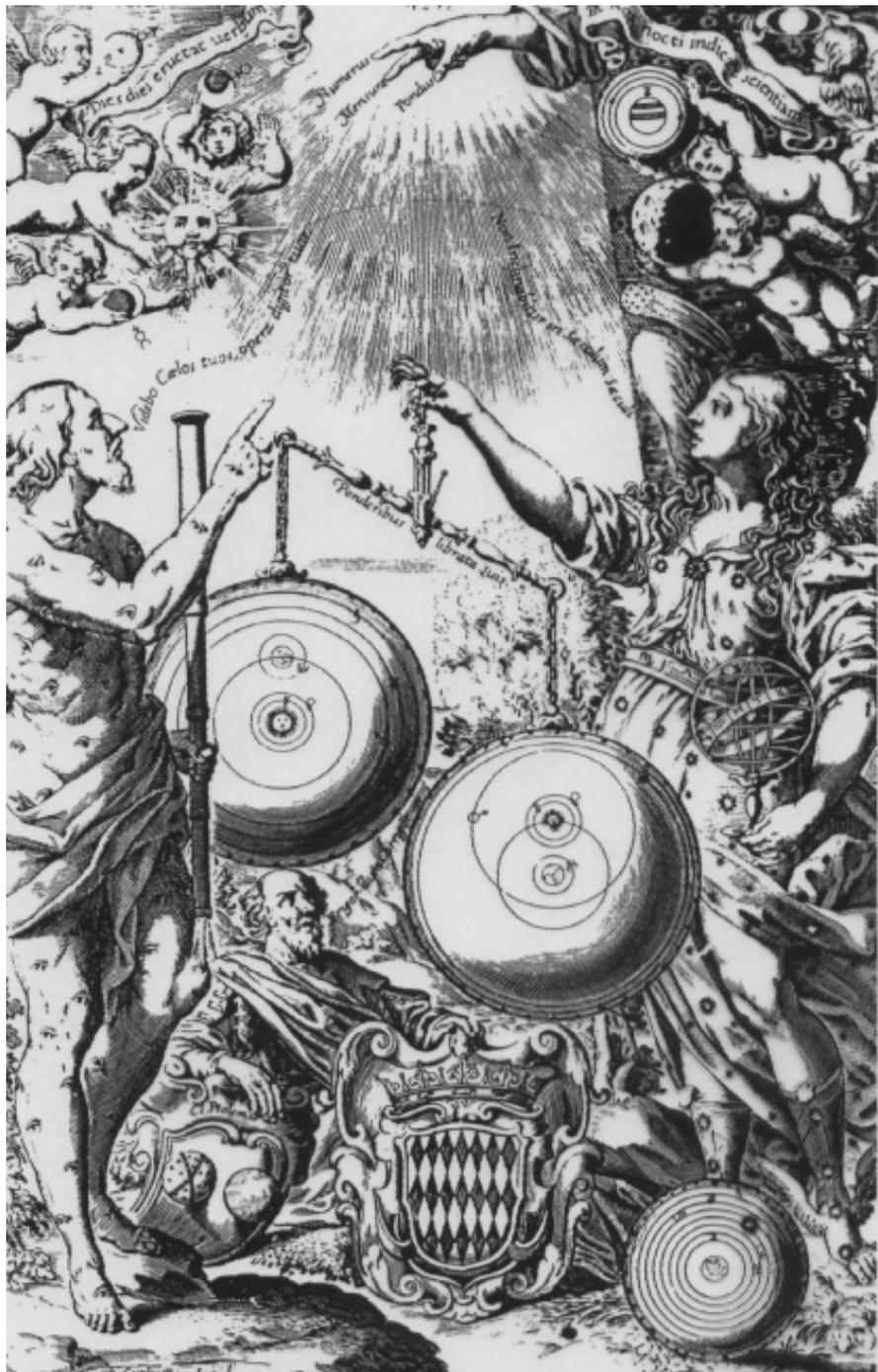


# Die ‘Copernicanische Wende’ als Rettung der Prinzipien

Zum neuzeitlichen Heliozentrismus von Nicolaus Copernicus

Hans Gaab, Pierre Leich, Nürnberg 1996



Kupferstich aus Giovanni Battista Riccioli, *Almagestum Novum*, Bologna 1651.

# Die ‘Copernicanische Wende’ als Rettung der Prinzipien

Vorschnell wird die Entwicklung der Naturwissenschaft als folgerichtige Anhäufung methodisch geordneter Erkenntnisse unterstellt. Keine vier Jahrzehnte ist es her, daß demgegenüber der amerikanische Wissenschaftstheoretiker Thomas S. Kuhn darauf hinwies, daß von einer ‘Struktur wissenschaftlicher Revolutionen’ gesprochen werden müsse. In Phasen normaler Wissenschaft treten Anomalien auf, bis ein Paradigmenwechsel ein neues Erklärungsmodell etabliert. Als Paradebeispiel diente Kuhn die ‘Copernicanische Wende’, welche 1787 auch den Königsberger Philosophen Immanuel Kant veranlaßt hatte, in seiner *Kritik der reinen Vernunft* von einer ‘Revolution der Denkart’ zu sprechen. Kant verglich seine erkenntnistheoretische Wende ‘mit den ersten Gedanken des Copernicus [...]’, der, nachdem es mit der Erklärung der Himmelsbewegungen nicht gut fort wollte, wenn er annahm, das ganze Sternenheer drehe sich um den Zuschauer, versuchte, ob es nicht besser gelingen möchte, wenn er den Zuschauer sich drehen, und dagegen die Sterne in Ruhe ließ.” [B XVI]

Seit Galilei gilt Copernicus, der mit dem 1543 in Nürnberg erschienen *De revolutionibus orbium coelestium libri VI* das Gründungswerk des neuzeitlichen Heliozentrismus geschaffen hat, gemeinhin als Revolutionär in Sachen ‘neues Weltbild’. Indessen ist sich die moderne

