Babylonische Mondtexte: Beobachtung und Theorie

Lis Brack-Bernsen – Matting

Abstract:

We investigate the connection between the Babylonian moon ephemerides and their observations. We discuss, in particular, column Φ in System A which is the starting point for the Babylonian calculations of the influence of the moon's varying velocity on celestial events (times of oppositions, conjunctions, eclipses, visibility of the new moon, etc.). We emphasize that the hitherto believed interpretation of the astronomical significance of Φ has been incomplete and propose a new interpretation which indicates, at the same time, a possible and quite simple way to construct Φ from the Babylonian observations of horizontal phenomena (risings and settings of sun and moon).

1. Einleitung

Von den Babyloniern wurden während der seleukidischen Ära Mondephemeriden berechnet und in Keilschrifttafeln eingeprägt, die sich bis in unsere Zeit erhalten haben. Diese Tafeln sind so weitgehend gedeutet und verstanden worden, daß wir heute wissen, daß die Babylonier ein hochentwickeltes und gut funktionierendes Berechnungssystem für verschiedene Mondphänomene hatten. In verschiedenen Kolonnen wurden Monat für Monat die berechneten Werte verschiedener Größen zeilenweise notiert. Fast alle Kolonnen wurden astronomisch gedeutet; die numerischen Methoden oder Rechenschemata, die zur Berechnung der Kolonnen verwendet wurden, sind verstanden und rekonstruiert worden. Mit anderen Worten: wir wissen in etwa, wie die babylonische Mondtheorie *funktionierte* – doch wissen wir sehr wenig darüber, welche Überlegungen diesen Theorien zugrundelagen und wie sie die Babylonier aus Beobachtungen der Himmelsphänomene *herleiteten.*

Das Charakteristische und Überraschende dabei ist, daß die Astronomie der Babylonier offenbar rein numerischer Art war und weder von einem kinematischen Modell des Universums ausging, noch irgendwelche sphärisch-geometrische oder stereometrische Vorstellungen verwendete.[1] Überraschend, weil man eigentlich erwarten würde, daß es nur durch Verwendung von solchen Modellen und Methoden möglich ist, die sehr komplizierten Mondphänomene zu berechnen, wie sie zum Beispiel Zeitpunkt und Größe von Mondfinsternissen oder die Dauer des Neulichtes darstellen. Das macht es aber nur noch spannender und wichtiger, zu untersuchen, wie die Babylonier durch Verwendung ihrer astronomischen Beobachtungen und ihres mathematischen Werkzeuges imstande waren, solche äußerst komplizierten Himmelsphänomene zu beschreiben.

Dieser Artikel möchte ein kleiner Beitrag hierzu sein. Er wird darstellen, wie es möglich ist, aus Beobachtungen, wie sie in den von Sachs und Hunger herausgegebenen babylonischen „Diaries"[2] aufgezeichnet wurden, die grundlegenden Parameter zweier Kolonnen der Mondephemeriden zu rekonstruieren – und zwar rein numerisch, also ohne Benutzung unseres astronomischen Wissens über die Kinematik der Mondbewegung oder von irgenwelchen räumlichen Modellen.

2. Babylonische Mondberechnungen

In Neugebauers „The Exact Sciences in Antiquity"[3] wird sehr gut dargestellt, was man alles kennen und berücksichtigen muß, um den Zeitpunkt zu berechnen, zu dem die kleine Neumondsichel zum ersten Mal nach einer Konjunktion mit der Sonne am westlichen Abendhimmel sichtbar wird. Diese erste Sichtbarkeit des neuen Mondes wird auch „Neulicht" genannt. Zu diesem Zeitpunkt nämlich fing in Mesopotamien der neue Monat an. An dieser Stelle können wir nur zusammenfassen: Der Zeitpunkt $t_{Neulicht}$ hängt von den momentanen Mond- und

[1] Siehe z.B. Neugebauer [1], S. 348.

[2] Sachs u. Hunger [2].

[3] Neugebauer [3], S. 106-109.

