

I. Überblick

II. Astronomische Grundlagen

Himmelskörper-Bewegungen

III. Kalendarische Probleme

Abgleiche

IV. Solarkalender

ägypt., jul., greg.

V. Lun(isol)arkalender

babyl., jüd., islam.

VI. Kalenderuhren

Antikythera-Mechanismus

VII. Finsternisberechnung

Alfred Holl

Das Quadrivium im Mittelalter

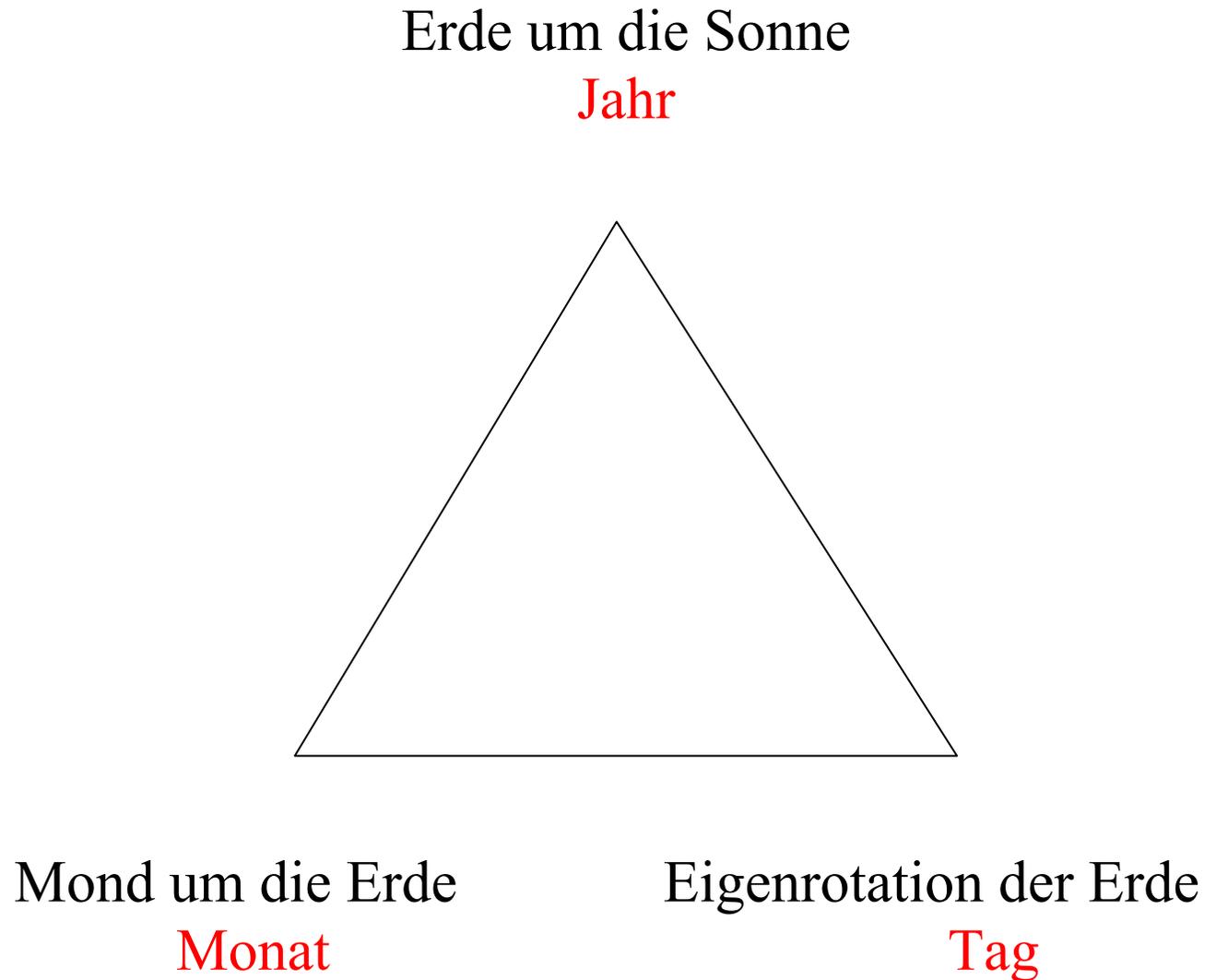
Teil 4: Kalenderrechnung, Computistik

Astronomische Grundlagen und Geschichte

(Die Regensburg-Prüfeninge Fassung
von al-Khwarizmi's *Liber ysagogarum*)

I. und II. Überblick

Drei
konkurrierende
inkompatible
ganzzahlig inkommensurable
Maße



II.1 Erde um die Sonne: Jahr

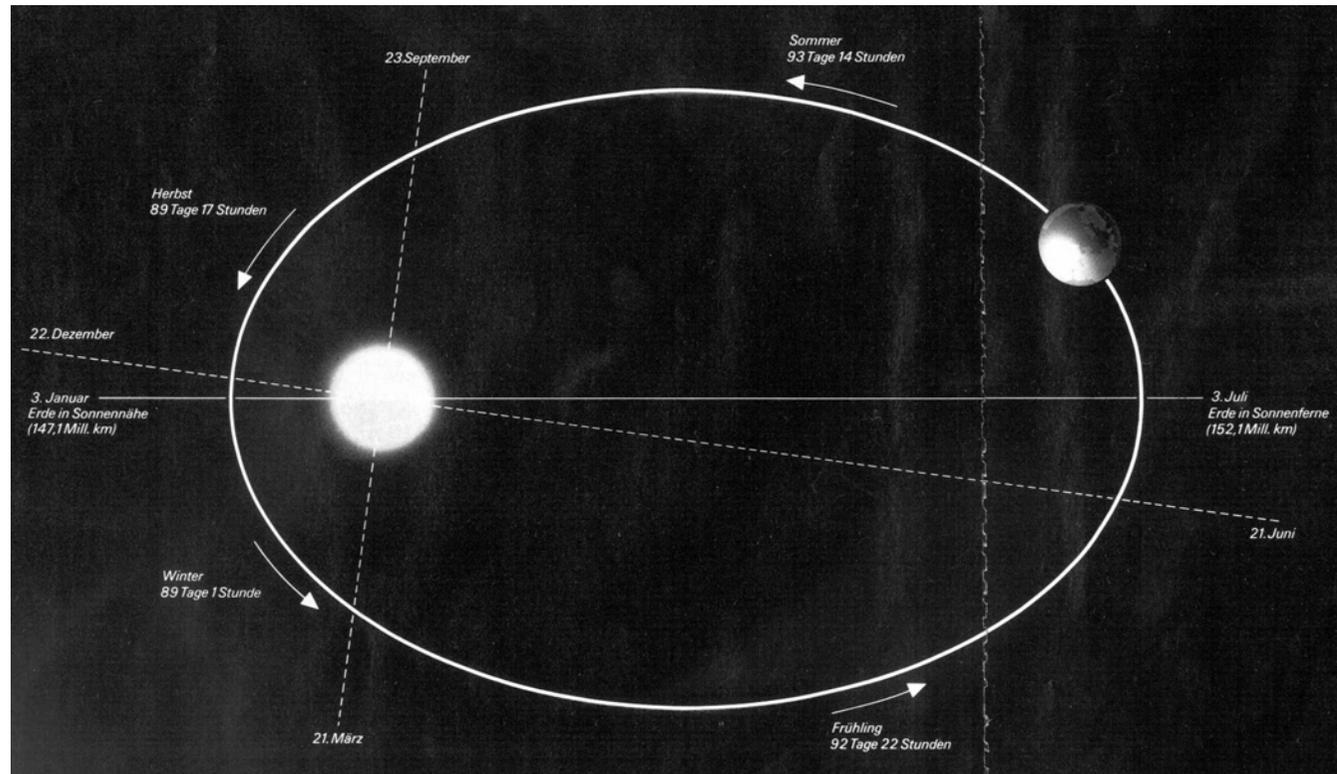
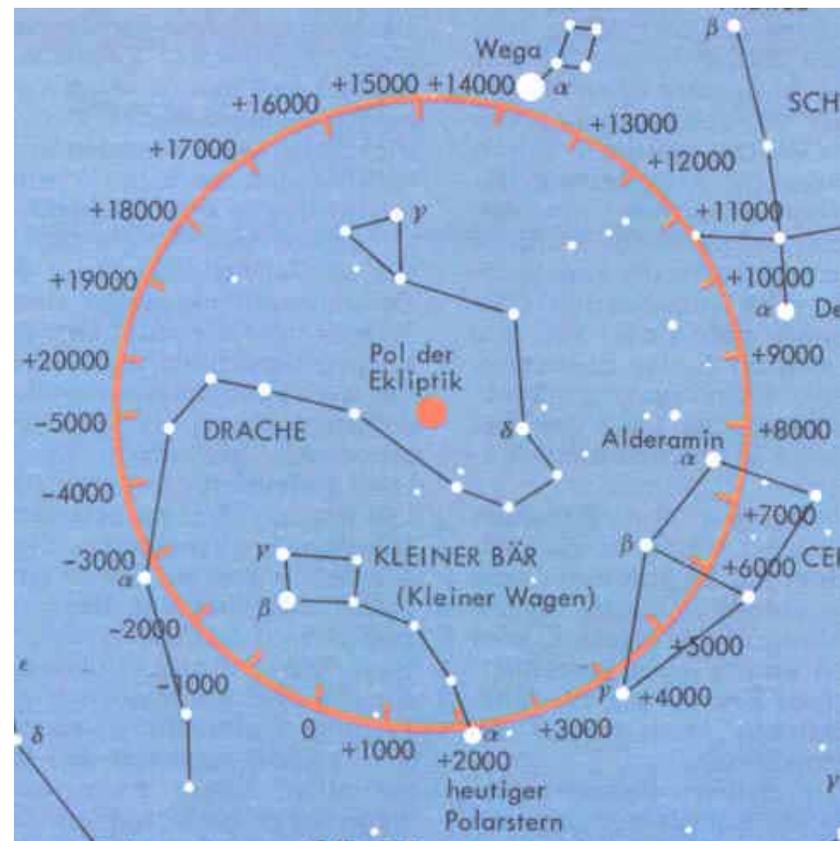
Siderisches Jahr 360°

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)

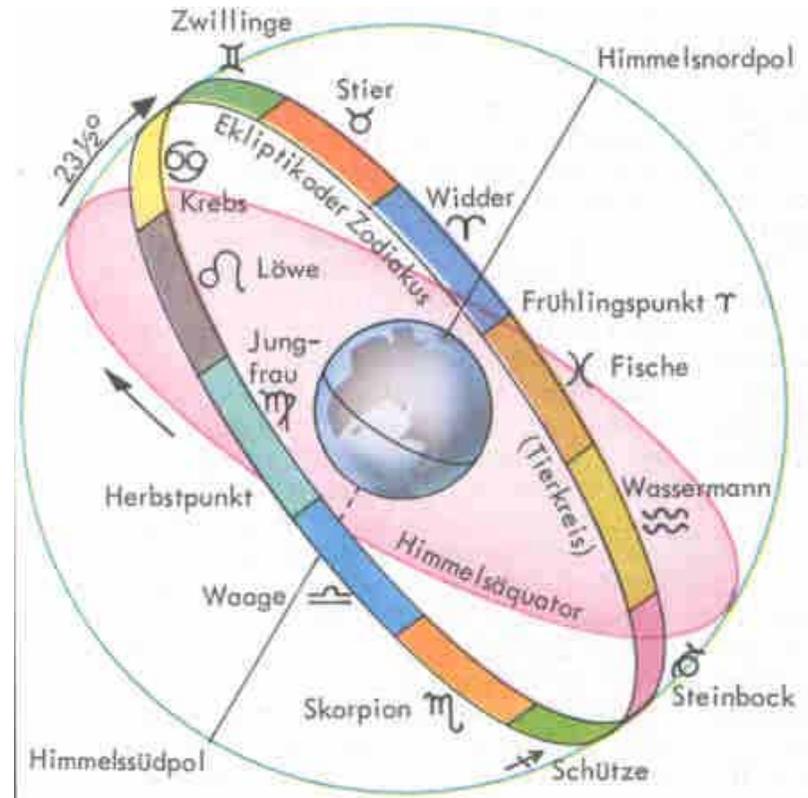
Tropisches Koordinatensystem und **Präzession**

bewegen sich im Uhrzeigersinn (Blick von N)

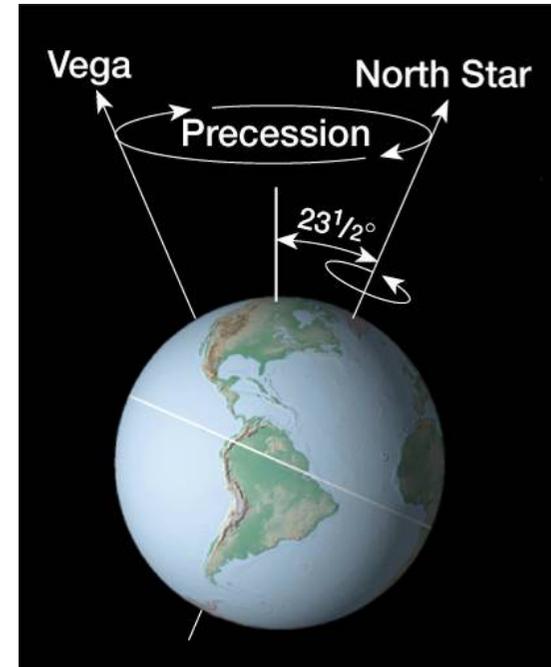
entgegen Rotation und Umlaufrichtung

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

II.1 Jahr, Jahreszeiten, Tierkreis



(dtv-Atlas Astronomie, 1987, 40)



Jahreszeiten bestimmt durch Neigung der Erdachse
(**Solstitialpunkte, Äquinoktialpunkte**)
nicht durch Sonnenabstand!

