# Kepler

als

# Reformator der Astronomie

von

**Robert Billwiller.**

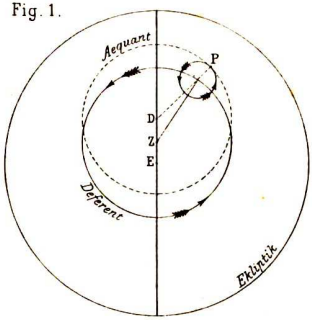
---

**Mit einer Figurentafel.**

**Zürich.**
Druck von Zürcher und Furrer.
1877.

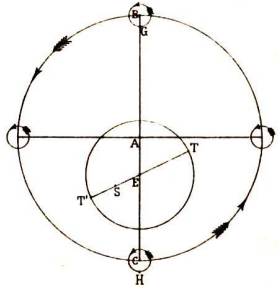
# Planetentheorie.

Fig. 1.




des Ptolemäus.

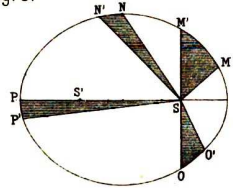
Fig. 2.




des Kopernicus.

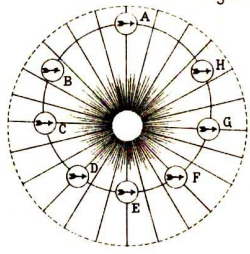
Kepler's Flächengesetz.

Fig. 3.




*Haben die Sectoren: SMM', SNN', SPP', SOO' gleichen Flächeninhalt, so werden die Bogen: MM', NN', PP', OO' vom Planeten in gleichen Zeiten durchlaufen.*

Fig. 4.




*Die elliptische Bahn der Planeten durch die Wirkung von Magnetaxen erklärt (nach Kepler).*

Lith. J. J. Hofer. Zürich.

*Die Idee ist für den Fortschritt der Wissenschaften so unentbehrlich, wie die Thatsache. Sie führt nicht nothwendig zur Metaphysik, obwohl sie jedesmal die Erfahrung überschreitet. Aus den Elementen der Erfahrung unbewusst und schnell, wie das Anschiessen eines Krystalls, hervorspringend, kann sie sich auf Erfahrung zurückbeziehen und ihre Bestätigung oder Verwerfung in der Erfahrung suchen.*

***Lange**, Gesch. des Materialismus.*

Es giebt vielleicht in der Geschichte der Wissenschaften kein zweites Beispiel, das uns die bei Auffindung grosser neuer Wahrheiten thätigen Momente des menschlichen Geistes, das dichtende, schöpferische sowohl, als das kritische, sichtende, beide in solcher Vollendung und in solch wunderbarer Harmonie zusammenwirkend zeigt, wie wir das bei Kepler, dem Reformator der Sternkunde, finden. Und in der That wäre dieser unvergleichliche Mann ohne den gewaltigen idealistischen Trieb, der ihn zeitlebens beseelte, niemals zur Entdeckung seiner für die Astronomie bahnbrechenden Gesetze geführt worden, noch auch hätten seine kühnen, ich möchte fast sagen wilden Speculationen der Wahrheit je die Enthüllung abgetrotzt, hätte er nicht fort und fort die Erfahrung und Beobachtung zum Richter über seine Ideen eingesetzt, d. h. dem idealistischen Elemente seines Schaffens durch Anwendung scharfsinnigster Prüfungsmethoden ein materialistisches Gegengewicht gegeben. So aber, bei der denkbar günstigsten Combination von hervorragenden Eigenschaften eines Forschers, mussten die Leistungen Keplers nicht nur von grosser Bedeutung sein, sondern geradezu einen revolutionären Charakter tragen. In der That reichen seine Entdeckungen weit über den Kreis der damaligen Vorstellungen und Kenntnisse hinaus; bilden doch seine Gesetze schon Sätze einer Disziplin, der Mechanik, die damals kaum in ihren ersten Anfängen lag.

Ich habe mir nun in diesen Blättern weder die Aufgabe gestellt, auf Keplers Leistungen im Allgemeinen einzugehen, noch auch speziell die Auf-

findung seiner Gesetze historisch zu verfolgen. Ich will nur auf die in Kepler neu auftauchenden Ideen hinweisen, die ihn von der ganzen Vergangenheit trennen und die Richtung seiner reformatorischen Thätigkeit bestimmten. Vielleicht gelingt es mir dadurch die Stellung Keplers in der Geschichte der Astronomie richtiger zu charakterisiren, als dies durch die blosse Aufzählung und Ableitung der nach ihm benannten Gesetze möglich ist. Auch dürfte mein Bestreben dazu beitragen, der oft so wenig gewürdigten speculativen Thätigkeit von Keplers Geist eine grössere Achtung abzugewinnen; denn wenn jene auch Manches hervorbrachte, was vor der spätern Erkenntniss nicht Stand halten konnte, so stand doch der Kern von Keplers Phantasieen mit seinen reellen Entdeckungen im engsten Zusammenhang. Wer nur diese zu schätzen weiss, auf jene aber mit Missbehagen herabblickt, ist ein schlechter Verehrer des grossen Astronomen.

Um nun aber die Punkte, wo Keplers reformatorische Thätigkeit anhebt, deutlich hervortreten zu lassen, ist es nothwendig die frühern Hauptstadien in der Geschichte der Astronomie in ihren Grundzügen kurz zu charakterisiren, wobei wir uns indessen auf das ptolemäische und das kopernicanische System beschränken können.

## Das geocentrische Weltsystem des Ptolemäus

wie es in seiner Syntaxis (Almagest) in aller wünschbaren Ausführlichkeit dargestellt ist, zeigt uns die Astronomie des Alterthums in ihrer höchsten Ausbildung. Viele der besten griechischen Geister hatten sich bemüht, das Räthsel in den Bewegungen der Himmelskörper zu entziffern, aber erst die streng inductive Methode, welche Hipparch und Ptolemäus geschaffen hatten, führten zum Ziele. Diese Methode bestand in der sorgfältigen Aufsuchung der Beziehungen zwischen Ort und Zeit in den Planetenbewegungen, was zu allen Zeiten die fundamentale Aufgabe der Astronomie war. Es ist nun selbstverständlich, dass man bei diesem ersten Versuch sich im Weltall zurecht zu finden von denjenigen Voraussetzungen ausgieng, die mit den Wahrnehmungen der Sinne übereinstimmten. Da schien es vor Allem festzustehen, dass unser Standort, die Erde, im Centrum der Welt liege. Zwar kamen einige Geister, namentlich in der pythagoräischen Schule, zu einer andern Idee von der Stellung der Erde, aber es bedurfte noch einer sehr langen Zeit ruhigen Forschens, ehe die Wissenschaft der Wahrheit, welche dem Zeugniss der Sinne zu widersprechen schien, zum Durchbruch verhalf.

