



Meton-Zyklus und Meton-Periode

Zusammenfassung

Die Bedeutung der 19 Jahre langen Meton-Periode für die Kalender-Konstruktion wird untersucht und die Stellung des zugehörigen Zyklus' innerhalb anderer astronomischer Zyklen angegeben.

Inhalt:

1. Einleitung
2. Die Länge der Meton-Periode in Tagen
3. Lunisolar-Kalender
4. Meton-Zyklus und Lunisolar-Kalender
5. Wie genau ist die Gleichung 19 Julianische Jahre = 235 Monate ?
6. Andere astronomische Zyklen
7. Literatur
8. Anmerkungen

1. Einleitung

Der Meton-Zyklus als astronomischer Terminus besagt, dass Sonne und Mond sich alle 19 Jahre von der Erde aus gesehen vor denselben Sternen am Himmel treffen. Das gilt zum Beispiel auch für einen Zyklus, in dem alle 19 Jahre im Moment des Frühlingsanfangs Vollmond herrscht (Mond in Opposition zur Sonne und zu den Sternen, vor denen sich die Sonne befindet). Dieser Vollmond ist der bei der Osterrechnung zu beachtende früheste Frühlingsvollmond.

Die 19-Jahre-Periode (griechisch: Enneakaidekaeteris) wurde im 1. Jahrhundert v.Chr. auch Großes Jahr genannt und vom griechischen Historiker *Diodorus* mit dem 4. Jahrhundert vorher lebenden griechischen Astronom *Meton* in Verbindung gebracht, worauf vermutlich die Begriffe Meton-Periode für das Große Jahr und Meton-Zyklus zurück gehen [1]. Meton hat keine schriftlichen Aufzeichnungen hinterlassen, und die älteste erhaltene Darstellung der griechischen Astronomie wurde erst im 2. Jahrhundert v.Chr. von *Geminus* verfasst: "Einführung in die Phänomene" [2]. Obwohl darin der Name Meton's gar nicht vorkommt, ist dieses Werk die Grundlage für alle späteren Annahmen bis zu denen der heutigen Historiker dafür, dass Meton einen Lunisolar-Kalender mit Hilfe der 19-Jahre-Periode aufgestellt habe. Zu dieser Spekulation kommt der Brauch der Historiker, diesen lediglich angenommenen Kalender als Ganzes und den Zeitraum von 19 Jahren im

Besonderen als Zyklus, als Meton-Zyklus zu bezeichnen.

Die folgenden Darstellungen beziehen sich ausschließlich auf den o.g. astronomischen Terminus, der der naturwissenschaftlichen Definition für Zyklus entspricht: regelmäßige Wiederkehr gleicher oder vergleichbarer Ereignisse. Beim Meton-Zyklus ist das die Reihe von 19-jährigen Treffen von Sonne und Mond vor denselben Sternen. Nach naturwissenschaftlicher Definition ist die Periode die Zeit zwischen den Ereignissen, somit wird Meton-Periode im Folgenden für die 19 Jahre und die 235 Lunationen gebraucht. Im Julianischen Kalender kam diese regelmäßige Reihe zur Anwendung, als das christliche Osterdatum festgelegt werden musste. Im Gregorianischen Kalender wurde das auf ihr beruhende Schema für das Datum des Frühlingsvollmondes prinzipiell beibehalten. Er enthält neben der bekannten Schalt-Korrektur für die Länge des Sonnen-Jahres auch einen gelegentlichen Eingriff für den Fehler zwischen 19 Jahren und 235 (Mond-) Monaten, um den Frühlingsvollmond in besserer Übereinstimmung mit dem tatsächlichen Ereignis am Himmel im Voraus im Kalender angeben und den vom Frühlingsvollmond abhängigen Ostersonntag ableiten zu können.

2. Die Länge der Meton-Periode in Tagen

Die annähernde Gleichheit von 19 Sonnen-Jahren mit 235 Lunationen ist zunächst nur eine astronomische Erscheinung, die erst durch Vergleich mit einer in Tagen bemessenen dritten Periode praktische Bedeutung bekommt. Ein solcher Anwendungsfall ist ein Lunisolar-Kalender, in dem - wie in jedem Kalender - der Tag als kleinste Zeiteinheit dient und zu zählen ist. Eine ganze Zahl von Tagen wird zu Kalender-Mond-Monaten zusammen gefasst, 12 oder 13 von diesen ergeben ein Kalender-Mond-Jahr, das im Mittel gleich lang wie ein Sonnenjahr ist, von diesem $\pm 1/2$ Mond-Monat abweicht.