Große Halbachse =

mittlere Entfernung: 149,6 Mio km (1 AE)

Entfernung im Perihel: 147,1 Mio km

Entfernung im Aphel: 152,1 Mio km

Bahnexzentrizität $1/a \cdot \sqrt{(a^2-b^2)}$: 0,017

II.2 Mond um die Erde: Monat

Siderischer Monat 360°

$27,32167\text{d} = 27\text{d } 7\text{h } 43\text{m } 11,5\text{s}$

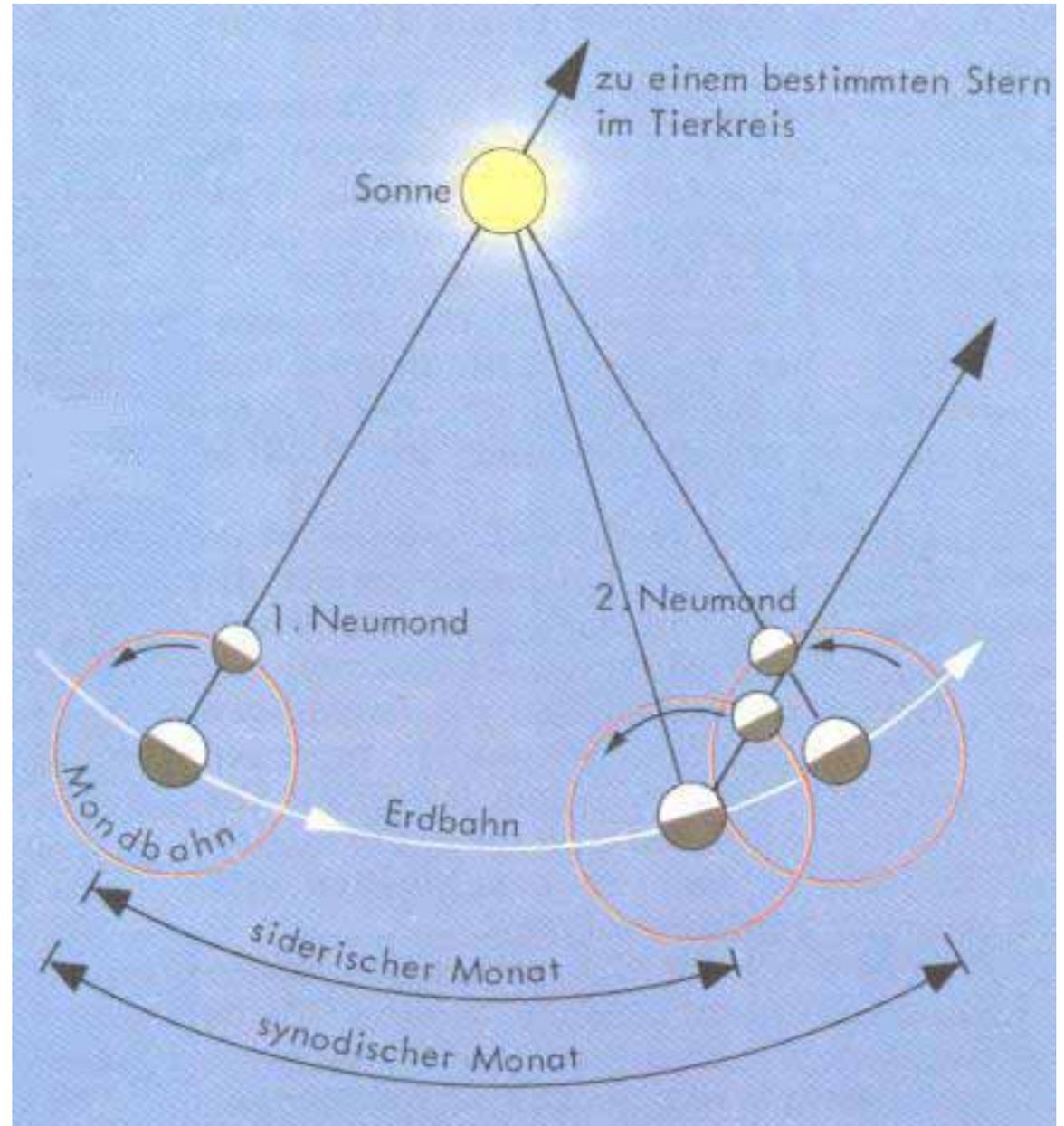
Mittl. synodischer Monat $389,1^\circ$

$29,53059\text{ d} = 29\text{d } 12\text{h } 44\text{m } 2,9\text{s}$

$\approx 2.551.443\text{ s}$

Schwankungsbreite 6-7 h

Mond entfernt sich von der Erde, wird langsamer (Kepler 3)
Siderischer Monat wird in 100 Jahren um 38 ms länger
Drehmomentverlust durch Gezeitenreibung
(SdW 2007, 10)



(dtv-Atlas Astronomie, 1987, 40)

II.3 Eigenrotation der Erde: Tag

Sterntag 360°

23h 56m 4,091s

Mittlerer Sonnentag $360,98519^\circ$

24 h

Idealtypisch

Gleichförmige (scheinbare)

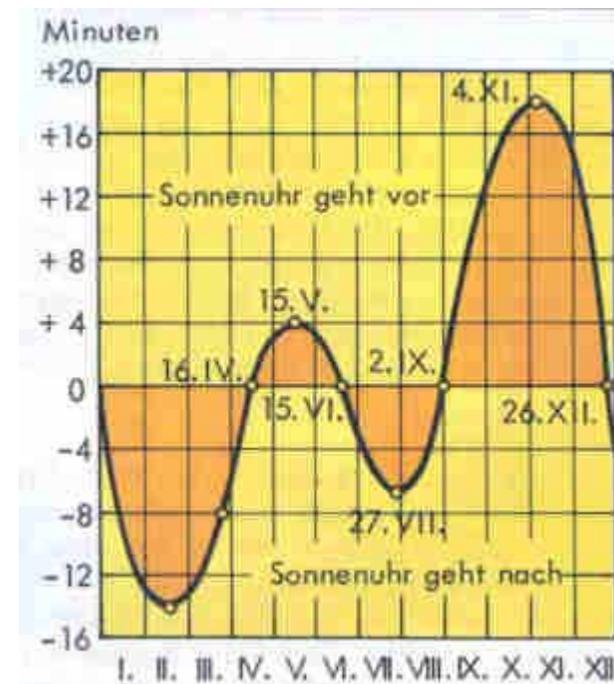
Bewegung der Sonne

entlang des Himmelsäquators

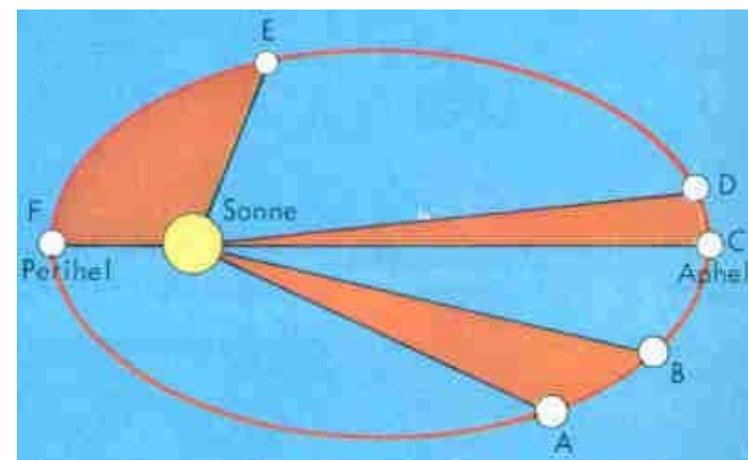
Zeitgleichung

bestimmt durch:

1. Wechselnde Geschwindigkeit auf Ellipsenbahn
2. Keplersches Gesetz (Flächensatz)
2. Neigung der Erdachse



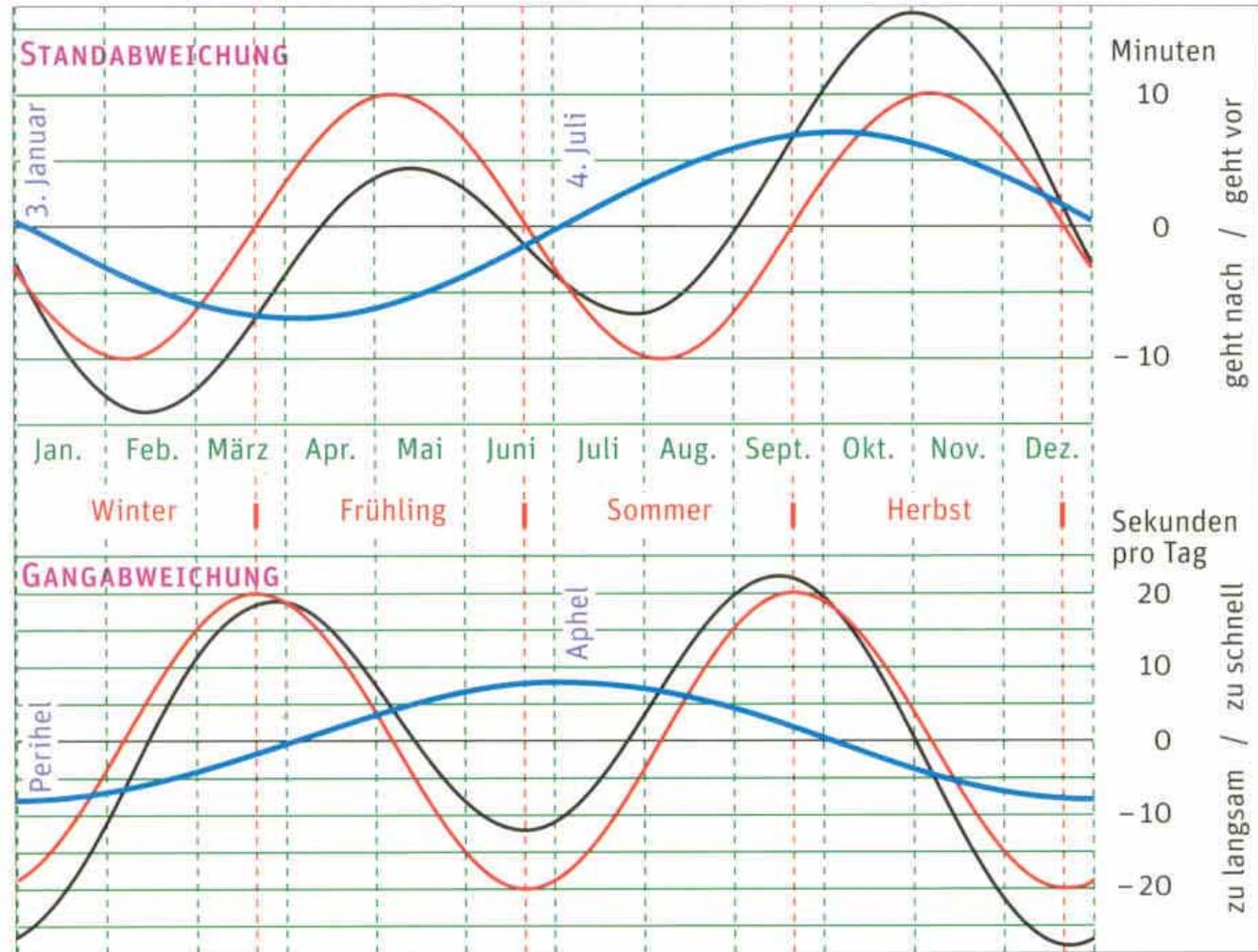
Zeitgleichung: wahre vs. mittlere Sonnenzeit (dtv-Atlas, 1987, 48)



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

II.3 Eigenrotation der Erde: Tag

Zeitgleichung



Schwankungen: blau Kepler 2, rot Neigung der Erdachse
(SdW 2009, 4)

II.3 Eigenrotation der Erde: Tag

Zeitgleichung Analemma



Sonnenuhr in der Fundamentalstation
Wetzell



II.3 Eigenrotation der Erde: Tag

DATA	CORR (MIN)	DATA	CORR (MIN)
GENNAIO	1 + 9 15 + 15	LUGLIO	1 + 9 15 + 12
FEBBRAIO	1 + 20 15 + 20	AGOSTO	1 + 12 15 + 11
MARZO	1 + 19 15 + 15	SETTEMBRE	1 + 6 15 + 12
APRILE	1 + 10 15 + 6	OTTOBRE	1 - 4 15 - 8
MAGGIO	1 + 3 15 + 2	NOVEMBRE	1 - 10 15 - 9
GIUGNO	1 + 4 15 + 6	DICEMBRE	1 - 5 15 + 1

Ätna-Meridian 15° öL
 Ancona $13,5^\circ$ öL
 $1,5^\circ \equiv 6 \text{ min}$



„Ohne Sonne schweige ich“
 Tafel an der Universität Ancona

II.3 Eigenrotation der Erde: Tag

Sonnensekunde:

1 / 86.400

des mittleren Sonnentags

Ephemeridensekunde (1960):

1 / 31.556.925,9747

des tropischen Jahres 1900

Atom- / SI-Sekunde (1967):

9.192.631.770 · Periodendauer der Emissionsstrahlung beim Übergang zwischen zwei Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustands (n=1) von Cs133 (Sekundenlänge orientiert sich an Werten des 19. Jh.)

