

**NICOLAUS COPERNICUS UND DAS
ARISTOTELISCH-PTOLEMÄISCHE MONSTER**

VON

Armin Gerl +)

ZUSAMMENFASSUNG:

Die Motivation des Nicolaus Copernicus zum Umsturz des ptolemäischen Weltbildes der Astronomie wurde bisher unzureichend dargestellt. Textstellen bei Copernicus, bei seinem Schüler Rheticus, das Planetenmodell Tycho de Brahes und Arbeiten von Hartner und Neugebauer ermöglichen berechtigte Zweifel an den gängigen Motivdeutungen.

Die Asymmetrie des beim Zusammenbau der einzelnen Planetenkonstruktionen entstehenden ptolemäischen "Monsters" war nach den Aussagen des Copernicus selbst, wie seines Schülers Rheticus oder des Galilei ein starkes Motiv für die Einführung der Erdbewegung und die Heliozentrik. Die Asymmetrie des ptolemäischen "Monsters" äußert sich in den "Riesenepizykeln" von Venus und Mars und einem überstarken "Ausgebuchtetsein" der zugehörigen homozentrischen Kristallsphärenkonstruktion.

Die kopernikanische Lösung der Asymmetrieproblematik schafft einen harmonischen Erklärungszusammenhang aller Planetenbewegungen aus der einen Ursache der Erdbewegung (im heliozentrischen System) heraus; diese Harmonie erklärt eine Vielzahl von bereits vor Copernicus bekannten astronomischen Beobachtungen, die im ptolemäisch-alfonsinischen Weltbild ohne Erklärungszusammenhang blieben.

Die Begriffe Symmetrie und Harmonie dürften die Hauptmotivation zum "Copernicanischen Umsturz" gewesen sein. Der Harmoniebegriff des Copernicus geht weit über eine nur ästhetisch-pythagoräische Bedeutung hinaus, er besitzt kausallogischen Charakter und weist auf modernes naturwissenschaftliches Argumentieren, sowie der Symmetriebegriff ein Grundmuster vereinfachender mathematischer und physikalischer Weltorientierung darstellt. (Copernicus besaß ein sehr fein ausgeprägtes Symmetriebewußtsein, wie seine Dreieckslehre zeigt).

ABSTRACT:

This article tries to throw light on the development of Copernicus's thought. There is a good reason for analyzing many sentences from the hands of the rebel cosmic architect and his first disciple Rheticus; for the answers of many modern authors to the question why Nicolaus Copernicus replaced the ptolemaic astronomical system by a new one cannot be regarded as satisfactory. Sentences in the literary works of

+ Dipl.-Phys. Armin Gerl, 8400 Regensburg, Birkenstr. 19

Copernicus and Rheticus, Tycho de Brahe's astronomical theory and publications of Hartner and Neugebauer have persuaded me to attempt to satisfy the need for a sufficient answer.

According to Copernicus himself and Rheticus as well as Galilei the asymmetry and disharmony of the ptolemaic planetary system were chief causes of all the uncertainty in Ptolemy's astronomy. Copernicus says, that the assembly of Ptolemy's planetary spheres is like a "monster". This monster shows itself in the gigantic epicycles of Venus and Mars as well as in the immense intervals of the corresponding homocentric crystalline spheres; I have computed the intervals and distances of all ptolemaic planetary spheres.

The heliocentric arrangement of Copernicus creates an established harmonious linkage between the motion of the spheres and their size, such as can be found in no other way. An almost infinite number of appearances proceed from the same cause, which is in the earth's motion; in many ways do the planets bear witness to the earth's mobility.

Copernicus saw in the symmetry and the harmony of the universe the principal reasons why he abandoned the ptolemaic structure of the world. His harmoniousness of the entire universe has not merely aesthetical character, but possesses causative character; it points to modern scientific argumentation. The "symmetry of the parts of the universe" represents a fundamental pattern of simplification of the modern mathematical and physical interpretation of the world.

1. Einleitung

Über die Motive des Copernicus, die geozentrische Astronomie durch eine heliozentrische zu ersetzen, ist viel geschrieben worden. Immer wieder wurde behauptet, die heliozentrische Idee sei bei Kopernikus durch den neuplatonischen Sonnenkult angeregt worden. F. Schmeidler stellt diese Auffassung in seiner sehr gründlichen Copernicusbiographie in Frage. (1) Außerdem führt man häufig als Motiv die wegen der Ungenauigkeiten der Berechnungen zum Sonnen- und Mondlauf nötige Kalenderreform an. (2) Doch zeigen die Arbeiten von W. Hartner (3) und O. Neugebauer (4), daß die Mondtheorie des Copernicus auch im ptolemäischen System möglich war. Die "Sonnentheorie" (5) des Copernicus zeigt ebenfalls starke Anlehnungen an die Methode der Alfonsinischen Tafeln, die ja nur eine leichte Modifikation der ptolemäischen Theorie darstellt. Im übrigen stützen Textstellen in der "Narratio Prima", die von Rheticus, dem Schüler des Copernicus, verfaßt wurde, ebenfalls die Auffassung, daß Copernicus bezüglich des Sonnen- und Mondlaufs mit einer bloßen Reform der ptolemäischen Theorie ausgekommen wäre: *"Man könnte vielleicht ableugnen, was bei den sichtbaren Bewegungen der Sonne und des Mondes über die Erdbewegung gesagt wird, obwohl ich nicht sehe, wie man das Verhalten der Präzession auf den Fixsternhimmel übertragen will."* (6) *"Die Bewegung der Erde in ihrem Kreis liefert die vollständigen Beweise für alle Planeten mit Ausnahme des Mondes."* (7) In der von Tycho de Brahe mit handschriftlichen Anmerkungen versehenen Druckausgabe der "Revoluciones" befindet sich auch die Narratio Prima

des Rheticus. Tycho de Brahe hat dort die zuletzt zitierte Textstelle deutlich unterstrichen. Die Planetenbahnkonstruktion des Tycho de Brahe läßt ja gerade wieder Sonne und Mond um die unbewegliche Erde laufen, während sich bei ihm die anderen Planeten auf Grund der Beweiskraft copernicanischer Überlegungen, die wir später ausführen ("Anheftung an die Sonne"), um die Sonne bewegen.

Copernicus selbst hat in "De revolutionibus" am Ende des Kapitels 11 des ersten Buches den sogenannten Lysisbrief im Originalmanuskript wieder gestrichen; sein Hinweis auf die Pythagoräer bereitete ihm nachträgliche Skrupel. Der gestrichene Text beginnt nun gerade mit dem Hinweis, daß der Lauf von Sonne und Mond auch im geozentrischen System richtig dargestellt hätte werden können: *"Wenn wir auch zugeben wollen, daß der Lauf der Sonne und des Mondes auch bei Unbeweglichkeit der Erde abgeleitet werden könnte, so ist dies doch bei den übrigen Planeten weniger zulässig, und es ist anzunehmen, daß aus diesen und ähnlichen Ursachen Philolaus die Beweglichkeit der Erde erkannt habe."* (8)

Als weiteres Motiv des Copernicus wird häufig die Diskrepanz zwischen den berechneten und beobachteten Positionen der Planeten innerhalb der ptolemäisch-alfonsinischen Theorie angeführt. Doch Copernicus selbst schreibt im Vorwort an Papst Paul III. in seinem Werk "De revolutionibus orbium coelestium", daß *"diejenigen, welche die exzentrischen (und epizyklischen) Kreise ersannen, obgleich sie durch dieselben die erscheinenden Bewegungen zum großen Teil mit zutreffenden Zahlen gelöst zu haben scheinen, dennoch sehr vieles herbeigebracht haben, was den ersten Grundsätzen über die Gleichmässigkeit der Bewegungen zu widersprechen scheint"*. (8a) Das heißt, er stört sich wenig an Positionsfehlern (9), mehr an dem Widerspruch zu den ersten Grundsätzen über die Gleichmässigkeit der Bewegungen, womit die von dem Grundsatz der gleichförmigen Kreisbewegung abweichende ptolemäische Konstruktion des "Centrum Aequans" gemeint ist. O. Neugebauer zeigt (10), daß die copernicanischen heliozentrischen Bahnkurven der Planeten sich kaum von den ptolemäischen Exzenterbahnkurven unterscheiden (nur der Planet Merkur zeigt etwas andere Werte der Exzentrizität). Die Epizykelkreise bei Ptolemäus, deren Mittelpunkt sich auf der Exzenterbahnkurve bewegt, und die zur Erklärung der Rücklaufschleifen der Planetenbahn am Himmel dienten, wurden von Copernicus durch den mittleren Erdbahnkreis ersetzt: Die Epizykelradien unterscheiden sich kaum von dem mittleren Erdbahnradius, ins Verhältnis zum jeweiligen mittleren Planetenbahnradius gesetzt. Auch waren die von Copernicus benutzten Meßvorrichtungen viel zu ungenau, als daß Copernicus unterschoben werden könnte, er hätte großes Interesse an Positionsverbesserungen bei den fünf Planeten durch eine gegenüber Ptolemäus bzw. den Alfonsinischen Tafeln veränderte Zahlensystematik gehabt. In dem von Copernicus (vor seinem Hauptwerk) verfassten "Ersten Entwurf seines Weltsystems", auch "Commentariolus" genannt,

schreibt Copernicus: *"Daher schien es eine bessere Ansicht zu sein, daß dies durch exzentrische Kreise und Epizykel bewirkt wird (das Herauf- und Heruntersteigen der Planeten, Anm. d. Verf.). Und eben darin ist sich die Mehrzahl der Gelehrten einig. Aber was darüber von Ptolemaios und den meisten anderen hier und dort im Laufe der Zeit mitgeteilt worden ist, schien, obwohl es zahlenmäßig entsprechen würde, ebenfalls sehr viel Angreifbares in sich zu bergen. Denn es reichte nicht hin, wenn man sich nicht noch bestimmte ausgleichende Kreise vorstellte, woraus hervorging, daß der Planet sich weder auf seinem Deferenzkreise, noch in Bezug auf seinen eigenen Mittelpunkt mit stets gleicher Geschwindigkeit bewegte"* (11). Hiernach war der Hauptstörfaktor das "Centrum Aequans". Doch W. Hartner (12) und O. Neugebauer (13) wiesen nach, daß schon arabische Astronomen eine Mehrfachepizykelmethode mit nichtexzentrischem Trägerkreis wie Copernicus anwandten, um das "Centrum Aequans" loszuwerden. Auch die Beseitigung des "Centrum Aequans" wäre innerhalb der ptolemäischen Astronomie möglich gewesen. Es ist somit anzunehmen, daß Copernicus durch gravierendere Gründe zur "Heliozentrik" gelangte.

2. Das Symmetriemotiv

In der bereits zitierten Textstelle aus dem Vorwort an Papst Paul III. schreibt Copernicus weiter: *"Auch konnten sie die Hauptsache, nämlich die Gestalt der Welt und die tatsächliche Symmetrie ihrer Teile, weder finden noch aus jenen berechnen, sondern es erging ihnen so, als wenn jemand von verschiedenen Orten her Hände, Füße, Kopf und andere Körperteile, zwar sehr schön, aber nicht in der Proportion eines bestimmten Körpers gezeichnet, nähme und, ohne daß sie sich irgendwie entsprächen, mehr ein Monstrum als einen Menschen daraus zusammensetzte. Daher zeigt es sich, daß sie in der Beweisführung, die man Methode nennt, entweder etwas Notwendiges übergangen oder etwas Fremdartiges und zur Sache nicht Gehörendes hinzugesetzt haben, was ihnen gewiß nicht widerfahren wäre, wenn sie sichere Prinzipien befolgt hätten. Wenn aber ihre angewandten Hypothesen nicht trügerisch wären, so hätte sich alles, was daraus folgt, unzweifelhaft bewährt. Es mag, was ich hier sage, dunkel sein, es wird aber gegebenerorts klar werden."* (14)

Dies deutet schon den Problemkreis an, mit dem sich dieser Aufsatz beschäftigt.

Galilei schreibt dazu in seinem Dialog:

"Salviati: Euere Bemerkungen sind ganz richtig. Ihr müßt aber wissen, daß das hauptsächliche Ziel der Astronomen von Fach kein anderes ist, als nur Rechenschaft von den Erscheinungen an den Himmelskörpern abzulegen. Um diese und die Bewegungen der Gestirne zu erklären, suchen sie einen passenden Aufbau durch Zusammensetzung von Kreisen herzustellen, derart daß die auf Grund einer solchen Annahme gewonnenen Rechnungsergebnisse Bewegungen liefern, die mit den Erscheinungen selbst übereinstimmen, wobei ihnen wenig darauf ankommt, irgend welche ganz ungeheuerliche Hypothese zu benutzen, die tatsächlich aus anderen Rücksichten Anstoß erregend sein könnte. Copernicus selbst schreibt, er habe bei seinen ersten Studien die astronomische Wissenschaft auf Grund

der unveränderten Voraussetzungen des Ptolemäus neu zu gestalten gesucht und die Bewegungstheorien der Planeten derart verbessert, daß die Rechnungen mit den Erscheinungen und die Erscheinungen mit den Rechnungen sehr wohl übereinstimmten, nur insoweit jedoch, als man einzeln Planet für Planet vornahm. Er fügt aber hinzu, daß er danach versucht habe, den gesamten Bau aus den Einzelkonstruktionen zusammenzufügen; da sei daraus ein Ungetüm, eine Chimäre entsprungen, zusammengesetzt aus den ungleichartigsten, völlig unvereinbaren Gliedern, sodaß zwar die Aufgabe des rechnenden Fachastronomen eine befriedigende Lösung gefunden habe, nicht aber habe der Astronom als Philosoph sich daran genügen lassen können. Da er aber sehr wohl einsah, daß wenn schon die Himmelserscheinungen aus falschen Annahmen heraus allenfalls eine Erklärung finden konnten, dies noch weit besser auf Grund wirklich zutreffender Voraussetzungen möglich sein müsse, so begann er sorgfältig nachzuforschen, ob einer der bedeutenden Männer des Altertums der Welt einen anderen Bau zugeschrieben habe als den allgemein gebilligten des Ptolemäus. Er fand nun, daß einige Pythagoräer der Erde speziell die tägliche Umdrehung, andere ihr auch die jährliche Bewegung beigelegt hatten; da machte er sich denn daran, mit diesen beiden neuen Voraussetzungen die Erscheinungen und Besonderheiten der Planeten in Übereinstimmung zu bringen, Dinge, welche ihm alle bequem zur Hand waren. Als er nun schließlich sah, daß das Ganze auf wunderbar einfache Weise in Harmonie stand mit seinen Teilen, so nahm er dieses neue Weltsystem an und fand in ihm Befriedigung." (15) Galilei schreibt, Copernicus wollte ursprünglich nur eine Reformation der ptolemäischen Astronomie, das Problem des "Centrum Aequans" mit eingeschlossen, das ja die exzentrisch-epizyklische Konstruktion der einzelnen Planetenbewegung betrifft. Copernicus schreibt hierzu in Buch V, Cap. 2 von "De revolutionibus orbium coelestium" unter der Überschrift "Darstellung der gleichmässigen und der scheinbaren Bewegung der Planeten nach der Ansicht der Alten":

"Man gestattet also, daß hier eine gleichmässige Kreisbewegung um einen fremden, nicht eigenen Mittelpunkt existieren könne. Ähnlich soll dies auch beim Merkur noch mehr zutreffen, es ist dies aber schon beim Monde hinreichend widerlegt. Dieses und Ähnliches hat uns darauf geführt, eine Bewegung der Erde und eine andere Ableitungsart anzunehmen, bei welcher die Gleichmäßigkeit und die Grundlage der Wissenschaft erhalten und die Ursache der Ungleichmässigkeit zuverlässiger gestaltet wird." (16)

Copernicus schreibt hier, das "dieses" (Problem des Centrum Aequans) und "Ähnliches" (damit könnte er das Symmetrie- und Harmonieproblem meinen) ihn zur Einführung der Erdbewegung gebracht habe.

