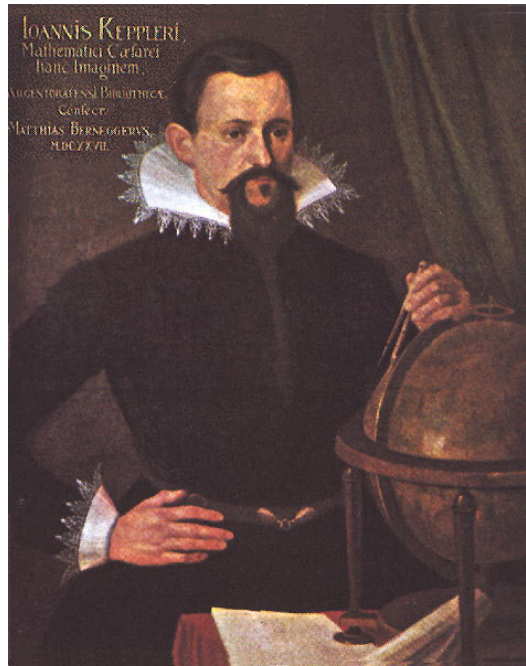


Johannes Kepler

Friedrich Johannes Kepler (auch: *Ioannes Keplerus*; * 27. Dezember 1571 in Weil der Stadt; † 15. November 1630 in Regensburg) war ein deutscher Naturphilosoph, Mathematiker, Astronom, Astrologe und Optiker.

Er entdeckte die Gesetze der Planetenbewegung, die nach ihm Keplersche Gesetze genannt werden. In der Mathematik wurde ein numerisches Verfahren zur Berechnung von Integralen nach ihm Keplersche Fassregel benannt. Mit seiner Einführung in das Rechnen mit Logarithmen trug Kepler zur Verbreitung dieser neuen Rechenart in Deutschland bei. Auch machte er die Optik zum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung und half, die mit dem Teleskop gemachten Entdeckungen seines Zeitgenossen Galileo Galilei zu beweisen. In seiner Laufbahn war Kepler

Mathematiklehrer an der Grazer Seminarschule (der späteren Universität von Graz), Assistent von Tycho Brahe, Hofmathematiker des Kaisers Rudolf II., Mathematiklehrer in Linz und Hofastrologe von General Wallenstein.



Leben

Kindheit und Ausbildung (1571 - 1594)

Kepler wurde am 27. Dezember 1571 in der freien Reichsstadt Weil der Stadt geboren. Heute ist die Geburtsstadt Teil des Großraums Stuttgart und liegt 30 km westlich des Stadtzentrums. Sein Großvater war Bürgermeister dieser Stadt, aber in der Zeit um J. Keplers Geburt befand sich die Familie im Niedergang. Sein Vater verdiente einen unsicheren Lebensunterhalt als Händler und verließ die Familie als Johannes fünf Jahre alt war. Seine Mutter Katharina, eine Gastwirtstochter, war eine Heilerin und Kräuterfrau und wurde später der Hexerei angeklagt. Als Frühgeburt wurde Johannes immer als schwaches und krankes Kind bezeichnet. Aber trotz seines schlechten Gesundheitszustandes war er frühreif und hat oft Reisende im Gasthaus seiner Mutter mit seinen mathematischen Fähigkeiten beeindruckt. Keplers Mutter weckte schon früh sein Interesse für Astronomie: Sie zeigte ihm den Kometen von 1577 und die Mondfinsternis von 1580. Johannes Kepler wohnte von 1579 bis 1584 mit seinen Eltern in Ellmendingen, wo sein Vater das Gasthaus „Sonne“ gepachtet hatte. Ab 1584 (16. Oktober) besuchte er die Klosterschule in Adelberg, von 1586 (26. November) an das höhere Seminar im ehemaligen Kloster Maulbronn und konnte trotz bescheidener familiärer Verhältnisse 1589 ein Theologiestudium am Evangelischen Stift in Tübingen beginnen. Hier studierte er bei dem Mathematiker und Astronomen Michael Mästlin, wo er sich selbst bewies, dass er ein überragender Mathematiker war und er erwarb sich den Ruf eines geschickten Astrologen. Unter der Anleitung von Michael Mästlin lernte er das heliozentrische System der Planetenbewegungen des Nikolaus Kopernikus kennen. Er wurde zum Kopernikaner und verteidigte das kopernikanische Weltbild sowohl von einer theoretischen als auch von einer theologischen Sicht in Debatten der Studenten. Während des Studiums freundete er sich mit dem Juristen Christoph Besold an.

Kepler in Graz (1594 - 1600)

Kepler wollte ursprünglich protestantischer Geistlicher werden; er nahm jedoch im Alter von 23 Jahren auf Grund seiner mathematischen Begabung im Jahre 1594 einen Lehrauftrag für Mathematik an der Universität Graz an. In Graz begann Kepler mit der Ausarbeitung einer kosmologischen Theorie, die sich auf das kopernikanische Weltbild stützte, die 1596 als *Mysterium Cosmographicum* veröffentlicht wurde. Im April 1597 heiratete er Barbara Mühleck, eine Müllerstochter. Sie starb 1611 und wurde von zwei Kindern Keplers und einem Kind aus einer früheren Ehe überlebt. Im Dezember 1599 schrieb Tycho Brahe an Kepler und lud ihn ein, ihm in Prag zu assistieren. Durch die Gegenreformation wurde Kepler gezwungen, Graz zu verlassen und traf 1600 mit Tycho zusammen.

