

Das Weltbild in den Wissenschaften – Geschichte einer Konzeption

EBERHARD KNOBLOCH

Was Aristoteles seiner Analyse des Bewegungsbegriffs entnahm, wies Otto von Guericke experimentell mit Hilfe seiner Luftpumpe nach: die Existenz Gottes. Mag der unbewegte Beweger des Stagiriten vom christlichen Gott des Magdeburger Bürgermeisters auch noch so verschieden gewesen sein: Der Befund zeigt, daß ein Diskurs über Weltbilder unter Naturwissenschaftlern, Mathematikern, Ingenieuren nicht ohne Bezug zur Theologie geführt werden konnte. Ich will versuchen, die Geschichte dieses Diskurses an Hand von fünf Beispielen nachzuzeichnen:

1. Mathematik versus Physik
 2. Punkte und Oberflächen
 3. Hypothesen
 4. Mathematik und Physik
 5. Kometen versus Sphären
- Epilog

1. Mathematik versus Physik

Das aristotelische Weltbild beruhte auf platonischen Vorgaben und war untrennbar mit der aristotelischen Materie- und Bewegungslehre verwoben. Sein Charakteristikum war die strenge Trennung von Mathematik und Physik, wie sie Aristoteles in der Physik (II 2) lehrte und in der Metaphysik (XII 8) praktizierte.

Die Mitte der endlichen, kugelförmigen Welt, des Kosmos, der nach der pseudo-aristotelischen Schrift *Über die Welt* ein System (σύστημα) aus Himmel und Erde und den darin enthaltenden Naturen ist¹, nimmt die Erde ein. Die Naturen sind – von der Erde aus geordnet – Mond, Sonne, Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn. Was aber ist dann der Himmel? Aristoteles klärt diese Frage in seiner Abhandlung *Über den Himmel* und gibt drei Antworten: Es ist das Wesen (οὐσία) des äußersten sich drehenden Gewölbes (περιφορά) des Alls (πάν) oder der natürliche Körper in diesem äußersten Gewölbe des Alls. Zweitens ist es der Körper, der auf das äußerste Gewölbe des Alls folgt. Drittens aber ist es der von dem äußersten Gewölbe enthaltene Körper, also das Ganze und das All².

Danach gibt es nur einen Himmel. Dieser ist ewig, unvergänglich, ungeworden, er enthält die endlose Zeit (ὁ ἄπειρος χρόνος), er ist eine

¹ Ps.-Arist., Mu. II 391b.

² Arist., Cael. I 9.

Art göttlicher Körper (σῶμα γὰρ τι θεῖον)³. Keine Frage: das aristotelische Weltbild ist ebenso wenig wie das platonische ohne Theologie denkbar, ein Befund freilich, der noch auf Renaissance und Aufklärung zutrifft.

Außerhalb des Himmels gibt es weder Ort, noch Leeres, noch Zeit: οὐδὲ τόπος οὐδὲ κενὸν οὐδὲ χρόνος ἐστὶν ἔξω τοῦ οὐρανοῦ. Ist dort das Nichts? Keineswegs: was dort ist, so Aristoteles, altert angesichts der fehlenden Zeit nicht, ohne Wandel und Leid führt es das herrlichste Leben, sich selbst genug, für ewige Dauer⁴. Kein Wort darüber freilich, was dieses Es (αὐτά) sein könnte, was ohne Ort und Zeit existiert, gleichwohl sich nicht im Leeren befindet. Denn das Leere gibt es nicht, dessen war sich Aristoteles nicht zuletzt auf Grund seiner Bewegungstheorie sicher. Seine Analyse des Bewegungsbegriffs mündete in einen aprioristischen Existenzbeweis des Äthers. Diese Himmelssubstanz erhielt im Gebäude der aristotelischen Naturphilosophie nie eine einheitliche, konsistente Theorie. Anders als seine Nachfolger hat Aristoteles nie vom fünften Element gesprochen, das in der lateinischen Welt zur *quinta essentia* wurde, sondern vom ersten Körper, ersten der Elemente, ersten Wesen der Körper⁵.

Die Sterne sind Kreisbahnkörper (κύκλικα σώματα), die den sich bewegenden Kreisen eingegeben sind, sich also nicht selbst bewegen. Halten wir fest: Der Himmel, die Sterne, die unsichtbaren Sphären und Kreise, sie alle sind aus dem ersten Körper, dem Äther. Der Begriff Materie (ὕλη) tritt nicht auf, ebenso wenig die Vorstellung fester, kristalliner Sphären. Die Beziehung zwischen erstem Körper und Materie wird in der Schrift *Über den Himmel* nicht geklärt, nicht einmal angesprochen. Anders steht es mit der *Metaphysik*: doch bleibt die dortige Ätherlehre inkonsistent. Sie spricht dem Äther sowohl Materie zu wie ab. Fest steht jedoch, daß Aristoteles den Äther nirgends als fest, undurchdringlich charakterisierte: Die Lehre von den festen Kristallsphären stammte nicht von ihm, auch wenn dies Autoren zur Zeit Tycho de Brahes annahmen, als sie sich daran machten, diese festen Sphären wieder abzuschaffen.

Bleibt noch die physikalische Frage nach der Ursache der Bewegungen. Denn jede Sphäre brauchte für ihre ewige gleichförmige Kreisbewegung eine bewegende Intelligenz. Aus Liebe zum unbewegten Beweger bewegt sich die oberste Sphäre: physikalisches Weltbild und rationale Theologie bilden bei Aristoteles eine Einheit. In den *Meteorologica* findet sich der Abschnitt, den Melanchthon 1549 den jungen Leuten wie einen

3 Arist., Cael. II 3, 286a.

4 Arist., Cael. I 9, 279a.

5 E. Knobloch, Materie des Himmels – neue Antworten des 16. und 17. Jahrhunderts auf eine alte astronomische Frage, Acta historica Leopoldina 31 (2000), 89–107, besonders 90–93.

Orakelspruch ans Herz legte⁶: »Es gibt aber auf Grund einer Notwendigkeit eine Art Zusammenhang von dieser (Welt um der Erde) mit den oberen Bewegungen, so daß deren gesamte Kraft von dort gelenkt wird. Was nämlich für alle der Beginn der Bewegung ist, muß für jene erste Ursache gehalten werden.«

Die Frage nach der Zahl dieser Ortsbewegungen ist nicht Sache der Physik, sondern derjenigen mathematischen Wissenschaft, die der Philosophie am nächsten steht, der Astronomie⁷. Und so führt Aristoteles – erkennbar ohne größeres Interesse – die Ansichten einiger Mathematiker an, um eine begrenzte Zahl von solchen Bewegungen annehmen zu können. Jedenfalls soll man den Genauesten folgen: er referiert die mathematische Theorie der homozentrischen Sphären des Eudoxos, der 26 Sphären für die Planeten benötigte, des Kallippos, der acht weitere Sphären hinzufügte. Ziel und Aufgabe der Mathematik war danach die Erscheinungen wiederzugeben (τὰ φαινόμενα ἀποδιδόναι). Die drei mathematischen Randbedingungen waren: (1) Es gibt nur ein Bewegungszentrum. (2) Die Bewegungen sind kreisförmig. (3) Die Bewegungen sind gleichförmig.