Wir wollen uns noch einmal den zugehörigen Text des Vorworts an Papst Paul III. in "De revolutionibus orbium coelestium" ins Gedächtnis rufen:

"Auch konnten sie die Hauptsache, nämlich die Gestalt der Welt und die tatsächliche Symmetrie ihrer Teile weder finden noch aus jenen berechnen, sondern es erging ihnen so, als wenn jemand von verschiednen Orten her Hände, Füße, Kopf und andere Körperteile, zwar sehr schön, aber nicht in der Proportion eines bestimmten Körpers gezeichnet, nähme

und, ohne daß sie sich irgendwo entsprächen, mehr ein Monstrum als einen Menschen daraus zusammensetzte."

Wir wollen nun dieser Vorschrift folgend, das "ptolemäische Monster" aus den einzelnen Körperteilen zusammensetzen, die sich daraus ergebende "Gestalt der Welt" in ihren "Proportionen" betrachten im Hinblick auf die "Symmetrie ihrer Teile". Dazu müssen wir zuerst die Vorstellungen des kritisierten astronomischen Weltbildes, bestehend aus dem Konflikt zwischen den homozentrischen Kristall-Sphären und der exzentrisch-epizyklischen Geometrie näher ansehen. Zuerst wollen wir uns den Auffassungen der Astronomen vor Copernicus von der Gestalt des Weltalls zuwenden. Copernicus schreibt in der Vorrede seines Buches "De revolutionibus orbium coelestium" an Papst Paul III. dazu folgendes:

"Aber Deine Heiligkeit wird vielleicht nicht so sehr darüber verwundert sein, daß ich es gewagt habe, diese meine Nacharbeiten zutage zu fördern, nachdem ich mir bei der Ausarbeitung derselben so viel Mühe gegeben habe, daß ich ohne Scheu meine Gedanken über die Bewegung der Erde den Wissenschaften anvertrauen kann, sondern sie erwartet vielmehr von mir zu hören, wie es mir in den Sinn gekommen ist, zu wagen, gegen die angenommene Meinung der Mathematiker, ja beinahe gegen den gemeinen Menschenverstand, mir irgendeine Bewegung der Erde vorzustellen. Deshalb will ich Deiner Heiligkeit nicht verhehlen, daß mich zum Nachdenken über eine andere Art, die Bewegungen der Sphären des Weltalls zu berechnen, nichts anderes bewogen hat als die Einsicht, daß sich selbst die Mathematiker bei ihren Untersuchungen hierüber nicht einig sind. Denn erstens sind sie über die Bewegung der Sonne und des Mondes so im Ungewissen, daß sie die ewige Größe des vollen Jahres nicht abzuleiten und zu beobachten vermögen. Zweitens wenden sie bei Feststellung der Bewegungen sowohl jener als auch der übrigen fünf Planeten weder dieselben Grund- und Folgesätze noch dieselben Beweise für die zu beobachtenden Umläufe und Bewegungen an. Die einen bedienen sich nämlich nur der konzentrischen (das System, das Aristoteles aus dem Werk von Eudoxus und Kallipp abgeleitet hatte, und das in Europa kurz vor Kopernikus' Tod von den italienischen Astronomen Fracastoro und Amici wieder verwendet wurde; Anm. d. Verf. Kuhn), die anderen der exzentrischen und epizyklischen Kreise, durch die sie jedoch das Erstrebte nicht völlig erreichen. Denn diejenigen, die sich zu den konzentrischen Kreisen bekennen, obgleich sie beweisen, daß einige ungleichmäßige Bewegungen aus ihnen zusammengesetzt werden können, haben dennoch daraus nichts Bestimmtes festzustellen vermocht, was unzweifelhaft den Beobachtungen entspreche. Diejenigen aber, welche die exzentrischen Kreise ersannen, haben, obgleich sie durch dieselben die zu beobachtenden Bewegungen zum großen Teil mit zutreffenden Zahlen gelöst zu haben scheinen, (17) dennoch sehr vieles herbeigebracht, was den ersten Grundsätzen über die Gleichförmigkeit der Bewegung zu widersprechen scheint (Verwendung eines "Centrum Aquans"; Anm. d. Verf.).

Auch konnten sie die Hauptsache, nämlich die Gestalt der Welt und die tatsächliche Symmetrie ihrer Teile, weder finden noch aus jenen berechnen, sondern es erging ihnen so, als wenn jemand von verschiedenen Orten her Hände, Füße, Kopf und andere Körperteile, zwar sehr schön, aber nicht in der Proportion eines bestimmten Körpers gezeichnet, nähme und, ohne daß sie sich irgendwie entsprächen, mehr ein

Monstrum als einen Menschen daraus zusammensetzte. Daher zeigt es sich, daß sie in der Beweisführung, die man Methode nennt, entweder etwas Notwendiges übergangen oder etwas Fremdartiges und zur Sache nicht Gehörendes hinzugesetzt haben, was ihnen gewiß nicht widerfahren wäre, wenn sie sichere Prinzipien befolgt hätten. Wenn aber ihre angewandten Hypothesen nicht trügerisch wären, so hätte sich alles, was daraus folgt, unzweifelhaft bewährt. Es mag, was ich hier sage, dunkel sein, es wird aber gegebenenorts klar werden." (18)

Copernicus führt hier zwei verschiedene Erklärungsmodelle für die Planetenbewegungen an, die aus zwei verschiedenen Schulen kommen. Die eine Lehrmeinung ist die des Aristoteles, der sich auf das Werk des Eudoxos stützt; sie stellten sich vor, daß die Gestirne nicht frei durch die Himmelsräume schweben, sondern nahmen an, daß die Himmelskreise an festen Kristallsphären haften, die einander berühren und so durch Kontaktwirkung die Bewegung des Primum Mobile empfangen, die sich bis zum Mond herab fortpflanzt. Das Primum Mobile ist die oberste von 9 Sphären, die sogenannte 9. Sphäre; sie besitzt eine 24-stündige Umdrehung von Ost nach West und treibt sämtliche darunterliegenden 8 Sphären (Saturn, Jupiter, Mars, Sonne, Venus, Merkur, Mond) zu einem 24-stündigen Umschwung von Ost nach West an (Tägliche Bewegung der Sterne und Planeten). Bei den Astronomen der Alfonsinischen Tafeln, die leichte Modifikationen der ptolemäischen Astronomie vornahmen, vor allem in Bezug auf die Präzession, wird noch die Sphäre der "Trepidation" eingeschoben, sodaß das Primum Mobile bei ihnen die 10. Sphäre darstellt. (19)

Während das Primum Mobile nur die eine Bewegungskomponente von Ost nach West besitzt, haben alle anderen 8 Sphären (oder 9) 2 Bewegungskomponenten. Außer der 24-stündigen Ost-West-Komponente tritt noch eine Eigenbewegung der Sphären in entgegengesetzter Richtung von West nach Ost auf mit unterschiedlichen Umlaufzeiten (Mond: 1 Monat, Sonne: 1 Jahr, Mars: 2 Jahre, Jupiter: 12 Jahre, Saturn: 30 Jahre), durch die gemäß dem "Gesetz der Reihenfolge" die Entfernungen der einzelnen Sphären von der Erde bestimmt sind: Je weiter entfernt von der Erde ein Planet umläuft, umso größer ist seine Umlaufzeit entsprechend der größeren Umlaufbahn. Nimmt man für alle Planeten die gleiche Bahngeschwindigkeit an, dann muß der Bahnradius proportional zur Umlaufzeit sein; man erhält folgende Bahnradien, wenn man von einem Sonnenbahnradius von ungefähr 1200 Erdradien ausgeht: Mond 100, Sonne 1200, Mars 2400, Jupiter 14400, Saturn 36000. (19a) Merkur und Venus haben ungefähr die gleiche (Exzenter)Umlaufzeit wie die Sonne, sodaß ihr Platz in der Entfernungsreihenfolge über die Umlaufzeit nicht festgelegt werden kann. Dies führte zu unterschiedlichen Modellen für die Bahnorte von Merkur und Venus bereits in der vorkopernikanischen Astronomie. Die Erde ist das Zentrum all dieser "homozentrischen Sphären" und weist keinerlei Bewegungskomponente auf. Die einzelnen Sphären sind Festkörper aus Kristallglas, sodaß die Planeten

stabile Trägerkristallkugelschalen besitzen, was einen Kraftbegriff durch leere Räume hindurch, wie ihn Newton ersann, unnötig macht. Zwischen Erdkugel und Mondsphäre befindet sich kein Kristallraum, sondern die 4 Elemente Erde, Wasser, Luft und Feuer. Das Element Erde strebt geradlinig zum Erdmittelpunkt, das Element Feuer geradlinig vom Erdmittelpunkt weg zur konkaven Mondsphärenkristallschale hin. (20) Der unterhalb der konkaven Mondsphärenschale liegende Bereich (sublunarer Bereich) unterliegt der Endlichkeit und Veränderlichkeit, der Bereich darüber einschließlich der Mondsphäre (supralunarer Bereich) unterliegt der Ewigkeit und Unveränderlichkeit. Die äußerste Luftschicht folgt dem 24-stündigen Umschwung des Primum Mobile, weswegen die Kometen (auch Bartsterne genannt) dem 24-stündigen Umschwung mitunterliegen. (21)

Die zweite Lehrmeinung von den exzentrisch-epizyklischen Kreisen war zu Aristoteles Zeiten noch unbekannt. (22) Sie wurde wahrscheinlich von Apollonius im 3. Jahrhundert vor Christus ausgearbeitet und von Hipparch und Ptolemäus vervollständigt: Die beobachteten veränderlichen Entfernungen der Planeten von der Erde brachten eine gewisse Unverträglichkeit mit festen homozentrischen Kristallsphären mit sich. Einige Astronomen versuchten die Kristallkonstruktion des Aristoteles mit der Exzenter-Epizykel-Theorie in Einklang zu bringen, andere setzten an deren Stelle eine rein geometrische Exzenter-Epizykel-Theorie, die sich nicht darum bekümmerte, welcher stofflich-realen Mittel die Natur sich dabei bedient, was nun wieder den aristotelisch orientierten Physikern mit ihrer Forderung nach einem die Planeten tragenden, ihnen Halt bietenden Festkörpersystem nicht annehmbar schien. (23) Rheticus bezeichnet diesen Konflikt als einen zwischen dem Mathematiker und Physiker. (24)

Die Mathematikerschule interessierte sich nur für eine geometrische Berechnungsgrundlage zu den beobachteten Planetenpositionen. Ihre Planetenlaufkonstruktion bestand aus exzentrischen und epizyklischen Kreisen: Die exzentrischen Kreise waren um einen Mittelpunkt Z konstruiert, der eine bestimmte Entfernung von dem Standort des Erdbeobachters B hatte (siehe Abb. 1). Außerdem wurde noch ein 3. Punkt eingeführt, das sogenannte "Centrum Aequans", der vom wahren Kreiszentrum genau so weit entfernt war, wie der Punkt des Erdbeobachters. Die Entfernung $ZB = ZAe$ heißt Exzentrizität und wird bezogen auf den Kreisradius r_1 angegeben. Die Winkelgeschwindigkeit eines Punktes auf dem Deferenten (Kreislinie des exzentrischen Kreises) ist nur vom "Centrum Aequans" aus gesehen konstant, nicht aber von den Punkten Z und B aus; anders gesprochen: Die Bewegung eines Punktes auf dem Deferenten wird nur vom Centrum Aequans aus als gleichförmig erlebt, von den anderen Punkten aus nicht. Copernicus stieß sich später an diesem Gedanken des Centrum Aequans. Für ihn konnte eine Bewegung auf einer Kreislinie nur vom Kreiszentrum selbst (Z) als gleichförmig angegeben

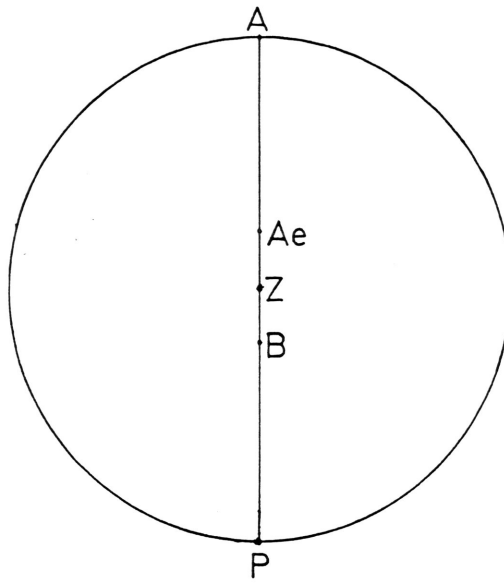


Abb.1:Exzentrischer Kreis

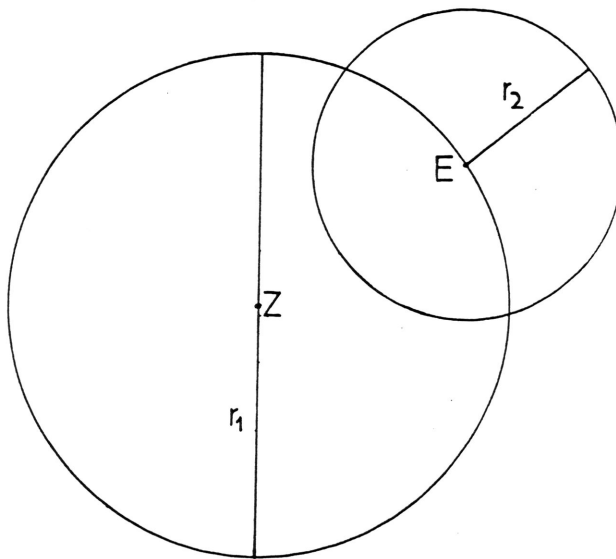


Abb.2:Exzentrischer Kreis mit Epizykel

werden.

Dieser exzentrische Kreis sollte es ermöglichen, die sogenannte 1. Ungleichheit der Planetenbewegung rechnerisch zu beschreiben, die darin bestand, daß vom Erdbeobachter aus gesehen, der Planet mit verschiedenen Winkelgeschwindigkeiten umlief. Im Punkt der größten Erdnähe (P: Perigäum) beispielsweise lief er am schnellsten vorbei, im Punkt der größten Erdferne (A: Apogäum) am langsamsten.

Die sogenannte 2. Ungleichheit der Planetenbewegung (die Planeten zeigen Rücklaufschleifen in gewissen Bereichen ihrer Umlaufbahn) führte zur Einführung eines zweiten Kreises, des sogenannten Epizykels. Er hatte seinen Mittelpunkt E auf dem Deferenten des exzentrischen Kreises. Der Epizykelradius r_2 (Halbmesser) richtete sich nach der Größe der am Himmel beobachteten Rücklaufschleife (siehe Abb. 2). So erhielt man für Venus und Mars sehr große Epizykelradien (sogenannte "Riesenepizykel"), für die anderen Planeten kleinere. Regiomontanus weist am Ende seines letzten Briefes an Bianchini (25) auf die Problematik der Riesenepizykel hin und Copernicus mißt ihnen große Bedeutung bei seiner astronomischen Revolution zu (siehe später), Rheticus geht auf Centrum Aequans und Riesenepizykel der Venus in der Narratio Prima ein: *"Laßt mich immerhin hier mit Schweigen übergehen, welche Tragödien die Schmäher dieses schönsten und lieblichsten Teils der Philosophie aufgeführt haben wegen der Größe des Epizykels der Venus und wegen der Behauptung, daß die Bewegungen der himmlischen Bahnen um die eigenen Mittelpunkte durch die Annahme von Ausgleichskreisen ("Aequanten", "Centrum Aequans"!)) als ungleichmäßig angesehen wurden."* (26)

Die beiden Lehrmeinungen der aristotelischen "Physiker" und der "Almagest-Mathematiker" liefen in Europa lange Zeit unversöhnt nebeneinander her, bis Georg Peurbach in seiner Schrift "Neue Planetentheorien" (Theoricae Novae Planetarum) (27) beide nach arabischem Vorbild vereinigte. (28) Peurbach war der erste europäische Astronom, der ein vollständig ausgearbeitetes Lehrbuch der Astronomie nach Ptolemäus verfaßte. Seine Planetentheorie hielt sich eng an die des Ptolemäus und ihre leichten Abänderungen durch die Verfasser der Alfonsinischen Tafeln.

