

Zur Kinematik der Planetenbewegung in Copernicus' Commentariolus

WALTER SALVATOR CONTRO, JOHANNES VIKTOR FEITZINGER,
ROLF HARTMANN, FRIEDRICH W. IHLOFF, HANS-GEORG MÄRTL,
FRIEDEMANN REX, MATTHIAS SCHRAMM und HORST ZEHE

Vorgelegt von B. L. VAN DER WAERDEN

Copernicus' Ausgangspunkt

1. Das Ziel von Copernicus' Vorgängern nach der Einleitung des *Commentariolus*. Als Ziel der astronomischen Konstruktionen der Alten bezeichnet es COPERNICUS in den einleitenden Worten des *Commentariolus*, die an den Gestirnen in Erscheinung tretenden Bewegungen unter dem Prinzip der Regelmäßigkeit zu erhalten. Durch Zusammensetzung regelmäßiger Bewegungen konzentrischer Sphären hätten KALLIPPOS und EUDOXOS versucht, dieses Ziel zu erreichen; sie seien aber vor allem daran gescheitert, daß sie damit Änderungen des Abstands vom Zentrum der Erde hätten ausschließen müssen. Die Mehrzahl der Gelehrten sei schließlich in der Ansicht übereingekommen, daß sich allem Anschein nach das Ziel besser durch Exzenter und Epizykel erreichen lasse.

Wenn auch PTOLEMÄUS und die meisten anderen die Beobachtungsdaten durch ihre Konstruktionen korrekt wiedergeben könnten, fährt COPERNICUS fort, so bleibe doch die Einführung der Äquanten* zweifelhaft. Das Prinzip gleichförmig regelmäßiger Bewegung auf dem zugehörigen Kreis mit einer vom Zentrum des Kreises aus gesehen konstanten Winkelgeschwindigkeit sei dadurch durchbrochen. COPERNICUS erscheint diese theoretische Behandlung nicht genügend „absolut“ und nicht in genügender Übereinstimmung mit der Vernunft.

Ein bloßes Rechenschema zur Bestimmung der Sternpositionen, gerade das, was OSLANDERs Vorwort aus COPERNICUS' Hauptwerk hat machen wollen, erschiene demnach ihm selbst als nicht genügend „absolut“. Es geht ihm vielmehr darum, so weit wie möglich die wirklichen Gestirnbahnen zu erfassen (mehr oder weniger absolut bleibt möglich). ad hoc eingeführte Zusatzhypothesen haben nur einen auf den technischen Zweck der Positionsberechnung bezogenen, relativen, keinen absoluten Wert.

2. Copernicus' Ziel nach der Einleitung. Wir würden COPERNICUS die Frage stellen, woran er erkennen will, ob eine Konstruktion hinreichend absolut ist. COPERNICUS ist überzeugt, daß durch die Tradition festgelegt ist, was eine absolute

* Der Äquantenkreis ist ein mit dem Radius des Deferenten um das punctum aequans gezogener Kreis, der für die mathematische Behandlung gewisse Vorteile bietet. Zum punctum aequans vgl. im folgenden unter 4.

Konstruktion auszeichnet: Exzenter und Epizykel, die mit gleichförmigen Winkelgeschwindigkeiten um ihre — möglicherweise ihrerseits bewegten — Zentren umlaufen; weitere Konstruktionsmittel wie der Äquant sind ausgeschlossen. Durch diesen Purismus glaubt COPERNICUS sein Ziel erreichen zu können. Nachdem er über das, worin die Tradition sich einig ist (und er mit ihr), berichtet hat und über das, was er an den Ptolemäischen Konstruktionen auszusetzen findet, fährt er fort: „Da ich also das bemerkt hatte, dachte ich oftmals darüber nach, ob nicht eine vernunftgemäßere Anordnungsweise von Kreisen gefunden werden könne, von denen alle scheinbare Unterschiedlichkeit abhinge, (Kreisen,) die alle in sich selbst gleichförmig bewegt wären, in der Weise, wie es das Prinzip der absoluten Bewegung fordert“ (PROWE, Bd. 2, S. 186, Z. 1—4.)

COPERNICUS' Absicht geht also nicht auf verbesserte Darstellung der Beobachtungsdaten — seiner Ansicht nach ist die Ptolemäische Theorie in diesem Punkt befriedigend —, sondern auf eine spezielle Form der Methodenreinheit bei den herangezogenen Konstruktionsmitteln: Fort mit dem Äquanten, ausschließlich gleichförmig bewegte Kreise, lautet seine Forderung an eine absolute Konstruktion.

