

Messende und mathematisierende Astronomie im Altertum

Vortrag im Rahmen des Symposiums:

„Himmelsgesetze - Naturgesetze: Rechtsförmige Interpretationen
kosmischer Phänomene in der antiken Welt.“

Universität Zürich, 5.-6. September

Jörg Hüfner, Universität Heidelberg

Das Thema der Tagung, die rechtsförmige Interpretation kosmischer Phänomene, ist ein Konzept, mit dem ein Physiker von heute seine Schwierigkeiten hat. Zwar beobachtet auch er, ähnlich wie seine Kollegen in der Antike, Regelmäßigkeiten im kosmischen Geschehen, die er Naturgesetze nennt. Aber die Vorstellung, dass hinter diesen Gesetzen ein Gesetzgeber stehen könnte, vergleichbar mit einem König, der für sein Volk Gesetze erlässt, ist ihm fremd. Der heutige Physiker glaubt vielleicht an einen Schöpfer, der die Welt samt ihrer Gesetze erschaffen hat, aber er ist gleichzeitig davon überzeugt, dass der Schöpfer nach dem Akt der Schöpfung nicht mehr in das Naturgeschehen eingreift. Sonst wäre Wissenschaft, so wie wir sie heute betreiben, nicht möglich. Denn sie beruht auf der Annahme, dass Naturgesetze unveränderlich sind. Juristische Gesetze aber können gebrochen und verändert werden. Deshalb darf eine irdische Regierung, anders als ein Weltschöpfer, sich nicht darauf beschränken, Gesetze zu erlassen, sondern sie muss auch deren Einhaltung überwachen.

Der Schwerpunkt der Tagung liegt auf den rechtsförmigen Interpretationen kosmischer Phänomene in der Antike. Aber ein Phänomen kann erst dann interpretiert werden, wenn es erkannt und erforscht worden ist. Als Physiker kann ich zu der Tagung nur insoweit beitragen, als ich einen Überblick über die in der Antike untersuchten kosmischen Phänomene gebe. Ich werde also über die Anfänge der naturwissenschaftlichen Astronomie im antiken Mesopotamien und in Griechenland sprechen. Das Material für meinen Vortrag habe ich aus der angegebenen Literatur zusammengetragen.¹ Da ich selbst kein Historiker bin und mich deshalb schlecht in frühere Zeiten und ihre Vorstellungen hineinversetzen kann, stelle ich die antiken wissenschaftlichen Entdeckungen weitgehend aus der Sicht des modernen Naturwissenschaftlers dar. Ich bitte um Verständnis für diese ahistorische Perspektive. Auch das Wort Naturgesetz werde ich im modernen Sinne verwenden, nämlich als Bezeichnung für Regelmäßigkeiten, die in kosmischen Erscheinungen durch Beobachtung und Nachdenken erkannt worden sind. Von einem Gesetzgeber wird keine Rede sein.

I. Eine kurze Einführung in die Methoden der Astronomie

Die Beobachtung des Himmels und das Auffinden von Regelmäßigkeiten ist eine Kunst – Kunst im Sinne von Können. Sie wurde schon früh von Fachleuten, die wir Astronomen nennen wollen, ausgeübt und im Lauf der Zeit ständig verbessert. Allerdings wissen wir wenig darüber, wie die frühen Himmelsbeobachter gearbeitet haben. Wenn ich Ihnen dennoch einen Eindruck geben will, wie Sterne beobachtet, ihre Positionen vermessen und die Ergebnisse ausgewertet worden sind, muss ich auf Zeugnisse späterer Astronomen zurückgreifen. Ich habe dazu Tycho Brahe und Johannes Kepler gewählt. Zwar gehören diese beiden Männer,

¹ B. L. van der Waerden, *Erwachende Wissenschaft*, Band 2: Die Anfänge der Astronomie, Basel/Stuttgart: Birkhäuser, 1968

B. L. van der Waerden, *Die Astronomie der Griechen*, Eine Einführung, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1988

A. Pichot, *Die Geburt der Wissenschaft*, Von den Babyloniern zu den frühen Griechen, Frankfurt/New York: Campus, 1995

die um die Wende vom 16. zum 17. Jahrhundert gelebt haben, nicht mehr zur Antike, aber ihre Denk- und Arbeitsweisen sind noch stark von der Antike geprägt.

Der Däne Tycho Brahe (1546 – 1601) hatte mit beträchtlichen Mitteln seines Landesherren eine astronomische Forschungsstätte aufgebaut und dort über 20 Jahre lang die Bewegung der Sterne beobachtet. Brahe war nicht nur ein bedeutender Astronom, sondern auch ein genialer Ingenieur, der hochpräzise Beobachtungsgeräte entwarf und bauen ließ. Abbildung 1, die einem Werk von Brahe entnommen ist, zeigt einen Blick in die astronomische Praxis seiner Zeit. Der Quadrant (Viertelkreis) mit einem Radius von etwa drei Metern ist das Herzstück der Anlage. Er ist aus Messing geschmiedet und sorgfältig mit einer feinen Winkelskala versehen. In der Mitte der Abbildung sitzt Brahe – überdimensional groß dargestellt – und zeigt auf einen Stern, den sein Assistent vermessen soll. Das Licht des Sterns fällt durch einen Spalt in der Mauer, die auf der linken Seite des Bildes zu sehen ist. Der Assistent verschiebt das Peilgerät auf dem Quadranten, bis er den Stern durch den Mauerspalt sehen kann. Die Position des Peilgerätes wird dann als Winkel auf dem Quadranten abgelesen und an den Protokollierer am Tisch weitergegeben. Daraus lässt sich die „astronomische Breite“ des beobachteten Sterns berechnen. Die Bezeichnungen „Breite“ und „Länge“ sind der Geographie entnommen: Jeder Ort auf der Erdoberfläche lässt sich durch die zwei Winkel der geographischen Breite und Länge festlegen. In analoger Weise wird die Position eines Sternes auf einer „Himmelskugel“ durch die beiden Winkel der astronomischen Breite und Länge festgelegt. Natürlich ist die Himmelskugel nicht real wie die Oberfläche der Erde, sondern man stellt sie sich nur vor. Denn da die Entfernungen der Sterne vom Beobachter in der Antike nicht bestimmt werden konnten, sah es so aus, als seien alle Gestirne gleichweit vom Beobachter entfernt.