Das "Neue" in den "Planetentheorien" Peurbachs waren die Abänderungen gegenüber dem Almagest einschließlich der Kristallschalenskonstruktion nach arabischem Vorbild. Peurbach dachte sich Kristallkugelschalen von bestimmter Dicke zu jedem Planeten, so daß ein Planet innerhalb einer Kugelschale seinen Abstand von der Erde verändern konnte. Er höhle die Kugelschalen aus, wobei die Höhlung von entweder konkaven oder konvexen Kristallsphärenoberflächen eingeschlossen wurde. Die leere Höhlung lag exzentrisch zum Weltmittelpunkt (Centrum mundi), was dadurch erreicht wurde, daß innerhalb der homozentrischen Schalungen exzentrische Schalungen lagen. In der Höhlung lief die Epizykel-

sphäre um. Für diese Konstruktion war die Berechnung der Schalendicken nötig (aus dem Abstand der konkaven und konvexen Kugeloberflächen vom Weltzentrum). Es gibt eine Handschrift in deutscher Sprache von Peurbach aus dem Jahre 1454, von der zwei Exemplare existieren (29), die die Abstände der Sphärenoberflächen von Mond, Merkur, Venus, Sonne und Sternensphäre angibt in Einheiten des Erdradius, wobei der angegebene Abstand der konkaven Sonnenschale (kleinste Sonnenentfernung) sich nicht an den Araber Al-Battani anlehnen dürfte (1079 Erdradien; Al-Battani: 1070 Erdradien), sondern an die Wertezuordnungen zu den Planetenabständen im Kommentar des Proklos zu Platons Timaios, die gerundet sind und nach Proklos den "Hypothesen" des Ptolemäus entnommen sind. (30) Der Lehrer des Copernicus, Albert Brudzewo, verfaßte einen ausführlichen Kommentar (31) zu Peurbachs "Neue Planetentheorien", wodurch Copernicus schon als Anfangsstudent in Krakau mit Peurbachs Werk bekannt werden konnte. (32) Zur Berechnung der Abstände der Kristallsphärenflächen von der Erde stützten sich die ptolemäischen Astronomen auf die gemessenen Absolutwerte der Entfernungen der Mond- und Sonnensphäre (Ptolemäus gibt für die kleinste Mondentfernung vom Erdmittelpunkt 33 Erdradien, für die größte Mondentfernung $64\frac{1}{6}$ Erdradien an; für die Sonne gibt er nur eine mittlere Entfernung von $1209\frac{81}{191}$ Erdradien an), (33) in die sie die aus den Werten der Exzentrizität und der Epizykelhalbmesser errechneten relativen Planetenentfernungen einbauten, um sie an die konvexen Sphärenoberflächen des Mondes und der Sonne anzuschließen. Albert von Brudzewo listet am Ende seines Kommentars zu Peurbachs Planetentheorie in einer Tabelle die Werte der Exzentrizitäten und Epizykelhalbmesser zu jedem Planeten auf, (34) wobei er genau die Werte des Ptolemäus angibt.

Mit Hilfe dieser Exzentrizitäten und Epizykelradien bezogen auf den Exzenterradius 60 partes kann man für jeden Planeten den relativen größten und kleinsten Abstand von der Erde berechnen (Apogäumsabstand, Perigäumsabstand). Verknüpft man diese relativen Abstände mit den absoluten von Sonne und Mond, so erhält man nach dem arabischen Astronomen Al-Farghani folgende Tabelle 1.

Tabelle 1: Sphärenabstände und Sphärendicken im Ptolemäischen System

(Einheit: Erdradius)

Planet	Extremabstände	Differenz = Sphärendicke
Mond	33 $64\frac{1}{6}$	$31\frac{1}{6}$
Merkur	$64\frac{1}{6}$ 167,366	103,199
Venus	167,366 1121,35	953,98
Sonne ³⁵⁾	1121,35 1219	97,65
Mars	1219 8875	7656
Jupiter	8875 14404	5529
Saturn	14404 20109	5705

Zeichnet man diese Kristallsphärenschalen aneinandergereiht, so sieht man, daß durch die relativ großen Sphärenschalendicken von Venus und Mars, die von den ihnen von Ptolemäus zugeordneten Riesenepizykeln herrühren, ein unförmiges, in der Mitte aufgeblähtes Gebilde um die Sonnensphäre herum entsteht (siehe Abb. 3).

Die Venusosphäre ist gegenüber den Sphären von Merkur, Mond und Sonne ungewöhnlich dick (954 Erdradien!). Auch die Marssphäre ist ungewöhnlich dick (7656 Erdradien!). Copernicus schreibt hierzu in Buch I, Kapitel 10 von "De Revolutionibus": "Dagegen verteidigen diejenigen, welche Venus und Merkur unter die Sonne stellen, ihre Ansicht durch die Größe des Raumes, den sie zwischen Sonne und Mond finden. Denn sie haben ermittelt, daß der größte Abstand des Mondes von der Erde, also $64\frac{1}{6}$ solcher Teile, von denen einer vom Mittelpunkt der Erde bis zur Oberfläche reicht, - in der kleinsten Entfernung der Sonne fast 18mal enthalten sei, und diese 1160 (36) solcher Teile betrage, zwischen ihr und dem Mond also 1096. Damit nun ein so weiter Raum nicht leer bleibe, finden sie aus den Unterschieden der Abstände, aus denen sie die Größe ihrer Bahnen berechnen, daß dieselben Größen nahezu ausreichen, daß auf die größte Entfernung des Mondes, die kleinste Merkurs, und auf dessen größte Entfernung die kleinste der Venus folge, welche dann endlich in ihrer größten Entfernung die Sonne in ihrer kleinsten Entfernung gleichsam berührt. Sie glauben nämlich, daß die Merkurbahn 177,5 (37) der oben bezeichneten Teile umfasse, und daß der übrige Raum von dem Durchmesser der Venusbahn mit 910 (38) Teilen nahezu ausgefüllt werde." (39)

Man sieht auch bei den Werten des Copernicus die gegenüber der Merkursphärendicke ($177,5 - 64\frac{1}{6} = 112,833$) große Dicke der Venusphäre (910). An einer späteren Stelle des Kapitels 10 sagt Copernicus: *"Was soll also in diesem ganzen Raume enthalten sein, der um so größer ist, als er Erde, Luft, Ather, Mond und Merkur, und was außerdem noch der ungeheure Epizykel der Venus ausmacht, wenn er um die ruhende Erde kreist, umfaßt."* (40)

Rheticus schreibt in der Narratio Prima: (41) *"Überdies, ihr unsterblichen Götter, welcher Waffenlärm, welcher großer Streit war bis jetzt über die Lage der Bahnen der Venus und des Merkur und ihre Stellung zur Sonne! Wahrlich heute noch ist der Streit unentschieden, und wer gibt es fürderhin, der nicht sähe, daß es ziemlich schwer und geradezu unmöglich ist, diesen Streit jemals unter Aufrechterhaltung dieser gewöhnlichen Hypothesen zu schlichten. Was würde nämlich entgegenstehen, wenn jemand, jedoch unter Beibehaltung des gegenseitigen Verhältnisses der Bahnen und Epizykel, den Saturn sogar unter die Sonne stellen würde, da in eben diesen Hypothesen die gemeinsame gegenseitige Ausmessung der Planetenbahnen noch nicht so nachgewiesen ist, daß durch sie jede beliebige Bahn an ihrem Ort geometrisch abgegrenzt würde. Laßt mich immerhin hier mit Schweigen übergehen, welche Tragödien die Schmärer dieses schönsten und lieblichsten Teils der Philosophie aufgeführt haben wegen der Größe des Epizykels der Venus und wegen der Behauptung, daß die Bewegungen der himmlischen Bahnen um die eigenen Mittelpunkte durch die Annahme von Ausgleichskreisen als ungleichmäßig angesehen wurden."*

Die Schmärer dieses schönsten und lieblichsten Teils der "Philosophie" sind die Gegner des heliozentrischen Systems. Der "schönste und lieblichste" Teil der Philosophie ist charakterisiert durch die beiden Eigenschaften "Symmetrie der Gestalt des Weltalls" und "Harmonie" des Bewegungszusammenhangs. (42) Rheticus verweist sehr oft auf diese Eigenschaften des Kopernikanischen Systems: *"Am meisten hat sechstens und letztens den H. Doctor, meinen Lehrer, die Überlegung bewogen (zu seiner Heliozentrik, Anm. d. Verf.), daß er den Grund aller Unsicherheit in der Astronomie darin sah, daß die Meister dieser Wissenschaft ihre Theorien und Berechnungen zur Verbesserung der Bewegungen der himmlischen Körper zu wenig streng nach jenem Grundsatz gerichtet haben, welcher einschärft, daß die Anordnung und die Bewegungen der himmlischen Kreisbahnen auf einem ganz ohne Einschränkung geltenden System beruhen müssen."* (43) Oder: *"Ferner möchte ich zwar behaupten, daß die bewundernswerte und sowohl Gottes, des Baumeisters, wie dieser göttlichen Körper ganz würdige Symmetrie und Verflechtung der Bewegungen und Bahnen (Harmonie des Bewegungszusammenhangs, Anm. d. Verf.), die durch die Annahme der vorgenannten Hypothesen aufrechterhalten wird..."* (44)

Oder: *"Aber wenn jemand auf das prinzipielle Ende der Astronomie schauen will und auf die Anordnung und Harmonie des Sphärensystems oder auf die Leichtigkeit und Eleganz und auf eine vollständige Erklärung der Ursachen der Erscheinungen..."* (45)

Widmen wir uns nun weiter dem 1. Aspekt der "Symmetrie der Gestalt des Weltalls", der "Anordnung der Bahnen" zu. Dadurch, daß die Erde bei Copernicus nicht stillsteht, sondern einen Bahnkreis um die Sonne beschreibt (genannt "große Bahn") und die Sonne im Zentrum aller Planetenbahnkreise steht, werden die Rücklaufschleifenepizykel aller Planeten überflüssig. Sie werden durch einen einzigen Kreis ersetzt, den "großen Bahnkreis" der Erdbewegung. Behält man die relativen Werte für Rücklaufschleifenepizykelradius und Exzenterradius des Ptolemäus bei, (46) so kann man mit ihrer Hilfe die Abstände der Planetenbahnen in "Großen-Bahn-Radius-Einheiten" im Kopernikanischen System berechnen. Man erhält folgende Werte (Tab. 2), wenn man den mittleren Erdbahnradius nach Copernicus zu 1142 Erdradien ansetzt. (47)

Tabelle 2: Planetenbahnabstände und Zwischenräume nach Copernicus

Planet	mittlere Entfernung		Zwischenraum (Erdradien)
	Erdbahnradien	Erdradien	
Merkur	0,376	429,39	429,39
Venus	0,719	821,1	391,21
Erde	1,000	1142	320,9
Mars	1,520	1735,84	593,84
Jupiter	5,219	5960,1	4224,26
Saturn	9,175	10477,85	4517,75

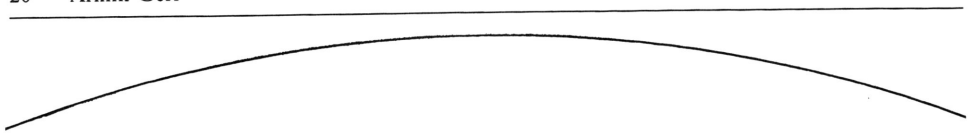
Die anschauliche Darstellung dieser Tabelle wird in Abb. 4 dem ptolemäischen Bau des Weltalls (Abb. 3) gegenübergestellt.

Dabei sind hier für die einzelnen Planeten keine kleinste und größte Entfernung angegeben, denn die "Sphärendicken" des Copernicus (48) sind sehr klein. Man sieht, daß die leeren Räume zwischen den Planetensphären vom Mond bis zur Erde nahezu gleich sind. Daß diese Anordnung sich gegenüber der ptolemäischen durch höhere Symmetrie auszeichnet, drückt Copernicus (49) so aus: *"So würde denn in der Tat, die Bahn Merkurs, von derjenigen der Venus, welche mehr als doppelt so groß ist, umschlossen, und fände in der Ausdehnung dieser die ihr genügende Stelle."* Und Rheticus schreibt in der Narratio Prima: (50) *"Dazu kommt, daß auf diese Weise von den vorgenannten sechs (51)*

beweglichen Kreisbahnen die himmlische Harmonie bewirkt wird (Erklärungszusammenhang der Bewegungen, Anm. d. Verl.), bei der alle Bahnen sich in der Art folgen, daß von der einen zur anderen kein ungeheurer großer Zwischenraum bleibt ("intervalli, immensitas" ...)" Tycho de Brahe hat diese Stelle der Narratio in der von ihm handschriftlich kommentierten lateinischen Ausgabe am Rand als besonders wichtig angestrichen, wie auch die Stelle im Vorwort von "De Revolutionibus" an Papst Paul III., in der von der "Symmetrie der Teile des Weltalls" und von dem beim Zusammenbau der Sphären entstehenden "Monster" die Rede ist.

Die Konstruktion des Copernicus behebt teilweise noch eine weitere Asymmetrie der ptolemäisch-alfonsinischen Astronomie: Das sogenannte "Gesetz der Reihenfolge" bringt Planetenumlaufzeiten und Planetenabstände von der Erde in einen proportionalen Zusammenhang (wie bereits eingangs erwähnt), der jedoch weder mit den Planetenabständen nach Ptolemäus und Alfraganus noch mit denen nach Peurbach und Proclus erfüllt wird. Auch die Planetenabstände des Copernicus erfüllen das Proportionalitätsschema nicht. Dies führte bis zu Kepler und gerade bei diesem zu immer neuen Lösungsansätzen. In Bezug auf die Umlaufzeit des Primum Mobile ergab sich nach Ptolemäus-Alfons ein eklatanter Widerspruch zum Gesetz der Reihenfolge: Das am weitesten von der Erde entfernte Primum Mobile hat die kleinste Umlaufzeit. Diese krasse Abweichung behebt das Kopernikanische System, indem es den 24-stündigen Umschwung aus der Reihe der Sphärenumlaufzeiten herausnimmt und in eine 24-stündige Rotation des Planetenkörpers Erde verwandelt und dem Primum Mobile jede Bewegung abspricht. Außerdem erhält Copernicus dadurch, daß er die Sonne in die Mitte seines Universums stellt, neue Umlaufzeiten für Merkur und Venus, die er bereits im Commentariolus stolz präsentiert: "*Venus vollendet im 9. Monat, Merkur im 3. Monat eine Umwälzung.*" Bei Ptolemäus-Alfons hatten ja Merkur, Venus und Sonne die gleiche Umlaufzeit. So nimmt nun im Kopernikanischen System die Umlaufzeit für alle Planeten mit dem Abstand von der Sonne zu; das Gesetz der Reihenfolge ist nun besser erfüllt. Möglicherweise war dies der erste Anstoß für Copernicus, das Heliozentrische System intensiver mathematisch zu studieren.

