



Geschichte der Physik: Weltmodelle

Jörn Wilms

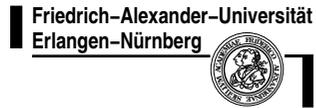
Sommersemester 2007

Büro: Dr. Karl Remeis-Sternwarte, Bamberg

Email: joern.wilms@sternwarte.uni-erlangen.de

Tel.: (0951) 95222-13

<http://astro.uni-tuebingen.de/~wilms/teach/geschichte>



Präkopernikanische Astronomie



Einführung

Zusammen mit der Theologie ist Astronomie eine der ältesten Berufe der Welt

En Hedu'anna (~2350 BC, Babylon): Tochter des Sargon, Mondpriesterin; erste namentlich bekannte "Astronomin"

Na und?

Astronomische Beobachtungen sind entscheidend an der Entwicklung unseres Verständnisses von unserer Stellung im Universum beteiligt.

Trotz radikalen Veränderungen in diesem Verständnis sind viele historische Gepflogenheiten heute immer noch vorhanden ⇒ Kulturgeschichte.

Ziel dieser zwei Doppelstunden ist es, die Entwicklung des astronomischen Weltbildes seit den Babyloniern bis nach der kopernikanischen "Revolution" aufzuzeichnen.



Vor Babylon, I



Vor Babylon: keine Aufzeichnungen bekannt

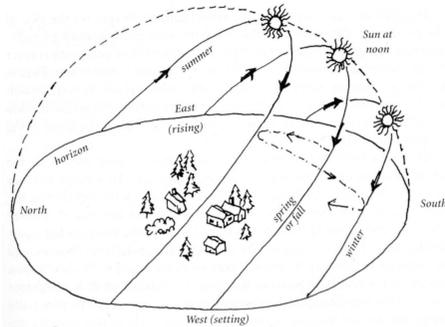
Aber: Himmelsbeobachtungen müssen schon immer eine Rolle gespielt haben!

"Adorant" aus dem Geißenklösterle bei Blaubeuren (Lkr. Ulm; 3.8 cm × 1.4 cm); Rückseite zeigt Einstiche, wird von manchen als Mondkalender interpretiert.



1-3

Vor Babylon, II



Was schon früh bekannt gewesen sein muß:

- Sterne, Sonne, Mond bewegen sich über den Himmel ("24 h")
- Unterschied zwischen Sonnentag und siderischem Tag
- Jahreszyklen (365.2465 Sonnentage)
- Mondzyklus (27.03–27.61 d)

⇒ Zyklen, Kalender (braucht Bruchrechnung!)

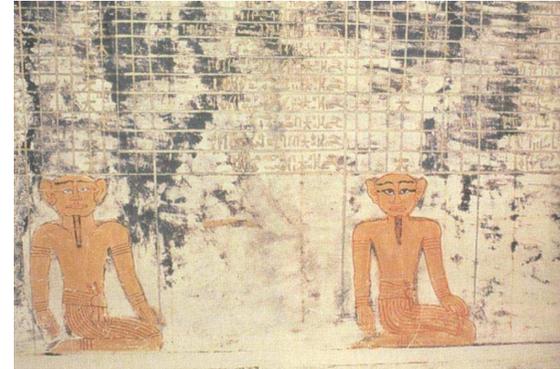
Vor Griechenland

2



1-5

Ägypten



Deckel eines ägyptischen Sargs mit zwei Astronomie-Assistenten, 2000... 1500 BC; Hieroglyphen listen Sterne auf, deren Aufgang den Beginn jeder Stunde in der Nacht beschreibt ("decans").

(Aveni, 1993, p. 42)

~2000 BC: 365 d Kalender (12×30 d plus 5 d extra), Start bei den Nilfluten (heliakaler Aufgang des Sirius), Sternuhren.

heliakaler Aufgang: erstes Erscheinen eines Sterns am östlichen Himmel bei Morgendämmerung.

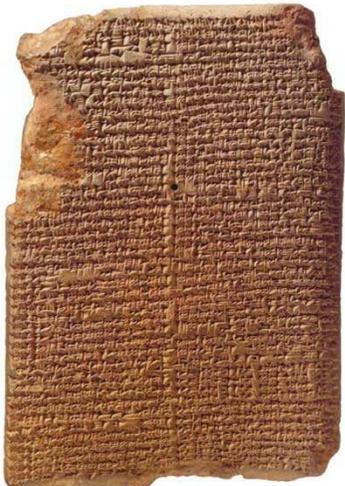
Vor Griechenland

4



1-4

Babylon



Babylon: Früheste astronomische Aufzeichnungen (~1800 BC), hat weiterhin großen Einfluß auf uns: ~360 d Jahr
⇒ Sexagesimalsystem [360:60:60], 24 h Tag, 12×30 d Kalender,...

Enuma Elish Mythos (~1100BC):
Universum als Platz einer Schlacht zwischen der Erde und dem Himmel, geboren von Himmelseltern

Beachte ähnlichen Mythos in der Genesis...