Kaiserlicher Hofmathematiker in Prag (1600 - 1612)

Bereits in den 1590er Jahren stand Kepler mit Galileo Galilei in brieflichem Kontakt. 1600 nahm er eine Stellung als Assistent von Tycho Brahe an. Die Zusammenarbeit in Prag gestaltete sich allerdings kompliziert. Beiden war bewusst, dass sich ihre verschiedenen Begabungen ergänzten: Brahe war ein exzellenter Beobachter, seine mathematischen Fähigkeiten waren jedoch begrenzt. Der hervorragende Mathematiker Kepler hingegen konnte wegen seiner Fehlsichtigkeit kaum präzise Beobachtungen durchführen. Brahe fürchtete allerdings, mit seinem umfangreichen Lebenswerk, den Aufzeichnungen astronomischer Beobachtungen der Planeten und Hunderter Sterne, allein Keplers Ruhm zu begründen. Hinzu kam, dass Brahe die astronomischen Ansichten von Kopernikus und Kepler nur ansatzweise teilte.

Nach Tychos Tod im Jahre 1601 wurde Kepler kaiserlicher Hofmathematiker, ein Posten, den er während der Herrschaft dreier habsburgischer Kaiser (Rudolf II., Matthias I., Ferdinand II.) behielt. Als kaiserlicher Hofmathematiker erbte Kepler Tychos Verantwortung für die kaiserlichen Horoskope und den Auftrag, die *Rudolfinischen Tafeln* zu erstellen. Indem er mit Tychos umfangreicher Sammlung von sehr genauen Beobachtungsdaten arbeitete, wollte Kepler seine früheren Theorien verbessern, aber er wurde durch die Daten gezwungen sie zu verwerfen. Dagegen begann er mit der Entwicklung des ersten astronomischen Systems, das keine Kreisbahnen benutzte. Es wurde 1606 vollendet und als *Astronomia nova* 1609 veröffentlicht. Das Buch enthielt das erste und zweite Keplersche Gesetz. Im Oktober 1604 beobachtete Kepler eine Supernova, die später „Keplers Stern“ genannt wurde. 1611 veröffentlichte Kepler eine Monographie über die Entstehung der Schneeflocke, das erste bekannte Werk zu diesem Thema. Er vermutete richtig, dass ihre hexagonale Gestalt von der Kälte herrührt, aber er gab keine physikalische Begründung dafür. Im Jahr 1612 starb der Kaiser, und um den wachsenden religiösen Spannungen zu entfliehen, nahm Kepler den Posten eines Provinzmathematiker in Linz an.

Kepler in Linz (1612 - 1627)

1611 verstarben ein Sohn und seine Frau, sie hinterließ ihm zwei Kinder. An der Universität Tübingen hielt man wenig von seinen antiaristotelischen Ansichten und ließ ihn nicht als Professor zu. Ein Jahr später nahm er eine Stelle als Mathematiker in Linz an (bis 1626). Im Jahr 1613 heiratete er die Eferdinger Bürgerstochter Susanne Reuttinger. Von den sechs Kindern, die sie ihm gebar, überlebte nur eines.

Von 1615 an musste er sich um die Verteidigung seiner Mutter Katharina kümmern, die unter dem Verdacht der Hexerei eingekerkert war. (In einer Romanfigur in Keplers Schrift *Somnium* („Der Traum“), der eine magische Reise zum Mond beschreibt, meinte die Anklage Keplers Mutter wiederzuerkennen.) Im Oktober 1620 konnte er ihre Freilassung durchsetzen. Dabei kam ihm ein juristisches Gutachten der Universität Tübingen zu Hilfe, das wohl auf seinen Studienfreund Besold zurückgeht. Keplers Mutter verstarb schon ein Jahr später an den Folgen der Folter.

In Linz häuften sich die Probleme: er hatte Schwierigkeiten, seine Geldforderungen einzutreiben, seine Bibliothek wurde zeitweise beschlagnahmt und seine Kinder zur Teilnahme an der katholischen Messe gezwungen. Die Familie flüchtete nach Ulm. Eine Professur in Rostock kam nicht zustande.

Kepler und Wallenstein (1627 - 1630)

Im Jahr 1627 fand er jedoch in Albrecht von Wallenstein einen neuen Förderer. Der erwartete von Kepler zuverlässige Horoskope und stellte im Gegenzug in Schlesien eine Druckerei zur Verfügung. Als jedoch Wallenstein im August 1630 seinen Posten als Generalissimus verlor, reiste Kepler nach Regensburg. Wenige Monate später verstarb er dort im Alter von 59 Jahren; sein Grab ging in den Wirren des Dreißigjährigen Krieges bald unter (sein Sterbehaus ist eine viel besuchte Gedenkstätte).

Seine selbstverfasste Grabinschrift lautet:

Mensus eram coelos, nunc terrae metior umbras.

Mens coelestis erat, corporis umbra iacet.

„Die Himmel hab ich gemessen, jetzt meß ich die Schatten der Erde. Himmelwärts trebte der Geist, des Körpers Schatten ruht hier.“)

Werk

Grundlegende Ansichten

Kepler lebte zu einer Zeit, als es noch keine klare Trennung zwischen Astronomie und Astrologie gab, während es eine strikte Trennung zwischen Astronomie/Astrologie (einem Zweig der Mathematik innerhalb der freien Künste) und der Physik (einem Teil der Philosophie) gab. Er brachte auch religiöse Argumente in sein Werk ein, so dass die Basis vieler seiner wichtigsten Beiträge im Kern theologisch ist.