Im Fernern hatte man in der täglichen Bewegung der Fixsterne, die sich in kreisförmigen Bahnen um die Erdachse zu schwingen schienen, einen Anhaltspunkt bei der Frage nach der Natur der Planetenbewegung. Reichte hier für die Erklärung der unregelmässigen Bewegung die einfache Kreisform nicht aus, so half man sich, wie schon Plato und Aristoteles es für nothwendig fanden, mit der Zusammensetzung mehrerer Kreisbewegungen. Ohne um die innern Ursachen der Bewegungen sich zu kümmern, suchte man sich wenigstens von ihren Formen Rechenschaft zu geben und man muss gestehen, dass das sogenannte epicyklische Princip, d. h. die Darstellung von periodischen Erscheinungen mittelst Uebereinandersetzens von Kreisbewegungen, ein sehr sachgemässes war; wird es doch heute noch als Hülfsmittel mit Erfolg auf manchen Gebieten wissenschaftlicher Forschung verwendet. Auch war damals eine andere mathematische Methode der Untersuchung gar nicht gedenkbar, denn so sehr lag die Mathematik noch in ihren Anfängen, dass sogar die im Grunde so einfache epicyklische Theorie zu ihrer Entwicklung eines neuen geometrischen Hülfsmittels bedurfte, welches Hipparch in der Trigonometrie schuf. In der That genügten auch die Epicykel und excentrischen Kreise, welche mit jenen dasselbe leisten, die verwickelten Bewegungen am Himmel bis zu einer Genauigkeit darzustellen, welche für die damalige Zeit durch die Beobachtungen gefordert waren. Auch war Ptolemäus sich bewusst, dass er für seine Hypothesen keine absolute Gültigkeit beanspruchen konnte; sie waren ihm vielmehr nur das Mittel seiner Darstellungen. So sagt er in der Einleitung zur Entwicklung seiner Planetentheorie [1]) ganz aufrichtig, dass er in Folge der Natur der Probleme oft gezwungen worden sei Annahmen zu Grunde zu legen, deren Richtigkeit nicht ersichtlich sei, die aber doch durch eine lange Erfahrung sich als nützlich erwiesen und so lange sie mit den Erscheinungen (Beobachtungen) in Einklang bleiben und nicht zu in sich falschen Consequenzen führen, auch keinen Irrthum in der betreffenden Untersuchung veranlassen können. Ohne eine gewisse Methode und Kenntniss könne übrigens auch keine den Beobachtungen entsprechende Hypothese gewonnen werden, während anderseits freilich es schwierig sei für dieselbe einen befriedigenden Grund anzugeben. «Denn es ist unmöglich, fährt er fort, oder wenigstens sehr schwierig den Urgrund der ersten Principien zu finden und man wird sich desshalb nicht zu verwundern haben über die Menge der angewandten Kreise, wenn man alle Unregelmässigkeiten in der Bewegung der Gestirne berücksichtigt, und man

[1]) Almagest, l. IX, 2.

schliesslich hiedurch doch die gleichförmige Kreisbewegung zu retten vermag, und alle wesentlichen Erscheinungen durch Hypothesen derselben Art darstellen kann.» Mit diesen letzten Worten hat Ptolemäus das Ziel seiner Aufgabe bezeichnet und man kann ihm das Zeugniss nicht versagen: er hat dieses Ziel erreicht. Die Aufgabe war eine rein geometrische und die Lösung eine solche mit möglichst einfachen Mitteln. Jede andere Annahme der Art der Bewegung, als die gleichförmige im Kreise hätte bei dem damaligen Zustand der Mathematik bei ihrer Anwendung zu unüberwindlichen Schwierigkeiten geführt. Auch war in der That, so lange man nicht nach den physischen Ursachen der Planetenbewegungen forschte, gar kein Grund vorhanden eine ungleichförmige Bewegung zu vermuthen; die gleichmässige musste sich von selbst ergeben, wenn anders man nicht eine vollkommen gesetzlose Willkür in jener annehmen wollte; mit dieser aber hätte man die Regelmässigkeit in der täglichen Drehung des Fixsternhimmels nicht vereinbaren können. Daher galt auch der Satz von der gleichmässig kreisförmigen Bewegung als ein unumstössliches Axiom bis man anfing nach den physischen Ursachen der Planetenbewegung zu forschen. Wir werden später sehen, dass Kepler dieses Axiom gestürzt hat.

Zweierlei Ungleichheiten in der Planetenbewegung waren es hauptsächlich, welche die Theorie des Ptolemäus zu erklären d. h. also auf gleichförmige Kreisbewegungen zurückzuführen hatte. Die erste rührt von der in der Natur wirklich vorhandenen Ungleichförmigkeit der Bewegung und von der thatsächlichen Abweichung der Planetenbahnen von der Kreisform her. Sie wurde bei Sonne und Mond bereits von Hipparch mittelst eines excentrischen Kreises dargestellt, bei den Planeten in gleicher Weise durch Ptolemäus. Die zweite, noch beträchtlichere Ungleichheit, welche sich namentlich in den scheinbaren Stillständen und Rückwärtsbewegungen der Planeten manifestirt, kommt daher, dass sich dieselben nicht um das von Ptolemäus angenommene Centrum, d. h. nicht um die Erde, sondern um die Sonne bewegen, während die Erde selbst diese umkreist. Sie wird durch Ptolemäus mittelst eines auf der Peripherie des excentrischen Kreises sich bewegenden Epicykels dargestellt. Fig. 1, auf die wir unten zurückkommen werden, zeigt diese ptolemäische Darstellung. $E$ ist die ruhende Erde im Mittelpunkte des Weltalls (oder wie sich Ptolemäus ausdrückt im Centrum des Thierkreises), $Z$ derjenige des excentrischen Kreises, auf dessen Peripherie endlich das Centrum des den Planeten $P$ tragenden Epicykels sich bewegt.

Auf die Erklärung und Darstellungsweise, die Ptolemäus für die Bewegung der Planeten in der Breite anwendet. sowie auf manches Andere können wir hier nicht eintreten. Es genüge noch einmal zu wiederholen, dass die alte Astronomie die himmlischen Bewegungen mittelst Combinationen von Kreisen erklärte. Das Eigenthümliche des Umstandes, dass hiebei rein ideelle, geometrische Punkte Kreise mit sich herumführten, auf deren ebenfalls rein ideellen Peripherien die materiellen Planeten sich bewegten, gab zwar Veranlassung zu der Vorstellung jener bekannten Krystallsphären, welche aber der Astronomie des Ptolemäus fremd sind; diese beruhte ausschliesslich auf geometrischen Anschauungen.

Wir haben nun zu untersuchen, in wie weit die ptolemäische Astronomie, welche sich einer fünzehnhundertjährigen Herrschaft zu erfreuen hatte, durch

## die heliocentrische Lehre des Kopernikus

umgestaltet wurde. Die Ansicht, Kopernikus habe das Lehrgebäude des Ptolemäus ganz umgestürzt, so dass, um bei dem Bilde zu bleiben, kein Stein auf dem andern mehr stand, ist ebenso unrichtig als vielverbreitet. Man hat, um die wahre Bedeutung der Leistung dieses grossen Mannes richtig zu beurtheilen, wie Apelt mit Recht hervorgehoben hat [1]), vor Allem zweierlei deutlich auseinander zu halten, nämlich die kopernikanische Weltordnung und die kopernikanische Planetentheorie.

Die neue Weltordnung brachte allerdings eine gänzliche Umwälzung in den kosmologischen Anschauungen mit sich. Mit dem Preisgeben der bisherigen Annahme der Stellung von der Erde als festes, unbewegliches Centrum der Welt musste der Wohnsitz des stolzen Menschengeschlechtes, nun jeder Auszeichnung beraubt, in die bescheidenere Rolle sich finden, in der Reihe der übrigen Planeten die Sonne umkreisend durch die Räume des Himmels zu ziehen. Die dadurch bedingte unermessliche Erweiterung dieser letztern musste mit den alten Vorstellungen von dem in sich geschlossenen Weltbau, wie wir sie z. B. bei Dante finden, in schroffsten Gegensatz treten. Für die gesammte geistige Cultur war in der That die Lehre von der Bewegung der Erde von grösster Bedeutung. Das Weltall konnte nach der neuen Ansicht nicht mehr um der Bewohner eines in ihm fast verschwindenden Gliedes willen geschaffen sein und die Anfechtung, welche dieselbe von Seite der Kirche zu erleiden hatte, zeigt deutlich genug, wie tief sie in die damalige Religionsphilosophie einschnitt.

[1]) S. seine „Reformation der Sternkunde“ Jena 1852.

Indess nicht auf diese Seite der kopernikanischen Mission wollen wir hier näher eintreten; wir wenden uns vielmehr der Frage zu: wie hat Kopernikus die fundamentale Aufgabe der Astronomie: die Erklärung der Planetenbewegung gelöst? Wie verhält sich seine Darstellung zu der des Ptolemäus?