Plan der Untersuchung

3. Die Konsequenz, die COPERNICUS aus diesem Ansatz gezogen hat, ist bekannt. Es ergab sich schließlich, wie er uns in der Einleitung des Commentariolus mitteilt, daß sich die Aufgabe mit weniger und wesentlich angemesseneren Mitteln (*paucioribus et multo convenientioribus rebus*) bewältigen ließ als denen der Tradition, wenn man eine Reihe von *petitiones* zugab, die den Kern des Copernicanischen Systems, einschließlich einer Sicherung gegen die zu fordernden aber nicht zu beobachtenden jährlichen Parallaxen, enthalten (PROWE, Bd. 2, S. 186, Z. 4—S. 187, Z. 4). Der Weg, der vom Ansatz zur Konsequenz geführt hat, soll hier nicht näher bestimmt, sondern ein Punkt dieser Konsequenz untersucht werden, der die von COPERNICUS verwandten kinematischen Konstruktionen betrifft. Seine Kinematik hält sich, wie wir das nach der Einleitung nicht anders erwarten können, völlig im Rahmen der Ptolemäischen, ausgeschlossen ist allein das *punctum aequans*.

KEPLER hat die von COPERNICUS verwandten kinematischen Konstruktionen durch die uns geläufigen ersetzt. Dadurch sind gewisse Züge der Copernicanischen Kinematik so weit in Vergessenheit geraten, daß sie heute entweder überhaupt nicht mehr oder mißverstanden werden. Wir wollen hier einen solchen Zug nachzeichnen und seine Bedeutung ermitteln. Dazu seien kurz einige Punkte der Ptolemäischen Kinematik ins Gedächtnis gerufen.

Grundlagen der Copernicanischen Theorie

4. Ptolemäus' Kinematik. PTOLEMÄUS hat die (scheinbare) Sonnenbahn am Himmel durch einen exzentrischen Kreis dargestellt. Die Sonne S läuft auf ihm mit konstanter Winkelgeschwindigkeit μ um (s. Fig. 1 a). Zur Zeit t_0 weise der Radiusvektor von der Länge r in die Richtung EC der oberen Apsis; für die mittlere Anomalie M zur Zeit t gilt dann:

$$M = \mu(t - t_0).$$

Von der exzentrisch gelagerten, gegenüber dem Zentrum C des Kreises um den Betrag $CE = e \cdot r$ verschobenen Erde E aus erscheint der jeweilige Bahnpunkt der Sonne S unter dem Winkel v , der wahren Anomalie.

Für die Planeten reichen diese Mittel natürlich nicht aus. Wir wollen uns zunächst auf den Fall der äußeren Planeten, Mars, Jupiter und Saturn, beschränken. Einem siderischen Umlauf, der sich mit ähnlichen Mitteln wie bei der Sonne

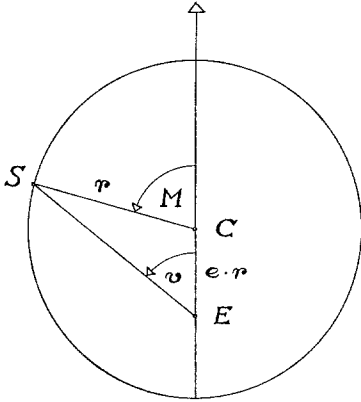


Fig. 1 a

E Erde
 C Mittelpunkt des Exzentrers
 r Radius des Exzentrers
 e Exzentrizität

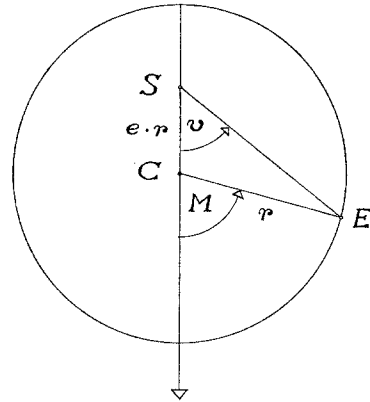


Fig. 1 b

S Sonne
 M mittlere Anomalie
 v wahre Anomalie

darstellen läßt, überlagert sich hier eine oszillierende synodische Bewegung, welche die durch die Erdbewegung verursachte parallaktische Verschiebung des Planetenortes darstellt. Dies berücksichtigt PTOLEMÄUS dadurch, daß er auf einem exzentrischen Deferenten mit dem Mittelpunkt C und vom Radius R den Mittelpunkt c eines Epizykels vom Radius r umlaufen läßt, dessen Endpunkt P den Planeten trägt. Der Umlauf von P erfolgt mit der synodischen, die mittlere Bewegung von c mit der siderischen Geschwindigkeit. Für diese Bewegung von c auf dem Deferenten hat PTOLEMÄUS folgende kinematische Konstruktion erdacht: c bewegt sich auf dem exzentrisch zur Erde E gelagerten Kreis mit dem Mittelpunkt C und dem Radius R so, daß vom punctum aequans A aus, das auf der anderen Seite von C im Abstand $AC = e \cdot R = CE$ anzunehmen ist, die mittlere Anomalie M wieder gleichförmig mit der Zeit wächst (s. Fig. 2):

$$M = \mu(t - t_0).$$

Zur Zeit t_0 ist dabei $M = 0^\circ$. c erscheint von E aus unter dem Winkel v , der wahren Anomalie.