Unzulässigerweise physikalisierte Aristoteles die mathematische Aufgabe. Um die Wirkung der von außen nach innen wirkenden Sphären für die Sphären des nächsten Planeten aufzuheben, glaubte er, zurückrollende Sphären (σφαίραι ἀνελιττουσαι) einführen zu müssen – nur die erdnächsten fünf Sphären des Mondes bedürfen dieser nicht: 55 Sphären und entsprechend viele unbewegliche, ewige bewegende Wesen setzte er an, ohne sich auf diese Zahl festzulegen. Das hier Notwendige zu sagen, überlasse er Stärkeren (ισχυροτέροις), sagte er großmütig⁸. Kein Zweifel: Aristoteles maß dieser Frage keine größere Bedeutung bei. Kein Wort zu dem nicht behebbaren Defizit der Homozentrik, verschieden große Entfernungen der Himmelskörper vom Bewegungszentrum wiederzugeben, ein Defizit, das den islamischen und westeuropäischen Homozentrikern wie Ibn Rušd (1126–1198) oder Girolamo Fracastoro (1483–1553) unüberwindliche Schwierigkeiten bereitete und noch Copernicus zur Ablehnung dieser Theorie veranlaßte.

Die physikalischen Grundlagen des Weltbildes hatte er bis zu Keplers Zeiten verbindlich vorgegeben. Die Mathematiker waren frei, unter

6 Arist., Meteor. I 2, 339a, 21–24; Ph. Melanchthon, Praefatio zu: Ioannes de Sacrobusto, Libellus de sphaera, Wittenberg 1549, A5; E. Knobloch/K. Reich, Melanchthons Vorreden zu Sacroboscus »Sphaera« und »Computus ecclesiasticus«, Beiträge zur Astronomiegeschichte 7 (Acta Historica Astronomiae 23), Frankfurt am Main 2004, 14–44.

7 Arist., Metaph. XII 8, 1073b.

8 Arist., Metaph. XII 8, 1074a.

Wahrung der drei Randbedingungen, die ihnen übertragene Aufgabe zu lösen.

2. Punkte und Oberflächen

Der Copernicus der Antike hieß Aristarch von Samos, ein Mathematiker, der keinen Einfluß des Aristotelismus erkennen läßt. Wir wissen davon durch einen Brief des Archimedes an Gelon, Sohn des Königs Hieron von Syrakus, der nach 240 v.Chr. zum Mitkönig eingesetzt wurde. *Psammites*, »Aus Sand«, heißt diese kosmologische Schrift. Gemeint ist *Zahl* aus Sand, Sandzahl. Die Schrift will nachweisen, daß es auch bei noch so riesigen Ausmaßen des kugelförmigen, mit Sandkörnern gefüllten Kosmos Zahlen gibt, die die Zahl jener Sandkörner übertrifft. Aristarch habe, heißt es da, Hypothesen der folgenden Art veröffentlicht⁹:

- (1) Fixsterne und Sonne seien unbeweglich.
- (2) Die Erde bewege sich um die Sonne als Mittelpunkt auf einem Kreis.
- (3) Die Fixsternsphäre sei so groß, daß sich die Peripherie der Erdbahn zum Abstand der Fixsterne wie der Mittelpunkt der Kugel zu ihrer Oberfläche verhalte.

Archimedes versäumte nicht, tadelnd zu bemerken, daß dies unmöglich ist, da der Mittelpunkt der Kugel keine Größe hat, man also eine Nichtgröße zu einer Größe, zur Kugeloberfläche, in Beziehung setze – eine Überlegung, die in modifizierter Form bei Copernicus wie Guericke wieder auftreten sollte.

Archimedes verwendet das Reizwort Hypothesen – und nur diese werden Aristarch zugeschrieben – während nach Plutarch etwa 100 Jahre später der Babylonier Seleukos die aristarchische heliozentrische Hypothese zu beweisen versuchte¹⁰. Bekanntlich hat Copernicus seine Kenntnis von Aristarchs Kosmologie nicht aus Archimedes, sondern aus einer anderen Schrift Plutarchs entnommen, dem *Gesicht, das im Kreis des Mondes erscheint*. Danach wollte der Stoiker Kleanthes Aristarch wegen Gottlosigkeit vor Gericht stellen. Hatte er doch gewagt, die Erde, den Herd des Kosmos, zu bewegen. Er habe die Phänomene dadurch zu retten versucht, daß er der Erde eine Rotationsbewegung um ihre Achse und eine Bewegung um die Sonne zugeteilt habe: Plutarch sagt »die Phänomene retten« (σώζειν τὰ φαινόμενα), nicht wiedergeben (ἀποδιδόναι)

⁹ Archim., *Aren.* I 4–6.

¹⁰ Plut., *Quaestiones Platonicae*, quaestio 8; B.L. van der Waerden, *Die Astronomie der Griechen*, Darmstadt 1988, 149.

wie Aristoteles, und nimmt damit eine poseidonische Forderung auf¹¹. Wir kommen darauf zurück.

Ein Nachklang dieser Kontroverse findet sich in den *Naturwissenschaftlichen Untersuchungen* Senecas des Jüngeren¹²: Ob die Welt oder die Erde sich dreht, sei ein bedenkenswertes Problem – keine Polemik gegen den nicht genannten Aristarch, genauso wenig wie bei Archimedes.

Anders dagegen Ptolemaios rund hundert Jahre später¹³. Namentlich nennt er den Heliozentriker nicht. Großmütig räumt er ein, vielleicht hindere nichts, daß dies sich angesichts des einfacheren Gedankens (ἀπλουστέρα ἐπιβολή) so verhalte: Gemeint ist die Achsendrehung der Erde. Dennoch sei dies höchst lächerlich (γελοιώτατον). Ptolemaios polemisiert und zählt nun die physikalischen Gründe gegen eine Erdrotation auf, die seitdem – bis zur Zeit von Copernicus – immer wieder vorgebracht wurden: Bei ihrer Drehung (στροφή) nach Osten müßte die Erde alles, was nicht niet- und nagelfest wäre, in deren Zug nach Westen hinter sich lassen. Denn es wäre die heftigste (σφοδροσύνη) aller in ihrem Bereich existierenden Bewegungen. Den möglichen Einwand, die Luft werde mit herumgerissen (συμπεριάγεσθαι), läßt er nicht gelten, und zwar mit einer merkwürdigen Begründung: Mindestens das, was Bestandteil des zusammengesetzten Ganzen (συγκρίματα) werde, müsse zurückbleiben oder wenn es mit der Luft wie vereinigt (ἡνωμένα) herumgerissen werde, so würde dies keine recht- oder rückläufige Bewegung haben, es würde am Fleck verharren. Kurz: die feste Verschmelzung von Luft und Gegenstand hätte ein Ausbleiben jeder langsamen oder schnellen Bewegung zur Folge. Von der (zweiten) Bewegung der Erde, derjenigen um die Sonne, ist nicht die Rede.

Wenig beachtet worden scheint bisher ein anderer Abschnitt zu sein¹⁴: Περὶ τῆς κατὰ τὰς ὑποθέσεις τῶν πλανημένων προθέσεως, über die Aufstellung der Planeten gemäß den Hypothesen. Er spricht davon, daß Hipparch, der größte Freund der Wahrheit (φιλαληθέστατος), jedem Planeten eine doppelte Anomalie zuweise – die auf den synodischen und die auf den siderischen Umlauf bezogene – oder daß bei jedem ungleiche Voranrückungen (προηγῆσεις) von einer bestimmten Länge aufträten.

Die anderen Mathematiker (μαθηματικοί) aber führten ihre Beweise über ein und dieselbe Anomalie und Vorrückstrecke mittels Linien (das heißt geometrisch). Kein Wort darüber, wer diese Mathematiker waren – aber Hipparch sei jedenfalls der einzige bei seiner Vorgehensweise gewesen. Waren die anderen etwa Heliozentriker? Van der Waerden¹⁵ hat

11 Plut., *De facie in orbe lunae* 6, 922F.

12 Sen., *Nat.* VII 2,3.

13 Ptol., *Alm.* I 7.

14 Ptol., *Alm.* IX 2.

15 B.L. van der Waerden, *Die Astronomie* (wie Anm. 10), 150–151.

die Verwendung des Wortes ἐπιδείκνυμι (beweisen) hervorgehoben, wie es bei Plutarch und Geminus im Zusammenhang mit dem heliozentrischen System auftritt. Ptolemaios kritisiert damit die namentlich ungenannten Astronomen, die an Hand der sogenannten »Tafeln für ewige Zeiten« die gleichförmige Bewegung auf Kreisen nachweisen wollten, es aber grundfalsch anstellten und den Beweis dafür schuldig blieben.