Sonnengeschwindigkeiten $v_☾$ und $v_\odot$ ab, von der momentanen Himmelsbreite des Mondes $\beta_☾$ (d.h. seinem Abstand von der Ekliptik), und davon, wie schnell der Ekliptikbogen zwischen dem Neumond und der Sonne den Horizont passiert. Diese Untergangszeit des Ekliptikbogens hängt wiederum von der Position des Mondes $\lambda_☾$ in der Ekliptik ab. Mit anderen Worten: $t_{Neulicht}$ ist eine Funktion von den vier genannten Variablen

$$t_{Neulicht} = f\,(v_\odot, v_☾, \lambda_☾, \beta_☾)\,. \tag{1}$$

Die Babylonier konnten alle diese Faktoren auseinanderhalten und in ihren Berechnungen korrekt berücksichtigen und waren somit imstande, $t_{Neulicht}$ zu berechnen. Neugebauer schreibt zu Recht: „It is one of the most brillant achievements in the exact sciences of antiquity to have recognized the independence of these influences and to develop a theory which permits the prediction of their combined effects“.[4]

Daß und wie die Babylonier diese Variablen auseinandergehalten und rechnerisch kombiniert haben, ersehen wir aus den verschiedenen Kolonnen ihrer Ephemeridentexte. In diesem Rahmen können wir nur Details herausgreifen und spezielle Aspekte behandeln. Für eine ausführlichere Darstellung der Ephemeridentexte siehe Neugebauer[5] oder van der Waerden[6].

In der sogenannten Kolonne B der Neumond-Ephemeriden ist für jeden Monat die Länge in der Ekliptik angegeben, bei der Sonne und Mond in Konjunktion stehen. Die Differenz ΔB zwischen den Zahlen auf zwei aufeinanderfolgenden Zeilen von Kolonne B gibt deshalb an, wie weit die Sonne sich in der Ekliptik von einer Konjunktion bis zur nächsten bewegt hat, d.h. sie gibt die Sonnengeschwindigkeit an, gemessen in Grad (°) pro mittleren synodischen Monat. Als Funktion der Lunationsnummer (= Zeilennummer) schwingt ΔB mit der Periode $P_\odot \approx 12.37$ synodische Monate ≈ 1 Jahr.

Kolonne F gibt Monat für Monat die momentane Mondgeschwindigkeit an. Die Zahlen dieser Kolonne bilden auch eine periodisch variierende

4 Neugebauer [3], S. 108.

5 HAMA [1] oder ACT [4].

6 „Science Awakening II“ [5].

Funktion, diesmal aber mit der Periode $P_☾ \approx 14$ synodische Monate. Man beachte, daß die Periode $P_☾$ nicht gleich einem mittleren anomalistischen Monat $p_☾$ ist, den man erhält, wenn man die Mondgeschwindigkeit Tag für Tag tabelliert. $P_☾$ ist die Periode, die man bekommt, wenn man jeden synodischen Monat, also immer bei gleicher Mondphase, die Mondgeschwindigkeit tabelliert. Es gilt:

$$P_☾ = \frac{p_☾}{1 - p_☾} \qquad \text{oder} \qquad p_☾ = \frac{P_☾}{P_☾ + 1} \tag{2}$$

(in synodischen Monaten).[7]

Kompliziertere Größen wurden als Linearkombinationen von periodisch schwingenden Funktionen ausgerechnet, wie z.B. die Dauer des synodischen Monats. Die Zeitdifferenzen zwischen aufeinanderfolgenden Oppositionen oder Konjunktionen von Mond und Sonne wurden als Summe der Zahlen in den Kolonnen G und J berechnet:

$$1 \text{ synodischer Monat} = 29 \text{ Tage} + G + J. \tag{3}$$

Die Zahlen in Kolonne G bilden eine Funktion, die mit der Periode $P_☾$ des Mondes schwingt, während Kolonne J mit der Periode $P_\odot$ der Sonne variiert. G ist der von der variablen Mondgeschwindigkeit abhängige Beitrag zur Dauer des Monats und J der von der variablen Sonnengeschwindigkeit abhängige Beitrag.

3. Vergleich mit modernen Mondberechnungen

Hier liegt die Frage nahe: Wie gut beschreiben diese babylonischen Berechnungen die Natur? Ist es eine gute Näherung, die Länge aufeinanderfolgender Neumonde so zu berechnen, wie es in Kolonne B geschah – und ist es astronomisch korrekt (resp. eine gute Näherung), die Dauer des synodischen Monats als Summe von zwei periodisch variierenden Funktionen zu berechnen? Um dies nachzuprüfen, kann man

7 Für nähere Details, siehe ACT [4], S. 31, oder HAMA [1], S. 374-375.

z. B. anhand der modernen Astronomie die Positionen und Zeitpunkte von aufeinanderfolgenden Neumonden berechnen und die Resultate mit den babylonischen Werten vergleichen.