5. Copernicus' Theorie der Erdbewegung. COPERNICUS kehrt die Verhältnisse um, operiert aber bei seiner neuen Konstruktion, abgesehen von dem aufgegebenen punctum aequans, ganz und gar mit den kinematischen Mitteln des PTOLEMÄUS.

Zunächst einmal vertauschen Erde E und Sonne S ihre Rollen (s. Fig. 1b), das heißt, Zentrum des Bahnkreises, auf dem nunmehr die Erde E mit gleichförmiger Geschwindigkeit umläuft, ist jetzt ein im Abstand $CS = e \cdot r$ exzentrisch zur Sonne S gelagerter Mittelpunkt C . Dabei ändert sich die Richtung der oberen Apsis um 180° . Dieser Punkt C , nicht die Sonne S , wird bei allen folgenden Konstruktionen der Bezugspunkt des neuen Systems.

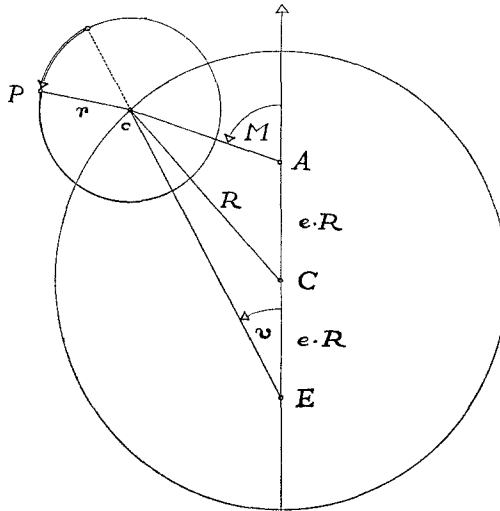


Fig. 2

A punctum aequans
 R Radius des Deferenten
 c Mittelpunkt des Epizykels

r Radius des Epizykels
 P Planet

Das Ptolemäische Modell, das COPERNICUS hier nur umkehrt, ist wesentlich leistungsfähiger als man vermuten sollte. COPERNICUS hat die Exzentrizität e und die Richtung der Symmetrieachse SC (Apsidenlinie) keineswegs optimal bestimmt. Tut man dies aber (indem man $e = 0,03369$ setzt), so wird die maximale Abweichung gegenüber den wahren Sonnenörterern kleiner als $3' 10'', 2$, sinkt also weit unter die zur Zeit des COPERNICUS üblichen Grenzen der Beobachtungsgenauigkeit.

Die Ptolemäischen Epizykel kann COPERNICUS entbehren (wir behandeln, wie erwähnt, zunächst nur die äußeren Planeten); ihre Rolle wird bei den äußeren Planeten von der Erdbahn übernommen. Den Vorteil, den COPERNICUS dadurch gegenüber PTOLEMÄUS gewinnt, daß er nun anstelle der gleichförmigen epizyklischen Bewegung eine genauere Konstruktion der Erdbahn setzen kann, vermag er ebenfalls wegen zu ungenauer Beobachtungsdaten gar nicht voll auszunutzen.

Die Aufgabe, auf welche sich nun die Planetentheorie (im Fall der äußeren Planeten) reduziert, ist die genaue Wiedergabe dessen, was bei PTOLEMÄUS durch den Deferenten geleistet wurde.

Copernicus' Theorie der äußeren Planeten

6. Die Ungleichförmigkeit der siderischen Bewegung der äußeren Planeten sucht COPERNICUS durch folgende Konstruktion darzustellen: Um das Zentrum C bewegt sich auf einem Kreis vom Radius R der Mittelpunkt c_1 eines ersten