Bild: Mul.Apin Keilschrift (British Museum, BM 86378, 8 cm high), beschreibt den Auf- und Untergang der Konstellationen während des babylonischen Jahres.
Zusammenfassung des astronomischen Wissens mit Stand von ~690 BC.

Vor Griechenland

3



1-6

Frühes Griechenland



Frühe Griechische Astronomie: Sagen (Hesiod (730?–? BC), *Werke und Tage*). Konstellationen.

Thales (624–547 BC): Die Erde ist flach und von Wasser umgeben

Anaxagoras (500–428 BC): Die Erde ist flach und schwimmt im Nichts. Sterne sind weit weg und auf einer Kugel fixiert, die sich um uns dreht.
Mondfinsternisse werden durch den Schatten der Erde verursacht. Sonne ist glühendheiße Eisenkugel.

⇒ "Common sense" Astronomie

Atlas Farnese, 2c A.D., Museo Archeologico Nazionale, Napoli

Griechen

1

**Eudoxus, I**

Eudoxus (408–355 BC): Erstes echtes Modell für Planetenbewegungen!!

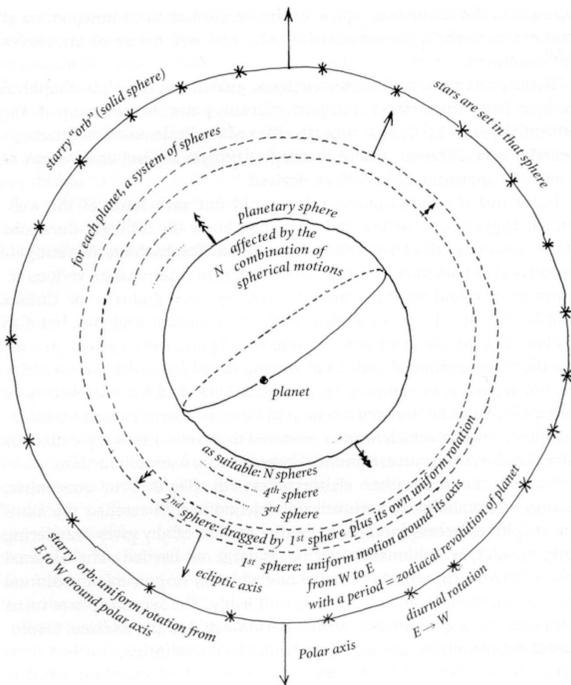
Versucht, die folgenden *beobachteten* Bewegungen zu beschreiben:

1. Am Himmel bewegt sich alles innerhalb von 24 h einmal von Ost nach West.
2. Mond, Sonne und Planeten bewegen sich vergleichsweise langsamer, d.h., gegenüber den Sternen langsam von West nach Ost.
3. "Retrograde Bewegung" (Problem für sehr lange Zeit!)

Dazu werden Systeme konzentrischer ("homozentrischer") Kugeln benutzt, die um das Zentrum der Erde rotieren.

Griechen

2



Prinzipien des Modells von Eudoxus:

- insgesamt 33 Kugeln
- Kugeln haben verschiedene Achsenrichtungen
- Kugeln haben verschiedene Rotationsgeschwindigkeiten
- Plato: "Rettet die Phänomene"

Letzterer Punkt kann nicht einfach mit diesem Modell erfüllt werden (Länge der Jahreszeiten, ...)

⇒ Eudoxus' Nachfolger fügten große Zahl von Hilfskreisen hinzu.

**Messungen**

In der Zeit der Bildung der Modelle werden auch erste Versuche unternommen, Größenskalen zu bestimmen:

Aristarch (310–230 BC): Bestimmung der Relativentfernung zwischen Mond und Sonne: Sonne ist $20\times$ weiter entfernt als der Mond.

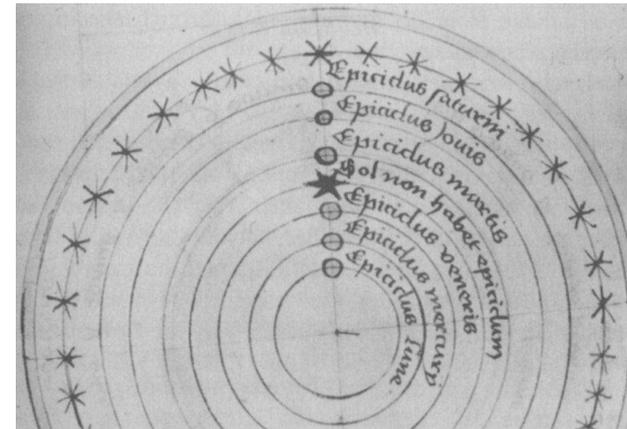
Wahrheit: $400\times$

Eratosthenes von Cyrene (276–196 BC): Erdradius: Abstandsmessung zwischen Cyrene (Assuan) und Alexandria, Erdumfang beträgt 250000 Stadien

Es ist nicht genau bekannt, wie lang ein Stadium ist.