Kepler war ein pythagoreischer Mystiker. Er glaubte, dass die Grundlage der ganzen Natur mathematische Beziehungen seien und alle Schöpfung ein zusammenhängendes Ganzes. Dies stand im Gegensatz zur Platonischen und Aristotelischen Lehre, dass die Erde grundsätzlich verschieden vom Rest des Universums sei, dass sie aus anderen Substanzen besteht und dass auf ihr andere Gesetze gelten sollten. In der Erwartung universelle Gesetze zu entdecken, wandte Kepler irdische Physik auf Himmelskörper an. Er hatte Erfolg, seine Mühe brachte die drei Keplerschen Gesetze der Planetenbewegung hervor. Kepler war auch davon überzeugt, dass Himmelskörper irdische Ereignisse beeinflussen. Ein Ergebnis war die richtige Einschätzung der Rolle des Mondes auf die Entstehung der Gezeiten, Jahre vor Galileis falscher Formulierung. Des Weiteren glaubte er, dass es eines Tages möglich sein werde, eine „wissenschaftliche“ Astrologie zu entwickeln, trotz seiner generellen Abneigung für die Astrologie seiner Zeit.

Astronomia Nova

Kepler erbte von Tycho Brahe eine Fülle von sehr genauen Datenreihen über die Position der Planeten. Die Schwierigkeit war, darin einen Sinn zu erkennen. Die Umlaufbewegung der anderen Planeten wird von der Erde betrachtet, die selbst die Sonne umkreist. Wie in dem Beispiel weiter unten gezeigt wird, kann dies dazu führen, dass die anderen Planeten scheinbar sonderbare Schleifen vollführen. Kepler konzentrierte sich darauf, die Marsbahn zu verstehen, aber erst musste er die Bewegung der Erde genau kennen. Um dies zu tun, brauchte er eine Vermessungslinie. In einem reinen Geniestreich benutzte er Mars und Sonne als Basislinie, ohne die genaue Umlaufbahn des Mars zu kennen. So wurden die Positionen der Erde berechnet und von diesen der Umlauf des Mars. Er war in der Lage seine Planetengesetze abzuleiten ohne Kenntnis der genauen Abstände der Planeten von der Sonne, weil seine geometrische Analyse nur das Verhältnis ihrer Abstände brauchte.

Im Gegensatz zu Brahe glaubte Kepler an das heliozentrische System und ausgehend von diesem Gerüst verbrachte er zwanzig Jahre mit sorgfältigen Versuchen und Überprüfungen, um den Daten einen Sinn zu geben. Zum Schluss fand er die drei Planetengesetze.

Als Nachfolger Brahes erhielt Kepler vollen Zugang zu dessen Aufzeichnungen. Im Jahr 1600 war das bahnbrechende Werk des englischen Arztes William Gilbert *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure* („Über den Magneten, Magnetische Körper und den großen Magneten Erde“) erschienen, dessen Theorien zur magnetischen Anziehung Kepler sofort akzeptierte. Auf diese Weise gelangte er zu der Auffassung, die Sonne übe eine in die Ferne wirkende Kraft aus, die mit wachsender Entfernung abnehme und die Planeten auf ihren Umlaufbahnen halte, die Anima motrix. Dies war zu seiner Zeit ebenso spekulativ wie die Vermutung, zwischen den Bahnen der Himmelskörper und den platonischen Körpern bestehe ein innerer Zusammenhang. Der Gedanke der Fernwirkungskraft zusammen mit der Auswertung der Brahe-Beobachtungen führte Kepler zu der Entdeckung, dass die Bahn des Mars kein Kreis, sondern eine Ellipse ist. Dies ist nicht offensichtlich, da die Ellipsenbahnen der großen Planeten fast kreisförmig verlaufen. Kepler bemerkte auch, dass die Ellipse so im Raum angeordnet ist, dass einer ihrer Brennpunkte stets mit der Sonne zusammenfällt (*erstes Keplersches Gesetz*). Der zweite von ihm entdeckte Satz besagt, dass eine von der Sonne zu einem Planeten gezogene Strecke in gleichen Zeiträumen gleiche Flächen überstreicht. Das bedeutet: je weiter ein Planet von der Sonne entfernt ist, um so langsamer bewegt er sich (*zweites Keplersches Gesetz*). Diese beiden Gesetze veröffentlichte er im 1609 erschienenen Werk *Astronomia Nova* (Neue Astronomie).

De Stella Nova

1604 beobachtete Kepler die Supernova 1604 und veröffentlichte seine Beobachtungen im Jahr 1606 in dem Buch *De Stella nova in pede Serpentarii* („Vom neuen Stern im Fuße des Schlangenträgers“). Das Auftauchen dieses „neuen“ Sterns stand im Widerspruch zu der vorherrschenden Ansicht, das Fixsterngewölbe sei auf ewig unveränderlich, und löste heftige Diskussionen in naturphilosophischen Fachkreisen aus.

Dioptrice

Eine der bedeutendsten Arbeiten Keplers war seine *Dioptrice*. Mit diesem 1611 erschienenen Werk legte Kepler die Grundlagen für die gesamte Optik als Wissenschaft. Vorausgegangen war seine Schrift *Ad Vitellionem Paralipomena, Quibus Astronomiae Pars Optica Traditur* („Ergänzungen zu Witelo, in denen der optische Teil der Astronomie fortgeführt wird“, 1604),

in der er frühere Vorstellungen über die Ausbreitung und Wirkung von Lichtstrahlen grundlegend änderte: Nicht vom Auge geht ein Kegel aus, dessen Basis den Betrachtungsgegenstand umfasst, sondern von jedem Punkt des Objektes gehen Strahlen in alle Richtungen – einige davon erreichen durch die Pupille das Augeninnere. Ebenso wie Lichtstrahlen auf dem Weg von den Gestirnen zu uns durch die Lufthülle abgelenkt werden (atmosphärische Refraktion), werden sie auch in dem noch dichteren Medium der Augenlinse gebrochen und damit gebündelt. Damit hatte Kepler eine Erklärung für Kurzsichtigkeit und auch für die Wirkung einer Lupe oder Brille gegeben. Die Erfindung des Kepler-Fernrohres erscheint fast als ein Abfallprodukt seiner tiefgreifenden Erkenntnisse zur Brechung des Lichtes und der optischen Abbildung.

