DIE PLANETENBEWEGUNGEN NACH PTOLEMÄUS

RENATUS ZIEGLER
RUDOLF STEINER - SCHULE BASEL

JAHRESARBEIT 1973/74

Mathematisch-Physikalisches Institut
Dr. G. Unger
Postcheck:
Math.-Ph.Inst.Dornach: BASEL 40-21147
Dr.G.U.Math.-Ph.Korr.: STUTTGART 42817

CH-4143 Dornach, Ob.Zielweg 34
Erscheint: vierteljährlich
Abonnement: Fr./DM 20.-/Jahr
Offsetdruck: H.Welter, Basel
Nr. 99 1. April 1976

Mathematisch - Physikalische Korrespondenz

unter Berücksichtigung angrenzender Gebiete wie

Biophysik, Pädagogik, Kybernetik

herausgegeben von G. Unger

Nr. 99 Ostern 1976

Liebe Freunde der M.-Ph. Korrespondenz!

Mit der gegenwärtigen Nummer freue ich mich, Ihnen die Jahresarbeit eines Schülers der Rudolf Steinerschule Basel zu überreichen. Bei dem zunehmenden Interesse, das die eigentliche Astronomie (neben Astrophysik und - natürlich - Astrologie) in der Gegenwart findet, wird jedem Lehrer, aber auch jedem naturwissenschaftlich Interessierten überhaupt, eine Darstellung des Werkes von Ptolemäus willkommen sein. Wir lernen ja alle das kopernikanische System gewissermassen als "die Wahrheit" gegenüber den Irrtümern oder Unzulänglichkeiten der vorhergehenden Weltsysteme. - Günstigenfalls findet man in einem besseren Astronomiebuch das Prinzip von früheren Systemen dargestellt, aber schon selten eine Angabe über die Grössenverhältnisse, die Ptolemäus zugrundelegte. Gewiss wird noch vermerkt, dass durch das ganze Mittelalter auch die Ephemeriden, also die Verzeichnisse konkreter Örter von Sonne, Mond und Planeten in geeigneten Koordinaten nach dem Werk von Ptolemäus, dem Almagest, berechnet wurden. Doch wie in der Behandlung der verschiedenen Epizykel und Exzenter vorzugehen, welche Ausgangspunkte ("Epochen") dafür anzunehmen? Das findet sich ausser im genannten Werk des grossen Alexandriners selber nur selten angegeben. Aus diesem Grund werden wir nicht nur die übersichtlichen Darstellungen der verschiedenen Weltsysteme und der Ptolemäischen Konstruktionen für die Beschreibungen der Bewegungen von Sonne, Mond und Planeten schätzen, sondern vor allem die massstäblichen Tafeln, die zum Teil und etwas verkleinert im Schlussteil wiedergegeben werden. (Vergl. auch den Hinweis vor der Figur des vereinfachten Ptolemäischen Systems.) - Diese Figuren zeigen zum Beispiel, wie stark verzerrt - gegenüber heutigen Vorstellungen - die Bahn des Mondes zwischen Perigäum und Apogäum nach des Ptolemäus Konstruktion herauskommt. - Ein wichtiger Beleg dafür, dass es ihm nur auf die Beschreibung der Bewegung in Länge und Breite ankam, während er erstaunlicherweise die eigentlich aus den extremen Entfernungsschwankungen seiner Theorie folgenden Veränderungen der erscheinenden Grösse der Mondscheibe mit Stillschweigen übergeht. (Allerdings treten diese nur an Stellen auf, die für die Finsternisbestimmungen "unschädlich" sind. Darauf macht auch W. Heim in seiner vorzüglichen Arbeit, zitiert bei R.Ziegler, aufmerksam.) Die hauptsächliche Leistung der vorliegenden Jahresarbeit besteht natürlich in der Durcharbeitung dieser konkreten Angaben von Ptolemäus und ihrer Verwandlung in die grossen Figuren. - Herrn A. Bernhard ist für die darin zum Ausdruck kommende pädagogische Leistung besonders zu danken.

Bitte beachten Sie die Hinweise auf die Math.-Astr. Blätter (Neue Folge) auf der hinteren inneren Umschlagseite!

DIE ENTSTEHUNG DES DOGMAS DER GLEICHFOERMIGEN KREISBEWEGUNGEN

Das wenige, was man über Ptolemäus weiss, möchte ich gerade an den Anfang stellen.

Claudius Ptolemäus hat im zweiten Jahrhundert nach Christus gelebt (um 1oo - 18o). Er wirkte in der Gegend von Alexandria. Man vermutet, daß er in Kanobos, 25 Kilometer östlich von Alexandria, als ein Priester der Serapis seine Beobachtungen angestellt habe.

Sein Hauptwerk, das Handbuch der Astronomie (später von den Arabern Almagest genannt) beruht hauptsächlich auf den Beobachtungen des Hipparchos von Nizäa, welcher von 16o bis 126 v. Chr., teils auf der Insel Rhodos, teils in Alexandria wirkte. Was die von Hipparchos übernommene Epizykel-Exzenter-Theorie anbelangt, hatte auch dieser schon einen Vorgänger im Mathematiker Apollonius von Perga (um 23o v. Chr.), der seinerseits diese Theorie von der Vorzeit her übernommen hatte, mindestens als Idee.

Diese Idee lässt sich zurückverfolgen bis zu der pythagoreischen Bruderschaft. Pythagoras von Samos war deren Begründer und Geistgeber. Von diesem kommt auch die Idee der Sphärenharmonie. Harmonie bedeutete damals nicht sinnliche Freude an einer Wahrnehmung, sondern Gleichgewicht und Ordnung als Gesetze der Welt.

Die Abstände der Planetensphären von der Erde, die unbeweglich im Mittelpunkt des Universums ist, unterliegen bestimmten Gesetzmässigkeiten, die in der pythagoreischen Tonleiter zum Ausdruck kommen:

C D Es E G A B H D

Diese Planetensphären sind kugelförmig, und bewegen sich gleichförmig um die Erde, was die Sphärenharmonie erklingen lässt. Wir sehen, hier ist der Gedanke der gleichförmigen Bewegung auf einem Kreis schon ausgedrückt, aber noch in einem stark mystischen Zusammenhang.

Pythagoras stand am Beginn einer Entwicklung, welche die griechisch-europäische Kultur bestimmen sollte. Zu Zeiten Pythagoras' war die Richtung, in welche diese sich bewegen würde, noch unbestimmt.

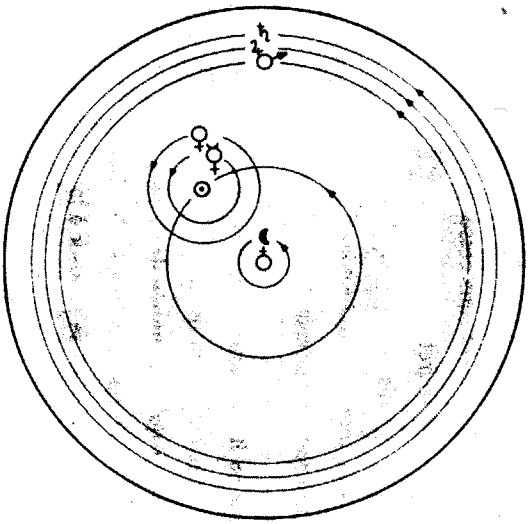
Am Ende des sechsten Jahrhunderts setzte sich die Idee durch, die Erde sei doch nicht völlig unbeweglich, sondern sie habe eine gewisse Eigenbewegung. Diesen gewaltigen Schritt tat Philolaos, ein Schüler des Pythagoras.

Die Bewegung der Erde um eine Achse nahm erst Herakleides von Pontos als erwiesen an. Dieser war ein Schüler Platons und wahrscheinlich auch einer von Aristoteles. Er lebte im vierten Jahrhundert vor Christus. - Das Problem der Tagesbewegung war nun gelöst. Die Eigenbewegungen der Planeten waren aber immer noch das grösste Problem der damaligen Astronomen. Das immer noch geozentrische Modell funktionierte einfach nicht. Die unregelmässigen Bewegungen waren ein grosses Rätsel. Mit der Zeit kam Herakleides darauf, Merkur und Venus müssen Satelliten der Sonne sein, da sie einmal als Morgenstern und einmal als Abendstern erscheinen. Die Folge von diesen Ueberlegungen war das heute so genannte "Aegyptische System" von Herakleides.

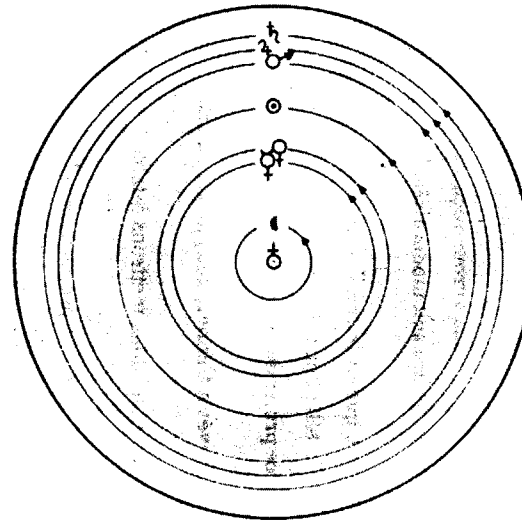
Man weiss nicht genau, ob er auch noch den Schritt zum heute als Tycho de Brahes bekannten System gemacht hat.