Coordinated Universal Time UTC (1972)

Basis von Zonenzeiten

Kompromiss TAI-UT

Schaltsekunden (seit 1972 am 31.12.) für langsamere Erdrotation halten Differenz zu UT1 kleiner als 0,9s

UTC-TAI = -34s (2010)

Internationale Atomzeit TAI (1968)

zählt Atomsekunden

TAI-TDT=-32,184s def.

Universal Time

UT, UT1 (1928)

mittlere Ortszeit von Greenwich

Sekundenänderung für langsamere Erdrotation

UT1 bereinigt

um Einflüsse der Polschwankungen

Terrestr. Dynamic Time TDT (1984)

Nachfolger der

Ephemeridenzeit ET (1960) bereinigt um relativist. Effekte der Atomzeit-Messung

II.3 Eigenrotation der Erde: Tag

Der Tag wird
pro Jh. um 1,7 ms länger,
pro Jahr um 17 μs ,
pro Tag um 46,6 ns.

durch Gezeitenreibung und
andere kleinere Effekte
(stärker in Warmzeiten:
höherer Meeresspiegel)
feststellbar über
historische Finsternisse
(1 Std. Abweichung =
15 Längengrade)

(SdW 1999, 8 und 2007, 10)

Vergleich derzeit $\Delta T = \text{TDT} - \text{UT}: > 65 \text{ sec}$

Gesamtabweichung ggü. Bezugsjahr 1900 =
Durchschnittliche Abweichung pro Tag

(arithm. Mittel) \cdot Anzahl Tage =

$\frac{1}{2} \cdot$ maximale Abweichung pro Tag \cdot Anzahl Tage

10a:

$$\frac{1}{2} \cdot 10\text{a} \cdot 17 \mu\text{s/a} \cdot 10 \cdot 365 \approx 0,32 \text{ s}$$

100a:

$$\frac{1}{2} \cdot 100\text{a} \cdot 17 \mu\text{s/a} \cdot 100 \cdot 365 \approx 32 \text{ s}$$

1000a:

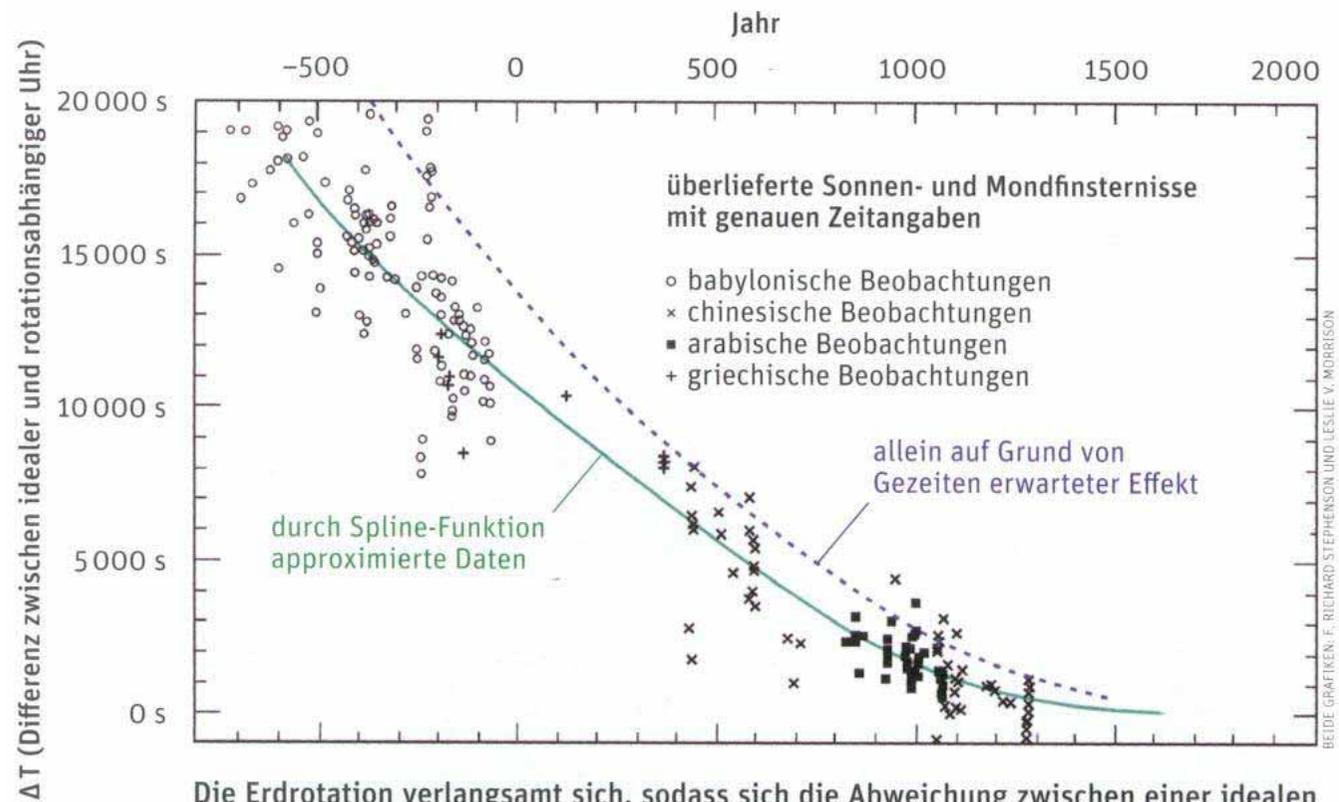
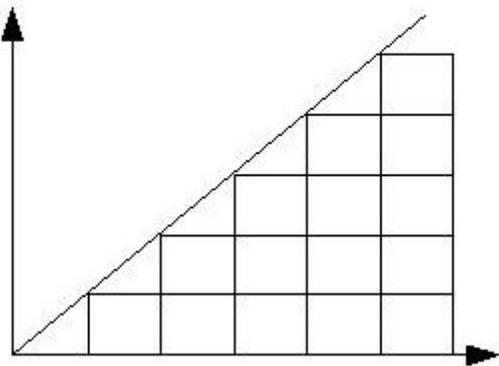
$$\frac{1}{2} \cdot 1000\text{a} \cdot 17 \mu\text{s/a} \cdot 1000 \cdot 365 \approx 3200 \text{ s} \approx 0,9 \text{ h}$$

3000a:

$$\frac{1}{2} \cdot 3000\text{a} \cdot 17 \mu\text{s/a} \cdot 3000 \cdot 365 \approx 28000 \text{ s} \approx 7,8 \text{ h}$$

II.3 Eigenrotation der Erde: Tag

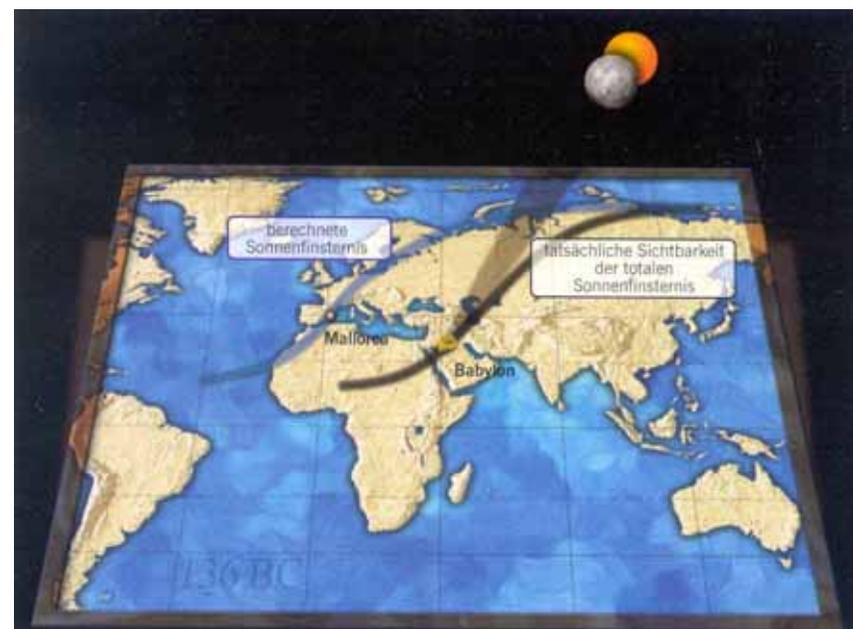
Abweichung pflanzt sich fort,
also vom Quadrat der Zeit
abhängig (Integral)



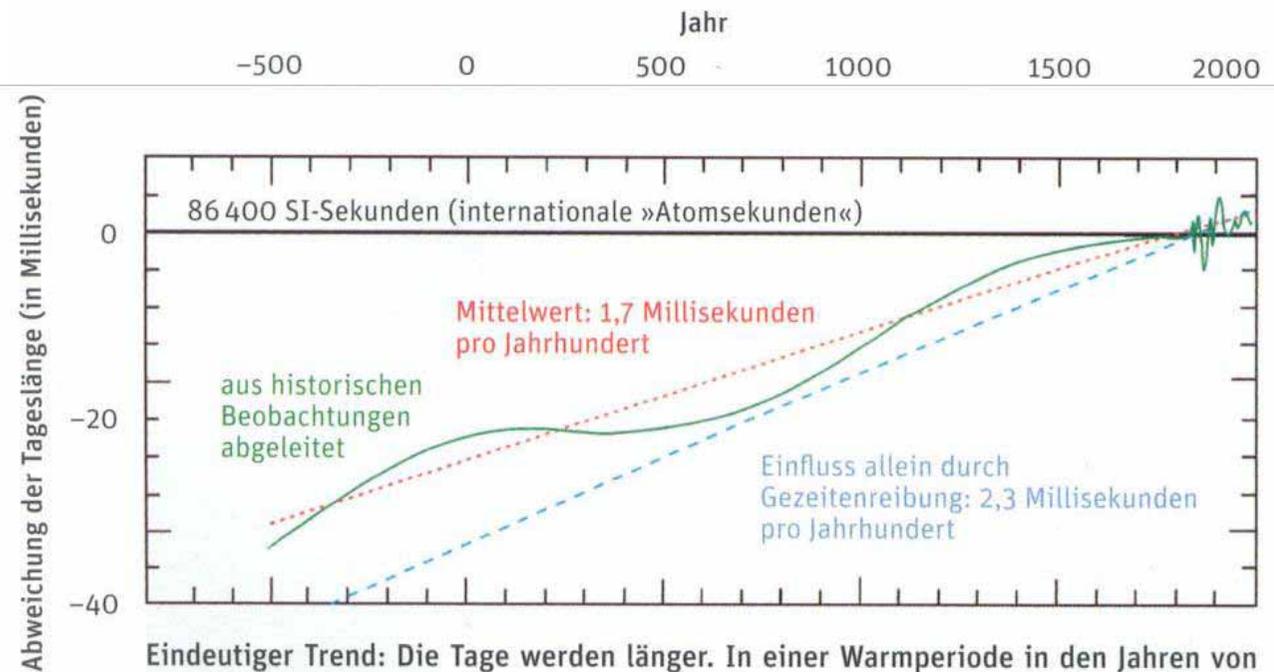
Die Erdrotation verlangsamt sich, sodass sich die Abweichung zwischen einer idealen und einer rotationsabhängigen Uhr verändert. Die grüne Kurve nähert die Daten an und berücksichtigt auch Informationen, die sich aus Finsternissen ohne genaue Zeitangaben ergeben. Die Bremswirkung allein durch die Gezeitenreibung (gestrichelte Kurve) wird durch gegenläufige Effekte offenbar abgemildert.

(Stephenson, R., SdW 2007, 10)