Hier ist nun vor Allem darauf hinzuweisen, dass bereits das ptolemäische System einen gewichtigen Stützpunkt für die heliocentrische Lehre bot. Wir haben oben gesehen, dass die sogenannte zweite Ungleichheit in der Planetenbewegung, welche nur eine scheinbare ist und von der Bewegung der Erde herrührt, in jenem System durch einen Epicykel dargestellt wird. In dem Umstand nun, dass diese Epicykel von ihren resp. Planeten in demselben Zeitintervall durchlaufen werden, in dem sich die Sonne um die Erde zu bewegen scheint, lag deutlich die Beziehung der Planetenbewegung zur Sonne ausgedrückt [1]). Die zur Berechnung der Planetenörter von Ptolemäus construirten Tafeln enthielten die mittlere Bewegung der Sonne sogar als Argument, womit die Abhängigkeit jener Ungleichheit von dieser letztern als von der alten Astronomie klar erkannt und nachgewiesen zu betrachten ist. Ueber den Grund derselben scheint Ptolemäus sich nicht gekümmert zu haben.

Die verschiedenen imaginären Sonnenbahnen, welche somit das alte System, freilich etwas versteckt, in sich barg, hat nun Kopernikus mit Geschick in eine einzige verschmolzen, indem er alle Planeten sich um die Sonne als Centrum bewegen liess.

Den grossen und in der Natur der Erscheinungen klar begründeten Vortheil dieser Vereinfachung sah auch Tycho de Brahe ein. Aber während letzterer bei diesem Schritt stehen blieb und also die Sonne sammt den sie umkreisenden Planeten immer noch um die Erde führte, that Kopernikus noch einen weitern und vertauschte die bisher festgehaltene Bewegung der Sonne mit einer solchen der Erde. Es gelang ihm auch in der That die Erscheinungen eben so gut zu erklären, wie es im alten System der Fall war, indem er der Erde ausser der erwähnten jährlichen Bewegung um die Sonne, noch eine tägliche Rotation um ihre eigene Axe hinzufügte, welche die nach Ptolemäus in entgegengesetzter Richtung erfolgende tägliche Umwälzung des ganzen Himmelsgewölbes vertrat.

---

[1]) Dies gilt streng genommen nur für die obern Planeten, für die untern: Venus und Mercur vertritt aber der excentrische Kreis (Deferent) in analoger Weise die Sonnenbahn.

Kopernikus hatte dadurch eine völlig neue Hypothese geschaffen, die allen wissenschaftlichen Anforderungen an eine solche entsprach und die er auch zur Theorie ausbildete. Die früher mehrfach aufgetauchten Ideen von der Erdbewegung hatten es nie zu einer Theorie gebracht.

Während nun Kopernikus die Ursache der sogen. zweiten Ungleichheit in der Erdbewegung gefunden hatte und somit die von Ptolemäus hiefür verwendeten Epicykel entbehren konnte, blieb ihm immer noch die erste Ungleichheit, von der in Wirklichkeit elliptischen Bahn herrührend, zu erklären. Hiebei folgte er durchaus der Methode seines Vorgängers, d. h. er blieb ganz auf dem geometrisch-phoronomischen Standpunkt stehen und hielt an dem Axiom der gleichmässig kreisförmigen Bewegung fest. Den Kreis, den er in ganz aristotelischer Weise als die vollkommenste Figur definirte, hielt auch er als die einzig mögliche Form der Planetenbahnen, und von einer ungleichmässigen Bewegung, glaubt er, schrecke der Verstand zurück und es wäre unwürdig so etwas bei den Himmelskörpern zu vermuthen. In der Durchführung dieses Princips gieng er sogar noch strenger vor als Ptolemäus, ja er tadelt diesen, weil er dasselbe dadurch verletzt habe, dass er in seiner Planetentheorie den Epicykel nicht in Bezug auf das Centrum des von ihm wirklich durchlaufenen excentrischen Kreises (des Deferenten) sich gleichförmig bewegen lässt, sondern in Bezug auf einen andern Punkt, der von jenem Centrum in entgegengesetzter Richtung eben so weit entfernt ist, wie die Erde. In Fig. 1 ist $D$ das Centrum des excentrischen Kreises, des sogen. Aequanten, von dem aus gesehen der Epicykel sich gleichförmig bewegt. Kopernikus übersieht freilich dabei, dass Ptolemäus das Princip durch Hinzufügung eines weitern Epicykels leicht hätte retten können und wohl nur desshalb davon Umgang genommen hat, um seine Darstellung nicht zu sehr zu compliciren. In den Punkten $D$ und $E$, zu denen Ptolemäus unwillkürlich geführt wurde, liegt bereits ein Hinweis auf die elliptische Bahn, man kann sie als die beiden Brennpunkte derselben betrachten.

Die kopernikanische Planetentheorie ist in Fig. 2 angedeutet: Sei $A$ das Centrum des excentrischen Kreises des Planeten, $E$ der Mittelpunkt der Erdbahn $T\,T'$, $S$ die Sonne, so ist der Halbmesser des auf dem excentrischen Kreise sich bewegenden Epicykels $= \frac{1}{3}\,A\,E$. Steht der Epicykel im Punkte $B$ seiner Bahn, d. h. im Apogeum, so befindet sich der Planet bei $G$, also in dem dem Centrum des excentrischen Kreises nächst liegenden Punkte des Epicykels; ist der Epicykel bei $C$, so ist der Planet in $H$.

Die Revolutionsdauer des Epicykels ist dieselbe, wie die des Planeten auf diesem. Dadurch war in der That die gleichmässig kreisförmige Bewegung wenn auch mittelst Combination von Kreisen gewahrt. Statt durch diese Construction, welche Kopernikus eccentrepicyclus nennt, lässt sich seine Theorie auch mittelst zwei excentrischen Kreisen (eccentri eccentrus) oder mittelst zwei Epicykeln (epicepicycli) darstellen, wie er selbst ausführlich zeigt. Man sieht, der Autor des unsterblichen Werkes «De revolutionibus orbium coelestium» macht von dem excentrischen Kreise und dem Epicykel einen sehr ausgedehnten Gebrauch. Weit entfernt die epicyklische Theorie zu verlassen, bringt er sie vielmehr zur höchsten Ausbildung und ihre Leistungsfähigkeit erschöpft sich förmlich bei ihm. Er hat indessen auch dadurch der Wissenschaft einen Dienst geleistet; denn oft bringt es die Entwicklung naturwissenschaftlicher Theorien mit sich, dass gewisse Principien, bevor man sie aufzugeben sich veranlasst sieht, bis zu den äussersten Consequenzen zugespitzt werden müssen.

Wenn man nun aber schliesslich nach dem praktischen Gewinn frägt, den die Astronomie aus der kopernikanischen Theorie gezogen hat, so muss man gestehen, dass derselbe sehr gering ist. Die Planetenörter konnten nach den von Kopernikus berechneten Tafeln durchaus nicht wesentlich genauer dargestellt werden, als nach denjenigen des Ptolemäus. Kopernikus war sich dessen auch wohl bewusst; er erwartete keineswegs diejenige Uebereinstimmung mit den Erscheinungen, welche die Genauigkeit der damaligen Beobachtungen hätte fordern können. Das Werk seiner Mission war eigentlich nur die glückliche Uebertragung der ptolemäischen Planetentheorie in die heliocentrische Hypothese, also, wie Apelt treffend bemerkt und eine Vergleichung des Almagest mit dem Buche des Kopernikus durchgehends zeigt, nicht ein Neubau sondern nur ein Umbau des alexandrinischen Lehrgebäudes.

Das Fundament für den wirklichen Neubau, in welchem die kopernikanische Weltordnung eine feste, unvergängliche Stütze fand, brachte erst

## Keplers physische Astronomie.

In der That verdanken wir die wahre Reformation der Sternkunde dem stillen Wirken des Mannes, der in der trüben, traurigsten Zeit Deutschlands vor und während des dreissigjährigen Kriegs mit allen Widerwärtigkeiten des äussern Lebens kämpfend eine Geistesgrösse entfaltet, welcher die Nachwelt für alle Zeiten ihre Bewunderung wird zollen müssen.