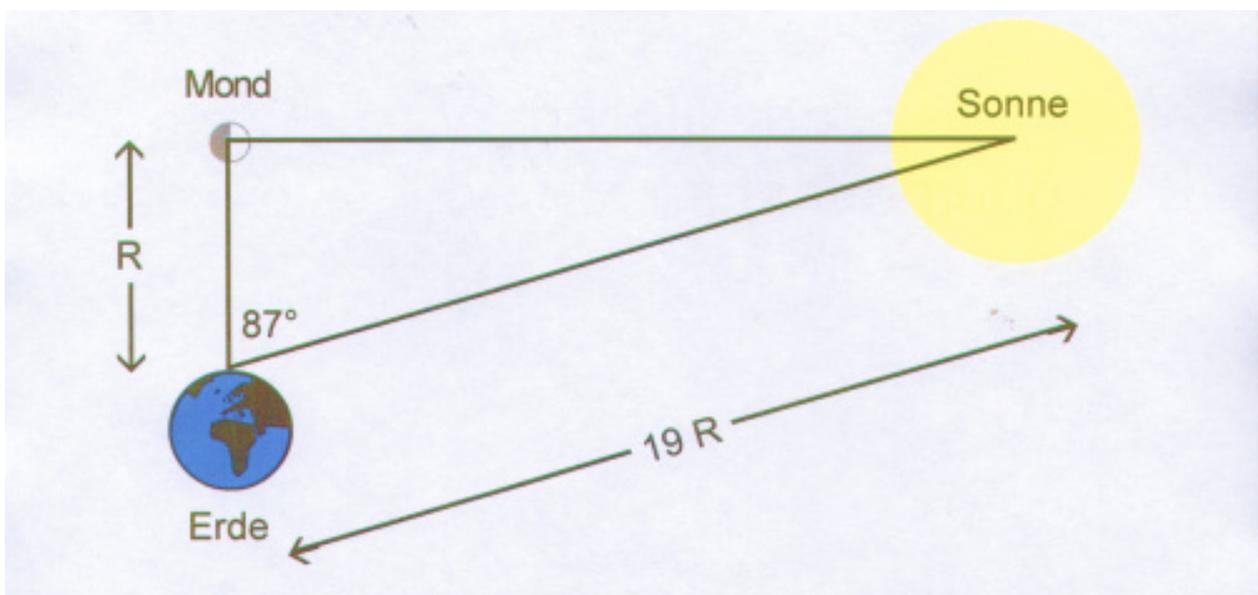
Wissenschaftstheorie einig, daß erst Kepler es war, der die antiken Prinzipien der Astronomie überwand und mit seinem ‘irdischen Kollegen’ Galilei die Voraussetzungen schuf, auf denen Newton das neuzeitliche Weltbild vollendete und damit für die Lehre der Bewegungen aller Körper einen neuen Erklärungs-begriff einführte.

Der folgende Beitrag will klären, in welchen Problemhorizont Copernicus seine Vorschläge stellte und welches Gewicht seinen Argumenten zukommt. Um dies zu beurteilen, lassen wir zunächst die Lösungsversuche der Antike Revue passieren:

## Die Entdeckung des Aristarch von Samos

Wir besitzen von Aristarch (-310-230) leider kein direktes Zeugnis über den Heliozentrismus. Ein sonst verlässlicher Zeuge – Archimedes – schreibt ihm im *Sandrechner* jedoch die These zu, die Erde bewege sich um die Sonne.

In der erhaltenen Schrift *Über Größen und Entfernungen von Sonne und Mond* verschafft sich Aristarch Klarheit über die Verhältnisse in der näheren Erdumgebung. Er erkennt, daß bei Halbmond das Dreieck Sonne-Mond-Erde geometrisch notwendig rechtwinkelig ist. Wer



Verhältnis von Mond- und Sonnenentfernung nach Aristarch von Samos (ca. -310-230), *Über Größen und Entfernungen von Sonne und Mond*

nun den Winkel zwischen unserem Sichtstrahl zur Sonne und dem zum Mond kennt, erhält unter Zuhilfenahme von Sehnentafeln (Vorläufer der Trigonometrie) das Abstandsverhältnis von Erde-Mond zu Erde-Sonne. Da Mond- und Sonnenscheibe in etwa die gleiche Sehfläche einnehmen, gilt nach dem Strahlensatz das gefundene Verhältnis auch für die Größe von Sonne und Mond. Laut Aristarch liegt dieses nahe 1 : 19. Das tatsächliche Verhältnis von 1 : 389 hat er weit unterschätzt, da der gesuchte Winkel mit 89° 50' statt Aristarchs 87 Grad tatsächlich viel näher am rechten Winkel liegt.

Das Größenverhältnis von Erde zu Mond gewinnt er aus einem Vergleich der Mondscheibe zum Kernschatten der Erde bei einer Mondfinsternis. Verknüpft man alle drei Ergebnisse, so stellt sich heraus, daß die weit entfernte Sonne etwa 300-mal größer ist (im Sinn von Volumen) als die Erde. Ist es da nicht plausibler – so mag Aristarch gedacht haben – anzunehmen, die kleinen Planeten drehen sich um die Sonne und nicht um die Erde?

Die Überlegungen von Aristarch blieben in der Antike jedoch ohne breitere Auswirkung. Als Lage der Erde konnte nur eine in der Weltmitte ruhenden Erde in Betracht kommen – fallen doch alle schweren Gegenstände deshalb zum Erdmittelpunkt.

## Planetenmodelle zur “Rettung der Phänomene”

Am Himmel ging es für die Antike um eine kinematische (unter Ausklammerung der Masse) Behandlung der sichtbaren Lichtspuren und -gestalten. Die Bewegung eines Gestirns galt als erklärt, wenn eine Beschreibung gelang, sie auf

- kreisförmige,
- gleichförmige (im Sinn von Winkelgeschwindigkeit)

Bewegungen zurückzuführen. Solche “natürlichen” Bewegung galten nicht als hinterfragbar. In diesem Sinn als nicht erklärungsbedürftig folgten dem Kreis bei Newton ‘geradlinig’ und seit Einstein ‘geodätisch’.

Diese beiden Vorschriften bilden das astronomische Forschungsprogramm der Antike, das unter dem Schlagwort “Rettung der Phänomene” den Rahmen verschiedener Planetenmodelle absteckte und entsprechend den Beobachtungsstandards Übereinstimmung forderte. Angeblich habe Platon den Fachastronomen die Aufgabe gestellt, “durch welche hypothetisch zugrunde gelegten gleichmäßigen und geordneten Bewegungen die bei den Planetenbewegungen auftretenden Phänomene vollkommen gerettet würden” [Simplicius, *In Aristotelis De caelo libros commentaria*, Ed. J.L. Heiberg, S. 488]. Gleichwohl kommen dafür wohl eher pythagoräische Kreise mit ihrem Gedankengut über Idealgestalten und Idealbewegungen in Betracht.

## Erscheinungen

Die antike Astronomie sah sich vier Erscheinungsgruppen konfrontiert:

1. der gleichmäßige Umschwung des ganzen Himmels mit Sonne, Mond und Sternen im Lauf von einem Tag,
2. der jahreszeitliche Lauf der Sonne unter den festen Sternen,
3. der einigermaßen gleichmäßige Lauf des Mondes während eines Monats,
4. der ungleichförmige, aber periodische Lauf der Planeten.

Während die geometrische Behandlung der Fixsterne bereits im vierten Jahrhundert v.Z. mit einer drehenden Kugel gelöst wurde, blieben die Stillstände, Spitzkehren und Schleifen der Wandelsterne rätselhaft. Dieser Komplex wurde unter dem Stichwort ‘Zweite Anomalie’ diskutiert, während mit ‘Erster Anomalie’ die Schwankungen im jahreszeitlichen Lauf der Sonne gemeint waren.

## Die homozentrischen Sphären des Eudoxos

Die erste Konzeption eines Planetenmodells, das die Phänomene “liefert”, stammt übereinstimmend von Eudoxos von Knidos (etwa -400-340).

