

1. Quellen
2. Geozentrische Weltbilder
 - 2.1 Heutige naive Vorstellung
 - 2.2 Epizykel
 - 2.3 Exzenter
 - 2.4 Untere Planeten
3. Heliozentrisch-geostationär
4. Heliozentrisch-heliostationär
5. Astronomische Tafeln



(Erfurt CA 2° 19, 78v)

Alfred Holl

Weltmodelle im Mittelalter

Vom geozentrischen
zum heliozentrischen Weltbild

1. Quellen

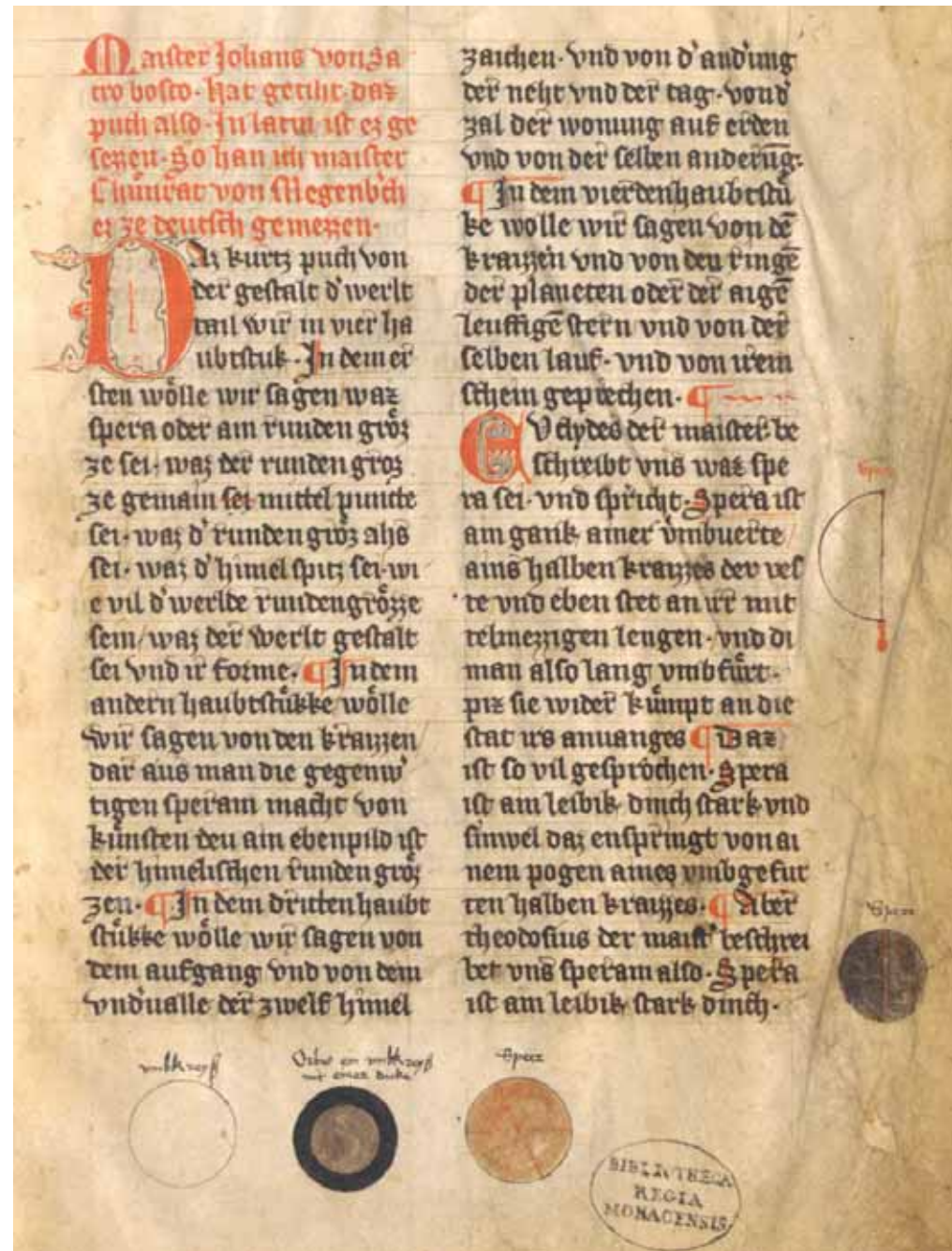
1.1 Deutsche *Sphära*

Konrad von Megenberg
(~1309-1374)

Deutsche *Sphära*
wahrscheinlich
zwischen 1340 und 1349
in Wien

Cgm 156, Cgm 328,
Graz II/470
ed. Matthaei 1912
ed. Brévar 1980

(*Deutsche Sphaera*, Cgm 156, 1r aus
Mai, Paul: Ausstellungskatalog, 2009, 155)



1. Quellen

1.1 Deutsche *Sphära*

Entstehung



(Cgm 156, 1r)

Quellen (alle basierend auf Ptolemaios):

Johannes von Sacrobosco (~1200-~1256)

Tractatus de sphaera materiali 1233

bis in 16. Jh. universitäre Astronomie-Einführung
(ed. Thorndyke 1949, Brévar 1980)

auf der Basis von

al-Fargani (~863), *De scientia astrorum*

übers. von Johannes Hispalensis (akt. 1135-1153)

(ed. Campani 1910, Carmody 1943)

al-Battani (-929), *Opus astronomicum / Zig*

übersetzt von Plato von Tivoli (aktiv 1134-1145)

(ed. Nallino 1903)

Kommentare zu Sacrobosco (z.B. Cecco d'Ascoli)

Puechlein von der Spera (~1375) (ed. Brévar 1979)

1. Quellen

1.2 Französische volkssprachliche Sphära

Nicole Oresme
(~1323-1382)

Traité de l'espère
(zwischen 1362 und 1377)
(ed. Myers 1940,
McCarthy 1943)

ebenfalls auf der Basis von
Johannes von Sacrobosco



Nicole Oresme mit Armillarsphäre (www.nicole-oresme.com)
(Bibliothèque Nationale, Paris, France, fonds français 565, fol. 1r)

1. Quellen

1.3 Autoren und Übersetzer

	Adelhard von Bath (-1142)	Gerhard von Cremona (-1187)	Plato von Tivoli / Tiburtinus (-1145)	Robert von Chester / Reading (-1150)	Johannes Hisp. / von Sevilla / Luna (-1153)	Wilhelmus Anglicus / Marsiliensis (~1231)	Robert Grosseteste (-1253)	Johannes von Sacrobosco (-1256)	Richard Wallingford (-1335): Trigonometrie	Johannes de Muris / Jean de Meurs (-1350)	Johannes Lineriis / Jean de Linières (-1355)	Konrad von Meigenberg (1309-1374)	Johann von Gmunden (-1442)	Johannes Müller / Regiomontanus (1436-1476)
<u>Euklid</u> (~300 v.Chr.): Elementa	~1130	X						E					E	
<u>Claudius Ptolemaios</u> (~165): Almagest		1175											E	Ü
<u>al-Khwarizmi/Alchorismus</u> (~850): Taf.	1126			X										
al-Khwarizmi: Algebra (820)		X		1145	X									
al-Khwarizmi: Liber ysagogarum (Arith.)	X							E						
<u>al-Fargani/Alfraganus</u> (~863): Sc.astr.		<1175			1137		E	E				E		E
<u>Thabit bin Qurra</u> (-901): Elem. astron.		X												
Thabit: De figura sectorae (< Almagest)		X												
Thabit: De anno solis		X												
<u>al-Nayrizi</u> (~922): Euklid-Komm.		X												
<u>al-Battani/Albategnius</u> (-929): Zig/Tafeln			X	X n.			E	E				E		1537N
<u>Abu'l-Qasim al-Madjriti</u> (-1007): Astrol..			X		X									
<u>al-Haytham/Alhacen</u> (~1020): Aspect.		X												
al-Haytham: De crepusculis (Lichtbrech.)		X												
<u>al-Biruni</u> (-1048): Komm. zu al-Fargani		?												
<u>al-Zarqali/Arzachel</u> (~1087): Tab. Tolet.		X Cur				X Bon			E	E	1322		E	E
al-Zarqali: Liber sapheae						~1231								
<u>Jabir ibn Aflah/Geber</u> (-1145): El. astron.		X												E
Jabir ibn Aflah: Almagestum parvum		X												

1. Quellen

1.4 Rezeption

Dieser vielschichtige, vernetzte, jahrhundertelange Prozess mit Übersetzungen, Rezeptionen und Weiterentwicklungen mündet zunächst bei **Regiomontan** (1436-1476) (Epitome in Ptolemaei almagestum, Venedig 1496, Trinity College Cambridge)

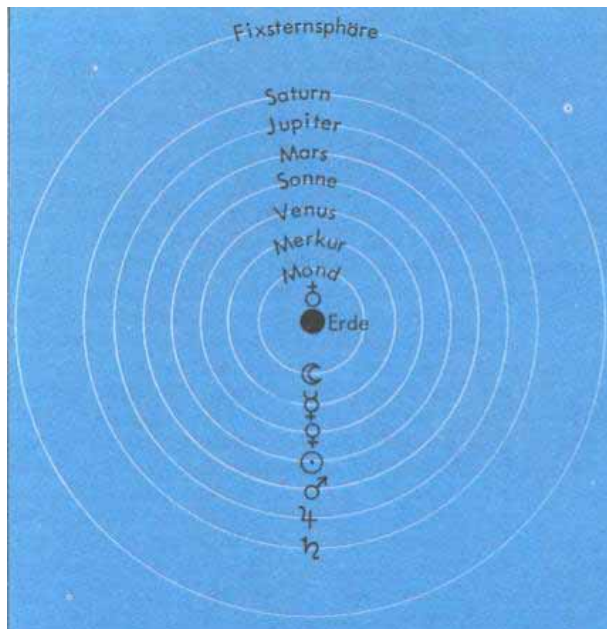
und wird dann weitergeführt bei Kopernikus, Galilei und Kepler.



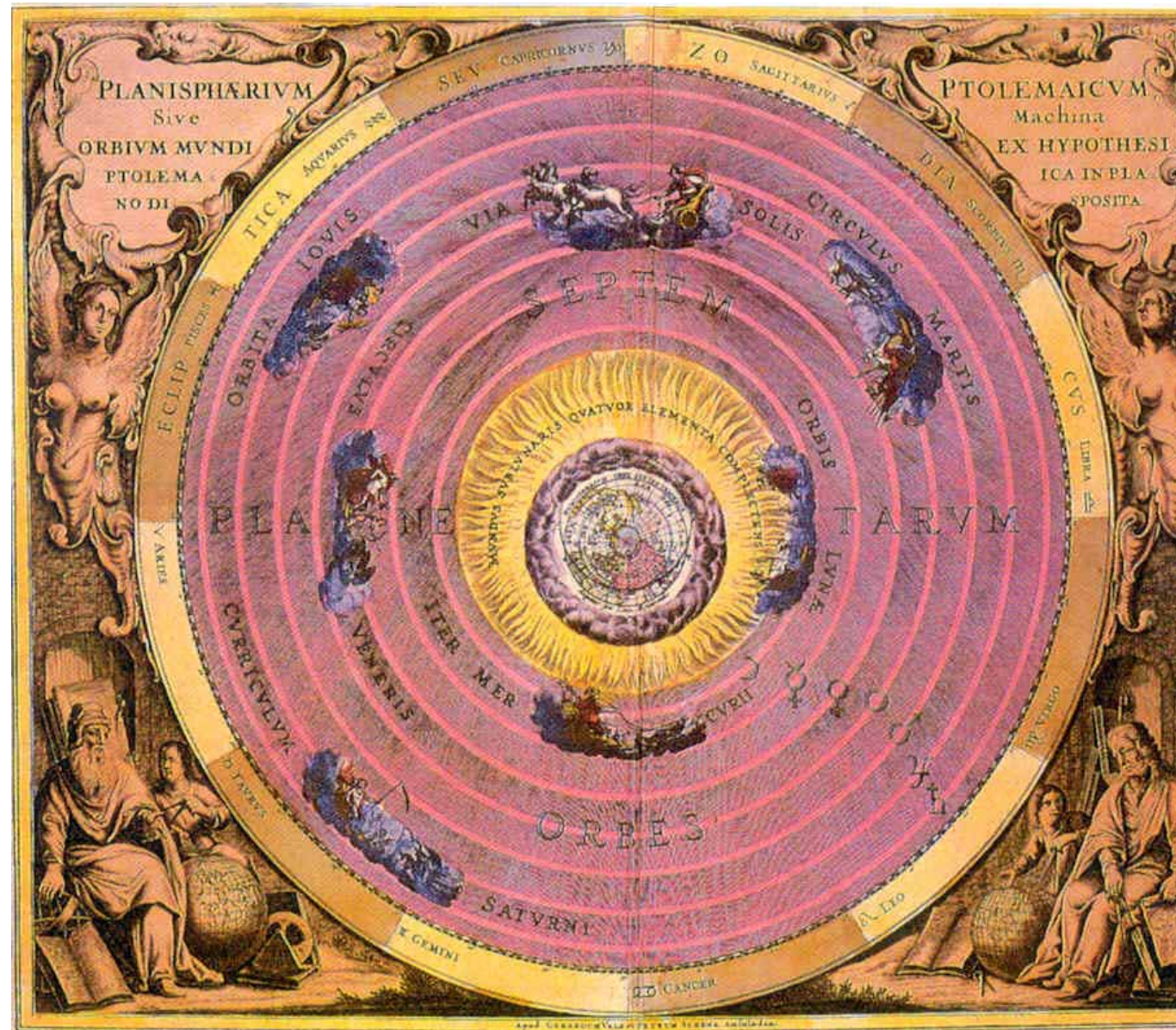
2. Geozentrisch(-geostationär)e Weltbilder