3. Hypothesen

Auch Klaudios Ptolemaios war Mathematiker. Er hat mit der *Mathematike syntaxis* ein mathematisches Lehrbuch verfaßt, dem er einen allgemeinen Teil vorausschickte, die Darlegung seines geozentrischen Weltbildes. Es gründet sich, wie er ausdrücklich sagt, auf die augenfälligen Himmelserscheinungen und ausschließlich solche Beobachtungen, die mit zweifelloser Sicherheit von den Alten wie zu seiner Zeit angestellt wurden¹⁶. Er verweist auf die Alten, wenn er sich daran macht, fünf Feststellungen als richtig nachzuweisen:

- (1) Der Himmel (οὐρανός) – gemeint ist das Himmelsgewölbe – hat Kugelgestalt (σφαιροειδής) und dreht sich wie eine Kugel: Ptolemaios spricht von der Himmelskugel. Himmel ist die konkave Innenseite des Fixsternhimmels.
- (2) Ihrer Gestalt nach ist die Erde für die sinnliche Wahrnehmung, als Ganzes betrachtet, gleichfalls kugelförmig.
- (3) Ihrer Lage nach nimmt die Erde einem Zentrum vergleichbar die Mitte des ganzen Himmelsgewölbes ein.
- (4) Ihrer Größe und Entfernung nach steht die Erde zur Fixsternsphäre in dem Verhältnis eines Punktes.
- (5) Die Erde hat keinerlei Ortsveränderung hervorrufende Bewegung.

Diese Annahmen begründet er mit den Beobachtungen, logischen und physikalischen Erwägungen, die auf Aristoteles fußen. Daß die Erde zu den Himmelskörpern im Verhältnis eines Punktes steht, erinnert überdeutlich an die aristarchische Formulierung bei Archimedes. Daß diese vergleichsweise winzige Erde nach keiner Seite hin wankt oder fällt, liegt am Gegendruck des sie allenthalben umgebenden Äthers. Dieser hält die Erde durch seinen von allen Seiten gleichmäßig auch in gleichförmiger Richtung ausgeübten Gegendruck; ein Oben oder Unten gibt es im Weltall mit Bezug auf die Erde nicht, ein Gedanke, der u.a. von Guericke im 17. Jahrhundert wieder aufgegriffen wird.

¹⁶ Ptol., Alm. I 2.

Was aber befindet sich zwischen Himmelsgewölbe und Erde? Tychos Zeitgenosse Rothmann schrieb Ptolemaios die Lehre von der *soliditas* der *orbes* zu¹⁷. Doch hatte er damit Recht? Die Frage stellen heißt, sie zu verneinen. Ganz offenbar saß er einem Mißverständnis auf. Ptolemaios fußte auf der aristotelischen Lehre vom Äther als erstem Körper: körperlich heißt στερεός, lateinisch *solidus*. Die für στερεός auch belegte Bedeutung fest, massiv war nicht gemeint. Mehr noch: Im 13. Buch läßt Ptolemaios keinen Zweifel, wie er sich den interstellaren Raum vorstellt¹⁸: Alle Erscheinungen können durch alle Flüssigkeiten (χύματα) hindurchdringen und durchscheinen. Nur wenige Scholastiker wie Alexander von Hales wußten vom Äther ptolemäischen Typs und sprachen sich dafür aus¹⁹.

Über die Anordnung der Himmelskörper herrschte bereits im Altertum keine einhellige Meinung. Ptolemaios erörtert in Buch IX, Kapitel 1 des *Almagest* die Reihenfolge der Sphären der Sonne, des Mondes und der fünf Planeten. Die Uneinigkeit betraf die Lokalisierung der Planeten Venus und Merkur. Diese Lokalisierung machte den eigentlichen Spielraum der vorcopernicanischen Astronomie aus²⁰. Was Wunder, daß Joachim Rheticus in seinem *Ersten Bericht* zum copernicanischen Weltbild 1540 schreiben wird²¹: »Außerdem, unsterbliche Götter, welch erbitterten Kampf, welch großen Streit gab es über die Lage der Bahnen von Venus und Merkur und darüber, wie sie in Bezug auf die Sonne zu lokalisieren sind.« Nach Ptolemaios gab es damals zwei Ansichten:

- (1) Die älteren Astronomen, von ihm μαθηματικοί genannt, setzten Venus und Merkur *unter* die Sonnensphäre. Bei Copernicus²² werden dies Ptolemaios und viele Jüngere sein.
- (2) Einige der *späteren* setzten diese Planeten über die Sonnensphäre, und zwar mit der Begründung: Nie habe ein Vorübergang dieser Planeten vor der Sonne stattgefunden.

Ptolemaios lehnte diesen zweiten Standpunkt aus zwei Gründen ab. *Erster Grund: Nichtbeobachtbarkeit.* Die unteren Planeten können in einer anderen Bahn liegen als derjenigen, die durch die Sonne und unser Auge geht. In diesem Fall gibt es keinen sichtbaren Vorübergang. So treten auch meistens keine Finsternisse zur Zeit der Konjunktionen im Falle des Mondes ein. In der Tat müssen Sonne und Mond zugleich in der Nähe

17 E. Knobloch, *Materie* (wie Anm. 5), 96.

18 Ptol., *Alm.* XIII 2.

19 M.-P. Lerner, *Le monde des sphères*, 2 Bde., Paris 1996–1997, hier Bd. 2, 5.

20 H. Blumenberg, *Die Genesis der kopernikanischen Welt*, Frankfurt a.M. 1975, 276.

21 G.J. Rheticus, *Narratio prima*, Danzig 1540. Ich zitiere den Wiederabdruck in: Johannes Kepler, *Gesammelte Werke*, Bd. 1, hg. v. M. Caspar, München 1938, 81–126, hier 105.

22 N. Copernicus, *De revolutionibus orbium caelestium*, Nürnberg 1543, Buch I, Kapitel 10.

der Knotenlinie bei Neumondstellung sein, um eine Sonnenfinsternis zu verursachen.

Zweiter Grund: Unentscheidbarkeit. Entfernungen lassen sich allein durch wahrnehmbare Parallaxen bestimmen. Keiner der beiden Planeten zeigt aber eine solche Parallaxe. Also ist die Frage nicht entscheidbar. Allerdings darf die Nähe der beiden Planeten zur Erde nicht so groß sein, daß die Annäherung eine bemerkenswerte Parallaxe zur Folge hat.

Deshalb plädiert Ptolemaios für die älteren Astronomen. Halten wir fest: Die Anordnungsfrage ist für Ptolemaios mit astronomischen Mitteln im strengen Sinn unentscheidbar²³. Also hält er sich an den älteren Standpunkt, eine grundsätzlich vernünftige Entscheidung aus wissenschaftstheoretischer Sicht: Das neue System muß sich legitimieren, um das alte ablösen zu können.

Entscheidend für die Rezeptionsgeschichte der ptolemäischen Ausführungen ist, daß er zwischen seinen kosmologischen Aussagen und dem Ziel der auf philosophischer Grundlage beruhenden mathematischen Wissenschaft unterscheidet, die scheinbaren Anomalien der Planeten, von Sonne und Mond vermöge gleichförmiger Bewegungen auf Kreisen darzustellen. Entscheidend ist seine Trennung der physikalischen Kosmologie, die das Weltbild beschreibt, von der mathematischen Kinematik, die auf theoretischen Hypothesen ohne Wirklichkeitsanspruch beruht. Erst Kepler sollte diese Aufgabenteilung zwischen Physik und theoretischer, das heißt mathematischer Astronomie beseitigen.