Griechen

4

**Aristoteles, I**

Aristoteles (384–322 BC, *de caelo*): Verfeinerung des Modell des Eudoxus:

Kugeln, die glatte Bewegung ermöglichen
⇒ Das Universum ist mit kristallinen Kugeln gefüllt
(*Die Natur verabscheut das Vakuum*).

Äther in himmlischen Sphären versus Erde (alles fällt, aber Planeten und Sterne nicht!)

Sterne sind weit weg, da sie keine Parallaxen zeigen

⇒ Zentrale Philosophie bis ~1450AD!

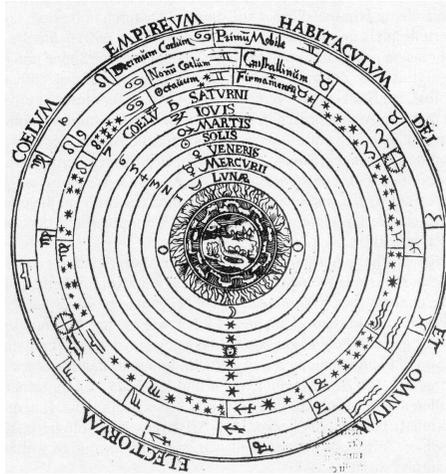
Griechen

5



Aristoteles, II

1-11



Griechen

6



Ptolemaeus

1-13

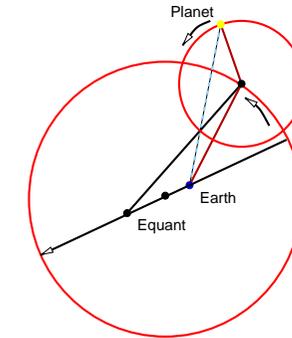


(Aveni, 1993, p. 58)

Ptolemaeus (~140AD): *Syntaxis* (auch *Almagest*): Weitere Verbesserung des Modells von Aristoteles, um Rechnungen durchführen zu können.

Grundlage der Astronomie bis Kopernikus.

⇒ Ptolemäisches System.



Griechen

8



Hipparcus

1-12

Hipparchus (?? – ~127 BC): Erster wirklicher Astronom (und nicht Naturphilosoph):

- Sternkatalog mit 850 Sternen
- Magnitudenskala
- Mondparallaxe
- Tabelle von "Sehnen" (=frühe Trigonometrie)
- Entdeckung der Präzession

Unterschied der Länge des siderischen und des tropischen Jahres [365.25 – 1/300 d vs. 365.25 + 1/400 d], durch Vergleich mit babylonischen Messungen

- Jahreszeiten sind ungleich lang
- geozentrischen Aristotelischen Modell in ein Werkzeug, um Vorhersagen zu machen (Epizykel).

Griechen

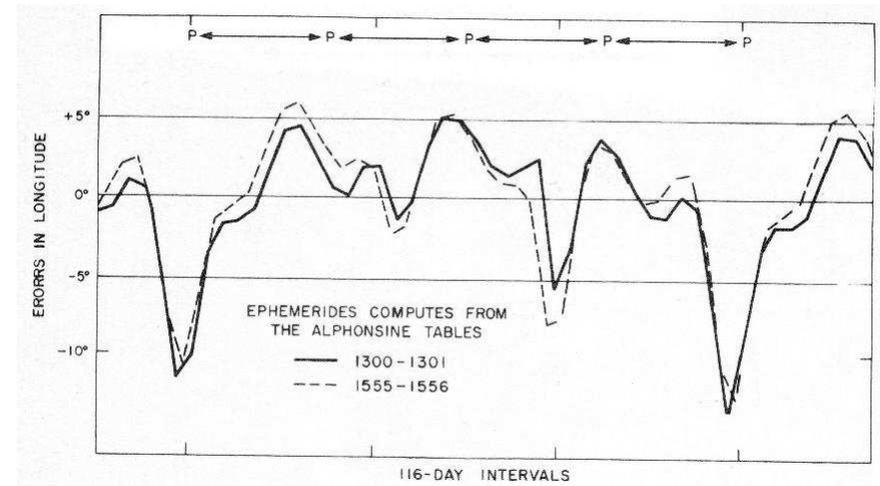
7



Nach Hipparcos endet die goldene Zeit der antiken Astronomie.

Griechische Werke werden in der Folge von den Arabern übernommen und weiter verfeinert.

Aristotelesche Philosophie bleibt Grundlage der Wissenschaft des Mittelalters und wird (in Europa) weniger hinterfragt als noch unter den Griechen.



Fehler in den ptolemäischen Alfonsinischen Tafeln (Merkurposition)



2-1

Die Kopernikanische "Revolution"



Copernicus

2-3



Nicolaus Copernicus (1473–1543):
Das geozentrische System ist zu kompliziert, ein heliozentrisches System ist eleganter.