Wir wollen aber erst überlegen, was am Himmel stattfindet: Bei Konjunktion von Sonne und Mond stehen diese beiden Himmelskörper von uns aus gesehen in der gleichen Richtung (wir sehen von der Breitenbewegung des Mondes ab). Beide bewegen sich in der Ekliptik rückwärts, d.h. entgegengesetzt zur Drehung des Fixsternhimmels, und zwar mit variierender Geschwindigkeit: die Sonne langsamer als der Mond. Zur Zeit der nächsten Konjunktion ca. 30 Tage später hat die Sonne einen Ekliptikbogen von etwa 30° zurückgelegt, während der Mond die ganze Ekliptik (360°) plus 30° durchlaufen hat, um die Sonne einzuholen. Man sollte eigentlich vermuten, daß die Zeit- und Längendifferenzen zwischen zwei Konjunktionen sowohl von der Mondgeschwindigkeit als auch von der Sonnengeschwindigkeit abhängen.

Doch die babylonischen Berechnungen berücksichtigen nur im Falle der Dauer des synodischen Monats, also der Zeit zwischen zwei Konjunktionen, beide Himmelskörper. Der synodische Bogen hingegen (d.h. der Ekliptikbogen, der in dieser Zeit von der Sonne durchlaufen wurde) wird als Funktion von $\lambda_☾$ allein berechnet. Dies bedeutet, daß nur die variable Sonnengeschwindigkeit und nicht die Mondgeschwindigkeit berücksichtigt wurde. Dies ist astronomisch tatsächlich korrekt. Moderne Berechnungen zeigen, daß die Abstände in der Ekliptik zwischen aufeinanderfolgenden Neumondpositionen praktisch nur von der variablen Sonnengeschwindigkeit abhängen und kaum von der Mondgeschwindigkeit. Dies äußert sich darin, daß die berechneten Neumonde sich nicht gleichmäßig auf der Ekliptik verteilen. Neumondpositionen um das Perigäum herum (wo die Sonne sich schnell bewegt) liegen weiter auseinander, während sie um das Apogäum herum dichter beieinander liegen.[8]

Dies bedeutet aber, daß es prinzipiell möglich wäre, Kolonne *B* durch Beobachtung von Ekliptikpositionen aufeinanderfolgender Neumonde

[8] Bernsen [6].

oder Vollmonde[9] zu rekonstruieren.[10] Doch die genauen Längen von Neumond und Vollmond lassen sich nicht direkt beobachten, außer im Falle von Finsternissen. Vielleicht steht hinter Kolonne *B* eine Analyse von Positionen einer Sequenz von Mondfinsternissen.[11]

Wir denken auch an eine andere Möglichkeit: Wie oben erwähnt, liegen Konjunktionen (oder Oppositionen) nicht gleichmäßig in der Ekliptik verteilt. Dasselbe wird auch für jede andere Mondphase gelten, wie z.B. für das Erscheinen vom Neulicht. Die Position am Himmel, an der das Neulicht erscheint, ist leicht wahrzunehmen und wurde tatsächlich von den Babyloniern beobachtet und festgehalten. In den frühesten babylonischen Observationsberichten wird fast immer angegeben, bei welchem Stern das Neulicht zu sehen war. Als Beispiel soll der Bericht vom Jahre 567 v. Chr. zitiert werden:[12] „Month II, the 1st (of which followed the 30th of the preceding month), the moon became visible while the sun stood there, 4 cubits below β Geminorum." Es ist deshalb möglich, daß Kolonne *B* aus genau diesen Beobachtungen des Neulichts und seiner Position am Himmel konstruiert wurde.[13]

Wie gut das babylonische Modell die Natur beschreibt, wird in Figur 1 gezeigt. Hier ist die Länge des synodischen Bogens als Funktion von λ abgebildet. Die weiche Kurve ist aus modernen Ephemeriden entstanden; sie gibt die über 18 Jahre gemittelten Werte wieder und entspricht der Natur. Im babylonischem System A wird sie mit der abgebildeten Treppenfunktion genähert, während sie in System B mit einer linearen Zickzack-Funktion approximiert wird. Beide Funktionen stellen eine gute Näherung an die Natur dar. Die Extrema sind richtig gewählt; was aber noch wichtiger ist: die Periode von Kolonne *B* liegt in beiden Fällen sehr nahe an der wahren Länge des Jahres. Deshalb konnten die

---

9 Aboe u. Henderson [6a], S. 195

10 Genauso zeigte Aaboe [7], daß die Treppenfunktionen zur Berechnung der charakteristischen Planetenphasen sich anhand ihrer ungleichen Verteilung in der Ekliptik konstruieren lassen.