Ausdrücklich betont Ptolemaios wiederholt²⁴, daß die zu beobachtenden Ungleichförmigkeiten nur scheinbar sind und als Folge der Lagen und Stellungen der an den Sphären der Gestirne verlaufenden Kreise eintreten, auf denen sie ihre Bewegungen vollziehen. Woher hat er diese Gewißheit? Er verdankt sie der Theologie, und dieser bahnt die Astronomie die Wege. Die Göttlichkeit der ewigen Himmelskörper schließt Regellosigkeit und Ungleichförmigkeit aus. Die Regellosigkeit der Erscheinungen kann nur in der Vorstellung existieren. Denn Regellosigkeit ist mit einem göttlichen Wesen unvereinbar, kann also in Wirklichkeit nicht auftreten. Es ist diese Einstellung, die die Astronomie zum Gottesdienst werden läßt, wie es bei Kepler der Fall sein wird. Es ist diese Einstellung, die Copernicus sagen lassen wird, diese Wissenschaft sei mehr göttlich als menschlich²⁵. Es ist diese Einstellung, die zum Apotheosemotiv führt, wie es am ergreifendsten im Epigramm des Ptolemaios zum Ausdruck kommt, das sowohl Tycho de Brahe wie Kepler ins Lateinische übersetzten²⁶ und das in der *Anthologia Graeca* überliefert ist:

23 H. Blumenberg, *Die Genesis* (wie Anm. 20), 276.

24 Ptol., *Alm.* III 3; IX 2.

25 Copernicus, *De revolutionibus* (wie Anm. 22), Prooemium.

26 F. Boll, *Das Epigramm des Claudius Ptolemaeus*, *Sokrates* 9, 1921, 2–12; Wiederabdruck

Sterblich bin ich, mein Leben ist kurz; doch seh ich im Geiste,
wie in unnennbarer Zahl kreisend die Sterne sich drehen,
o, dann fühl ich nicht mehr mit meinen Füßen die Erde,
hoch am Tische des Zeus speis' ich ambrosische Kost.

Ὅϊδ' ὅτι θνατὸς ἐγὼ καὶ ἐφάμερος: ἀλλ' ὅταν ἄστρον
μαστεύω πυκινὰς ἀμφιδρόμους ἑλικίας,
οὐκέτ' ἐπιψαύω γαίης ποσίν, ἀλλὰ παρ' αὐτῶ
Ζανὶ θεοστρεφέος πίμπλαμαι ἀμβροσίης.²⁷

Die mathematischen Hypothesen hatten ihm seine Vorgänger bereitgestellt. Apollonios von Perge hatte im dritten bis zweiten vorchristlichen Jahrhundert die Epizykeltheorie eingeführt, um die scheinbaren Rückläufigkeiten der Planeten in synodischer, also auf die Sonne bezogener Periode zu erklären, die sogenannte zweite Anomalie:

Aufkreise (Epizykel) haben ihren Mittelpunkt fest auf einem sogenannten Deferenten, also einem größeren Kreis, der sich in derselben Richtung wie der Aufkreis dreht und dabei den Epizykelmittelpunkt mitführt (Abb. 1)²⁸.

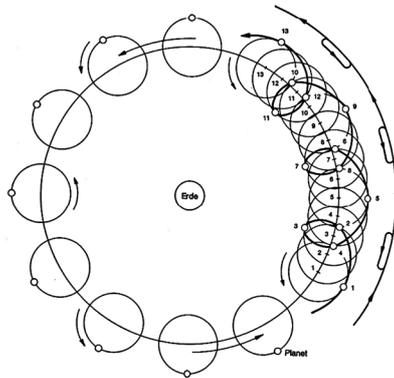


Abb. 1

Wenig später entwickelte Hipparch die Exzentertheorie, um die ungleichförmige Umlaufgeschwindigkeit der Sonne in siderischer Periode um die Erde zu erklären, die sogenannte erste Anomalie. Der »Exzenter« genannte Kreis heißt so, weil er sich nicht um das Erdzentrum, sondern um einen eigenen, aus dem Erdzentrum »herausgerückten«

in: ders., Kleine Schriften zur Sternenkunde des Altertums, hg. v. V. Stegemann, Leipzig 1950, 143–155.

²⁷ Anthologia Graeca IX 577, hg. v. H. Beckby, 4 Bde., München ²1965 (1. Aufl. 1957/58), hier Band 3, 353. Dort auch die deutsche Übersetzung.

²⁸ Abbildung nach F. Krafft, Die Tat des Copernicus, Voraussetzungen und Auswirkungen, Humanismus und Technik 17, 1973, 79–106, hier Bild 2, 89.

Mittelpunkt dreht: Erd- und Exzentermittelpunkt liegen um die Exzentrizität auseinander. Teilt man den Exzenter von der Erde aus in Neunziggradabschnitte, so durchläuft die Sonne die gleichgroßen Mittelpunktswinkel auf verschiedenen langen Bögen, also in verschiedenen großen Zeiten (Abb. 2)²⁹.

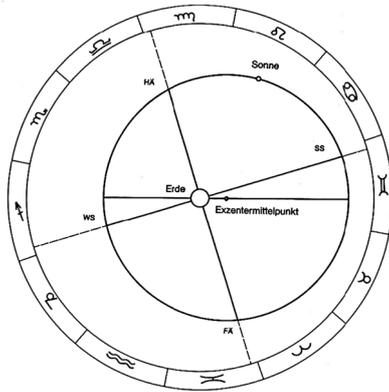


Abb. 2

Ptolemaios hatte gleichwohl die Wahl. Er wußte dank Adrastos von Aphrodisias, daß Exzenter- und Epizykelbewegung auf einem Deferenten bei gleichen entgegengesetzten Umlaufperioden äquivalent sind, zur gleichen Umlaufbahn führen³⁰. Warum also entschied er sich für die Exzentertheorie? Es ist das Moment der Einfachheit, das er wiederholt als Argument einsetzt: größere Einfachheit ist vernünftiger, wohlbegründeter (εὐλογώτερον). Die exzentrische Hypothese benötigt eine Bewegung (die des Exzenters), die epizyklische zwei (die des Deferenten und des Epizykels). Also ist die exzentrische Hypothese vorzuziehen.

Freilich ist Einfachheit ein relativer Begriff und darf nach Ptolemaios nicht die Suche nach bestmöglicher Übereinstimmung zwischen den Beobachtungen und den sich aus den Hypothesen ergebenden Bahnen beeinträchtigen. Und so bekennt er³¹: »Zweitens fanden wir, daß die Mittelpunkte der Epizykel auf Kreisen umlaufen, die zwar gleich groß sind wie die (ersten) Exzenter, welche die Anomalien bewirken, aber nicht um dieselben Zentren beschrieben werden.«

Um die erste Anomalie genauer wiedergeben zu können, verdoppelte Ptolemaios die Exzentrizität und führte einen sogenannten »Ausgleichspunkt« ein: Der Exzenter rotiert gleichförmig bezogen auf einen fiktiven

29 Abbildung nach F. Krafft, Die Tat (wie Anm. 28), 90.

30 Ptol., Alm. III 4; F. Krafft, Die Tat (wie Anm. 28), 92.

31 Ptol., Alm. IX 5 (ed. Heiberg, 252).

Kreis um diesen Punkt, das heißt, er selbst rotiert notwendigerweise ungleichförmig um den eigenen Mittelpunkt (Abb. 3)³².