Nun folgte Aristarchos von Samos im zweiten Jahrhundert vor Christus, den A. Koestler in seinem Buche "Die Nachtwandler" den griechischen Kopernikus nennt. Er brachte die von Pythagoras begonnene, von Philolaos und Herakleides

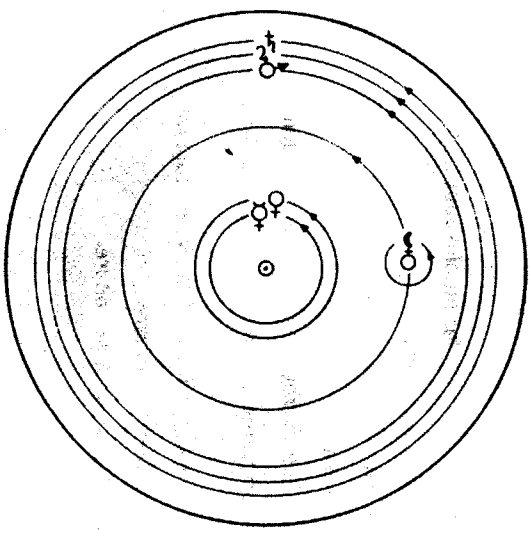
ÄGYPTISCHES SYSTEM DES HERAKLEIDES



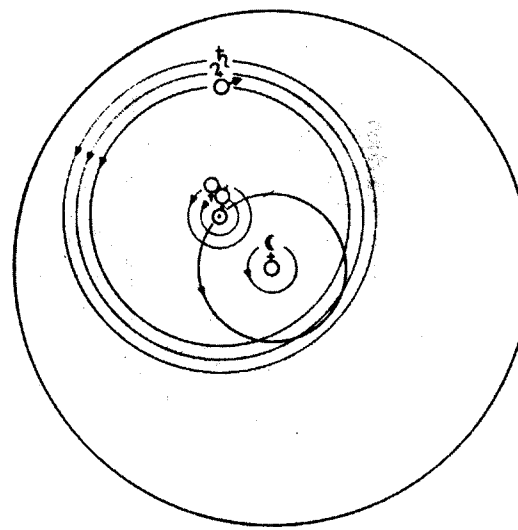
KLASSISCHES GEOZENTRISCHES SYSTEM



HELIOZENTRISCHES SYSTEM DES ARISTARCHOS



TYCHO DE BRAHES SYSTEM



-4-

fortgesetzte Entwicklung zu einem Abschluss, indem er aussagte, die Sonne sei das Zentrum der Planetenbewegungen (ausser der des Mondes).

Eine Schrift von ihm ist nicht vorhanden, dafür wurde er von berühmten Männern seiner Zeit (Archimedes und Plutarch), bezugnehmend auf seine heliozentrische Theorie, erwähnt.

Aristarchos hatte keine Schüler und auch keinen Nachfolger. Damit bricht diese Entwicklungsrichtung unvermittelt ab, um einer anderen Platz zu machen. Das heliozentrische System blieb vergessen, bis es Kopernikus wieder der Vergangenheit entriss.

Der andere Zweig der Entwicklung nach Pythagoras wurde imwesentlichen von Platon und Aristoteles bestimmt.

Seine Stellung zur Astronomie fasst Platon in seinem "Staat" kurz zusammen: Die Sterne sind bloss ein Schatten der dahinterstehenden Idee.

Die Nachfolger Platons und Aristoteles' liessen deren schöpferische, bewegliche Ideen zu Dogmen erstarren.

Der Beitrag Platons zur Astronomie beschränkte sich auf allgemeine Aussagen hinsichtlich der Gestalt und der Bewegung des Universums. Die Schlussfolgerung, "die Welt müsse eine vollkommene Kugel sein, und jede Bewegung sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in vollkommenen Kreisen vollziehen", war bestimmend für alle folgenden Astronomen, wie er selbst überhaupt überragende Bedeutung bis ins 12. Jahrhundert hatte.

Mit dieser Folgerung bekamen die späteren Astronomen die Aufgabe, ein Systemzu ersinnen, welches alle Ungleichförmigkeiten auf gleichförmige Kreisbewegungen zurückführt. Um Missverständnisse zu vermeiden, muss noch einmal gesagt werden, daß Platon seine Aussagen nicht dogmatisch gemeint hat, sondern andeutungshaft und allgemein. Es waren seine Nachfolger, die Neuplatoniker, welche die Andeutungen zu Dogmen machten.

(Das Dogma des Kreises beherrschte die astronomische Welt bis zu Kepler, der widerwillig erkennen musste (aus seinem Beobachtungsmaterial von Tycho Brahe), daß sich die Planeten auf Ellipsen bewegen). Aristoteles hat auch seinen Teil dazu geleistet. Er kehrte wieder zum geozentrischen System zurück und liess die Planeten sich auf Kugel-Sphären um die Erde bewegen, "da die Kreisbewegung die einzige vollkommene Bewegung sei. In ihr gibt es keinen Anfang und kein Ende; sie dauert ewig und kehrt in sich selbst zurück."

Die Entwicklung geht nun weiter über Apollonius von Perga, Hipparchos von Rhodos zu Ptolemäus von Alexandrien.

Das Ptolemäische System blieb nun bestimmend für die Menschheit bis hin zu Kopernikus. Ptolemäus kann man den Vollender der am Anfang stehenden Idee Platons nennen. Der Gedanke der gleichförmigen Kreisbewegung ist im ptolemäischen System konsequent und bis zur äussersten Perfektion durchgeführt worden. Man kann sich aber kaum vorstellen, wie einer, nur von der fixen Idee der gleichförmigen Kreisbewegung getrieben, ein solch kompliziertes System ersinnen konnte.

-5-

Das Bewundernswerte ist, daß man mit Hilfe von diesem System die Planetenbewegungen sehr exakt berechnen kann, was aufdie Genialität des Ptolemäus hinweist. Wir müssen vor ihm tiefe Ehrfurcht haben, da seine Leistungen für die damalige Zeit unerhört waren.

C L A U D I U S P T O L E M AE U S

H a n d b u c h d e r A s t r o n o m i e

1. Buch

Zu Beginn stellt Ptolemäus einige grundlegende Hypothesen auf, die die Voraussetzungen sind für seine weiteren Entwicklungen:

- Das Himmelsgewölbe dreht sich wie eine Kugel
- Die Erde ist kugelförmig
- Die Erde nimmt die Mitte des Himmelsgewölbes ein und steht zu den Himmelskörpern im Verhältnis eines Punktes [zu den Entfernungen derselben] (Ekliptikzentrum = Auge)
- Es gibt zwei verschiedene erste Bewegungen am Himmel:
  a) Tagesbewegung der Fixsternsphäre: Ost - West
  b) Bewegung der Planetensphären West - Ost

Diese Hypothesen begründet er alle mit einleuchtenden Betrachtungen. Anschließend kommen einige geometrische Lehrsätze, die die Grundlagen für seine geometrischen Beweise sind.

2. Buch

Im 2. Buch behandelt Ptolemäus ausführlich alle Erscheinungen, die mit der Ekliptik und dem Tierkreis und den Sonnenauf- und Untergängen zusammenhängen. Er bestimmt zum Beispiel die Schiefe der Ekliptik gegenüber der Aequatorebene mit $23^{\circ}51'20''$ (heutiger Wert: $23^{\circ}26'36{,}47''$).

3. Buch

S O N N E N - H Y P O T H E S E

Das 3. Buch beginnt mit der Bestimmung der Länge des Jahres mit $365^{d}14'48''$ (365,242). Um die gleichförmige Bewegung der Sonne zu erhalten, teilt er 360° durch $365^{d}14'48''$ und erhält so die Bewegungsstrecke der Sonne in einem Tag in Graden. Damit stellt er dann die Tabelle der gleichförmigen Bewegung auf.

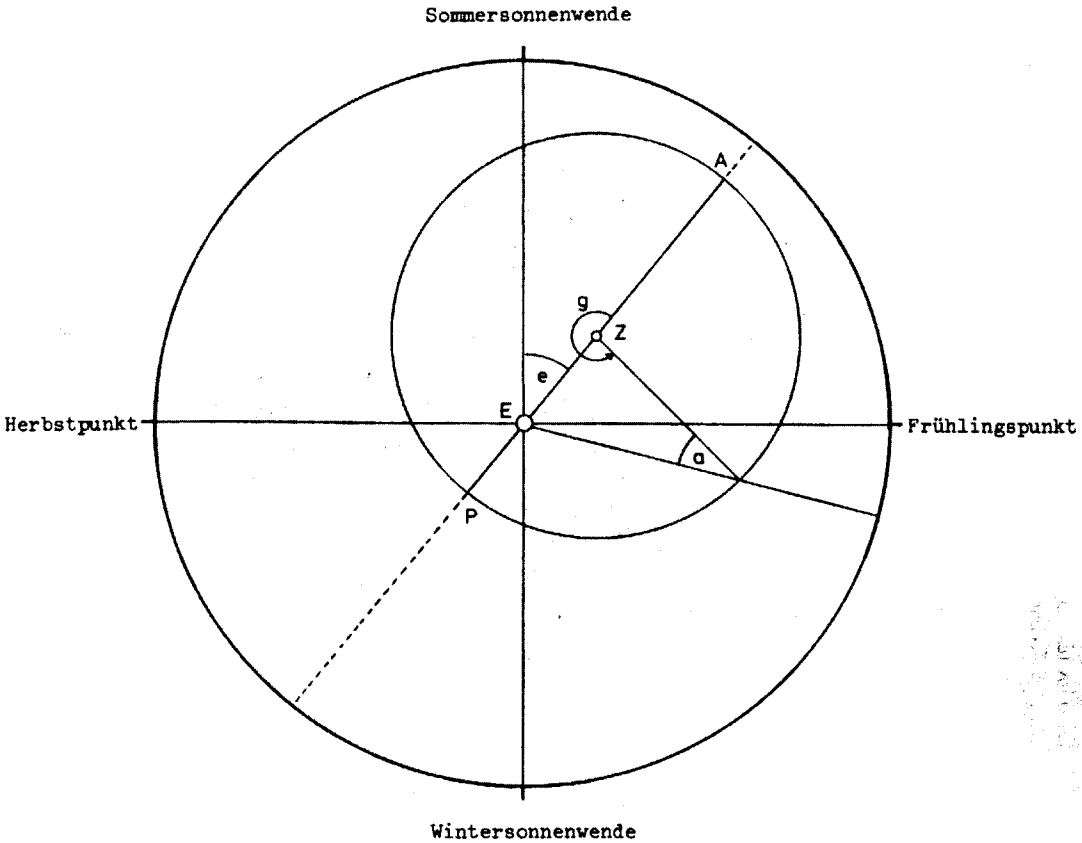
Als Länge des Jahres gilt für Ptolemäus der synodische Umlauf (Zeit für die Bewegung von Frühlingspunkt zu Frühlingspunkt).