Copernicus



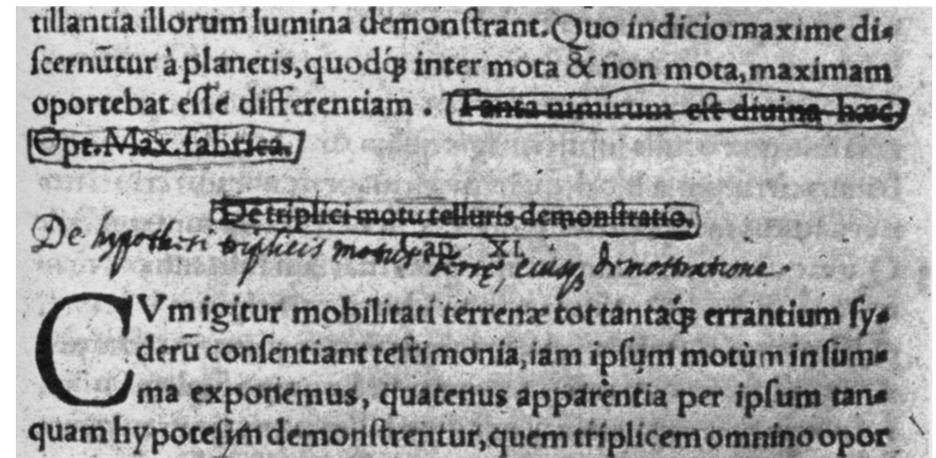
Nicolaus Copernicus (1473–1543):
Das geozentrische System ist zu kompliziert, ein heliozentrisches System ist eleganter:

De revolutionibus orbium coelestium: “Auf keine andere Art sehen wir die klare harmonische Beziehung zwischen den Bewegungen der Planeten und den Größen ihrer Bahnen [besser].”

Kopernikanisches Prinzip: Die Erde ist nicht im Zentrum des Universums.

(Gingerich, 1993, p. 165)

Copernicus



(Gingerich, 2005)

Das “zensierte” Exemplar Galileo Galileis

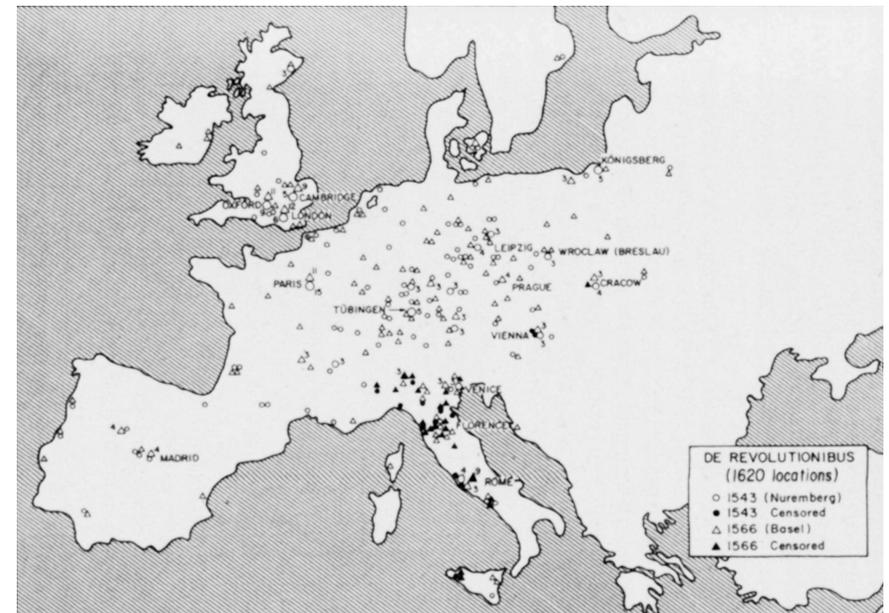
Ausgestrichen: “Wahrlich, so groß ist dieses erhabene Werk des besten und höchsten Gottes”

Geändert: “Von der Erklärung der dreifachen Bewegung der Erde”

⇒ “Über die Hypothese der dreifachen Bewegung der Erde”



Das “zensierte” Exemplar Galileo Galileis (Gingerich, 2005, Bibl. Florenz)



(Gingerich, 2005)

Verteilung der zensierten Exemplare des “De revolutionibus”

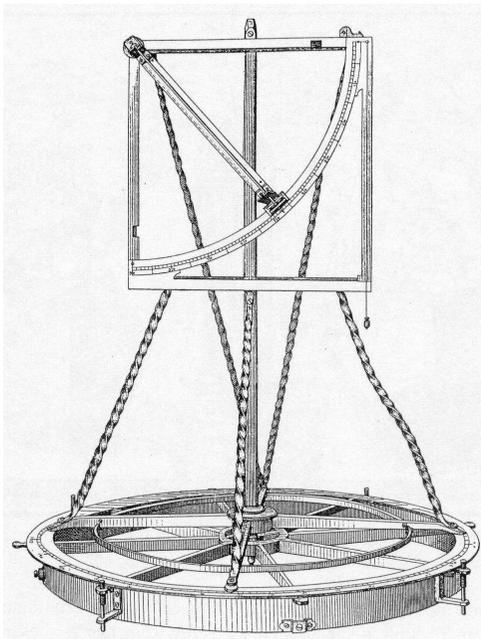


Brahe



Tycho Brahe (1546–1601): Visuelle Bestimmung der Planetenpositionen zeigt Fehler in den Ptolemäischen Vorhersagen auf.