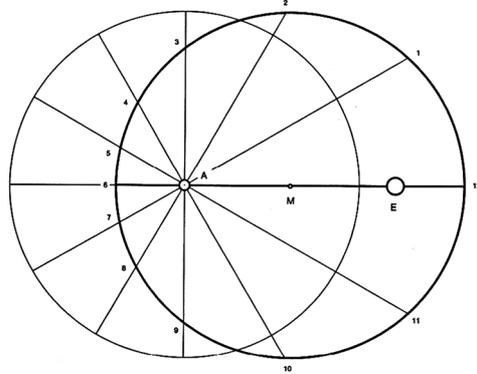


Abb. 3

Auf diese Weise benötigt Ptolemaios vierzig Kreise, um die Bewegungen der sich um die Erde drehenden Planeten einschließlich der Sonne und des Mondes wiederzugeben.

Ziemlich viele, wird man sagen. Und tatsächlich hat Ptolemaios den Vorwurf zu großer Kompliziertheit seines Systems vorausgesehen und zurückgewiesen, wie er Alfonso x. el Sabio, dem König Kastiliens und Deutschlands im 13. Jahrhundert, zugeschrieben wurde: Wenn Gott ihn um Rat gefragt hätte, als er die Welt schuf, hätte er ihm gute Ratschläge gegeben³³. Offensichtlich hatte Alfonso nicht Ptolemaios gelesen. »Niemand schätze derartige Hypothesen angesichts der Dürftigkeit der von uns stammenden Erfindungen (ἐπιτεχνήματα) als schwierig ein. Darf man doch Menschliches nicht mit Göttlichem vergleichen ... Denn wenn alle der Phänomene mit einem Mal entsprechend den Hypothesen gerettet werden können (διασώζηται), wie könnte dann noch jemandem wunderbar erscheinen, daß den Bewegungen des Himmlischen ein so kompliziertes Ineinandergreifen eigen sei«³⁴? Hier also tritt die berühmte Forderung nach der Rettung der Phänomene auf, die fälschlich Platon zugeschrieben wurde, in Wahrheit aber vom Stoiker Poseidonios gestellt wurde. Wir kommen darauf zurück.

Das ptolemäische Weltbild wurde zwar von arabischen Gelehrten wie Ġābir, al-Bīrūnī, Ibn Rušd im 12. Jahrhundert modifiziert und kritisiert. Aber weder diese Kritiker noch die Renaissance der aristotelischen Homozentrik im Italien des 16. Jahrhunderts änderten etwas daran, daß

³² Abbildung nach F. Krafft, Die Tat (wie Anm. 28), 94.

³³ E. Knobloch, Materie (wie Anm. 5), 89.

³⁴ Ptol., Alm. XIII 2.

dieses Weltbild bis zur Zeit des Copernicus das Denken des christlichen Europa dominierte. Die Theologie rechtfertigte nicht nur die Notwendigkeit mathematischer Hypothesen. Sie rechtfertigte auch deren fehlende Einfachheit und machte für Ptolemaios eine Himmelsphysik entbehrlich, die die Frage nach der Ursache für die Bewegungen stellte. Der Gegenstand übersteige unser theoretisches Vermögen³⁵. Man dürfe Einfachheit nicht nach menschlichen Kriterien beurteilen, man müsse vielmehr in seinem Urteil von der Unwandelbarkeit der am Himmel selbst kreisenden Geschöpfe und ihrer Bewegungen ausgehen.

Dieser Hypothesenbegriff wird für die Folgezeit bis hin zu Newton entscheidend sein: Soweit es möglich ist, soll man versuchen, die einfacheren Hypothesen den am Himmel verlaufenden Bewegungen anzupassen. Andernfalls soll man zu den Hypothesen schreiten, welche diese Möglichkeit bieten. Die Wahl zwischen Hypothesen hat nur, wer für diese keine Realität beansprucht, die ja zwingend nur eine Möglichkeit, eine Wahrheit zulässt. Es ist der glühende Anhänger des Copernicus, Johannes Kepler, der diesen Abschnitt³⁶ in seiner *Epitome astronomiae Copernicanae* zitiert und deshalb Ptolemaios heftig angreifen wird³⁷: Dieser ziehe die gesamte astronomische Methode zu Boden und genüge deshalb weder den Astronomen noch den Philosophen noch könne er in der christlichen Disziplin geduldet werden. Seinen eigenen Hypothesenbegriff legte Kepler in seiner *Apologia Tychonis contra Ursum* dar, die zu seinen Lebzeiten unveröffentlicht blieb: Hypothesen sind nichts Erdichtetes, dienen nicht dazu, Himmelsbewegungen zu beobachten oder bloß zu berechnen. Entscheidend ist die Übereinstimmung astronomischer Hypothesen mit der Natur der Dinge. Daher kann nur eine Form der Hypothese wahr sein:

Primum enim in hypothesibus rerum naturam depingimus, post ex iis calculum extruimus, hoc est, motus demonstramus.

Zuerst nämlich malen wir die Natur der Dinge in den Hypothesen ab, darauf errichten wir aus ihnen eine Rechnung, das heißt wir beweisen die Bewegungen.³⁸

Mit anderen Worten: die Hypothesen liefern das Weltbild im eigentlichen Sinne dieses Wortes. Kepler bindet die Erkenntnis an die von Sinneswahrnehmungen unabhängige, objektive Realität. Die Astronomie ist zu wahrer Erkenntnis fähig³⁹.

35 H. Blumenberg, *Die kopernikanische Wende*, Frankfurt a.M. 1965, 84.

36 Ptol., *Alm.* XIII 2.

37 J. Kepler, *Epitome astronomiae Copernicanae*, Linz 1618–1621, Buch 4, Teil 2, Kap. 2. Ich zitiere den Wiederabdruck in: J. Kepler, *Gesammelte Werke*, Band 7, hg. v. M. Caspar, München 1953, 291f.

38 J. Kepler, *Apologia Tychonis contra Ursum*, in: J. Kepler, *Gesammelte Werke*, Band 20, 1, München 1988, 15–62, hier 25.

39 Kepler, *Apologia* (wie Anm. 38), 469–470.

4. Mathematik und Physik

Um 1510 verfaßte Copernicus die erste Skizze seines Weltbildes, den sogenannten *Commentariolus*. Er hatte die ihm vorliegenden Rettungsversuche zur Regelmäßigkeit der Planeten geprüft und für untauglich befunden. Von Anfang an stellte er sich damit in die Tradition der den Mathematikern gestellten Aufgabe, die Phänomene zu retten. Und als Mathematiker fühlte er sich, an Mathematiker wandte er sich: *mathemata mathematicis scribuntur*, Mathematisches wird für Mathematiker geschrieben, formulierte er stolz in seiner Vorrede an Papst Paul III.⁴⁰ und appellierte an die päpstliche Liebe zur Mathematik. Gut hundert Jahre vor der Verwarnung Galileis durch das Papsttum, gut hundertzwanzig Jahre vor dessen Verurteilung suchte Copernicus den päpstlichen Schutz vor Verleumdern und Dummschwätzern (*ματαιολόγοι*), ein erstaunlicher Befund.

Die Homozentrik war mathematisch, die ptolemäische Lösung physikalisch unzulänglich: Sie verletzte aristotelische Prinzipien, da sich die Deferenten um die eigenen Mittelpunkte ungleichförmig bewegten. Ihre Bewegung war ja auf den Ausgleichspunkt bezogen. Deshalb habe er oft überlegt, ob nicht eine vernünftiger Weise von gleichmäßig in sich bewegten Kreisen – *rationabilior modus*, was nicht zufällig an das ptolemäische *εὐλογώτερον* erinnert – zu finden sei, von denen alle erscheinende Ungleichmäßigkeit abhängt. Es war dieses Versagen der von ihm vorgefundenen Lösungen – dies kann gar nicht genug hervorgehoben werden –, das Copernicus veranlaßte, eine eigene, mathematisch wie physikalisch befriedigende Lösung zu suchen: Er nahm die antike Forderung, »die Phänomene zu retten,« im strengen Sinn ernst, verhalf der aristotelischen Physik – über Ptolemaios zurückgehend – wieder zu deren Recht.