Die Veröffentlichung der *Dioptrice* war die mittlere in einer Serie von drei Abhandlungen, die er als Antwort auf Galileis *Sidereus Nuncius* verfasst hatte. In der ersten spekulierte Kepler, ob die Bahnen der Galileischen Monde gleichfalls in platonische Körper passen würden. Eine dritte Abhandlung betraf seine eigenen Beobachtungen der Jupitermonde und stützte Galileis Schlussfolgerungen. Dieser schrieb darauf zurück: „Ich danke Ihnen ... weil Sie der Einzige sind, der mir Glauben schenkt.“ Es ist kaum verwunderlich, dass er mit seinem Versuch, als Professor in seiner Studienheimat Tübingen Fuß zu fassen, keinen Erfolg hatte – Kepler war zu fortschrittlich.

Stereometria

In Linz (ab 1612) beschäftigte sich Kepler mit einem rein mathematischen Problem: dem Rauminhalt von Weinfässern. Weinhändler bestimmten diesen nach Faustregeln; Kepler entwickelte eine in der Antike gebräuchliche Methode weiter und setzte damit die Grundlagen für die weitergehenden Überlegungen von Bonaventura Cavalieri und Evangelista Torricelli. Die später so genannte keplersche Fassregel machte er 1615 unter dem Titel *Stereometria Doliorum Vinariorum* („Stereometrie der Weinfässer“) bekannt.

Harmonices Mundi

Nach intensivem Studium der Daten zur Umlaufbahn des Mars entdeckte Kepler am 15. Mai 1618 das dritte der nach ihm benannten Gesetze, welches er in dem im Jahr 1619 beschriebenen Werk *Harmonices Mundi libri V* (*Weltharmonik*, wörtlich „Fünf Bücher zur Harmonik der Welt“) erläuterte: Danach ist das Verhältnis der dritten Potenz der durchschnittlichen Entfernung eines Planeten von der Sonne, d , zum Quadrat seiner Umlaufzeit stets unveränderlich: d^3 / T^2 ist für alle Planeten gleich (*drittes Keplersches Gesetz*).

Planet	T	d	T^2	d^3	T^2 / d^3
Merkur	0,241	0,387	0,058081	0,057960603	1,002077221
Venus	0,615	0,723	0,378225	0,377933067	1,000772446
Erde	1	1	1	1	1
Mars	1,881	1,524	3,538161	3,539605824	0,999591812
Jupiter	11,863	5,203	140,730769	140,8515004	0,999142846

Saturn	29,458	9,555	867,773764	872,3526289	0,994751131
--------	--------	-------	------------	-------------	-------------

T = siderische Umlaufzeit in trop. Jahren d = große Halbachse in astronomischen Einheiten (Abstand Erde–Sonne)

Kepler sprach in diesem Werk von einem *harmonischen Gesetz*, da er glaubte, dass es eine musikalische Harmonie enthüllt, die der Schöpfer im Sonnensystem verewigte. *Ich fühle mich von einer unaussprechlichen Verzückung ergriffen ob des göttlichen Schauspiels der himmlischen Harmonie. Denn wir sehen hier, wie Gott gleich einem menschlichen Baumeister, der Ordnung und Regel gemäß, an die Grundlegung der Welt herangetreten ist.* Keplers Anschauungen entsprachen dem, was man heute als anthropisches Prinzip bezeichnet. In einem weiteren Manuskript beschrieb er eine Zusammenstellung von Übereinstimmungen zwischen der Bibel und wissenschaftlichen Sachverhalten. Auf Grund des Drucks seitens der Kirche konnte dieser Aufsatz nicht veröffentlicht werden. Derartige Auseinandersetzungen begleiteten Keplers Familie häufig.

Weitere Werke

Im Gegensatz zur Harmonie der Himmelskörper, die Kepler studierte, war diese Epoche von Hass, Angst und Intoleranz geprägt. Kepler war ein tief religiöser Mensch: *Ich glaube, dass die Ursachen für die meisten Dinge in der Welt aus der Liebe Gottes zu den Menschen hergeleitet werden können.* In dieser Zeit tobte der Dreißigjährige Krieg zwischen katholischen und protestantischen Parteien. Da Kepler mit keiner der beiden Seiten übereinstimmte, ja, sich sogar erlaubte, sowohl Protestanten wie Katholiken zu seinen Freunden zu zählen, musste er mit seiner Familie mehrmals fliehen, um Verfolgungen zu entkommen.

In den Jahren 1618–1621 verfasste er *Epitome Astronomiae Copernicae* („Abriss der kopernikanischen Astronomie“), das seine Entdeckungen in einem Band zusammenfasste und das erste Lehrbuch des heliozentrischen Weltbildes darstellte.