Kepler war durch seinen Lehrer Mästlin in Tübingen schon früh zum eifrigen Kopernikaner geworden, deren Zahl zu seinen Zeiten noch sehr gering war. Ergriffen von der grossen Idee der neuen Weltordnung fühlte er, dass zu den blossen äussern Umrissen, wie sie Kopernikus gegeben, noch die innere Begründung, die Erkenntniss der wirkenden Ursachen hinzukommen müsse, um ihre Wahrheit darzulegen. Dies Problem konnte nur gelöst werden von einem Geiste, der mit dem schärfsten Verstand jenen wunderbaren Zug des Gemüths vereinte in allen Dingen gewisse harmonische Beziehungen zu suchen, und seine innerste Befriedigung in der Auffindung von einfachen Form- und Zahlenverhältnissen in den Naturerscheinungen fand.

Auf Kepler ist diese ideelle, in gewissem Sinne mit Recht auch als mystisch bezeichnete Geistesrichtung als ein Erbstück des griechischen Alterthums, wo wir sie besonders ausgeprägt bei den Pythagoräern und in der Schule Plato's finden, übergegangen. Es war als ob beim Anbruch der mit Kepler und Galiläi beginnenden neuen Aera der Naturwissenschaften der griechische Geist nach der langen finstern Nacht des Mittelalters noch einmal aufleuchten sollte, um dann für immer der neuen Zeit zu weichen. In Keplers Geist vollzieht sich in der That der Uebergang der griechischen Philosophie, jener Symbolik des Alterthums, welche die Gesetze der Naturerscheinungen in gewissen einfachen Zahlenverhältnissen suchte, zu der rein experimentellen Methode, die den Geheimnissen der Natur ohne jegliches menschliche Vorurtheil beizukommen trachtet.

Von dieser eigenthümlichen Verknüpfung der alten und neuen Richtung der Denk- und Forschungsweise giebt Keplers literarisches Erstlingsproduct das «Mysterium cosmographicum» (Geheimniss des Weltbaues) ein denkwürdiges Zeugniss. Dasselbe erschien 1596 in seinem fünfundzwanzigsten Lebensjahre und sollte nur ein Vorläufer (prodromus) von weiteren kosmographischen Abhandlungen sein. Er sagt hierüber selbst: «Mein Plan war in einer neuen Kosmographie die physischen Ursachen der Erdbewegung darzulegen und dabei Vieles zu erörtern, was bei Manchem noch Anstoss erregt.» In vier Büchern gedachte er Folgendes zu behandeln: 1) das Weltall, die Stellung der Sonne, die Vertheilung der Fixsterne, die Einheit der Welt, 2) die Planeten, die Bewegung der Erde, die pythagoräischen Verhältnisse in den Bewegungen, die Harmonik, 3) die einzelnen Himmelskörper, besonders die Erde, die Entstehung der Flüsse und Berge etc., 4) die Beziehungen des Himmels zur Erde, das Licht, die Aspecten, die physischen Principien der Meteorologie und Astrologie. In einer Note zur zweiten Auflage der Schrift,

welche er 25 Jahre später herausgab, gesteht Kepler, dass dieser Plan freilich nicht zur Ausführung gekommen sei und zwar desshalb, weil das Auffinden der Grössenverhältnisse in den Planetenbahnen ihm so ausserordentlich wichtig erschienen sei, dass er darüber die andern Probleme bei Seite gesetzt habe. Dem Prodromus sei daher kein Epidromus, wie er ihn projectirt habe, gefolgt; der Leser möge eben seine spätern astronomischen Werke, insbesondere seine Harmonik als den wahren und eigentlichen Epidromus betrachten und was in seinem Mysterium nur theilweise und unvollkommen gelungen sei, das werde dort ganz zum Ziele geführt.

In diesem Mysterium cosmographicum theilt Kepler das Ergebniss seiner Speculationen über Zahl und Grösse der Planetenbahnen, sowie über die Bewegungsverhältnisse in denselben mit. Dieser Gegenstand hatte ihn ausserordentlich lebhaft beschäftigt. Das kopernikanische System ermöglichte die gegenseitigen Grössenverhältnisse der Planetenbahnen zu ermitteln, was im ptolemäischen System nicht der Fall war, denn dieses gab nur das Verhältniss der Grösse des Epicykels zu der des excentrischen Kreises für ein und denselben Planeten. Kepler suchte vorerst nach einem Gesetz, d. h. nach einer Zahlenreihe, durch welche die von Kopernikus ermittelten Distanzverhältnisse repräsentirt werden d. h. er suchte also gerade das zuerst, worüber sich bis heute noch am wenigsten ein Gesetz aufstellen lässt; denn die sogenannte Bode'sche Zahlenreihe für die Planetenabstände ist kein solches. Kepler war hier vollständig Pythagoräer: er suchte die ästhetische Idee, nach welcher die Welt gebaut sein sollte; die Regel der Schönheit und Harmonie in den Dimensionen und Verhältnissen derselben war für ihn zugleich das Naturgesetz. Es gelang indessen Kepler nicht für das Gesuchte eine Zahlenreihe aufzufinden, er hätte denn auf der Annahme zweier unbekannten Planeten zwischen Mars und Jupiter einerseits, und Mercur und Venus anderseits beharren müssen, welche Annahme ihm überdies nur die Proportionen, nicht aber den Grund für die Zahl der Planeten gegeben hätte. Durch Zufall kam er darauf das Gesetz in geometrischer Weise zu suchen, zuerst mittelst der regulären Figuren, dann mittelst der regulären Körper. In den letztern glaubte er endlich das Geheimniss des Weltbaus gefunden zu haben. Dasselbe bestand nun darin, dass, wenn man sich um die Planetenbahnen Sphären d. h. Kugelschalen gelegt denkt, in diese dann die 5 regulären Körper passen und zwar in folgender Ordnung: ♄ (Saturn), Cubus, ♃ (Jupiter), Tetraëder, ♂ (Mars), Dodekaëder, ♁ (Erde), Ikosaëder, ♀ (Venus), Octaëder, ☿ (Mercur). Es sollte also die Sphäre des Saturn

die umschriebene Kugel des Cubus, die Sphäre des Jupiter die eingeschriebene Kugel des Cubus und zugleich die umschriebene des Tetraëder sein etc. In der That stimmen die von Kopernikus erhaltenen Zahlen für die Distanzen leidlich mit den aus der Berechnung jener Construction erhaltenen.

Für die Reihenfolge fand Kepler in der Mystik hinlängliche Anhaltspunkte. Den Kugelschalen legte er je eine der Grösse der Excentricität der resp. Planetenbahnen entsprechende Dicke bei; dadurch ergaben sich nun freilich wieder beträchtliche Differenzen in seiner Rechnung mit den kopernikanischen Zahlen; denn nur die mittleren Entfernungen, nicht aber die grössten und kleinsten entsprachen den Dimensionen des keplerschen Baues. Kepler aber lässt sich dadurch nicht entmuthigen; er schreibt den Fehler den kopernikanischen Zahlen zu.

«Um die letzte Hand an das Werk zu legen, sagt er, werde ich eine ganz neue Welt bauen.» Er geht an die Neuberechnung der Distanzen und Excentricitäten. Und hier ist es, wo er in Mitten seiner wunderlichen Speculationen auf einen für die weitere Entwicklung der Astronomie fundamentalen Punkt kommt, bei der Frage nämlich, auf welchen Ort im Sonnensystem man bei der Rechnung die Planetenörter und Distanzen beziehen soll.