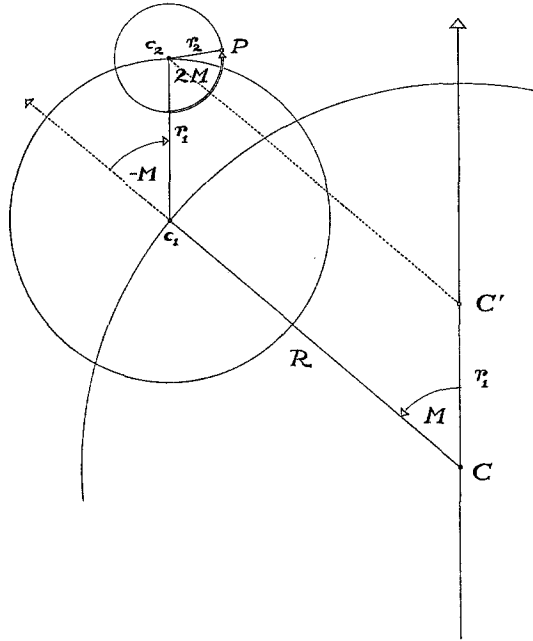


Fig. 3

C Mittelpunkt des Trägerkreises für den ersten Epizykel	r_1 Radius des ersten Epizykels
c_1 Mittelpunkt des Erdbahnkreises	c_2 Mittelpunkt des zweiten Epizykels
R Radius des Trägerkreises für den ersten Epizykel	r_2 Radius des zweiten Epizykels
c_1 Mittelpunkt des ersten Epizykels	P (äußerer) Planet
	M mittlere Anomalie
	C' Mittelpunkt des Exzenters

Epizykels mit dem Radius r_1 ; auf diesem Epizykel wiederum läuft der Mittelpunkt c_2 eines zweiten Epizykels mit dem Radius r_2 um. Dabei ist in allen Fällen $r_2 = \frac{1}{3}r_1$. Wenn wir r_1 und r_2 mit den Ptolemäischen Werten für e vergleichen, so finden wir $r_1 = \frac{3}{2}e \cdot R$ bzw. $r_2 = \frac{1}{2}e \cdot R$, wobei COPERNICUS leicht abgeänderte Werte zugrundelegt. Für die Umlaufgeschwindigkeiten auf den einzelnen Kreisen gilt folgendes: COPERNICUS bezieht so wie PTOLEMÄUS diese Umlaufgeschwindigkeiten nicht auf die ursprüngliche Bezugsebene, sondern jeweils auf das vorangehende Trägerelement. Also, relativ zu dem — zur Zeit t um die mittlere Anomalie $M = \mu(t - t_0)$ gegenüber der Apsidenlinie verschobenen — Radius R soll sich r_1 mit der entgegengesetzten Geschwindigkeit um $-M$ bewegen, relativ zu r_1 wieder r_2 mit der doppelten Geschwindigkeit um $2M$. Am Ende von r_2 befindet sich der Planet P . Die Ausgangspunkte für die jeweilige Zählung sind in Fig. 3 angedeutet.

7. Die Funktion des ersten Epizykels. Das aus R , r_1 zusammengesetzte System ist, wie PTOLEMÄUS im *Almagest* (III 3) bewiesen hat, gleichwertig mit einem exzentrischen Kreis, der gegenüber dem ursprünglichen um die Strecke r_1 in Richtung der oberen Apsis verschoben ist. Die Bedeutung des ersten Epizykels besteht demnach darin, daß mit seiner Hilfe eines der beiden zugelassenen Konstruktionsmittel, der exzentrische Kreis, durch das andere, den Epizykel, ersetzt wird. COPERNICUS geht also im *Commentariolus* noch weiter, als es nach der Einleitung scheinen könnte. Er treibt seinen Purismus so weit, daß er seine Konstruktion auf einem einzigen Element aufbaut.

Es läßt sich leicht einsehen, daß ein Exzenter mit der Exzentrizität $r_1 : R$ nicht dasselbe leistet wie der Ptolemäische Deferent mit einem punctum aequans A , für das $EC = e \cdot R = CA$ gilt (vgl. Fig. 2). Es liegt daher nahe zu fragen, ob der zweite Epizykel mit dem Radius r_2 als Ersatz für das punctum aequans dienen soll.

8. Die Funktion des zweiten Epizykels. Welche Bahnkurve beschreibt P ? Auf einer festen Kreisscheibe vom Radius $R/2$ mit dem Zentrum C' (s. Fig. 4) rolle

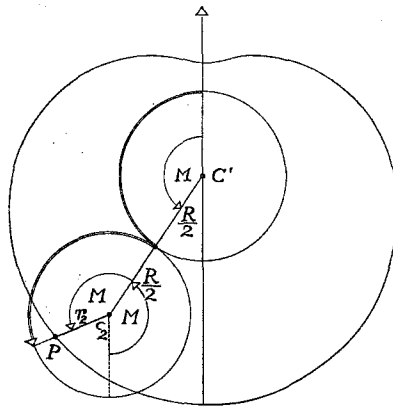


Fig. 4

C' Mittelpunkt des Exzenters

c_2 Mittelpunkt des zweiten Epizykels

ein ihr kongruenter Kreis mit dem Zentrum c_2 . Der Punkt P der beweglichen Scheibe im Abstand $Pc_2 = r_2$ genügt dann den Bedingungen der Bahnkurve. Er beschreibt eine Epizykloide.