Das Fortschreiten des Frühlingspunktes wird als langsames Wandern der Fixsternsphäre in Richtung der Zeichen erklärt.

Bezeichnungen für nebenstehende Figur

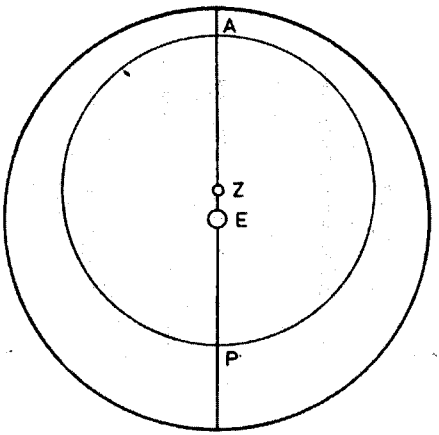
ZE : ZA = 1 : 24
Z = Exzenterzentrum
E = Ekliptikzentrum = Auge
A = Apogeum
P = Perigeum
e = $24\frac{1}{2}^{\circ}$
a = Betrag derAnomalie für den Winkelg

Sonnen-Hypothese

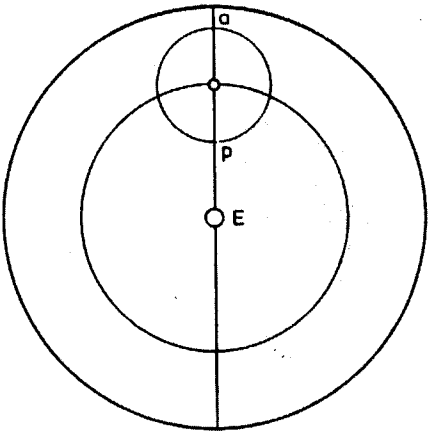


Bewegungs-Hypothesen

Exzentrische Hypothese



Epizyklische Hypothese



Da Ptolemäus alle ungleichförmigen Bewegungen als Schein einer dahinterstehenden gleichförmigen Kreisbewegung ansieht, erscheint es ihm angebracht und logisch, zuerst die gleichförmige Bewegung zu errechnen und dann die Anomalie als die Differenz der ungleichförmigen zur gleichförmigen Bewegung zu ermitteln. Diesen Arbeitsvorgang praktizierte Ptolemäus in konsequenter und vollendeter Weise.

Diese Anomalie (Differenz), d.h. die einzelnen Beträge für die Tafel der Anomalie wurden folgendermassen errechnet:

Zuerst wird die Exzentrizität des Sonnen-Kreises bestimmt aus den verschiedenen Zeitintervallen zwischen Frühlings-Aequinoktium und Sommersonnenwende und dieser und dem Herbst-Aequinoktium.

Nachdem er das Exzentrizitätsverhältnis mit ZE : ZA = 1 : 24 festgelegt hat, bestimmt er das Apogaum des Exzenters mit 5°30' ♊ (24½° vor der Sommersonnenwende).

Den Winkel zwischen Apogäum und Sommersonnenwende betrachtete Ptolemäus als fest, weil er die Apsidenbewegung noch nicht gekannt hat. Aus diesen Konstanten (Ort des Apogaums, Exzentrizitätsverhältnis) erhält er durch geometrische Konstruktion die Anomalie Beträge, d.h. er nimmt irgendeinen Betrag der gleichförmigen Bewegung (auf der Zeichnung ist dies der Winkel g) als gegeben und konstruiert daraus die Anomalie Differenz (Winkel a).

Er belegt jedesmal sein Vorgehen mit geometrischen Beweisen, indem er auf Euklid zurückgreift.

Gleichförmige Bewegung = Wahrer Lauf oder Mittlerer Lauf

Gleichförmige Bewegung und Anomalie = scheinbarer Lauf oder genauer Lauf
= Bewegungsablauf den man am Himmel beobachten kann.

Die Epoche des mittleren Laufs der Sonne

Unter Epoche ist der in Ekliptikgraden ausgedrückte Ort zu verstehen, welchen die Sonne (oder allgemein ein Planet) zu einem bestimmten Zeitpunkt, der als Ausgangspunkt ihrer gleichförmigen Bewegung gilt, innehat oder innegehabt hat.

Der Zeitpunkt ist: Mittag des 1. ägyptischen Thoth des ersten Jahres Nabonassars
= 26. Februar 747 v. Chr. 12 Uhr

Epoche bedeutet nicht einen Zeitraum, sondern die Stellung der Planeten zu einem bestimmten Zeitpunkt.
Die Epoche erhält Ptolemäus durch Zurückrechnen von seinen selbstbeobachteten Örtern der Sonne (oder eines andern Planeten) mit Hilfe der Tafeln. Alle Tafeln der gleichförmigen Bewegungen haben ihren Anfang mit der Epoche.

Epoche der Sonne: 265°15' vom Apogeum
→ 0°45' ♈

-8-

B E W E G U N G S - H Y P O T H E S E N

Die Hervorrufung des Scheines einer ungleichförmigen Bewegung kann am einfachsten nach der exzentrischen oder nach der epozyklischen Hypothese eintreten.

Die Bewegung auf Kreisen ist für Ptolemäus die einzige mögliche, weil er diese als etwas Göttliches ansieht,und deshalb für die Planeten die einzige berechtigte.

Ausgangspunkt (Nullpunkt) der Winkelmessung ist meistens das Apogäum.

4. Buch

M O N D - H Y P O T H E S E

Die periodischen Zeiten des Mondes:

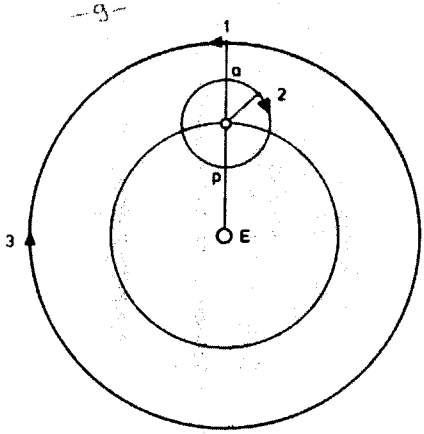
1. Bewegung in Länge:	scheinbar ungleichförmiger Bewegungsablauf auf die Ekliptik bezogen. Periode: ein Ekliptikkreis Nullpunkt: Frühlingspunkt
2. Bewegung in Breite:	scheinbar ungleichförmige Bewegung auf der Ekliptik. Periode ein Ekliptikkreis Nullpunkt: Nördlicher Grenzpunkt (nördliche Wende)
3. Bewegung in Anomalie:	scheinbar ungleichförmige Bewegung Periode: ein Epizykelumlauf Nullpunkt: Apogäum des Epizykels
4. Bewegung in Lunation:	Phasenwechsel (syn. Monat)
5. Bewegung in Elongation:	Bewegung in Länge relativ zur Sonne (tägliche Zunahme der Elongation= Differenz der täglichen Bewegung des Mondes zu der der Sonne).
6. Doppelte Elongation:	Ort des Apogäums relativ zum mittleren Ort des Mondes oder umgekehrt: Ort des Mondes vom Apogäum in Ekliptikgraden gezählt.

Abstand mittlerer Mond mittlere Sonne = Abstand mittlere Sonne Mond-Apogäum (Apogäum des beweglichen Exzenters).

Die Beträge der täglichen Bewegung in

Länge:	13°10'34"
Anomalie:	13° 3'53"
Breite:	13°13'45"
Elongation:	12°11'26"
Doppelte Elongation:	24°22'53"
Differenz von doppelter Elongation zur Breite:	11° 9' 7"

Diese Zahlen errechnete Ptolemäus durch Division der Beträge von Perioden über lange Zeiträume hinweg. Durch weiteres Multiplizieren und Dividieren erhielt er den Ueberschuss der jährlichen Bewegung, der stündlichen u.s.w., was in der Tafel der gleichförmigen Bewegung des Mondes zu finden ist.