Die astronomische Länge wird mithilfe einer Uhr gemessen. Da sich während eines Tages die Erde einmal um sich selbst dreht, kommt jeder Stern, der am Beobachtungsort sichtbar ist, einmal täglich ins Visier. Wann das geschieht, hängt von seiner astronomischen Länge ab. Der zweite Assistent rechts unten liest deshalb die Zeit ab, zu der der Stern ins Visier kommt, und gibt sie an den Protokollanten weiter. Da damals die Uhren noch recht ungenau waren, ließ Brahe zwei Uhren aufstellen und vermutlich den Mittelwert notieren, wodurch er die Genauigkeit der Zeitangabe erhöhen konnte. Brahe beobachtete den Himmel kontinuierlich wäh-



Abb. 1: Mauerquadrant des Tycho Brahe zur Beobachtung von Sternpositionen. Erklärungen im Text. Kolorierter Kupferstich aus Tycho Brahes Buch „Astronomiae Instauratae Mechanica“ (1598). Der Stern und der gestrichelte Lichtstrahl wurden nachträglich eingezeichnet.

rend zweier Jahrzehnte. Die geduldige Beobachtung über lange Zeiten ist ein Markenzeichen der Astronomie, heute wie auch im Altertum.

Als sein Gönner starb, wurde Brahe entlassen und ging mit seinen Daten an den kaiserlichen Hof nach Prag, wo er sie auswerten wollte. Da jedoch ihm und seinen Assistenten das dazu notwendige mathematische Rüstzeug fehlte, stellte er den 29-jährigen Johannes Kepler (1571 – 1630) ein, der sich als rechnender Astronom schon einen Namen gemacht hatte. Er sollte die Bahn des Planeten Mars aus den Beobachtungsdaten bestimmen. Großspurig meinte Kepler, das Problem in acht Tagen lösen zu können, er brauchte dann aber fast 20 Jahre, bis er die drei nach ihm benannten Gesetze der Planetenbewegung entdeckt hatte. Zunächst berechnete Kepler aus Brahes Daten, die für die Jahre 1580 bis 1596 vorlagen, die Bahn des Planeten Mars um die Erde (Abb. 2). Diese Bahn ist außerordentlich kompliziert. Erstens variiert der Abstand zwischen beiden sehr stark: abwechselnd kommt der Mars der Erde sehr nahe und entfernt sich dann wieder. Zweitens fallen die Schleifen ins Auge. Auf ihnen bewegt sich der Mars sogar rückläufig – von der Erde aus gesehen! Verfolgt man die Bahn des Mars, indem man z.B. bei einer Schleife beginnt, dann wird man auf einer kreisähnlichen Bahn geführt und erreicht nach etwa zwei Jahren die benachbarte Schleife. Ich zeige mit Absicht dieses Bild, damit man einen Eindruck bekommt, mit welcher komplizierten Bewegungen der Himmelskörper sich die antiken Astronomen auseinander setzen mussten. Man muss sie bewundern, dass sie dennoch Gesetzmäßigkeiten entdecken konnten.

Kepler vermutete, dass die Bahn des Mars nur deshalb so kompliziert war, weil er den „falschen“ Bezugspunkt benutzt hatte. Denn er war von dem heliozentrischen Planetensystem des Kopernikus (1473 – 1543) überzeugt. Deshalb berechnete Kepler aus Brahes Daten nicht nur die Bahn des Mars um die Erde, sondern auch die um die Sonne. (Abb. 3). Dabei fand er eine erstaunlich einfache Kurve, nämlich ein geschlossenes Oval. Eine genauere Analyse dieser Kurve ergab, dass es sich um eine Ellipse handelt, wobei die Sonne nicht im Mittelpunkt, sondern in einem der beiden Brennpunkte steht. Dieses Ergebnis heißt heute „erstes Keplersches Gesetz“. In dem heliozentrischen System lässt sich die komplizierte Bahn des Mars in Abb. 2 auch leicht verstehen. Beide Planeten, Erde