Kopernikus setzt zwar in seinem Systeme die Sonne in den Mittelpunkt der Welt, nimmt aber doch wie dies in Fig. 2 angedeutet ist, nicht diese als den Ausgangspunkt seiner Constructionen und Rechnungen sondern den Mittelpunkt der Erdbahn, und gerade hierin zeigte sich auch, wie abhängig er in seiner Vorstellungsweise noch von der ptolemäischen Anschauung ist; denn anders hätte sich in der That die Uebertragung der ptolemäischen Darstellung in die seinige nicht so leicht gemacht. Der Neubau der Welt, den Kepler schuf, gründete sich in erster Linie darauf, dass er die Sonne zum Ausgangspunkt wählte. Die nach dessen Theorie ausgeführten Rechnungen ergaben nun allerdings bedeutende Abweichungen von den damaligen Tafeln und der kopernikanischen Theorie; aber Kepler legte ohne Bedenken den letzteren die Schuld hievon bei. Er vertraute nicht so sehr auf die Genauigkeit der Bestimmung der Excentricitäten und der Apsidenlinien durch Kopernikus, als dass er nach Wahrnehmung der erwähnten Abweichungen seine Idee vom Weltbau nach den fünf Körpern aufgegeben hätte. Vielmehr erwuchs dadurch nur das brennende Verlangen in ihm durch genauere Bestimmungen jener Elemente dieselbe befestigen und mit den Beobachtungen in Einklang bringen zu können.

So sehen wir also, dass jener mystische innere Trieb in Kepler nicht nur bereits zu einem wichtigen Schritt in der Reformation der Sternkunde geführt hatte, indem von nun an alle Elemente der Planetenbahnen auf die Sonne bezogen wurden, sondern anderseits der rastlosen Thätigkeit von Keplers Geist das Ziel vorzeichnete, nämlich die genauere Erforschung der Bahnen und Bewegungen der Planeten. Ob dadurch Keplers ursprüngliche Idee bestätigt werden sollte oder nicht, das kommt für die Wissenschaft freilich nicht in Betracht; sicher aber ist, dass sie der kräftigste Impuls zu seinen spätern zahllosen und unendlich mühseligen Untersuchungen war, deren reelle Resultate zu den grössten Entdeckungen zählen, die je dem menschlichen Geiste gelungen sind.

Indessen noch ein anderer, sehr folgenschwerer Gedanke ist es, der in Mitten der geometrischen Speculationen über die Grössenverhältnisse der Planetenbahnen bei Kepler schon im Mysterium cosmographicum auftaucht, und ihn ebenfalls von all seinen Vorgängern scharf trennt. In cap. 20 kommt er nämlich auf das Verhältniss der Geschwindigkeiten der Planetenbewegung zu der Grösse der Bahnen zu sprechen. Man wusste bereits, dass die Geschwindigkeiten bei den verschiedenen Planeten mit ihrer Entfernung vom Centrum der Welt abnehmen und zwar in einem höhern Maasse, als es sich aus den blossen Grössenverhältnissen des absoluten Weges ergeben würde. Man konnte daher die Verschiedenheit derselben nicht als eine blos scheinbare erklären. Kepler war der erste, der auch diese Relationen festzustellen suchte; es gehörte auch diese Aufgabe in seinen Plan d. h. er wollte nicht nur die Bewegungen der einzelnen Planeten in ihren resp. Bahnen und die Distanzverhältnisse der letztern untersuchen, sondern auch durch die Auffindung der Beziehungen zwischen den Grössenverhältnissen der verschiedenen Bahnen und den Bewegungen in ihnen die volle und durchgreifende Harmonie der Welt, von der sein Innerstes erfüllt war, der Menschheit offenbaren.

«Eins von beiden müssen wir annehmen, sagt er, entweder sind die bewegenden Seelen der Planeten (animae motrices) schwächer, je weiter sie von der Sonne entfernt sind; oder es existirt im Centrum aller Bahnen, d. h. in der Sonne, eine einzige bewegende Seele, welche jeden Körper um so heftiger antreibt, je näher er ihr ist, in grösserer Entfernung aber an Kraft einbüsst. Wie nämlich die Quelle des Lichtes in der Sonne liegt und der Ausgangspunkt des Kreises am Orte der Sonne, d. h. im Centrum, so beruht auch das Leben, die Bewegung und die Seele der Welt in der einen Sonne.»

Wir werden unten sehen, zu welcher Vorstellung über diese die Bewegung der Planeten veranlassende Seele, die er später selbst Kraft nennt, Kepler im Verlaufe seiner spätern Studien kommt; es ist aber von Bedeutung, dass wir diese seine erste Idee über die physischen Ursachen der Bewegung schon inmitten seiner ersten geometrischen Speculationen auftauchen sehen.

Ein eigenthümliches Zusammentreffen war es, dass zur selben Zeit, als sich in Kepler das Bedürfniss regte seine Idee vom Weltbau an Thatsachen, d. h. an Beobachtungen zu prüfen, diese letztern durch die Schule Tycho's einen Grad von Genauigkeit erlangt hatten, der die frühern an Werth weit hinter sich zurück liess. Das Geschick fügte es, dass Kepler bald nach Tycho's Tod, als Nachfolger in dessen Amt (als kaiserlicher Astronom und Mathematikus in Prag) über den grossen Schatz der zahlreichen Beobachtungen, den Tycho während seiner circa zwanzigjährigen Thätigkeit auf der Uranienburg mittelst seiner neu erfundenen Instrumente und neuen Beobachtungsmethoden angehäuft hatte, frei verfügen konnte. Der kühne Flug seiner Ideen fand damit sein Gegengewicht in der Möglichkeit einer schärfern Kritik durch die Thatsachen. Ein glücklicher Zufall führte ihn dazu, sich zuerst in der Bearbeitung der Marsbeobactungen zu versuchen; diese waren in der That allein geeignet, die Gesetze der Planetenbewegung zu offenbaren. Kepler suchte vorerst nur nach genauern Werthen für die Excentricitäten; aber er sollte bald das Bedürfniss nach einer völligen Umgestaltung der Theorie von der ersten Ungleichheit der Planeten fühlen. Diese führte er in seinem unsterblichen Werk, in der «astronomia nova αἰτιολογήτος (d. h. neue, nach den Ursachen forschende Astronomie) [1]) in wahrhaft genialer Weise durch. Es liegt ausser dem Bereiche meiner Aufgabe hier dem Gang von Keplers Untersuchungen zu folgen, die eines der grossartigsten Beispiele reiner Induction bilden, welche die Geschichte der Wissenschaft aufzuweisen hat; es soll nur auf diejenigen Momente hingewiesen werden, welche die neue Astronomie begründet haben.

Vorerst ist die Methode hervorzuheben, die Kepler im Gegensatz zu allen seinen Vorgängern angewandt hat. Er geht nämlich von keinerlei Axiom bei der Ermittlung der Form der Marsbahn aus, sondern er sucht dieselbe durch directe Messung; diese war aber nur möglich, nachdem er die Kunst erfunden hatte Distanzen zu berechnen. Die Distanzen oder das Längenmaass war

[1]) Der vollständige Titel ist: Astronomia nova αἰτιολογήτος, seu physica coelestis tradita commentariis de motibus stellae Martis ex observationibus Tychonis Brahe. (Prag 1609.)

ein neues Element in der Astronomie. Mittelst der Entfernungen war es Kepler möglich den Ort des Gestirns im Raume zu bestimmen, der natürlich von demjenigen an der Himmelskugel wohl zu unterscheiden ist. Er benutzte hiebei die Sehne der Erdbahn, welche zwei Punkte derselben miteinander verbindet, von wo aus die Beobachtungen gemacht wurden, als Basis. Auf diese Weise gelang es Kepler, die Bahnlinie des Mars auf rein graphischem Wege darzustellen. Das Problem war indessen sehr complicirt und erheischte zahllose Versuche. Es verlangte auch gleichzeitig die genauere Bestimmung der Erdbahn; denn die Beobachtungen wurden ja von der Erde aus gemacht, die selbst in Bewegung ist. Kepler wandte hiebei einen sehr feinen Kunstgriff an, indem er unter den Marsbeobachtungen solche zusammenstellte, die der Zeit nach um den Betrag der siderischen Umlaufszeit des Mars von einander abstanden. Da nämlich in zwei solchen Zeitpunkten Mars an demselben Ort seiner Bahn sich befinden musste, so war es möglich, aus diesem festen Punkte und demjenigen, der durch die Sonne gegeben war, die Abstände der Erde von dieser, sowie mittelbar dann auch diejenige des Mars zu bestimmen. Diesen ganzen Prozess drückt Kepler bildlich sehr treffend durch die bekannten Worte aus: «Die Astronomen wussten diesen Kriegsgott (♂) nicht zu bewältigen; aber der vortreffliche Heerführer Tycho hat in zwanzigjährigen Nachtwachen seine Kriegslisten erforscht und ich umging mit Hilfe des Laufs der Mutter Erde alle seine Krümmungen.»