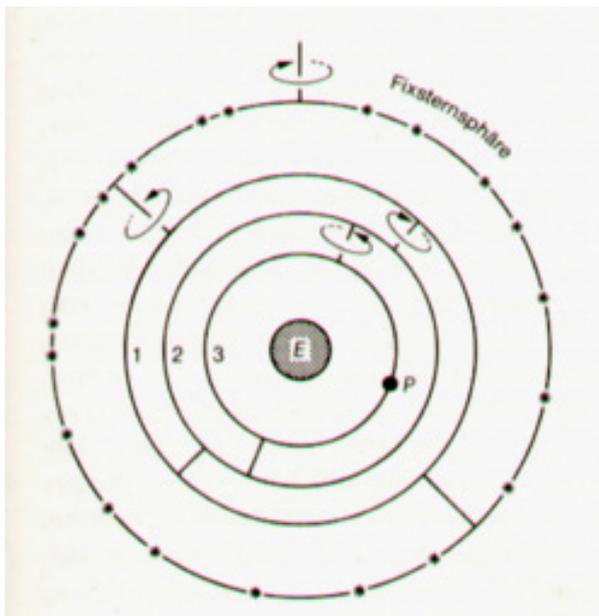
Geometrisch und kinematisch analysiert die eudoxische Lösung die zweite Anomalie als resultierende Bewegung zweier gleichförmiger konzentrischer Kreisbewegungen, die schräg

zueinander und in entgegengesetzter Richtung in der synodischen Periode erfolgen. So entsteht für einen Betrachter im Mittelpunkt der Kreise eine Doppelschleife von der Figur einer liegenden Acht, die in den beobachteten Perioden auftritt.

Mit Hilfe einer Zeichnung hat man eine gewisse Chance, die Zusammensetzung der Bewegung zu erfassen, allerdings ist die so erzeugte Hippopede noch in die Bewegungen von Himmel (Tag) und Tierkreis der Ekliptik (siderisches Jahr) einzubetten, wobei jeweils die Rotationsachsen auf der äußeren Kugelschale "montiert" sind. Da jeder Planet von außen angetrieben wird, benötigte Eudoxos 27 Sphären, deren Achsen alle durch das Erdzentrum gehen. Das System wurde von Kallippos auf 33 und durch Aristoteles' zurückrollende Sphären auf 55 Kugelschalen erweitert, das so als Ausdruck realer Verhältnisse betrachtet wurde.

Es ist ersichtlich, daß auch Zeitgenossen ein anschaulicheres Modell bevorzugt hätten, zumal bei Eudoxos Unstimmigkeiten auftreten:

- Das Eudoxische Modell erzeugt immer gleiche Schleifenformen.
- Wechselnde Größe und Helligkeit sprechen für verschiedene Abstände, denen Eudoxos nicht gerecht wird.



Die Homozentrische Sphären des Eudoxos von Knidos (ca. -391-338) für einen Planeten P

- Die bereits Babylonischen Astronomen bekannte Tatsache, daß Herbst und Winter um einige Tage kürzer sind als Frühling und Sommer, konnte nicht plausibel gemacht werden.

## Die Exzenter des Hipparch von Nikaia

Um die im letzten Punkt angesprochene 'große Ungleichheit' (1. Anomalie) aufzulösen, setzte Hipparch (~-190~125) die Erde exzentrisch zum Mittelpunkt des angenommenen Sonnenkreises. Die verschiedenen Geschwindigkeiten der Sonne erklären sich nun durch die ungleichen Bögen zwischen den 4 ausgezeichneten Bahnpunkten (Frühlingspunkt etc.) und erweisen sich damit als scheinbarer Effekt.

Um unter Wahrung der Grundsätze der Gleichförmigkeit und Kreisförmigkeit auch die Anomalien der Helligkeit und Form aufzulösen, müssen auch diese letztlich die Folge einer perspektivischen Invarianz zur Erde sein. Dieser Schritt war bereits vor Hipparch von Apollonius vollzogen worden, der damit das Eudoxische Modell um eine Dimension kappte und das Planetenproblem einer mathematisch einfacheren Behandlung zugänglich machte.

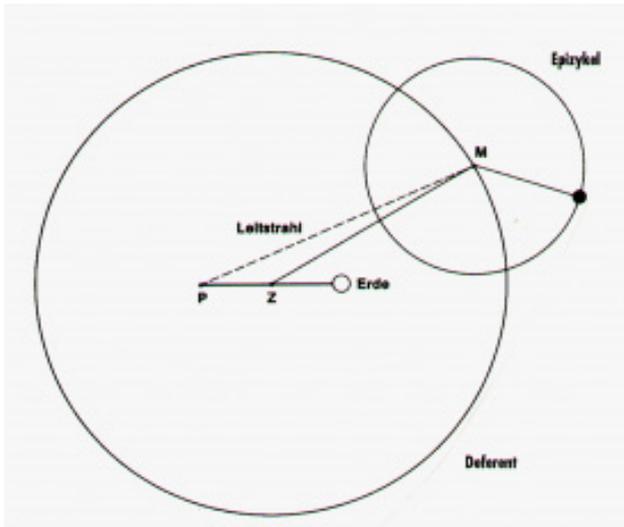
## Die Epizykel des Apollonius von Perga

Apollonius (-265-190), der "Vater der Kegelschnitte", ersetzte die ineinandergeschachtelten Kugelsphären durch epizykloide Kreisbewegungen.

Der Planet bewegt sich dabei in der synodischen Periode um einen kleineren Kreis, dem sogenannten Epizykel, dessen Mittelpunkt in der siderischen Umlaufzeit auf einem größeren, dem sogenannten Trägerkreis oder Deferenten, abrollt, in dessen Mitte die Erde gedacht wird.

Mit dem Epizykelmodell erzeugen zwei kontinuierliche Kreisbewegungen eine ungleichförmige Bewegung. Die beiden Bewegungen können aber nicht mehr das gleiche Zentrum besitzen (homozentrisch sein).

Dieses Modell wurde daher bereits in der Antike nurmehr als Rechenverfahren betrach-



Epizykelmodell mit Ausgleichspunkt P nach Claudius Ptolemäus (ca. 85-160)

tet und nicht mehr als Abbild eines realen Sachverhaltes. Eine Stärke ist jedoch, daß verschiedene Abstände leicht erzeugt werden können und verständlich wird, warum die scheinbare Helligkeit der Planeten gerade bei den Umkehrpunkten am größten ist.

Apollonius hat für bestimmte Umlaufverhältnisse auch gleich die Äquivalenz von Exzenter und Epizykel auf Konzenter mathematisch streng bewiesen. Die Antike verfügt mit den Epizykel somit über ein weitreichendes Beschreibungsmittel.

## Der Ausgleichspunkt von Ptolemäus

Bei diesem Forschungsstand blieben Ptolemäus zunächst nur Präzisierungen im Rahmen des vorgegebenen Forschungsprogramms.

### Breitenbewegung

Um nicht nur Rückläufigkeiten, sondern auch Schleifen zu erhalten, addierte Ptolemäus eine Breitenbewegung zur Ekliptik. Bei den äußeren Planeten hat er den Grundkreis zur Ekliptik geneigt, während der Epizykel – copernicanisch das Spiegelbild der Erdbewegung – parallel zur Ekliptik bleibt.

### Elongation

Bei den inneren Planeten müssen Erde,

Epizykelmittelpunkt des Planeten und mittlere Sonne auf einer Geraden liegen. Dabei war nur der Winkeldurchmesser des Epizykels durch Beobachtung des größten Abstandes von der Sonne vorgegeben.