Zur besseren Übersicht zeichnen wir nun in Fig. 5 anstelle des Systems R , r_1 den gleichwertigen exzentrischen Kreis um C' mit $C'C = r_1$. Wir müssen nur berücksichtigen, daß dann die Bezugsrichtung für den von r_2 beschriebenen Winkel $2M$ nicht durch $C'c_2$ sondern durch die Richtung der unteren Apsis vorgegeben ist.

Betrachten wir zunächst den Endpunkt P'' des mit der Apsidenlinie parallel laufenden Bezugsradius c_2P'' : Durch eine Überlegung wie im Fall des ersten Epizykels finden wir, daß P'' wieder einen versetzten Kreis beschreibt, nur ist er jetzt in entgegengesetzter Richtung um den Betrag r_2 verschoben. Für seinen

Mittelpunkt C'' gilt $C'C'' = r_2 = \frac{1}{2}e \cdot R$. Aus $CC' - C'C'' = \frac{3}{2}e \cdot R - \frac{1}{2}e \cdot R = e \cdot R = CC''$ folgt, daß wir damit den Deferenten des PTOLEMÄUS wiedererhalten haben.

Führen wir die Ptolemäische Konstruktion noch einen Schritt weiter, und zeichnen wir das zugehörige punctum aequans A ein, so daß $C''A = e \cdot R = CC''$! Wir behaupten nun, daß die von COPERNICUS konstruierte Bahn eine Annäherung

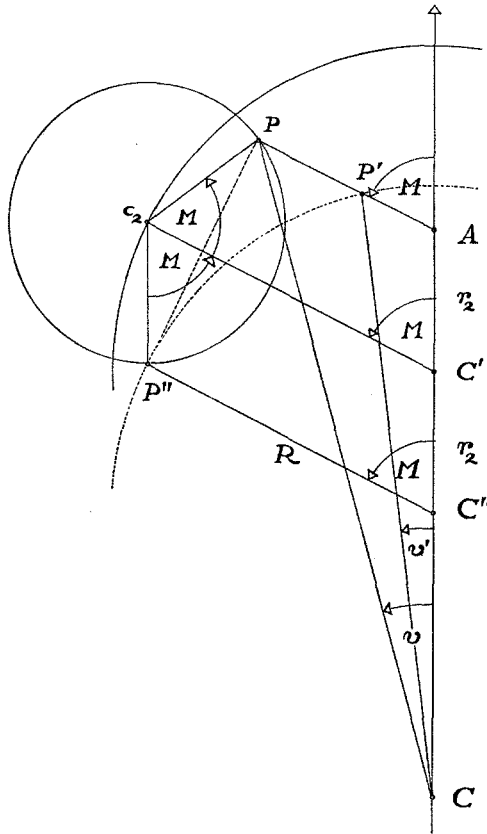


Fig. 5

- | | |
|--|-----------------------------------|
| C Mittelpunkt des Erdbahnkreises | A punctum aequans |
| C' Mittelpunkt des Exzenters | P Planetenort des COPERNICUS |
| c_2 Mittelpunkt des zweiten Epizykels | P' Planetenort des PTOLEMÄUS |
| r_2 Radius des zweiten Epizykels | M mittlere Anomalie |
| C'' Mittelpunkt des Ptolemäischen Deferenten | v wahre Anomalie des COPERNICUS |
| R Radius des Ptolemäischen Deferenten | v' wahre Anomalie des PTOLEMÄUS |

an die Ptolemäische darstellt und daß COPERNICUS seine Konstruktion zum Zweck einer solchen Annäherung vorgenommen hat. Wir zeigen 1., daß der Unterschied zwischen den beiden Winkeln $ACP = v$, dem Analogon des für PTOLEMÄUS entscheidenden Winkels, und $ACP' = v'$, also die Größe $v - v' = P'CP$ innerhalb des Bereiches der zu COPERNICUS' Zeit üblichen Beobachtungsfehler liegt, und 2.,

daß die Konstruktion nicht um einer besseren Darstellung der astronomischen Daten willen vorgenommen worden sein kann.