II.3 Eigenrotation der Erde: Tag



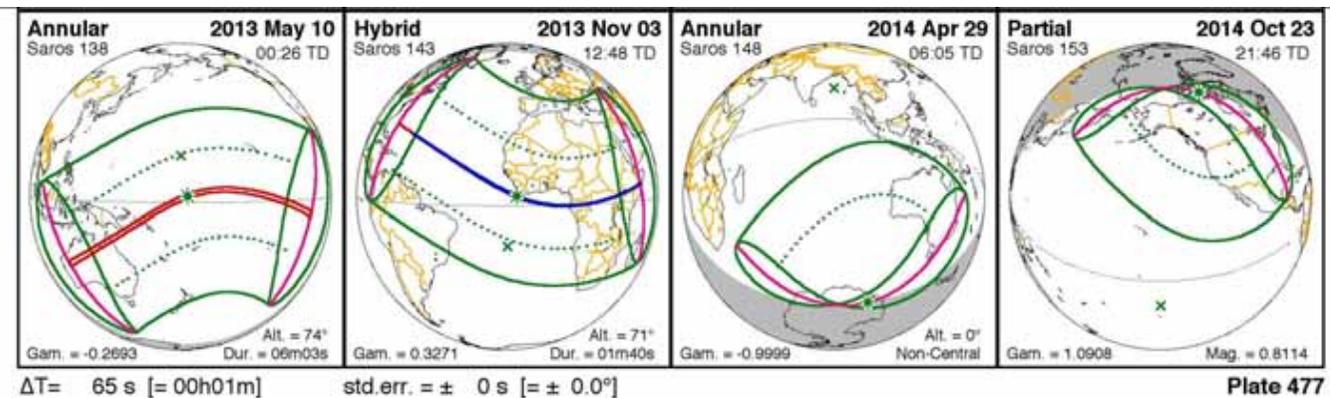
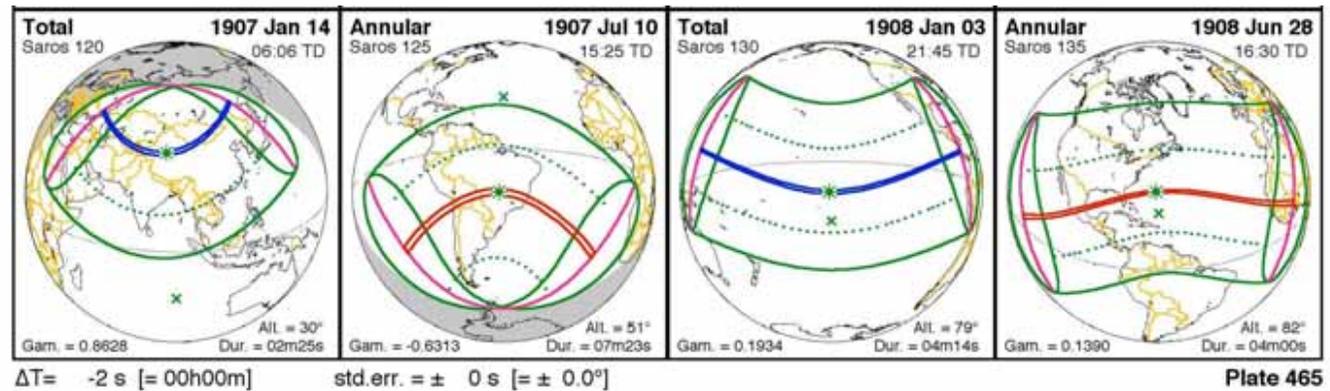
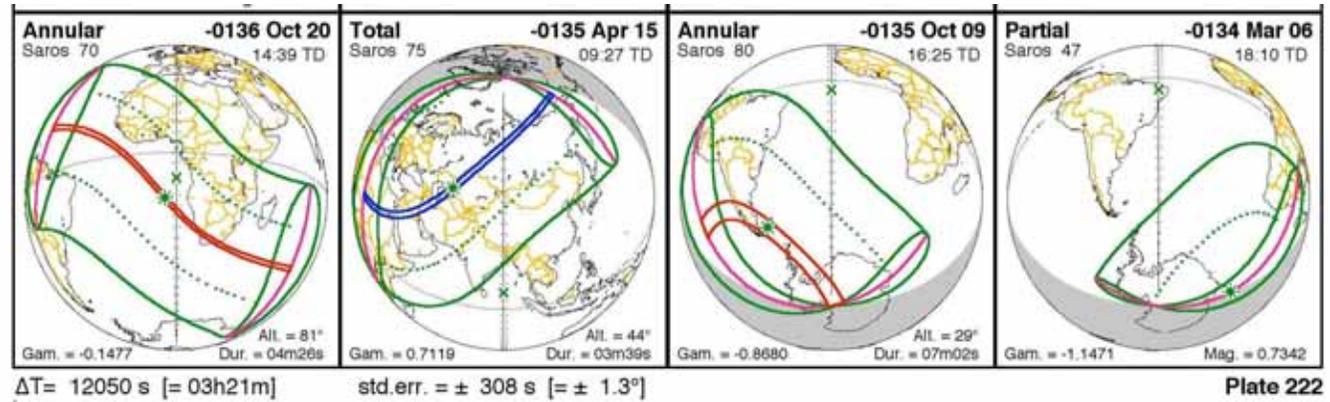
Sonnenfinsternis 15.04.136 v.Chr.
(SdW 1999, 8)



Eindeutiger Trend: Die Tage werden länger. In einer Warmperiode in den Jahren von 900 bis 1300 geschah dies sogar besonders schnell. Die grüne Kurve ist aus historischen Daten abgeleitet, der Mittelwert (rote Linie) der Zunahme der Tageslänge liegt bei 1,7 Millisekunden pro Jahrhundert. Allein aus den Gezeitenwirkungen (blau) würden sich 2,3 Millisekunden pro Jahrhundert ergeben. Werte aus der Zeit nach 1600 verdanken wir hauptsächlich teleskopischen Beobachtungen von Sternbedeckungen durch den Mond. Die starken Schwankungen, die mit modernen Methoden in neuerer Zeit gemessen wurden, traten vermutlich auch früher auf, beweisen lässt sich dies allerdings nicht mehr.

(Stephenson, R., SdW 2007, 10)

II.3 Eigenrotation der Erde: Tag



NASA,
 Five millennium catalog of solar eclipses
 (eclipse.gsfc.nasa.gov/SEpubs/5MCSE.html)

III.1 Abgleich Jahr – Monat

1 tropisches Jahr =
12,36827 synodische Monate

12 synodische Monate =
354,36708 d =
354d 8h 48m 35,7s

1. Nur Mondbewegung ohne scheinbare Sonnenb.

Lunarkalender: Mondmonat \approx Kalendermonat

(Mond-)Gemeinjahr: $(29+30) \cdot 6 = 354$ Tage

islamisch (11694 d \approx 32 a)

2. Nur scheinbare Sonnenbewegung ohne Mondb.

Solarkalender: Mondmonat \neq Kalendermonat

(Sonnen-)Normaljahr: 365 Tage

Unterschiedliche, unabhängige Monate 28-31 d

Schaltjahre mit Schalttag

(ägyptisch,) julianisch, gregorianisch

3. Mondbewegung und scheinbare Sonnenb.

Lunisolarkalender: Mondmonat \approx Kalendermonat

Mond-Gemeinjahr; Schaltjahre mit Schaltmonat

babylonisch-frühgriechisch (2922 d \approx 8 a),

Meton (6940 d \approx 19 a), jüdisch (6940 d \approx 19 a)

III.1 Abgleich Jahr – Monat

schon in babylon. Zeit bekannt

bis heute zur kirchlichen
Osterdatumsberechnung

1 tropisches Jahr = 365,24220 d

1 synodischer Monat =
29,53059 d

1 tropisches Jahr =
12,36827 synodische Monate

Zyklus von Meton (432 v.Chr.)

19-Jahres-System (*Enneakaidekaeteris*)

mit 6940 Tagen (= 19 Meton-Jahre):

12 Jahre à 12 Monate, 7 Jahre à 13 Monate

125 Monate à 30 Tage, 110 Monate à 29 Tage

Näherung: 19 tropische Jahre

≈ 235 synodische Monate

(Fehler ≈ 2,5 h)

≈ 254 siderische Monate

1 Meton-Jahr = $6940/19$ d =
 $365 \frac{5}{19}$ d = 365,263 d

1 Meton-Monat = $6940/235$ d =
 $29 \frac{125}{235}$ d = **29,532 d**

1 Meton-Jahr = $235/19$ = $12 \frac{7}{19}$ =
12,3684 Meton-Monate

III.2 Abgleich Jahr – Tag

1 (tropisches Sonnen-)Jahr =
365,24220 d

12 synodische Monate =
354d 8h 48m 35,7s

(Sonnen-)Normaljahr
365 Tage

(Mond-)Gemeinjahr
354 Tage

In beiden Fällen:
Schaltjahre mit Schalttagen

III.3 Abgleich Monat – Tag

1 synodischer Monat =
29,53059 d =
29d 12h 44m 2,9s

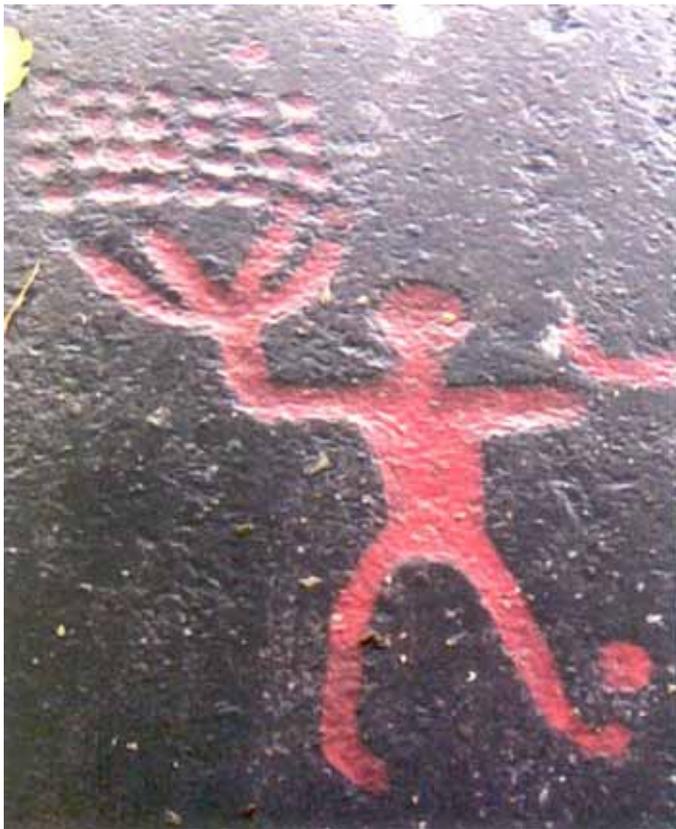
Schalttage

Frühgriech. Monate mit 29 / 30 Tagen im Wechsel
29 Tage: *koilos* (hohl); 30 Tage *plēres* (voll)

islamisch, jüdisch

III.4 Monatseinteilung

1 synodischer Monat =
29,53059 d =
29d 12h 44m 2,9s



Aspeberget, Tanum, Schweden

Verschiedene Einteilungen eines Monats

2 Teile: zunehmend, abnehmend (frühgriech.)

3 Teile: Dekaden (frühgriech.)

4 Teile: ~ 4 Mondphasen / -viertel (babyl.)

→ **Woche**

altröm. Woche: *nundinum* mit 8 Tagen

Griechen übernahmen 7-Tage-Woche von den
Babyloniern

Wochentage gezählt, keine eigenen Namen

7-Tage-Woche auch ägyptisch und jüdisch

Samstag = Sabbat = 1. ägypt. Wochentag

III.4 Monatseinteilung: Woche

Planeten- / Götternamen

Regent des Tages (24 h) =

Regent der ersten Tagesstunde

Aus der ägyptischen Astrologie,
später röm. (spät. 3. Jh. n.Chr.)

Beginnt mit Saturn

am 1. ägypt. Wochentag

Mond

Merkur

Venus

Sonne

Mars

Jupiter

Saturn

Reihenfolge der scheinbaren

Geschwindigkeiten ???

Der Planetenstund. 25

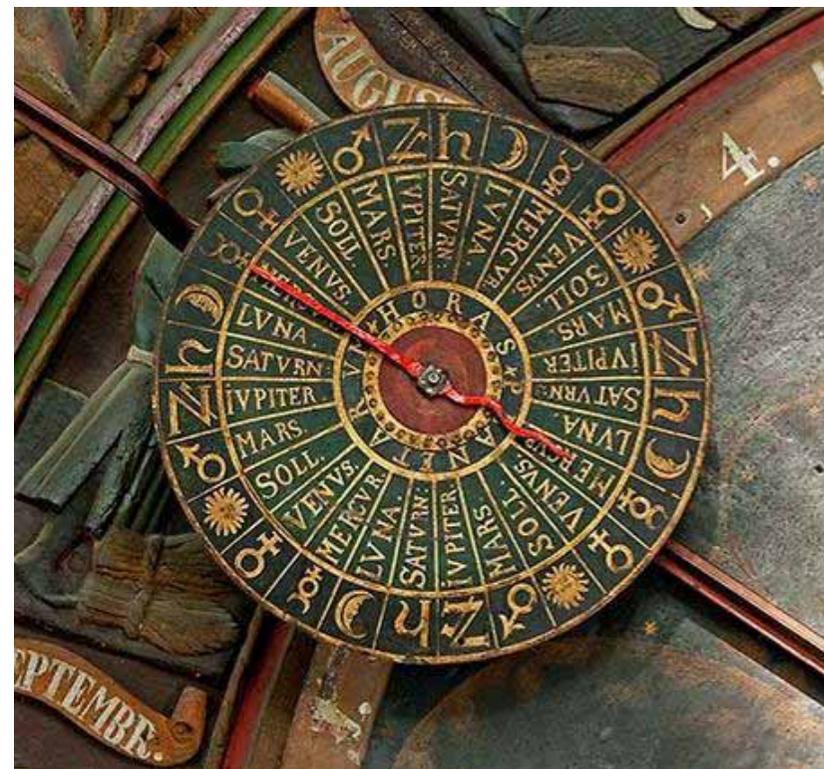
Cap. iij.