2.1 Heutige naive Vorstellung

(Kreisbahnen) gab es im MA wissenschaftlich so nicht



Ptolemäisches Modell des Sonnensystems
(dtv-Atlas Astronomie, 1987, 14)



Andreas Cellarius 1708 (BPK Berlin)

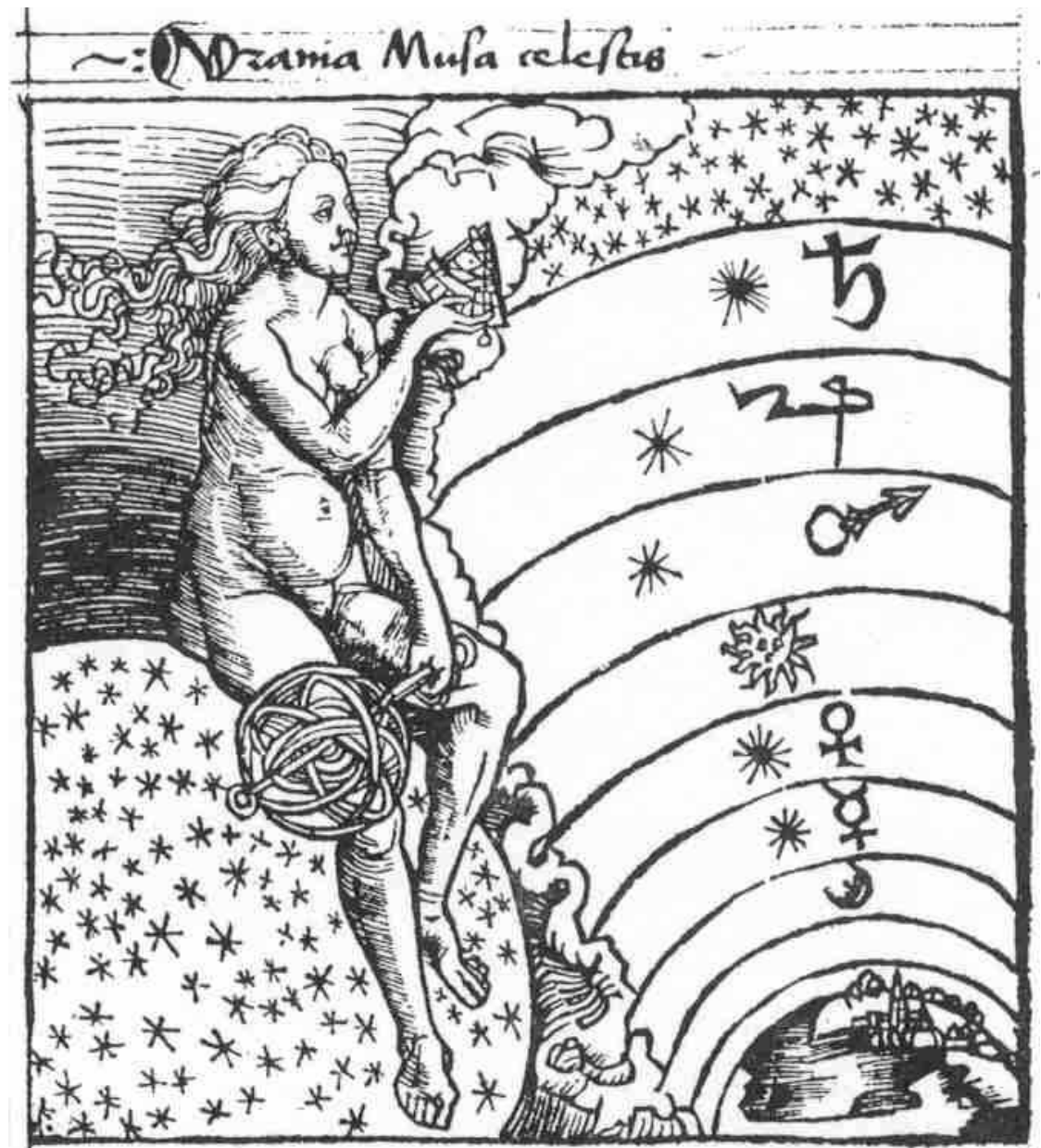
2. Geozentrische Weltbilder

2.2 Epizykel

Etwas wissenschaftlicher:
Schalen, in denen
sich die Planeten bewegten



Schedelsche Weltchronik, 1493
(AKG Berlin, Sign. Inc. 119, 5v)



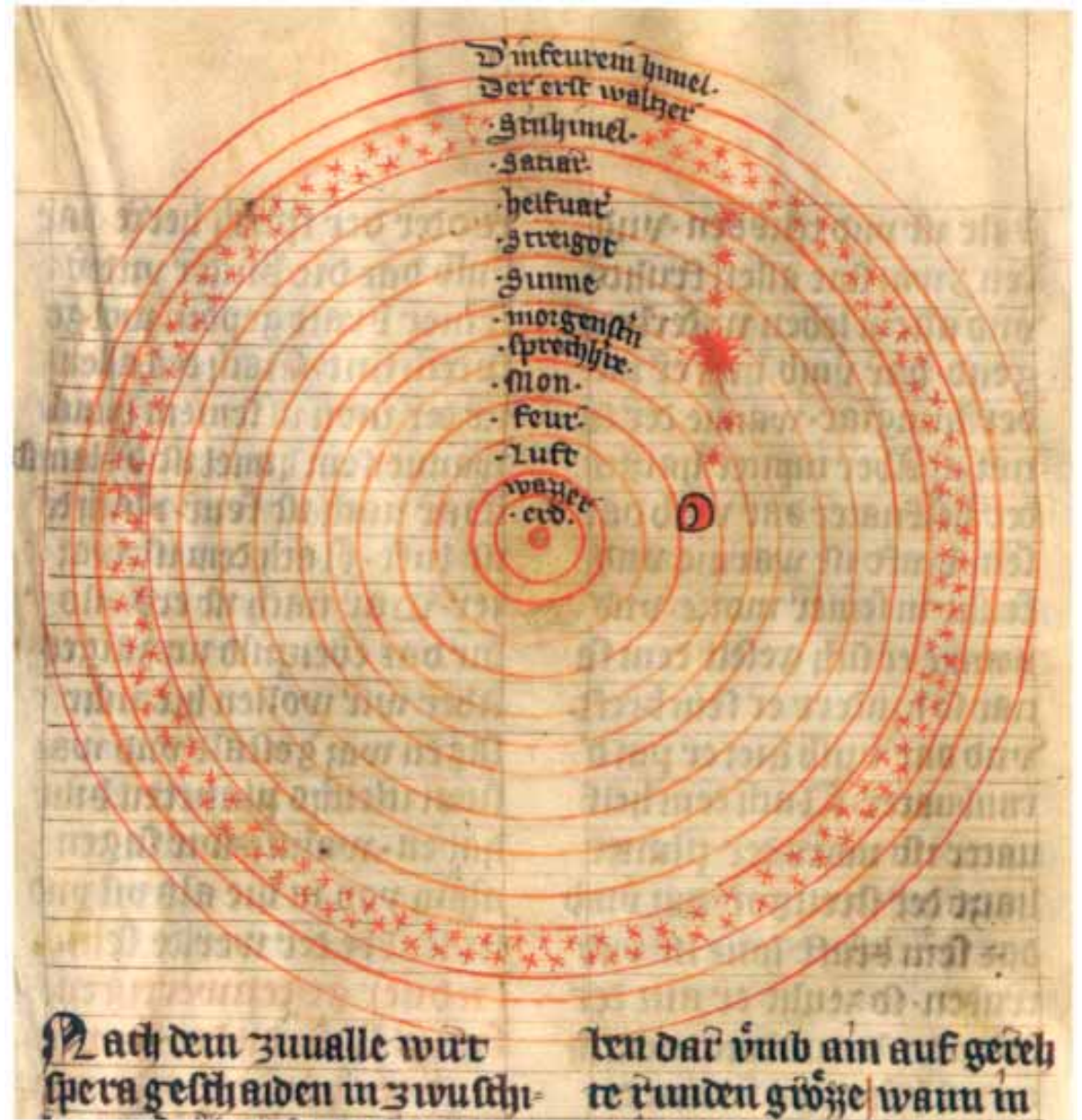
Konrad Heinfogel (Nürnberg), Bamberger Hauskalender, vor 1517
(Schottenloher, 1917)

2. Geozentrische Weltbilder

2.2 Epizykel

Etwas wissenschaftlicher:
Schalen, in denen
sich die Planeten bewegten

Ptolemaios, späteres Werk
Hypothesen der Planeten
Epizykel rotieren im Hohlraum
zwischen zwei konzentrischen
Kugelflächen
(dtv-Lex. Antike, Lit. 1, 209)



(*Deutsche Sphaera*, Cgm 156, 2v aus Mai, 2009, 155)

2. Geozentrische Weltbilder

2.2 Epizykel

Empirische Grundlage
des **Epizykelmodells**

Scheinbare
rückläufige Bewegung
von Planeten

3. Keplersches Gesetz

$T^2 : r^3 = \text{const}$ bzw. $v^2 r = \text{const}$

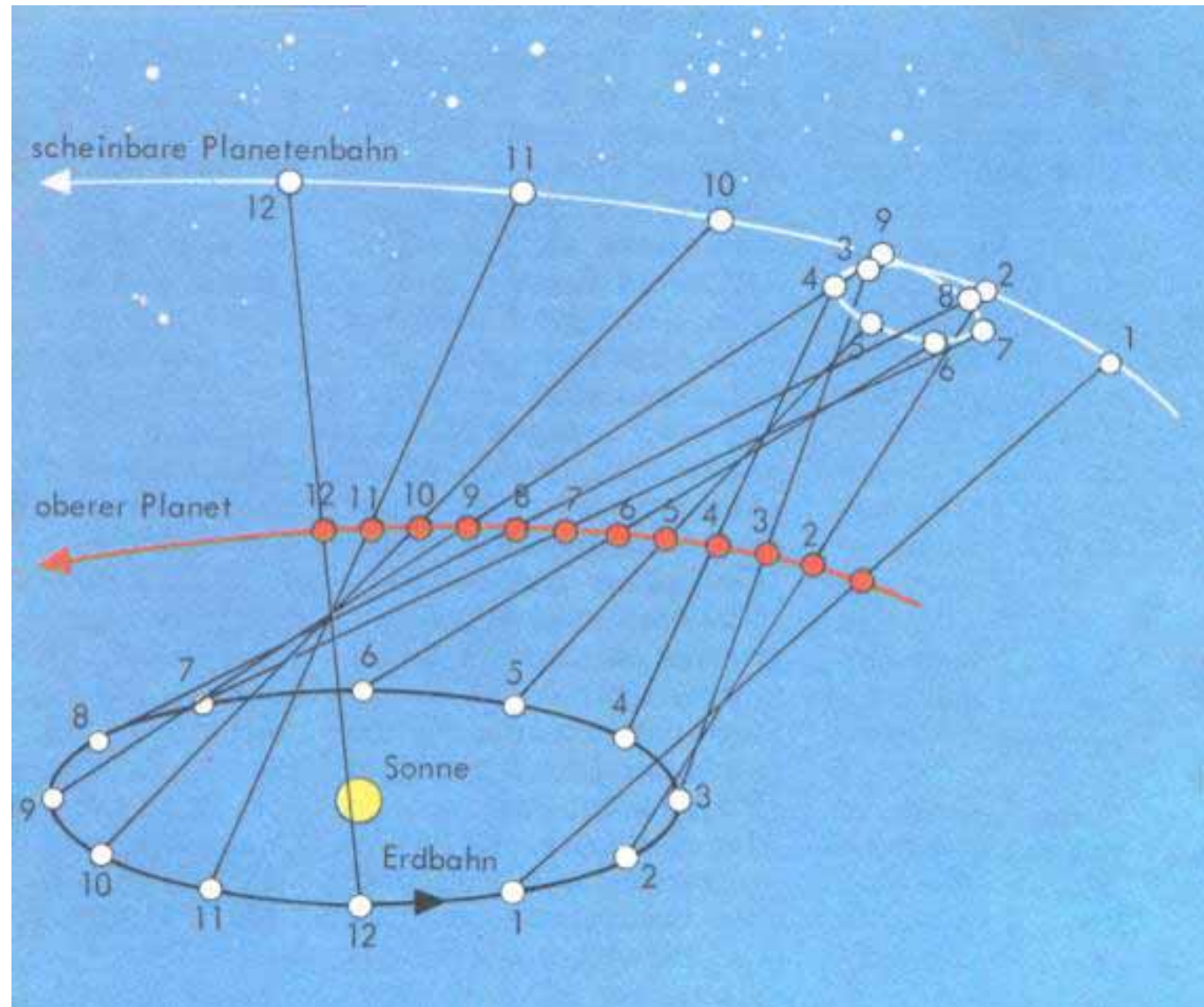
Beispiel:

$r' = 3 r$; d.h. $u' = 3 u$

$T' \approx 5 T$; Umlaufzeit

d.h. $\omega' \approx 0,2 \omega$; Winkelgeschw.