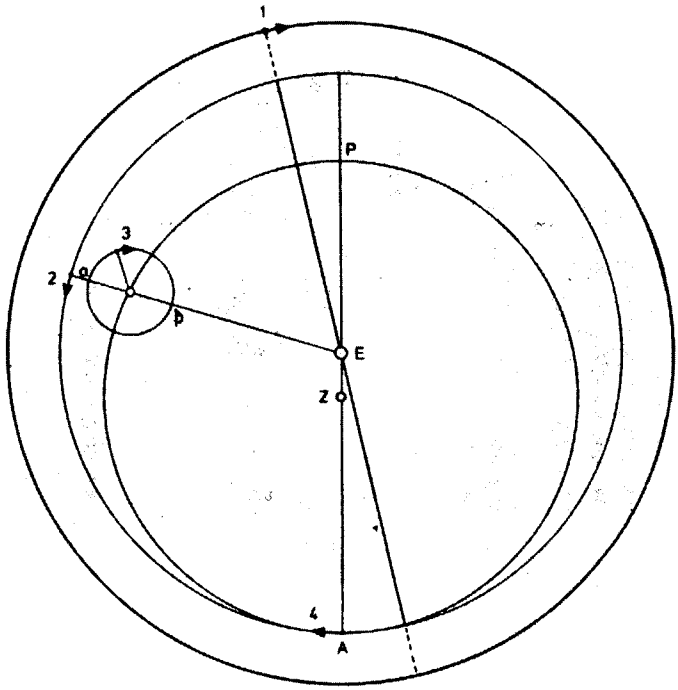
Erste Anomalie

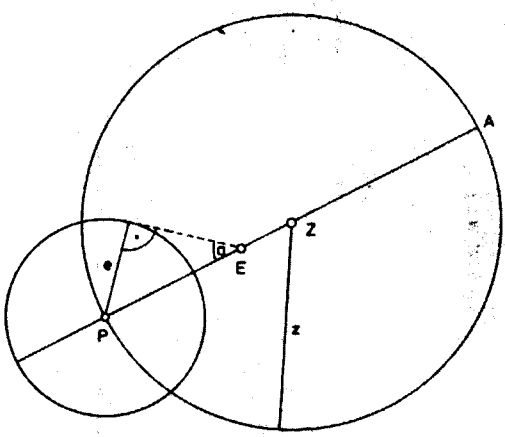
1 Wiederkehr in Breite

2 Wiederkehr der Anomalie

3 Mondknotenbewegung

Mond-Hypothese





Exzentrizitätsverhältnis

-10-

Die erste Anomalie ist die im Verhältnis zur Ekliptik eintretende Ungleichförmigkeit. Sie wird in diesem Falle mit der epizyklischen Hypothese erklärt.

Die Bewegung 3 führt das ganze System um E herum (siehe Figur Seite 1o).

Bewegungen:

1 Wiederkehr in Breite
2 Wiederkehr der Anomalie
3 Ueberschuss der Bewegung in Breite über die in Länge ($0^{\circ}3'$) = Mondknotenbewegung.

Epoche des Mondes:

Mittlerer Ort in:

Länge	$11^{\circ}22'$ ♉	
Anomalie	$268^{\circ}49'$	vom Apogäum des Epizykels
Breite	$354^{\circ}15'$	vom nördlichen Grenzpunkt
Elongation	$70^{\circ}37'$	
doppelte Elongation	$141^{\circ}14'$	

Mittlerer Ort in Länge = Ort des Epizykelmittelpunktes

Als letztes im 4. Buch zeigt die Tabelle der ersten Anomalie die auf den gleichförmigen Lauf des Mondes auf dem Epizykel jeweils anfallenden Beträge der Differenz der mittleren zur scheinbaren Bewegung.

5. Buch

Die zweite Anomalie

Die zweite Anomalie ist die in Bezug auf die Sonne eintretende Ungleichförmigkeit.

Durch Beobachtung findet Ptolemäus heraus, daß wenn der Mond im Perigäum steht, daß dann die (maximale) Anomaliedifferenz $7^{\circ}40'$ ist, anstatt nur $5^{\circ}1'$, wie von der ersten Anomalie her zu erwarten wäre. Durch Division verteilt er diese $2^{\circ}39'$ auf die entsprechenden Beträge der 1. Anomalie und erhält somit die Gesamtanomalie.

Die Hypothese erhält dadurch jetzt die folgende berichtigte Fassung:

Der Epizykel bewegt sich so auf einem Exzenter, daß der Epizykelmittelpunkt bei Neu- und Vollmond (Konjunktion und Opposition) im Apogäum, und bei den Quadraturen im Perigäum des Exzenters steht.

Um dies zu erreichen, lässt Ptolemäus den Exzenter sich um E bewegen.

Die Entfernung des mittleren Ortes des Mondes von seinem Apogäum ist gleich der doppelten Elongation, d.h. der Epizykelmittelpunkt und das Apogäum bewegen sich nach dieser Grösse auseinander. Deshalb macht der Epizykel in einem synodischen Monat auf dem Exzenter (relativ zum Apogäum zwei Umläufe. Dann tritt auch die vorausgesetzte Erscheinung auf, daß der Mond bei Voll- und Neumond im Apogäum steht. Daraus folgt auch, daß die mittlere Sonne immer in der Mitte zwischen dem Apogäum undddem mittleren Ort des Mondes ist.

—11—

Die gleichförmigen Bewegungen:

1 Nördlicher Grenzpunkt (nördliche Wende) Nullpunktder Bewegung in Breite. Ganzes Mondsystem bewegt sich im Tage $0^{\circ}3'10''$, d.h. nach der Differenz der Bewegung der Breite über die in Länge = Mondknotenbewegung. Dauer einer Periode ca. 18 Jahre.

Zentrum = E

2 Epizykelmittelpunkt. Bewegung gemäss der Wiederkehr der Breite relativ zum nördlichen Grenzpunkt. Zentrum = E.

Der zur Ekliptik konzentrische Kreis ist um 5° gegenüber ihr geneigt wegen der Breitenabweichung (Deklination) des Mondes.

3 Mond auf dem Epizykel. Bewegung gemäss der Wiederkehr der Anomalie, geknüpft an das Apogäum des Epizykels.

4 Apogäum und Mittelpunkt Z des Exzenters bewegen sich nach der doppelten Elongation, oder besser nach der Differenz der doppelten Elongation über die Breite. Zentrum = E.

Exzentrizitäts-Verhältnis (Figur siehe Seite 10)

Wenn EA = 60^{p} dann sind
EP = $39^{p}22'$
AP = $99^{p}22'$
EZ = $10^{p}19'$
Exhm = Exzenterhalbmesser = z = $49^{p}41'$
Ephm = Epizykelhalbmesser = e = $5^{p}15'$
a = $7^{\circ}40'$

6. Buch

Berechnung von Sonnen- und Mondfinsternissen.

7. Buch

Die Bewegung der Fixsternsphäre:

Die Fixsternsphäre vollführt pro Tag einen Umschwung in westlicher Richtung.

Die Planetensphären machen diese Bewegung mit,aber haben dazu noch eine Eigenbewegung in östlicher Richtung.

Da Ptolemäus die Bewegungen der Planeten immer zu sich selbst betrachtet, so hat er auch für die Sonne den siderischen Umlauf ausser Acht gelassen. Deshalb konnte er auch keine Differenz von synodischem und siderischem Umlauf feststellen und so das platonische Weltenjahr auf die Sonnenbewegung beziehen. Er sah die Bewegung des Frühlingspunktes vielmehr als eine Bewegung der Fixsternsphäre in östlicher Richtung gegenüber der Ekliptik an. Und zwar bewegt sich diese nach Ptolemäus in 100 Jahren 1°, d.h. ein Umschwung der Fixsternsphäre wird in 36'000 Jahren vollführt.

8. Buch

Fixsternkatalog

9. Buch

-12-

1. Kapitel:

Reihenfolge der Planetensphären:
Erde im Zentrum der Ekliptik
Mond
Merkur
Venus
Sonne
Mars
Jupiter
Saturn

3. Kapitel:

Vorausbemerkungen zu den Hypothesen der fünf folgenden Wandelsterne (Planeten).

Im allgemeinen ist unter Bewegung in Länge die des Epizykelmittelpunktes auf dem Exzenter, unter Bewegung in Anomalie die des Planeten auf dem Epizykel zu verstehen.

4. Kapitel:

Tafeln der gleichförmigen Bewegungen der fünf Planeten in Länge und Anomalie.

5. Kapitel:

Allgemeine Hypothesen:

Die Anomalie in Bezug auf die Sonne wird mit der epizyklischen Hypothese erklärt.

→ Bewegung des Planeten auf dem Epizykel = Bewegung in Anomalie

Die Anomalie in Bezug auf die Ekliptik wird mit der exzentrischen Hypothese erklärt.

→ Bewegung des Epizykelmittelpunktes = Bewegung in Länge.

Die Apogäen der Exzenter, d.h. die jeweiligen ganzen Systeme vollführen eine geringe Bewegung in die Richtung der Zeichen (in 100 Jahren 1°).

6. Kapitel:

M E R K U R - H Y P O T H E S E (vgl. Figur Seite 14)

Exzenter 1 (Ex 1) = Auf ihm findet die gleichförmige Bewegung statt.
Zentrum = D

Exzenter 2 (Ex 2) = Auf ihm ist jederzeit der Epizykelmittelpunkt
Zentrum = H
(Ex 2 ist gleich gross wie Ex 1)

Gleichförmige Bewegungen:

1 Das ganze System, bzw. das Apogäum A bewegt sich um das Zentrum E in 100 Jahren um 1°.

2 Der Epizykel wird gleichförmig in der Richtung der Zeichen von der Leitlinie, welche a und p bestimmt, herumgeführt um das Zentrum D (Wiederkehr in Länge).

