c. Mathematico

JOANNE KEPLERO,

(cum ejusdem C^c. M.^{ia} privilegio speciali

ANNO MDCXII Dionysianæ clc lcc ix.

- ¹¹ Die regelmäßigen Körper sind dadurch definiert, daß sie von kongruenten regelmäßigen Vielecken begrenzt sind. Daß es davon nicht mehr als die fünf im Text genannten gibt, hatten schon die antiken Mathematiker bewiesen.
- ¹² Ges. Werke Bd. 1, S. 13. – Statt *Kreis* ist im Zitat überall *Kugel* zu verstehen. Grund für die ungenaue Ausdrucksweise ist, daß KEPLER dem Leser seine erste Notiz des neuen Gedankens mitteilt.
- ¹³ Z. B. ELIS und BENGT STRÖMGREN: Lehrbuch der Astronomie, Berlin 1933, S. 279.
- ¹⁴ Ges. Werke Bd. 8, S. 9, Z. 25–28.
- ¹⁵ Ges. Werke Bd. 14, Nr. 203, Z. 36–40.
- ¹⁶ Brief an MAGINI vom 1. Juni 1601 (Ges. Werke Bd. 14, Nr. 190, Z. 127–132).
- ¹⁷ Astronomia nova Kap. 19 Ende (Ges. Werke Bd. 3, S. 178).
- ¹⁸ Astronomia nova Kap. 19 (Ges. Werke Bd. 3, S. 176, Z. 7 bis 13).
- ¹⁹ Brief an BIANCHI vom 17. Februar 1619 (Ges. Werke Bd. 17, Nr. 827, Z. 249–251).