Stu	Sant.	Mont.	Dienst.	Mitwoch.	Donerst	Freit.	Sampst
1	Sonne	Mon	Mars	Mercurius	Jupiter	Venus	Saturn
2	Venus	Satur	Son	Mon	Mars.	Mer.	Jupiter
3	Merc.	Jupit.	Venus.	Saturnus	Sun	Mon	Mars.
4	Mon	Mars	Merc.	Jupiter	Venus	Satur.	Sun.
5	Satur.	Son	Mon	Mars	Mercur.	Jupit.	Venus.
6	Jupit.	Venus	Satur.	Son	Mon	Mars	Mercu
7	Mars	Merc.	Jupit.	Venus	Saturn.	Sonn.	Mone.
8	Son.	Mon.	Mars	Mercurius.	Jupiter.	Venus.	Saturn
9	Venus.	Satur	Sün.	Mon	Mars	Merc.	Jupiter
10	Mercu.	Jupit.	Venus	Saturnus	Son	Mon.	Mars
11	Mon	Mars	Merc.	Jupiter	Venus	Satur.	Son.
12	Satur.	Son	Mon	Mars	Mercur.	Jupit.	Venus
13	Jupit.	Venus	Satur.	Son.	Mon	mars	mercu
14	mars	mercu.	Jupiter	Venus	Satur.	Son	mon
15	son	mon	mars	mercurius	Jupiter.	Venus.	satur
16	Venus	saturn.	son	mon	mars	mercur	Jupi
17	mercur.	Jupit	Venus.	saturnus	sonn	mon	mars.
18	mon	mars	mercur.	Jupiter	Venus	saturn.	son.
19	saturn.	son	mon	mars	mercur.	Jupit.	Venus
20	Jupiter	Venus	saturn.	son	mon	mars	mercuri
21	mars	mercu.	Jupiter	Venus	saturnus	son	mone.
22	son	mon	mars	mercurius	Jupiter	Venus.	saturnu
23	Venus	saturn.	son	mon	mars	mercu.	Jupite
24	mercu.	Jupit.	Venus.	saturnus.	son	mon	mars

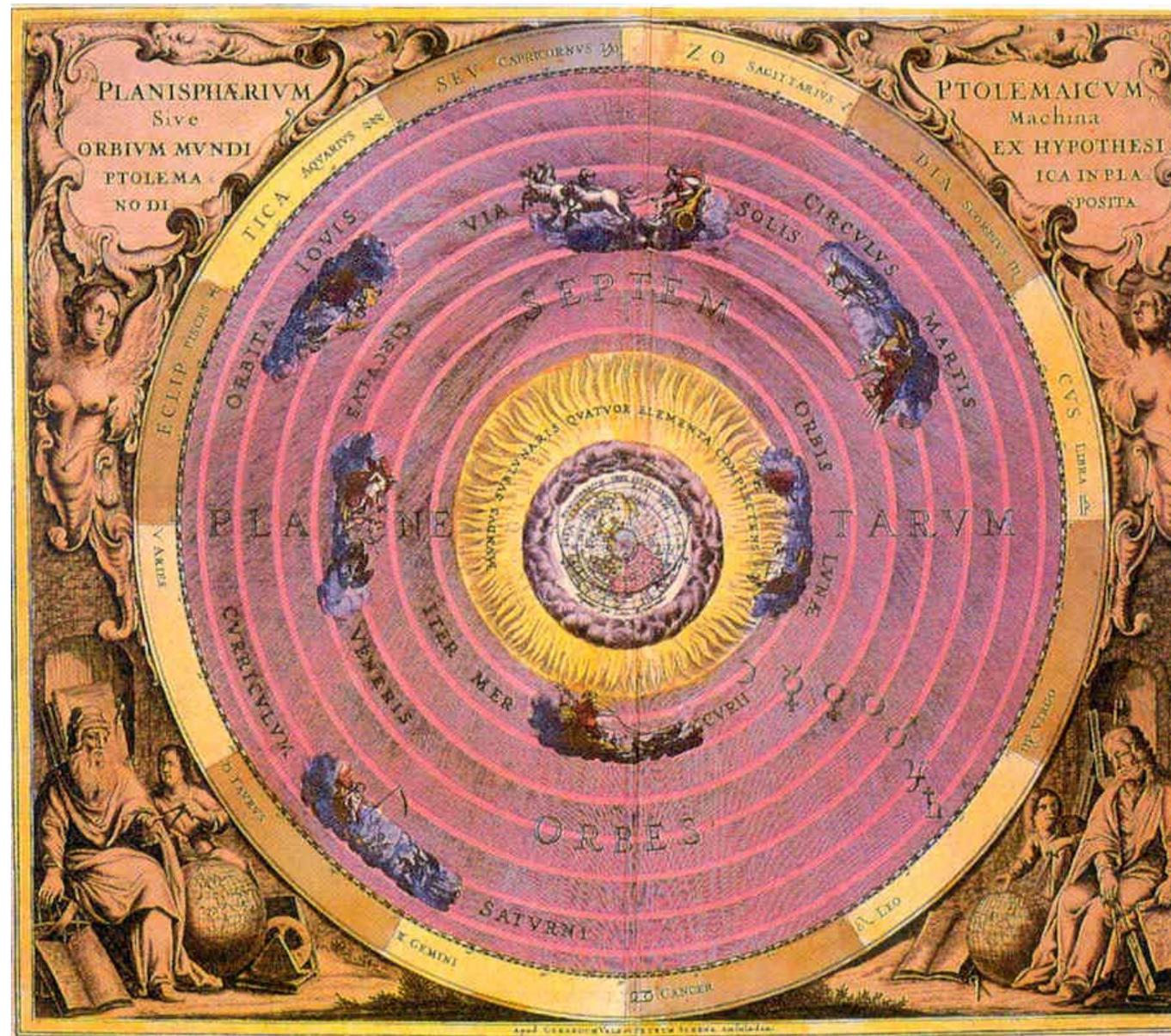
In dieser tafel findestu/was für ein Planet in jeder stund/tag oder nacht regiere. Den tag zürechnen von aufgang bis gen nidergang der Sonnen. Desgleichen mit der nacht/von nidergang bis auffgang der Sonnen/jeglichs almal/es sei Winter oder Sommer/in zwölff stunden züteylen/onangesehen wie kurz oder lang die stunden werden. Also heben die Astronomi den tag an.

(Regiomontan, Kalender, Strassburg 1532)

III.4 Monatseinteilung: Woche



Stundenregenten, Astronomische Uhr,
Marienkirche Rostock, 1472

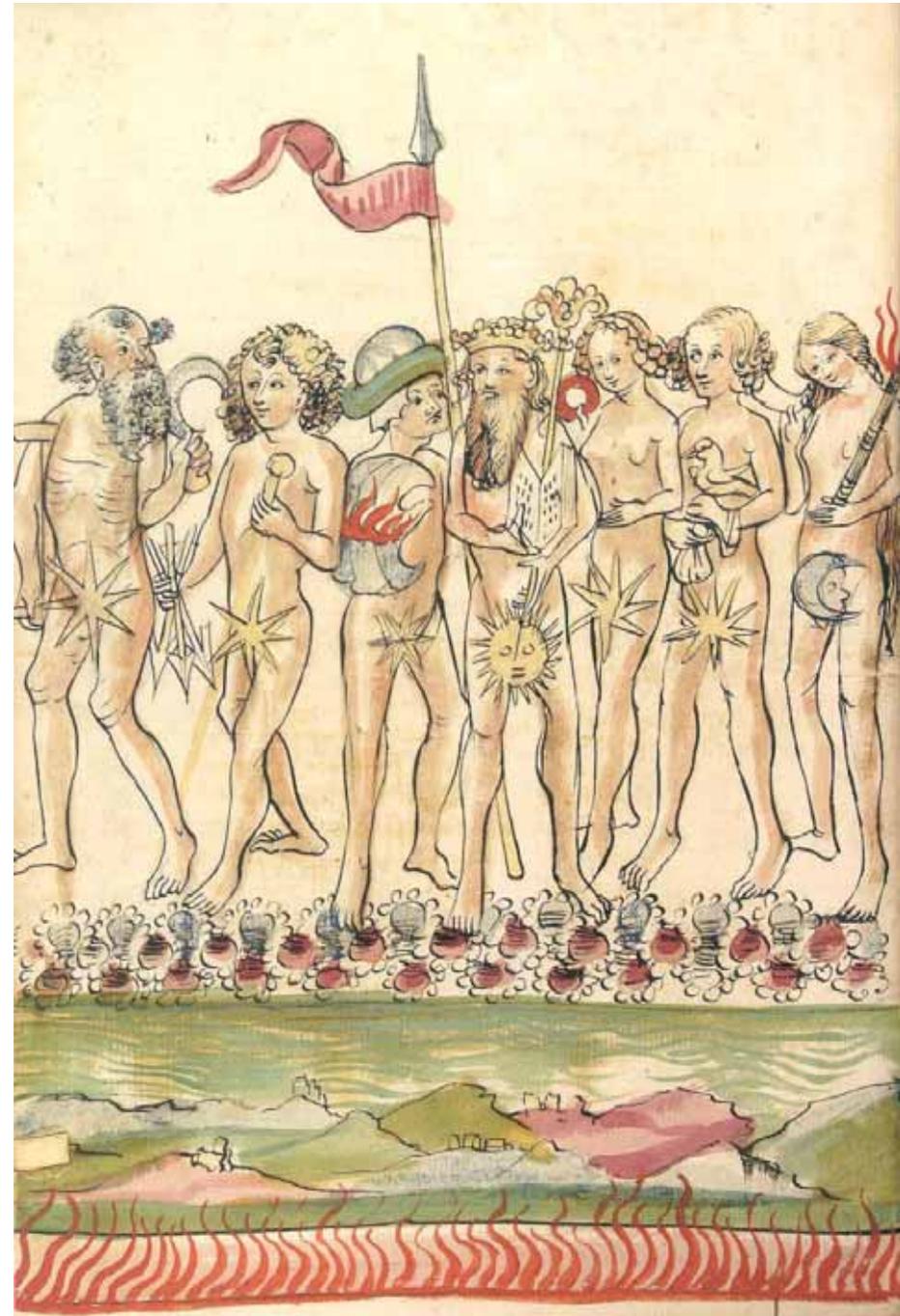


Andreas Cellarius 1708 (BPK Berlin)

III.4 Monatseinteilung: Woche

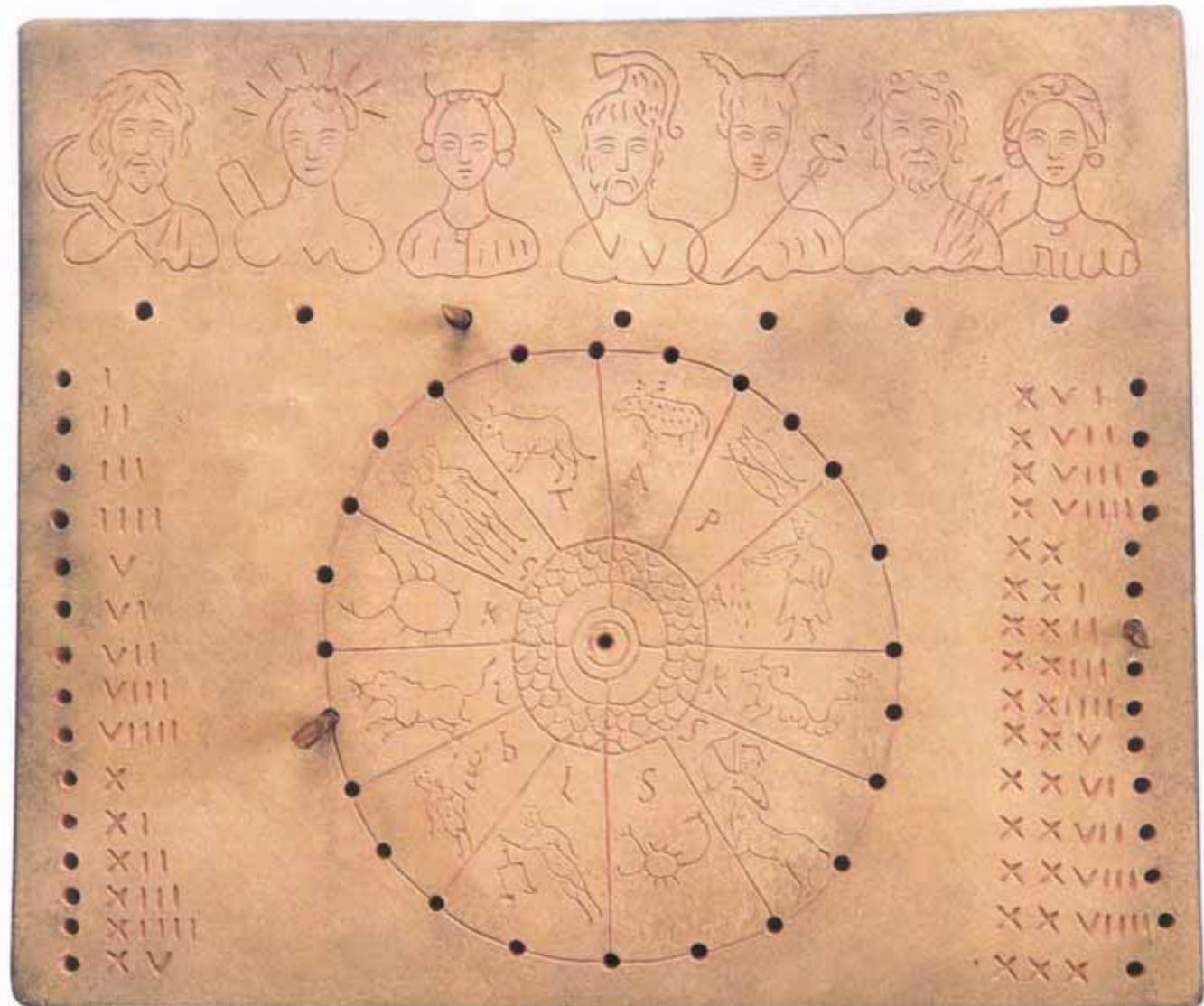
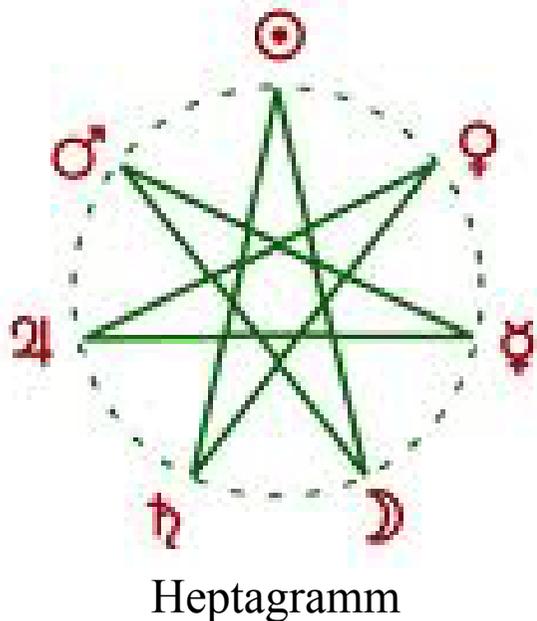
Saturn
Jupiter
Mars
Sonne
Venus
Merkur
Mond

Lauber, Diebold (vor 1427 – nach 1471),
Schreiberwerkstatt, Hagenau im Elsass,
Von den Himmeln, den sieben Planeten und
vier Elementen,
UB Heidelberg, Cod. Pal. Germ. 300, 36v



III.4 Monatseinteilung: Woche

- Saturn
- Sonne
- Mond
- Mars – Tyr / Ziu
- Merkur – Odin / Wodan
- Jupiter – Thor / Donar
- Venus – Freyja / Frigg



Römischer Sonnenkalender mit Tierkreis und Wochentagsgöttern beginnend mit Saturn (Röm.-Germ. Zentralmuseum Mainz; Zemanek, 1978, 33; Künzl, 2005, 95)

III.4 Woche	Mond	Mars	Merkur	Iupiter	Venus	Saturn	Sonne
D GB S	Montag Monday måndag	Dienstag Tuesday tisdag	Mittwoch Wednesd. onsdag	Donnerst. Thursday torsdag	Freitag Friday fredag	Samstag Saturday lördag	Sonntag Sunday söndag
F I E	lundi lunedì lunes	mardi martedì martes	mercredi mercoledì miercoles	jeudi giovedì jueves	vendredi venerdì viernes	samedi sabato sabado	dimanche domenica domingo
MN	даваа гариг	мягмар г.	лхагва г.	пүрэв г.	баасан г.	бямба г.	ням г.