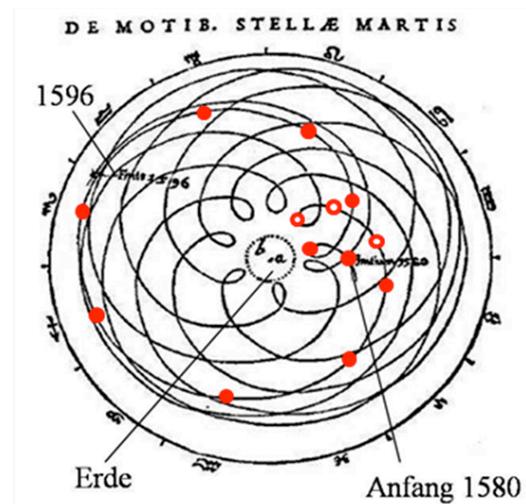


Abb. 2: Blick auf die Bahn des Planeten Mars. Die Erde steht im Zentrum und ist als ruhend angenommen. Die Bahn beginnt im Jahr 1580 und endet im Jahr 1596. Damit der Leser die Bahn, die entgegen dem Uhrzeiger verläuft, besser verfolgen kann, sind der erste Umlauf durch Punkte und der Anfang des zweiten durch offene Kreise markiert. Kepler berechnete die Kurve aus Brahes Daten und veröffentlichte sie seinem Werk „Astronomia Nova“ (1609), woraus diese Abbildung entnommen wurde.

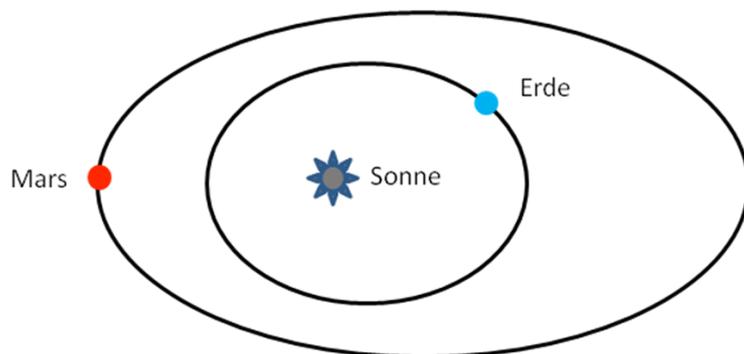


Abb. 3: Die Bahnen von Mars und Erde im heliozentrischen System. Es handelt sich um Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. Die Exzentrizität d.h. die „Streckung“ der beiden Ellipsen ist in dem Bild übertrieben groß gezeichnet.

und Mars, bewegen sich um die Sonne. Da die Erde dazu ein Jahr und der Mars fast zwei Jahre (genauer 1,881 Jahre) benötigt, bleibt der Abstand zwischen Erde und Mars nicht konstant, sie kommen sich näher und entfernen sich voneinander. Es kommt sogar manchmal vor, dass die Erde den Mars „überholt“, dann sieht es so aus, als würde der Mars sich rückwärts bewegen, was zu den Schleifen führt.

Aus dieser kurzen historischen Übersicht möchte ich drei Aspekte hervorheben:

Erstens: Sorgfältige Messungen über lange Zeiträume sind das Fundament jeder neuen Erkenntnis. Keplers Entdeckungen waren nur möglich, weil er sich auf die überaus genauen Daten von Tycho Brahe stützen konnte.

Zweitens: Die bis zu Kopernikus vorherrschende Ansicht, dass alle Sterne sich um die Erde bewegen, ist zwar nicht falsch, führt aber zu sehr komplizierten Bahnen, die den Astronomen der Antike große Schwierigkeiten bereiteten. Wenn man sich in das System begibt, in dem die Sonne ruht, werden die Phänomene am Himmel einfacher.

Drittens: Nur im heliozentrischen System sind alle Bahnen streng periodisch, d.h. die Planeten bewegen sich auf geschlossenen Kurven, deren Durchlauf sich nach jeweils einer Periode wiederholt. Das gilt nicht, wenn man die Planetenbewegung im geozentrischen System betrachtet, wie man aus Abb. 2 sieht.

Im Folgenden werde ich an einigen Beispielen die Beiträge der Mesopotamier und der Griechen zum Fortschritt der Astronomie schildern. Ganz grob lassen sich diese in folgender Weise charakterisieren: die Mesopotamier waren sehr geduldige und genaue Beobachter, die über lange Zeiträume die Veränderungen am Himmel beobachtet und aufgezeichnet haben. Die Griechen haben sich vorwiegend denkend und rechnend mit dem Aufbau des Planetensystems beschäftigt. Die Astronomie der alten Ägypter werde ich nicht behandeln u.a., weil von ihr relativ wenig überliefert ist.

II. Die Entdeckung der Periodizität

Über die Geräte, mit denen die Astronomen des Altertums beobachteten, wissen wir nicht viel. Vermutlich haben sie, ähnlich wie Brahe, gewisse Peilgeräte und Uhren benutzt. Abbildung 4 zeigt zwei Beispiele, allerdings nicht in Originalabbildungen. Mit dem Gnomon, einem Vorläufer der Sonnenuhr, ließen sich Höhe und Winkelposition der Sonne bestimmen. Zur Zeitmessung war die Wasseruhr oder Klepsydra gebräuchlich. Die Menge des ausgeflossenen Wassers zeigt die „verflossene“ Zeit an.