19 Sonnen-Jahre = 235 Mond-Monate = 6940 Tage war die den *Babyloniern* spätestens seit dem 8. Jahrhundert v.Chr. bekannte Gleichung [3]. In der Zeit *Seleukiden* (3. Jahrhundert v.Chr.) wurde sie bereits ausgefeilt für civile Lunisolar-Kalender angewendet, in denen von 19 Kalender-Jahren 12 je 12 Mond-Kalender-Monate (im Wechsel 29 und 30 Tage lang) und

7 als Schalt-Jahre je einen (1) zusätzlichen Schalt-Monat enthielten [4]. Bei der Anwendung für eine Sonnenkalender ist primär die Länge des Sonnenjahres wichtig. Die 19-Jahre-Meton-Periode war dafür auch von praktischer Bedeutung, weil ihr in guter Näherung eine ganze Zahl von Tagen zugeordnet werden kann.

Für den etwa ein (1) Jahrhundert nach *Meton* lebenden *Kallippus* ist nachgewiesen, dass er 19 Jahre mit 6.339,75 Tagen gleich setzte. Die ganztägige Kallippos-Periode hat die vierfache Länge: 76 Jahre mit 25.359 Tagen (Anmerkung 1). Die Angabe für das einzelne Jahr lautete damit 365,25 Tage, womit sich ein Kalenderjahr durch Zufügen eines Schalttages alle 4 Jahre einfach verwirklichen ließ. Bekannt ist eine solche Regelung im Solarkalender des im 3. Jahrhundert v. Chr. in Ägypten herrschenden *Ptolemaios III.* Sie überlebte ihn nicht, wurde aber im 45 v. Chr. eingeführten Julianischen Kalender wieder aufgegriffen. Als die späteren Christen den Julianischen Kalender übernahmen, fanden sie eine Länge des Kalenderjahres vor, die einfach verträglich für die zyklisch im Kalender zu verteilenden Daten für den Ostern bestimmenden Frühlingsvollmond war. Nach einer Periode von 19 Jahren sind die 19 Mond-Daten wieder gleich platziert wie die 19 vorherigen. Dazwischen verschieben sie sich jeweils auf 11 Tage früher oder auf 19 (30 - 11) Tage später (Mondsprung). Der Mondsprung entspricht der Einfügung eines Schalt-Monates in einem expressis verbis gebrauchtem Lunisolar-Kalender, wie es z. B. der heute noch für religiöse Zwecke gebrauchte Jüdische Kalender ist. Der Julianische wird nicht als ein Lunisolar-Kalender angesehen. Man spricht ihm nur einen lunaren Anteil zu, der ausschließlich für die Osterrechnung Bedeutung hat.

3. Lunisolar-Kalender

Der Lunisolar-Kalender ist die Annäherung des älteren Lunar- (Mond-) Kalenders an den Sonnen-Kalender. Die ältesten Kalender waren Mondkalender, weil es genauer möglich ist, die Vollendung eines Mondumlaufs als die eines Sonnenumlaufs zu bestimmen. Man arbeitete in erster Linie mit Monaten, fasste nur formal 12 davon zu einem Jahr zusammen. Der Prophet *Mohamed* bestimmte im 7. Jahrhundert n. Chr. für den Islam die Rückkehr zu diesem Kalendertyp, der in ca. 33 Jahren einmal durch die Jahreszeiten wandert.

Wegen der Landwirtschaft, vor allem aber wegen kultischer Feste, die meistens auch an die Jahreszeiten gebunden sind, bestand das Be-

dürfnis, den Kalender zusätzlich dem Sonnen-Jahr zu nähern. So entstand der Lunisolar-Kalender, in dem weiterhin der Monat bestimmend ist, von diesem aber geregelt 12 oder 13 zu einem Mond-Jahr zusammengefasst werden. Die Diskrepanz verringert sich somit im besten Fall auf $\pm 1/2$ Monat.

4. Meton-Zyklus und Lunisolar-Kalender

Als die alten Astronomen die Länge des Sonnenjahres kannten (oder den bekannten Wert für richtig hielten), konnten mit Hilfe der Gleichheit 19 Jahre = 235 Monate = 6940 Tage auch Monate in einem Kalender angegeben werden, deren Länge in Tagen vorbestimmt war: "zyklische" Monate. Vorher wurde der Beginn eines neuen Monats durch Beobachtung festgestellt: "astronomische" Monate (Anmerkung 2).

Geminus beschrieb auch, dass sich die 235 Monate zu 6940 Tagen in 125 "volle" Kalendermonate (je 30 Tage) und 110 "leere" Kalendermonate (je 29 Tage) aufteilen lassen [2]. Angaben darüber, wie diese Kalendermonate wiederum zu 19 Mond-Jahren zu 12 oder 13 Monate zusammengefasst wurden, machte er nicht. Möglich wären 12 Normal-Jahre zu je 354 Tagen, 3 Schalt-Jahre zu je 384 Tagen und 4 Schalt-Jahre zu je 385 Tagen gewesen.