Merkur-
Hypothese

ZD = DE

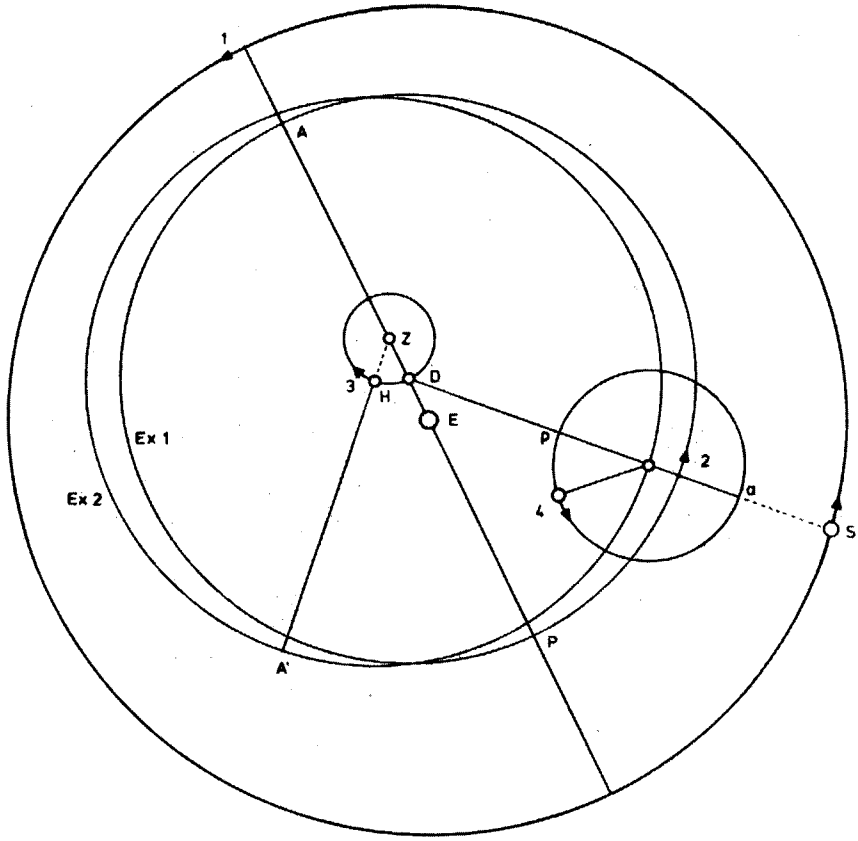
E = Ekliptik-
zentrum

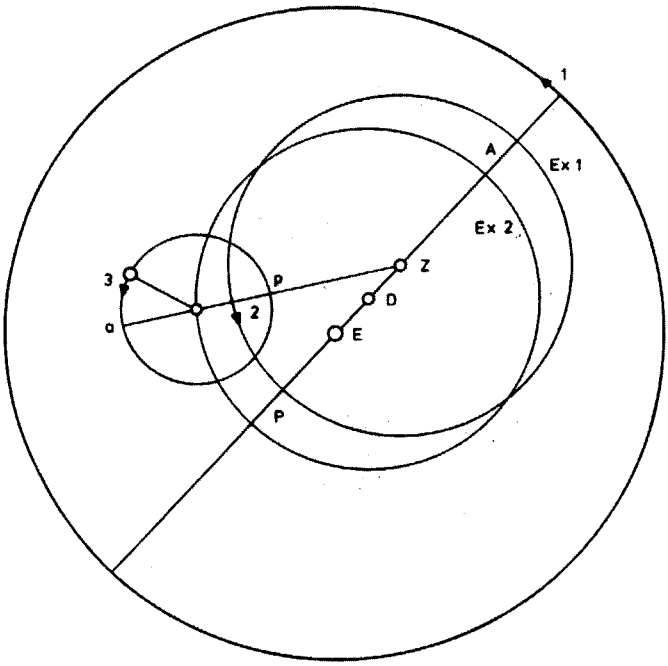
D = Zentrum
des Ex1

H = Zentrum
des Ex2

Z = Bewegungs-
zentrum
des Ex2

S = mittlere
Sonne





Hypothese für Venus,
Mars, Jupiter und Sonne

$\overline{ZD} = \overline{DE}$

E = Ekliptikzentrum

D = Zentrum des Ex2

Z = Zentrum des Ex1

-14-

3 Das Zentrum H des Exzenters 2 bewegt sich gleichförmig um Z, gleich schnell wie der Epizykel (Länge), aber gegen die Richtung der Zeichen.

4 Der Planet (Merkur) bewegt sich auf dem Epizykel der Wiederkehr der Anomalie entsprechend, relativ zu a und p.

Die Folge von Bewegung 3 und 2 wird sein, daß diese beiden Leitlinien einmal im Jahre in die gleiche Stellung zueinander kommen mit Bezug auf die Ekliptik. Mit Bezug auf sich selbst aber zweimal im Jahre.

Die beiden Leitlinien treffen sich jeweils im Apogäum oder im Perigäum.

Die Winkel AZH und ADa sind immer gleich gross, da beide Leitlinien die gleiche Winkelgeschwindigkeit haben.

Die Perioden des Laufs in Länge sind nicht an A gebunden, sondern an den Frühlingspunkt, weil erstere ja eine langsame Bewegung gegenüber der Ekliptik haben.

9. Kapitel:

Exzentrizitätsverhältnis:

Wenn der Exhm (Exzenterhalbmesser) 60^p ist, dann ist DE = 3^p und der Ephm (Epizykelhalbmesser) = $22^p30'$.

[Das Mass p benützt Ptolemäus für Strecken-Verhältnisse, und zwar nimmt er einen bestimmten Durchmesser immer gleich 120^p an (Halbmesser = 60°) und errechnet daraus die anderen Strecken im Verhältnis zu dieser].

Die mittlere Bewegung des Merkur (= Bewegung des Epizykelmittelpunktes = Bewegung in Länge) ist identisch mit der der Sonne.
→ Mittlerer Merkur ≡ mittlere Sonne

11. Kapitel:

Epoche des Merkur

Mittlerer Ort in: Anomalie $21^o55'$
Länge $0^o45'$ ♓
= Länge der Sonne
Apogäum $1^o10'$ ♎

HYPOTHESE FÜR:

VENUS, MARS, JUPITER, SATURN

Exzenter 1 (Ex 1) - Auf ihm findet die gleichförmige Bewegung statt.
Zentrum = Z

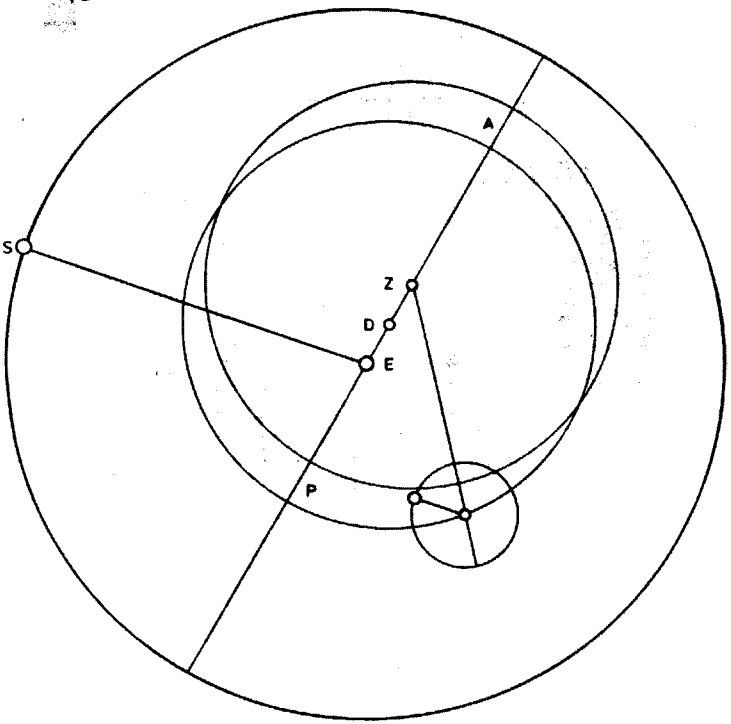
Exzenter 2 (Ex 2) - Auf ihm ist jederzeit der Epizykelmittelpunkt.
Zentrum = D
(Ex 2 ist gleich gross wie Ex 1)

Gleichförmige Bewegungen:

1 Das ganze System, bzw. das Apogäum A bewegt sich um das Zentrum E in 100 Jahren um 1°.

2 Die Leitlinie Zpa, welche das Apogäum und das Perigäum des Epizykels festlegt, führt den Epizykelmittelpunkt gleichförmig um das Zentrum Z herum, wie es der Wiederkehr in Länge entspricht.

-15-



Allgemeine Stellung

(Mars, Jupiter, Saturn)

Die Verbindung Epizykel-mittelpunkt - Planet ist parallel zur Verbindung ES

E = Ekliptikzentrum

S = mittlere Sonne

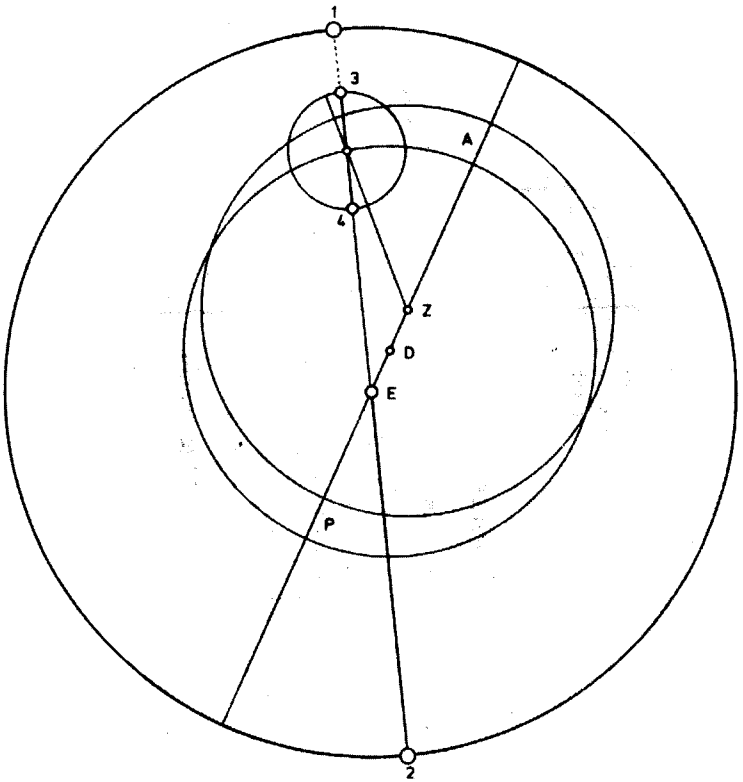
Besondere Stellung

Konjunktion:

Sonne 1, Planet 3

Opposition:

Sonne 2, Planet 4



-16-

3 Der Planet selbst bewegt sich gleichförmig auf dem Epizykel. Er vollführt seine Wiederkehr mit Bezug auf die Leitlinie Zpa, entsprechend dem Lauf in Anomalie.