Ein weiterer wichtiger Meilenstein der Wissenschaftsgeschichte war Keplers Vorhersage eines Venustransits durch die Sonnenscheibe für das Jahr 1631. Es war dies die erste (und korrekte) Berechnung eines solchen Ereignisses. Hierzu konnte er seine zuvor entdeckten astronomischen Gesetze verwenden. Den von ihm berechneten Durchgang konnte er allerdings nicht mehr selbst beobachten (acht Jahre später war Jeremiah Horrocks erfolgreich).

Zur Kristallographie

Neben den astronomischen Untersuchungen verfasste Kepler einen Aufsatz zur Symmetrie von Schneeflocken. Er entdeckte, dass natürliche Kräfte – nicht nur in Schneeflocken – das Wachstum regulärer geometrischer Strukturen bewirken. Konkret bemerkte er, dass zwar jede Schneeflocke ein einzigartiges Gebilde ist, andererseits Schneeflocken bei einer Drehung um jeweils 60 Grad ihr Aussehen behalten (sechszählige Symmetrie).

Dies führte Kepler zu Berechnungen der maximalen Dichte von Kreisanordnungen und Kugelpackungen. Diese frühen Arbeiten fanden in der Neuzeit unter anderem Anwendung in der Kristallographie sowie in der Kodierungstheorie, einem Teilgebiet der

Nachrichtentechnik. Kepler vermutete, dass die dichteste Art, Kugeln aufzustapeln, darin besteht, sie pyramidenförmig übereinander anzuordnen. Dies mathematisch zu beweisen wurde von Mathematikern 400 Jahre lang vergeblich versucht. (Am 8. August 1998 kündigte der Mathematiker Thomas Hales einen Beweis für Keplers Vermutung an. Auf Grund der Komplexität des Computerbeweises steht eine endgültige Überprüfung trotz jahrelanger Bemühungen angesehener Gutachter noch aus.)

Mathematische Arbeiten

Der Gedanke logarithmischen Rechnens findet sich sehr früh (1484) bei dem Franzosen Nicolas Chuquet und dann, etwas weiter entwickelt, bei Michael Stifel (1486 – 1567) in seiner „Arithmetica integra“, die 1544 in Nürnberg erschien. An ein praktisches Rechnen mit Logarithmen konnte man jedoch erst nach der Erfindung der Dezimalbrüche (um 1600) denken. An der Erfindung der Dezimalbrüche und ihrer Symbolik war der schweizer Mathematiker Jost Bürgi (1552 – 1632) sehr stark beteiligt. Dieser war es auch, der die erste Logarithmentafel in den Jahren 1603 – 1611 berechnete. Da er diese aber, trotz mehrfacher Aufforderung durch Johannes Kepler, mit dem er in Prag wirkte, erst 1620 unter dem Titel „Arithmetische und Geometrische Progresstabuln“ erscheinen ließ, kam ihm der schottische Lord John Napier oder Neper (1550 – 1617) zuvor. Nachdem Kepler klar geworden war, welche enorme Vereinfachung die neue Rechenmethode für die umfangreichen und zeitraubenden astronomischen Rechenarbeiten mit sich brachte, setzte er alles daran, das Verfahren zu popularisieren und für einen weiten Interessentenkreis zu erschließen. Er übernahm jedoch das neue Verfahren nicht einfach so, wie es vorlag, nämlich ohne Angaben Napiers, wie er zu diesen Zahlen gekommen sei. Dadurch wirkten die Tafeln unseriös, und viele Wissenschaftler zögerten, sie anzuwenden. Um diesen Vorurteilen zu begegnen, schrieb Kepler 1611 eine weit über Napier hinausgehende Erklärung des Logarithmen-Prinzips und überarbeitete die Tafel vollständig. Philipp III. von Hessen-Butzbach ließ 1624 Johannes Keplers "Chilias logarithmorum" in Marburg drucken.

Als Mathematiker tat sich Kepler an anderer Stelle noch durch seine Behandlung der allgemeinen Theorie der Vielecke und Vielflächner hervor. Mehrere bis dahin unbekannte Raumgebilde entdeckte und konstruierte er völlig neu, unter anderem das regelmäßige Sternvierzigeck. Von Johannes Kepler stammt auch die Definition des Antiprismas.

Zu einer bedeutenden, aber wenig gewürdigten Erfindung führte eine andere Gelegenheitsarbeit, zu der Kepler durch Gespräche mit einem Bergwerksbesitzer angeregt wurde. Es ging um die Entwicklung einer Pumpe, mit der Wasser aus Bergwerkstollen herausgehoben werden sollte. Nach fehlgeschlagenen Experimenten kam Kepler der Einfall, zwei in einen Kasten angebrachte „Wellen mit je sechs Hohlkehlen“, also Zahnräder mit abgerundeten Ecken, mit einer Kurbel anzutreiben, dass die Radhöhlungen das Wasser nach oben beförderten. Er hatte eine ventillose und daher fast wartungsfreie Zahnradpumpe erfunden, die heute in prinzipiell gleichartiger Form in Automotoren als Ölpumpe eingebaut wird.

Tabulae Rudolfinae

Gegen Ende seines turbulenten Lebens veröffentlichte Johannes Kepler im Jahre 1627 in Ulm sein letztes großes Werk, die *Tabulae Rudolfinae* (Rudolfinische Tafeln). Es wertete die Aufzeichnungen Tycho Brahes aus und beschrieb die Positionen der Planeten mit bis dahin unerreichter Genauigkeit (die mittleren Fehler waren auf etwa 1/30 der bisherigen Werte

reduziert). Diese Planetentafeln sowie seine im *Epitome...* dargelegten himmelsmechanischen Gesetze bildeten die überzeugendste Argumentationshilfe der zeitgenössischen Heliozentriker und dienten später Isaac Newton als Grundlage zur Herleitung der Gravitationstheorie.