### Ausrichtung des Epizykelradius

Bei den äußeren Planeten müssen die Geraden Erde-(mittlere) Sonne und Epizykelmittelpunkt-wahrer Planet parallel bleiben und gleichen Drehsinn haben. Damit kann ein Planet zwar beliebige Winkelabstände zur Sonne einnehmen, Rückläufigkeiten gibt es aber nur bei Opposition wie von der Erfahrung verlangt.

### Ausgleichspunkt

Eine ernste Schwierigkeit blieb noch zu überwinden: Von der exzentrisch gelegenen Erde aus erscheinen die Umschwünge der Planeten nicht gleichmäßig – das wurde ersichtlich. Leider zeigten die verbesserten Messungen, daß die Bewegung auch vom Mittelpunkt der Kreise nicht kontinuierlich erfolgt, was ein grober Verstoß gegen die Prinzipien des astronomischen Forschungsprogramms darstellte.

Ptolemäus behalf sich, indem er einen weiteren exzentrischen Punkt einführte, von dem aus die Planetenbewegung gleichmäßig erfolgen sollte. Dieser Ausgleichspunkt sollte für Copernicus zum Stein des Anstoßes werden.

### Offene Fragen

Als erklärungsbedürftig offenbaren sich damit bereits für die Antike folgende Zusammenhänge:

- Warum entfernen sich die inneren Planeten nur im Rahmen ihres Elongationswinkels von der Sonne? Diese sollte keine bevorzugte Rolle spielen.
- Warum muß bei äußeren Planeten der Radiusvektor Planet-Epizykelmittelpunkt parallel sein zur Verbindungsgerade Erde-Sonne? Damit beträgt die Umlaufzeit eines Planeten auf seinem Epizykel ein Erdjahr (bis Sonne gleiche Stellung unter Fixsternen einnimmt).
- Warum treten die Schleifen bei den äußeren Planeten stets in Opposition, bei den inneren in unterer Konjunktion auf? Auch diese Begriffe geben die Planetenstellung zur Sonne an.
- Die Proportion Erde-Kreiszentrum-Ausgleichspunkt bleibt unbegründet.

# Die Etablierung des Heliozentrismus

Wie schon angedeutet, war Copernicus (1473-1543) durchaus "fundamentalistisch" eingestellt. In seinen Augen ging selbst Ptolemäus zu lax mit den Grundsätzen der antiken Astronomie um. Die Ad-hoc-Hypothese des Ausgleichspunktes suchte er daher durch das einzig zulässige Mittel der Epizykeltheorie zu ersetzen.

Die erste Anomalie hatte Ptolemäus durch Exzenter- und Ausgleichsbewegung analysiert. Copernicus setzte hier nur Epizykel (in seiner Endfassung plus einem Exzenter) ein. Für die zweite Anomalie blieb nun kein Ansatzpunkt für weitere Epizykel übrig, so daß die Schleifenklärung völlig anders erfolgen mußte. Im antiken Heliozentrismus fand er die Voraussetzung, die Schleifen als relativen Effekt erweisen zu können. So mußte er keine weiteren Epizykel investieren. Der Perspektivenwechsel war aus der Sicht von Copernicus eher Begleiterscheinung als Beweggrund.

Neben der jährlichen Bewegung erhielt die Erde noch eine tägliche um die eigene Achse, da trotz Heliozentrik die Fixsternsphäre ja nicht um die Sonne kreist.

Leider ist die Copernicanische Theorie im Detail wesentlich verwickelter (hinzu kommen neben Präzession fünf weitere Bewegungen). In der dargestellten Version ist sie jedoch Gegenstand der Debatte bis zur Anerkennung der Keplerschen Leistungen durch Newtons Gravitationstheorie. Daß alle führenden Fachwissenschaftler dennoch längst vor Newton vom Heliozentrismus überzeugt waren, ist bemerkenswert. Ob dies an den Argumenten lag, soll die folgende Auseinandersetzung zeigen.

## Die Diskussion des Heliozentrismus

Der Name Copernicus steht für den Übergang vom Geozentrismus zum Heliozentrismus. Die Darstellung der antiken Astronomie im ersten Teil brachte als überraschendes Ergebnis, daß Copernicus keineswegs außerhalb dieser Tradition steht. Sein vorderstes Anliegen war, alle Planetenbewegungen mit der Epizykeltheorie und nur mit dieser – also ohne

ptolemäischen Ausgleichspunkt – zu rekonstruieren. Dieser Ansatz brachte geradezu als Nebeneffekt die Notwendigkeit, die Schleifenbewegung als perspektivischen Effekt zu deuten. Im Folgenden versuchen wir aus der Sicht eines Zeitgenossen des Copernicus das Für und Wider des Heliozentrismus abzuwägen.

## Argumente für Copernicus

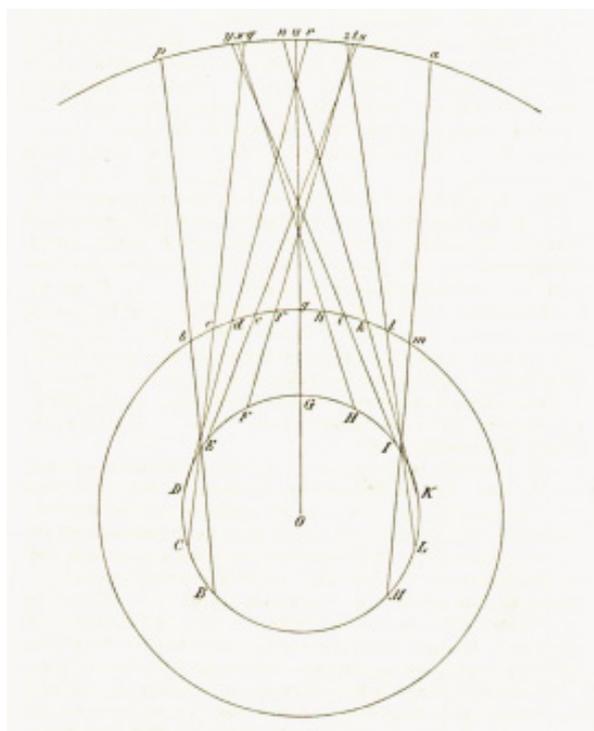
Das Weltbild des Copernicus hat einige klare Pluspunkte auf seiner Seite:

### 1. Schleifen der Planeten

Die Schleifenbewegung der Planeten kann leicht erklärt werden.

Die Abbildung zeigt die Entstehung der Schleifenbewegung bei Mars: Immer dann, wenn die schnellere Erde Mars überholt, kommt es zur scheinbaren Rückwärtsbewegung des Mars am Erdhimmel. Klar ist aber auch, warum Mond und Sonne keine Schleifenbewegung aufweisen.

Eine kleine Einschränkung ist angebracht, denn die Kritik am Modell des Eudoxos trifft auch hier: die Schleifen sind nicht immer exakt gleich.