10. Buch

3. Kapitel:

Exzentrizitätsverhältnis der Venus:

Wenn der Exhm = 60^p ist, dann ist
DE = $1^p15'$ und der
Ephm = $43^p10'$

Epoche der Venus

Mittlerer Ort in: Anomalie $71^\circ\ 7'$
Länge $0^\circ45'$ ♓
Apogäum $16^\circ10'$ ♉

Mittlere Venus ≡ mittlere Sonne

6. Kapitel:

Bemerkungen zu den Hypothesen für Mars, Jupiter und Saturn: Bei einer Konjunktion und bei einer Opposition eines Planeten mit der Sonne, ist sein Ort auf dem Epizykel auf einer Geraden (durch E) mit dem mittleren Ort der Sonne. Bei allen anderen Stellungen ist die Leitlinie des Planeten auf dem Epizykel immer nach der mittleren Sonne ausgerichtet, d.h. diese Leitlinie ist parallel zu der Verbindung E -Sonne.

7. Kapitel:

Exzentrizitätsverhältnis des Mars:

$$\frac{\text{Exhm}}{\text{Ephm}} = \frac{60^p}{39^p30'}$$

DE = 6^p

Epoche des Mars:

Mittlerer Ort in: Anomalie $327^\circ13'$
Länge $3^\circ32'$ ♈
Apogäum $16^\circ40'$ ♋

11. Buch

1. und 2. Kapitel:

Exzentrizitätsverhältnis des Jupiter:

$$\frac{\text{Exhm}}{\text{Ephm}} = \frac{60^p}{11^p30'}$$

DE = $2^p45'$

Epoche des Jupiter:

Mittlerer Ort in: Anomalie $146^\circ\ 4'$
Länge $4^\circ41'$ ♎
Apogäum $2^\circ9'$ ♑

- 17 -

5. und 6. Kapitel:

Exzentrizitätsverhältnis des Saturn:

$$\frac{Exhm}{Ephm} = \frac{60^p}{6^p30'}$$

DE = $3^p25'$

8. Kapitel:

Epoche des Saturn:

Mittlerer Ort in: Anomalie $34^o\ 2'$
Länge $26^o44'$ ♉

Apogeum $14^o10'$ ♏

12. Buch

Berechnung von Rückläufigkeit und der Stillstände.

13. Buch

D E R L A U F I N B R E I T E

oder
Die Neigungen der Exzenter und der Epizykel

Die Planeten weisen auch im Lauf der Breite eine zweifache Anomalie auf. Eine ist bezogen auf die Ekliptik infolge des Exzenters, die andere mit Bezug auf die Sonne infolge des Epizykels. Daraus schloss Ptolemäus, dass sowohl der Exzenter eine Neigung in Bezug auf die Ekliptik hat, wie auch der Epizykel eine Neigung in Bezug auf den Exzenter.

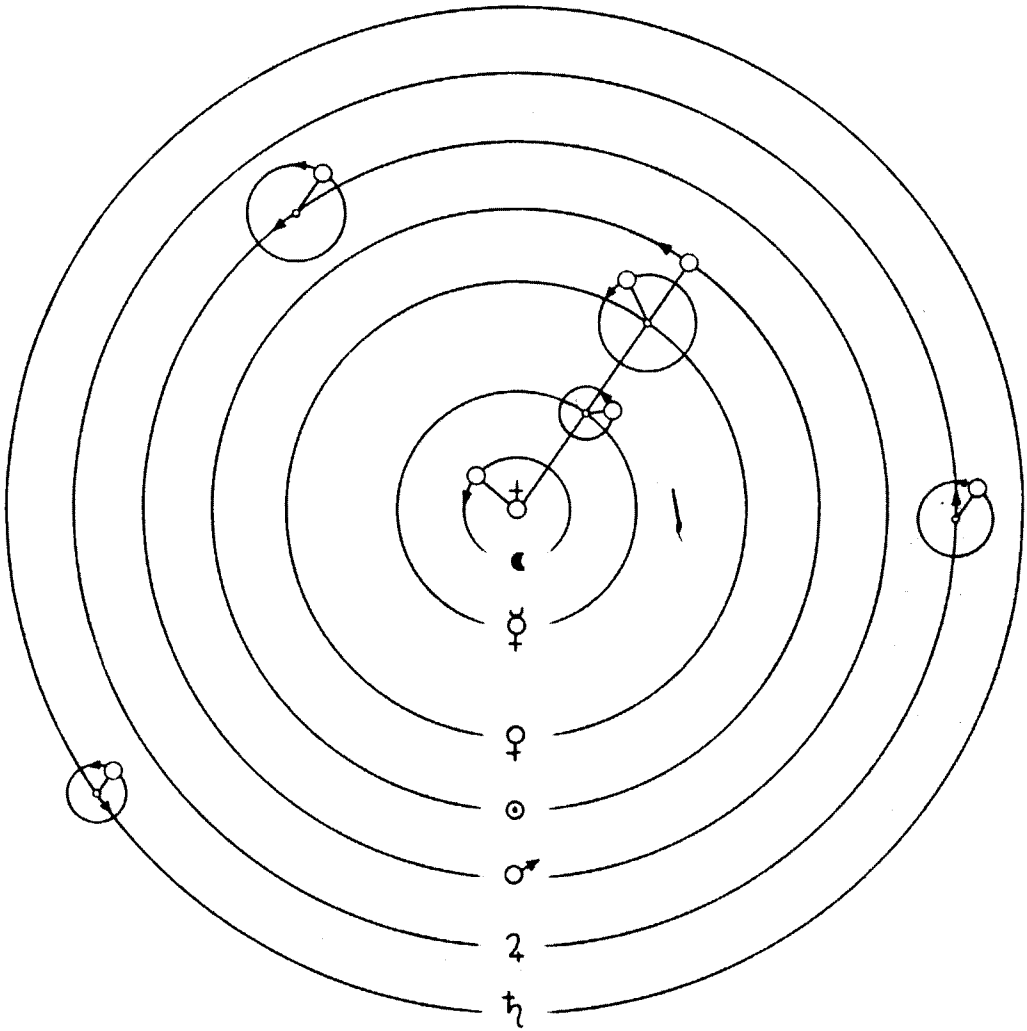
Die Neigungswinkel der Exzenter zur Ekliptikebene (bezogen auf den Ekliptik-Mittelpunkt E) bleiben bei den Planeten Mars, Jupiter und Saturn unverändert, sodass die einander diametral gegenüberliegenden Epizykelörter entgegengesetzte Breite haben. Bei Merkur und Venus bewegt sich der Exzenter in seiner Breitenabweichung um die Knotenachse. Er pendelt immer zwischen zwei Maximalwerten. Die Neigungswinkel der Epizyklen richten sich nach dem zu dem Mittelpunkt der Ekliptik gerichteten Durchmesser, welcher auf den Epizyklen die scheinbaren Apogäen und Perigäen festlegt. Die Epizykel von Saturn, Jupiter und Mars sind in ihrer Neigung konstant. Und zwar weist das Perigäum des Epizykels auf dem nördlichen Teil des Exzenters nach Norden, auf dem südlichen nach Süden. Das bedeutet, daß das Perigäum des Epizykels stets nach der gleichen Seite geneigt ist wie der Exzenter selbst. Die Epizykel von Merkur und Venus haben keine konstante Neigung in Bezug auf den Exzenter.

* *

Die folgenden Angaben unter der Ueberschrift Zeichnungen betreffen eine Serie ausführlicher geometrischer Zeichnungen im Format A 3, von denen wir die Bilder Mond 2, Merkur 2 undVenus 2 als Beispiel abdrucken. Photokopien im Originalformat können bei Bedarf hergestellt werden.

-18-

VEREINFACHTES SYSTEM DES PTOLEMÄUS



-19-

Z E I C H N U N G E N

SONNE 1

Zeitpunkt: Epoche

Bewegung a)	Zentrum E	(= Ekliptikzentrum)
	Winkel e	(265°15' von A)
	Sonnenort 1	(= mittlerer Ort 0°45' ♈)
Bewegung b)	Zentrum Z	(= Exzenterzentrum)
	Winkel z	(265°15' von A)
	Sonnenort 2	(= genauer oder scheinbarer Ort 0°45' + 2°23' = 3°8' ♈)

A = Apogäum
P = Perigäum
Die Winkel e und z sind gleich gross.