$v' \approx 0,6 v$ Bahngeschwindigkeit



Beobachtung: rückläufige Bewegung eines oberen Planeten
(dtv-Atlas Astronomie, 1987, 56)

2. Geozentrische Weltbilder

2.2 Epizykel

Epizykelmodell

Wissenschaftl. Vorstellung
seit Ptolemaios

Kugelschalen mit

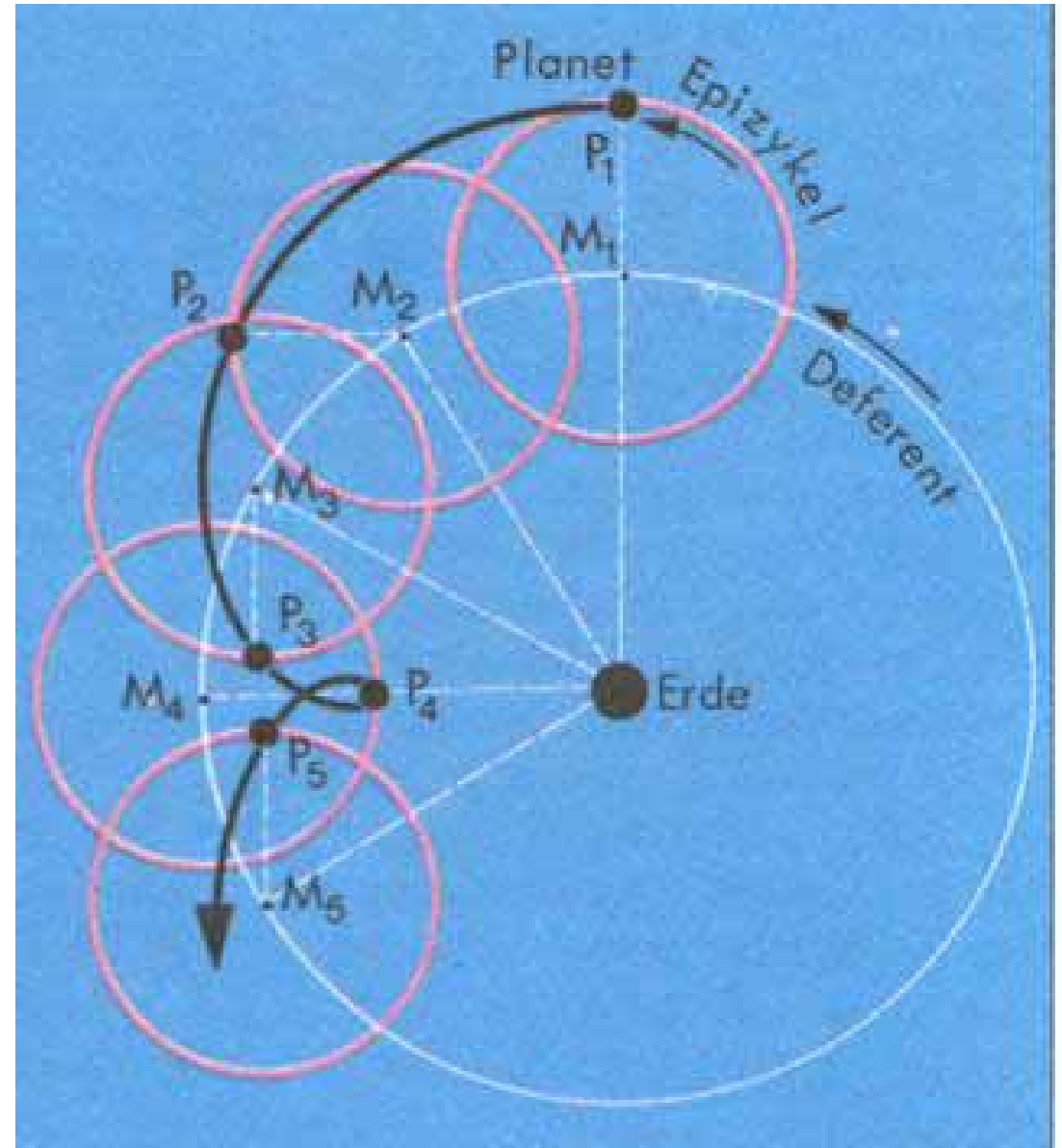
Deferent und **Epizykel**,

so auch

bei Konrad von Megenberg

(**fürer**, **überkraiz**) und

Johannes von Sacrobosco



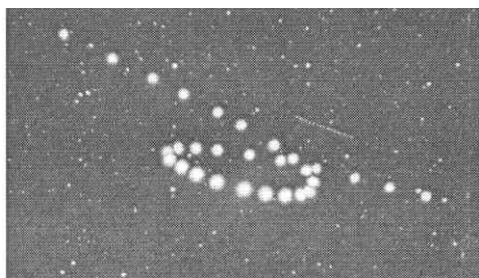
Ptolemäisches Modell des Sonnensystems: Epizykel
(dtv-Atlas Astronomie, 1987, 14)

2. Geozentrische Weltbilder

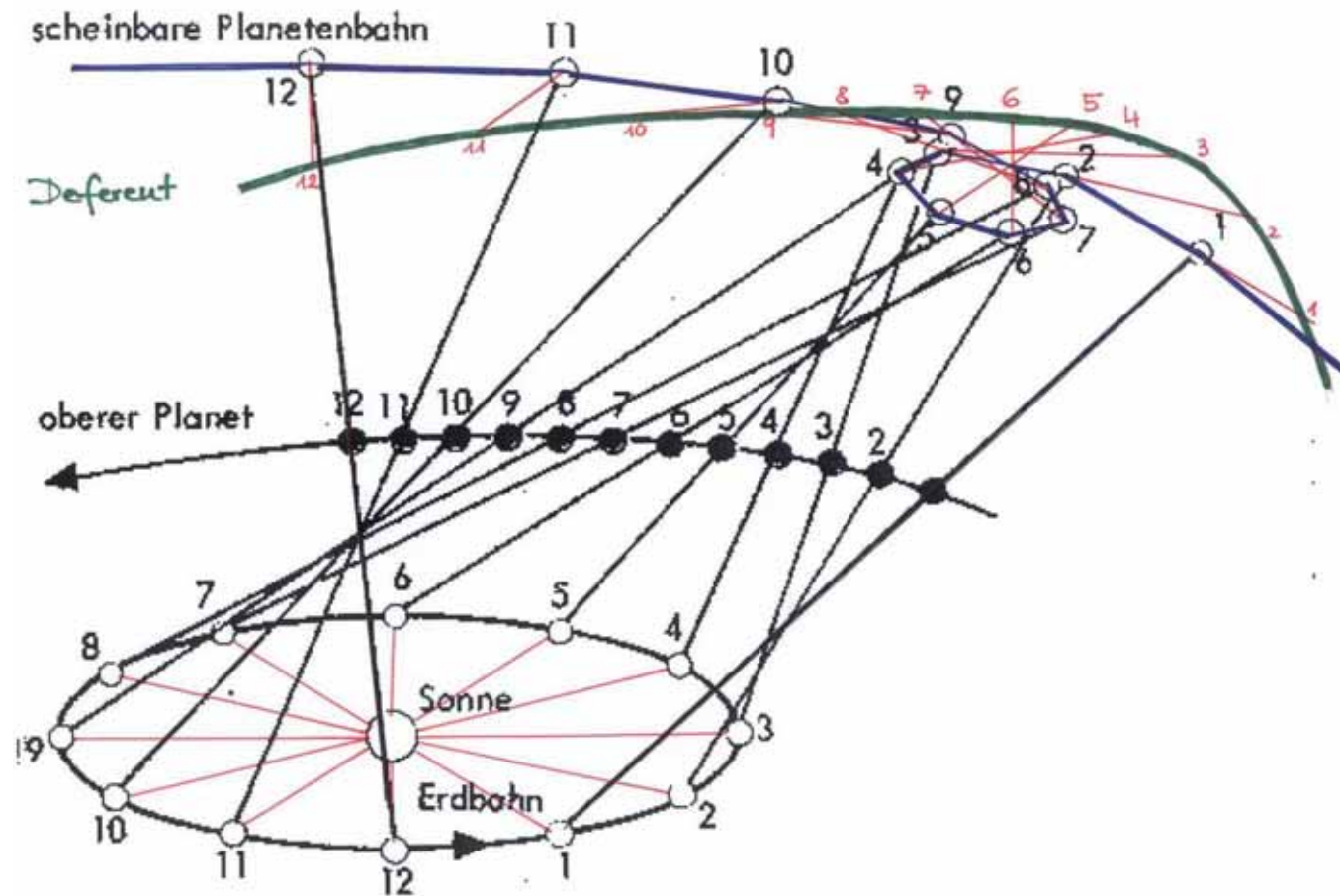
2.2 Epizykel

Zusammenhang von geozentrischen mit heliocentrischen Weltbildern

Epizykel oberer (und unterer) Planeten



(Komposit-Aufnahme
einer Oppositionsschleife des Mars)



Der Radius Epizykelmittelpunkt-Planet
ist parallel zum Radius Sonne-Erde.
D.h. **die scheinbare Epizykelbewegung
ist ein Abbild der Bewegung der Erde um die Sonne.**

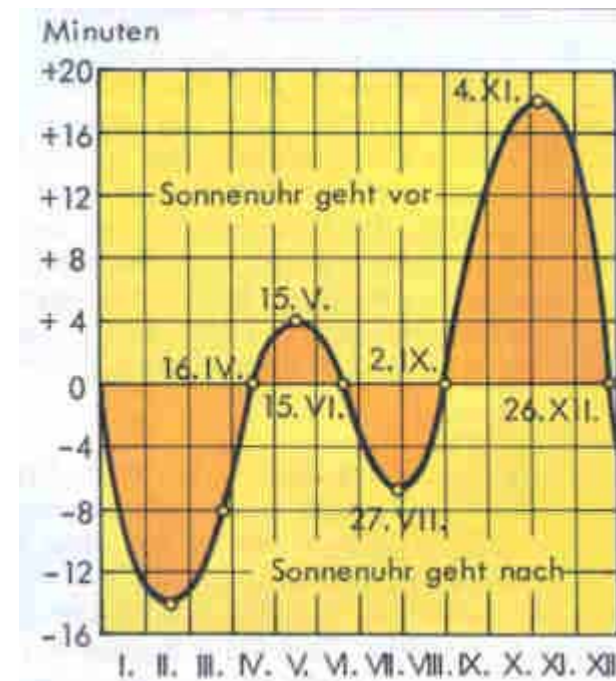
2. Geozentrische Weltbilder

2.3 Exzenter

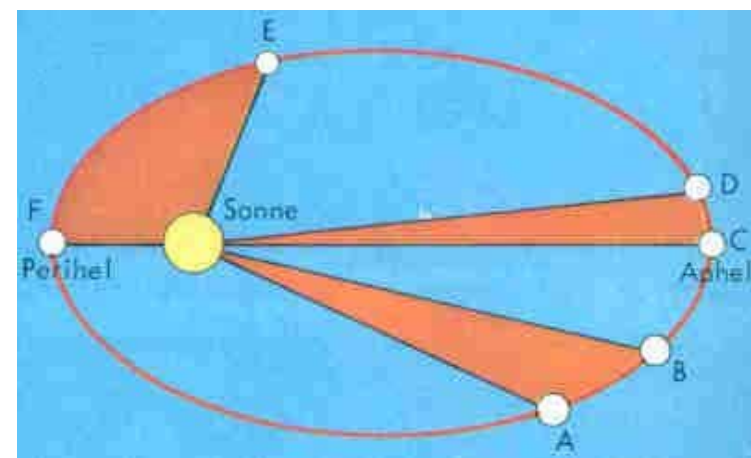
Empirische Grundlage
des **Exzentermodells**

**Wechselnde scheinbare
Geschwindigkeit** der
Sonnen- / Planetenbewegung
vor dem Fixsternhimmel

Heute:
Ellipsenbahnen und
2. Keplersches Gesetz
(Flächensatz)



Zeitgleichung: wahre vs. mittlere Sonnenzeit (dtv-Atlas, 1987, 48)