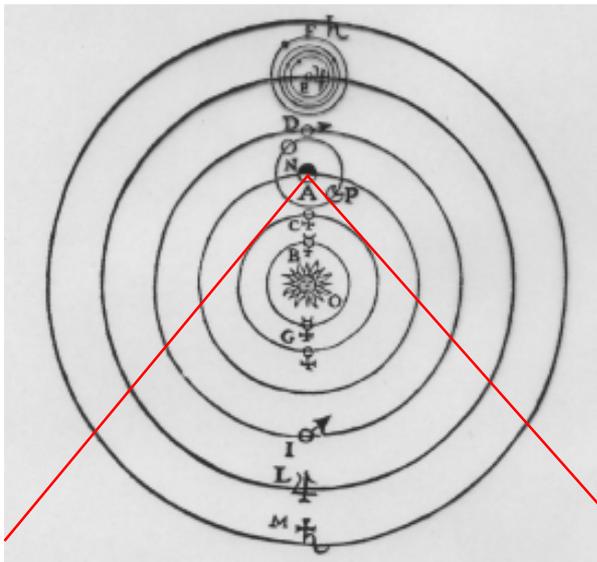
Die Entstehung der scheinbaren Planetenschleifen. Die Linien verbinden Positionen zu gleichen Zeitpunkten.

## 2. Sonnenstellung

Die Schleifenbewegung tritt bei den oberen Planeten immer dann auf, wenn sich die Planeten in Opposition befinden, d.h. wenn Sonne, Erde und Planet auf einer Linie liegen und Erde und Planet ihren kleinsten Abstand haben. Auch dies erklärt sich aus der Zeichnung im copernicanischen Modell fast von selbst. Im übrigen hat schon der Wiener Astronom Peurbach darauf hingewiesen, daß ein Zusammenhang besteht zwischen dem Abstand der oberen Planeten von der Sonne und ihrer Bewegung im Epizykel. Für Regiomontan waren diese Tatsachen wohl Anlaß, an der herrschenden Ptolemäischen Lehre zu zweifeln. [Näheres bei Zinner, S. 129 und 160]

## 3. Gebundene Bewegung innerer Planeten

Die Sonnennähe von Venus und Merkur ergibt sich unmittelbar wie die Abbildung anschaulich macht.



Im heliozentrischen System kann sich die Venus nie außerhalb ihres Elongationswinkels erscheinen.

## Umstrittenes

### 1. Mondanomalien

Nimmt man die Epizykelbewegung des Mondes als eine physikalisch reale Bewegung, schwankt der Abstand des Mondes zur Erde so stark, daß sich der scheinbare Durchmesser des Erdmondes am Nachthimmel etwa im

Verhältnis 1 : 2 ändern müßte. Diese Bewegung wird im Modell des Copernicus überflüssig. Nach Ptol., *Alm.*, V, 13 beträgt das Apogäum des Mondes  $64 \frac{1}{6}$  Erdhalbmesser, das Perigäum  $33 \frac{33}{60}$ ; entsprechend unterschiedlich müßte seine Größe erscheinen. In *Rev.* IV,17 setzt Copernicus die Schwankung zwischen  $68 \frac{1}{3}$  und  $52 \frac{17}{60}$  Erdhalbmesser an. Tatsächlicher Wert:  $63 \frac{1}{2}$  und 57 [Zekl, 205].

Aber: Die Leuchtkraftschwankungen der Planeten im Copernicanischen Modell sind von einer nie beobachteten Größenordnung. Nimmt man (völlig vereinfacht) an, der Abstand Erde-Venus schwanke im Verhältnis 1 : 3, dann müßte nach damaliger Vorstellung die Leuchtkraft im Verhältnis 1 : 9 schwanken. Verdoppelt man den Abstand zu einer Kerze, so beobachtet man nur noch  $\frac{1}{4}$  der ursprünglichen Leuchtkraft. Auf diesen Sachverhalt weist Osiander in seinem viel geschmähten Vorwort zum Hauptwerk des Copernicus hin: "Wer sieht denn nicht, daß nach dieser Voraussetzung notwendig folgt, daß der Durchmesser dieses Sterns im Perigaeum mehr als vierfach, der Körper selbst aber mehr als sechzehnfach größer als im Apogaeum erschiene, wogegen doch die Erfahrung aller Zeiten auftritt." Preisrätsel: Wie löst man dieses Problem heutzutage?

### 2. Zentrifugalkräfte

Bei ruhender Erde müßte die Fixsternsphäre sich mit einer unvorstellbar hohen Geschwindigkeit drehen. Das entfällt im heliozentrischen Modell.

Aber: Der Radius der Erde war zu Copernicus' Zeiten bekannt. Damit konnte man die Geschwindigkeit eines Punktes auf der Erdoberfläche berechnen. Heutige Werte ergeben für Punkte am Äquator eine Geschwindigkeit von mehr als 450 m/s (1600 km/h), für Nürnberg mehr als 300 m/s (1000 km/h). Zu Copernicus' Zeiten nahm man zwar einen kleineren Erdradius an, womit sich auch etwas kleinere Geschwindigkeiten ergeben, das ändert aber nichts Prinzipielles: Diese Geschwindigkeiten sind erheblich.

Mit anderen Worten: Das Problem der hohen Geschwindigkeit der Fixsternsphäre verschiebt sich in heliozentrischer Sicht zum Problem der riesigen Geschwindigkeiten der Erdoberfläche.

Verschärft wird dies noch dadurch, daß ja nach aristotelischer Lehre im Himmel (genauer in der supralunaren Sphäre) andere physikalische Gesetze gelten als hier auf Erden (in der sublunaren Sphäre). Das relativiert die hohen Geschwindigkeiten der Fixsternsphäre.

Das relativiert aber auch das Argument mit den Zentrifugalkräften: Bei den hohen Geschwindigkeiten, die bei der Erddrehung auftreten, müßte hier auf Erden ja alles in den Himmel geschleudert werden. Copernicus weist darauf hin, daß die Zentrifugalkräfte auf der Fixsternsphäre ja um so größer sein müßten – ein Argument, das ins Leere läuft, stellt man sich auf den Standpunkt der aristotelischen Physik –, und konstatiert selbst “unentschieden”.

### 3. Differenzielle Drehung

Die Geschwindigkeiten der Planeten sind im Copernicanischen Modell in eine sinnvollere Reihenfolge gebracht. Je weiter sich die Planeten von der Sonne weg befinden, desto langsamer laufen sie um, bis sich schließlich die äußerste Sphäre gar nicht mehr bewegt.