Brahe



Azimutalquadrant der Sternwarte Kassel (~1560)

Übersetzung der lateinischen Texte auf dem Stich von Ricollì (von oben nach unten):

Dies diei eructat uerbu. . .	Der Tag des Tags (=der jüngste Tag) wirft das Wort von sich oder Der Tag der Tage speit das Wort aus.
. . . et nox nocti indicat scientiam	Und eine Nacht teilt der anderen das Wissen mit oder Die Nacht der Nächste zeigt die Wissenschaft
Finger an Hand Gottes: Numerus, Mensura, Ponderus	Weisheit Salomos (Apokryphe Schriften des Alten Testaments, Kapitel 11,21): "Aber du [Gott] hast alles nach Maß, Zahl und Gewicht geordnet" – Schöpfungstheologisch/kosmologische Kernstelle der Bibel
Videbo Caelos tuos, opera digitor tuor	Ich werde deine Himmel erkennen können, ich verteidige sehr würdig deine Werke oder ich werde deine Himmel sehen. . .
Non Inclinator in saeculum saeculi	Er wird mir in Ewigkeit keine andere (falsche) Richtung geben werden.
Erigo dum corrigar	Ich werde aufgerichtet/ermutigt werden indem ich verbessert werde
Ponderibus librata suis	Mit ihren Gewichten wird sie kräftig geschwungen oder Mit seinen Gewichten im Gleichgewicht gehalten.



Kepler



Johannes Kepler (1571–1630):

- 27.12.1571, Weil der Stadt
- Studium Tübingen bei Maestlin
- 1594–1600: Graz
- 1596: *Mysterium Cosmographicum*

Johannes Kepler



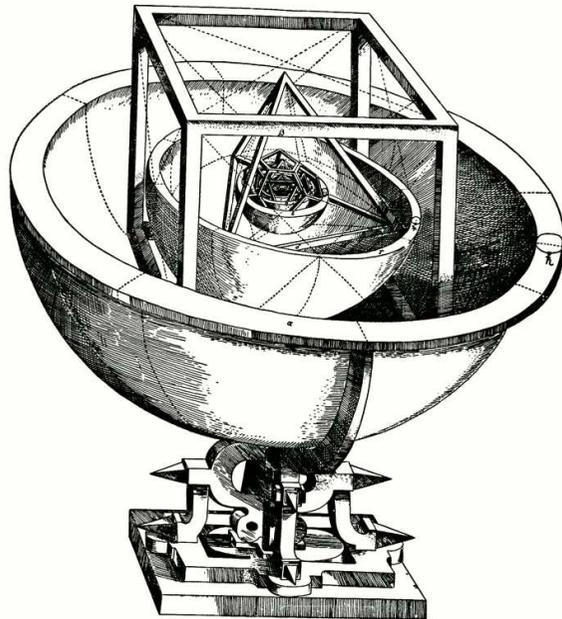
Kepler



Johannes Kepler (1571–1630):

- 27.12.1571, Weil der Stadt
- Studium Tübingen bei Maestlin
- 1594–1600: Graz
- 1596: *Mysterium Cosmographicum*
- 1600–1612: Prag, bei Brahe, Hofastrologe, Planetentheorie, Entdeckung der Supernova von 1604,...
- 1609: *Astronomia Nova*

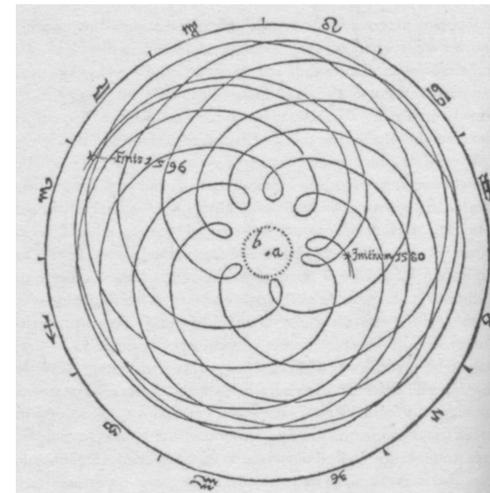
Johannes Kepler



Mysterium Cosmographicum (1596): Verteidigung des heliozentrischen Weltbildes aus philosophischer Sicht. Jeder Planet ist mit einem platonischen Körper verbunden.