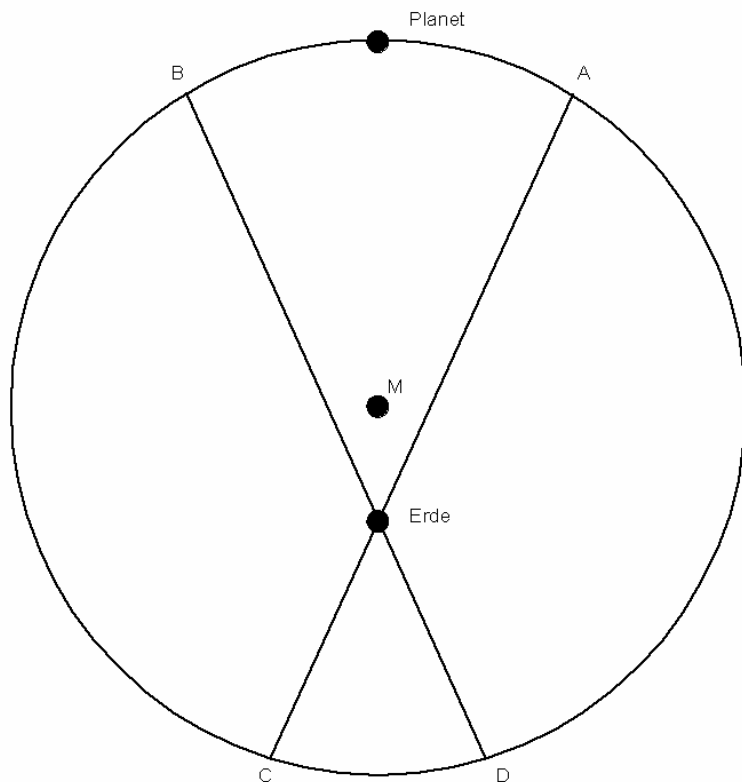


2. Keplersches Gesetz (dtv-Atlas Astronomie, 1987, 56)

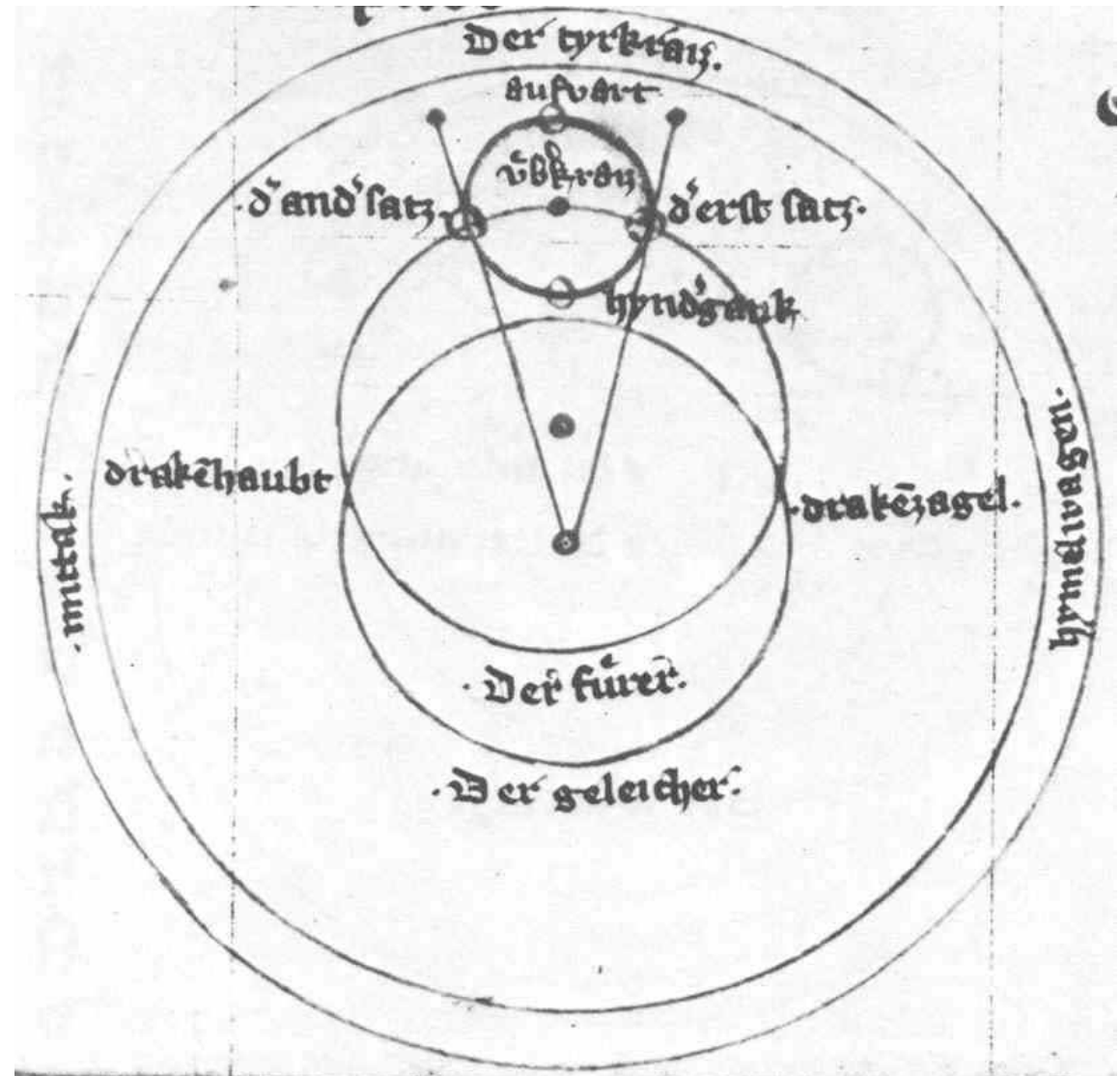
2. Geozentrische Weltbilder

2.3 Exzenter

Exzenter-Epizykelmodell ohne Äquant



Gleichförmige Bewegung
auf Kreis mit Mittelpunkt außerhalb der Erde

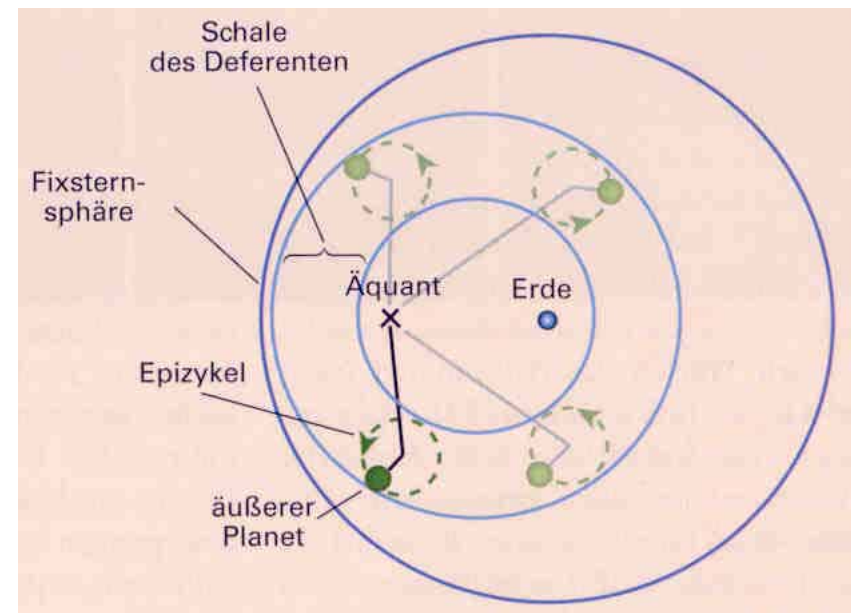


(Deutsche Sphaera, Cgm 156, 29r aus Brévart 1980, 162)

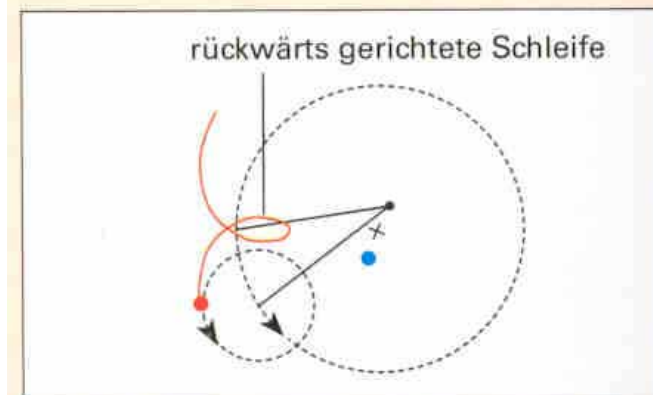
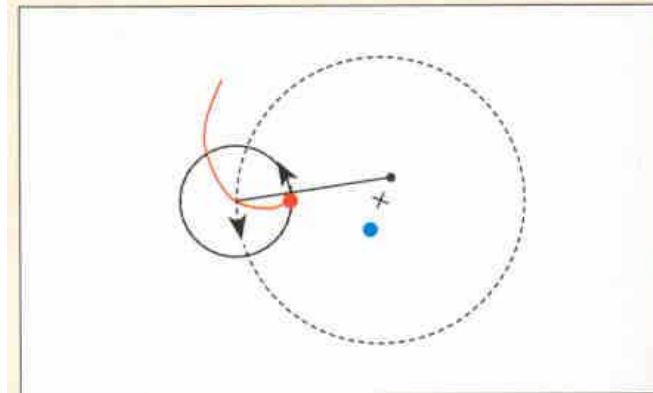
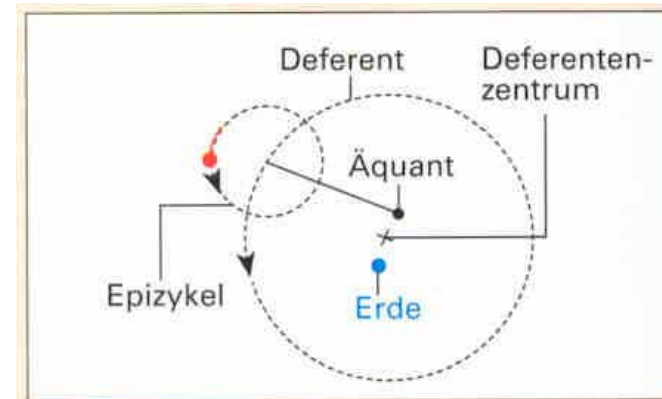
2. Geozentrische Weltbilder

2.3 Exzenter

Exzenter-Epizykelmodell mit Äquant



(SdW Doss. Astronomie vor Galilei, 59)



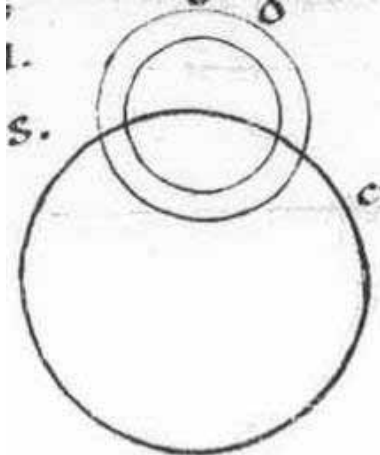
(SdW Dossier 4/2006 Astronomie vor Galilei, 44)

2. Geozentrische Weltbilder

2.4 Untere Planeten

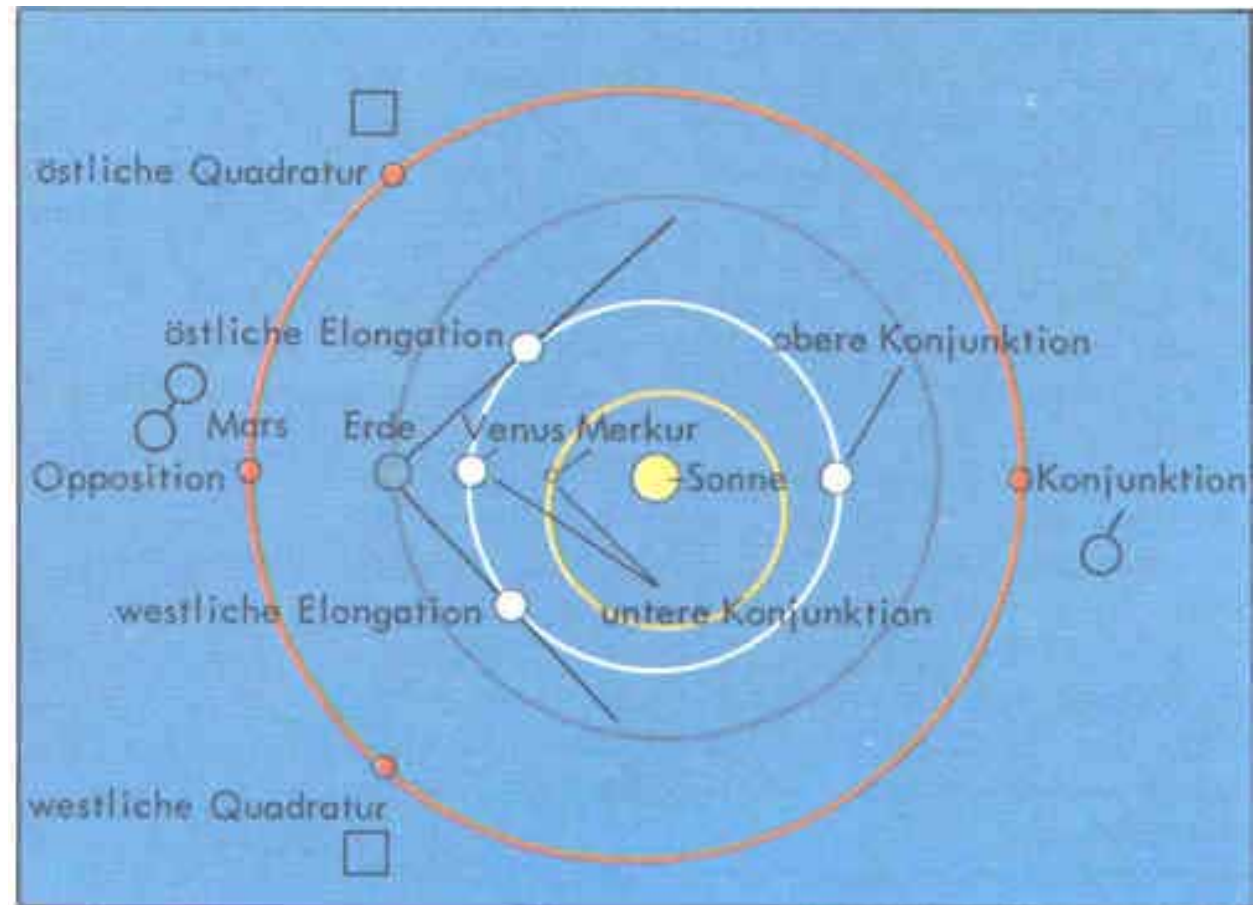
Ihre Epizykel als Schlüssel für das heliozentrische Weltbild

Epicycli 10 grad^o & 3 m^ol^o estat de motibus
Mercurius aut & uen^o mercurii & uen^os
incentro tm motu comune cu sole cun^o
Inepicyclis u^o circa ipsu. Mercuri quide 3
gd^o & 6 m^ol^o & 3 sed^o cui^o epicycli diametru
& 1 grad^o estat Ven^o aut 3 m^ol^o in die p
ficiunt cui^o epicycli diametru 8 grad^o &
30 m^ol^o habet hoc m.