III.5 Nullpunkte 1

Ära

Epoche: Anfangstag einer Ära

Noch keine Nullpunkte:

Ägypter: Pharaonen

Griechen: Archonten

Römer: Konsuln

im **Kanon des Ptolemaios**

aufgereiht

(gefunden im 17. Jh. in London)

beginnend mit den tgl.

astronom. Aufzeichnungen in

Babylon ab Nebukadnezar II.

Byzanz: 01.09.5509

Alexandria: 25.03.5492

julianisch: 01.01.4713, 12:00

Joseph Justus **Scaliger** (1540-1609)

De emendatione temporum 1583

Scaliger-Zyklus kgV (28; 19; 15) = 7980

1. Sothisperiode: 19.07.4241

Judentum: 07.10.3761, 18:00

Nebukadnezar II. 26.02.747

Seleukiden: 01.10.312 v.Chr.

Christentum: 01.01.01 n.Chr.

(Dionysius Exiguus 525, Ostertafel)

Diokletian: 01.01.284 n.Chr.

Islam: Fr 16.07.622 = 1. Muharrem 1

III.5 Nullpunkte 2

Jahresbeginn

1.1. julianisch; 1.3. altrömisch

Monatsbeginn

Osterdatumsberechnung, islamisch, jüdisch:
Monatsbeginn mit **Neulicht** (Abenddämmerung):
neomēnia (babyl., frühgriech.)

Tagesbeginn

0h, Sonnenaufgang, 12h (Astronomie),
Sonnenuntergang bzw. 18h (jüdisch, islamisch)

IV.1 Ägyptischer Kalender

Solarkalender

1 (tropisches) Jahr =

365,24220 d

Abweichung: $-0,24220$ d

In 4 Jahren ~ -1 d Abweichung

(SdW 2008, 12)

25jährigen **Mondzyklus**, wohl beginnend mit dem ersten Neu-Mond nach einem Sothis-Frühaufgang

ägyptisches Wandeljahr

365 Tage (zu kurz)

12 Monate zu 30 Tagen + 5 Tage

Sothis-Periode (Sirius)

≈ 1460 a = 365 d \cdot (4 a)/(1 d)

ägyptisches Jahr einmal durch alle Jahreszeiten

Sothis-Frühaufgang

(erste Sichtbarkeit am Morgen vor Sonnenaufgang)

Anfang Juli kündigt Nilflut an.

Schalntag alle 4 Jahre schon 238 v.Chr. von Ptolemaios III. angeordnet, aber nicht befolgt.

Anfang 3. Jh. v. Chr. Uni Alexandria gegründet

IV.2 Altrömischer Kalender

Numa Pompilius

Solarkalender

Warum heißt der 12. Monat
Dezember (der zehnte)?

Jahresbeginn Anfang März

Frühlingsanfang: 24. März

Kalenden 1.

Nonen 5./7.

Iden 13./15.

Tageseinteilung:

12 je nach Tageslänge

unterschiedlich lange Stunden

und 4 *vigiliae*

Martius (Mars) 31

Aprilis (Apollo Aperta) 29

Maius (Iupiter Maius) 31

Iunius (Iuno) 29

Quintilis (später Iulius) 31

Sextilis (später Augustus) 29

Septembris 29

Octobris 31

Novembris 29

Decembris 29

Ianuarius (Ianus) 29

Februarius (Pluto oder Februus) 27

Alle 2 Mondjahre **Schaltmonat** (*mensis* 354

intercalaris) mit abwechselnd 22/23 d
Februar endet mit dem 23. (Terminalien)

Restl. Tage zum Schaltmonat gerechnet

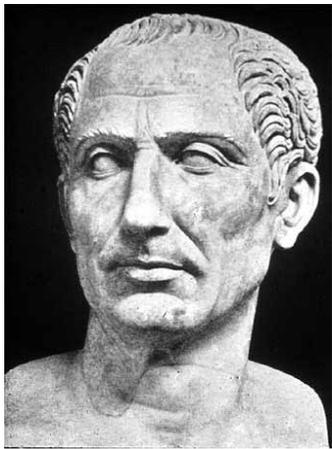
Jahr: $(354+354+22+354+354+23)/4$ 365,25

IV.3 Julianischer Kalender

Solarkalender

1 (tropisches) Jahr =
365,24220 d

Abweichung: +0,0078d = +674s



Konzil von Nicäa 325

Ordnung des christl. Kalenders
Frühlingsanfang: 21. März
(325+45) · 0,0078 d ≈ 2,9 d

Julius Caesar und alexandrinische Gelehrte
seit 01.01.45 v. Chr.

julianisches Jahr
365,25 Tage (zu lang)

Normaljahr 365 Tage

Schaltjahre (jedes 4. Jahr) mit einem Schalttag
366 Tage: *annus bissextilis*

24. Februar: A D VI BIS KAL MART
(altröm. Schaltmonat an diesem Datum)

4-Jahres-Zyklus: 1461 d

Jahresbeginn: 1.1. (Amtsantritt der Konsuln)

Frühlingsanfang: 24. März

Monatslängen wie heute: Erweiterung 354 → 365d

IV.4 Gregorianischer Kalender

Solarkalender

1 (tropisches) Jahr =
365,24220 d

Abweichung: +0,0003 d



zunächst in Rom, später in
anderen Ländern eingeführt

Papst Gregor XIII (1502 / 1572 – 1585)

1582: auf Do 04.10. folgt Fr 15.10. (10 Tage)

gregorianisches Jahr

365,2425 Tage (zu lang)

Normaljahr 365 Tage

Schaltjahre (jedes 4. Jahr) mit einem Schalttag

366 Tage

1700, 1800, 1900 keine Schaltjahre

2000 Schaltjahr (durch 400 teilbar)

400-Jahres-Zyklus: 146097 d

Frühlingsanfang: 11. März 1582

$(1582+46) \cdot 0,0078 \text{ d} \approx 12,7 \text{ d}$

Neuer Frühlingsanfang: 21.03. (wie Nicäa)

IV.4 Gregorianischer Kalender



Christoph Clavius

* 1537/38 Bamberg

+ 06.02.1612 Rom

gregorianische Kalenderreform, Dezimalpunkt

Novi calendarii romani apologia 1588

Rom. calendarii a Gr. XIII restituti explicatio 1603

Refutatio cyclometriae Iosephi Scaligeri 1609

Joseph Justus Scaliger

* 05.08.1540 Agen, Lot-et-Garonne

+ 21.01.1609 Leiden

Jahreskennzahlen, Scaliger-Zyklus

De emendatione temporum 1583

Thesaurus temporum (griech.-röm. Chronol.) 1606

IV.5 Sonntagsbuchstabe und ewiger Kalender

Verteilung der Wochentage
auf das Kalenderjahr hat
28jährigen Zyklus (julianisch)

Jahr beginnt einen Wochentag
später als das vorige:

$$365 = 52 \cdot 7 + 1$$

So-Buchstabe vermindert sich
von Jahr zu Jahr

Alle 4 Jahre (Schaltjahr) noch
einen Tag später:

Schaltjahre haben
zwei Sonntagsbuchstaben
 $\text{kgV}(4; 7) = 4 \cdot 7 = 28$

01.01. A
02.01. B
03.01. C
04.01. D
05.01. E
06.01. F
07.01. G

**Sonntags-
Buchstabe**
Buchstabe
des ersten
Sonntags
im Jahr

				1700	1800	1900
00				C	E	G
01	29	57	85	B	D	F
02	30	58	86	A	C	E
03	31	59	87	G	B	D
04	32	60	88	FE	AG	CB
05	33	61	89	D	F	A
06	34	62	90	C	E	G
07	35	63	91	B	D	F
08	36	64	92	AG	CB	ED
09	37	65	93	F	A	C
10	38	66	94	E	G	B
11	39	67	95	D	F	A
12	40	68	96	CB	ED	GF
13	41	69	97	A	C	E
14	42	70	98	G	B	D
15	43	71	99	F	A	C
16	44	72	-	ED	GF	BA
17	45	73	-	C	E	G
18	46	74	-	B	D	F
19	47	75	-	A	C	E
20	48	76	-	GF	BA	DC
21	49	77	-	E	G	B
22	50	78	-	D	F	A
23	51	79	-	C	E	G
24	52	80	-	BA	DC	FE
25	53	81	-	G	B	D
26	54	82	-	F	A	C
27	55	83	-	E	G	B
28	56	84	-	DC	FE	AG

Gregorianische Sonntagsbuchstaben
(dtv-Atlas Astronomie, 1987, 48)

IV.6 Jahreskennzahlen

Sonnenzirkel

28 julianische Jahre: 10227 d

4713 v.Chr.: Wert 1 (Scaliger)

3761 v.Chr.: Wert 1 (jüd. Ep.)

5492 v.Chr.: Wert 1 (alex. Ep.)

5508 v.Chr.: Wert 1 (byz. Ep.)

Mondzirkel – Goldene Zahl

19 jul. Jahre: 6939 bzw. 6940 d

4713 v.Chr.: Wert 1 (Scaliger)

5492 bzw. 3763 v.Chr.: Wert 1

5508 bzw. 3760 v.Chr.: Wert 1

Indiktion – Römerzinszahl

15 jul. Jahre: 5478 bzw. 5479 d

4713 v.Chr.: Wert 1 (Scaliger)

Sonnenzirkel 1 (z.B. 9 v. Chr.): So-Buchstaben GF

Sonnenzirkel 28: julianisch So-Buchstabe A

Rest $((\text{Jahreszahl} + 9) / 28)$ Standard (Scaliger)

Rest $((\text{Jahreszahl} + 4) / 28)$ Variante ???

Rest $((\text{Jahreszahl} + 20) / 28)$ russ.-orthodox

Meton-Zyklus: Nach 19 Jahren fallen Mondphasen wieder auf gleichen Tag des Jahres.

Rest $((\text{Jahreszahl} + 1) / 19)$ Standard (Scaliger)

Rest $((\text{Jahreszahl} + 17) / 19)$ russ.-orthodox

historisch bedingt; Steueransage des röm. Kaisers
z.B. 297-312, 313-327

Rest $((\text{Jahreszahl} + 3) / 15)$ Standard (Scaliger)

IV.6 Jahreskennzahlen Astronomische Uhren

Monat
Tag
Tagesbuchstabe
Tagesheilige
Sonnenaufgang
Mondzirkel, Goldene Zahl
Jahreszahl
Sonntagsbuchstaben
Sonnenzirkel
Römerzinszahl
Wochen und Tage zwischen
Weihnachten und Fastenzeit
Osterdatum

Astronomische Uhr,
Marienkirche Rostock, 1472



IV.6 Jahreskennzahlen Kalender

Beispiel 1727
Mondzirkel, Goldene Zahl 18
Sonnenzirkel 28
Epakte 7
Römerzinszahl 5
Sonntagsbuchstabe E
8 Wochen und 5 Tage zwischen
Weihnachten und Fastenzeit



Almanach auf das Jahr 1727 (Kirchenmuseum Kösslarn, Ndb.)

IV.7 Bewegl. christliche Feste

Kirchenrechnung – **Computus**

Letter	Cyclos Epactarum	Septuagesima	Dies Cinerum	Pascha
D	21. 22. 21. 20. 19. 18. 17. 16. 15. 14. 13. 12. 11. 10. 9. 8. 7. 6. 5. 4. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31.	18 Jan.	4 Feb.	22 Mar. 30 Mar.
E	24. 23. 22. 20. 19. 18. 17. 16. 15. 14. 13. 12. 11. 10. 9. 8. 7. 6. 5. 4. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31.			
F	27. 26. 25. 24. 23. 22. 21. 20. 19. 18. 17. 16. 15. 14. 13. 12. 11. 10. 9. 8. 7. 6. 5. 4. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31.			
G	30. 29. 28. 27. 26. 25. 24. 23. 22. 21. 20. 19. 18. 17. 16. 15. 14. 13. 12. 11. 10. 9. 8. 7. 6. 5. 4. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31.			
A	31. 30. 29. 28. 27. 26. 25. 24. 23. 22. 21. 20. 19. 18. 17. 16. 15. 14. 13. 12. 11. 10. 9. 8. 7. 6. 5. 4. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31.			