Kepler

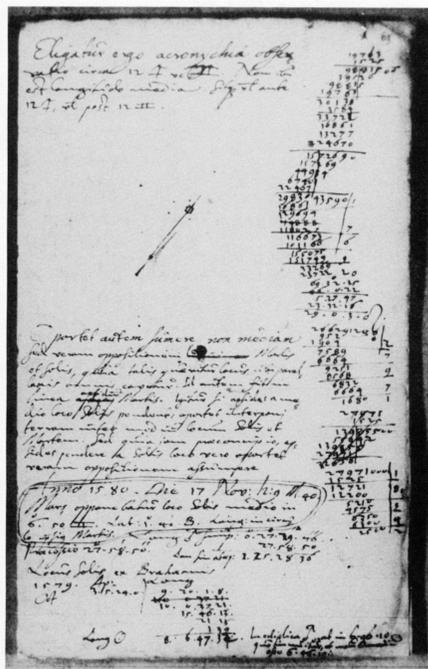


Keplers Theorie der Bahnbewegung: *Astronomia nova* (Prag, 1609)

Kritik an der Epizykeltheorie: "panis quadragesimalis" (Osterbrezel)
⇒ Unelegant!

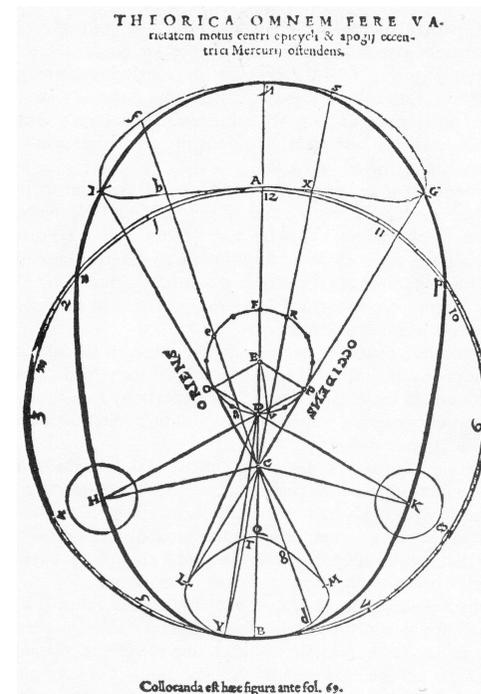
Astronomia Nova, Kapitel 1:
Bewegung des Mars in der Epizykeltheorie

Johannes Kepler



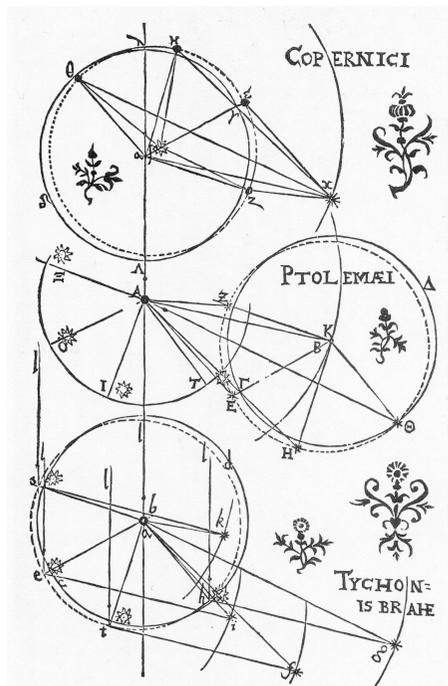
Keplers Notizbuch.
Zeichnung von Mars in Opposition
Umkreis: Eine der wenigen
Positionsmessungen von Brahe, die
Kepler verwenden durfte.

(Gingerich, 1993)



Kepler: Ovoide sind in der
Ptolemäischen Planetentheorie
schon sehr deutlich
(Verweis auf Peurbach's
Theoricae novae planetarium)
Georg Peurbach (1423–1461)

(Gingerich, 1993, Nachdruck von 1558)



Kepler: Eine Verformung der
Marsbahn in ein "Ovoid" ist in *allen*
angenommenen Weltmodelle
notwendig

(Gingerich, 1993)



2-17

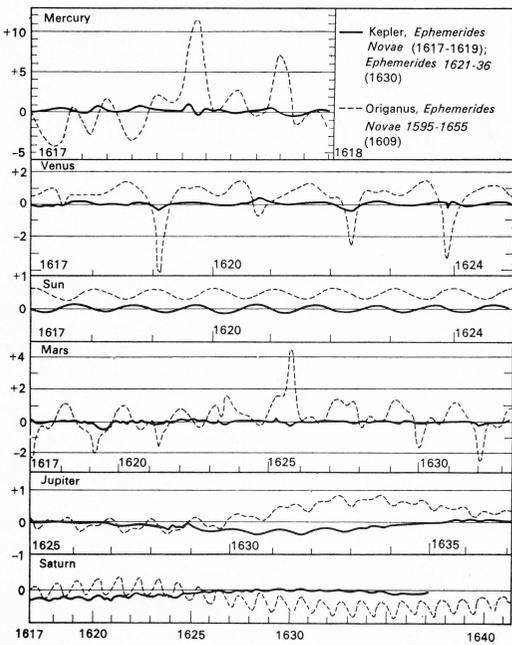
Kepler



Tabulae Rudolphinae, 1627
Genaueste Planetenpositionen
(Fehler nur noch ~5'!)