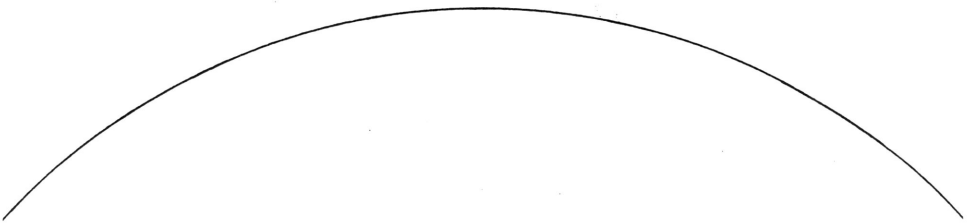
Bei Copernicus wird nun die Dicke eventueller zu den Planetenbahnen gehöriger Kristallsphären alleine gemäß den ptolemäischen Exzentrizitäten errechnet (und nicht mehr zusätzlich über die Rücklaufschleifenepizykelhalbmesser) und Copernicus verwendet hier Werte, die nur wenig von den ptolemäischen Exzentrizitäten abweichen. (52) Die Sphären liegen homozentrisch zur Sonne und können sehr dünn sein, wobei der Abstand von einer Sphäre zur nächsten im Vergleich zur Dicke jeder einzelnen Sphäre sehr groß ist (Beispiel Mars: Sphärendicke 0,2956 Erdbahnradien; mittlerer Abstand zwischen Mars und Erdsphäre 0,52 Erdbahnradien; Erdsphärendicke 0,0646 Erdbahnradien). Damit ergibt sich



Saturn



Jupiter



Mars

Man beachte die schmale
Sonnensphäre



Merkursphäre

Abb.3:Sphären im Ptolemäischen System

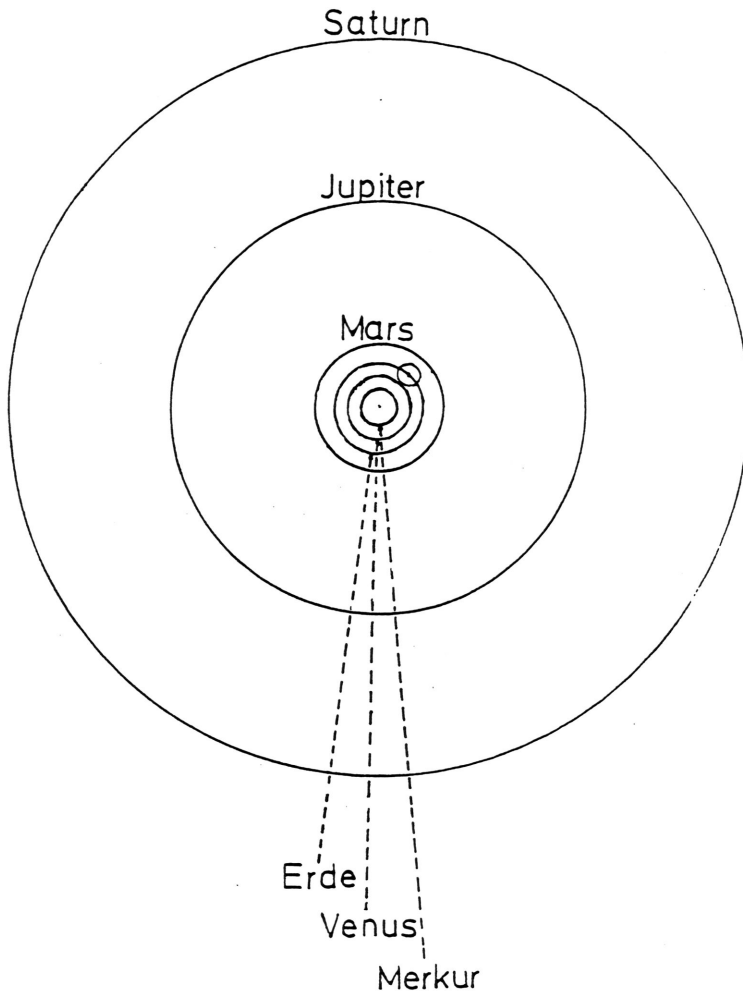


Abb.4: Planetenbahnen bei Copernicus

ein Raum von 0,3397 Erdbahnradien zwischen Mars- und Erdsphäre, in dem niemals einer der beiden Planeten erscheint. Bei der Sphärenkonstruktion Peuerbachs gibt es keinen derartigen Zwischenraum: Die Planetenbewegungen verlaufen bis an die jeweilige Berührstelle zweier Sphären heran; die Sphären müssen sich berühren, da so die Bewegung des Primum Mobile auf alle Sphären übertragen wird. Bei Copernicus wird eine Berührung der Sphären überflüssig, denn ihre Bewegung wird als alleine der Kugelform jeder einzelnen Sphäre zugehörig erklärt. (53)

Rheticus berichtet: *"In den Hypothesen meines H. Lehrers ist aber, wie gesagt, der Kreis der Fixsterne als die Grenze festgelegt und jede beliebige Planetenbahn schreitet in der ihr von der Natur erteilten Bewegung gleichförmig einher, vollendet ihren Umlauf und leidet keinerlei Zwang von einer oberen Bahn, sodas sie nach verkehrter Seite gerissen würde."* Er merkt auch an, daß das Problem des Kontaktes der Sphären Anlaß zu Widersprüchen war: *"Streitgespräche, die immer wieder über diese Frage angeregt wurden, in welcher Weise eine obere Kugel Einfluß auf eine untere ausübe."* (54)

Ob jedoch Copernicus die entstehenden planetenleeren Räume als stoffgefüllt ansieht, oder ob er sie sich als "leere Räume" vorstellt, ist schwer zu klären. Regiomontanus (55) schrieb noch aristotelisch: *"Hoc aut spacium natura non sinit vacuum"* (diesen Raum aber läßt die Natur nicht leer).

Nach Plato (Timaios) gibt es zwar den "leeren Raum", aber keine "Leere". Die ätherische Kristallstofflichkeit der Sphären ist bei Aristoteles von der Eigenschaft der Unveränderlichkeit und Ewigkeit gekennzeichnet. Da bei Copernicus die Erde unter die Planeten eingereicht wird und eine "Sphäre" wie jeder andere Planet besitzt, wird das Bild des aristotelischen Äthers zerstört. Was meint Rheticus, wenn er formuliert: *"Saturn legt seinen Weg ... in voller Freiheit zurück."* (56) Denkt Copernicus an die Vorstellung vom Weltall, die Platos Timaios schildert? Eine Äußerung des Rheticus könnte ein Hinweis hierauf sein: *"Und es sind so nur 6 Kreise (orbes mobiles), welche die Sonne, den Mittelpunkt des Weltalls umgeben; ... Und wahrlich wer hätte eine zweite geschicktere und würdigere Zahl als die 6 wählen können, (oder) eine, mit der man leichter die Sterblichen überzeugen könnte, daß dieses ganze Weltall von Gott, dem Gründer und Schöpfer der Welt, in seine Kreisbahnen (orbes) eingeteilt worden ist? Denn diese Zahl wird sowohl in den heiligen Weissagungen Gottes wie von den Pythagoräern und den übrigen Philosophen am allermeisten gerühmt. Was ziemt sich aber für diesen Gottschöpfer mehr, als daß dieses sein vornehmstes und vollkommenstes Werk in die vornehmste und zugleich vollkommenste Zahl eingeschlossen wird! Dazu kommt, daß auf diese Weise von den vorgenannten 6 beweglichen Kreisbahnen (orbibus mobilibus) die himmlische Harmonie bewirkt wird, bei der alle Bahnen (orbes) sich in der Art folgen, daß von der einen zur anderen kein unermesslicher Zwischenraum bleibt und jede, durch Geometrie abgegrenzt, ihren Platz derart wahr, daß man mit dem Versuch, irgendeine von ihrer Stelle zu bewegen, zugleich das ganze System zerrüttet."* (57)

In der Einleitung zu Galileis Dialog wird darauf hingewiesen, daß die kopernikanische Lehre auch die "pythagoräische" Lehre genannt wurde und auch Rheticus führt öfter Plato und die Pythagoräer als Quellen des Copernicus an. (58) Zwischen den 6 Bahnen von der Sonne aus bis zur Saturnbahn gibt es keine ungeheuer großen Zwischenräume. Jedoch zwischen der Saturnbahn und der Fixsternsphäre befindet sich ein ungeheuer großer Zwischenraum. Copernicus rechtfertigt dies mit der Bemerkung, daß *"zwischen Bewegtem und Unbewegtem der größte Unterschied bestehen muß"*. (58a)

Ist diese *"so große göttliche, beste und größte Werkstatt"* endlich oder unbegrenzt. Alexandre Koyré (58b) interpretiert Zitate des Copernicus dahingehend, daß die kopernikanische Welt endlich sei. Ich finde diese Auffassung diskussionswürdig. Copernicus unterscheidet in seinen Äußerungen hierzu in Buch I, Kapitel 8 von "De Revolutionibus" zwischen "unermesslich" (immensus) und "unbegrenzt" (infinitus) oder "begrenzt" (finitus). Und er sagt abschließend: *"Ob nun die Welt begrenzt (finitus) oder unbegrenzt (infinitus) sei, wollen wir dem Streit der Physiologen überlassen..."* Oder: *"...als anzunehmen, daß die ganze Welt, deren Grenze nicht gekannt wird, und nicht gekannt werden kann, sich bewege?"*

Lehnt es Copernicus nicht eher ab, diese Frage der Unendlichkeit zu entscheiden und erklärt sie als unlösbar? Im handschriftlichen Originalmanuskript hat Copernicus einen Einleitungstext zum Kap. 12 des I. Buches von "De Revolutionibus" gestrichen. In diesem Text wird die *"Welt als ungeheuer große Sphäre, dem Unbegrenzten ähnlich"* bezeichnet, wobei die Sphäre der Fixsterne alles enthalte. Diese Worte widersprechen der von Koyré vertretenen Auffassung, daß die Welt des Copernicus, im Vergleich zur Unendlichkeit, keineswegs größer sei, als die der mittelalterlichen Astronomie. Außerdem meint Koyré, daß Copernicus an die Existenz materieller planetarischer Sphären geglaubt habe, weil er sie zur Erklärung der Planetenbewegung benötigte und daß er außerdem an die Existenz einer Fixsternsphäre geglaubt habe, die er eigentlich nicht mehr benötigte. Koyré gibt allerdings keine detaillierte Begründung für seine These.

Der platonische Kosmos ist hochgradig symmetriestrukturiert vom All bis hin zu den Atomen (siehe Platon, Timaios). Für einen Liebhaber der Mathematik wie Copernicus spielen symmetrische Figuren, wegen ihrer vereinfachten Berechnungsmöglichkeiten eine große Rolle. Der Fortschritt der Mathematik von Euklid bis Regiomontanus ist durch immer gekonnteren Umgang mit Symmetrieeigenschaften von Figuren gekennzeichnet und die Dreieckslehre des Copernicus im I. Buch von "De Revolutionibus", die in der Grundstruktur an Regiomontans Dreieckslehre erinnert, zeigt in Einzelbehandlungen großes Gefühl für Symmetrie. Auch wäre es möglich, daß Copernicus das Wort "Sinus" deshalb vermied,

weil die ausführliche Formulierung "Halbe Sehne des doppelten Winkels" den Symmetriehintergrund dieses Begriffes deutlich macht. So ist für den platonisch orientierten Mathematiker Copernicus ein "um die Sonne herum unsymmetrisch ausgebuchtetes (ptolemäisches) Universum" ein echtes Monster, das sein platonisch orientiertes Schönheitsgefühl verletzt. In Platons Timaios liest sich dies so: *"Gleichwie nun ein Körper, welcher unverhältnismäßig lange Beine hat oder durch irgendein anderes Übermaß im Mißverhältnisse mit sich selbst steht, nicht bloß häßlich ist, sondern auch bei der gemeinsamen Tätigkeit aller seiner Glieder leicht ermattet und Krämpfe zu erleiden hat und wegen seiner Unbehilflichkeit leicht hinfällt und so sich selber tausenderlei Schäden antut, - ebenso muß man auch hinsichtlich des aus beiden, Seele und Leib, verbundenen Wesens..."* Die Symmetrie des Körperbaus und die Harmonie im Zusammenspiel zwischen Seele und Leib, sind hier die tragenden Begriffe.

So wollen wir nun nach der Behandlung des Motivs der "Symmetrie der Gestalt des Weltalls", das Copernicus als Grund für die Einführung der Erdbewegung im Vorwort an Papst Paul III. angeführt hat, dem nächsten Motiv zuwenden, nämlich dem der "Harmonie der Bewegungen der Planeten."

3. Das Motiv der Harmonie

Die Aussage von Rheticus in der Narratio Prima (59) gibt am deutlichsten wider, worum es bei der "Harmonie der Bewegungen" geht: *"Man könnte vielleicht verspotten, was bei den sichtbaren Bewegungen der Sonne und des Mondes über die Erdbewegung gesagt wird, obwohl ich nicht sehe, wie man das Verhalten der Präzession auf den Fixsternhimmel übertragen will; wenn man vollends bei den überall hervorleuchtenden Ursachen der Erscheinungen entweder auf den ersten Zweck der Astronomie und die harmonische Gesetzmäßigkeit des Systems der Bahnen oder auf ihre gefällige Lieblichkeit achten will, wird man auf alle Fälle die sichtbaren Bewegungen der übrigen Planeten durch keine anderen Hypothesen zweckmäßiger und treffender nachweisen; so sind alle diese Erscheinungen wie mit einer goldenen Kette (aurea catena) offensichtlich aufs herrlichste miteinander verknüpft, und jeder beliebige Planet beweist in seiner Lage, durch seine Anordnung und durch jede Ungleichmäßigkeit seiner Bewegung, daß die Erde sich bewegt, und daß wir infolge der entgegengesetzten Lage der Erdkugel, auf der wir festhaften, uns einbilden, daß jene in den verschiedenartigen Eigenbewegungen herumirren."*

Und Galilei schreibt im Dialog: (60) *"Er fand nun, daß einige Pythagoräer der Erde speziell die tägliche Umdrehung, andere ihr auch die jährliche Bewegung beigelegt hatten; da machte er sich denn daran, mit diesen beiden Voraussetzungen die Erscheinungen und Besonderheiten der Planeten in Übereinstimmung zu bringen, Dinge, welche ihm alle bequem zur Hand waren. Als er nun schließlich sah, daß das Ganze auf wunderbar einfache Weise in Harmonie stand mit seinen Teilen, so nahm er dieses neue Weltsystem an und fand in ihm Befriedigung."*

Nach Galilei könnte die Motivation des Copernicus zur Einführung des

Heliozentrischen Systems also in 2 Stufen verlaufen sein: Zuerst störte er sich an den Fehlern des Sonnen- und Mondlaufs und am Prinzip des Centrum Aequans. Er versuchte nun die ptolemäisch-alfonsinische Astronomie im Hinblick auf diese Probleme zu reformieren. Beim Zusammenbau der sich ergebenden Einzelsphären mißfiel ihm die Asymmetrie der Kristallsphärenschalen (Gestalt der Welt) und das gestörte Gesetz der Reihenfolge; er suchte nach anderen Hypothesen der Astronomen, fand die Ansichten über die Erdbewegung und die zentrale Stellung der Sonne (Martianus Capellas Darbietung des Ägyptischen Systems könnte hierbei den Weg gewiesen haben). Beim Durchdenken des heliozentrischen Systems des Aristarch entdeckte er die bessere Erfüllung des Gesetzes der Reihenfolge und die bessere Symmetrie der Gestalt des Weltalls, sowie den wunderbaren Erklärungszusammenhang der Planetenbewegungen (Harmonie) und entschied sich nun endgültig für die heliozentrische Konstruktion. Copernicus selbst schreibt: (61) *"Und dies alles lehrt uns das Gesetz der Reihenfolge, (62) in welcher jene aufeinander folgen, und die Harmonie der Welt (harmonia), wenn wir nur die Sache, wie man sagt, mit beiden Augen ansehen."* Oder: (63)

"Nimmt man hiervon Gelegenheit, und bezieht Saturn, Jupiter und Mars auf denselben Mittelpunkt (wie Venus und Merkur; Sonne als Mittelpunkt; Anm. d. Verf.), während man die große Ausdehnung ihrer Bahnen ins Auge faßt, welche mit jenen auch die darin liegende Erde enthält und umschließt: so wird man die Erklärung der regelmäßigen Ordnung ihrer Bewegungen nicht verfehlen." (64) Im Anschluß an diese Worte führt nun Copernicus aus, was er unter dieser Harmonie des Erklärungszusammenhanges der Bewegungen versteht. Er beginnt: *"Denn es steht fest, daß jene der Erde immer dann am nächsten sind, wenn sie des Abends aufgehen, d. h., wenn sie in Opposition mit der Sonne treten, wo die Erde zwischen ihnen und der Sonne steht; daß sie aber von der Erde am entferntesten sind, wenn sie des Abends untergehen, d. h., wenn sie von der Sonne verdeckt werden, indem wir zwischen ihnen und der Erde die Sonne haben (Konjunktion, Anm. d. Verf.), was hinreichend beweist, daß ihr Mittelpunkt vielmehr der Sonne zugehöre und derselbe sei, auf welchen auch Venus und Merkur ihre Bahnen beziehen."* (65) Mit dieser Verknüpfung der Sonnenbewegung mit der Planetenbewegung spricht Copernicus einen Problemkreis an, den wir im Folgenden mit dem Terminus "Ankettung der Planetenbewegung an die Sonnenbewegung" bezeichnen wollen. Diese "Ankettung" weist 3 verschiedene Merkmale auf:

1. Verknüpfung von Erdferne und Erdnähe mit der Stellung zur Sonne (Konjunktion, Opposition) (66)
2. Verknüpfung der Umlaufgeschwindigkeit der Planeten mit der Umlaufgeschwindigkeit der Sonne
 - a) bei den äußeren Planeten ist die Summe der Winkelgeschwindigkeiten von Exzenter- und Epizykelumlauf gleich der Winkelgeschwindigkeit der mittleren Sonne (67)
 - b) bei den inneren Planeten ist die Winkelgeschwindigkeit des Exzenters gleich der Winkelgeschwindigkeit der mittleren Sonne. (68)

3. Die inneren Planeten sind besonders stark an die Sonne angekettet. Denn während die äußeren Planeten in jedem beliebigen Winkelabstand zur Sonne anzutreffen sind (Copernicus sagt, sie wichen "überallhin" von der Sonne ab (69)), so findet man Venus und Merkur nur innerhalb bestimmter Grenzwinkel von der wahren Sonne abweichend. Dieser Grenzwinkel beträgt beim Merkur etwa 28° , bei der Venus etwa 48° . (70)

Während die vorkopernikanische Astronomie für die "Ankettungen" der Merkmale 1) und 2) keinerlei Ursache angeben konnte (man beschrieb sie nur zahlenmäßig, gab aber keine Begründung an), erklärte man das begrenzte Abweichen der inneren Planeten über den zugehörigen Rücklaufepizykel. Die Exzenter der inneren Planeten liefen mit der mittleren Sonnenwinkelgeschwindigkeit um (was unbegründet blieb) und durch die Epizykel, deren Mittelpunkt ja mit dieser Sonnenwinkelgeschwindigkeit umlief, entstand eine Schwingung um den Epizykelmittelpunkt für den Erdbeobachter, wobei die extremen Winkelabstände von der mittleren Sonne (Winkelgrenzen), von ca. 24° und ca. 47° sich aus den Epizykelraiden errechnen ließen. Warum aber beide Planeten diese gemeinsame Ankettungsart haben, blieb in der Astronomie ptolemäischer Prägung unerklärt. Durch die "heliozentrische Umstellung" gelang es nun dem Copernicus alle 3 Ankettungen aus einer "einzigen Ursache heraus" zu begründen.