Ostertafel (Kirchenmuseum Kösslarn)

Ostern

Sonntag nach dem ersten Vollmond im Frühjahr auf dem Konzil von Nicäa festgelegt
frühestens 22.03, spätestens 25.04.

46 Tage vor Ostern: Aschermittwoch

7 Tage vor Ostern: Palmsonntag

2 Tage vor Ostern: Karfreitag

39 Tage nach Ostern: Christi Himmelfahrt

49 Tage nach Ostern: Pfingsten

60 Tage nach Ostern: Fronleichnam

**Berechnung nicht exakt astronomisch,
sondern vereinfacht mit Ostertafeln**

Grundlage: **Osterzyklus** kgV (28; 19) = 532

Gaußsche Osterformel 1800

(Werke 6, 73-79, Leipzig: Teubner 1874; Werke 11,1, 119-214)

IV.7 Osterdatumsberechnung

Epakte

z.B. $0 / 29 + (GZ-1) \cdot 11 \bmod 30$

Mondalter in Tagen

nach **Neu-Mond** (Sichel!)
am 01.01. (früher am 22.03.)
wächst um knapp 11 d/a
(Vollmond 13 Tage danach)

trop. Jahr – Mondjahr =
10,88292 d jul.
10,87542 d greg.

Tabelle:

greg. Epakte abhängig von GZ
nach dem Meton-Zyklus

1900: Goldene Zahl 1

	0
	10,875
$10,875+10,875 =$	21,750
$32,625-29,53 =$	3,095
	13,970
	24,845
$35,72-29,53 =$	6,190
	17,065
	27,940
$38,815-29,53 =$	9,285
	20,160
$31,035-29,53 =$	1,505
	12,380
	23,255
$34,13-29,53 =$	4,600
	15,475
	26,35
$37,225-29,53 =$	7,695
	18,570
$29,445-29,53 =$	-0,085

Goldene Zahl	Epakte 1700 – 1899	Epakte 1900 – 2199
1	0	29
2	11	10
3	22	21
4	3	2
5	14	13
6	25	24
7	6	5
8	17	16
9	28	27
10	9	8
11	20	19
12	1	0
13	12	11
14	23	22
15	4	3
16	15	14
17	26	25
18	7	6
19	18	17

Gregorianische Epakten
(dtv-Atlas Astronomie, 1987, 48)

V.1 Babylonischer Kalender

Lunisolarcalendar

1 tropisches Jahr = 365,24220 d

1 synod. Monat = 29,53059 d

1 tropisches Jahr =
12,36827 synodische Monate

babyl.-frühgriech. 8-Jahres-Zyklus (*Oktaeteris*):

5 Gemeinjahre zu 12 Monaten (354 Tage)

3 Schaltjahre zu 13 Monaten (384 Tage)

insgesamt 99 Monate = 2922 Tage

1 Okt-Jahr = $2922 / 8 \text{ d} = 365,250 \text{ d}$

1 Okt-Monat = $2922 / 99 = 29,515 \text{ d}$

1 Okt-Jahr = 12,375 Okt-Monate

Tage in 360 Einheiten (à 4 Min.) unterteilt,
mit Wasseruhr gemessen

V.2 Jüdischer Kalender

Lunisolarcalendar

19jähriger Zyklus

Epoche 07.10.3761 v.Chr.

Jahre von 12 und 13 Monaten

Jahres-
länge

2: 354
3: 383
4: 355
5: 354
6: 384
7: 353
8: 385
9: 354
10: 355
11: 383
12: 354
13: 355
14: 383
15: 355
16: 354
17: 385
18: 353
19: 384
1: 355
2: 355

Jahr	Form	gregorianisches Datum des Jahresanfangs
5721	ordentliches Gemeinjahr	22. 9. 1960
5722	abgekürztes Schaltjahr	11. 9. 1961
5723	überzähliges Gemeinjahr	29. 9. 1962
5724	ordentliches Gemeinjahr	19. 9. 1963
5725	überzähliges Schaltjahr	7. 9. 1964
5726	abgekürztes Gemeinjahr	27. 9. 1965
5727	überzähliges Schaltjahr	15. 9. 1966
5728	ordentliches Gemeinjahr	5. 10. 1967
5729	überzähliges Gemeinjahr	23. 9. 1968
5730	abgekürztes Schaltjahr	13. 9. 1969
5731	ordentliches Gemeinjahr	1. 10. 1970
5732	überzähliges Gemeinjahr	20. 9. 1971
5733	abgekürztes Schaltjahr	9. 9. 1972
5734	überzähliges Gemeinjahr	27. 9. 1973
5735	ordentliches Gemeinjahr	17. 9. 1974
5736	überzähliges Gemeinjahr	6. 9. 1975
5737	abgekürztes Gemeinjahr	25. 9. 1976
5738	ordentliches Schaltjahr	13. 9. 1977
5739	überzähliges Gemeinjahr	2. 10. 1978
5740	überzähliges Gemeinjahr	22. 9. 1979

(dtv-Atlas Astronomie, 1987, 48)

V.2 Jüdischer Kalender

Monate von 29 und 30 Tagen

Passah am 15. Nisan

163 Tage danach Neujahr
bei allen 6 Jahreslängen

5 Ausnahmeregeln für
Neujahrsmoled (Neu-Mond)

Namen der Monate	Gemeinjahre			Schaltjahre		
	a	b	c	a	b	c
Tischri	30	30	30	30	30	30
Marcheschwan	29	29	30	29	29	30
Kislev	29	30	30	29	30	30
Tebet	29	29	29	29	29	29
Schebat	30	30	30	30	30	30
Adar	29	29	29	30	30	30
Beadar	—	—	—	29	29	29
Nisan	30	30	30	30	30	30
Ijar	29	29	29	29	29	29
Sivan	30	30	30	30	30	30
Tamuz	29	29	29	29	29	29
Ab	30	30	30	30	30	30
Elul	29	29	29	29	29	29
Jahreslängen in Tagen	353	354	355	383	384	385

Jüdische Monate
(Wislicenus, 1905, 79)

V.3 Islamischer Kalender

Lunarkalender

Epoche 16.07.622

12 synodische Monate =
354,36708 d

1 synodischer Monat =
29,53059 d

1 tropisches Jahr =
12,36827 synodische Monate

Epoche: Fr 16.07.622 = 1. Muharrem 1

Monate von 29 und 30 Tagen im Wechsel
7-Tage-Woche

Zyklus von 30 Mondjahren:

- 19 Gemeinjahre zu 354 [= (29+30)·6] Tagen

- 11 Schaltjahre zu 355 Tagen

(Schalttag am Jahresende)

30 islam. Jahre = 360 Monate = **10631 Tage**

360 synod. Monate dauern nur 18m länger

islam. Monat = $10631/360$ d = **29,53055 d**

Faustregel: 32 Sonnenjahre \approx 33 Mondjahre

$10631\text{d} + 1063\text{d} = 11694\text{d} \mid : 32 = 365,4375\text{d}$

(Sonnenjahr $\approx 396/32 = 12,375$ islam. Monate)

Monatsbeginn mit **Neulicht** (Abenddämmerung):

neomēnia (babyl., frühgriech.)

V.3 Islamischer Kalender

Mond-Hedschra-Kalender

hidschri qamari

gregorianisch

Jahr

Monat (Januar)

Tag

Wochentag (Sonntag)

Sonnen-Hedschra-Kalender

hidschri schamsi

ay Monat

gün Tag

hafta Woche

yıl Jahr

kalan übrig

26 MUHARREM 1432										
2011 OCAK		Şehir	İmsak	Güneş	Öğle	İkindi	Akşam	Yatsı	Kible sa.	
1	CUMARTESİ	Mekke	5.26	6.53	12.33	15.38	17.57	19.13	-	
		Medine	5.31	7.00	12.34	15.34	17.51	19.10	12.12	
		İstanbul	5.33	7.22	12.19	14.39	16.54	18.31	10.12	
		Aachen	6.18	8.31	12.52	14.36	16.48	18.48	-	
		Augsburg	5.56	8.01	12.31	14.26	16.40	18.32	8.30	
		Berlin	5.50	8.10	12.23	14.00	16.11	18.16	8.57	
		Bielefeld	6.09	8.27	12.42	14.21	16.33	18.36	8.43	
		Bremen	6.09	8.31	12.42	14.16	16.26	18.34	8.48	
		Dortmund	6.13	8.29	12.47	14.28	16.40	18.41	8.37	
		Duisburg	6.16	8.31	12.49	14.31	16.43	18.44	8.35	
		Düsseldorf	6.15	8.30	12.49	14.32	16.44	18.44	8.34	
		Frankfurt	6.06	8.18	12.41	14.28	16.41	18.38	8.33	
		Giessen	6.07	8.20	12.41	14.27	16.39	18.38	8.36	
		Hamburg	6.05	8.29	12.37	14.09	16.19	18.28	8.53	
		Hanau	6.05	8.17	12.40	14.27	16.40	18.37	8.34	
		Hannover	6.05	8.24	12.38	14.15	16.26	18.31	8.47	
		Karlsruhe	6.06	8.14	12.42	14.34	16.47	18.41	8.26	
		Köln	6.14	8.28	12.48	14.32	16.44	18.44	8.33	
		Krefeld	6.16	8.32	12.50	14.32	16.44	18.45	8.34	
		Limburg	6.09	8.21	12.44	14.30	16.42	18.40	8.33	
Mainz	6.08	8.19	12.43	14.31	16.43	18.40	8.32			
Mannheim	6.07	8.16	12.42	14.32	16.45	18.40	8.29			
München	5.53	7.58	12.29	14.24	16.38	18.29	8.31			
Nürnberg	5.56	8.05	12.31	14.21	16.34	18.30	8.36			
Rüsselsheim	6.07	8.18	12.42	14.30	16.43	18.40	8.32			
Stuttgart	6.03	8.10	12.39	14.32	16.45	18.38	8.27			
Ulm	5.59	8.05	12.35	14.30	16.43	18.35	8.28			
Hicrî Şemsî: 1389										
1. ay, 31 gün, 52. hafta										
Yılın 1. günü										
Kalan gün: 364										

Türkisches Kalenderblatt 01.01.2011 gregorianisch

V.3 Islamischer Kalender

Bewegliche islamische Feste
(in D schulisch relevant):

Fastenbrechen

türk. *Ramazan Bayramı*,
3 Tage ab dem 1. Şevvâl,
dem ersten Tag nach dem
Ramadan (9. Monat)

Opferfest

türk. *Kurban Bayramı*,
4 Tage ab dem 10. Zil-hicce
(Abraham-Isaak-Geschichte)

(Wislicenus, 1905, 91:
islam. Monatsnamen)

Jahr	Form	gregorianisches Datum des Jahresanfangs
1380	Gemeinjahr	26. 6. 1960
1381	Gemeinjahr	15. 6. 1961
1382	Schaltjahr	4. 6. 1962
1383	Gemeinjahr	25. 5. 1963
1384	Gemeinjahr	13. 5. 1964
1385	Schaltjahr	2. 5. 1965
1386	Gemeinjahr	22. 4. 1966
1387	Schaltjahr	11. 4. 1967
1388	Gemeinjahr	31. 3. 1968
1389	Gemeinjahr	20. 3. 1969
1390	Schaltjahr	9. 3. 1970
1391	Gemeinjahr	27. 2. 1971
1392	Gemeinjahr	16. 2. 1972
1393	Schaltjahr	4. 2. 1973
1394	Gemeinjahr	25. 1. 1974
1395	Gemeinjahr	14. 1. 1975
1396	Schaltjahr	3. 1. 1976
1397	Gemeinjahr	23. 12. 1976
1398	Schaltjahr	12. 12. 1977
1399	Gemeinjahr	2. 12. 1978

(dtv-Atlas Astronomie, 1987, 48)

VI. Uhren

Räderwerk von Antikythera

(SdW 2010, 5)



...richten des Geostellensystem; sie definieren die Ebene der Ekliptik, auf der die Sonne über den Himmel wandert

EIN ÄGYPTISCHER KALENDER zeigte die 365 Tage eines Jahres an

Datumszeiger
Sonnenzeiger

Kurbel

Vermutlich gaben Zeiger DIE POSITIONEN DER DAMALS BEKANNTEN PLANETEN auf der Ekliptik an

EIN MONDZEIGER verortete den Erdtrabanten auf der Ekliptik

AUF- UND UNTERGÄNGE WICHTIGER STERNE im Lauf eines Jahres wurden auf der vorderen Abdeckplatte aufgelistet

DAS RÄDERWERK DES METON-ZYKLUS
berechnete den jeweiligen Monat im Meton-Zyklus, der 235 synodische Monate umfasste. Zeiger A zeigte das Resultat auf der Rückseite des Apparats an. Die Nadel B an seiner Spitze lief in einem Schlitz auf dem spiralförmigen Zifferblatt und zog den Zeiger so auf die erforderliche Länge aus. Hilfszahnrad C bewegte einen kleineren Zeiger D entlang einer zweiten Skala, die dem vierjährigen Zyklus der Olympischen Spiele und anderer antiker Spiele entsprach. Wieder andere Zahnräder waren für die Uhr E zuständig, die vermutlich einem 76-jährigen Zyklus folgte.