Aber: Im ptolemäisch-aristotelischen Modell bewegt sich die äußere Fixsternsphäre am schnellsten. Sie ist gleichzeitig Antreiber für die darunterliegenden Sphären. Der Saturn, der sich dieser Sphäre am nächsten befindet kann sich deshalb ihr gegenüber am wenigsten bewegen, der Mond und die Sonne als deutlich entfernte Sphären besitzen deshalb die größten Geschwindigkeiten im Vergleich zu der Fixsternsphäre. Lukrez hat dies in seinem Lehrgedicht Über die Natur der Dinge veranschaulicht:

Denn zum ersten und meisten erscheint uns  
jenes als möglich  
Was Demokrit's ehrwürdige Lehre behauptet,  
daß nämlich  
Jedes Gestirn, je mehr in der Nähe der Erde  
umläuft  
Sich um so minder beeinflusst zeigt durch des  
Himmels Bewegung.  
Denn die gewaltige Kraft, mit welcher der  
Himmel sich umwälzt  
Schwächt in der Richtung nach unten sich ab  
und entschwindet. So kommt es,  
Daß, weil tiefer sie stehn als die höher entzündeten  
Leuchten

Mählich die Sonne mit all den ihr folgenden  
Sternen zurückbleibt.  
Aber der Mond noch mehr. Denn je nied'rigere  
Bahnen er wandelt  
Weiter vom Himmel entfernt und in größerer  
Nähe der Erde,  
Um desto weniger kann er im Lauf mit den  
Sternen sich messen.  
Denn mit je milderer Kraft er nun umläuft  
unter der Sonne,  
Um so geschwinder gelingt es den kreisenden  
Zeichen des Himmels  
Ihn zu ereilen und dann an demselben vorbei  
zu wandeln.  
Dadurch nun, daß diese dem Mond stets  
wieder sich nahen  
Scheint es, als wär es der Mond, der rascher zu  
ihnen zurückkehrt.

## Contra Copernicus

### 0. Theologisches

In der Bibel finden sich einige Stellen aus denen hervorgeht, daß die Erde ruht und die Sonne sich bewegt. Am bekanntesten ist die Stelle Jos. X,10,12, wo es heißt: “Josua befahl der Sonne, still zu stehen.” Luther zitierte diese Stelle in seinen Tischreden des Jahres 1539, wo er gegen Copernicus Stellung nahm: “Es ward gedacht eines newen Astrologi / der wolte beweisen / das die Erde bewegt würde und umbgieng / Nicht der Himmel oder das Firmament / Sonne und Monde / Gleich als wenn einer auff einem Wagen oder in einem Schiff sitzt und den Beume gingen umb und bewegten sich. Aber es gehet jtz also / Wer das wil klug sein / der sol jm etwas eigens machen / das mus das aller beste sein / wie ers machet / Der Narr wil die gantze kunst Astronomiae umbkeren / Aber wie die heilige Schrift anzeigt / so hies Josua die Sonne stillstehen / und nicht das Erdreich.” [Zekl, S.LXIII]

Und Melanchthon schrieb um 1547: “Ein Psalm besagt deutlich, daß die Sonne bewegt werde. Und über die Erde besagt ein anderer Psalm: »Du hast die Erde zugerichtet und sie bleibt bestehen.« Und der Prediger Salomo sagt im 1.Kapitel: »Die Erde aber steht ewig, die Sonne geht auf und unter und läuft an ihren Ort, daß sie wieder daselbst aufgehe.«” [Zinner, S.272]

Anzumerken ist, daß die Bezeichnung von Copernicus als Narren durch Luther umstritten ist – vielleicht handelt es sich hier um einen lange weitergegebenen Übersetzungsfehler aus dem Lateinischen. Und Melancthon bemühte sich in späteren Werken bei aller Kritik herauszustellen, daß er Copernicus für einen hervorragenden Astronomen gleichwertig zu Ptolemäus hielt.

## 1. Astrologisches

Das Argument ist für uns heute kaum noch akzeptabel, spielte aber damals eine große Rolle: Nach Glauben der Astrologen beeinflussen die Planeten das Leben der Menschen unmittelbar, warum sollen sie also um die Sonne, nicht um die Erde kreisen? Zu Bedenken ist hier, daß der Glaube an die Astrologie weit verbreitet war, die meisten Astronomen mußten ihr Geld mit der Erstellung von Horoskopen verdienen. Beispiele hierfür sind Regiomontanus und später selbst noch (wenn auch widerwillig) Kepler. Sogar Galilei hat noch Geld mit Horoskopeschreiben verdient [Zinner, S.339]. Auch Rheticus ergeht sich in seiner *Narratio prima* – in der er das System seines Lehrmeisters Copernicus darstellt – in astrologischen Spekulationen. Und Copernicus selbst hielt sich als Mediziner streng an astrologische Regeln!

Im Rahmen des damaligen Hochschulstudiums Medizin wurden die astralen Einflüsse als eigenes Unterrichtsfach gelehrt. Umständliche Horoskopberechnungen wurden aber durch eine Vielzahl von Laienregeln ersetzt: “Zum Befolgen diätetischer Monatsregeln mußte nur auf den jeweiligen Monat geachtet werden; das Lunar konnte jedermann befragen, der sich gemerkt hatte, wann Voll- und wann Neumond war; die Planeten als Tagesregenten ließen sich an den Wochentagen ablesen, und planetaren Einfluß auf die Tagesstunden zeigte ein stereotypes Schema an. In reizvoller Zeichnung kündete ein Tierkreiszeichen-Männlein vom Zugriff der Zodiak-Sternbilder auf die Körperregionen, und ein Laßmännchen ordnete die äußeren Aderlaß-Stellen den inneren »Gliedern« des Leibes zu.” In seinen heilkundlichen Schriften hält sich Copernicus streng an diese Regeln. Gundolf Keil kommt zum Urteil: “Manches, was dem modernen Leser aus den ärztlichen Notizen des Ermländers ins Auge springt, wirkt bei neuzeitlich-heliozentrischer Erwar-

tungshaltung derart hahnebüchen, daß sich eine charakteristische Verweigerungshaltung gegenüber der copernicanischen Medizinliteratur ergeben hat [...]” und “Die medizinischen Schriften des Copernicus spiegeln uneingeschränkt die alte geozentrische Welt-sicht.” [Gundolf Keil, Das medizinische Weltbild des Nicolaus Copernicus, in Wolfschmidt, 1994, S.139-151]

## 2. Der Mond bleibt Erdsatellit

Der Mond dreht sich im Copernicanischen System als einziger Himmelskörper um die Erde, nicht um die Sonne. Dies ist ohne Zweifel ein Vorteil des geozentrischen Systems: Hier drehen sich alle Körper um die Erde. Dieses Argument wird erst später durch die Fernrohrbeobachtungen des Galilei entschärft: Auch um Jupiter kreisen Monde, es entfällt damit die Ausnahmestellung der Erde.

## 3. Das Turmargument

Das wohl wichtigste Argument gegen die Erddrehung: Läßt man von einem hohen Turm einen Stein fallen, so trifft er (fast) exakt senkrecht unterhalb der Stelle auf, wo man ihn losgelassen hat. Drehte sich die Erde, müßte der Stein ein ganzes Stück weiter westlich aufschlagen. Nehmen wir den schiefen Turm von Pisa: Läßt man von der 55 Meter hohen Turmspitze einen Stein fallen, so braucht der ungefähr 3,3 Sekunden um auf dem Boden aufzuschlagen. Während dieser Zeit hat sich der Fußpunkt des Turms aber mit der Erde um über tausend Meter weiterbewegt! Bei diesen Berechnungen haben wir das Fallgesetz verwendet, das damals freilich nicht bekannt war. Aber: Grobe Abschätzungen dieser Art waren möglich. Auf jeden Fall war klar, daß der Effekt nicht zu übersehen gewesen wäre.