(Clm 13021, 31r, Präfening ~1165)

al-Khwarizmi, *Liber ysagogarum* (Quadrivium):
„Mercurius autem et Venus in ecentrico tamen
motum communem cum sole conficiunt [?]
in epicyclis vero circa ipsum.“ (9. Jh.)



Konstellationen (dtv-Atlas Astronomie, 1987, 54)

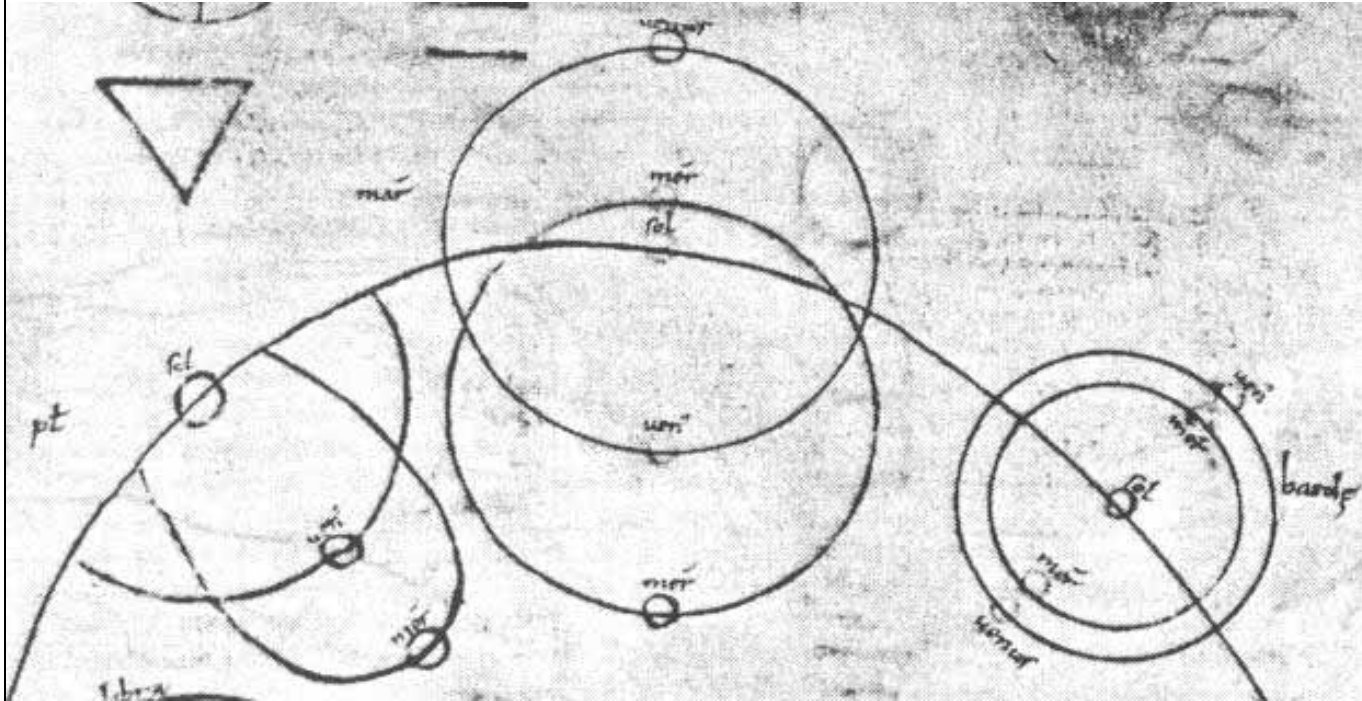
2. Geozentrische Weltbilder

2.4 Untere Planeten

Martianus Capella (5. Jh.)

*De nuptiis Mercurii et
Philologiae VIII, 857*

„Venus Mercuriusque: ... eorum circuli terras omnino non ambiunt, sed **circa solem** laxiore ambitu circulantur. Denique circulorum suorum **centron in sole** constituunt, ita ut supra ipsum aliquando, intra plerumque propinquiores terris ferantur ... Sed cum **supra solem** sunt, **propinquior** est terris **Mercurius**, cum **intra solem**, **Venus**, utpote quae orbe vastiore diffusioreque curvetur.“

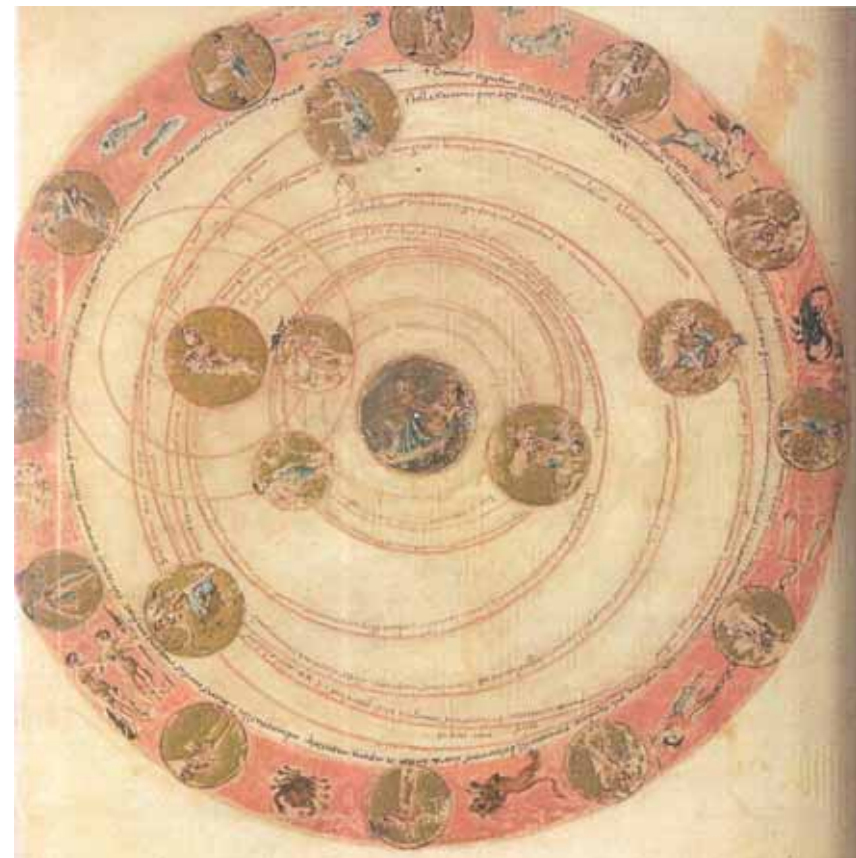


Zeichnung zu den Bahnen von Merkur und Venus
im Anhang eines Martianus-Manuskripts aus dem 9. Jh. in Leiden,
die Beda zugeschrieben wird
(Leiden Ms. BPL 36, 129r
aus Bischoff, B. et al., Aratea, 1989, Abb. 36)

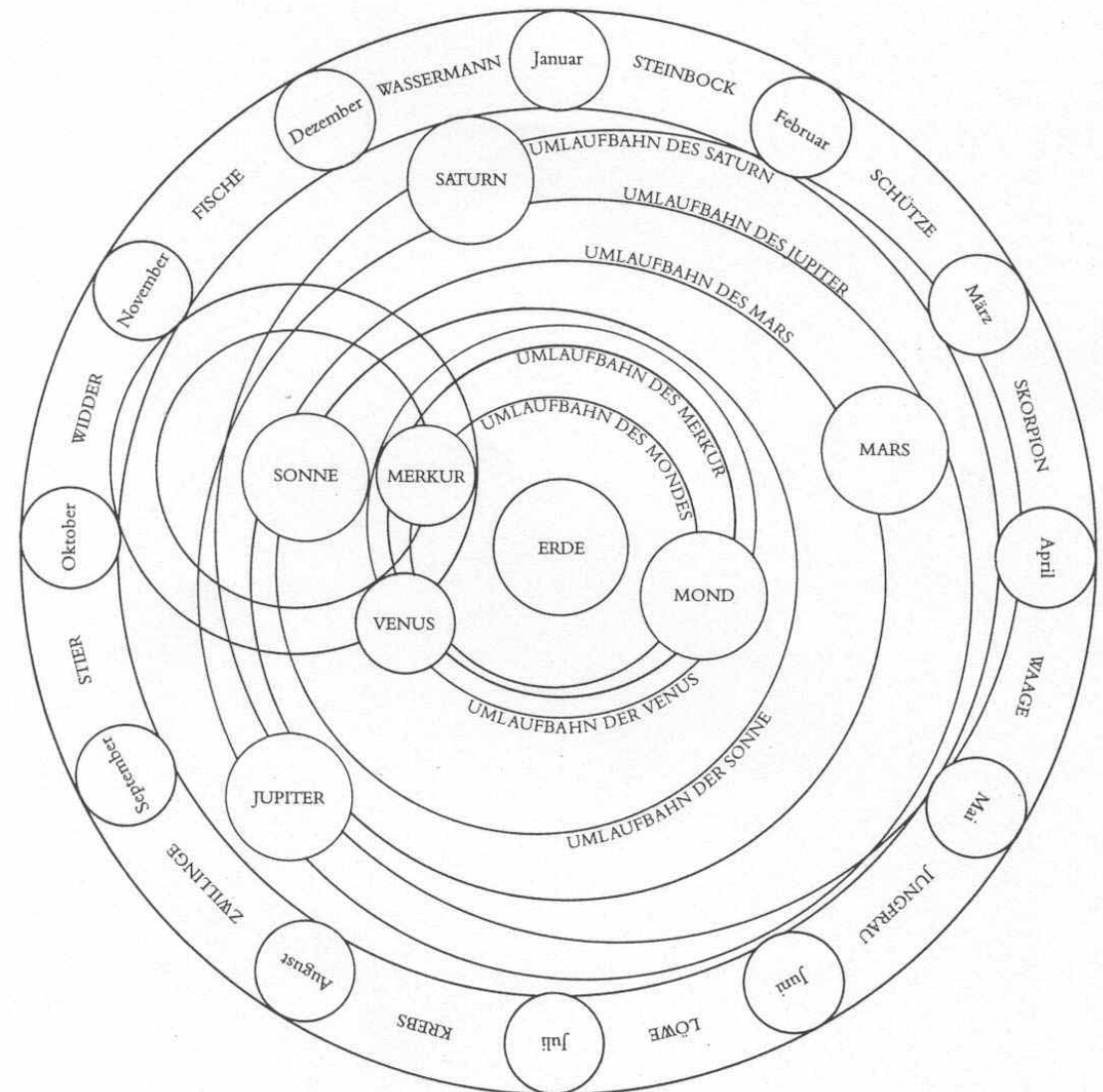
2.4 Untere Planeten

Aratos, Phainomena (3.Jh.v.Chr.)

Lehrgedicht; im Text nichts,
nur spätere Illustrationen (hier
zu einer lat. Übersetzung)



(Leiden, Ms. Voss. Lat. Q. 79, 93v., 9.Jh.)



33 Planetenstellung am 28. März 579.
(Zeichnung nach fol. 93v des Ms. Voss. Lat. Q.79)

28. März 579 (Bischoff, B. et al., Aratea, 1989, Abb. 33)

2. Geozentrische Weltbilder

2.4 Untere Planeten

Cicero Somnium Scipionis:
„solem ut **comites** consequuntur“
(*Rep.* VI, 17)

Dazu
Macrobius-Kommentar (~400)
(*Saturnalia* Sectio XVII, XIX):
„Mercurialis et Venerius orbis, pari
ambitu [id est anno plus minusve]
comitati solem, viae eius tamquam
satellites obsequuntur.

Scipios Vater und Großvater zeigen ihm
die sieben Sphären und die Milchstraße
Bologna MS Canon.Class. Lat. 257, 1v;
1383
(Edson, 2005, 24)



2. Geozentrische Weltbilder

2.4 Untere Planeten

Griechische Antike

Platon (427-347 v.Chr.): *Timaios* 38 d

Mond auf der ersten Bahn über der Erde,

Sonne auf der **zweiten**

Merkur und Venus haben der Sonne **gleiche Kreise**

Sonne, Merkur, Venus **überholen sich gegenseitig**

Von den Astronomen

(Herakleides Pontikos, Aristarch von Samos)

der griechischen Antike

fehlen genaue Überlieferungen.

3. Heliozentrisch-geostationäres Übergangsweltbild

mit den von Galilei (1564-1642) 1610 entdeckten Jupitermonden

Tycho Brahe (1546-1601),
Lehrer Keplers (1571-1630)
in Prag

Zu Beginn der Neuzeit:
Heliozentrisch-heliostationäres
Weltbild des Kopernikus
(1473-1543, noch Kreisbahnen
mit Epizykeln)
setzt sich nur langsam durch.