Der Jüdische Kalender schießt über diese Vorgaben hinaus. Wegen religiöser Traditionen kommen dort 6 verschiedene Längen des Mond-Jahres vor (354 \pm 1 Tag und 384 \pm 1 Tag, [5]).

Bekannt einfach ist die Regelung im Julianischen Kalender, wozu die unter Anderen von *Kallippus* mit 6939,75 Tagen (Anmerkung 3) verbessert angegebene Meton-Periode verhilft. Der alle vier Jahre eingefügte Schalttag dient primär dafür, dem Kalenderjahr im Mittel 365,25 Tage (6.939,75 / 19) zu geben. Er wirkt sich auch vereinfachend bei der Osterrechnung (Computus, [6]) auf die zyklische Verteilung der Frühlings-Vollmonde innerhalb einer Meton-Periode aus. Die Schalttage werden ebenso in die Kalender-Monate eingefügt, so dass die 235 Monate vordergründig nur auf 6.935 Tage - also eine ganze Zahl - aufzuteilen sind, denn die Zahl der Schalttage in einer Meton-Periode beträgt im Mittel 4,75. Aus den 6.935 Tagen entstehen 12 Normal-Frühlings-Vollmond-Jahre zu je 354 Tagen (je 6 volle und 6 hohle Monate), 6 Schalt-Jahre zu je 384 Tagen (Mondsprung 30 Tage) und 1 Schalt-Jahr zu 383 Tagen (Mondsprung 29 Tage).

5. Wie genau ist die Gleichung 19 Julianische Jahre = 235 Monate ?

Beim Einfügen des Osterfestes in den Julianischen Kalender hielt man den Gleichungs-Teil 19 Julianische Jahre = 235 Lunationen noch für richtig. Sein Fehler wurde zwar im Mittelalter schon bemerkt, aber erst im Gregorianischen Kalender korrigiert. Dass Kalender-Jahre mit astronomischen Zeitdauern (Lunationen) zu vergleichen sind, liegt daran, dass im reformierten Kalender der Meton-Zyklus mit 19 Julianischen Jahren grundsätzlich beibehalten und unangetastet immer wenigstens 100 Jahre lang angewendet wird. Der o.a. Fehler ist nur bezüglich des Julianischen Kalender-Jahres zu korrigieren (Computus-Begriff: Mondgleichung, Anmerkung 4). Die höchstens alle 100 Jahre vorgenommene Korrektur auf ein durchschnittliches Kalenderjahr von 365,2425 Tagen (astronomischer Wert: 365,2422 Tage) (Computus-Begriff: Sonnengleichung) muss im Gegenteil so gehandhabt werden, dass sie den o.g., korrigierten Gleichungs-Teil nicht verfälscht.

Der genaue Wert für eine Lunation ist 29,53059 Tage. Damit haben 235 Lunationen 6939,6887 Tage, was 0,06135 Tage weniger als die 6939,75 Tage der 19 Julianischen Kalender-Jahre sind. Es ist ein (1) Tag in 310 Jahren. Die Reformer bestimmten, den Frühlings-Vollmond 8 mal in 2500 Jahren um einen (1) Tag auf früher im Kalender zu verschieben (im Durchschnitt alle 312,5 Jahre).

Im Gregorianischen Kalender wird die durchschnittliche Jahrlänge zu 365,2425 Tagen verbessert, indem im Vergleich zu vorher innerhalb von 400 Jahren 3 mal weniger ein (1) Schalttag eingefügt wird. Oft beschränkt sich die Kenntnis der Reform auf diese Maßnahme. Auf das mit Hilfe der Mondgleichung erreichte korrekte Vollmond-Datum wirkt sie sich störend aus. Deshalb wird bei jeder Anwendung der Sonnengleichung auf der Mondseite gegen gesteuert. Man verschiebt in einem solchen Fall das Vollmond-Datum um einen (1) Tag auf später. Leider ist für diese Gegenmaßnahme auf der Mondseite des Kalenders auch der Begriff Sonnengleichung gebräuchlich.

6. Andere astronomische Zyklen

Mitunter wird der Meton-Zyklus auch als Finsternis-Zyklus bezeichnet. 235 Lunationen sind nämlich zufällig ziemlich genau gleich lang wie 255 drakonitische Monate (Dauer zwischen zwei Mond-Passagen des selben Knotens), weshalb eine Zeit lang alle 19 Jahre eine Finsternis stattfindet. Das Verhältnis 235 zu 255 ist

aber kürzbar auf 47 zu 51, was den Octon-Finsternis-Zyklus [7] beschreibt. Der Meton-Zyklus ist also nur eine Verfünfachung des Octon-Zyklus. Letzteren anstatt des Meton-Zyklus nicht zu beachten, bedeutet also nur die Wartezeit bis zur nächsten Finsternis auf den fünffachen Wert zu erhöhen und von den möglichen Finsternissen nur jede fünfte zu beachten.