Während nun die Erdbahn vermöge ihrer geringen Abweichung von der Kreisform sich durch einen excentrischen Kreis, der indessen etwas anders construirt war als bei Kopernikus, darstellen liess, so war dies bei Mars nicht der Fall. Vorerst zeigt Kepler, dass bei Annahme eines solchen für die Marsbahn es keinen Punkt innerhalb derselben giebt, um den der Planet in gleichen Zeiten gleiche Winkel beschreibt, wenn anders jener Punkt in der Apsidenlinie sich nicht hin und her bewegen sollte. Jetzt war das Axiom von der gleichförmigen Bewegung (in Bezug auf einen bestimmten Punkt in der Bahn) gestürzt und Kepler setzte an dessen Stelle seine sogenannte physische Hypothese, die aus seinen obenerwähnten Speculationen über die Beziehung der Geschwindigkeiten der Planeten zu ihren Entfernungen hervorgieng. Wir wissen, dass Kepler alle seine Constructionen und Rechnungen auf den wahren Ort der Sonne bezieht, weil er diese, d. h. die in ihr wohnende Kraft als die physische Ursache der Planetenbewegungen betrachtete. Er nahm nun weiter an, dass diese Kraft mit der Entfernung wegen der Ausbreitung über einen

grössern Raum (ähnlich wie das Licht) abnehme, und zwar in der Weise, dass die durch die Aenderung der Entfernung bewirkte Aenderung in der Kraft eine ihr proportionale ebensolche in der Geschwindigkeit bewirke. Mit andern Worten, er glaubte, dass die Zeiten, welche der Planet braucht um unendlich kleine Bogen seiner Bahn zu durchlaufen, sich verhalten, wie seine Entfernungen von der Sonne. Indem er nun für die Summe der Entfernungen der unendlich vielen Punkte eines Bogens von endlicher Länge die Fläche des betreffenden Sectors setzt, kommt er zu dem Satz, dass der radius vector in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume durchstreicht. (s. Fig. 3.) Diese physische Hypothese, wie Kepler sie selbst nennt, ist das sogenannte zweite kepler'sche Gesetz (in der Zeitfolge also das erste). Dem Resultat nach ist es richtig, aber seine Ableitung beruht zum Theil auf unrichtigen Annahmen und Folgerungen, deren Fehler sich freilich gegenseitig aufheben; es war überhaupt mehr eine instinctive, als durch streng logische Untersuchung erlangte Ueberzeugung, welche Kepler die Richtigkeit dieses Gesetzes erkennen liess; es war eine jener Wahrheiten, die ihm, wie er sich einmal selbst ausdrückt, ein Genius aus der Ferne zuflüsterte. Mittelst dieser physischen Hypothese, die er zunächst an der Erdbahn bestätigt fand, war also das frühere Princip der gleichförmigen Bewegung definitiv beseitigt; es gab jetzt auch ungleichförmige Bewegungen, die sich unter ein Gesetz bringen liessen.

Allein Kepler sollte auch noch das andere Axiom, die Kreisbewegung stürzen. Bei der Untersuchung über die Figur der Marsbahn gieng er zwar noch von der Annahme einer solchen aus; aber die Beobachtungen wollten mit den Rechnungen nicht stimmen. Nachdem durch 70 unendlich mühsame Versuche die Apsidenlinie, die Excentricität, sowie die mittlere Entfernung endlich glücklich festgestellt waren, ergaben die berechneten Oerter in gewissen Theilen der Bahn immer noch Differenzen von 8 Minuten. Diese acht Minuten waren für Kepler der Beweis der Unzulässigkeit der Kreisform für die Bahn des Mars. Er benutzte bei seinen fernern Versuchen nun auch die Distanzen des Planeten und wurde durch diese zur Ovalform und schliesslich dann nach vielfachen Umwegen zu einer Ellipse geführt, welche allen beobachteten Oertern und auch seinem Flächengesetz entsprach. Die Figur der Marsbahn ergab sich als eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt sich die Sonne befindet. Die nahe liegende Deduction, wonach auch die andern Planeten sich gleich verhalten, bildet das sogen. erste Kepler'sche Gesetz, welches somit der Zeit nach die zweite grosse Entdeckung Keplers war.

Es ist mehrfach versucht worden bei dieser letztern Kepler in David Fabricius einen Rivalen gegenüberzustellen. Zwar ist es ganz richtig, dass dieser vortreffliche Mann, mit dem Kepler volle acht Jahre in freundschaftlichstem brieflichen Verkehr stand und mit dem er sich namentlich über sein grosses Problem der Ermittlung der Marsbahn fortwährend eifrig unterhielt, ungefähr zur selben Zeit wie Kepler durch seine eigenen Untersuchungen, bei welchen ihm indessen die Vorarbeiten des letztern stets bekannt waren, zu einer elliptischen Bahn kam. Hierauf ist aber zu entgegnen, dass Fabricius hiebei ganz von den alten Anschauungen ausgieng und das Princip der gleichförmigen Kreisbewegung zu retten suchte und dass sich in seiner Theorie, wie Apelt nachgewiesen, der Planet nicht nach dem Flächengesetz bewegt. Kurz die Ellipse des Fabricius wäre für die Astronomie kein Fortschritt gewesen, denn nicht in der Form der Bahn beruht die grosse Bedeutung des ersten kepler'schen Gesetzes, sondern darin, dass es mit dem zweiten zusammen besteht, d. h. die hohe Wichtigkeit der kepler'schen Entdeckung der wahren, elliptischen Bahn fusst auf dem Umstand, dass zugleich auch das wahre Gesetz für die Bewegung des Planeten in derselben gegeben war. Annäherungen an elliptische Bahnen zeigt uns die Geschichte der Planetentheorien schon längst vor Kepler: die Curve, welche in der Mondtheorie des Ptolemäus das Centrum des Epicykels auf dem beweglichen Excenter beschreibt, erinnert sehr an eine Ellipse; seine Mercurtheorie enhält ein vollständiges Oval; auch Kopernikus zeigt gelegentlich, wie eine elliptische Bahn entstehen könne. Wenn man aber darin ein für die Geschichte der Astronomie äusserst wichtiges Moment erblicken will [1]), so vergisst man eben, dass die Reformation der Astronomie nicht durch die kepler'sche Ellipse als solche geschaffen wurde, sondern dadurch, dass dieselbe nicht wie alle vorkepler'schen aus der Zusammensetzung von Kreisbewegungen, sondern nach ausdrücklicher Verwerfung dieses rein geometrischen Princips aus der physischen Hypothese hervorgegangen war. Die Lehre von den physischen Ursachen der Planetenbewegung war in der That so neu, dass man ihr Anfangs in der Astronomie gar keinen Platz anweisen wollte, wie Kepler dies z. B. ausdrücklich von Prätorius, dem Professor der Mathematik zu Altorf hören musste. Kepler entgegnet ihm freilich mit feiner Ironie:.

---

[1]) S. die Anmerkung des Herausgebers der Jubiläumsausgabe der Revol. orb. coel. von Kopernikus, pag. 166.

«Es ist doch sonderbar; was der Astronom aus der Geometrie entlehnt, das ist astronomisch; was er aber aus der Physik nimmt, das soll nicht astronomisch sein. Wie, wenn nun nicht einmal das astronomisch wäre zu disputiren, ob die himmlischen Bewegungen genau gleichförmig sein müssen? da doch das Axiom aus der Physik abgeleitet ist. — Aber wehe dir Kepler; wenn du nach langen, schweissreichen Arbeiten endlich die physischen Ursachen der Bewegungen gefunden haben wirst und mittelst derselben eben so gut rechnen lehrst, als wir bei der Annahme von Kreisen rechnen, so wird dies der Dank sein, dass man dir bestreitet, ein Astronom zu sein! Nun denn, so möge man mich Physiker nennen!»