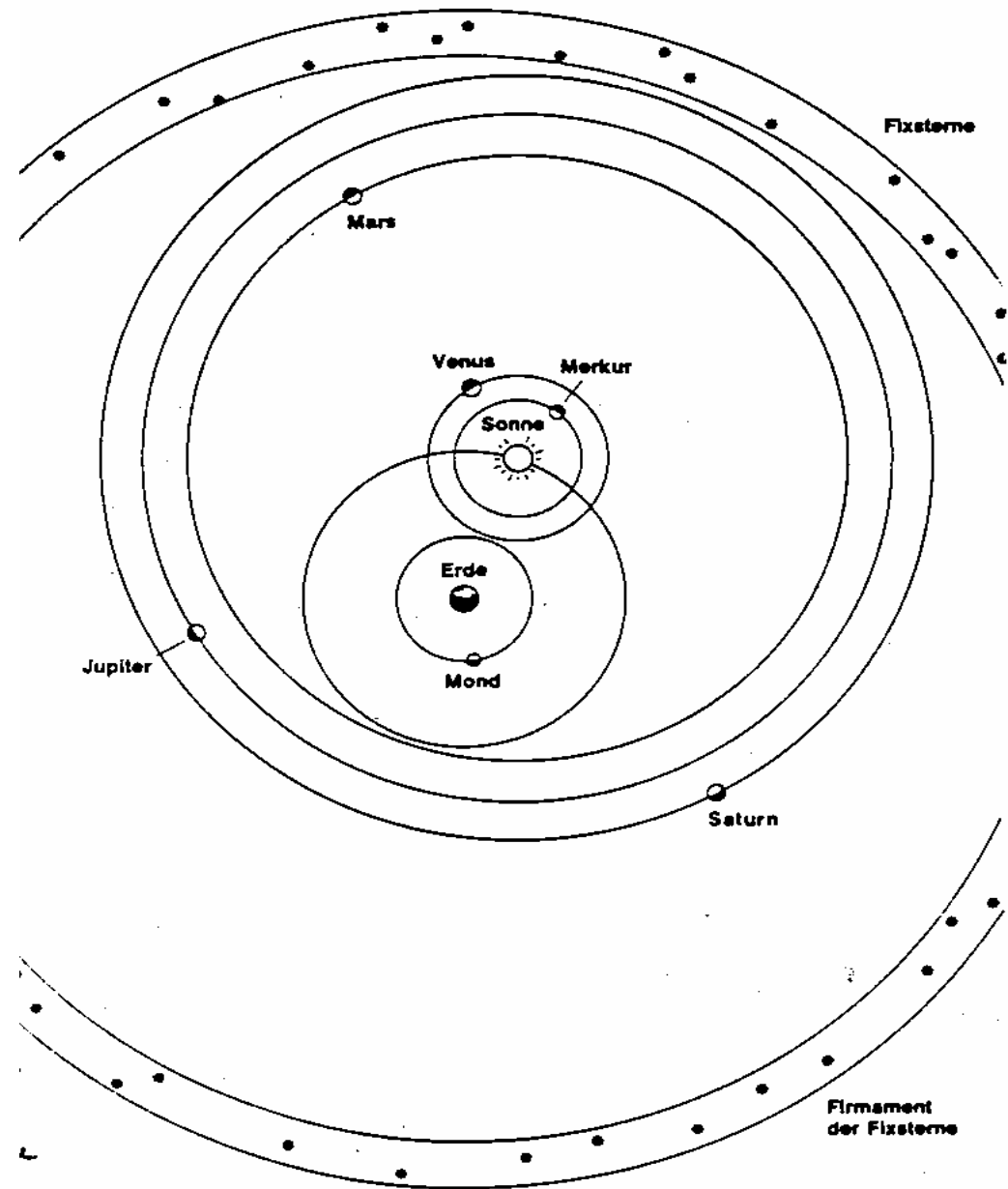


Planispharium Braheum sive structura mundi totius ex hypothesi
Tychonis Brahei in plano delineata
(Museo Nacional del Virreinato, früheres Jesuitenkolleg
San Francisco Xavier, Tepotzotlán, México)

3. Heliozentrisch-geostationäres Übergangsweltbild

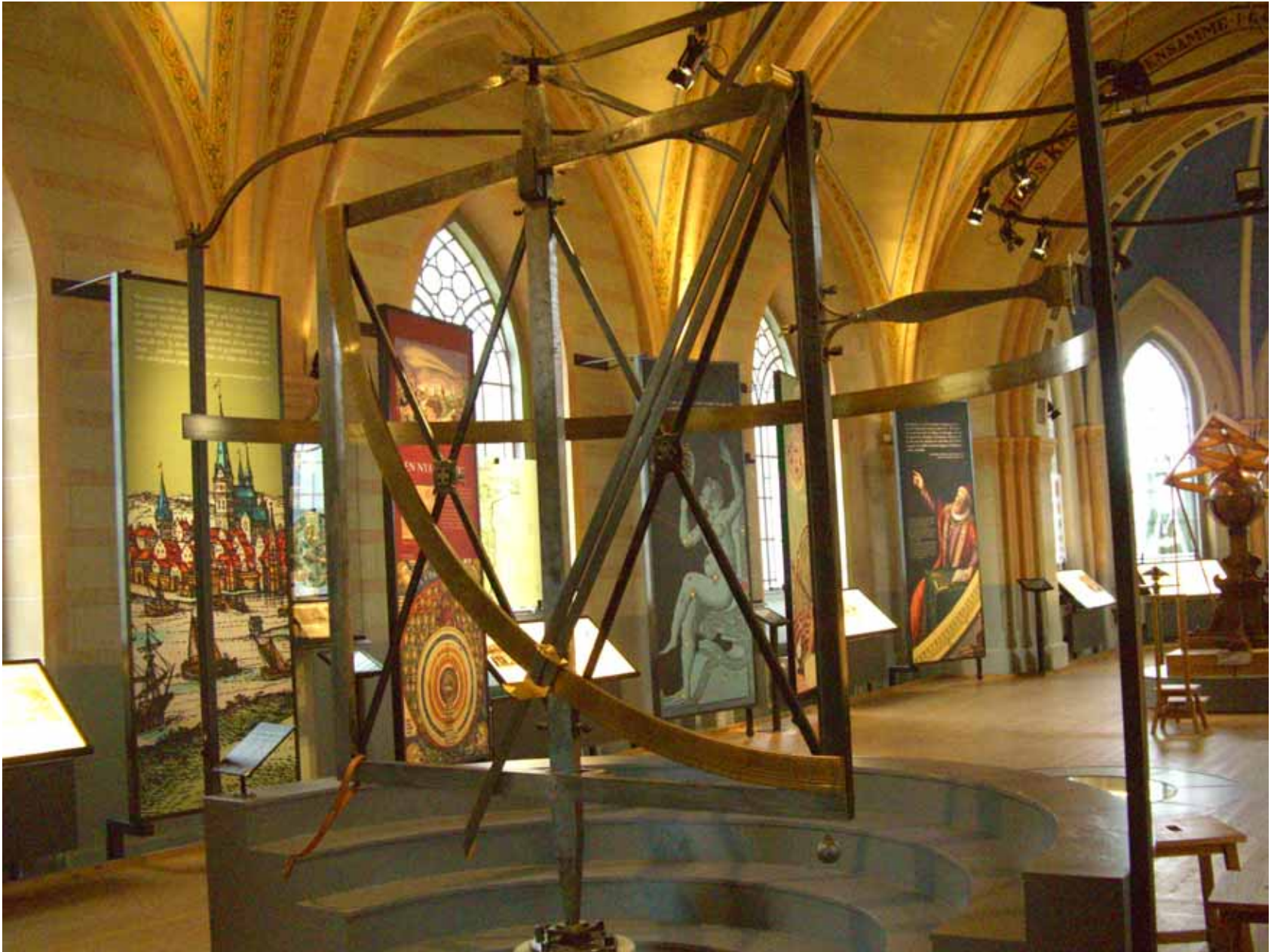
nach dem **ägyptischen System**
(Alexandria)
des **Aristarch von Samos**
(~310-~250 v. Chr.)
(→ Kopernikus, Tycho)

formal mathematisch richtig
(aber nicht elegant)
physikalisch falsch
(Massezentrum
nicht in der Mitte)



(Fuchs, Bevor die Erde sich bewegte, 1975, 140)

3. Heliozentrisch-geostationäres Übergangsweltbild (Brahe-Museum, Ven, Landskrona)



2. / 3. Weltbilder

Zusammenfassung

Ptolemaios' Modell ist am besten dokumentiert und verbreitet sich deshalb wohl auch am besten.

Er nimmt eine gemeinsame Achse an:
Erde – Sonne –
Epizykelmittelpunkt der Venus –
Epizykelmittelpunkt des Merkur
Ptolemaios behandelt untere Planeten wie obere.

Aristarch behandelt obere Planeten wie untere.

1. **Geozentrisch (Exzenter-Epizykel-Modell)**

Apollonios von Perge (3. Jh. v. Chr.)

Hipparch (2. Jh. v. Chr.)

Claudius Ptolemaios (2. Jh.)

2. **Heliozentrizität der unteren Planeten**

Herakleides Pontikos d. Ä. (4. Jh. v. Chr.)

Cicero (1. Jh. v. Chr.)

Macrobius Theodosius (~400)

Martianus Capella (5. Jh.)

3. **Heliozentrisch-geostationär (ägyptisch)**

Herakleides Pontikos d. Ä. (4. Jh. v. Chr.) ?

Aristarch von Samos (~310-~250 v. Chr.)

(→ Kopernikus, Tycho)

4. **Heliozentrisch-heliostationär**

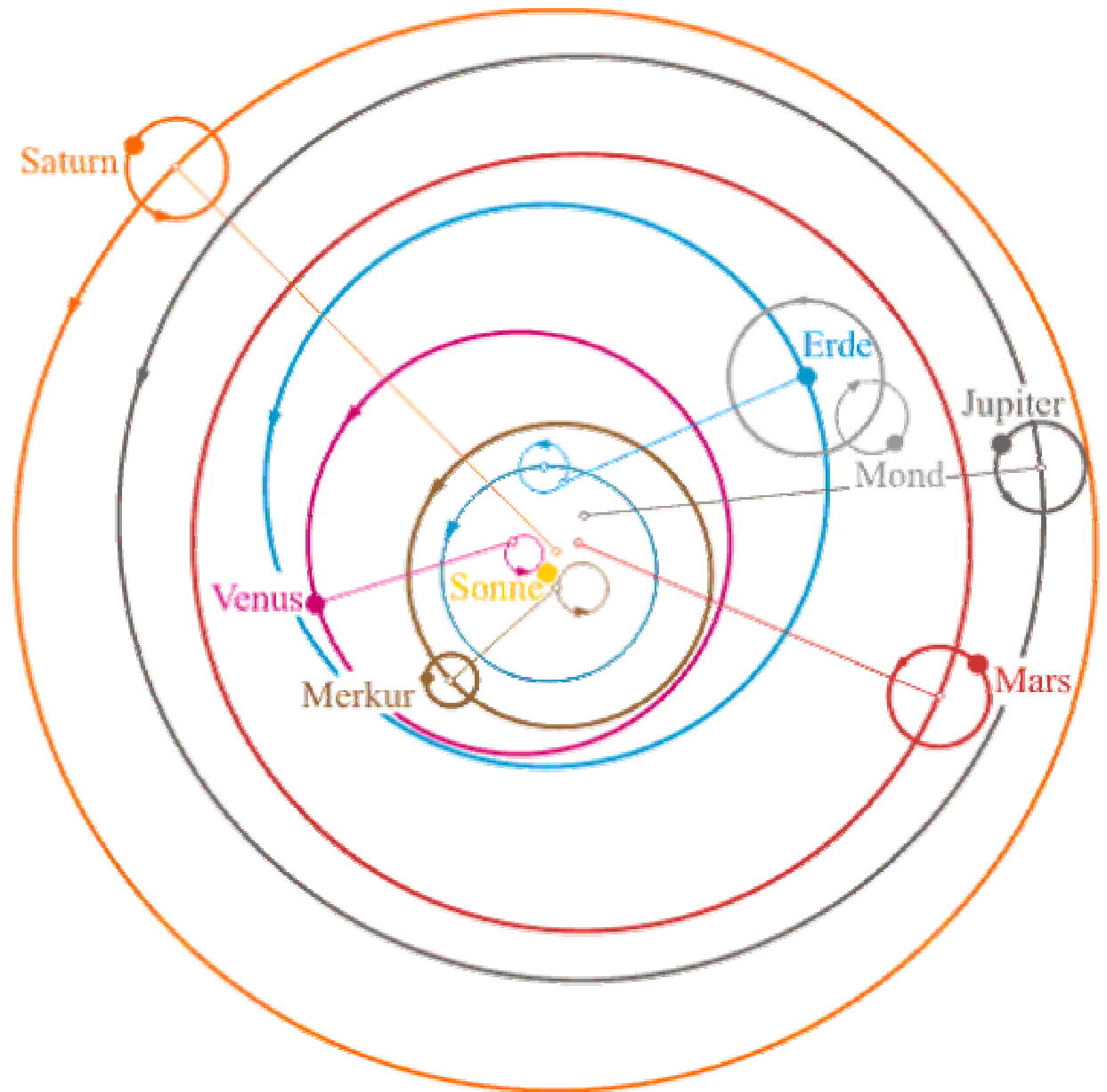
Aristarch von Samos (~310-~250 v. Chr.) ?