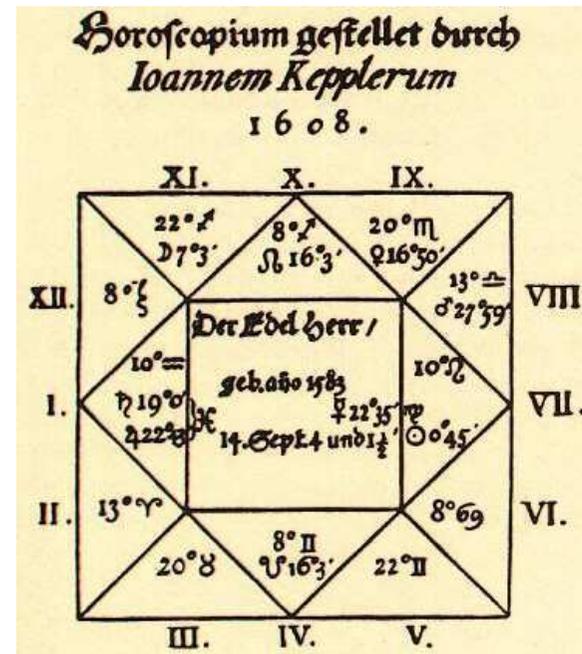
(Gingerich, 2005)

Johannes Kepler

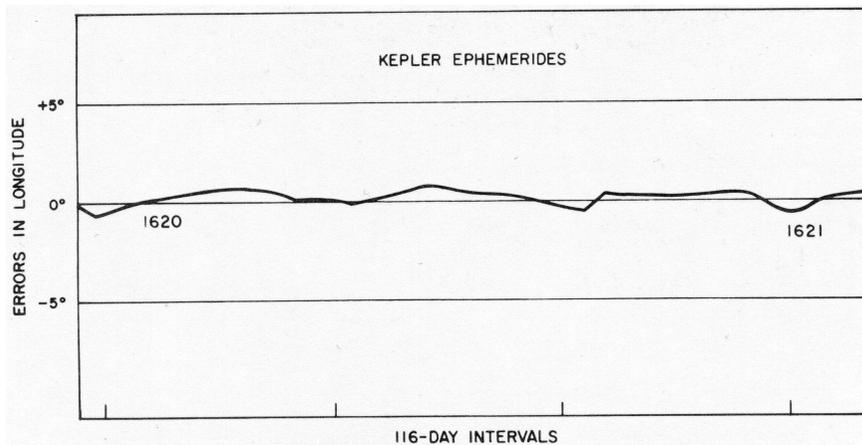


Vergleich der Positionen, Kepler vs. Kopernikanische Theorie
 ⇒ extreme Verbesserung!

(Gingerich, 1993)



Keplers Horoskop für Wallenstein (1628)



Genauigkeit der Rudolphinische Tafeln



2-21

Kepler



Johannes Kepler (1571–1630):

- 27.12.1571, Weil der Stadt
- Studium Tübingen bei Maestlin
- 1594–1600: Graz
- 1596: Mysterium Cosmographicum
- 1600–1612: Prag, bei Brahe, Hofastrologe, Planetentheorie, Entdeckung der Supernova von 1604,...
- 1609: Astronomia Nova
- 16.10.1630: gestorben in Regensburg



2-22

Galileo Galilei, I



Galileo Galilei (1564–1642): Teleskop
=> Beobachtungen!
=> Siderius Nuncius (1610)

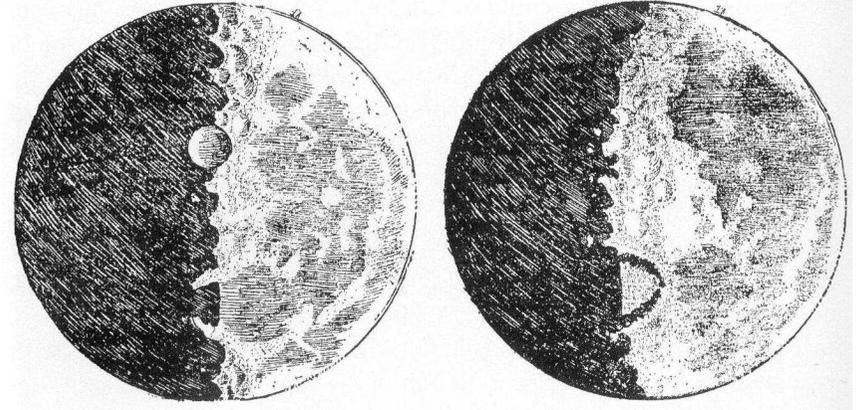
Galilei

1



2-24

Galileo Galilei, III



Der Mond hat Oberflächenmerkmale, Schatten, "wackelt" (Libration!).