Mit anderen Worten: Die heliozentrische Welt-sicht des Copernicus erforderte die Erfindung einer völlig neuen Physik. Die erste halbwegs klare Formulierung des Beharrungssatzes findet sich erst 1632 bei Galilei, die völlig klare Formulierung des Trägheitssatzes durch Newton wurde erst 1687 veröffentlicht!

## 4. Unangenehme Details

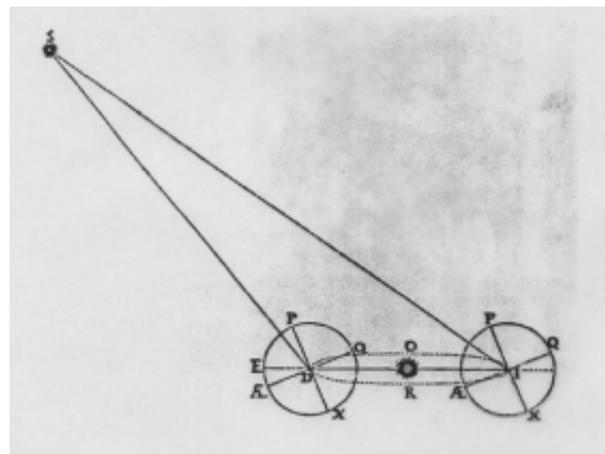
Geht man aber nun in die Details der von Copernicus veröffentlichten Theorie, finden sich einige Punkte, die gar nicht für das heliozentrische System sprechen: Sowenig bei

Ptolemäus alle Gestirne exakt um die Erde kreisen, sowenig steht bei Copernicus die Sonne wirklich im Mittelpunkt der Welt: "Alle Mittelpunkte der Planetenbahnen liegen außerhalb des Sonnenkörpers, der Mittelpunkt der Saturnbahn sogar außerhalb der Venusbahn und der Mittelpunkt der Jupiterbahn sehr nahe der Merkurbahn" [Zinner, S.216f.]. Und wie erwähnt benutzte Copernicus nach wie vor Epizykel. Ptolemäus hatte noch 80 Kreise verwendet, der österreichische Astronom (und Lehrer Regiomontans) Peurbach kam dagegen bei seiner Überarbeitung des Ptolemäischen Systems mit 40 Kreisen aus. Copernicus benötigte in seinem Hauptwerk *De revolutionibus* 48 Kreise. Also hat Copernicus die Zahl der Epizykel nicht erniedrigt, sondern erhöht [Wolfschmidt, S.40]. Zudem verordnete Copernicus der Erde acht verschiedene Drehbewegungen. So viele benötigte er, da er viele kleine Effekte entdeckt zu haben glaubte, die berücksichtigt werden mußten, z.B. Änderungen in der Präzessionsgeschwindigkeit der Erde oder der Schiefe der Ekliptik. Diese Effekte wurden später von Brahe als Meßfehler gekennzeichnet. Zu guter Letzt waren die von Copernicus erstellten Tabellen keineswegs genauer als die entsprechenden ptolemäischen Tabellen. Das lag zum Teil daran, daß er bei seinen Bahnberechnungen die alten Daten des Ptolemäus verwendete, statt auf neuere Beobachtungen, z.B. von Regiomontan zurückzugreifen.

## 5. Das Parallaxenargument.

Betrachtet man bei ausgestreckter Hand seinen Daumen abwechselnd mit dem linken und dem rechten Auge, so springt der Daumen vor dem Hintergrund (z.B. Bücherregal) hin und her. Bewegt sich nun die Erde um die Sonne, müßten entsprechend nahe Sterne vor dem Hintergrund weiter entfernter Sterne "hin- und herhüpfen". Das linke Auge kann man hier etwa durch die Position der Erde im Frühlingspunkt gleichsetzen, das rechte dann entsprechend für den Herbstpunkt. Unter 'Parallaxe' versteht man genau diese Erscheinung. Der dänische Astronom Tycho Brahe (1546-1601) erreichte mit seinen Instrumenten Meßgenauigkeiten von unter einer Bogenminute, konnte aber keinerlei Parallaxe feststellen. Für ihn war dies ein weiteres, klares Argument gegen die Bewegung der Erde um die Sonne. Tatsächlich konnte eine Parallaxe erst 1838 durch Friedrich Wilhelm Bessel nachgewiesen werden. Er

fand für den Doppelstern 61 Cygni eine Parallaxe von 0,3 Bogensekunden. Heute wissen wir, daß selbst der uns nächste Stern,  $\alpha$  Centauri, eine Parallaxe von deutlich unter einer Bogensekunde hat. Mit Meßgenauigkeiten wie zu Zeiten Brahes sind Parallaxen also nicht nachzuweisen. Nun war das Argument, warum Fixsternparallaxen nicht feststellbar sind, auch damals schon klar: Je weiter entfernt die Sterne sind, desto kleiner sind die Parallaxen, also müssen die Fixsterne sehr weit entfernt sein. Entfernungen dieser Größenordnung waren aber für damalige Zeiten kaum vorstellbar, und Brahe hatte ein weiteres Argument in der Hand: Betrachtet man einen Stern am Himmel, dann sieht man ihn nicht als Punkt, sondern als – wenn auch kleines – Scheibchen. Damit können die Fixsterne gar nicht soweit entfernt sein – oder sie müßten Durchmesser haben, die den der Sonne um einige Größenordnungen übertreffen. Dieses Argument



Nahe Fixsterne sollten im halbjährlichen Abstand in unterschiedlicher Richtung zu sehen sein.

wurde erst später von Galileis Fernrohrbeobachtungen widerlegt: Durchs Fernrohr betrachtet nahm die Größe der Sternscheibchen nicht zu, sondern blieb etwa gleich. Die Scheibchenform der Sterne erweist sich als optische Täuschung: Vor dunklem Hintergrund werden leuchtende, punktförmige Quellen größer gesehen ('Irradiation'). Trotz allem: Zu Copernicus und Brahes Zeiten mußten die fehlenden Sternparallaxen gegen das heliozentrische System sprechen.

Copernicus selbst war sich des Problems bewußt, er argumentiert deshalb für einen riesigen Abstand von der Erde zur Fixsternsphäre. Am Ende des 10. Kapitels des 1.

Buches seines Hauptwerkes schreibt er: “Daß ja vom obersten der Wandersterne, Saturn, bis zur Fixsternschale noch eine riesige Entfernung dazwischenliegt, zeigen deren flackernde Lichter. Durch dies Kennzeichen unterscheiden sie sich besonders von den Wandersternen, da doch zwischen Bewegtem und Unbewegtem größter Unterschied bestehen mußte. So groß wahrlich ist dieser göttlich-kunstvolle Bau des Größten Besten.” Die Erklärung dafür, daß die Fixsterne flackern, die Planeten dagegen nicht, ist im wesentlichen richtig.