Kepler war in der That der erste, der die Physik in die Astronomie einzuführen suchte; leider aber war jene noch auf so schwachen Füssen, dass sie an sich d. h. durch die damals bekannten physischen Thatsachen fast Nichts zu leisten vermochte. Keplers divinatorische Erfindungsgabe kam ihr daher zu Hülfe und so entstand dann jene kepler'sche Himmelsphysik, deren Grundzüge (axiomata, wie sie K. nennt) folgende sind: [1])

1) der Planet hat von Natur aus das Bestreben an jedem Ort in Ruhe zu verharren, wo er sich vereinzelt befindet;
2) er wird durch die von der Sonne ausgehende Kraft längs der Ekliptik von Ort zu Ort bewegt;
3) wenn seine Distanz von der Sonne sich nicht änderte, so würde diese Bewegung in einer Kreisbahn erfolgen;
4) wenn ein und derselbe Planet in zwei verschiedenen Abständen von der Sonne diese umkreiste, so würden sich die Umlaufszeiten wie die Quadrate der Distanzen verhalten;
5) die Kraft allein, die im Planeten ihren Sitz hat, ist nicht genügend um ihn von Ort zu Ort zu bewegen;
6) dennoch entspringt dieser dem Planeten eigenen Kraft die Veränderung in seinen Distanzen von der Sonne (d. h. das Annähern an sie und das Zurückweichen von ihr).

Das sind die Sätze, welche in Ermangelung der wahren Dynamik, deren Fundament jenseits der Alpen durch Galilei eben erst gelegt wurde, die himmlischen Bewegungen erklären sollten. Sie giengen aus der Speculation hervor und beruhen zum grössten Theil auf unrichtigen Vorstellungen, waren aber

[1]) S. Astronomia nova III, 39.

trotzdem für Keplers reelle Leistungen von grosser Bedeutung. Ich will denselben nur eine kurze Erläuterung und Kritik beifügen.

Die bewegende Kraft ist bei Kepler nach Art des Lichtes ein immaterieller Ausfluss aus der Sonne (species immateriata corporis solaris), der aber nur nach einer Richtung, derjenigen der Planetenbewegung, West-Ost, ausströmt. Diese hat ihren Ursprung nothwendiger Weise in einer Rotation des Sonnenkörpers [1]). Es war somit nach Keplers Vorstellung für die Bewegung eine fortdauernd wirkende Kraft erforderlich, während in Wirklichkeit die fortdauernde Bewegung nur eine Folge der Trägheit ist. Aber eben gerade von dieser letztern hatte man damals noch keinen richtigen Begriff, hielt ihn doch Kepler, nach dem ersten der obigen Sätze zu schliessen, identisch mit demjenigen der absoluten Ruhe.

Auf Keplers Idee von der Abnahme dieser Sonnenkraft mit der Entfernung, an die sich die cartesische Wirbeltheorie, die unmittelbar vor Newton noch eine so grosse Rolle spielte, eng anschliesst, sowie auf die dabei unterlaufene Verwechslung von Kraft und Geschwindigkeit habe ich oben hingewiesen und es ist nur noch seine Vorstellung von dem Zustandekommen der elliptischen Bahn der Planeten, d. h. ihrer in Bezug auf den Sitz der Kraft, die Sonne, wechselnden Distanzen, zu erläutern.

Hiebei stützte er sich wesentlich auf die durch den Engländer Gilbert gemachte Entdeckung vom Erdmagnetismus; er nahm an dass wie die Erde so auch die übrigen Planeten und die Sonne magnetische Körper seien und gab ihnen eine feste Magnetaxe, welche während ihres Umlaufs sich beständig parallel bleibt und also an der Rotation der Planeten keinen Theil nimmt. Der eine Pol dieser Magnetaxe ist der Sonne freundlich und strebt ihr zu, der andere ist ihr feindlich und flieht sie. Befindet sich der Planet in einer Lage wie z. B. bei *A* (s. Fig. 4), wo beide Pole von der Sonne gleich weit abstehen, so wird ihn diese weder anziehen noch abstossen, sondern nur um sich herum führen; dadurch aber kommt derselbe in die Stellungen *B*, *C*, *D*, wo sich der freundliche Pol der Sonne zu-, der feindliche von ihr abwendet, wesshalb der Planet von ihr angezogen wird, bis im Punkt *E*, wo er ihr am nächsten stehen muss, die beiden Pole wieder zur Sonne symmetrisch liegen. Hierauf wendet sich der feindliche Pol der Sonne zu, der Planet wird

[1]) Letztere wurde in der That dann bald durch die an den neu entdeckten Sonnenflecken beobachtete Bewegung nachgewiesen.

also auf der andern Hälfte seiner Bahn, welche durch die Punkte *F*, *G*, *H* geht, von der Sonne abgestossen und entfernt sich von ihr, bis er im Punkte *A* wieder seine grösste Distanz erreicht.

Der Umstand dass nicht alle Planeten dieselbe Variation in ihren Distanzverhältnissen, d. h. nicht die gleiche Excentricität zeigen, suchte Kepler durch eine verschiedene Stärke des Magnetismus der einzelnen Planeten zu erklären. Auch andern Forderungen, welche man an diese Hypothese stellen musste, weiss er mit seiner ungewöhnlichen Erfindungsgabe auf geschickte Weise Genüge zu leisten, worüber ich mich indessen hier nicht weiter verbreiten kann.

Sind nun Keplers Ideen von der Bewegung der Planeten vielfach irrig, [1]) so hatte er dagegen über einen Punkt der Physik, welcher in jener eine grosse Rolle spielt, ganz richtige Begriffe, nämlich über die Schwere, und es war eben nur das der Fehler, dass er sie als eine lediglich irdische Kraft betrachtete und für das Problem der Planetenbewegung gar nicht verwerthete.

Während Kopernikus (I, 9) die Schwere noch als ein natürliches Bestreben (appetentia) bezeichnete, welches die Theile zeigen ein zusammenhängendes Ganzes zu bilden und Kugelgestalt anzunehmen, stellt Kepler in der Einleitung zu seiner Astronomia nova eine als klassisch zu bezeichnende Theorie der Schwere auf, aus der ich Folgendes hervorhebe:

«Die Schwere ist das gegenseitige Streben verwandter Körper zur Vereinigung (von welcher Natur auch die magnetische Kraft ist), dergestalt, dass die Erde in viel stärkerem Maasse den Stein anzieht, als der Stein die Erde.»

«Die schweren Körper streben (bei Voraussetzung, dass die Erde in den Mittelpunkt der Welt gestellt sei) zum Centrum der Welt nicht als solchem, sondern vielmehr als zum Centrum des runden verwandten Körpers, nämlich der Erde. Wohin daher auch diese versetzt oder durch ihre Lebenskraft (facultas

[1]) Ein Facit derselben giebt K. in dem 1610 erschienenen „Tertius interveniens", einer seiner wenigen deutschen Schriften. Dasselbe, zugleich als Stylprobe der damaligen Gelehrten-Sprache dienend, lautet: „die Sternkugeln werden getrieben per speciem immateriatam Solis, in gyrum rapidissime circumactam. Item werden sie getrieben von ihrer selbst eygnen Magnetischen Krafft, durch welche sie einhalb der Sonnen zuschiffen, andertheils von der Sonnen hinweg ziehlen. Die Sonn aber allein hat in ihr selbst ein virtutem animalem, durch welche sie informiert, liecht gemacht und wie ein Kugel am Drähstock beständiglich umbgetrieben wirdt, durch welchen Trieb sie auch ihre speciem immateriatam ad extremitates usque mundi diffusam in gleicher Zeit herumbgehen macht, und also successive alle Planeten mit herumb zeucht. Mehrere scientia animalis wird zu den himmlischen bewegungen nicht erfordert."

animalis) getragen werden mag, so bewegen sich die schweren Dinge stets zu ihr.»