Somnium

Im gleichen Jahr, in dem Kepler seine ersten zwei Gesetze veröffentlichte (1609), schrieb er auch ein Buch mit dem Titel „Somnium“ (Der Traum). Das Somnium hatte eine Entstehungsgeschichte von 40 Jahren. Bereits 1593, als er Student in Tübingen war, wählte Kepler zum Thema einer der geforderten Disputationen, wie die Vorgänge am Firmament sich wohl auf dem Mond ausnähmen. Sein Ziel war damals, einen Parallelismus aufzuzeigen: Wie wir die Rotation der Erde und ihre Bewegung um die Sonne nicht spüren, aber den Mond seine Bahn ziehen sehen, könne ein lunarer Beobachter glauben, der Mond stehe still im Raum, und die Erde würde sich drehen. Mit fiktiven astronomischen Betrachtungen vom Mond aus, verfremdet als Bericht eines raumreisenden Geistes, wollte Kepler das von ihm weiterentwickelte kopernikanische Weltbild populär machen, er wollte versuchen, die Leser von der Meinung abzubringen, weiterhin in der Erde das Zentrum alles Menschlichen und Göttlichen zu sehen. Die märchenhafte Erzählung wurde erst postum von seinem Sohn Ludwig veröffentlicht.

Mystizismus, Astrologie und Wissenschaft

Mystizismus

Kepler entdeckte die Planetengesetze, indem er Pythagoras' Ziel, das Auffinden der Harmonie der Himmelsphären, zu vollenden suchte. In seiner kosmologischen Sicht war es kein Zufall, dass die Anzahl der regelmäßigen Polyeder um eins kleiner war als die Anzahl der bekannten Planeten. Er versuchte zu beweisen, dass die Abstände der Planeten von der Sonne durch Kugeln innerhalb regulärer Polyeder gegeben waren.

In seinem 1596 veröffentlichten Buch *Mysterium Cosmographicum* (Das Weltgeheimnis) versuchte Kepler, die Bahnen der damals bekannten fünf Planeten (Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn) mit der Oberfläche der fünf platonischen Körper in Beziehung zu setzen. Die Umlaufbahn des Saturns stellte er sich dabei als Großkreis auf einer Kugel vor (noch nicht als Ellipse), welche einen Würfel (Hexaeder) umschließt. Der Würfel umschließt wiederum eine Kugel, welche die Jupiterbahn beschreiben soll (siehe Abbildung). Diese Kugel wiederum schließt Tetraeder ein, welches die Marskugel umhüllt usw. Diese Arbeit war nach Keplers Entdeckung des ersten nach ihm benannten Gesetzes – spätestens aber nach der Entdeckung entfernterer Planeten – nur noch von historischem Interesse.

In seinem Buch von 1619, in *Harmonice Mundi* oder in der Welt-Harmonie, sowie des vorher erwähnten *Mysterium Cosmographicum*, bildete er auch eine Verbindung zwischen den platonischen Körpern mit der klassischen Auffassung der Elemente: Der Tetraeder war die Form des Feuers, war der Oktaeder die der Luft, war der Würfel das Symbol der Erde, der Ikosaeder symbolisierte das Wasser, und der Dodekaeder stand für den Kosmos als Ganzes oder den Äther. Es gibt Beweise, dass dieser Vergleich antiken Ursprungs war, wie Plato von einem gewissen Timaeus von Locri erklärt, der sich das Universum vorstellte wie durch ein gigantisches Dodekaeder umgeben, während die anderen vier Körper die "Elemente" des Feuers, der Luft, der Erde und des Wassers darstellen. Zu seiner Enttäuschung scheiterten alle Versuche Keplers, die Bahnen der Planeten innerhalb eines Satzes von Polyedern anzuordnen, aber es ist ein Zeugnis seiner Integrität als Wissenschaftler, dass er die Theorie, an deren Beweis er so hart gearbeitet hatte, verwarf, als die Einsicht gegen sie sprach.

Sein größter Erfolg kam von der Entdeckung, dass sich die Planeten auf Ellipsen und nicht auf Kreisen bewegen. Diese Entdeckung war eine direkte Konsequenz seines gescheiterten Versuchs, die Planetenbahnen in Polyedern anzuordnen. Keplers Bereitschaft, seine am meisten geschätzte Theorie angesichts genau beobachtbarer Beweise zu verwerfen, zeugt von seiner sehr modernen Auffassung von wissenschaftlicher Forschung. Kepler machte auch große Fortschritte, indem er versuchte, die Planetenbewegung auf eine Kraft, die dem Magnetismus ähnelte, zurückzuführen, die *Anima motrix*. Diese Kraft ging wie er glaubte von der Sonne aus. Obwohl er die Gravitation nicht entdeckte, scheint er als erster versucht zu haben, ein empirisches Gesetz anzuwenden, um die Bewegung sowohl der Erde als auch der Himmelskörper zu erklären.

Astrologie

In einer Veröffentlichung *De Fundamentis Astrologiae Certioribus* („Über zuverlässigere Grundlagen der Astrologie“, 1601) legte Kepler dar, wie die Astronomie auf sicherer Grundlage ausgeübt werden könne, indem man sie auf neue naturwissenschaftliche Grundlagen in Verbindung mit dem pythagoreischen Gedanken der Weltharmonie stellt. Auch dies war ein Affront gegen die konservativen Zeitgenossen, die der ptolemäischen Astronomie den Vorzug gaben.