Rheticus schreibt hierzu in der Narratio Prima: (71) *"Drittens der Umstand, daß die Planeten offenbar die Mittelpunkte ihrer Hauptkreise in der Nähe der Sonne als dem Mittelpunkt der Welt haben. Daß aber die ganz Alten diese selbe Tatsache auch bemerkt haben, geht, um inzwischen nicht von den Pythagoräern zu sprechen, deutlich genug aus dem hervor, was Plinius im Anschluß an die zweifellos besten Autoren sagt, daß nämlich Venus und Merkur sich deshalb nicht weiter von der Sonne entfernen als bis zu bestimmten und vorgesteckten Grenzen, weil sie um die Sonne geschlungene Bahnen besitzen, weshalb ihnen auch die mittlere Bewegung der Sonne zukommen mußte.*

Da er aber behauptet, der Umlauf des Mars könne nicht beobachtet werden, und da von den übrigen Schwierigkeiten bei der Verbesserung der Marsbewegung abgesehen kein Zweifel besteht, daß er es manchmal zu einem größeren Unterschied in seinem Aussehen kommen läßt als die Sonne selbst, scheint es unmöglich zu sein, daß die Erde die Mitte des Weltalls einnimmt. Fernerhin könnte zwar gerade diese Erscheinung auch aus dem Verhalten, das Saturn und Jupiter bei ihrem Aufgang am Morgen wie am Abend uns gegenüber zeigen, leicht geschlossen werden, aber doch wird sie hauptsächlich und am deutlichsten durch die Verschiedenheit der Marsaufgänge wahrgenommen. Weil nämlich das Marsgestirn ein ziemlich gedämpftes Licht hat, so täuscht es das Auge nicht so sehr wie Venus und Jupiter, sondern bemißt die Änderung seiner Größe im Verhältnis seines Abstands von der Erde. Weil also Mars beim Abendaufgang dem Jupitergestirn an Größe gleichzukommen scheint, so daß er nur durch sein feuriges Schimmern unterschieden wird, aber bei seinem Aufleuchten und Verblässen kaum von einem Stern zweiter Größe (72) unterschieden werden kann, so folgt, daß er bei seinem Abendauf-

gang am nächsten an die Erde herantritt, dagegen beim Morgenaufgang am weitesten entfernt ist, was sicherlich bei der Bewegungsweise eines Epizykels keineswegs eintreten kann. Offenbar muß also der Erde zur Darstellung der Bewegung des Mars und der anderen Planeten ein anderer Platz zugeschrieben werden."

Beginnen wir mit der Ankettung 1). Bei Ptolemäus ergaben sich die geozentrischen Planetenabstände in Erdferne und Erdnähe (Apogäum, Perigäum) aus der Summe oder Differenz der Summe von Exzentrizität und Epizykelradius und Exzenteradius. Somit waren sie Ergebnis der Berechnungen an der Exzenter-Epizykel-Konstruktion (eine derartige Konstruktion ohne Epizykel galt auch für die Sonne). Die einzelnen (Planeten)Konstruktionen waren völlig unabhängig voneinander. Somit war der Zusammenhang von Erdferne und Erdnähe mit der Stellung der Sonne unerklärt. Dies meint wohl Rheticus, wenn er sagt: "... daß er (Mars!) bei seinem Abendaufgang am nächsten an die Erde herantritt, dagegen beim Morgenaufgang am weitesten entfernt ist, was sicherlich bei der Bewegungsweise eines Epizykels keineswegs eintreten kann." Im Kopernikanischen System findet sich die Erklärung sehr leicht (siehe Abb. 5).

Bei Opposition von Sonne und Mars ist der Abstand von Erde und Mars minimal (Erdnähe), bei Konjunktion maximal (Erdferne). (73)

Nebenbei wird hier auch klar, daß das Verhältnis der beiden Extremfernen $d_{\max} : d_{\min}$ sich leicht aus den entsprechenden Bahnradien errechnen läßt. Copernicus gibt in Buch I, Kap. 10, von "De Revolutionibus" an Stelle des ptolemäischen Verhältnisses von 6,7 : 1 für die Venus (das sich aus ihrem "Riesenepizykel" errechnete und eine ungeheuer große Sphärenschalendicke ergab) einen Wert von etwa 6 : 1 an: "Ferner daraus, daß der Durchmesser der Venusbahn, nach dessen Größe sie von der Sonne nach beiden Seiten um mehr oder weniger als 45° abweicht, 6mal so groß sein muß, als die Linie, welche von dem Mittelpunkt der Erde zu dem untersten Punkt der Venusbahn gezogen werden kann, wie seines Ortes bewiesen werden wird." (74)

Hiermit wird die Erklärung der "starken Ankettung" (Merkmal 3) von Copernicus eingeleitet. Man kann sie sich leicht klarmachen an Hand der Tatsache, daß bei Copernicus die größere Erdbahn mit Radius R gegenüber der kleineren Venusbahn mit Radius $0,72 R$ auf das Zentrum Sonne bezogen umläuft, wobei die Umlaufgeschwindigkeit der Venus ($\frac{3}{4} a$)

kleiner ist als die Umlaufgeschwindigkeit der Erde ($1a$). Nehmen wir an, Venus und Sonne befinden sich in Konjunktion für den Erdbeobachter (Abb. 6), d. h., die Venus geht morgens mit der Sonne auf oder abends mit ihr unter.

Bewegt sich nun die Erde weiter, so bleibt die Venus wegen ihrer kleineren Umlaufgeschwindigkeit hinter der Erde zurück. Sie weicht für den Erdbeobachter am Fixsternhimmel

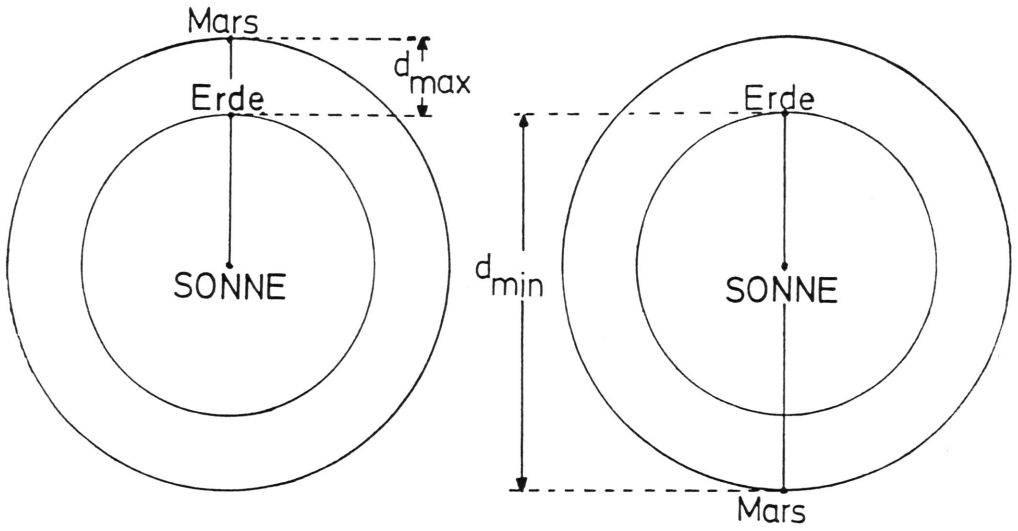


Abb.5: OPPOSITION und KONJUNKTION von Sonne und Mars

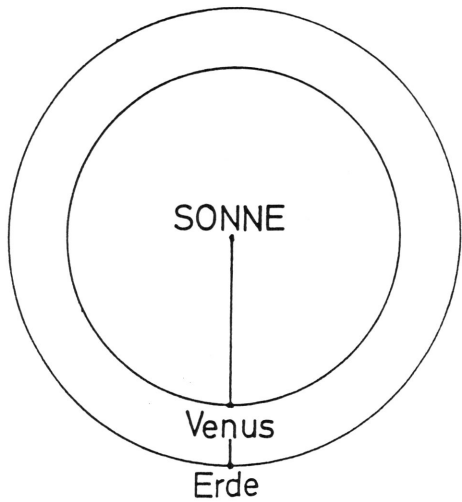


Abb.6: KONJUNKTION von Venus und Sonne

von der Sonne ab (Abb. 7). Je weiter die Venus zurückbleibt, um so größer wird der Winkel α , um den sie für den Erdbeobachter von der Sonne (Verbindungsline Erde-Sonne) abweicht. Dieser Winkel kann jedoch nicht unbegrenzt groß werden. Sein Maximalwert wird erreicht, wenn die Sichtlinie des Erdbeobachters tangential an den Venusbahnkreis verläuft (Abb. 8), d. h., rechtwinklig zur Strecke Venus-Sonne verläuft (mittlere Sonne, mittlere Venus, mittlere Erde!).

Dieser Grenzwinkel α_{\max} beträgt etwa 46° , wie man leicht ausrechnen kann ($\sin \alpha_{\max} = \frac{0,72 \cdot R}{R} = 0,72 \Rightarrow \alpha_{\max} = 46,05^\circ$). Für Merkur erklärt sich der Grenzwinkel analog. (75) Es wird also auch dieses 3. Merkmal der "Ankettung" über die Erdbewegung und die Stellung der Sonne erklärt. Bei Ptolemäus wird zur Erklärung der Rücklaufepizykel verwendet, der die Rücklaufschleifen der Planeten und diese "starke Ankettung" gemeinsam erklären kann, jedoch Merkmal 1) und Merkmal 2) nicht erklären kann, sowie auch nicht das gemeinsame Auftreten von Grenzwinkeln bei Venus und Merkur. (Abb. 8)

Merkmal 2) der "Ankettung" erklärt Copernicus in Buch I, Kapitel 10 von "De Revolutionibus" nicht, seine Erklärung ergibt sich aber leicht über seine Ausführungen in Buch V, Kapitel 1 ebenfalls aus der Erdbewegung ("Bewegung der Parallaxe", "Eigenbewegungen" der Planeten um die Sonne): Die Rücklaufschleifen der Planeten werden hier gemeinsam mit der "Ankettung 2)" erklärt. (76) Betreffs der starken Ankettung von Venus und Merkur an die Sonne (Merkmal 3) erwähnt Copernicus in Buch I, Kap. 10, daß Ptolemäus diese Ankettungsart als Argument für die Stellung der Sonne benutzte: *"Was soll also in diesem ganzen Raume enthalten sein, der umso größer ist, als er Erde, Luft, Aether, Mond und Merkur und was außerdem noch der ungeheure Epizykel der Venus ausmacht, wenn er um die ruhende Erde kreist, umfaßt? Wie wenig überzeugend die Begründung des Ptolemäus ist, nach welcher die Sonne die Mitte zwischen den überallhin und nicht so von ihr abweichenden Planeten einnehmen soll, geht daraus hervor, daß der Mond indem er selbst überallhin abweicht, ihre Unwahrheit verrät."* (77)

"Der Mond weicht überallhin ab" heißt, daß er keine Grenzwinkel zur Sonne aufweist. (78) Die "nicht so von der Sonne abweichenden" Planeten sind Venus und Merkur mit ihren Grenzwinkeln. Die Erdbewegung und die Stellung der Sonne erklären also sowohl die Rücklaufschleifen der Planeten, wie auch alle Arten ihrer "Ankettung an die Sonne".

Zu einem so entstehenden harmonischen Zusammenspiel der Bewegungen kommen noch weitere. Die Rücklaufschleifengröße nimmt nach außen hin (Mars bis Saturn) relativ ab und auch nach innen hin (Venus bis Merkur). Dies ist bei Ptolemäus