4. Heliozentrisch- heliostationäres Weltbild

Nikolaus Kopernikus
(1473-1543)

Planeten bewegen sich
auf **Kreisen** um die Sonne

Exzenter
Epizykel



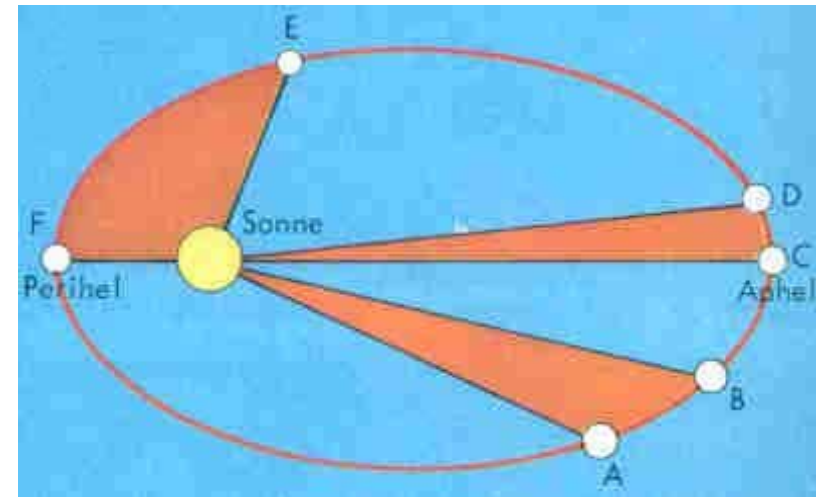
4. Heliozentrisch-heliostationäres Weltbild

Johannes Kepler (1571-1630)

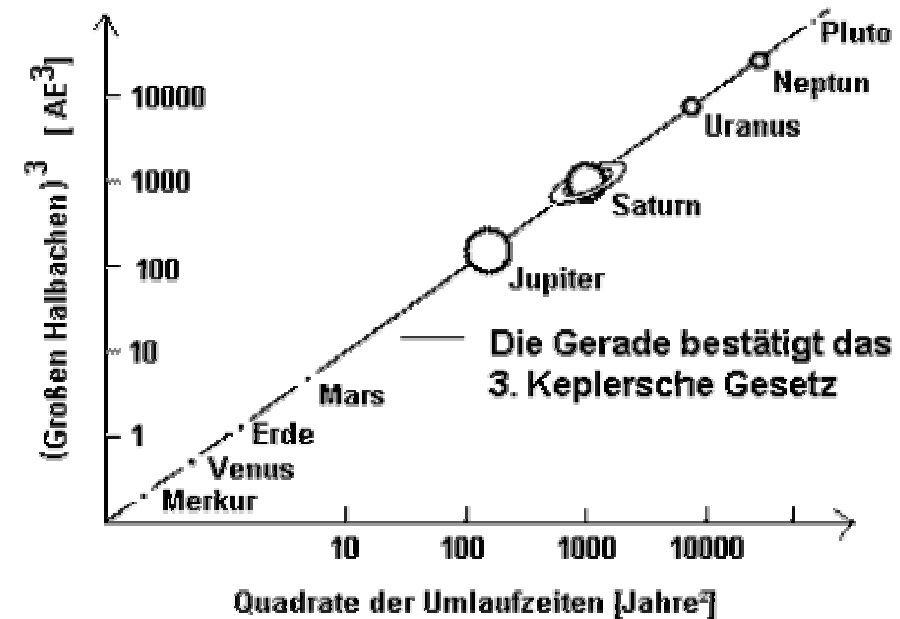
1. Planeten bewegen sich auf **Ellipsen** um die Sonne

2. Gleiche Flächen in gleichen Zeiten

3. $T_1^2/a_1^3 = T_2^2/a_2^3 = \text{const}$



(dtv-Atlas Astronomie, 1987, 56)

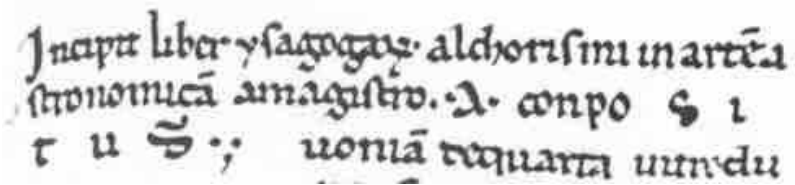


5. Astronomische Tafeln

CIm 13021

Kloster Prüfening, ~1165

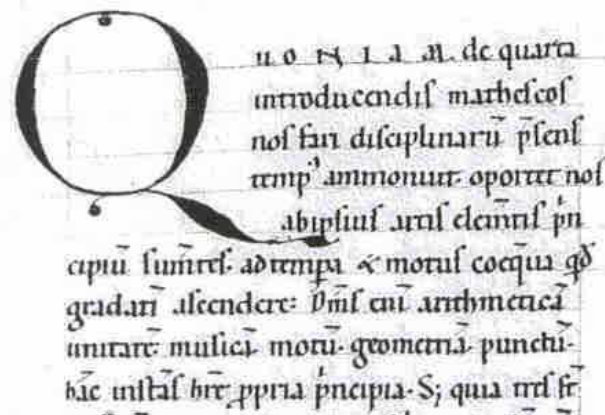
Im Anschluss an eine Einführung ins Quadrivium, den *Liber ysagogarum Alchorismi* des **al-Khwarizmi** (~780-~850) übers. von Adelhard von Bath (aktiv 1116-1142) (Arithmetik / **Algorismus** ed. Vogel 1963, Allard 1992)



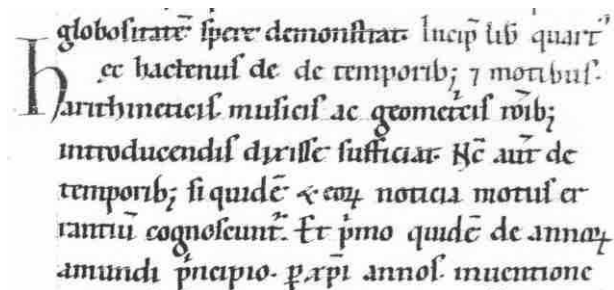
Incipit liber ysagogarum alchorismi in arte astronomica magistro. A. conpo s i t u s ; uonia requarta unu du

(Bibl. Nat. Paris, Lat. 16208, 67r)

Einführung in die Astronomie, Tabellen mit *Canones* (Benutzungsanleitung) in Anlehnung an **al-Zarqalis** (~1030-~1090) **Tafeln von Toledo** (*Tabulae Toletanae*) übersetzt von Gerhard von Cremona (1114-1187) (ed. Millás Vallicrosa 1943-1950)

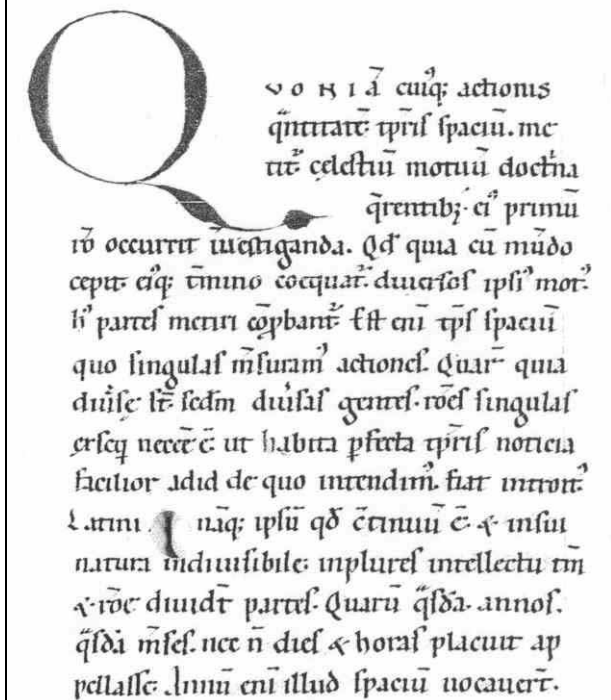


Q u o n i a a. de quarta
introducendis mathesol
nos sui disciplinaru pscil
temp amonuit oportet nos
abipliul aral elemntal pu
cipiu sumret. adtempa & motul cocqua qd
gradati ascendere. Dmíl cui arithmetica
unitate musica motu geometria punctu
hac unital bre ppria pncipia. S; quia tral se



H globositate sper demonstrat. Incipit lib quart
ec hactenus de de temporib; 7 motibul.
arithmetical musical ac geometrical rob;
introducendis dyrisse sufficiat. Hc aut de
temporib; si quide & eoz noticia motul er
rantiu cognoscunt. Et pmo quide de annoz
amundi pncipio. p xpi annos inuentione

(CIm 13021, 27r, 30r)



Q u o n i a cuiq; actionis
qntitate tpris spaciū. me
tite celestiu motuu doctna
qrentib; ei primū
rō occurrit uestiganda. Qd quia cū mūdo
cepit eiq; tmino cocquat diuersos ipsi motū
h' partes metru cōpbanē. Est enī tps spaciū
quo singulas mēsuram' actionel. Quar' quia
diuise sē scdm diuisal gentes rōel singulas
erseq necē ē ut habita pfecta tpris noticia
facilior adid de quo intendim' fiat introit'
latini. U nāq; ipsū qd cōtinuu ē & insui
natura indiuisibile inplures intellectu tm
& rōe diuidē partes. Quarū qsdā annos.
qsdā mēsel. nec n̄ dies & horas placuit ap
pellasse. Annū enī illud spaciū uocauerē.

(CIm 13021, 31v)

5. Astronomische Tafeln

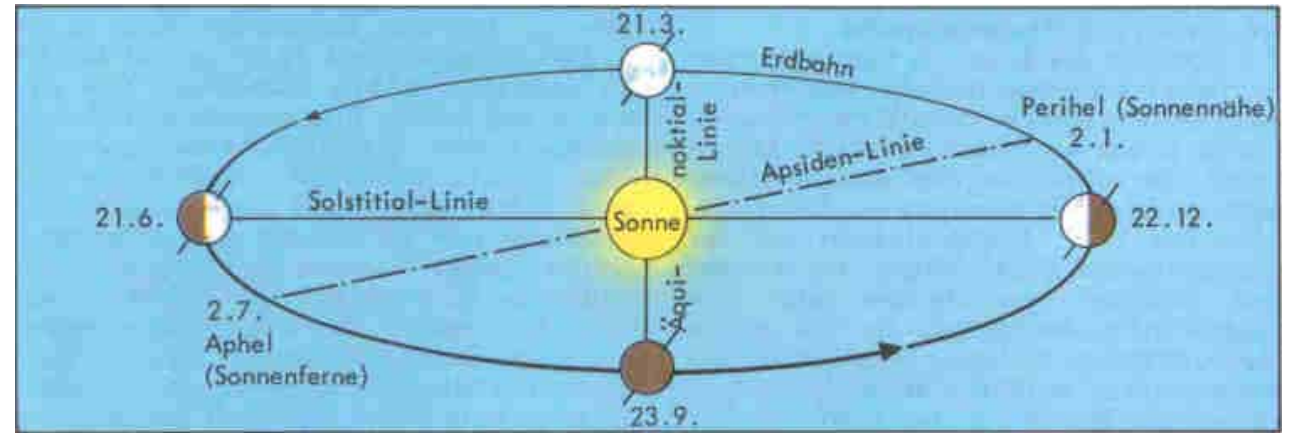
Himmelsäquator
(Konrad: **eben-**, **mittelnhefter**)

Ekliptik, Tierkreis
(Konrad: **zeichentrager**,
scheinprecherinne, **tyrkraiz**,
krummer / **schilhender kraiz**)

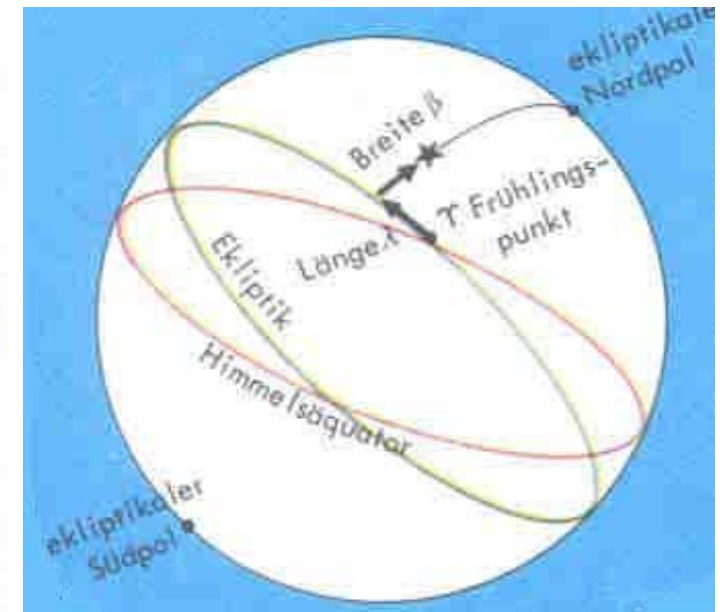
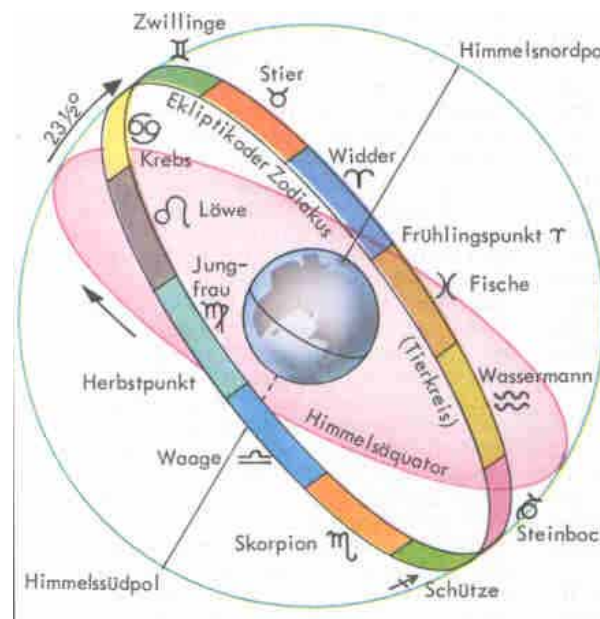
Frühlings-, Herbstpunkt

sphärische Koordinatensysteme:
eklptikale Koordinaten
(eklptikale Länge und Breite)