9. **Beträge der Abweichungen.** Zu 1.: $\operatorname{tg} v$ und $\operatorname{tg} v'$ lassen sich elementar durch $\sin M$, $\cos M$ und e ausdrücken. Nach COPERNICUS' Angaben* erhält man für e :

Planet	e
Mars	0,12361
Jupiter	0,05163
Saturn	0,05702

Die Differenz $v - v'$ wurde numerisch mit Hilfe einer programmgesteuerten Rechenanlage ausgewertet. Die Extremalwerte der $v - v'$ ergaben sich mit den zugehörigen M wie folgt:

Planet	$v - v'$	M
Mars	6' 14'',8	94° 38'
Jupiter	28 ,2	91 58
Saturn	37 ,9	92 10

Wenn wir diese Differenzen auf geozentrische Koordinaten beziehen, kommen wir nur für den Mars an den Bereich des seinerzeit Beobachtbaren heran.

Zu 2.: Gegenüber einer Kepler-Ellipse mit der Exzentrizität e

Planet	e
Mars	0,09295
Jupiter	0,04870
Saturn	0,05713

für das Jahr 1520** und ihrer wahren Anomalie v_0 weist COPERNICUS' v die Differenz $v_0 - v$ auf, deren Extremalwerte wieder mit Hilfe einer programmgesteuerten Rechenanlage bestimmt wurden:

Planet	$v_0 - v$	M
Mars	3° 19' 45'',6	98° 42'
Jupiter	26 23 ,6	86 58
Saturn	4 12 ,0	128 37

Verglichen mit $v_0 - v$ fällt $v - v'$ überhaupt nicht ins Gewicht. Die Copernicanische Konstruktion kann also nicht durch das Bestreben bedingt sein, bessere scheinbare Planetenörter zu erhalten: sie ist nur aus der Tradition zu verstehen.

* Wir legen sie in der von ROSEN S. 74–77 gebotenen Form zugrunde.

** Nach P. V. NEUGEBAUER S. VIff. berechnet.

Copernicus' Venus-Theorie

10. Konstruktion der Venusbahn bei Ptolemäus und Copernicus. Für die Bewegung der Venus wollen wir zunächst wieder die Ptolemäische Bahnkonstruktion betrachten. PTOLEMÄUS hat nicht von der uns nahe liegenden Möglichkeit Gebrauch gemacht, die Venusbahn als Epizykel um die wahre Sonne als Mittelpunkt zu deuten, sondern hat einen Deferenten mit einem punctum aequans eingeführt; auf dem Deferenten bewegt sich der Epizykelmittelpunkt. Nur die mittlere Winkelbewegung des Epizykelmittelpunktes ist gleich der mittleren Sonnenbewegung, seine wahre Bewegung kommt durch denselben Mechanismus zustande, wie wir ihn von den Deferenten der anderen Planeten kennen. Für den Copernicanischen Betrachter bedeutet das, daß er neben der Ptolemäischen Konstruktion für die Sonnenbahn noch eine weitere Konstruktion für die Erdbahn zur Verfügung hat. Bei der Erdbahn mit ihrer geringen Exzentrizität hat sich COPERNICUS mit Recht für die einfachere Möglichkeit des einfachen Exzenters entschieden*.

Für die Bewegung im Epizykel, die der Bewegung der Venus um die Sonne entspricht, hat sich PTOLEMÄUS wieder auf die gleichförmige Winkelbewegung um den Epizykelmittelpunkt beschränkt.

Bei seiner Konstruktion der Venusbahn setzt COPERNICUS wieder auf einen zum Erdbahnmittelpunkt C konzentrischen Trägerkreis zwei Epizykel. Der Mittelpunkt des ersten läuft auf dem Trägerkreis gleichförmig um, der Epizykel selbst hat die gleiche Funktion wie bei den äußeren Planeten, nämlich den konzentrischen Kreis in einen exzentrischen zu verwandeln. Dieser exzentrische Kreis trägt dann einen zweiten Epizykel, der aber nun mit der doppelten Umlaufgeschwindigkeit der *Erde* die Venus herumführt.

11. Der Umlauf auf dem zweiten Epizykel. Die Winkelbewegung von r_2 um c_2 soll vom Winkel M der mittleren Erdbewegung so abhängen, daß der von r_2 um c_2 beschriebene Winkel jeweils gleich $2M$ ist. Des näheren erklärt COPERNICUS, die Bewegung solle so erfolgen, „daß immer dann, wenn die Erde sich auf der (geraden), als Durchmesser zur (oberen) Apsis gezogenen Linie befindet, das Gestirn dem Zentrum des größeren Epizykels am nächsten ist und in der Querrichtung der Quadranten am fernsten“ (ut, quandocunque tellus in linea ad apsidem diametro porrecta fuerit, sidus tunc centro maioris epicycli proximum sit, et in transverso quadrantum remotissimum). Das ist nur dann der Fall, wenn r_1 die Bezugslinie ist, von der aus der Winkel $2M$ gezählt wird (s. Fig. 6). COPERNICUS äußert sich nicht über den Richtungssinn des Umlaufes auf dem zweiten Epizykel. Wir werden den Richtungssinn in Übereinstimmung mit den Verhältnissen bei den äußeren Planeten vermutlich gleich dem der Erdbewegung anzusetzen haben. Eine Bestätigung dafür wird uns die Funktion des zweiten Epizykels liefern.