Der Peripatetiker und Zeitgenosse des Ptolemaios Sosigenes hatte um 164 n.Chr. ein Werk mit dem Titel *Über die zurückrollenden* (*sc. Sphären des Aristoteles*) verfaßt, mit dem sich der Neuplatoniker Proklos im 5. Jahrhundert in seinem *Überblick über die astronomischen Hypothesen* kritisch auseinandersetzte. Giorgio Valla veröffentlichte die fast vollständige Übersetzung der prokleischen Schrift in seiner Enzyklopädie *Über zu erstrebende und zu vermeidende Dinge*, die Copernicus stark benutzte. Valla übersetzte den Titel des Werkes von Sosigenes mit *de revolutionibus*, also genauso wie Copernicus sein Hauptwerk ursprünglich nannte. Die Wörter *orbium caelestium* wurden von Andreas Osiander hinzugefügt.

40 E. Knobloch, Copernicanische Wende, Signatur des Jahrhunderts, in: Macht des Wissens, Die Entstehung der modernen Wissensgesellschaft, hg. v. R. van Dülmen/S. Rauschenbach/M. von Engelberg, Köln/Weimar/Wien 2004, 89–110, hier 98, 106; N. Copernicus, Das neue Weltbild, Drei Texte: *Commentariolus*, Brief gegen Werner, *De revolutionibus* I, hg. v. H.G. Zekl, Hamburg 1990, 76–77.

Vermutlich hat Copernicus nicht nur den Titel seines Hauptwerkes von Sosigenes übernommen, sondern auch das erste seiner sieben Axiome zu Beginn des *Commentariolus*, die er seiner Lösung der Planetenbewegungen vorausschickte: »Es gibt nicht nur einen Mittelpunkt aller himmlischen Bahnen oder Sphären.«⁴¹

Von Anbeginn zeigt die Wortwahl von Copernicus, daß er sich der Begrifflichkeit der aristotelischen Himmelskinematik bedient. Nicht von den Planeten selbst ist die Rede, sondern von den diese mitführenden Sphären des Aristoteles. Diese Vorstellung zieht – systemimmanent – Konsequenzen für die Erdbewegung nach sich, macht eine dritte Erdbewegung erforderlich, die dem Konzept, nicht der Wirklichkeit geschuldet ist. Freilich blieb Copernicus' Übernahme der aristotelischen Physik bzw. Naturphilosophie sehr selektiv. Schon das zweite Axiom brach mit einem Kernstück der Lehre des Stagiriten: Der Erdmittelpunkt ist nicht Mittelpunkt der Welt, sondern nur der der Schwere und des Mondbahnkreises. Statt dessen sollte gelten: Alle Kreisbahnen umgeben die Sonne, der Mittelpunkt der Welt liegt in Sonnennähe.

Mit diesen beiden Axiomen beseitigte Copernicus den Zusammenfall von Weltmitte und Erdmittelpunkt, wie ihn Ptolemaios gelehrt hatte, ein Faktum von physikalischer und zugleich herausragender religiöser Bedeutung. Schien es doch die teleologische Weltformel zu verletzen, wonach Gott alles um des Menschen willen geschaffen hatte. Die weiteren Axiome nehmen die Einwände gegen eine Erdbewegung um die Sonne – fehlende Fixsternparallaxe – und gegen eine Erdrotation, wie sie Ptolemaios geäußert hatte, vorweg. Dazu mußte Copernicus – wie schon Aristarch – die Dimensionen der Welt in einer für die Zeitgenossen ungläubwürdigen Weise vergrößern. Und doch bleibt die copernicanische Welt endlich und geschlossen: nicht zufällig spricht er vom Firmament, vom festen Himmelsgewölbe.

Um die poseidonische Forderung nach Rettung der Phänomene zu erfüllen, verlangte Copernicus die Anerkennung einer neuen kosmologischen Wahrheit, ein bloßes Rechenmodell wollte er ausdrücklich nicht bieten. Das neue Weltbild war Mittel zum Zweck, nicht selbst Zweck. Die Heliozentrik ergab sich unbeabsichtigt. Beabsichtigt war die Zusammenführung von Physik und mathematischer Astronomie. Während sich die Naturforscher auf die Erscheinungen stützen, um die Unbeweglichkeit der Erde nachzuweisen, versetzte er gerade wegen der Erscheinungen die Erde in Bewegung.

41 F. Krafft, Hypothesen oder Realität. Der Wandel der Deutung mathematischer Astronomie bei Copernicus, in: Nicolaus Copernicus (1473–1543), Revolutionär wider Willen, hg. v. G. Wolfschmidt, Stuttgart 1994, 103–115; E. Knobloch, Copernicanische Wende (wie Anm. 40), 92–94.

Gegenüber der ptolemäischen Anordnung der Planeten tauschte er Erde und Sonne gegeneinander aus. Es mag erstaunen, daß Copernicus im *Commentariolus* eine andere mathematische Lösung als im späteren Hauptwerk gab. Doch der Mathematiker war, wie wir wissen, in der Wahl seiner Hypothesen bzw. Bewegungskomponenten frei. Copernicus machte nur von dieser Freiheit (*libertas*) Gebrauch, die er ausdrücklich einforderte⁴². Im *Commentariolus* ersetzte er Exzentrizitäten durch Epizykel, wie es gemäß Adrastos von Aphrodisias möglich war. Der Ausgleichspunkt beruhte auf einer Verdopplung der Exzentrizität des exzentrischen Deferenten. Also gab Copernicus die von ihm abgelehnte Ausgleichsbewegung durch einen Epizykel wieder, der in derselben Richtung wie der exzentrische Deferent umläuft, aber mit doppelter Geschwindigkeit. In Verbindung mit der ersten Überlegung führt dies zu Epizykeln auf Epizykeln, zu Doppelepizykeln. Ein solches System von Doppelepizykeln hatte im 14. Jahrhundert der islamische Astronom al-Šātir (ca. 1305–1375) vorgeschlagen. Es gibt gute Gründe für die Annahme, daß Copernicus bei der Ausarbeitung seiner ersten mathematischen Lösung von arabischen, in Italien befindlichen Handschriften während seiner Studienzeit angeregt wurde⁴³.

Mit 34 Kreisen glaubte Copernicus, so den gesamten Weltbau (*tota mundi fabrica*) und den gesamten Sternenreigen (*tota siderum chorea*) erklären zu können. Er hätte 38 sagen müssen. Aber selbst diese Zahl sollte von ihm im Hauptwerk auf 48 erhöht werden: Die Doppelepizykeln verschwanden dort zugunsten einer Wiedereinführung von Exzentrern. Hätte Copernicus den Druck seines Werkes noch bei Bewußtsein erlebt, hätte er eine unliebsame Entdeckung gemacht. Es begann mit einem Vorwort über die Hypothesen dieses Werkes. Den wahren Autor dieses Vorwortes deckte erst Kepler 1609 in seiner *Neuen Astronomie* auf⁴⁴. Der Protestant Andreas Osiander behauptete darin, es sei nicht notwendig, daß diese Hypothesen wahr, ja nicht einmal daß sie wahrscheinlich sind. Sondern es genüge allein, wenn sie eine mit den Beobachtungen übereinstimmende Berechnung ergeben.