Größenverhältnisse:
Mondscheibe $\approx \frac{1}{2}^\circ$
Faust mit Daumen $\approx 10^\circ$
griech. Messgenauigkeit 5'



Erdbahn (dtv-Atlas Astronomie, 1987, 42)



Eklptikalkoordinaten (dtv-Atlas Astronomie, 1987, 40, 44)

5. Astronomische Tafeln

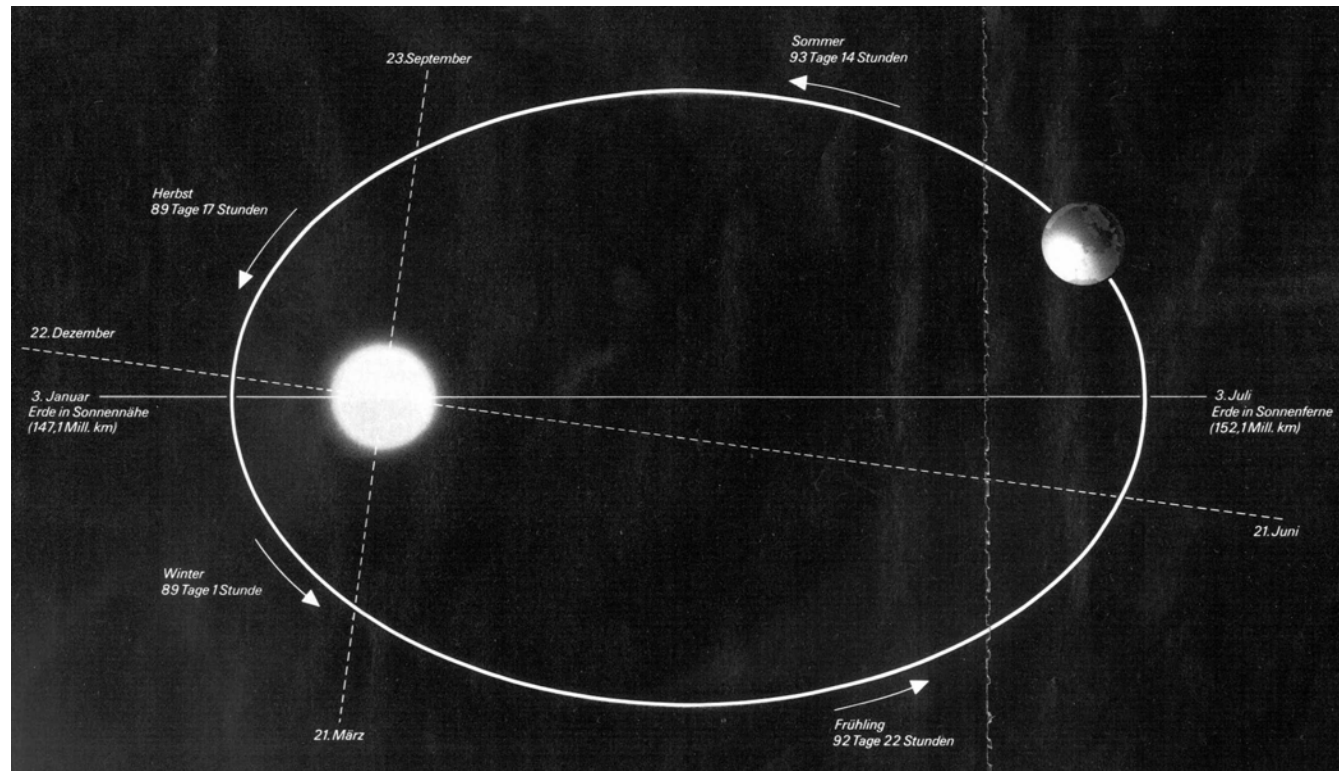
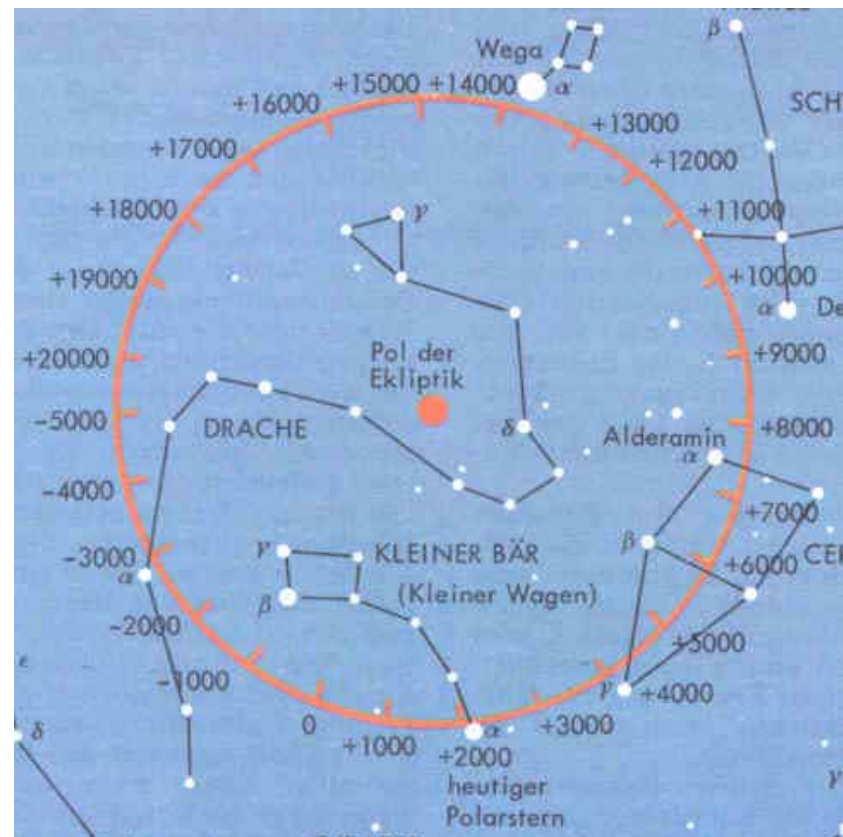
Siderisches Jahr 360°

365,25636 d

Tropisches Jahr $359,986^\circ$

365,24220 d = 31.556.926 s

Unterschied $50'' \equiv 20$ m



(dtv-Atlas Astronomie, 1987, 62; BdW 1978, 1)

Frühlingspunkt (Frühlings-Äquinoktien)

Tropisches Koordinatensystem und **Präzession**
bewegen sich im Uhrzeigersinn (Blick von N)

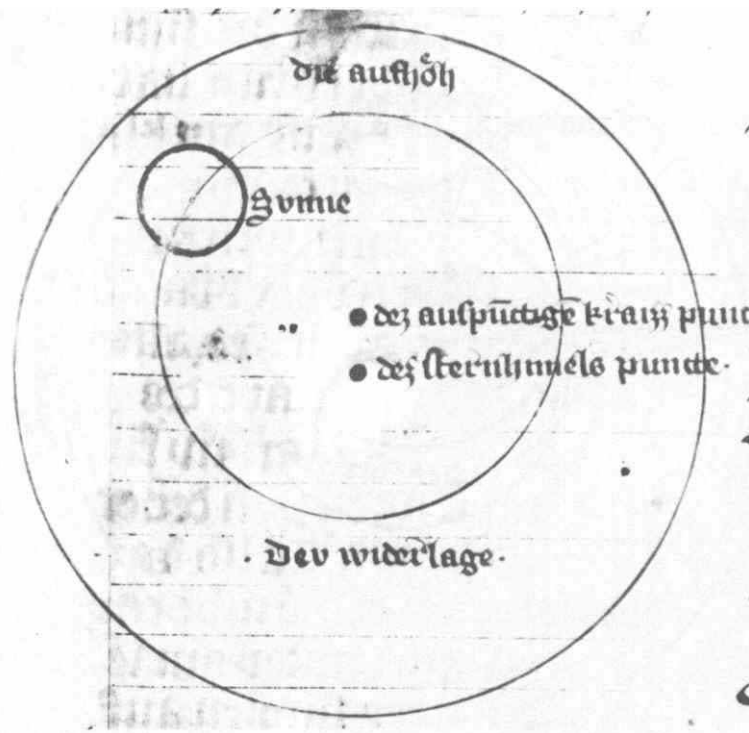
entgegen Rotation und Umlaufrichtung

platonisches Jahr 25.800 a, d.h. $1^\circ \equiv 71$ a

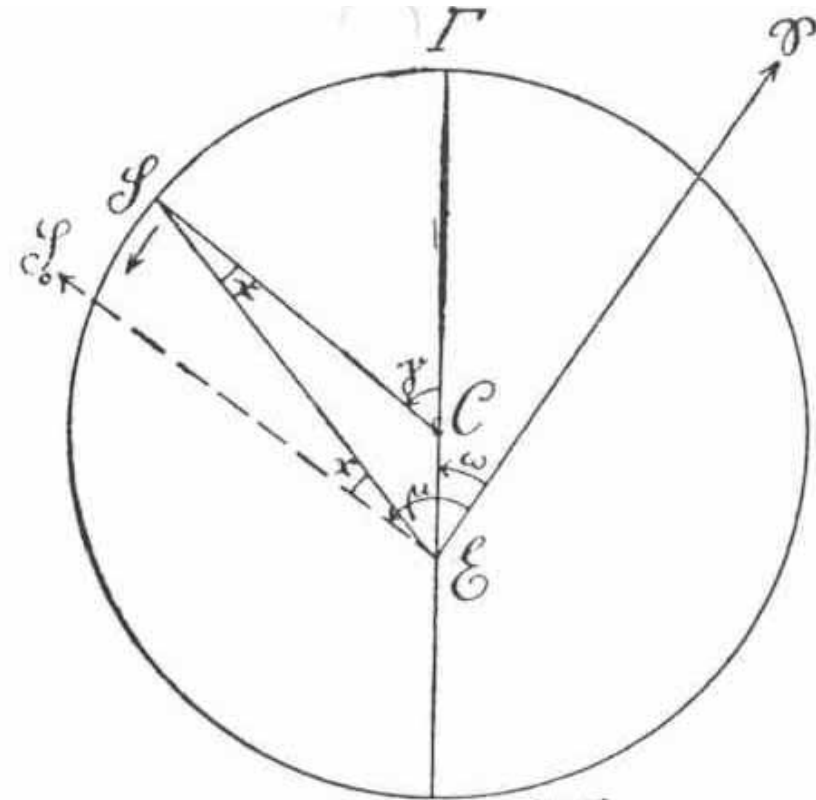
5. Astronomische Tafeln

Exzentrische Bahn der Sonne

- Γ Apogäum (auf der Apsidenlinie)
 ω sublimatio; aux propria
 μ medialitas, medius cursus / motus; el-wazat
 $\gamma = \mu - \omega$ argumentum; el-heza
 x aequatio, examen; tadil (mit γ in Tabelle)
 $l = \mu + x$ (x neg.) ekliptikale Länge der Sonne



(Deutsche Sphaera, Cgm 156, 28r
aus Brévar 1980, 161)



(Wegener, Alfonsinische Tafeln, 1905, Fig. 1)

5. Astronomische Tafeln

Mittlere Bewegung der Sonne nach Tagen (*medialitas solis*)

Tabuliert sind:

numerus dierum

und

μ *medius cursus solis ad dies mensium* etc.

in signa (30°), gradus, minuta und secunda

Num mer die ruo	me so me Siga	DL lu H Gd	vf ad Si min	CVRS dies voj Seda
1	T	T	9 9	8 1
2	T	T	9 8	8 2
3	T	T	9 7	8 3
4	T	T	9 6	8 4
5	T	T	9 5	8 5
6	T	T	9 4	8 6
7	T	T	9 3	8 7
8	T	T	9 2	8 8
9	T	T	9 1	8 9
10	T	T	9 0	9 0
11	T	0	8 9	9 1
12	T	1	8 8	9 2
13	T	1	8 7	9 3
14	T	1	8 6	9 4
15	T	1	8 5	9 5
16	T	1	8 4	9 6
17	T	1	8 3	9 7
18	T	1	8 2	9 8
19	T	1	8 1	9 9
20	T	0	8 0	10 0
21	T	1	7 59	10 1
22	T	1	7 58	10 2
23	T	1	7 57	10 3
24	T	1	7 56	10 4
25	T	1	7 55	10 5
26	T	1	7 54	10 6
27	T	1	7 53	10 7
28	T	1	7 52	10 8
29	T	1	7 51	10 9
30	T	1	7 50	11 0

(Clm 13021, 34r)

konstanter Winkel pro Tag: $59' 8-9''$
wird korrigiert durch die *aequatio solis*

5. Astronomische Tafeln

Ausgleichswerte der Sonne (aequatio solis)

Tabuliert sind:

γ argumentum; el-heza
in signa (30°) und gradus
(zweimal, symmetrisch
zur Apsidenlinie)

und

x **aequatio**, examinatio; tadil
in gradus, minuta und secunda

$$x(180^\circ - \gamma) = x(180^\circ + \gamma)$$

(Clm 13021, 35r)

- x minimal ($0^\circ 0' 0''$) für $\gamma = 180^\circ$ (6 signa 0°)
bzw. für $\gamma = 0^\circ$ (0 signa 0°)
- x maximal ($1^\circ 59' 10''$) für $\gamma = 91^\circ$ (3 signa 1°)
bzw. für $\gamma = 269^\circ$ (8 signa 29°)