Zu den Erfolgen der mesopotamischen Astronomie trug sicherlich auch der hohe Grad ihrer Organisation bei. Die Beobachtung der Himmelsphänomene war eine staatliche Aufgabe. Es wurden vom Staat unterhaltene Beobachtungsstationen eingerichtet, die dem Hof regelmäßig berichten mussten, und diese Berichte wurden archiviert. Und das über sehr lange Zeiten, über viele Jahrhunderte! Diese verlässlichen Daten waren im ersten vorchristlichen Jahrtausend unter den Astronomen des Mittelmeerraums verbreitet, und sogar Ptolemaios (ca. 90 – 168 n.Chr.) aus Alexandria konnte sich noch auf sie stützen.

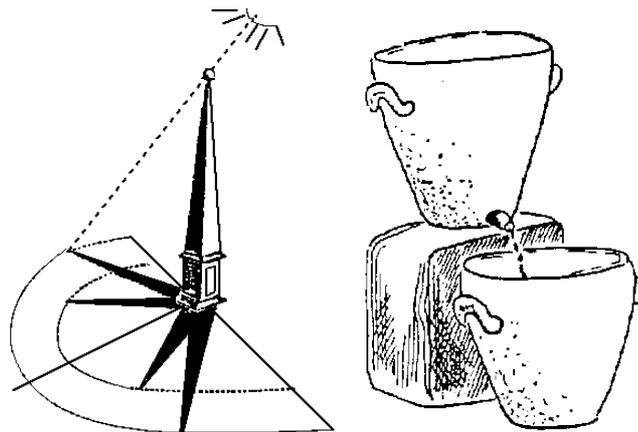


Abb. 4: Zwei Instrumente der antiken Astronomen. Links der Gnomon zur Beobachtung des Sonnenstandes und rechts die Wasseruhr zur Zeitmessung.

Die mesopotamischen Astronomen hatten zwei wesentliche Aufgaben: die Erstellung eines verlässlichen Kalenders und die Herausgabe einer ausgefeilten Astrologie. Der Kalender war nicht nur für die Landwirtschaft wichtig, sondern auch für die Verwaltung des Reiches, wie das folgende Zitat aus einem Täfelchen aus der Zeit des Hammurapi (1792 – 1750 v. Chr.) bezeugt: „Hammurapi sagt seinem Minister Sin-idinnam dies: Das Jahr ist nicht mehr an seinem Platz. Lass den nächsten Monat unter dem Namen Ululu II eintragen. Die Entrichtung der Steuern in Babylon soll anstatt bis zu 25 Taschiritu bis 25 Ululu abgeschlossen sein.“² Die Einschubung eines zusätzlichen Monats zog also keine Verlängerung des Steuertermins nach. Wie der Kalender so war auch die Astrologie eine staatliche Aufgabe. Denn man wollte den Willen der Götter aus den Geschehnissen am Himmel erschließen, um daran das staatliche Handeln auszurichten. Die mesopotamischen Astronomen studierten dazu die Positionen wichtiger Sterne in systematischen Beobachtungsreihen und zeichneten sie auf. Gleichzeitig wurden irdische Ereignisse, wie Wetter, politische Veränderungen usw. notiert, um einen Zusammenhang zwischen irdischen und himmlischen Geschehnissen herauszufinden. Die Regelmäßigkeit der Himmelsphänomene wurde erst allmählich entdeckt.

Das erste uns bekannte Beispiel einer systematischen Himmelsbeobachtung in Mesopotamien bezieht sich auf den Planeten Venus. Die Venus ist nach Sonne und Mond der hellste Himmelskörper und hat wohl deshalb schon früh die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich gezogen. Der Planet wurde mit der Göttin Ishtar in Verbindung gebracht. Die ersten systematischen Beobachtungen über einen Zeitraum von 20 Jahren stammen vermutlich aus der Regierungszeit des babylonischen Königs Amnizaduga, der etwa 150 Jahre nach Hammurapi regierte, und sind in dem Omenbuch *Enuma Anu Enlil* enthalten. Wir geben ein Beispiel für eine solche Eintragung: „Wenn im Monat Sabatu [entspricht etwa unserem Monat Februar] am 15. Tage Venus im Westen verschwand, 3 Tage unsichtbar blieb und am 18. Sabatu wieder erschien, (so gibt) es Katastrophen von Königen; Adad wird Regen bringen, Ea unterirdische Wasser; Könige werden Königen Grüße senden.“³ Dieser Text enthält Aussagen über drei Bereiche des babylonischen Lebens, über Auf- und Untergänge der Venus, über den König und über die Wasserverhältnisse. Er zeigt, wie damals astronomische, politische und meteorologische Geschehnisse als zusammengehörig angesehen wurden.

Ich beschränke mich im Folgenden auf die astronomischen Aussagen. In dem zitierten Text heißt es, dass die Venus an einem bestimmten Datum im Westen unterging und drei Tage lang nicht beobachtet werden konnte. Wie verstehen wir das heute? Die Venus ist unser Nachbarplanet und umläuft die Sonne auf einer engeren Bahn als die Erde. Deswegen tritt sie immer nur in unmittelbarer Nachbarschaft zur Sonne auf. Wenn die Venus überhaupt sichtbar ist, dann als „Morgenstern“ eine kurze Zeit vor Sonnenaufgang, und als „Abendstern“ eine kurze Zeit nach Sonnenuntergang. Dass es sich bei dem Morgen- und Abendstern um denselben Stern handelt (was ja nicht selbstverständlich ist), wussten die Babylonier schon bald. In dem Zitat geht Venus im Westen unter, also als Abendstern. In den drei Tagen, in denen sie nicht sichtbar ist, befindet sie sich in einer Position, wo ihr Licht vom dem der Sonne überstrahlt wird.