Die Rezeptionsgeschichte des copernicanischen Werkes wurde von diesem Vorwort geprägt, das der Astronomie die Fähigkeit absprach, sichere Erkenntnis zu erzielen. Osianders erkenntnistheoretischer Offenbarungseid war das gerade Gegenteil von dem, was Copernicus anstrebte, die Überwindung des hypothetischen Charakters der nicht mehr allein mathematischen Astronomie, die Rephysikalisierung der mathemati-

42 N. Copernicus, Das neue Weltbild (wie Anm. 42), 74–75.

43 E. Knobloch, Copernicanische Wende (wie Anm. 40), 99.

44 J. Kepler, *Astronomia nova aitiologetos seu physica coelestis*, Prag 1609. Ich zitiere den Wiederabdruck in: J. Kepler, *Gesammelte Werke*, Band 3, hg. v. M. Caspar, München 1937, 6.

schen Theorie auf der Grundlage der zu seiner Zeit gültigen, das heißt aristotelischen Physik.

Sein Himmel war unermesslich im Vergleich zur Erde, er gewinnt den Anschein unendlicher Größe. War also die Welt für Copernicus unendlich? Dies hatte er nicht gesagt, nicht entscheiden wollen. Er hatte die Frage dem Meinungsstreit der Naturforscher überlassen⁴⁵. Der Antimatematiker Giordano Bruno zögerte nicht, über Copernicus hinausgehend die Unendlichkeit des Weltalls zu lehren. Der glühende Copernicaner Kepler wies diese Lehre Brunos wiederholt energisch zurück: Seine in der Nachfolge des Copernicus von Harmonie und Symmetrie geprägte, von Gott erschaffene Welt war mit der mittelpunktlosen, epikureischen Welt Brunos unvereinbar. Was Wunder, daß die römischen Autoritäten in dem 1616 zwar suspendierten, aber nie verbotenem Werk, an der »unermesslichen Höhe« (*immensa celsitudo*) der Fixsterne Anstoß nahmen und den Satz »So groß ist freilich dieser göttliche Bau des Optimus Maximus« tilgten (*tanta nimirum est divina haec Opt. Max. fabrica*)⁴⁶.

5. Kometen versus Sphären

1588 erschien in Tycho de Brahes Selbstverlag der zweite Band *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis* (Über neuere Erscheinungen der ätherischen Welt)⁴⁷. Er ist dem Kometen vom November des Jahres 1577 gewidmet, also dem Schweifstern, den Tycho auf Grund seiner Parallaxenbestimmung – er übernahm die seit Ptolemaios verwendete tägliche Sonnenparallaxe von 3 Minuten – in der Sphäre der Venus lokalisierte.

Da der Komet die Sphäre quer hätte durchlaufen und damit zerstören müssen, gab es also offenbar keine festen materiellen Sphären: Tychos Schlußfolgerung war zwingend: die Sphären als Trägergebilde der Planeten hatten ausgedient, eine Schlußfolgerung, die in ihrer Bedeutung kaum überschätzt werden kann. Denn sie erforderte eine neue Himmelsphysik, die dafür sorgte, daß die Planeten ihre Bahnen durchliefen. Und doch war die Parallaxenbestimmung nur ein Beispiel für die Traditionsgebundenheit der frühneuzeitlichen Astronomie, »eine ganz künstliche Angelegenheit«, wie Saltzer formulierte⁴⁸: Drei Minuten sind ein Neunzehntel der ptolemäischen, ziemlich richtig bestimmten

45 N. Copernicus, *De revolutionibus* (wie Anm. 22), Kap. 1, 8.

46 A. van Helden, Galileo, telescopic astronomy, and the Copernican system, in: *Planetary astronomy from the Renaissance to the rise of astrophysics, Part A: Tycho Brahe to Newton*, ed. by R. Taton and C. Wilson, Cambridge u.a. 1989, 81–118, hier 96–97.

47 Tycho de Brahe, *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis, Uraniborg 1588*. Ich zitiere den Wiederabdruck in: Tycho Brahe, *Opera omnia*, ed. I.L.E. Dreyer, Band 4, Kopenhagen 1922 (= Amsterdam 1972).

48 W. Saltzer, Zum astronomischen Weltbild der Jesuiten, *Zeitsprünge: Forschungen zur Frühen Neuzeit* 1, 1997, 585–601, hier 587.

Äquatorialhorizontalparallaxe des Mondes von 57 Minuten, also des Winkels, unter dem der Äquatorhalbmesser von dem im Horizont stehenden Mond aus erscheint. Ein Neunzehntel wurde deshalb für die Sonnenparallaxe genommen, weil Aristarch, der Copernicus der Antike, das Verhältnis der Entfernung Sonne-Erde zu Mond-Erde mit 19:1 bestimmt hatte. Mit anderen Worten: Tychos Abschaffung der materiellen Sphären stand auf höchst wackeligen theoretischen Vorgaben und war gleichwohl Voraussetzung für die Konzeption seines Weltbildes. Die astronomische Behandlung des Kometen von 1577 regte ihn dazu an.

Er habe, wie er berichtet⁴⁹, seine Gedanken zur *dispositio coelestium revolutionum, sive totius mundani systematis compagine*, zur »Anordnung der himmlischen Umwälzungen bzw. zum zusammengefügteten Bau des gesamten Weltsystems« vor vier Jahren, also 1584, entwickelt. Er habe nämlich bemerkt, daß beide vorliegenden Hypothesen – die des Ptolemaios und die des Copernicus – *non leves absurditates*, »nicht geringe Ungereimtheiten«, zuließen: Gegen Ptolemaios spreche die nicht hinreichend wohl eingerichtete Verteilung der himmlischen Bahnen (*coelestium orbium*), die überflüssige Annahme allzu vieler Epizykel zur Erklärung der Stillstände und Rückläufigkeiten, der Verstoß gegen die ersten Prinzipien der Kunst, das heißt der Mathematik: die gleichförmigen Kreisbewegungen erfolgen nicht um die eigenen Kreismittelpunkte, sondern um die Mittelpunkte anderer Exzenter, sogenannte Äquanten. Copernicus habe zwar die ptolemäischen Fehler vermieden, Überflüssiges einzuführen bzw. gegen mathematische Prinzipien zu verstoßen. Wohl aber habe er die Prinzipien der Physik und die Autorität der heiligen Schrift verletzt, indem er dem trägen Körper der Erde eine dreifache Bewegung zuteilte, ganz zu schweigen von dem ausgedehntesten Fassungsvermögen (*capacitas*) zwischen der Bahn des Saturn und der achten Sphäre, das von Sternen völlig frei ist, und anderen *inconvenientiae*, »Nichtübereinstimmungen«.

Daher habe er begonnen zu überlegen, ob nicht eine *hypothesium ratio*, eine »Weise von Hypothesen« gefunden werden kann, die mathematisch und physikalisch stimmig sei, theologischen Kritiken (*censurae*) entgeht und den himmlischen Erscheinungen vollständig entspricht. Die Formulierung erinnert nicht zufällig an die copernicanische Vorgehensweise. Und tatsächlich habe er unverhofft eine entsprechende Anordnung gefunden, die all diesen Ungereimtheiten (*incongruentiae*) vorbeugt. Die Überschrift ist deutlich genug: »Neuer Entwurf des Weltsystems, vom Autor jüngst gefunden, durch den sowohl jene alte ptolemäische Überflüssigkeit und Mangel an Harmonie (*inconcinnitas*), wie auch die neue copernicanische physikalische Abwegigkeit in der Bewegung der Er-

49 Tycho de Brahe, *De mundi phaenomenis* (wie Anm. 47), 155.

de ausgeschlossen wird und alles aufs Zutreffendste den himmlischen Erscheinungen entspricht.«

Er habe beschlossen, eine vollständigere Erklärung dieser neuen Anordnung der himmlischen Sphären (*orbes coelestes*) am Ende des Werkes zu geben, unter einigen bedeutenden Folgerungen dieser gesamten gegenwärtigen nächtlichen Ausarbeitung (*elucubratio*), wo mittels der Kometenbewegungen vorher gezeigt und deutlich bestätigt wird, daß die Himmelsmaschine kein harter und undurchdringlicher Körper ist, angefüllt mit verschiedenen wirklichen Sphären, wie bisher von den meisten geglaubt worden sei, sondern daß er sich höchst flüssig und höchst einfach, mit freien Umläufen der Planeten und ohne Hilfe oder Herumführung irgendwelcher wirklichen Sphären, gemäß einer durch göttliche Eingebung verursachte Wissenschaft gelenkt, sich überall ausdehne und nicht den geringsten Widerstand biete⁵⁰. Hieraus ergebe sich, daß der akronychische, also in Opposition befindliche Mars der Erde näher komme als die Sonne. Denn es gebe keine wirkliche und unpassende Durchdringung der Sphären. Sie würden allenfalls zur Lehre und zum Verständnis vorgestellt.