## Verdienst von Copernicus

Betrachtet man unvoreingenommen die Argumente, die zur Zeit von Copernicus ins Feld geschlagen werden konnten, so reift die Erkenntnis, daß wissenschaftlicher Fortschritt nicht immer eine Sache der richtigen Argumente ist. Beweise im modernen Sinn wurden erst durch die Entdeckung der Aberration von James Bradley (1728), die experimentelle Bestätigung der Erdabplattung (La Condamine, Bouguer, Maupertuis, Clairault, Celsius u.a., 1735/6) und die Bestätigung raumstarrer Pendelebenen durch Foucault (1851) gefunden. Auch Dopplerverschiebung, parallaktische Bewegung, Drehimpulserhaltung, Corioliskraft, Vorlauf und Äquatorlauf waren keine Angelegenheiten des 16. Jahrhunderts.

Glücklicherweise haben sich die führenden Forscher damals von diesem Mangel nicht abhalten lassen, eine Weltanschauung unter heliozentrischen Vorzeichen auszuarbeiten. Auch in der modernen Physik scheinen Argumente nicht den alleinigen Ausschlag zu geben. Diese Zuversicht in Konzepte muß wohl zugestanden werden, sollen fruchtbare Ansätze nicht im Keim erstickt werden.

Welche Rolle spielte Nicolaus Copernicus nun für die nach ihm benannte ‘Wende’?

## Konsequenzen aus dem Heliozentrismus

Die revolutionäre Kraft der ‘Copernicanischen Wende’ kann nicht allein an Argumenten gelegen haben. Mit Copernicus bestand jedoch erstmals eine echte Alternative zum Ptolemäischen System. Sie half antiken Ballast abzu-

werfen und forcierte die Suche nach den Gründen, sich für oder gegen ein Modell zu entscheiden. Die Bedeutung von Copernicus liegt daher weniger in neuen Antworten als in neuen Fragen und Problemen, die sein Werk aufwarf.

- Wird die Erde zum Himmelskörper, sind die Planeten (und Sterne) auch Materiebrocken. Eine kategoriale Trennung von supra- und sublunarer Sphäre ist nicht mehr durchzuhalten.
- Mit Copernicus nähert sich die mathematische Theorie (Astronomie) den physikalischen Prinzipien (Kosmologie) wieder an.
- Die Frage nach der Größe und Endlichkeit des Raums ist wieder offen.
- Die Planetenschleifen zeigen, daß Ortsveränderungen relativ sind.
- Konzentrische Äthersphären scheiden wegen Durchdringung aus. Wie erhalten die Planeten ihre Antriebskraft?
- Die kinetische Äquivalenz des Tycho-nischen und des Copernicanischen Weltbildes drängte die Frage auf, warum sich die Planeten eigentlich so bewegen. Da Weltmittelpunkt und Zentrum der Erdschwere auseinander fallen, erfordert die Ursache der Schwere eine eigene Begründung.
- Die Unabhängigkeit der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise von theologischen Argumenten wurde vorbereitet.

Diese Konsequenzen des neuzeitlichen Heliozentrismus sind es, die in der Antike so noch nicht gesehen werden konnten, und die nun den Boden bereiteten für eine neue naturwissenschaftliche Weltansicht. Dabei konnte nur ein konservativer Denker wie Copernicus es wagen, die antiken Beschreibungsprinzipien mit einer heliozentrischen Sichtweise zu verbinden. Ein Vorhaben, das ohne neues Beobachtungsmaterial freilich nicht gelingen konnte.

Kepler erst ersetzte die beiden Prinzipien der Astronomie durch seine Planetengesetze, Galilei schuf für die Erde eine neue Dynamik und Newton verband mit seiner Gravitationstheorie die Kraft zu den Planeten mit der irdischen Schwere und etablierte ein neues universelles Erklärungsmodell für Bewegungen.

## Werke

Nicolaus Copernicus, *De Hypothesibus motuum coelestium a se constitutis Commentariolus*, o.O. o.J. [nach 1507, vor 1514]; neu erschienen als *Nikolaus Kopernikus. Erster Entwurf seines Weltsystems sowie eine Auseinandersetzung Johannes Keplers mit Aristoteles über die Bewegung der Erde*, hg. v. Fritz O.M. Roßmann, München 1948, Reprint: Darmstadt (Wissenschaftliche Buchgesellschaft) 1986.

Nicolaus Copernicus, *De Revolutionibus orbium coelestium, Libri VI*, hg. v. Andreas Osiander, Nürnberg 1543; dt. Erstausgabe als *Über die Umschwünge der himmlischen Kugelschalen*, sechs Bücher, Thorn 1879; neu erschienen als *Über die Kreisbewegung der Weltkörper*, Leipzig 1939 und hg. v. Georg Klaus, Berlin [Ost] 1959; textkr. Ausgaben: Bd. 2 der *Gesamtausgabe* von Franz und Karl Zeller, 1949 und *Nicolaus-Copernicus-Gesamtausgabe*, Bd. I (Faksimile), Bd. II (kritischer Text), hg. von Heribert M. Nobis, Hildesheim 1974/1984 sowie Hans Günter Zekl, *Nicolaus Copernicus: Das neue Weltbild*, Hamburg 1990.

## Zum Titel

Noch Mitte des 17. Jahrhunderts wurde das Copernicanische System als zu leicht befunden und ein semi-tychonisches Modell bevorzugt. Im Gegensatz zu Brahe (1546-1601) hat bei Riccioli (1598-1677) nicht nur die Fixsternsphäre die Erde als Mittelpunkt, sondern auch Jupiter und Saturn.  
50 Argumenten für Copernicus setzt Riccioli 70 für sein System gegenüber.

## Abbildungsverzeichnis

Titel: Kupferstich aus Giovanni Battista Riccioli, *Almagestum Novum Astronomiam Veterem Novamque Complectens Observationibus Aliorum, Et Propriis Novisque Theorematis, Problematibus, ac Tabulis promotam*, Bologna 1651, Fontispice; Staats- und Stadtbibliothek Augsburg.

Seite 4: *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*, Bd. 1, Mannheim/Wien/Zürich 1980, S. 601.

Seite 5: Walter R. Fuchs: *Bevor die Erde sich bewegte*, Reinbeck 1978, S. 134, Abb. 8.3.

Seite 6: Galileo Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, Tolemaico e Copernicano*, Firenze 1632; Staats- u. Stadtbibliothek Augsburg.

Seite 7: Galileo Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, Tolemaico e Copernicano*, Firenze 1632; Staats- u. Stadtbibliothek Augsburg.

Seite 10: John Wallis, *Opera mathematica*, Bd. 3, Oxford 1699, S. 706.

4+5: Hans Rolf Henkel, *Astronomie. Ein Grundkurs*, Thun/Frankfurt a.M. <sup>4</sup>1991, S. 57, Abb. 31 und S. 60, Abb. 35b.

## Erschienen in

*Regiomontanusbote*, Ausgabe 3/1997, S. 3-15, Hg. Nürnberger Astronomische Arbeitsgemeinschaft.

## Autoren

Hans Gaab  
✉ Ludwig-Erhard-Straße 3, 90762 Fürth,  
☎ 0911 362499, [hansgaab@arcor.de](mailto:hansgaab@arcor.de)

Pierre Leich  
✉ Hastverstraße 21, 90408 Nürnberg,  
☎ 0911 81026-18, ☎ 0911 81026-12,  
[leich@rt-nuernberg.de](mailto:leich@rt-nuernberg.de).

Textschluß 1.11.96