Als die babylonischen Astronomen die Daten, die sie über zwanzig Jahre aufgezeichnet hatten, analysierten, entdeckten sie, dass sich das beobachtete Geschehen nach acht Jahren (genauer nach acht Jahren minus 2 ½ Tagen) wiederholte. Diese Entdeckung der „achtjährigen Venusperiode“ hatte damals vielleicht dieselbe Bedeutung wie später das erste Keplersche Gesetz und war eine der ersten Entdeckungen einer Ordnung in dem komplizierten Verhalten von Sternen und ein Schritt zu einer Naturbeschreibung im Sinne der modernen Physik.

Verfinsterungen des Mondes und der Sonne waren in der Antike immer Zeichen für außerordentliche Ereignisse, oft Unglücke, und wurden deshalb genau beobachtet. Ich zitiere aus ei-

² Pichot, aaO., 126.

³ Van der Waerden, *Erwachende Wissenschaft*, aaO., 35

nem Bericht des Hofastrologen Nadinu des assyrischen Königs Assarhaddon (680 – 669 v. Chr.): „Am 14. wird eine Mondfinsternis stattfinden; Böses für Elam und Amurru, Gutes für meinen Herrn König. Das Herz meines Königs möge sich freuen.[..].“⁴ Hier wird also eine Mondfinsternis vorausgesagt. Auf einem anderen Täfelchen lesen wir: „...meinem Herrn habe ich geschrieben: ‚eine Finsternis wird stattfinden‘. Nun ist sie <nicht> vorbeigegangen, sie hat stattgefunden. Im Stattfinden dieser Finsternis liegt Heil für meinen Herrn König.[...]“⁵ Es ist nicht klar, ob sich die beiden Täfelchen, die Voraussage einer Finsternis und ihre Bestätigung, auf dasselbe Ereignis beziehen. Aber wir lernen daraus, dass die Voraussagen damals nicht ganz zuverlässig waren. Es gibt nämlich auch Täfelchen, auf denen berichtet wird, dass eine Voraussage nicht eingetreten sei.

Auf welcher Basis konnten solche Voraussagen überhaupt gemacht werden? Seit der Zeit des assyrischen Königs Nabonassar (747 – 735 v. Chr.) wurden Listen über alle Finsternisse geführt. Diese wurden auf Regelmäßigkeiten untersucht, ganz ähnlich wie bei den Venusbeobachtungen. Am bekanntesten ist der entdeckte Saros Zyklus von 18 Jahren und 11 Tagen: Nach dieser Periode wiederholen sich mit recht guter Genauigkeit alle Sonnen- und Mondfinsternisse.

Ausgangspunkt der mesopotamischen Astrologie war die Hoffnung, die Absichten der Götter aus den Geschehnissen am Himmel erschließen zu können und damit Erfolg oder Misserfolg königlicher Entscheidungen voraussagen zu können. Die zugehörigen Himmelsbeobachtungen führten zur Entdeckung von Naturgesetzen in der Form von Periodizitäten, auf deren Basis künftige Himmelskonstellationen vorausberechnet werden konnten. Aber entgegen meiner naiven Erwartung hat die Voraussagbarkeit eines kosmischen Ereignisses seinen astrologischen Wert nicht gemindert – im Gegenteil, wie ich von Stefan Maul lernte. Denn wenn zum Beispiel ein unglückbringendes Zeichen verlässlich vorausgesagt wurde, so konnte sich der König darauf einstellen und mit einem Opfer oder einer anderen Handlung versuchen, die zuständige Gottheit zu besänftigen und damit das Unglück abzuwenden. Denn in der mesopotamischen Vorstellung war ein das Eintreten eines Naturereignisses nicht naturnotwendig.

III. Die Rolle der Zahlen in der Naturbeschreibung

„Das Buch der Natur ist in der Sprache der Juristen geschrieben.“ Mit diesem Satz könnte man – sicherlich vereinfacht – den Grundgedanken der rechtsförmigen Interpretation von Naturphänomenen erfassen. Aber selbst im Altertum handelte es sich dabei nicht um die einzige Interpretation von Naturphänomenen. Denn schon im zweiten vorchristlichen Jahrtausend benutzten die Mesopotamier Zahlen, um die von ihnen entdeckten Naturgesetze – man denke an den Kalender und die Venusperiode – zu formulieren. Bei der rechtsförmigen und der zahlenmäßigen Erfassung von Himmelsphänomenen handelte es sich also um zwei nebeneinander bestehende Beschreibungs- und Verständnisweisen. Erst im Lauf des ersten vorchristlichen Jahrtausends schälte sich bei den Griechen die Erkenntnis heraus, dass die Mathematik die für die Naturbeschreibung adäquatere Sprache ist. Viel später hat Galilei dafür den berühmten Satz gefunden „Das Buch der Natur ist in der Sprache der Mathematik geschrieben.“ Dieser Aussage würde auch ein Physiker von heute noch zustimmen.