Der versprochene Beweis ist nie veröffentlicht, möglicherweise nie geschrieben worden. Jedoch: Brahe hat nicht einfach die Existenz der Planetensphären durch eine untrügliche Methode verworfen, nicht sofort nach dem Kometen von 1577 und nicht im Alleingang. Zur Zerstörung der festen Himmel bedurfte es kinematischer, optischer, physikalischer, biblischer und philosophischer Argumente, die es Brahe, Christoph Rothmann, Johannes Kepler ermöglichten, endgültig die Sphärenmaschinerie zu vertreiben. Tatsächlich spiegelt sich die Theorie der die Planeten mitführenden Sphären noch im Titel des Galileischen Berichts über die Entdeckung der vier größten Jupitermonde. Dort ist von den Fernrohrbeobachtungen *apprime vero in quatuor planetis circa Iovis stellam disparibus intervallis, atque periodis, celeritate mirabili circumvolutis* die Rede, »insbesondere aber bei den vier Planeten, die um den Stern Jupiter in ungleichen Abständen und Zeiträumen mit wunderbarer Geschwindigkeit herumgedreht werden«: Das passivische Partizip Perfekt von *circumvolvere*, dessen Simplex *volvare* ja in »Revolutiones« steckt, läßt auf keine Eigenbewegung schließen⁵¹.

Tychos astronomisch-physikalisches Weltbild war ein Kompromißangebot, das von den jesuitischen Astronomen relativ schnell angenommen und ausgestaltet wurde. In Mainz hielt Otto Cattenius 1610/11, noch zu Lebzeiten des jesuitischen Chefmathematikers Christoph Clavius, Vorle-

50 Tycho de Brahe, *De mundi phaenomenis* (wie Anm. 47), 159; E. Knobloch, *Materie* (wie Anm. 5), 96; M.-P. Lerner, *Le monde* (wie Anm. 19), 275.

51 G. Galilei, *Sidereus nuncius magna, longeque admirabilia spectacula pandens etc.*, Venedig, 1610.

sungen über Tychos Weltbild. In der gegenreformatorischen Epoche nach 1616 waren gemäß der Aufforderung von Clavius die galileischen Jupitermonde ebenso integriert wie die vom Collegium Romanum gutgeheißene Interpretation der Sonnenflecken als innermerkurische Kleinplaneten und der Komet als innerplanetarisches Gebilde⁵². Matteo Ricci reformierte die chinesische Astronomie mit dem tychonischen Weltsystem.

Keplers Leistungen wurden jahrzehntelang nicht rezipiert, auch nicht von Galilei. So ist es Galileis Abneigung gegen Tychos System zuzuschreiben, wenn er 1632 zu Unrecht mit den beiden hauptsächlichsten Weltsystemen das ptolemäische und das copernicanische bezeichnete. In Wahrheit konkurrierte zu dieser Zeit das copernicanische mit dem tychonischen Weltbild, wie es das berühmte Titelbild des Ricciolischen *Almagestum Novum* zeigt. Im Unterschied zu Tycho ließ Riccioli nur Jupiter und Saturn um die Erde als Mittelpunkt rotieren, nicht um die Sonne wie Tycho⁵³. Walter Saltzer hat überzeugende Gründe dafür benannt, warum dies so war. Abgesehen von Kepler und Galilei verstand man Copernicus so, daß feste Sphären die Planeten trugen. Solche Sphären aber hatte Tycho abgeschafft. Selbst Kepler hatte Copernicus den wiedergeborenen Pythagoras genannt: Copernicus war gar nicht neu⁵⁴. Dagegen konnte man mit Tychos Weltbild ein neues, gleichwohl bibelkonformes Weltbild propagieren, sich als wissenschaftsfreundlich darstellen, Innovation statt Restauration predigen. Die Kirche konnte ihren weltbildprägenden Anspruch auch in der gegenreformatorischen Strategie und Arbeit aufrecht erhalten.

Epilog

Erst Kepler verschmolz 1609 mathematische Astronomie und physikalisches Weltbild in seiner *Neuen Astronomie oder Himmelsphysik* zu einer widerspruchsfreien Synthese. Der Preis war die Aufgabe beider Theorien, der aristotelischen Physik wie der ptolemäischen Mathematik. Seine von Kircher widerlegte magnetische Planetendynamik trug das ihre dazu bei, daß seine drei Gesetze weder von Galilei noch von Otto von Guericke rezipiert wurden und erst bei Newton ihre volle Bedeutung erlangten. Entscheidend für den gläubigen Protestanten Kepler war jedoch, daß Copernicus der Erde das Stadtrecht im Himmel verliehen hatte, Copernicus,

52 W. Saltzer, Zum astronomischen Weltbild (wie Anm. 48), 593.

53 M. Weichenhan, »Ergo perit coelum ...«. Die Supernova des Jahres 1572 und die Überwindung der aristotelischen Kosmologie, Stuttgart 2004, 11–34.

54 E. Knobloch, Antikenrezeption und die wissenschaftliche Welt der Renaissance – am Beispiel der Astronomie, Berichte zur Wissenschaftsgeschichte 23, 2000, 115–125, hier 115.

dem er sich bis zur Selbstverleugnung unterordnete. Es war der Himmel des Aristoteles⁵⁵.

Als Otto von Guericke Mitte des 17. Jahrhunderts im programmatischen Gegenentwurf zu Descartes' plenistischem Universum daran ging, mit Hilfe der Luftpumpe die Möglichkeit eines Vacuums aufzuzeigen⁵⁶, war seine Kosmologie zugleich Theologie. Auf der *theologia mathematica* des Nicolaus von Kues fußend, setzte er den unendlichen Raum, das Nichts, mit Gott gleich – ein unausweichlicher Rückschluß aufgrund der cusanischen Unizität der absoluten Größtheit. Die Welt, jede andere Welt, war endlich, eine Synode, eine Weggemeinschaft von Planeten um ein Zentralgestirn. Jeder Weltkörper besaß einen Himmel, eine Sphäre von nur endlich weit reichenden Wirkkräften. Der aristotelische Himmel hatte ausgedient. Es blieb Newton vorbehalten, an die Stelle der zahllosen, begrenzt wirksamen Wirkkräfte (*virtutes*) die eine allgemeine Gravitation zu setzen.

55 J. Kepler, *De stella nova in pede serpentarii etc.*, Prag 1606. Ich zitiere den Wiederabdruck in: J. Kepler, *Gesammelte Werke*, Band 1, hg. v. M. Caspar, München 1938, 147–356, hier 246.

56 E. Knobloch, *Otto von Guericke und die Kosmologie im 17. Jahrhundert*, *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 26, 2003, 237–250.