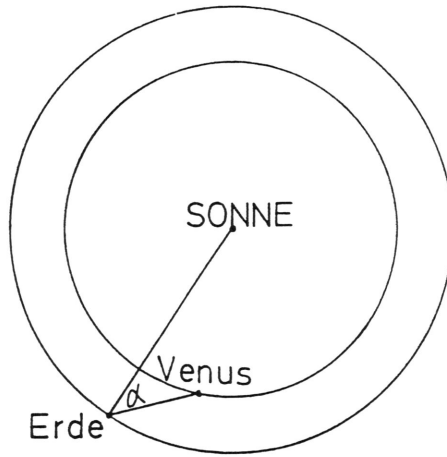


Abb7: Abweichung der Venus von der Sonne

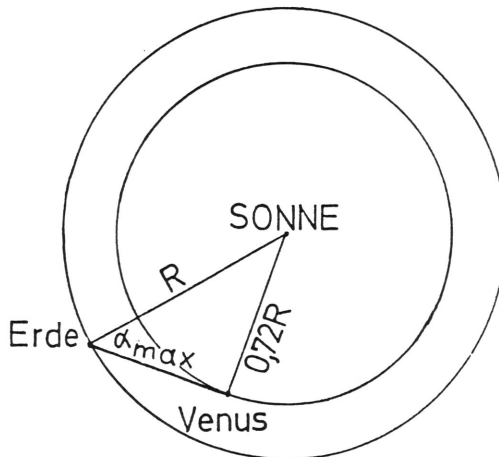


Abb8: Maximalabweichung von Venus und Sonne

unerklärt, da sich bei ihm beide Abnahmerichtungen um die Sonne herum anordnen. Bei Copernicus ordnen sie sich um die Erde herum an, die Erscheinung wird über die Stellung des Erdbeobachters erklärt. Ebenso erklärt sich aus der Stellung des Erdbeobachters eine weitere Beziehung zwischen den Rücklaufschleifen: Die Anzahl der Rücklaufschleifen eines vollständigen Planetenumlaufes hängt von der Relativgeschwindigkeit zwischen Erdumlauf und Planetenumlauf ab. Auch dies blieb bei Ptolemäus unerklärt. Copernicus schreibt: (79) *"Denn hier kann der eingehende Beobachter bemerken, warum das Vor- und Zurückgehen beim Jupiter größer erscheint als beim Saturn und kleiner als bei Mars (80) (Epizykelradien bei Ptolemäus: Saturn 6,5^P; Jupiter 11,5^P; Mars 39,5^P; Anm. d. Verfl.) und wiederum bei der Venus "größer" als beim Merkur (Epizykelradien bei Ptolemäus: Venus 43,166^P; Merkur 22,5^P; Anm. d. Verfl.) und warum ein solcher Rückgang beim Saturn häufiger erscheint als beim Jupiter; seltener beim Mars und bei der Venus, als beim Merkur."* (81) Galilei macht im Dialog noch auf zwei weitere "Harmonisierungen" des Kopernikanischen Systems aufmerksam. Erstens gibt es nicht mehr zwei Bewegungskomponenten der Sphären wie bei Ptolemäus (Das Primum Mobile hatte bei Ptolemäus nur eine Ost-West-Bewegung, die Planetensphären zusätzlich eine entgegengesetzte West-Ost-Bewegung). (82) Bei Copernicus wälzen sich alle Planetenbahnen in der West-Ost-Richtung um, auch die Erdbahn und sogar die Achsendrehung der Erdkugel erfolgt in die gleiche West-Ost-Richtung. Durch unsere Stellung auf der Erde entsteht beobachtend die Gegenrichtungsbewegung des täglichen Umschwungs von Ost nach West im 24-Stunden. (83) Außerdem behebt ja das Kopernikanische System den Konflikt, den das "Gesetz der Reihenfolge" bei Ptolemäus aufwirft. Wenn sich nämlich die Reihenfolge der Planeten aus ihren Umlaufzeiten ergeben soll, wobei ein Planet umso weiter von der Erde entfernt ist, je größer seine Umlaufzeit ist, dann ist es schwierig zu rechtfertigen, warum das Primum Mobile mit der kleinsten Umlaufzeit am weitesten von der Erde entfernt sein soll. (84) Copernicus behandelt diese Problematik, allerdings etwas unklar, in den Kapiteln 4 bis 9 des Buches I von "De Revolutionibus". So erklärten sich nun viele Erscheinungen der Planetenbewegungen aus einer einzigen Ursache, der Erdbewegung im heliozentrischen System des Copernicus. (85) *"Man muß vielmehr der Weisheit der Natur nachgehen, welche, indem sie sich sehr gehütet hat, irgend etwas Überflüssiges oder Unnützes hervorzubringen, vielmehr oft einen und denselben Gegenstand mit vielen Wirkungen begabte."* (86) Später: *"Wir finden also in dieser Anordnung eine bewunderungswürdige Symmetrie der Welt in einen zuverlässigen, harmonischen Zusammenhang der Bewegung und Größe der Bahnen, wie er anderweitig nicht gefunden werden kann."* (87) Oder: *"Und dieses Alles ergibt sich aus derselben Ursache welche in der Bewegung der Erde liegt..."* *"So groß ist in der Tat diese göttliche, beste und größte Werkstatt"*. (88)

Sogar *"die Erde wird nicht des Dienstes des Mondes beraubt"*. Es ist nämlich noch *"notwendig, daß der kreis- oder kugelförmige Raum*

welcher zwischen dem konvexen Kreise der Venus (89) und dem konkaven des Mars (90) übrig bleibt, und mit jenen an beiden Oberflächen konzentrisch ist," (91) unterbrochen wird, und die Erde mit dem sie begleitenden Monde, und Allem, "was unter dem Monde sich befindet, aufrimmt." (92)

Galilei führt noch an, im Ptolemäischen System "steige der Mars weiter als die Sonne herab" (93) und bezeichnet dies als eine der Monstereigenschaften. Dies ist jedoch falsch und scheint auf einem Irrtum von Galilei zu beruhen. Schon Proclus wies zwar darauf hin, daß bei bestimmter Rechnungsart auf der Basis von Sphärenabständen und -dicken ptolemäisch orientierter Astronomen, die Venus über die Sonne hinaussteigt, (94) was bedeuten würde, daß die Venussphäre die Sphäre der Sonne durchbrechen müßte. Dies wäre im ptolemäischen Modell unmöglich, da die Sphären Kontaktwirkung besitzen sollen, sich aber nicht durchstoßen können. Im Raum zwischen Mondsphäre und Sonnensphäre kann bei unpassenden Zahlen für die Merkur- und Venussphärendicken so etwas "passieren", da ja Mond- und Sonnenabstände durch absolute Messungen fest vorgegeben sind. Überhalb der Sonne jedoch und somit beispielsweise für die Marssphäre kann eine solche "Durchsetzung" sich rechnerisch niemals ergeben, da zusätzlich zur Sonne (über ihr) kein absolut gemessener Sphärenabstand mehr vorliegt. Vielleicht bezieht sich Galilei hier auf das Planetenmodell Tycho de Brahes, bei dem gerade diese Eigenschaft der Marssphäre ein Hauptproblem darstellte. (94a) Auch in Bezug auf die Einzelbahn des Planeten Merkur behauptet Copernicus eine Unregelmäßigkeit. Wie schon erwähnt, hat der Merkur im Ptolemäischen System zusätzlich zu Apogäum und Perigäum noch zwei Scheinperigäen ($\pm 120^\circ$ vom Apogäum entfernt). Ptolemäus führte sie ein, weil in diesen beiden Stellungen die größten Elongationen des Planeten von der Sonne größer waren als im Perigäum. Bei der kopernikanischen Merkurkonstruktion treten diese beiden Scheinperigäen nicht mehr auf, da Copernicus die Radiallänge der Merkurbahn schwanken läßt, um auf diese Art das Problem der größten Elongationen zu lösen; er hält sich auch hier streng an die Meßergebnisse des Ptolemäus.

4. Ausblick

Mit seiner astronomischen Lehre stellt sich Copernicus deutlich in Widerspruch zu Aristoteles und *"fürchtet den Widerspruch der Anhänger des Aristoteles und der Theologen". (94b)* Er erklärt die Bewegung der Erde über ihre Kugelform (95) ebenso wie die Bewegung aller Planeten: (96) *"Warum also zögern wir noch, lieber ihr (der Erde!) eine Bewegung zuzugestehen, die von Natur mit ihrer Form übereinstimmt, als anzunehmen, daß die ganze Welt, deren Grenze man nicht kennt und nicht kennen kann, in Bewegung sei?" (97)* Oder: *"Es ist anzunehmen, daß dieses Streben (die Schwere) auch der Sonne, dem Mond und den übrigen Planeten innewohnt, so daß sie durch diese Wirkung in der runden Gestalt, in der sie*

erscheinen, verharren; sie vollenden nichtsdestoweniger in vielfacher Weise ihre Kreisläufe." (98) Diese Gemeinsamkeit von Erde und Planeten hebt die aristotelische Trennung des Kosmos in einen irdischen und einen himmlischen Bereich auf. Somit wird die Auffassung von Pythagoräern möglich, daß auch Pflanzen bewohnt sind und Vegetation besitzen. (99) Auch die Unendlichkeit des Himmels wird wie bei manchen Pythagoräern als möglich erachtet und das Ausfallen der Fixsternparallaxe wird über die Unermeßlichkeit des Himmels wie bei gewissen Pythagoräern erklärt. (100) Die Begriffe Symmetrie und Harmonie der Welt sind ebenfalls tragende Fundamente pythagoräischen Philosophierens (Pythagoras, Heraklit (101)), wobei der Harmoniebegriff von Copernicus starken kausallogischen Charakter zeigt und damit weit über eine bloße ästhetische Harmonisierung von Gegensätzen hinausgeht. (102) Am ehesten erinnert die Harmonisierung der Planetenbewegungen durch die nicht unmittelbar wahrnehmbare Erdbewegung an den Begriff der unsichtbaren Harmonie bei Heraklit von Ephesos: *"Unsichtbare Harmonie ist stärker als sichtbare; in ihr hat der mischende Gott die Verschiedenheiten und Gegensätzlichkeiten verborgen und versenkt."* (103) Oder: *"Die verborgene Harmonie der Natur stellt aus den Gegensätzen immer wieder die Einheit her."* (104)

So wurden die Kopernikaner zu Zeiten Galileis nicht zu Unrecht die Pythagoräer genannt. (105) Der Antiaristotelismus des Copernicus wird von Rheticus noch eher zu verschleiern versucht, als von Copernicus selbst, der im Vorwort von Papst Paul III. mit dem Hinweis auf den Lysisbrief seine Wertschätzung pythagoräischer Gesinnung offen zugesteht. So können wir Copernicus nicht als einen eher der Tradition verhafteten konservativen Kreisliebhaber erkennen, wie viele seiner Biographen ihn zu charakterisieren versuchen, sondern als einen zwar besonnen arbeitenden, jedoch im höchsten Maße progressiven Theoretiker, der aus den Begriffen der Symmetrie und Harmonie heraus bewußt das neue Weltbild schuf, das wir ihm verdanken. Und der mit diesen beiden Begriffen modernem physikalischem Denken äußerst nahe steht. (106) Sein Symmetriebegriff scheint zunächst allerdings eher ästhetischer Natur zu sein, jedoch entspricht er dem Prinzip der Einfachheit und Gleichelementigkeit. Dieser Artikel behandelt im Wesentlichen den Text des 10. Kapitels des I. Buches von "De Revolutionibus". Nach Blumenberg (107) ist dieses 10. Kapitel *"den Text eines noch nicht zur Veröffentlichung entschlossenen Autors, der zu den ältesten Teilen des Werkes gehört, dessen Abfassung vor 1522 gesichert ist, also mindestens 2 Jahrzehnte älter sein dürfte als die Selbstdarstellung gegenüber dem Adressaten der Widmung"* (Vorrede an Papst Paul III.!). Blumenberg vertritt die Auffassung, daß das 10. Kapitel große Bedeutung für den Wahrheitsanspruch der Kopernikanischen Theorie hat. Ich habe dies mit Hilfe des Begriffes der "Harmonie des Erklärungszusammenhanges der Bewegungen" zu zeigen versucht. Blumenberg drückt sich so aus: *"Von der Beweislastlage her trägt nun der astronomische Durchgang*

des 10. Kapitels den Akzent der entscheidenen Instanz."
 Außerdem geht Blumenberg auf die "Monströsitäten" der ptolemäischen Konstruktion ein, wie auf die Stelle von der "Gestalt der Welt und der Symmetrie ihrer Teile" in der Vorrede an Paul III. und meint, daß "*Kopernikus die Übergröße des Venusepizykels zuerst aufgefallen sein muß.*" (108)

So sehe ich meine hier vertretene These durch Blumenberg gestützt.

ANMERKUNGEN

- 1) F. Schmeidler, Nikolaus Kopernikus, Stuttgart 1970, S. 196 f.; siehe auch Eugeniusz Rybka, in: *Vistas in Astronomy*, ed. by A. Beer, Oxford 1968, Bd. 9, S. 165 f.
- 2) Th. S. Kuhn, *Die kopernikanische Revolution*, Braunschweig 1981, S. 126/7
- 3) W. Hartner, *Ptolemäische Astronomie*, in: *Regiomontanus-Studien*, hrsg. v. G. Hamann, Wien 1980
- 4) O. Neugebauer, *On the Planetary Theory of Copernicus*, in: *Vistas in Astronomy*, ed. by A. Beer, Oxford 1980, Bd. 10, S. 89 f.
- 5) Der Terminus "Sonnentheorie" soll hier den scheinbaren Sonnenlauf gemäß der Kopernikanischen Theorie bezeichnen.
- 6) G. J. Rhetikus, *Erster Bericht über die sechs Bücher des Kopernikus*, übers. u. eingeleitet v. K. Zeller, München 1943, S. 84.
 Gemäß der 1566 in Basel von Henricus Petri gedruckten Ausgabe "*De Revolutionibus Orbium Coelestium Nicolai Copernici*" mit der "*Narratio Prima*" des Rheticus im Anhang lautet der lateinische Originaltext: "*Posset quispiam fortasse ea, quae de motu terrae circa solis, Lunaeque apparentes motus dicuntur, eludere, quamquam non video, quomodo praecessionis rationem ad sphaeram stellarum transtulerit.*"
- 7) Rheticus (A.6)56. Lateinisch: "*His accedit, quod motus terrae in suo orbe, omnium planetarum, excepta Luna, argumenta conficiat.*"
 E. Rosen, *Three Copernican Treatises*, New York 1959, S. 138, übersetzt "argumenta" mit "Ungleichheiten", da in der ptolemäischen Berechnungsweise von Bahnelementen dieser Terminus so gedeutet wird. Auf Grund des Sinnzusammenhanges neige ich aber eher zur Zellerschen Übersetzung mit "Beweise".
- 8) Nicolaus Copernicus, *Über die Kreisbewegungen der Weltkörper*, übers. v. Menzzer, Thorn 1879, Anmerkungen S. 11
- 8a) Copernicus (A.8) S. 5/6
- 9) Siehe auch F. Schmeidler, *Regiomontans Wirkung in der Naturwissenschaft*, in: *Regiomontanus-Studien*, hrsg. v. G. Hamann, Wien 1980, S. 87/88
- 10) Neugebauer (A.4)
- 11) Nikolaus Kopernikus, *Erster Entwurf seines Weltsystems*, übers. v. F. Rossmann, München 1948, S. 9
- 12) Hartner (A.3)
- 13) Neugebauer (A.4)
- 14) Copernicus (A.8) 6
- 15) Galileo Galilei, *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme*, übers. v. E. Strauss, Stuttgart 1982, S. 356/7

- 16) Copernicus (A.8) 268
- 17) Hier sind die 5 Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn gemeint.
- 18) Übersetzung nach Kuhn (A.2) 138 f.
- 19) (Peuerbach) Joannis Regiomontani Opera collectanea, Faksimiledruck, zusammengestellt und mit einer Einleitung herausgegeben v. F. Schmeidler (Osnabrück 1972) 787 f. (Theoricae novae planetarum Georgii Pubachii); Francisus Capuanus gibt in seinem ausführlichen Kommentar zu Peuerbachs "Theoricae novae planetarum", der 1495 gedruckt wurde, unter der Überschrift "Octave vero sphere ad cuius motum sepe dictus" einen Überblick über die Auffassungen verschiedener Astronomen zum Problem der Sphärenzahl, die im Wesentlichen durch ihre Lösungen des Problems der Präzession bestimmt werden. Ptolemäus und ihm folgend Alfraganus (Al Farghani) postulieren 9 Sphären, wobei die 8. Sphäre die Präzessionsbewegung mit der Periode 36.000 Jahre darstellt und die 9. Sphäre das Primum Mobile, den 24-stündigen täglichen Umschwung. Al-Battani ändert hieran nur die Präzessionsgeschwindigkeit: Die Periode der Präzession der 8. Sphäre beträgt bei ihm 21.612 Jahre. Thebith ändert die Art der Präzessionsbewegung: Sie ist bei ihm nicht gleichmäßig fortschreitend, sondern eine Hin- und Herbewegung ("motus accessionis et recessionis") um jeweils maximal $4^{\circ}18'43''$ mit der Periode von 4057 Jahren.

Die Astronomen der Alfonsinischen Tafeln kombinierten die Idee der gleichmäßig fortschreitenden Präzession mit der Idee der schwingenden Präzessionsbewegung. Dazu postulieren sie 10 Sphären. Die 8. Sphäre repräsentiert die Hin- und Herbewegung um jeweils maximal 9° mit der Periode von 7.000 Jahren; die 9. Sphäre bewegt sich gleichmäßig fortschreitend mit einer Periode von 49.000 Jahren. Die 10. Sphäre wird nun zur Sphäre des Primum Mobile mit dem 24-stündigen Umschwung. Albert von Brudzewo führt in seinem Kommentar zu Peuerbachs "Theoricae novae planetarum" sechs Punkte an, durch die sich die Auffassung Thebiths von der in den Alfonsinischen Tafeln unterscheidet (im Kapitel "De motu octavae sphaerae):

1. In der Anzahl der Sphären, die über der 8. Sphäre existieren: Gemäß Thebith noch zusätzlich eine bewegliche Sphäre, die 9.; gemäß Alfons 2 bewegliche Sphären, die 9. und 10.
2. In dem Mittelpunkt der beiden gleichen Kreise, über denen sich die 8. Sphäre bewegt, die folglich die Hin- und Herbewegung der 8. Sphäre verursachen: Gemäß Thebith befindet sich dieser Mittelpunkt immer unveränderlich am Ort des Anfang des Widders oder für den zweiten Kreis am Anfang der Waage in der 9. Sphäre (Primum Mobile). Gemäß Alfons bewegt sich jeder Mittelpunkt gleichmäßig fortschreitend mit der Periode von 49.000 Jahren in der 9. Sphäre.
3. Im Halbmesser der beiden Kreise, die die Hin- und Herbewegung der 8. Sphäre verursachen: Thebith gibt $4^{\circ}18'43''$ an, Alfons 9° .
4. In dem Begrenzungspunkt, von dem aus die Hin- und Herbewegung der 8. Sphäre in den gleichen Kreisen berechnet wird: Thebith rechnet vom Äquinoktialschnittpunkt der gleichen Kreise; Alfons vom maximalen nördlichen Punkt der gleichen Kreise.
5. In der Periode der Bewegungen, die in den Tafeln verwendet werden.