In Ägypten und in Mesopotamien war die Mathematik weit entwickelt, aber sie blieb ein Hilfsmittel, um konkrete Probleme zu lösen. Wir würden heute von angewandter Mathematik sprechen. Als eigenständige Wissenschaft und als Teil einer philosophischen Weltanschauung wurde die Mathematik vermutlich zuerst von den Pythagoreern ab dem 6. Jahrhundert v. Chr. betrieben. Deren Gedanken waren so wirkungsmächtig, dass ich darauf näher eingehen möchte.⁶

⁴ Van der Waerden, *Erwachende Wissenschaft*, aaO., 91

⁵ Van der Waerden, *Erwachende Wissenschaft*, aaO., 91

⁶ W. Burkert, *Walter, Weisheit und Wissenschaft, Studien zu Pythagoras, Philolaos und Platon*, Nürnberg, Hans Carl, 1962

In seiner Jugend soll sich Pythagoras (ca. 570 – 510 v. Chr.) in Ägypten und in Kleinasien aufgehalten haben, wo er sich u.a. mit den dortigen mathematischen und astronomischen Kenntnissen vertraut gemacht hat.⁷ Das Gelernte wurde dann in der von ihm in Süditalien gegründeten Schule weiterentwickelt. Dafür ein Beispiel. Auch wenn die Eigenschaften rechtwinkliger Dreiecke in Ägypten und Mesopotamien schon lange bekannt und in der Landvermessung wichtig waren, so wurde der „Satz des Pythagoras“ als mathematisches Theorem wohl erst von den Pythagoreern bewiesen. Sie haben zum einen die Mathematik als eigenständige Wissenschaft der Zahlen und geometrischen Formen geschaffen und zum anderen eine „Philosophie der Zahlen“ vertreten, die eine ungeheure Wirkung auf das Denken späterer Philosophen und Naturforscher ausgeübt hat. Da uns die Schriften der Pythagoreer nicht überliefert sind, wissen wir von diesen Ideen nur aus den Werken späterer Autoren. So schreibt Aristoteles: „Da sie [die Pythagoreer] nun ganz in ihr [der Mathematik] lebten und webten, so kamen sie auf den Gedanken, die Prinzipien des Mathematischen seien zugleich auch die Prinzipien alles Seienden. In der Mathematik ist aber die Zahl natürlicherweise das Erste, und in der Zahl glaubten sie nun vielfache Ähnlichkeit mit dem Seienden und Werden zu finden, [...] Sodann sahen sie in der Zahl auch die Erscheinungsformen und Verhältnisse der Musik, [...] und [nahmen weiter an] der ganze Himmel sei Harmonie und Zahl.“⁸ Möglicherweise hatten die Pythagoreer an Saiteninstrumenten den allen Musikern vertrauten Zusammenhang zwischen der Höhe eines Tons und der Länge der angestrichenen Saite quantitativ untersucht und einfache Verhältnisse für gewisse Tonfolgen gefunden, z.B. ein Verhältnis von 2:1 für die Saitenlängen bei einer Oktave. Der in der Musik wichtige Begriff der Harmonie fand damit eine Entsprechung in Zahlenverhältnissen. Die Entdeckung eines Zusammenhangs zwischen Harmonie und Zahl, einem Zusammenhang zweier weit entfernter Bereiche menschlicher Aktivität, muss sie so stark fasziniert haben, dass sie vermuteten, ein allgemeines Prinzip in der Weltordnung entdeckt zu haben. In der Astronomie fanden sie dieses Prinzip bestätigt, und sie sprachen deshalb davon, dass „der ganze Himmel Harmonie und Zahl“ sei. Zweitausend Jahre später wurden diese Gedanken in dem Werk „Harmonia mundi“, worin Kepler auch das dritte von ihm entdeckte Gesetz der Planetenbewegung veröffentlichte, wieder aufgenommen – und nicht nur im Titel!

Die Pythagoreer gingen aber noch weiter und erklärten, dass ganz allgemein „die Prinzipien des Mathematischen zugleich auch die Prinzipien alles Seienden sind“, dass also die Zahlen das Geschehen in der Welt beherrschen. Das Wort „beherrschen“ kann dabei zweierlei bedeuten. Wenn man sagt, ein Bild sei von einer Baumgruppe beherrscht, dann meint man damit, dass die Baumgruppe das Wichtigste auf dem Bild ist. Beherrschen aber kann auch mit Befehlen in Verbindung gebracht werden in dem Sinne, dass die Zahlen die Abläufe in der Welt „befehlen“. Nach Pichot entspricht die zweite Deutung den Vorstellungen der Pythagoreer: „Nach pythagoreischer Auffassung ‚befiehlt‘ die Zahl den Dingen (oder die Dinge ahmen die Zahlen nach), aber wie das geschieht, bleibt unklar und damit auch der Status der Zahl.“⁹ Die Pythagoreer wandten ihr Prinzip aber auch auf abstrakte Begriffe an z.B. wie Beseelung, der sie die Zahl 6 zuordneten, oder Freundschaft, zu der die Zahl 8 gehören sollte. Was damit gemeint sein könnte, konnten mir auch Fachleute der griechischen Philosophie nicht sagen. Auch von den Mesopotamiern sind Versuche überliefert, die Struktur der Welt durch Zahlen auszudrücken. Auf einer Tafel aus der Bibliothek des Assurbanipal aus dem 7. Jahrhundert v.Chr. (also noch vor den Pythagoreern) wird jedem Gott eine Zahl zugeordnet: Zum Beispiel die Zahl 60 dem Vater aller Götter, Anu, die Zahl 30 dem Mondgott und die Zahl 15 der Göttin Ishtar. Zunächst ist damit sicherlich eine Rangliste aufgestellt, wobei die Bedeutung einer Gottheit durch die Höhe der ihr zugeordneten Zahl ausgedrückt ist. Aber auch hier, wie bei

⁷ C. Riedweg, Pythagoras: Leben, Lehre, Nachwirkung; Eine Einführung, München, Beck, 2002

⁸ Aristoteles, Metaphysik, 1. Buch, 2. Kapitel, zitiert nach Pichot, aaO.,398

⁹ Pichot, aaO.,391f

den Pythagoreern, muss man vermuten, dass diese Zuordnungen auch noch einen uns unbekannteren tieferen Sinn hatten, wobei vermutlich geniale Einsichten und Spinnerei eng benachbart waren, wie es Stefan Maul in einem Gespräch ausdrückte.