DAS VON DER KURBEL ANGETRIEBENE HAUPTRAD setzte alle anderen Zahnräder in Bewegung und stellte über einen Zeiger das Datum auf dem ägyptischen Kalender ein. Eine vollständige Umdrehung entsprach einem Jahr. Das Zifferblatt des Kalenders war zudem drehbar, um Schalttage einzufügen.

DAS MOND-ÜHRWERK erfasste mit epizyklischen Zahnrädern die Geschwindigkeits- und Richtungsänderungen, die der Mond für den Beobachter auf der Erde am Firmament scheinbar vollzieht. Ihre Lager befanden sich auf dem Zahnrad A. Ein Rad bewegte mittels der Vorrichtung B – eine in einem Schlitz laufende Nadel – ein zweites. Von weiteren Rädern in den vorderen Bereich des Apparats übertragen, drehte vermutlich ein weiteres epizyklisches System C eine schwarz-weiße Kugel D, um die Phase des Mondes anzugeben; Zeiger E verwies auf die Position des Mondes im Tierkreis.

DAS RÄDERWERK ZUR BERECHNUNG VON SONNEN- UND MONDFINSTERNISSEN ermittelte den Monat einer Finsternis (Eklipse) Innerhalb einer Saros-Periode, die 223 synodische Monate umfasst. Wie bei der Meton-Uhr war der Zeiger A ausziehbar und das Zifferblatt spiralförmig angelegt. Zusätzlich bewegten Hilfsräder einen weiteren Zeiger B auf einer kleinen Uhr. Er vollführte nur eine Drittelumdrehung je Saros-Periode, um anzuzeigen, dass sich die nächste Finsternis um acht Stunden verschob.

METON-ZYKLUS-ÜHR
Anzeige der Olympiaden und anderer Spiele der Antike

OLYMPIADEN-ÜHR
Auf diesem Zifferblatt waren die Jahre ablesbar, in denen panhellenische Spiele wie die Olympiaden stattfanden

FINSTERNIS-ÜHR nach der Saros-Periode

VII. Finsternisberechnung

Saros-Zyklus

babyl. Maßeinheit

[Edmond Halley 1691]

Finsterniszyklus

242 drakonitische Monate

(= $18 \text{ a } 11 / 10,3592 \text{ d}$)

≈ 223 synodische Monate

(Fehler $\approx 0,0376 \text{ d}$)

Schnittpunkte

Mondbahn – Ekliptik:

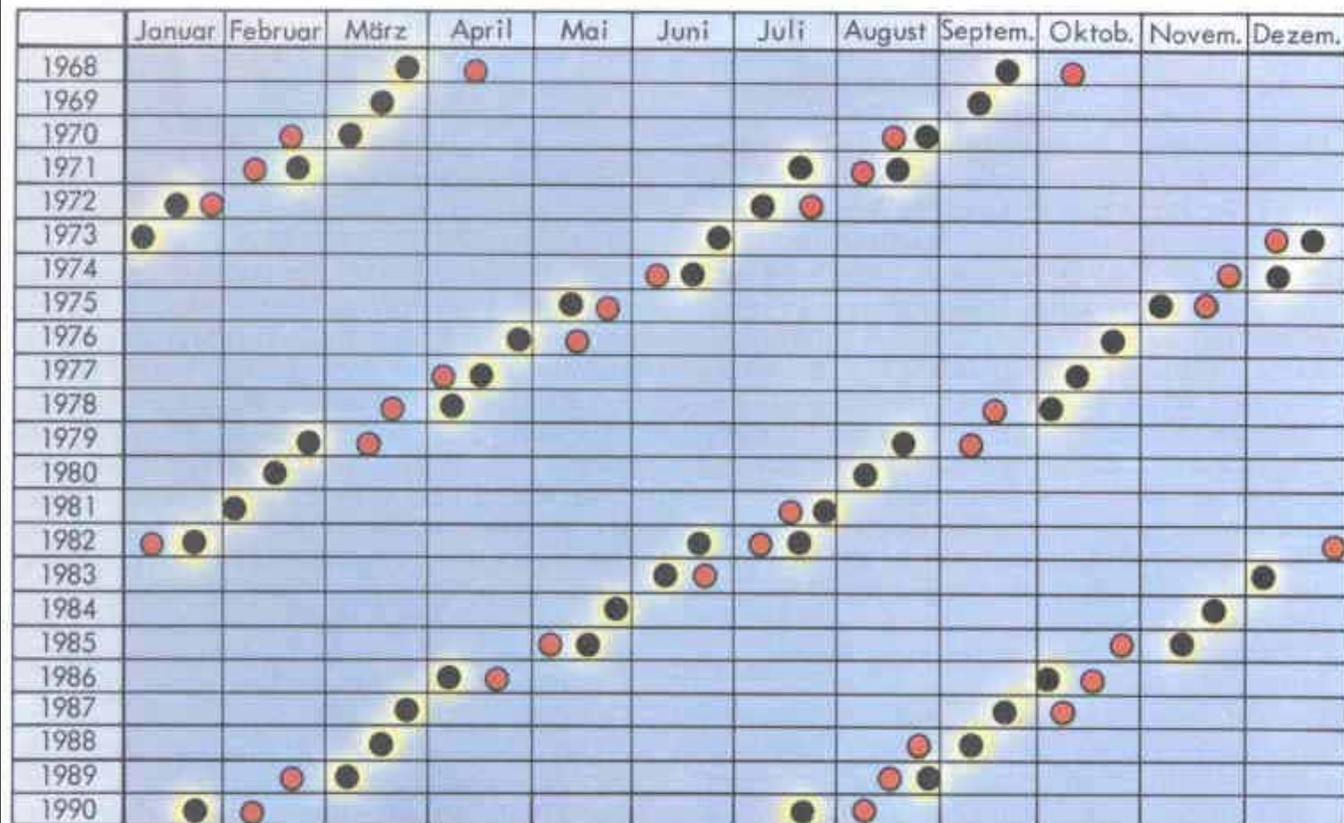
Mondknoten

caput draconis

‘aufsteigender Mondknoten’

cauda draconis

‘absteigender Mondknoten’



A Sonnenfinsternisse (schwarze Punkte) und Mondfinsternisse (rote Punkte) von 1968–1990

Mondbahnpräzession

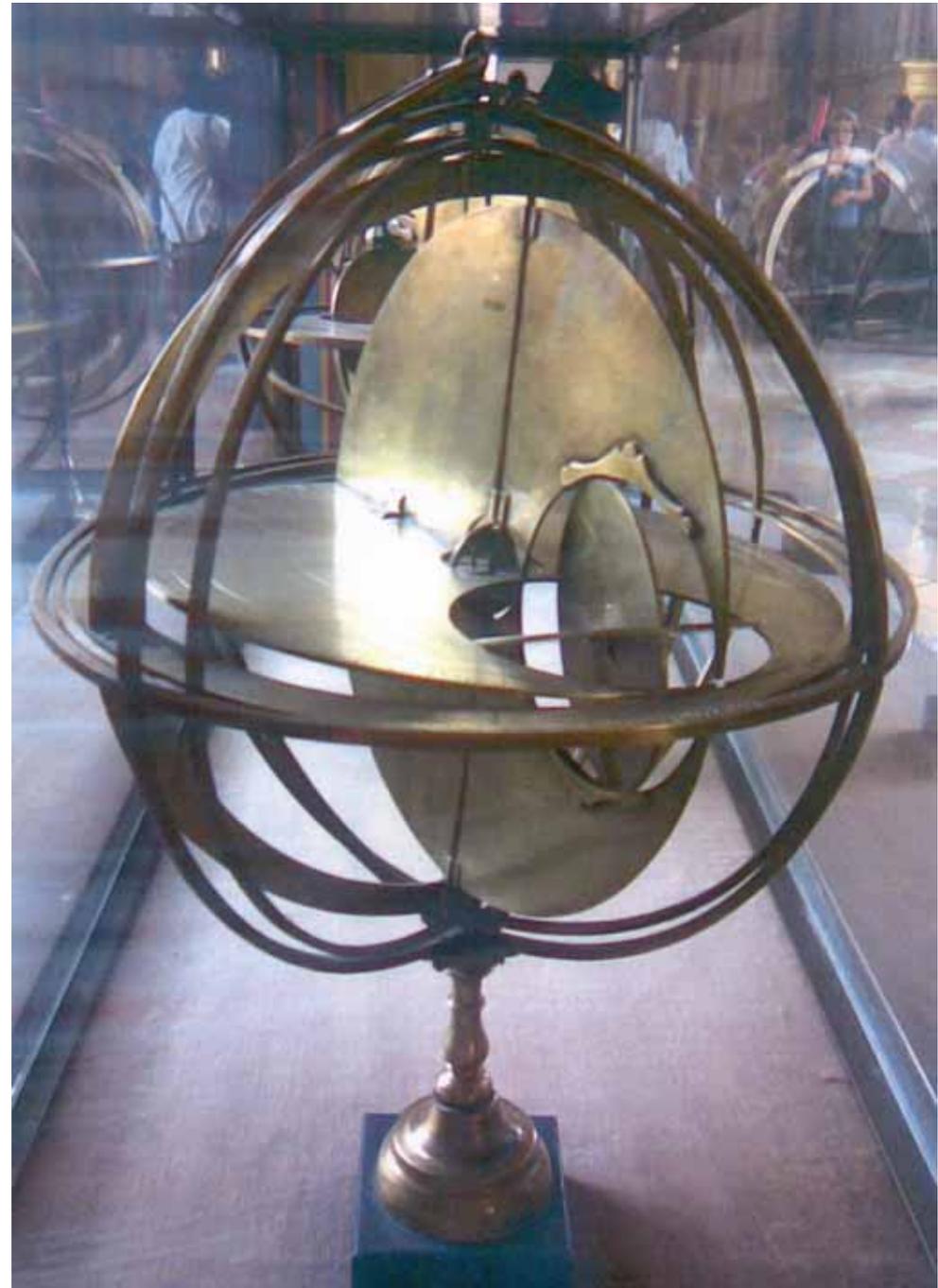
Knotenlinie des Mondes bewegt sich entgegen der Umlaufrichtung des Mondes, pro Jahr etwa 20°
Gesamtumlauf 6798 d oder 18,61 Jahre
(dtv-Atlas Astronomie, 1987, 51-52)

VII. Finsternisberechnung

Ekliptik und Erde-Mond-Ebene



Armillarsphären (Musei Vaticani)



VII. Finsternisberechnung

Saros-Zyklus

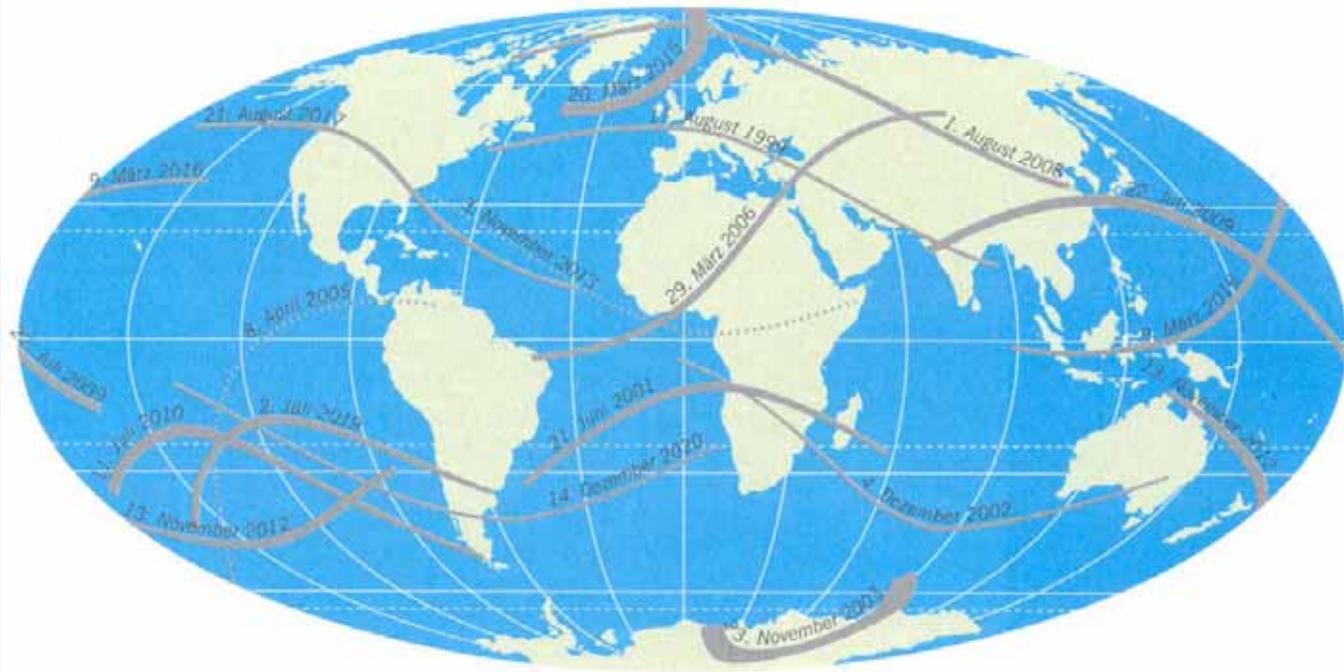
1 $19/223$ drak. Monat =

1 synod. Monat

1 drak. Monat = $27,21215$ d =
 27 d 5 h 5 m $35,8$ s

kgV (drak. Mon.; synod.Mon.)

Saros-Periode ≈ 6585 d 8 h
 8 h bedeuten Verschiebung
der Sonnenfinsternis
um 120° nach Westen



Finsternisse bis 2020
(SdW 1999, 8)