Kepler verachtete Astrologen, die dem Geschmack des gemeinen Mannes hörig waren, ohne Kenntnis der abstrakten und allgemeinen Gesetze, aber er sah es als eine legitime Möglichkeit an Prognosen zu erstellen, um sein mageres Einkommen aufzubessern. Aber es wäre falsch, Keplers astrologische Interessen als rein pekuniär abzutun. Wie der Historiker John North es ausdrückte: „Wäre er kein Astrologe gewesen, wäre er sehr wahrscheinlich an der Aufgabe gescheitert, seine Planeten-Astronomie in der Form wie wir sie heute kennen zu entwickeln.“

Kepler glaubte an die Astrologie in dem Sinne, dass er überzeugt war, dass astrologische Aspekte den Menschen körperlich und wirklich beeinflussen wie das Wetter auf der Erde. Er versuchte zu entdecken, wie und warum das so war und versuchte die Astrologie auf eine gesicherte Basis zu stellen, was zu dem Buch: „Über die wahren Grundlagen der Astrologie“ führte. Kepler trat dafür ein, dass sich eine bestimmte Beziehung zwischen himmlischen und irdischen Ereignissen feststellen lässt. Mehr als 800 Horoskope und Geburtskarten, die von Kepler gezeichnet wurden, sind heute noch erhalten. Einige betreffen ihn selbst oder seine Familie, versehen mit nicht schmeichelhaften Bemerkungen. Als Teil seiner Aufgabe als Landschaftsmathematiker in Graz erstellte Kepler eine Prognose für 1595, in der er schwere Aufstände, die türkische Invasion und bittere Kälte voraussagte, was alles eintrat und ihm Anerkennung einbrachte.

Schon 1608 hatte Kepler Wallenstein das Horoskop gestellt. Es ist erhalten geblieben und enthält unter anderem ein für Wallenstein nicht gerade schmeichelhaftes Charakterbild. Wie zum Trost fügt Kepler hinzu: „Es ist aber das Beste an dieser Geburt, daß Jupiter darauf folgt und Hoffnung machet, mit reifem Alter werden sich die meisten Untugenden abwetzen und also diese seine Natur zu hohen, wichtigen Sachen zu verrichten tauglich werden“.

Wallenstein war kaum 25 Jahre alt, als er diese erste Horoskopdeutung entgegennahm. Er hat sie im Laufe der Jahre vielfach überprüft und eigenhändig mit Anmerkungen versehen. Später, 1624, trug Wallenstein erneut durch den Oberstleutnant Gerard von Taxis an Kepler die Bitte heran, nach geänderter Geburts-Horoskop-Berechnung eine zweite Ausdeutung zu geben. Im Januar 1625 kam Kepler diesem Wunsch nach und unterzog Wallensteins erstes Horoskop einer gründlichen Revision.

Wallenstein war bekanntlich ungleich astrologiegläubiger als Kepler. Ihm lag daran, bis in die Einzelheiten den Lauf seines Schicksals auf dem Vorwege zu erfahren. Kepler sollte ihm sagen, was ihm in jedem Jahr als Glück und Unglück zustoßen würde, wie lange der Krieg noch dauern, ob er zu Hause oder in der Ferne sterben und welches seine Todesursache, etwa ein Schlaganfall, sein würde, wer seine verborgenen und öffentlichen Feinde seien usw. Kepler betont in seinem zweiten Horoskop-Gutachten, dass er dieses als Philosoph, das heißt, als nüchtern denkender Mensch verfasst habe und nicht aus der Stimmung der im Aberglauben verhafteten Volks-Astrologie. Entschieden wehrt er sich gegen Wallensteins Wunsch, bis in die Einzelheiten, zeitlich festgelegt, sein Schicksal im Voraus zu erfahren. Denn nach Keplers präziser Auffassung ist dies unmöglich. Das ganze Gutachten ist durchzogen von Warnungen vor dem astrologischen Fatalismus. Es ist eine einzige Unterbauung von Keplers Grundthese: „Die Sterne zwingen nicht, sie machen nur geneigt“. Kepler räumt der menschlichen Willkür die Möglichkeit ein, himmlische Zwänge zu durchbrechen und von dem astrologisch vorgezeichneten Weg abzuweichen. "Fast nie wirkt nach ihm der Himmel allein, sondern der Geborene und andere, mit welchen er es zu tun hat, tun viel und fangen viel aus freier Willkür an, was sie auch wohl hätten unterlassen können und wozu sie vom Himmel nicht gezwungen wären". Unmissverständlich weist er mit scharfen Worten das Ansinnen Wallensteins zurück, die oben genannten konkreten Fragen, wie zum Beispiel nach der Todesursache, aus dem Horoskop vorauszusagen.

Wallenstein hatte sich diese erneute Maßregelung durch Kepler im Jahre 1625 gefallen lassen, wahrscheinlich auch dessen geistige Überlegenheit empfunden. Im Jahre 1628, als Kepler nicht ein noch aus wusste, trat Wallenstein erneut auf den Plan. Der Gedanke, den großen Astrologen und Astronomen an sich zu fesseln, bestach ihn. Er hatte zwar seinen eigenen Hausastrologen, den Italiener Giovanni Baptista Seni, aber dieser reichte auch nicht von ferne an das heran, was sich Wallenstein von Kepler versprechen konnte. So kam es mit Billigung Ferdinands II. dazu, dass Wallenstein Kepler das Angebot machte, ganz in seine Dienste zu treten.