SONNE 2

Beginn: Epoche
Dauer: 12 · 30 Tage = 360 Tage
Intervall: 30 Tage : Länge : 29°34'
Bewegung b

MOND 1

Zeitpunkt: Epoche

Gleichförmige Bewegungen:

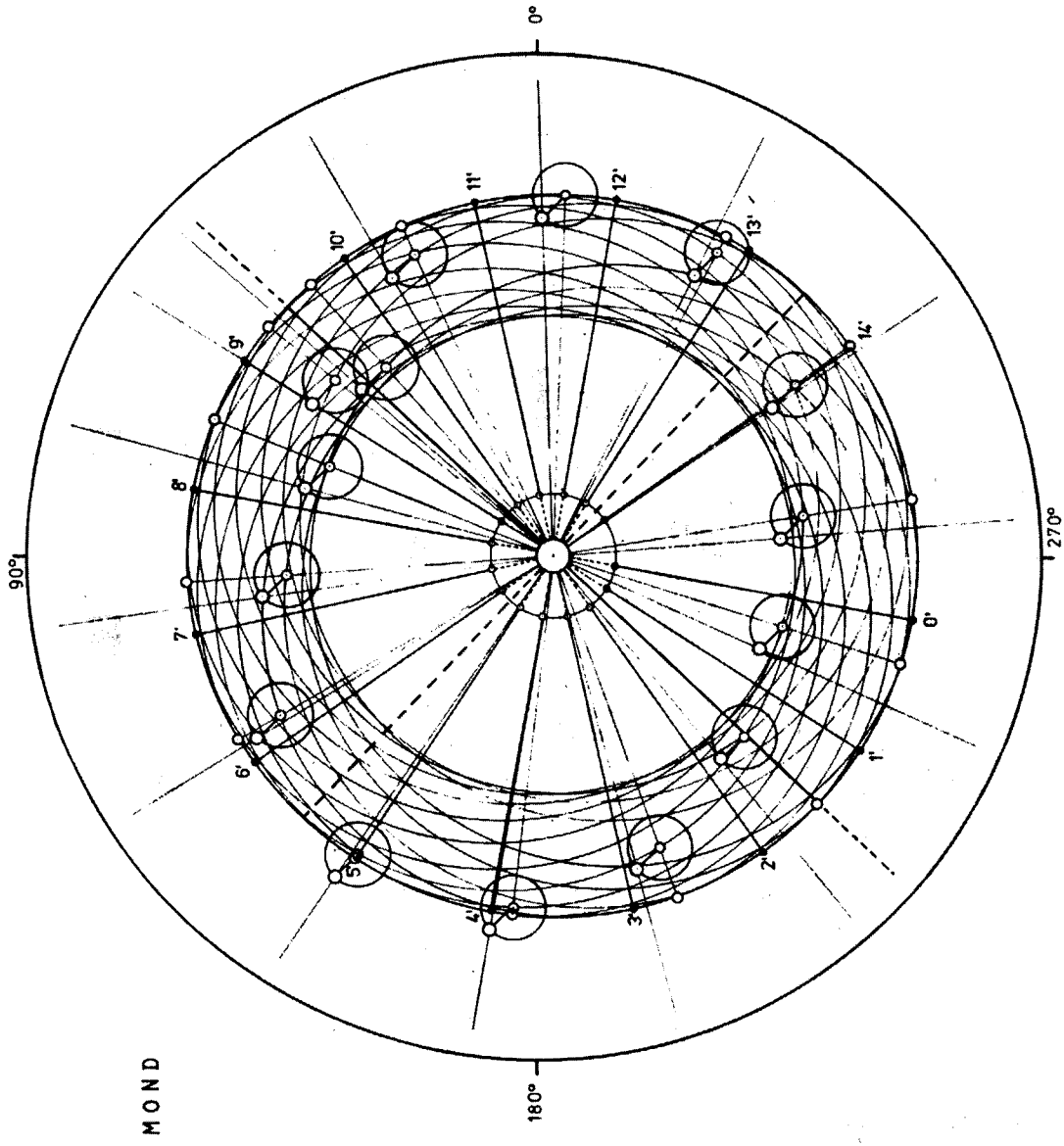
1 Nördlicher Grenzpunkt (0°3')
2 Epizykelmittelpunkt (Breite)
3 Mond auf Epizykel (Anomalie)
4 Apogäum (Differenz von doppelter Elongation über die Breite.

5 mittlerer Mond 11°22' ♉
M genauer Mond
E Ekliptik-Zentrum
Z Exzenter-Zentrum
X Zentrum für scheinbares Apogäum
a' mittleres Apogäum des Epizykels
a" scheinbares Apogäum des Epizykels
S mittlere Sonne 0°45' ♈
K absteigender Knoten
K aufsteigender Knoten

MOND 2

Beginn: Epoche
Dauer: 14 · 2 Tage = 28 Tage
Intervall: 2 Tage : Mondknotenbewegung 0°6'
(habe ich nicht berücksichtigt)
Breite : 26°27'
Anomalie : 26° 7'
Differenz der doppelten Elongation zur Breite : 22°17'
Sonne: 2 Tage : Länge : 1°58'

-20-



MOND

MERKUR 1

Zeitpunkt: Epoche

Gleichförmige Bewegungen:

1 Apogäum A (1° pro 100 Jahre)
2 Epizykelmittelpunkt = mittlere Sonne (Länge der Sonne)
3 Apogäum des Exzenters 2, A' (gleichschnell wie Bewegung 2, nur in anderem Drehsinn und mit dem Zentrum Z)
4 Merkur auf Epizykel (Anomalie)

M genauer Ort des Merkur
S mittlere Sonne
D Zentrum des Exzenters 1
H Zentrum des Exzenters 2
Z Zentrum der Bewegung des Exzenters 2
A' Apogäum des Exzenters 2

MERKUR 2

Beginn: Epoche
Dauer: 23 · 15 Tage = 345 Tage
Intervall: 15 Tage : Länge : $14^{\circ}47'$ (gleich wie Sonne)
Anomalie : $46^{\circ}36'$
Sonne: 15 Tage : Länge : $14^{\circ}47'$

VENUS 1

Zeitpunkt: Epoche

Gleichförmige Bewegungen:

1 Apogäum A (1° pro 100 Jahre)
2 Epizykelmittelpunkt = mittlere Sonne (Länge der Sonne)
3 Venus auf Epizykel (Anomalie)

V genauer Ort der Venus
S mittlere Sonne
D Zentrum des Exzenters 2
Z Zentrum des Exzenters 1 (hat keine Bedeutung mehr)

VENUS 2

Beginn: Epoche
Dauer: 18 · 20 Tage = 360 Tage
Intervall: 20 Tage : Länge : $19^{\circ}42'$
Anomalie: $12^{\circ}20'$
Sonne: 20 Tage : Länge : $19^{\circ}42'$

MARS 1

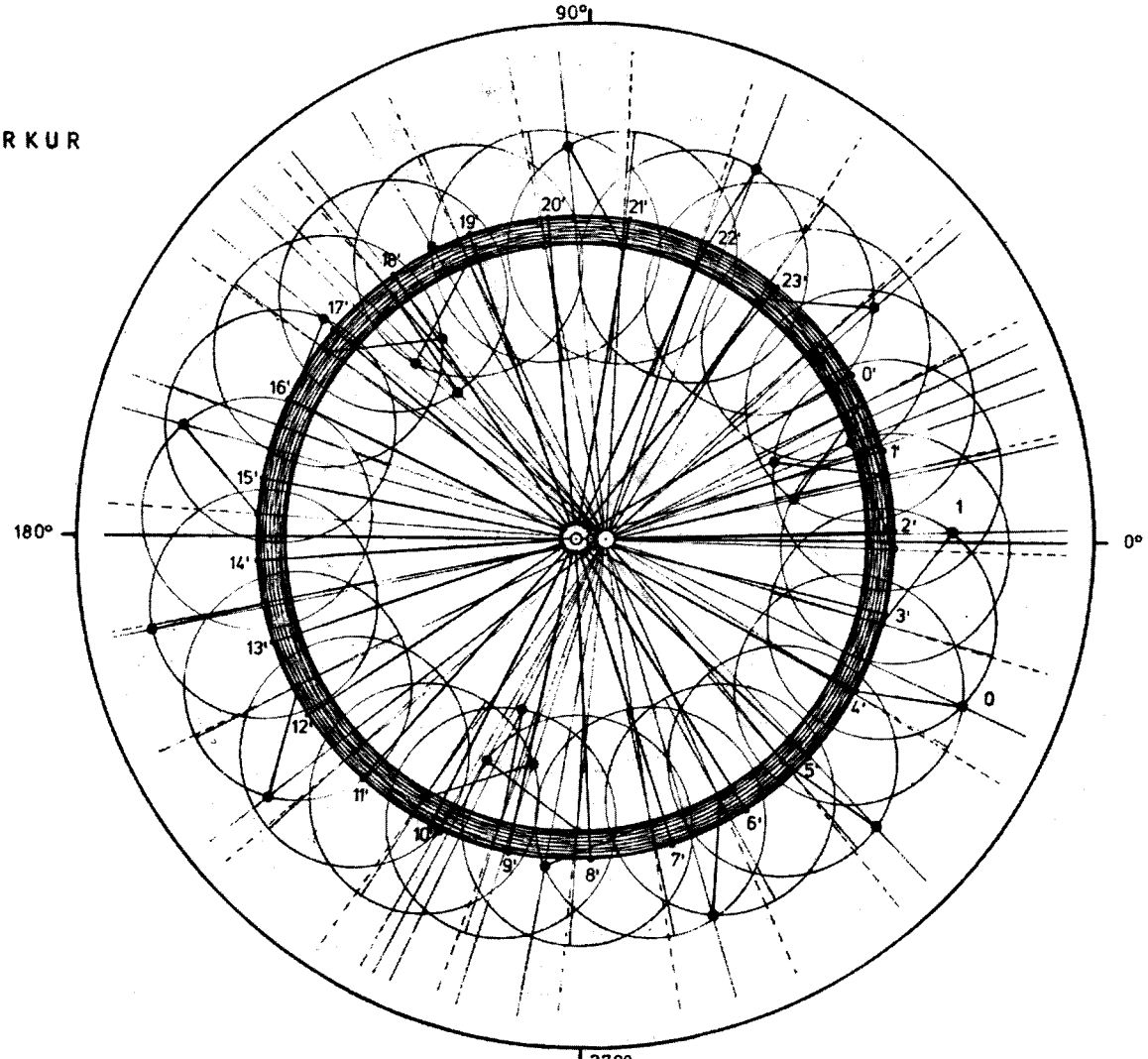
Zeitpunkt: Epoche

Gleichförmige Bewegungen:

1 Apogäum A (1° pro 100 Jahre)
2 Epizykelmittelpunkt (Länge von A)
3 Mars auf Epizykel (Anomalie)

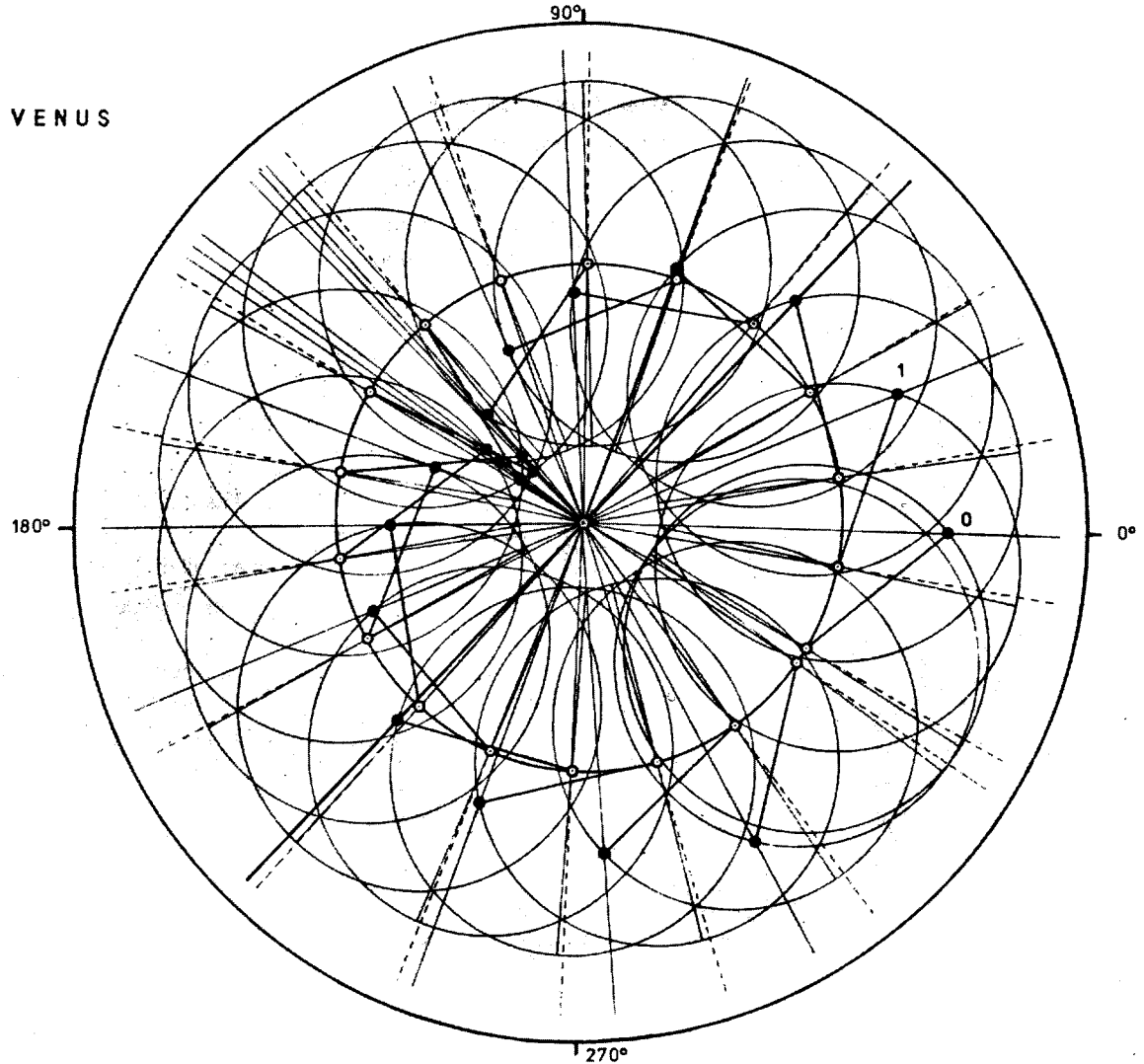
M genauer Ort des Mars
M' mittlerer Ort des Mars (+ Anomalie infolge des Exzenters → genauer Ort)

MERKUR



-22-

VENUS



-24-

S mittlere Sonne
Z Zentrum des Exzenters 1
D Zentrum des Exzenters 2

Die Winkel e und z sind gleich gross, und zwar 256°52'.

Mittlerer Ort des Mars in Länge: 3°32' ♈ → 256°52' vom Apogäum A
(3°32' + 360° - 106°40' = 256°52')

MARS 2

Beginn: 270 Tage nach der Epoche:
Länge: 3°32' (3°32' ♈)
141°29'
145° 1' (25° 1' ♌)

256°52'
141°29'
37°21' von A

Anomalie: 327°13'
124°37'
91°50'

Dauer: 17 · 40 Tage = 680 Tage = 1 Jahr + 315Tage
Intervall: 40 Tage : Länge : 20°57'
Anomalie: 18°26'
Sonne: 270 Tage nach Epoche:
Länge: 330°45' (0° 45' ♓)
266° 7'
236°52' (26°52' ♏)
40 Tage : Länge : 39°25'

JUPITER 1

Zeitpunkt: Epoche

Gleichförmige Bewegungen:

1 Apogäum A (1° pro 100 Jahre)
2 Epizykelmittelpunkt (Länge von A)
3 Jupiter auf Epizykel (Anomalie)

J genauer Ort des Jupiter
S mittlere Sonne
D Zentrum des Exzenters 2
Z Zentrum des Exzenters 1

Mittlerer Ort des Jupiter in Länge: 4°41' ♎ → 32°32' vom Apogäum A
(4°41' + 180° - 152° 9' = 32°32')

JUPITER 2

Beginn: Epoche
Dauer: 21 · 50 Tage = 1100 Tage ≈ 3 Jahre
Intervall: 50 Tage : Länge : 4° 9'
Anomalie: 45° 7'
Sonne: 50 Tage : Länge : 49°16'

-25-

SATURN 1

Zeitpunkt: Epoche

Gleichförmige Bewegungen:

1 Apogäum A (1° pro 100 Jahre)
2 Epizykelmittelpunkt (Länge von A)
3 Saturn auf Epizykel (Anomalie)

SA genauer Ort des Saturn
S mittlere Sonne
Z Zentrum des Exzenters 1
D Zentrum des Exzenters 2

Mittlerer Ort des Saturn in Länge: $26^{\circ}44'$ ♉ → $72^{\circ}34'$ vom Apogäum A
($26^{\circ}44' + 270^{\circ} - 224^{\circ}10' = 72^{\circ}34'$)

SATURN 2

Beginn:	Epoche
Dauer:	26 · 60 Tage = 1560 Tage = 4 Jahre + 100 Tage
Intervall:	60 Tage : Länge : $2^{\circ}00'$
	Anomalie : $57^{\circ}\ 7'$
Sonne:	60 Tage : Länge : $59^{\circ}\ 8'$

Q U E L L E N

Die Entstehung des Dogmas der gleichförmigen Kreisbewegungen wurde in etwas abgewandelter und stark gekürzter Form dem Buch von Arthur Koestler "Die Nachtwandler - Das Bild des Universums im Wandel der Zeit" entnommen. Erschienen im Emil Vollmer Verlag, Wiesbaden o.J.

Die Angaben über das Leben des Ptolemäus wurden dem Sternkalender 1957 der mathematisch-astronomischen Sektion am Goetheanum entnommen. Und zwar aus dem Beitrag von Dr. M. Howald: Vom Sinn des ptolemäischen Weltsystems.

Claudius Ptolemäus:
Handbuch der Astronomie
Deutsche Uebersetzung und erläuternde Anmerkungen von Karl Manitius.
Verlag: B.G. Teubner, Leipzig 1963
Band 1 : 1. - 6. Buch
Band 2 : 7. - 13. Buch

Eine sehr ausführliche Darstellung der Mondtheorie durchW. Heim findet sich in den "Mathematisch-Astronomischen Blättern" Heft 2 (November 1940)

Betrifft Subskription

MATHEMATISCH-ASTRONOMISCHE BLÄTTER

NEUE FOLGE

Noch ist (Mitte Februar bei ca. 80 Subskribenten) der Erfolg nicht gesichert. Dagegen sollte der Druck bald beginnen können. Wir bitten daher um weitere Subskriptionen und besonders um Hinweise in weiteren Interessentenkreisen auf die Schriftenreihe.

Mitteilung betr. Nr. 2 für Teilnehmer der Korrespondenz

Wegen des speziellen Charakters dieser astronomischen Arbeit ist vorgesehen, diese unabhängig von ev. Subskription den Teilnehmern der Korrespondenz als

Beigabe zur Mathematisch-Physikalischen Korrespondenz

zugehen zu lassen. (Freiwillige Spenden sind natürlich wie immer willkommen.) Die Zusendung ist als Sonderanstrengung von unserer Seite zur Feier der im Sommer fälligen

Jubiläums-Nr. 100

der Korrespondenz gedacht. Zugleich laden wir alle Freunde und Mitarbeiter zu Beiträgen aller Art für diese Nummer ein. (Redaktionsschluss 10. Juni 1976.)

* * *

Ankündigung

Ich benütze die Gelegenheit dieser Benachrichtigung, um von den weiteren Plänen für die Mathematisch-Astronomischen Blätter mitzuteilen:

Es liegen wertvolle Arbeiten in den seinerzeitigen vier Heften aus der Zeit von März 1940 bis November 1942 vor. Es ist vorgesehen, diese in späteren Heften der Neuen Folge nach und nach wieder zugänglich zu machen. Ausserdem sind vor Jahrzehnten durch Dr. E. Vreede in einem Rundbrief der Sektion Angaben Rudolf Steiners mitgeteilt worden. Inzwischen sind von einem Teil derselben korrigierte Veröffentlichungen erschienen. Nach und nach möchte ich die authentischen Wortlaute (im Einverständnis mit der Rudolf Steiner Nachlassverwaltung) in den späteren Nummern der Mathematisch-Astronomischen Blätter bringen und damit an eine in den ersten vier Heften gepflegte Übung wieder anknüpfen.

G.U.