6. In der Aequatio (Gleichung): Thebith berechnet sie in dem Punkt der Ekliptik der 8. Sphäre, in dem diese sich mit dem Äquator der 9. Sphäre (Primum Mobile) schneidet; Alfons berechnet sie im fortschreitenden Punkt der Ekliptik der 9. Sphäre.
- 19a) Siehe Martianus Capella and the Seven Liberal Arts, Vol. II, The Marriage of Philology and Mercury, translated by Stahl and Johnson, New York 1977, S. 331 f.; Capella gibt irrtümlich für die Saturnentfernung 33.600 Erdradien an. Für Merkur und Venus vertritt Capella, wie auch Copernicus in Buch I, Cap. 10 bemerkt, das sogenannte "Ägyptische System", bei dem diese beiden Planeten die Sonne umlaufen, während alle anderen geozentrisch umlaufen.
- 20) Ausführliches zur aristotelischen Kosmologie bietet Galilei (A.15), vor allem das Kapitel "Erster Tag".
- 21) Copernicus (A.8) 21
- 22) Galilei (A.15) 475 und Schmeidler (A.1) 24 f.
- 23) W. Hartner, The Mercury Horoscope of Marcantonio Michiel, Vistas in Astronomy 1, London u. New York 1955, S. 124 schreibt bezüglich Ptolemäus: "In the Almagest the question of physical reality is not discussed". "In his "Hypothesis" the term sphere refers to solid spheres or spherical shells."
- 24) Rhetikus (A.6) 59: "Da Du wohl weißt, welche Bedeutung die Hypothesen oder Theorien bei den Astronomen haben, und wie sehr der Mathematiker sich vom Physiker unterscheidet." Lateinisch: "... in quantum Mathematicus a Physico differat." Siehe auch Hartner (A.23) 122 f.
- 25) Maximilian Curtze, Der Briefwechsel Regiomontans mit Giovanni Bianchini, Jacob von Speier und Christian Roder. Urkunden zur Geschichte der Mathematik im Mittelalter und der Renaissance 1, Leipzig 1902, S. 265
- 26) Copernicus (A.8), Buch I, Kapitel 10; Rhetikus (A.6) 65
- 27) Peurbach (A.19) 755 f.
- 28) Ernst Zinner, Entstehung und Ausbreitung der Copernicanischen Lehre. Sitz.-Ber. der Physikal.-medizin. Sozietät 74, Erlangen 1943, S. 72; siehe auch Hartner (A.23) 128
- 29) Ernst Zinner, Verzeichnis der astronomischen Handschriften des deutschen Kulturgebietes, München 1925, S. 242
- 30) Regiomontanus, Epitoma in almagestum ptolemei, bei (Peurbach) (A.19) 192; Proclus, Commentaire sur le Timée, traduction et notes par A. J. Festugière, Paris 1968, Buch IV, S. 85 f.; siehe auch Procli Diadochi, Hypotyposis Astronomicarum Positionum, hrsg. v. Carolus Manitius, Stuttgart 1974, S. 221 f. und S. 305 f. (Kommentar des Proclus zum Almagest des Ptolemäus). Peurbach kommt so zu folgenden minimalen Abständen von der Erde im Perigäum der Planetenbahnen: Mond 33, Merkur 64, Venus 166, Sonne 1079; diese Werte erhält man über die gerundeten Verhältnisse von $\frac{\text{Apogäumsentfernung}}{\text{Perigäumsentfernung}}$, die man über Exzenterradius 60^p + (Exzentrizität + Epizykelradius) errechnet. Siehe (A.31). Man erhält gemäß Proclus für Merkur $\frac{88^p}{34^p} = 2,59 : 1$, für Venus $\frac{104^p}{16^p} = 6,5 : 1$ und somit $64 \times 2,59 \approx 166$; $166 \times 6,5 = 1079$. Das Merkurverhältnis $2,59 : 1$ ist jedoch falsch; siehe (A.34).
- 31) Albertus de Brudzewo, Commentaria utilissima in theoricis planetarum. Bibliotheksnachweis siehe K. Pilz, 600 Jahre Astrono-

mie in Nürnberg, Nürnberg 1977, S. 99; diese Werte für die Exzentrizitäten und Epizykelradien sind:

Planet	Exzentrizität		Epizykelradius		
Merkur	3 ^P	0'	22 ^P	30'	
Venus	1 ^P	15'	43 ^P	10'	
Mars	6 ^P	0'	39 ^P	30'	p: partes
Jupiter	2 ^P	25'	11 ^P	30'	(Teile)
Saturn	3 ^P	25'	6 ^P	30'	

- 32) Hartner (A.23) 122: "There is of course no doubt, that Copernicus as well as Kepler were thoroughly conversant with the contents of Peuerbachs treatise."
- 33) Ptolemäus, Handbuch der Astronomie, Leipzig 1963, übers. von K. Manitius, Vorwort und Berichtigungen von O. Neugebauer, Band I, S. 312 und 315
- 34) Bezogen auf den Exzentradius 60^P (60 Partes); aus den Exzentrizitäten und Epizykelhalbmessern lassen sich die Extremabstände eines Planeten vom Erdzentrum berechnen. Ptolemäus gibt für Sonne und Mond in Einheiten des Erdradius gemessene Abstände an. Wir wollen sie im Folgenden Absolutwerte nennen. Für die 5 Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn gibt er immer den gleichen Exzentradius 60^P an (obwohl sie ja völlig verschiedene Abstände vom Erdzentrum haben) und bezogen auf 60^P die Exzentrizitäten und Epizykelhalbmesser. Die hieraus zu errechnenden Extremabstände vom Erdzentrum sind folglich nur relative Werte für jede Planetenbahn und haben keine Beziehung zu den absoluten Werten von Sonne und Mond. Setzt man die relativen Extremabstände eines Planeten ins Verhältnis, so ermöglicht dieser Quotient die Einpassung der relativen Werte in die absoluten. In nachstehender Tabelle sind diese Relativverhältnisse aufgelistet (berechnet auf der Grundlage des Almagest):

Planet	<u>Apogäumsentfernung</u> <u>Perigäumsentfernung</u>
Merkur	2,767 : 1 ; 2,652 : 1
Venus	6,701 : 1
Mars	7,276 : 1
Jupiter	1,623 : 1
Saturn	1,396 : 1

Beim Merkur sind 2 Quotienten angegeben. Der erste Quotient ist den beiden echten Perigäen zugeordnet, die sich $\pm 120^\circ$ vom Apogäum entfernt befinden (Leitlinie zum Exzenterzentrum!), der zweite Quotient dem Scheinperigäum, das in der bei den anderen Planeten üblichen Winkelentfernung von 180° zum Apogäum steht (Näheres hierzu siehe (A.37)). Der Wert 167 des Al-Farghani für den maximalen Merkurabstand ergibt sich über das Verhältnis 2,6 : 1, errechnet über den unter (A.30) aufgezeigten Weg. Das Merkurverhältnis 2,652 : 1 erhält man über einen Rechenweg für das Scheinperigäum, bei dem zusätzlich die Rotation des Exzenterzent-

- rums veranschlagt wird, sodaß man im Apogäum $91,5^P$ und im Perigäum $34,5^P$ erhält. Bei der Einpassung der Planeten Merkur und Venus in den Raum zwischen Mond und Sonne müssen die Zahlenverhältnisse der relativen Werte sich in die absolut vorgegebenen einfügen. Da Ptolemäus für die Sonne keine größte und kleinste Entfernung angibt, hat man einen gewissen Spielraum, der allerdings wegen der sehr kleinen Sonnenexzentrizität (die die Sphärendicke der Sonne bestimmt; kein Epizykel!) sehr klein ist. Mit den ptolemäischen relativen Verhältnissen für Venus und Merkur erhält man vom Mond ausgehend ($64\frac{1}{6}$ Erdradien) einen Mindestabstand der Sonne von 1140 Erdradien bei Verwendung des Verhältnisses $2,652 : 1$ für das Merkurscheinperigäum, von 1180 Erdradien bei Verwendung des Verhältnisses $2,767 : 1$ für die echten Merkurperigäen. Beide Sonnenabstände liegen unter dem ptolemäischen Mittelwert von $1209\frac{81}{191}$ Erdradien. Arabische Astronomen gaben allerdings später kleinere Entfernungen und Exzentrizitäten für die Sonne an, was Einfluß auf die kopernikanische "Sonnentheorie" hatte. Als Folge davon mußten auch wegen der Einpassung die relativen Extremwertverhältnisse für Merkur oder Venus (oder beide) verkleinert werden.
- 35) Da Ptolemäus für die Sonne keine kleinste oder größte Entfernung angibt, sondern einen Mittelwert, wurde diese Frage von anderen Autoren behandelt. Tycho de Brahe beschriftete das Druckexemplar von "De Revolutionibus" (Basel 1566) mit handschriftlichen Anmerkungen (siehe Rheticus (A.6)). Er gibt als kleinsten Sonnenabstand den Wert des Alfraganus (1121,35 Erdradien) an. Noch Alessandro Piccolomini verwendet diese Werte unserer Tabelle in seiner *La sfera del mondo*, Venedig 1579, wobei er allerdings die jeweiligen Mindestabstände in Meilen von der Erdoberfläche aus zählt (1 Erdradius = 5.011 Meilen). Den größten Sonnenabstand (1.219 Erdradien) erhält man mit Hilfe der ptolemäischen Sonnenexzentrizität $\frac{1}{24} = 0,0417$. Siehe hierzu auch Hartner (A.3) 117 und Zinner (A.28) 72 f. Jedoch wird gemäß Al-Farghani der größte Merkurabstand zu 167 Erdradien angegeben, anstatt richtig zu 177,5; dies hat auch für die weiter außen liegenden Planeten andere Abstände zur Folge. Grundsätzlich werden jedoch die hier zur Diskussion stehenden Sphärendicken nur wenig verändert. (Der Wert 177,5 Erdradien entspricht dem Verhältnis $2,767 : 1$ für die echten Merkurperigäen).
- 36) Von welchem Autor Copernicus diesen Wert entlehnt, ist unklar. Gegenüber dem von Al-Battani ist er etwas zu groß. Copernicus gibt in Buch IV, Kap. 19 von "De Revolutionibus" die größte Entfernung von Al-Battani zu 1.146 Erdradien an; mit Hilfe der Exzentrizität (0,0345) Al-Battanis errechnet sich die kleinste Entfernung zu 1.070 Erdradien (siehe Copernicus (A.8) 233). Peurbach gibt in seiner deutschen Handschrift "Größenverhältnisse im Weltall" (siehe Zinner (A.29) 242) als kleinsten Sonnenabstand 1.079 Erdradien an, wahrscheinlich als Quelle Proclus benutzend, Regiomontanus ((A.19) 192) 1.070 Erdradien. Mit Hilfe der Exzentrizität der Alfonsinischen Tafeln (0,0378) erhält man als größten Sonnenabstand 1.163 Erdradien. Den Wert 1.160 für den kleinsten Sonnenabstand könnte Copernicus einer Stelle Aristarchs

- entlehnt haben. Aristarch gab dort diese Entfernung zu 18 - 20 mal der größten Mondentfernung an (siehe Kommentar von Aleksander Birkenmajer zu Copernicus Buch I, Kap. 10, in: Nicolaus Copernicus, Über die Kreisbewegungen der Weltkörper, hrsg. von Georg Klaus, Berlin, 1959, S. 148. Außerdem kommt der Wert 1.160 auch in Proclus Hypotyposis, ((A.30), S. 221 f.) vor. Nach E. Rosen lehnt sich Copernicus in dieser Passage eng an einen Text in Giogo Vallas "De expetendis et fugiendis rebus" (Venedig 1501) an, über den er Zugang zur Hypotyposis des Proclus haben konnte. (Polish Academy of Sciences, Nicholas Copernicus Complete Works II, Nicholas Copernicus on the Revolutions, edited by Jerzy Dobrzycki, Translation and Commentary by Edward Rosen, S. 355 f.) Noch der betagtere Rheticus weist auf die Bedeutung des Kommentars von Proclus zum Almagest für das Verständnis der ptolemäischen Astronomie hin. (E. Zinner (A.28), S. 260).
- 37) Copernicus gibt diesen Wert (177,5 Erdradien) falsch als Merkur-sphärendicke ("inter absides") an. Die meisten Astronomen ptolemäischer Prägung geben 166 oder 167 Erdradien vom Erdzentrum an; dieser Wert entspricht einem Verhältnis der Extremabstände des Merkur von ungefähr 2,6 : 1. Nach Hartner (A.23) hat der Merkur 1 Apogäum des Exzenters, jedoch 3 Perigäen: 2 sind echte Perigäen und befinden sich bezüglich des Deferentenzentrums etwa $\pm 120^\circ$ vom Apogäum entfernt; das 3. Perigäum ist ein scheinbares und befindet sich an der bei den anderen Planeten üblichen Stelle, nämlich 180° vom Apogäum entfernt. (Siehe auch Ptolemäus (A.33), Buch 9, Kap. 8 und 9 oder Buch 11, Kap. 10). Für das Scheinperigäum errechnet sich ein Verhältnis der Extremabstände von 2,65 : 1, für die beiden echten Perigäen 2,767 : 1. Bei einem kleinsten Merkurabstand von $64\frac{1}{6}$ Erdradien ergibt sich somit für die echten Perigäen ein größter Merkurabstand von 177,5 Erdradien. Der Wert des Copernicus von 177,5 Erdradien könnte also einer richtigen Interpretation der ptolemäischen Merkurtheorie entstammen, während der Wert 167 sogar für das Scheinperigäum (2,652 : 1!) noch etwas zu klein ist. Bezüglich der komplizierten Merkurbeschreibung herrschte Unsicherheit. Nach Hartner ((A.23) 121) errechnet sich gemäß Al-Battani ein Verhältnis der Extremabstände für das Scheinperigäum von 2,63 : 1. Copernicus versteht hier unter "177,5 Erdradien" allerdings nicht den Abstand vom Erdzentrum, sondern die Merkursphärendicke, was falsch ist.
- 38) Der Wert unserer Tabelle ist statt 910 gleich 954. Aleksander Birkenmajer (A.36) interpretiert den Wert 910 so: Wenn 177,5 Erdradien die Dicke der Merkursphäre ist, dann erhält man addiert zum größten Mondsphärenabstand von der Erde $64\frac{1}{6} + 177,5 = 241\frac{2}{3}$; addiert man hierzu 910, so erhält man $1.151\frac{2}{3}$ Erdradien als kleinsten Sonnenabstand. Der von Copernicus angegebene Wert 1.096 Erdradien entsteht über $1160 - 64\frac{1}{6}$.
- 39) Copernicus (A.8) 24
 40) Copernicus (A.8) 25
 41) Rhetikus (A.6) 65
 42) Siehe später
 43) Rhetikus (A.6) 57
 44) Rhetikus (A.6) 64