IV. Modelle für das Planetensystem

Mit Thales von Milet (um 600 v.Chr.) begann die Astronomie der Griechen. Von ihm wird überliefert, dass er eine Sonnenfinsternis vorausgesagt haben soll, vermutlich die des Jahres 585 v.Chr. Die Wissenschaftshistoriker sind sich jedoch darüber einig, dass Thales selbst nicht die dazu erforderlichen Langzeitbeobachtungen gemacht hatte. Er hatte sich vielmehr sein mathematisches und astronomisches Wissen auf Reisen nach Ägypten und Kleinasien angeeignet u.a. wohl auch die Kenntnis, wie Finsternisse berechnet werden.

Auch Pythagoras und seine Schüler haben sich auf ägyptisches und mesopotamisches Wissen in der Astronomie gestützt. Ihr großer Beitrag zum Fortschritt der Astronomie besteht darin, dass sie das erste bekannte Modell für den Aufbau des Planetensystems entworfen haben. Im Folgenden versuche ich zu rekonstruieren, wie sie dabei vielleicht vorgegangen sein könnten. Sie hatten drei Probleme zu lösen:

Erstens die räumliche Struktur des Himmels: Bei einer astronomischen Beobachtung werden nur die beiden Winkel bestimmt, unter denen ein Stern am Himmel erscheint, während sein Abstand von dem Beobachter nicht gemessen werden kann. So erscheint es einem irdischen Beobachter, als wären alle Gestirne an einer imaginären Kugelschale befestigt oder bewegten sich auf ihr. Der Vorschlag der Pythagoreer, dass die Himmelskörper nicht auf der zweidimensionalen Kugeloberfläche sondern im dreidimensionalen Raum verteilt sind, stellt deshalb eine großartige Denkleistung dar. Sie ergab sich wohl aus ihrer intensiven Beschäftigung mit der Geometrie räumlicher Körper.

Zweitens die Anordnung der einzelnen Himmelskörper im Raum: Alle Sterne außer Sonne und Mond zeigen sich dem bloßen Auge als Lichtpunkte verschiedener Helligkeit. Die Fixsterne bewegen sich einmal in 24 Stunden um die Erde, aber so, dass sich ihre relative Anordnung dabei nicht verändert, während sich die anderen Himmelskörper, Sonne, Mond und die Planeten, relativ zu den Fixsternen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegen. Die Pythagoreer nahmen nun an, dass die Fixsterne auf einer Kugelschale befestigt sind, die sich als Ganzes bewegt, während sich die Planeten im Innern der Schale bewegen. Weiter vermuteten sie, dass die sich schnell bewegenden Planeten der Erde näher sind, als die langsameren. Das war eine kühne, aber richtige Hypothese, wie erst Kepler mit seinem dritten Gesetz beweisen konnte.

Drittens die Form der Planetenbahnen: Hier ließen sich die Pythagoreer von Symmetrievorstellungen leiten, ganz ähnlich wie heutige theoretische Physiker, wenn sie in unbekannte Gebiete vorstoßen. Die Pythagoreer forderten nämlich, dass sich die Himmelskörper auf Kreisen bewegen. Denn Kreise sind in einem gewissen Sinn vollkommene Kurven, da sie schon durch zwei Angaben vollständig bestimmt sind, den Radius und die Lage des Mittelpunktes. Dass vollkommene mathematische Gebilde den als vollkommen angenommenen Himmelskörpern zugeordnet werden, entsprach der Weltsicht der Pythagoreer.

Das erste bekannte Modell eines Planetensystems (Abb. 5) wird dem Pythagoreer Philolaos (ca. 470 – 385 v.Chr.), einem Zeitgenossen des Sokrates, zugeschrieben. Die fünf Planeten, Saturn, Jupiter, Mars, Venus und Merkur bewegen sich zusammen mit Sonne, Mond und Erde und einer Gegenerde auf konzentrischen Kreisen um ein zentrales Feuer. Man beachte, dass im Zentrum dieses Systems nicht die Erde, sondern ein Zentralfeuer steht. Dieses bescheint die Sonne und die anderen Gestirne, die deshalb leuchten. Die Gegenerde wurde vermutlich eingeführt, weil damit die Zahl der Gestirne (wobei die Fixsternsphäre als ein Gestirn gerechnet wurde) auf zehn erhöht werden konnte. Denn zehn war für die Pythagoreer eine besondere Zahl.