Hintergrund

Kepler zählt zu den Begründern der modernen Naturwissenschaften. Sein Leben war geprägt von tiefer Glaubensüberzeugung und sein Weltbild beruhte auf der hermetischen Tradition, die sich von Pythagoras (Harmonien im All) über Platon (Mathematik ist Alles) bis zu dem von Dionysios zitierten Hermes Trismegistos erstreckte. In dieser Tradition gab es Fernwirkungen und Harmonien, die uns mittelalterlich-okkult erscheinen mögen – für Kepler war seine Weltanschauung logisch, einfach und klar. Vor diesem Hintergrund jedoch markiert Kepler den Übergang von einer qualitativen Naturphilosophie zu quantitativen Naturwissenschaften.

Seine Entdeckung der drei Planetengesetze machte aus dem mittelalterlichen Weltbild (in dem körperlose Wesen die Planeten einschließlich Sonne in stetiger Bewegung hielten) ein dynamisches System, in dem die Sonne durch Fernwirkung die Planeten aktiv beeinflusst. Er selbst allerdings nannte sie nie „Gesetze“; sie waren in seinen Augen vielmehr Ausdruck der Weltharmonie, die der Schöpfer seinem Werk mitgegeben hatte. Und aus seiner Sicht war es auch göttliche Vorsehung, die den Theologiestudenten zum Studium der Gestirne führte. Die natürliche Welt war ihm ein Spiegel, in dem die göttlichen Ideen sichtbar werden konnten, der gottgeschaffene menschliche Geist dazu da, sie zu erkennen und zu preisen.

In diesem Sinne wollte er die Vermutungen, die Kopernikus geäußert hatte, als richtig beweisen; dies war Keplers Art von „Gottesdienst“. Dies bedeutete jedoch, dass er von dem

Gedanken abging, das kopernikanische System sei lediglich ein (hypothetisches) Modell zur einfacheren Berechnung der Planetenpositionen, sondern eine physikalische Tatsache. Damit stieß Kepler nicht nur bei der katholischen Kirche, sondern auch bei protestantischen Vorgesetzten auf erbitterten Widerstand. Denn auf beiden Seiten galten die Lehren von Aristoteles und Ptolemäus als unantastbar.

Am Beginn seiner Überlegungen allerdings stand die „Erleuchtung“, die Abstände der fünf (!) Planeten von der Sonne entsprächen genau ein- und umgeschriebenen Kugeln zu den fünf (!) platonischen Körpern. Als er rechnerisch weitgehende Übereinstimmung fand, war er sicher, mittels Mathematik und Beobachtung den Bau (die „Architektur“) des Alls enthüllt zu haben.

Als Kepler im Jahr 1604 die Supernova 1604 beobachtete, sah er auch darin die Vorsehung am Werk: er stellte sie nicht nur in Zusammenhang mit der Konjunktion von Jupiter und Saturn (1603) und vermutete, der neue Stern sei durch diese ausgelöst worden. Er behauptete, Gleiches habe sich beim Erscheinen des Sterns von Bethlehem ereignet: Auch dieser sei in Folge einer großen Planetenkonjunktion sichtbar geworden (erste naturwissenschaftliche Stern-von-Bethlehem-Theorie). In gleicher Weise sei nunmehr (1604) die Wiederkunft des Herrn nicht mehr fern.

Bereits sein Werk *De fundamentis ...* von 1601 zeigt seine genaue Kenntnis der Astrologie. Diese blieb bis an sein Lebensende ein wesentlicher Teil seiner naturphilosophischen Beschäftigung. (Es hätte ihn vielleicht befriedigt, wenn er noch erlebt hätte, wie „zuverlässig“ seine Vorhersage zu Wallensteins Schicksal im Spätwinter 1634 war.)

Ein Forscher, der solch „dunkle“ Lehren zur Grundlage seiner naturwissenschaftlichen Untersuchungen machte, musste einem Rationalisten wie Galilei zwielichtig erscheinen. Mit Galilei wechselte er zwar öfters Briefe, dieser jedoch hielt nicht viel von Keplers „fernwirkenden Kräften“ und esoterischen „Harmonien“. So war das Verhältnis zwischen den Beiden – manchen fachlichen Übereinstimmungen zum Trotz – eher gespannt, was besonders in Keplers gleichzeitiger Korrespondenz mit Matthias Bernegger zum Ausdruck kommt.

Kepler aber befand sich im 17. Jahrhundert in bester Gesellschaft: noch Isaac Newton zeigte von seiner Studienzeit bis ins hohe Alter starkes Interesse an qualitativer Naturphilosophie (einschließlich Alchemie) und gelangte so zu seinen entscheidenden Überlegungen zur Schwerkraftwirkung der Massen.

Würdigungen

In Leipzig wurde ein Gymnasium mit dem Namen Johannes-Kepler-Gymnasium eröffnet. Diese Schule wird im Jahr 2006 100 Jahre alt. Auch in Chemnitz, Stuttgart, Tübingen, Graz, Reutlingen und anderen Städten gibt es Gymnasien, die seinen Namen tragen.

Da Kepler sich einige Zeit in Linz aufhielt, wurde die dortige Universität ihm zu Ehren Johannes-Kepler-Universität genannt. Weiter erhielten die Sternwarten in Weil der Stadt, Graz und Linz den Namen Kepler-Sternwarte.

Darüber hinaus tragen ein prominenter Mondkrater und der Asteroid (1134) Kepler seinen Namen.

In seinem Heimatort Weil der Stadt wurde ihm zu Ehren 1870 ein Denkmal errichtet, auf dem verschiedene Szenen aus seinem Leben dargestellt sind.