Im Vergleich zum Meton-Zyklus, dessen astronomischer Hintergrund nicht leicht zu beobachten ist, sind Finsternisse eine spektakuläre Erscheinung. Es gleichen sich eine ganze Zahl von Lunations-Dauern und eine ganze Zahl halber (2 Knoten) drakonitischer Monate. Je genauer diese Gleichung ist, um so öfters wiederholen sich die Finsternisse, um so länger ist der Finsternis-Zyklus. Möglichste Übereinstimmung der Finsternis-Periode mit einer aus ganzen Tagen bestehenden dritten Periode ist im Gegensatz zur Meton-Periode wegen deren Kalender-Gebrauch nicht erforderlich. Selbstverständlich wird die Finsternis-Periode in Tagen, Stunden und Minuten ausgedrückt, um die künftigen Finsternisse mit Hilfe des Kalenders angeben zu können.

Eine weiterer astronomischer Zyklus ist ein Planeten-Zyklus. Dabei wird festgestellt, nach welcher Zeit zwei Planeten wieder annähernd die gleiche relative Lage zur Sonne haben. In einem solchen Fall sind ganzzahlige Vielfache ihrer Umlaufzeiten etwa gleich. Meistens ist der eine der beiden Planeten die Erde. Für diese pure astronomische Tatsache interessierte sich bisher nur die Astrologie, inzwischen aber auch die Raumfahrt. Folgende Verhältnisse sind angebar [8]:

| <u>Merkur</u> | <u>Venus</u> | <u>Mars</u> | <u>Jupiter</u> | <u>Saturn</u> | |
|---------------|--------------|-------------|----------------|---------------|----------------|
| 191 | 13 | 25 | 6 | 2 | Planeten-Jahre |
| 46 | 8 | 47 | 71 | 59 | Erd-Jahre |

7. Literatur:

- [1] Diodorus: "Bibliotheca historica", XII,36 (F.Vogel, ed., Leipzig 1890, II, 395)
- [2] Evans, J. and Berggren, J.L.: "Geminus, Introduction to the Phenomena", Princeton University Press, 2006
- [3] Heinz Zemanek: "Kalender und Chronologie", Oldenbourg 1990, Seite 43>
- [4] Otto Neugebauer: "A History of Ancient Mathematical Astronomy", Springer 1975, Seite 1065
- [5] Bär, N. A.: "Der jüdische Kalender", <http://www.nabkal.de/judkal.html>
- [6] Wetzel, Siegfried: "Computus und Ostern", <http://www.sWetzel.ch/kalender/compost.html>
- [7] Wetzel, Siegfried: "Einiges über Finsternisse", <http://www.sWetzel.ch/kalender/finster.htm>
- [8] Dietrich, Ernst: "Die Entstehung der Finsternisvorhersagen", Das Weltall, 1930, Heft 3, S.38
- [9] Lichtenberg, Heiner: "Zur Interpretation der Gauß'schen Osterformel und ihrer Ausnahmeregeln", Historia Mathematica 24 (1997), S.441-44
- [10] Kaletsch, Hans: "Tag und Jahr, die Geschichte unseres Kalenders", Artemis, 1970

8. Anmerkungen

Anmerkung 1:

Hipparch hat etwa 200 Jahre nach *Kallippus* durch nochmaliges Vervierfachen (304 Jahre) und Streichen eines Tages die Jahreslänge mit 365,2467 Tagen [10] angegeben (heutiger Wert: 365,2422 Tage).

Anmerkung 2:

Heute noch werden im Islam der Beginn und das Ende des Ramadan-Monates und im Iranschen Kalender die Korrektur der Jahreslänge (Entscheidung für ein Schaltjahr) durch Beobachtung entschieden.

Anmerkung 3:

Eigentlich sollte in diesem Zusammenhang nicht auf die *Meton*- (19 Jahre) sondern auf die *Kallippus-Periode* (76 Jahre) verwiesen werden. Manche Autoren halten sich streng daran [9], andere [5] sprechen von der "*verbesserten*" *Meton-Periode* (6939,75 anstatt 6940 Tage).

Anmerkung 4:

Der Wortteil *Gleichung* wird hier und bei Sonngleichung noch in seiner alten Bedeutung von *ausgleichen*, *korrigieren* angewendet.

August 2008 (Nov.08, Juni 10, Aug.10, Jan.11)
Siegfried Wetzel, CH 3400 Burgdorf
s.wet@gmx net www.sWetzel.ch