- 45) Rhetikus (A.6) 84
- 46) Neugebauer (A.4)
- 47) Copernicus (A.8) 235; Copernicus gibt hier als größten Sonnenabstand 1.179 Erdradien an, als kleinsten 1.105; da er der Sonnenbahnexzentrizität für seine eigene Zeit den nahezu minimalsten Wert zuordnet, stellt der Maximalwert 1.179 den nahezu geringsten maximalen Sonnenabstand dar.
- 48) Auf das Problem der Kristallschalen bei Copernicus gehen wir später ein.
- 49) Copernicus (A.8) 25
- 50) Rhetikus (A.6) 66; somit zeigen zwei, ja fast drei Zwischenräume zwischen Sonne und Erde ungefähr gleiches Maß. Im X. Buch seiner "Elemente" definiert Euklid Größen, die gleichgroße Teilmaße enthalten, als "symmetrisch" (griech. symmetros). Martianus Capella bespricht in Buch IV seiner "De Nuptiis Philologiae et Mercurii" die Proportionenlehre Euklids und gibt dort Hinweise auf den Begriff symmetros (Martianus Capella, edidit Adolfus Dick, Stuttgart 1969, S. 359). Copernicus zitiert in Buch I, Kapitel 10, Martianus Capella in anderem Zusammenhang (Ägyptisches System). Jedoch enthalten nicht alle Planetenbahnen gleiche Teilmaße. Dies veranlaßte später Kepler nach einem komplizierteren gesetzmäßigen Zusammenhang der Planetenabstände zu suchen. Schon Ptolemäus versuchte in diese Abstände arithmetische, geometrische und harmonische Zahlenfolgen hineinzusehen (siehe Proclus, Hypotyposis (A.30) 306): Proclus nennt deshalb in seinem Timaioskommentar Ptolemäus den Begründer der Lehre von den harmonischen Verhältnissen der Planetenabstände. Nimmt man das Gesetz der Reihenfolge (proportionaler Zusammenhang zwischen Umlaufzeiten und Planetenabständen) hinzu, so entspricht die kopernikanische "Gestalt des Weltalls" wegen der 24-stündigen Erdrotation und der ruhenden Fixsternsphäre eher dieser "Proportioniertheit" als die ptolemäische (siehe Capella (A.19a) 331 und 335). Proclus gibt in seinem Euklidkommentar 3 wichtige Grundprinzipien der Schönheit des Körpers oder der Seele in Verbindung mit der Mathematik an, unter denen auch das Prinzip Symmetrie vorkommt. Er verweist dabei auf Aristoteles. Die Stelle erinnert jedoch eher an Platos Bild zur Häßlichkeit der Körpergestalt im Timaios. (Procli Diadochi in Euclidis Elementorum Librum, Commentarii, Friedlein, Leipzig 1873, S. 26/27).
- 51) Der Mond ist Erdsatellit und somit kein Planet mehr.
- 52) Nur der Merkurwert ist geringfügig verändert (siehe Neugebauer (A.4)). Folgende Tabelle soll die Situation verdeutlichen:

Planet	Abstand vom Bahnzentrum		Abstand von der Sonne	
	kleinster	größter	kleinster	größter
Merkur	0,3361	0,4165	0,2625	0,4521
Venus	0,7089	0,7297	0,6777	0,7609
Erde	(zu Cop. Zeit)		0,9677	1,0323
	(zu Ptol. Zeit)		0,9583	1,0417
Mars	1,446	1,594	1,372	1,6676
Jupiter	5,100	5,339	4,980	5,458
Saturn	8,913	9,436	8,652	9,696

Siehe hierzu auch Zinner (A.28) 216. Ziners Tabelle ist meinen Berechnungen nach für Venus und Merkur falsch; dort wird an Stelle des Abstands vom Bahnzentrum der Abstand von der Sonne angegeben. Den größten und kleinsten Abstand des Merkur von der Sonne errechnete ich aus der Merkurkonstruktion des Copernicus; ebenso verfuhr ich bei der Venus. Die Mühe lohnt sich, da auch die Kommentatoren des Copernicus hier beträchtliche Wertverschiedenheiten bieten; viele haben offensichtlich die Konstruktionen nicht richtig verstanden (so auch Johannes Prätorius; siehe seine Tabelle in Westman (94a) 298).

- 53) Copernicus (A.8) 20, 23; Kuhn (A.2) 151 und 159
- 54) Rhetikus (A.6) 65
- 55) Regiomontanus (A.30) 192. In Platons Timaios gibt es zwar keine Leere, aber den leeren Raum (siehe auch Hartner (A.23) 124 bezüglich der Auffassung Alhazens)
- 56) Rhetikus (A.6) 66. Lateinisch: Quare Saturnus sub ecliptica liber viam corripit.
- 57) Rhetikus (A.6) 66. Der Pythagoräer Philolaos ordnet die Zahl 6 der Beseeltheit zu (siehe E. Zeller, Die Philosophie der Griechen in ihrer geschichtlichen Entwicklung, Darmstadt 1963, Band I, Teil 1, S. 551) und Platons Seelenbegriff im Timaios konstituiert sich in Bezug auf das Weltganze, das Weltall, durch Zahlenverhältnisse strukturiert.
Plato und die Pythagoräer spielen offensichtlich eine grundlegende Rolle im gesamten Denkansatz des Copernicus. Rhetikus weist hierauf in der Narratio Prima immer wieder hin. (Siehe auch Rhetikus (A.6) 67: "Da mein Herr Lehrer im Anschluß an Plato und die Pythagoräer, die vorzüglichsten Mathematiker jener göttlichen Epoche, der Meinung war, ...". Auch der Atomvergleich von Copernicus (Copernicus (A.8) 18) weist auf Platons Atomismus im Timaios hin; er stellt einen markanten Gegensatz zu Aristoteles dar. (Siehe Platon, Sämtliche Werke, Heidelberg, Band III, Timaios, S. 142). Bei Nicomachus von Gerasa wird die Zahl 6 identifiziert mit der Seele, als Zahlensymbol für Heirat und Aphrodite (Nicomachus of Gerasa, Introduction to Arithmetic, translated into English by Martin Luther D'Ooge, London 1926, S. 106).
Bei Martianus Capella ist die Zahl 6 vollkommen und proportional, sie wird identifiziert mit Venus als Mutter der Harmonie (Martianus Capella (A.19a) 280/1).
- 58) Galilei (A.15) XIII; Rhetikus (A.6) 67: "Da mein Herr Lehrer im Anschluß an Plato und die Pythagoräer, die vorzüglichsten Mathematiker jener göttlichen Epoche, der Meinung war, daß zur Bestimmung der Ursachen der Erscheinungen dem kugelförmigen Erdkörper Kreisbewegungen zugeschrieben werden müssen..." Nach Schmeidler (A.1) 196 hat sich Copernicus intensiv mit Plato beschäftigt.
- 58a) Copernicus (A.8) 28
- 58b) Alexandre Koyrè, Von der geschlossenen Welt zum unendlichen Universum, Frankfurt 1969, S. 38 f.
- 59) Rhetikus (A.6) 84
- 60) Galilei (A.15) 357
- 61) Copernicus (A.8) 23
- 62) Die Anordnung der Planetenbahnen nach der Fixsternsphäre hin

- entsprechend zunehmender Umlaufzeiten.
- 63) Copernicus (A.8) 26
- 64) Siehe auch Rhetikus (A.6) 57
- 65) Copernicus (A.8) 26
- 66) Peurbach (A.19) 767
- 67) Peurbach (A.19) 767 und Ptolemäus (A.33) Buch 9, Kap. 2, 3, 7, 10
- 68) Peurbach (A.19) 770 und Ptolemäus (A.33) Buch 9.
Peurbach (A.19) 770 gibt für die Venus noch eine weitere Ankettung an die Sonne an, die auch in den Alfonsinischen Tafeln vorhanden ist: Die Ekliptiklängen der Exzenterapogäen von Venus und Sonne sind gleich. Copernicus übernimmt diese Gleichheit entsprechend für seine Aphelien von Venus und Erde noch im Commentariolus, während er sie in "De Revolutionibus" wieder aufgibt (siehe Zinner (A.28) 184 und 208). Bezüglich dieses Venusapogäums herrschte offensichtlich von Ptolemäus bis Copernicus große Unsicherheit, was an der kleinen Exzentrizität der Venusbahn liegen dürfte. Erst Tycho de Brahe und Kepler zeigten größere Genauigkeit in dieser Frage; ihr Aphelort weicht dabei stark von den entsprechenden Orten der Vorgänger ab.
Zinner (A.28) 97 und 129 stellt die Bedeutung Peurbachs für das Bewußtwerden der "Ankettung" der Planeten an die Sonne heraus.
- 69) Copernicus (A.8) 24, 25
- 70) Ptolemäus (A.33) Buch 12, Kapitel 10; Copernicus (A.8) 25
- 71) Rhetikus (A.6) 55/6
- 72) Siehe hierzu Peurbachs deutsche Handschrift verzeichnet bei Zinner (A.29) 192 und Alessandro Piccolominis "Sphera del mondo" (A.35)
- 73) In dieser Darstellung sind Kreisbahnen angenommen. Die wirkliche elliptische Bahnform, die durch Kepler erkannt wurde und über die sich schon bei einzelnen Planetenkonstruktionen Peurbach (siehe Hartner (A.23)) und Copernicus (siehe Schmeidler (A.1) 163) Gedanken machten, bedingt nur geringfügige Abweichungen. Das zugehörige Intervall der Extremabstände ergibt bei Copernicus eine winzige Sphärendicke. Die kopernikanische heliozentrische Planetenbahn weicht von der Ellipsenform etwas ab. Die zugehörige geometrische Konstruktion ist exzenter-epizyklisch. Jedoch hat der kopernikanische Epizykel nichts mit einem ptolemäischen Rücklaufschleifenepizykel zu tun. Der kopernikanische Epizykel soll zusammen mit der kopernikanischen Exzentrizität die ptolemäische Exzentrizität annähernd darstellen.
- 74) Copernicus (A.8) 25 und Galilei (A.15) 389. Aleksander Birkenmajer (A.36) setzt den Terminus "Venusdurchmesser" mit "Epizykeldurchmesser" ($86\frac{1}{3}^P$ der Venus) gleich, der kleinste Venusabstand zum Erdzentrum im Perigäum ist $15\frac{7}{12}^P$, somit $86\frac{1}{3}^P : 15\frac{7}{12}^P = 5,54$ 6. Der Epizykel ist nämlich verantwortlich für die Winkelabweichung $+45^\circ$ der Venus zur Sonne. Der Wert für das mittlere Verhältnis der Extremabstände wäre nach Copernicus $6,13 : 1$. Der auf Grund der Ankettung 1) sich ergebende Wert für das mittlere Verhältnis der Extremabstände nach Ptolemäus ist ebenfalls $6,13 : 1$. Der Wert $6,7 : 1$ gilt bei zusätzlicher Berücksichtigung der ptolemäischen Bahnexzentrizität. Bei Copernicus spielt außer diesen Exzentrizitäten für Erd- und Venusbahn

- auch noch die gegenseitige Lage der Exzenteraphelien von Erd- und Venusbahn eine Rolle. Der bereits von Regiomontanus (A.25) 265 als zu groß beanstandete Wert $6,7 : 1$ (er entspricht einem Kreisflächenverhältnis von etwa $45 : 1$ für die sichtbaren Planetenscheiben) wird von Copernicus auch nicht verkleinert, wenn man die kopernikanischen Aphelienlagen berücksichtigt. (Betr. d. Aphelienlagen siehe (A.28) 208 und Rhetikus (A.6) 80).
- 75) Die Erklärung der Entstehung der Grenzwinkel hat gemäß Copernicus schon Martianus Capella beschrieben: Copernicus (A.8) 25. Zu Capella siehe auch Schmeidler (A.1) 36.
- 76) Vielleicht gehört die Stelle bei Copernicus (A.8) 26 hierher: "... und alles Dasjenige, was von einer Bewegung der Sonne erscheint, vielmehr in der Bewegung der Erde seine Wahrheit findet." Siehe auch Rhetikus (A.6) 55/6
- 77) Copernicus (A.8) 25
- 78) Siehe Ptolemäus (A.33) Buch 9, Kap. 1
- 79) Copernicus (A.8) 28
- 80) Je weiter ein Planet von der Erde entfernt ist, um so kleiner ist die an ihm sichtbar werdende Parallaxe der Erdbewegung.
- 81) Galilei (A.15) 360
- 82) Siehe auch Hartner (A.3)
- 83) Galilei (A.15) 357; Rhetikus (A.6) 64/5; Copernicus (A.8) Buch I, Kap. 4, 5, 11
- 84) Galilei (A.15) 124 und 383 f.; Copernicus (A.8) 18
- 85) In der Narratio Prima werden noch zwei weitere Erscheinungen aus der Erdbewegung erklärt, die jedoch von geringerem Interesse sind: Rhetikus (A.6) 54/5
- 86) Copernicus (A.8) 26; siehe auch Rhetikus (A.6) 56. Hier sei an den Begriff der Ökonomie der Natur erinnert. Eine Auffassung des Ptolemäus zum Begriff der "Einfachheit der Natur" siehe Ptolemäus (A.33) II, 334
- 87) Copernicus (A.8) 28: Menzzer schreibt hier irrtümlich Harmonie statt Symmetrie und Zinner (A.28) 197 übernimmt die falsche Wiedergabe des Originaltextes.
- 88) Copernicus (A.8) 28; siehe auch Galilei (A.15) 360
- 89) Anlehnung des Copernicus an die Sphärenvorstellung. Der konvexe Kreis der Venus gehört zum größten Venusabstand von der Sonne. Siehe auch Rhetikus (A.6) 63. Lateinisch: "Sed intra concavam superficiem orbis martis et convexam veneris."
- 90) Kleinster Marsabstand von der Sonne
- 91) Anlehnung an die homozentrischen Sphären des Aristoteles
- 92) Copernicus (A.8) 26
- 93) Galilei (A.15) 358
- 94) D. B. Herrmann, Kosmische Weiten, Leipzig 1977, S. 16; siehe auch Proclus, Hypotyposis, (A.30) 221 f.
- 94a) Siehe R. S. Westman, Three Responses to the Copernican Theory, in: The Copernican Achievement, ed. by R. S. Westman, California, 1975
- 94b) E. Zinner (A.28) 240
- 95) Copernicus (A.8) 20
- 96) Copernicus (A.8) 23
- 97) Copernicus (A.8) 20: Übersetzung nach Kuhn (A.2) 156
- 98) Copernicus (A.8) 23: Übersetzung nach Kuhn (A.2) 159
- 99) Siehe F. Wehrli, Die Schule des Aristoteles, Texte und Kommentar, Heft VII, Herakleides Pontikos, Basel 1953, S. 100

- 100) Copernicus (A.8) 28; Wehrli (A.99) 99
- 101) Heraklit, Griechisch und Deutsch vo. H. Quiring, Berlin 1959. Nicomachus von Gerasa gibt in seiner Arithmetik die Zahlentheorie der Pythagoräer wieder. Der Harmoniebegriff des Pythagoräers Philolaos wird hier so formuliert: "Harmonie ist die Vereinigung des Verschiedenen und die Eintracht des Zwieträchtigen." Nicomachus (A.57) 100.
- 102) Siehe Kuhn (A.2) 186: Kuhn sieht den kopernikanischen Harmoniebegriff als nur ästhetisch, aber nicht pragmatisch an. Dies stellt meiner Meinung nach eine krasse Fehleinschätzung dar. Nach meinen bisherigen Ausführungen ist der Harmoniebegriff des Copernicus fundamental kausallogisch und weist auf modernes naturwissenschaftliches Argumentieren. In der modernen Physik soll beispielsweise die Modellvorstellung der "Welle" eine möglichst große Anzahl von Experimenten in einen Erklärungszusammenhang stellen, also "eine Harmonie des Erklärungszusammenhangs" aufweisen.
- 103) Heraklit (A.101) 92
- 104) E. Zeller, Grundriss der Geschichte der griechischen Philosophie, Leipzig 1905, S. 60
- 105) Galilei (A.15) XIII
- 106) Siehe W. Heisenberg, Physik und Philosophie, Frankfurt 1959, Kapitel IV; oder W. Heisenberg, Der Teil und das Ganze, München 1975, Kap. 20; oder W. Heisenberg, Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft, Stuttgart 1973, S. 77 f.
- 107) H. Blumenberg, Die Genesis der kopernikanischen Welt, Frankfurt 1975, S. 295 f.; Blumenberg lehnt sich hier an A. Birkenmajer (A.36) 155 f. und E. Rosen (A.36) 358 an
- 108) Blumenberg (A.107) 285; siehe auch (A.107) 286 f.