12. Die Funktion des zweiten Epizykels der Venus. COPERNICUS beruft sich zur Erläuterung auf seine analoge Konstruktion für die Mondbahn. PTOLEMÄUS hatte angenommen, daß sich der Deferentenmittelpunkt beim Mond auf einem kleinen Kreis mit der doppelten synodischen Geschwindigkeit retrograd und relativ zum Radius des mittleren Mondes um das Erdzentrum bewegt (von der Breitenbewegung und ihrem Mechanismus sehen wir hier ab). COPERNICUS hat aus diesem

* Vgl. oben unter 4.

kleinen Kreis einen auf dem Epizykel der ersten Ungleichung aufsitzenden zweiten gemacht und damit wieder eine bereits von dem arabischen Astronomen IBN AL-SHĀTĪR entdeckte Möglichkeit aufgewiesen*. COPERNICUS' Bemerkung über die Analogie seiner Konstruktion der Venusbahn zu seiner Mondtheorie gibt uns einen Hinweis, wie er bei der Venus zu der geschilderten Auffassung gekommen

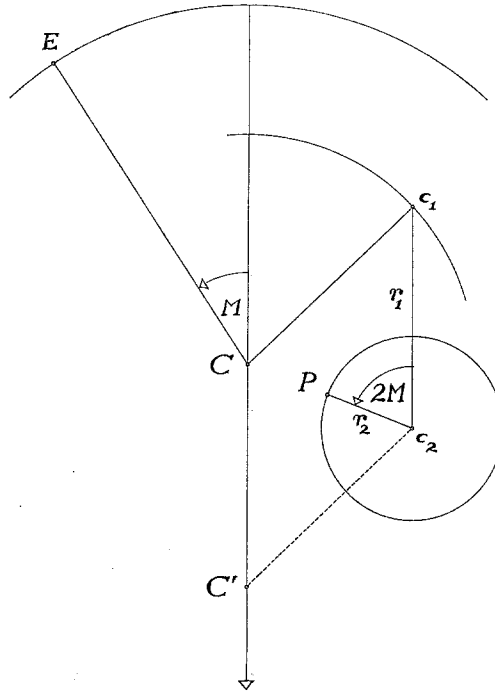


Fig. 6

<i>E</i> Erde	<i>P</i> Venus	<i>M</i> mittlere Anomalie der Erde
<i>C</i> Mittelpunkt des Erdbahnkreises	<i>C'</i> Mittelpunkt des Exzentrums der Venus	

ist. Bei der Analogie ist allerdings zu berücksichtigen, daß für COPERNICUS beim Mond die Bewegung auf dem zweiten Epizykel von der synodischen, nicht der siderischen Bewegung abhängt, und daß seine Konstruktion den astronomischen Sinn hat, die zweite Ungleichheit der Mondbewegung, die Evekation, darzustellen. Aber hier? Sehen wir, ob nicht wieder die durch die Tradition gegebene Situation die Erklärung liefert. Wir hatten sie in 10 kurz skizziert. Die Venustheorie des PTOLEMÄUS lieferte danach eine weitere Möglichkeit für die Konstruktion der Erdbewegung; ja, wenn wir die Venusörter des PTOLEMÄUS wiedererhalten wollen, müssen wir sogar entweder die der Venustheorie des PTOLEMÄUS korrespondierende Theorie der Erdbahn ansetzen oder die der Venusbahn entsprechend abändern. Überlegen wir uns, was geschieht, wenn wir eine solche Erdbahn annehmen. Sie trägt einen Epizykel mit einem in P' endenden Radius r'_2 und dem Mittelpunkt c'_2 ; dieser Epizykel approximiert die Funktion eines punctum aequans. Wenn wir

* Man vgl. die Arbeit von ROBERTS.

diesen Epizykel unter Drehung seines Radius um 180° auf die Venusbahn verpflanzen, entsteht in einem Punkt c_2 der Venusbahn ein Epizykel mit dem Radius $r_2 = r'_2$ und dem Endpunkt P . Ein Blick auf Fig. 7 zeigt, daß $c_2 P c'_2 P'$ ein Parallelogramm bilden, dessen Seiten $P'c_2$, $c'_2 P$ auf denselben Punkt am Fixsternhimmel weisen. Das heißt, bei beiden Konstruktionen beschreibt Venus dieselbe scheinbare Bahn. Wir haben damit genau die Copernicanische Konstruktion wiedergefunden. Der für COPERNICUS ausschlaggebende Gesichtspunkt bei der Wahl