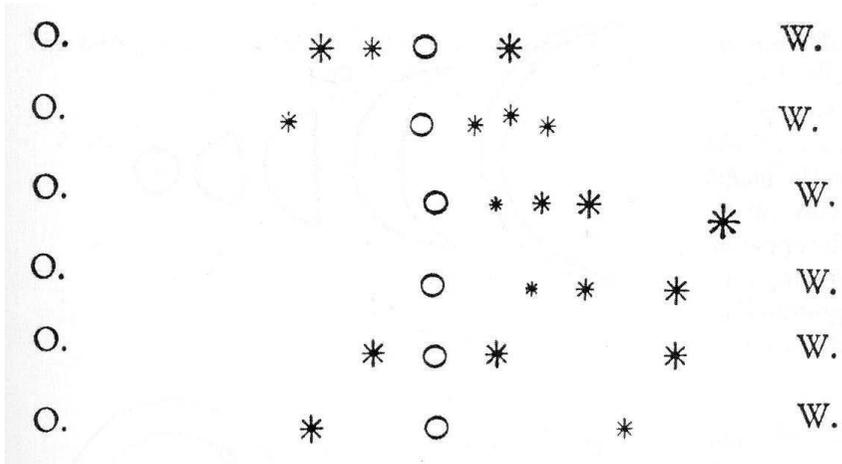
Galilei

3



2-23

Galileo Galilei, II



Die Monde des Jupiter bewegen sich um Jupiter
(=> ähnlich zum heliozentrischen Modell!)

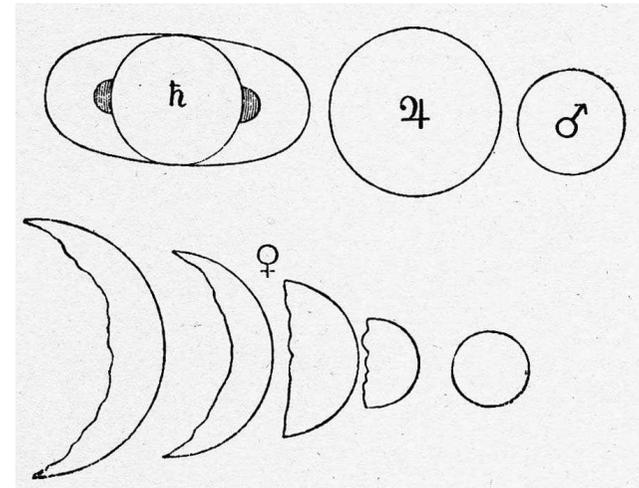
Galilei

2



2-25

Galileo Galilei, IV



Entdeckung der Venusphasen (Il Saggiatore, 1623)

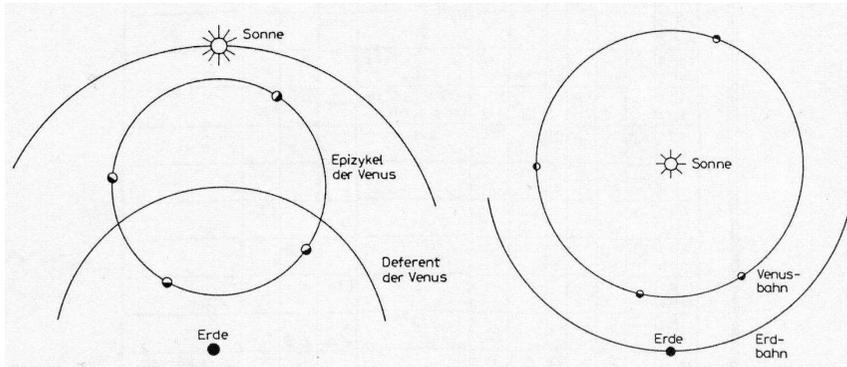
Galilei

4



2-26

Galileo Galilei, V



Die beobachtete Abfolge der Venusphasen ist nicht erklärbar durch das geozentrische Weltbild, nur durch das heliozentrische Weltbild

oder das tychonische!

Galilei

5

2-27

Gingerich, O., 1993, *The Eye of Heaven – Ptolemy, Copernicus, Kepler*, (New York: American Institute of Physics)

Gingerich, O., 2005, *The book nobody read*, (London: arrow books)

Newton, I., 1730, *Opticks*, Vol. 4th, (London: William Innys), reprint: Dover Publications, 1952



2-27

Newton



(Newton, 1730)

Isaac Newton (1642–1727):
Newton'sche Gesetze, die Gravitation ist die Ursache für die Bahnform der Planeten
(*De Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 1687).

⇒ Beginn der modernen, physikbasierten Astronomie.

Galilei

6