Das Argument, mit dem die Gegenerde eingeführt wurde, scheint zunächst befremdlich. Als ich länger darüber nachdachte, fiel mir ein Beispiel für ähnliches Argumentieren aus der modernen Physik ein: das Higgs-Boson. Ohne dass es dafür eine empirische Evidenz gab, wurde dieses Teilchen 1964 postuliert, weil es eine elegante Möglichkeit eröffnete, zu verstehen, wie die verschiedenen Massen der Quarks zustande kommen. Das Higgs-Boson ist heute zwar in aller Munde, ist aber immer noch nicht nachgewiesen, obwohl schon seit 40 Jahren und auch jetzt im LHC-Beschleuniger am CERN intensiv danach gesucht wird. Vielleicht wird es auch einmal verschwinden wie die Gegenerde der Pythagoreer.

Die weitere Entwicklung der Vorstellungen vom Planetensystem soll nur noch kurz skizziert werden. Zunächst verschwanden Zentralfeuer und Gegenerde im Modell des Philolaos, weil es dafür keine empirische Evidenz gab, und die Erde rückte ins Zentrum. Dieses geozentrische System galt dann zwei Jahrtausende, allerdings nicht

unbestritten. Aristarch von Samos (um 270 v. Chr.), den man auch den Kopernikus der Antike nennt, schlug nämlich vor, die Sonne ins Zentrum zu setzen, da auf diese Weise die Schleifenbewegungen erklärt werden könnten, denen wir schon bei der Bahn des Mars um die Erde begegnet sind (Abb.2). Obwohl sein Gedanke richtig war, wurde er in der Antike nicht akzeptiert, denn er implizierte, dass die Erde sich um die eigene Achse dreht, wofür es damals keine Beweise gab. Das geozentrische Planetenmodell wurde von Ptolemaios (ca. 90 – 168 n.Chr.) mathematisch so vervollkommenet, dass viele Sternkonstellationen vorausberechnet werden konnten.

Mit geringfügigen Verbesserungen blieb das Ptolemäische Planetensystem das akzeptierte Weltmodell für die nächsten 1200 Jahre. Der Grund ist wohl nicht darin zu suchen, dass es besonders gut war, sondern eher darin, dass die politischen und religiösen Umbrüche im Mittelmeerraum in der Zeit nach Ptolemaios eine Naturwissenschaft auf hohem Niveau unmöglich machten. Erst Kopernikus hat dann das astronomische Weltmodell der Antike zu seinem Abschluss geführt, indem er die Sonne ins Zentrum des Planetensystems rückte, wobei er sich auf antike Autoren stützte. Etwas überspitzt könnte man deshalb argumentieren, dass nicht mit Ptolemaios die antike Astronomie *geendet* habe, sondern erst mit Kopernikus (und vielleicht mit Brahe und Kepler). In dieser Sicht würde die moderne Astronomie erst mit Galilei und Newton *beginnen* und das aus guten Gründen: Denn mit dem Fernrohr führte Galilei ein Instrument ein, mit dem ganz neue, der Antike verborgene Himmelsphänomene entdeckt werden konnten. Und mit seiner Theorie der Bewegung von Körpern und dem Gravitationsgesetz konnte Newton die Planetenbahnen nicht nur *beschreiben*, sondern sogar ihre Form *begründen*. Aus der Antike sind nur beschreibende Naturgesetze überliefert.

In meinem Vortrag habe ich mich auf die naturwissenschaftliche Beschreibung kosmischer Phänomene im Altertum beschränkt und habe diesen Aspekt sicherlich überbetont. Ich habe von Messungen, von deren mathematischer Auswertung und von Weltmodellen gesprochen, als handele es sich um moderne Physik. Das ist natürlich übertrieben. Dennoch war ich erstaunt, als ich bei der Vorbereitung des Vortrags lernte, dass naturwissenschaftliche Methoden

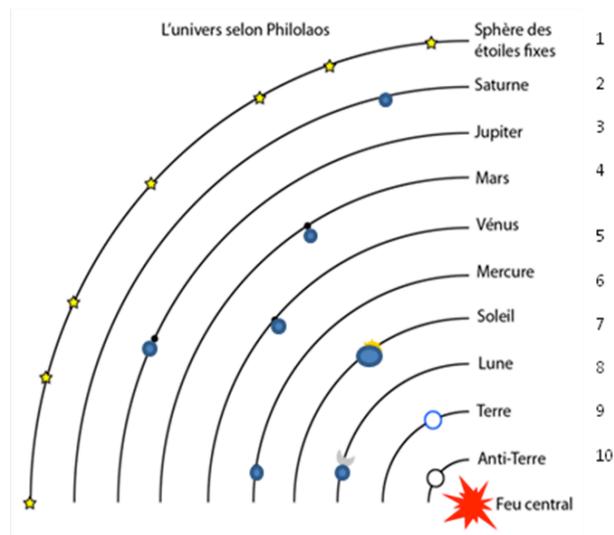


Abb. 5: Der Aufbau des Planetensystems nach Philolaos. Das Bild soll nur die Anordnung der Himmelskörper zeigen, aber nicht deren Entfernungen von einander.

und Denkweisen schon früh in den Kulturen des Zweistromlandes und Griechenlands zu finden sind – zumindest in Ansätzen.

Dank: Den Herren Walter Burkert (Zürich), Rudolf Löhken (Heidelberg), Stefan Maul (Heidelberg), Michael Peachin (New York), Rudolf Taube (Halle) und Christian Wildberg (Princeton) danke ich für wertvolle Diskussionen.