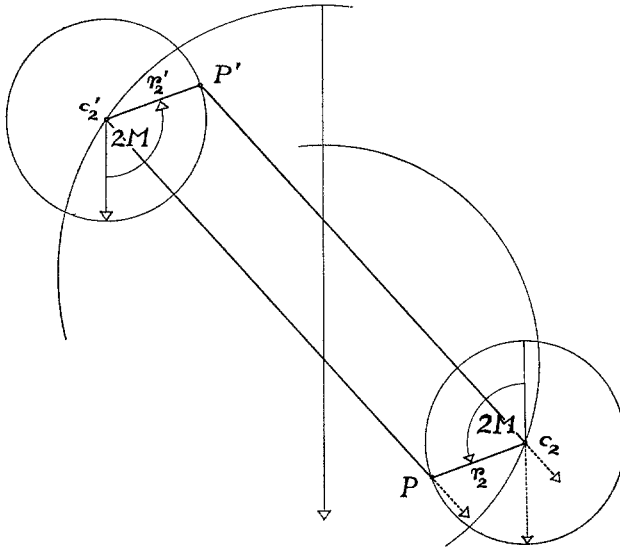


Fig. 7

P Venus
 c_2 Mittelpunkt des zweiten Epizykels der Venus
 r_2 Radius des zweiten Epizykels der Venus
 P', c'_2, r'_2 beziehen sich auf die Erde

unter diesen beiden Möglichkeiten war natürlich die Eindeutigkeit der Erdbahn: für die äußeren Planeten war sie durch den „großen Bahnkreis“ um C vorgegeben. Wäre ihm ein Epizykel aufgesetzt worden, der eine punctum-aequans-ähnliche Funktion ausübt, so würden die von der Erde aus zu beobachtenden Positionen nicht mehr so, wie COPERNICUS es will, mit den Ptolemäischen Örtern übereinstimmen. Daher wählt COPERNICUS den in c_2 auf die Venusbahn aufgesetzten Epizykel*.

Zusammenfassung

COPERNICUS versucht, die Ptolemäischen Konstruktionen auf konzentrische Kreise und Epizykel zu reduzieren und aus ihnen ein wirklich einheitliches System zu schaffen. Bei der Umordnung, die er dazu vornimmt, bemüht er sich aber,

* Die andere Möglichkeit führt zu einem System, das einem Exzenter mit punctum aequans entspricht, bei dem Bezugspunkt und punctum aequans nicht mehr den gleichen Abstand vom Mittelpunkt des Exzenters haben, so wie es KEPLER als hypothesis vicaria zunächst für seine Untersuchungen über die Marsbahn zugrundelegt.

so viel wie möglich vom Ptolemäischen System zu erhalten. Das punctum aequans ersetzt er bei den äußeren Planeten durch eine Näherungskonstruktion mit Hilfe eines Epizykels. Im Fall des Ptolemäischen Deferenten der Venus, der nach seinen Vorstellungen die Erdbahn wiedergibt, muß er einen dem punctum aequans annähernd gleichwertigen Epizykelmechanismus auf die Venusbahn verpflanzen.

Nach Abschluß des Ms. wurde uns die Arbeit von O. NEUGEBAUER "On the Planetary Theory of COPERNICUS" zugänglich. (Nähere bibliographische Angaben sind hierunter zusammengefaßt.)

Literatur

- NEUGEBAUER, OTTO, On the planetary theory of COPERNICUS. *Vistas in Astronomy* **10**, 89—103 (1968).
- NEUGEBAUER, PAUL VIKTOR, Tafeln zur astronomischen Chronologie 2: Tafeln für Sonne, Planeten und Mond. Leipzig 1914.
- PROWE, LEOPOLD, Nicolaus COPERNICUS. 2 Bde in 3 Teilen (Neudruck der Ausg. Berlin 1883—1884) Osnabrück 1967.
- ROBERTS, VICTOR, The solar and lunar theory of IBN ASHSHĀṬĪR: A pre-COPERNICAN COPERNICAN model. *Isis* **48**, 428—432 (1957).
- ROSEN, EDWARD [Übersetzer], Three COPERNICAN Treatises. 2nd ed. New York 1959.
- ROSSMANN, FRITZ [Herausgeber und Übersetzer], Nikolaus KOPERNICUS, Erster Entwurf seines Weltsystems. München 1948.

74 Tübingen
Hauserstr. 64

(Eingegangen am 11. Juli 1969)