«Wenn die Erde nicht rund wäre, so würden dieselben sich nicht von allen Seiten senkrecht nach der Erdmitte bewegen, sondern von verschiedenen Seiten nach verschiedenen Punkten hin.»

«Wenn zwei Steine irgendwo in der Welt, aber ausserhalb des Wirkungskreises der Kraft eines dritten verwandten Körpers sich befänden, so würden dieselben nach Analogie zweier magnetischer Körper sich an einen zwischenliegenden Ort begeben, wobei jeder dem andern in dem Verhältnisse sich nähert, in welchem die Masse dieses zu der des erstern steht.»

«Wenn Mond und Erde nicht durch eine Art Lebenskraft (vis animalis) oder sonst etwas gleich Bedeutendes in ihren resp. Bahnen erhalten würden, so würde die Erde um den 54sten Theil der Distanz sich erheben, der Mond aber um $^{53}/_{54}$ derselben sich zur Erde herab bewegen und beide sich vereinigen; vorausgesetzt jedoch, dass die Substanzen beider Körper von der gleichen Dichtigkeit wären.» [1])

Man begreift in der That schwer, wie Kepler ohne die Kenntniss des Gravitationsgesetzes zu so durchaus richtigen Ideen kommen konnte; denn diese entsprangen bei ihm keineswegs aus der Empirie, sie waren vielmehr grossartige Ahnungen oder wenn man will «synthetische Urtheile a priori.»

Anderseits war freilich der Sprung zu Newtons Gravitation nur noch so klein, dass man ihn von Kepler, nachdem er auch die Gesetze der Planetenbewegung erforscht hatte, fast glaubt erwarten zu dürfen. Es ist indessen hiebei nicht zu vergessen, dass gerade zur Ueberbrückung dieser allerdings schmalen Kluft die experimentelle Erforschung der Elemente der Dynamik unumgänglich nothwendig war. Ohne diese war es nicht möglich die krummlinige Bewegung aus der Combination einer geradlinig wirkenden Kraft mit der Schwerkraft abzuleiten. Als dies durch Newton geschehen war, ergab es sich freilich, dass jene vis animalis, durch welche Kepler Erde und Mond in ihren Bahnen erhalten lässt, in Wirklichkeit gerade die Schwerkraft ist, die nach

---

[1]) Hieran schliesst sich dann eine in den Grundzügen ganz richtige Theorie der „Ebbe und Fluth", eines Phänomens, das damals noch zu den grossen Räthseln gehörte. Keplers Darstellung sticht gegenüber der von Galiläi im vierten seiner Dialogi entwickelten, eine ungleiche Geschwindigkeit der beweglichen und festen Theile bei der Erdrotation zu Hülfe nehmenden Erklärung sehr vortheilhaft ab.

seiner Meinung (da für ihn die gleichzeitig geradlinig wirkende Kraft nicht vorhanden war) die Vereinigung der Körper bewirken müsste.

Kurz ohne die Principien der Mechanik, welche Galiläi gelegt hatte, aber Kepler noch unbekannt waren, war es nicht möglich in der Gravitation jene Centralkraft zu erkennen, welche den sich bewegenden Körper von dem geradlinigen Weg ablenkt, den er sonst vermöge der Trägheit verfolgen würde. Es blieb diese grosse Entdeckung, die plötzlich helles Licht in das Problem der Planetenbewegung brachte, dem unsterblichen Newton vorbehalten, der dann auch die inductorisch gefundenen Gesetze Keplers aus der Mechanik durch reine Deduction abgeleitet hat.

Wir haben nun noch kurz des dritten keplerschen Gesetzes zu erwähnen, dessen Auffindung mit der Begründung seiner elliptischen Planetentheorie jedoch in keinem nähern Zusammenhang steht. Vielmehr knüpft sich dieselbe ganz eng an die im Mysterium cosmographicum niedergelegte Grundidee von der Harmonie des Weltbaues. Diese letztere zu ergründen war ja der Zielpunkt seines Strebens. Sobald er desshalb durch seine Physik des Himmels die Planetenbahnen und die Bewegungen in diesen genauer erforscht hatte, kam er wieder zu seiner Hauptaufgabe. Die Lösung derselben gab er in seinem Lieblingswerk, in der «Harmonice mundi». Hier trieben seine oft ans Wunderliche streifenden mathematisch-physikalischen Speculationen die üppigsten Blüthen. Seine ursprüngliche Idee von dem Bau der Welt nach den Dimensionen der 5 regulären Körper musste er freilich aufgeben, sie gab ihm nur noch den Grund für die Zahl der Planeten. Dagegen findet er jetzt die Proportionen in den Distanz- und Geschwindigkeitsverhältnissen denjenigen der musikalischen Intervalle entsprechend, also für ihn eine höchst bedeutungsvolle Harmonik des Himmels. Die Beziehungen aber zwischen Umlaufszeiten und mittleren Entfernungen der Planeten untereinander, die einzig wirkliche Relation, gab ihm nach langem, rastlosem Experimentiren mit Zahlen seine im Jahre 1618 gemachte Entdeckung, die unter dem Namen des dritten keplerschen Gesetzes bekannt ist.

«Es ist völlig gewiss, sagt er [1]), dass das Verhältniss der periodischen Umlaufszeiten genau das anderthalbfache von demjenigen der mittleren Entfernungen der Planeten selbst ist» (d. h. dass die Cuben der letztern sich zu einander verhalten, wie die Quadrate der Umlaufszeiten).

[1]) Harmonice mundi V, 3.

Die Auffindung der Harmonien erfüllte ihn mit hoher Begeisterung, die sich in folgenden Worten der Einleitung zum V. Buch der harm. mundi kund giebt:

«Was ich vor zweiundzwanzig Jahren, als ich die 5 regulären Körper in den Planetenbahnen fand, ahnte, wovon ich überzeugt war; was ich vor sechszehn Jahren öffentlich als Problem aufstellte; wesshalb ich den besten Theil meines Lebens auf astronomische Betrachtungen verwendete, wesshalb ich zu Tycho kam, zu Prag mich niederliess, das habe ich endlich mit des Höchsten Gottes Hülfe, der meinen Geist beseelte und ein mächtiges Verlangen in mir geweckt, der mir auch Leben und Geisteskraft erhielt und das Uebrige durch die Freigebigkeit zweier Kaiser (Oesterreichs) gewährte, das habe ich endlich an's Licht gefördert und über all mein Erwarten als vollkommen wahr befunden, dass das ganze Wesen der Harmonie im ganzen Umfang und in allen einzelnen Theilen in den himmlischen Bewegungen vorhanden ist, nicht so zwar, wie ich mir's früher vorstellte, sondern auf eine ganz andere, zugleich vorzüglichste und vollkommenste Weise.»

Wenn auch das Streben Keplers nur nach dem erwähnten einen Ziel gerichtet war, so giebt es dennoch kein Gebiet in der Astronomie, das er mit seinem Alles umfassenden Geiste nicht durch neue, grosse Ideen und Leistungen gefördert hätte. Es ist aber hier nicht der Ort auch auf diese näher einzutreten; ich erinnere nur an seine Optik, an sein Epitome astronomiae Copernicanae, das für seine Zeit ein vortreffliches astron. Lehrbuch war und an die für die praktische Astronomie so ausserordentlich werthvollen Rudolphinischen Tafeln, auf deren Fundament noch die heutige Astronomie ruht.

Durch die Herausgabe seiner gesammten Werke hat Frisch in Stuttgart dem Astronomen par excellence das schönste und pietätvollste Andenken gesetzt und sich selbst ein bleibendes Verdienst erworben; denn in Kepler hat die Culturgeschichte ein denkwürdiges Beispiel, dass der Idealismus gepaart mit der richtigen Forschungsmethode auch in der Naturwissenschaft Grosses zu leisten vermag.