11 Neugebauer [1], S. 373; siehe auch Maeyama [7a], SS. 26, 27.

12 „Diaries I" [2], S. 49.

13 Dazu muß B um eine Konsonante verschoben werden – ähnlich, wie für Jupiter mehrere charakteristische Phänomäne aus seinen heliakischen Aufgängen abgeleitet wurden (Neugebauer, ACT II [4], S. 312).

babylonischen Rechenschemata über viele Jahre hinweg ihre Gültigkeit beibehalten.

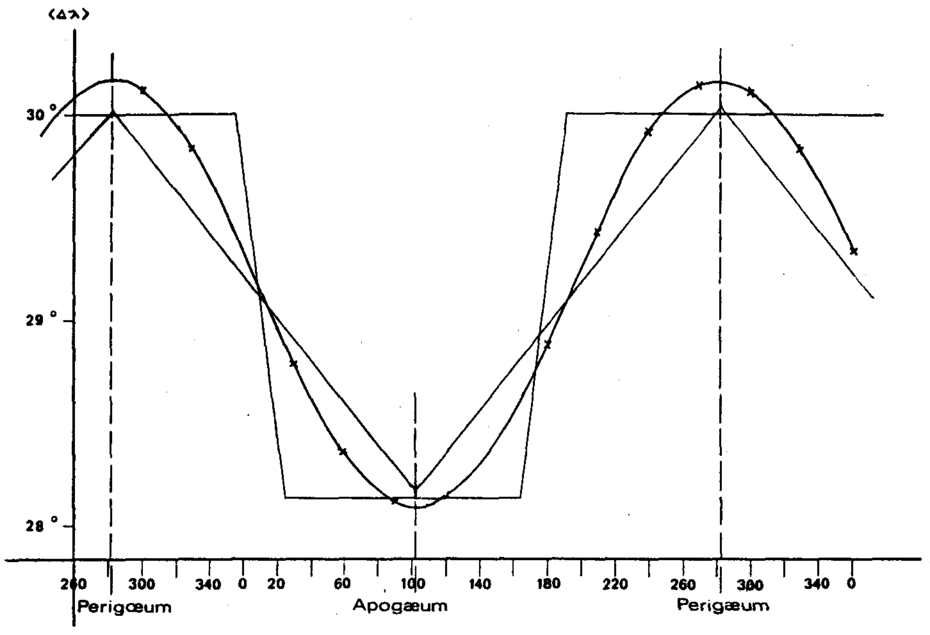

Fig. 1:
Länge des synodischen Bogens $\Delta\lambda$ als Funktion von der Position λ des Mondes in der Ekliptik. Die Sinuskurve zeigt die Natur; die beiden anderen Kurven stellen die babylonischen Näherungen dar: die stückweise trapezförmige Kurve nach System A, die lineare Zickzack-Kurve nach System B der babylonischen Mondephemeriden.

Wie steht es mit den babylonischen Berechnungen von der Dauer des synodischen Monats? Wie erwähnt, wurde diese als Summe zweier periodisch variierender Funktionen berechnet. Um diese numerische Theorie zu kontrollieren, haben wir anhand von modernen Tabellen[14] die Zeitpunkte t_0, t_1, t_2, ... von aufeinanderfolgenden Neumonden

[14] Goldstine, „New and Full Moons 1001 BC to AD 1651"[8].

(Konjunktionen von Sonne und Mond) gefunden. Die Dauer des i-ten synodischen Monats bezeichnen wir mit $\Delta^1 t_i$ und rechnen sie aus:

$$\Delta^1 t_i = t_i - t_{i-1} \quad \text{für} \quad i = 0,1,2,\ldots \tag{4}$$

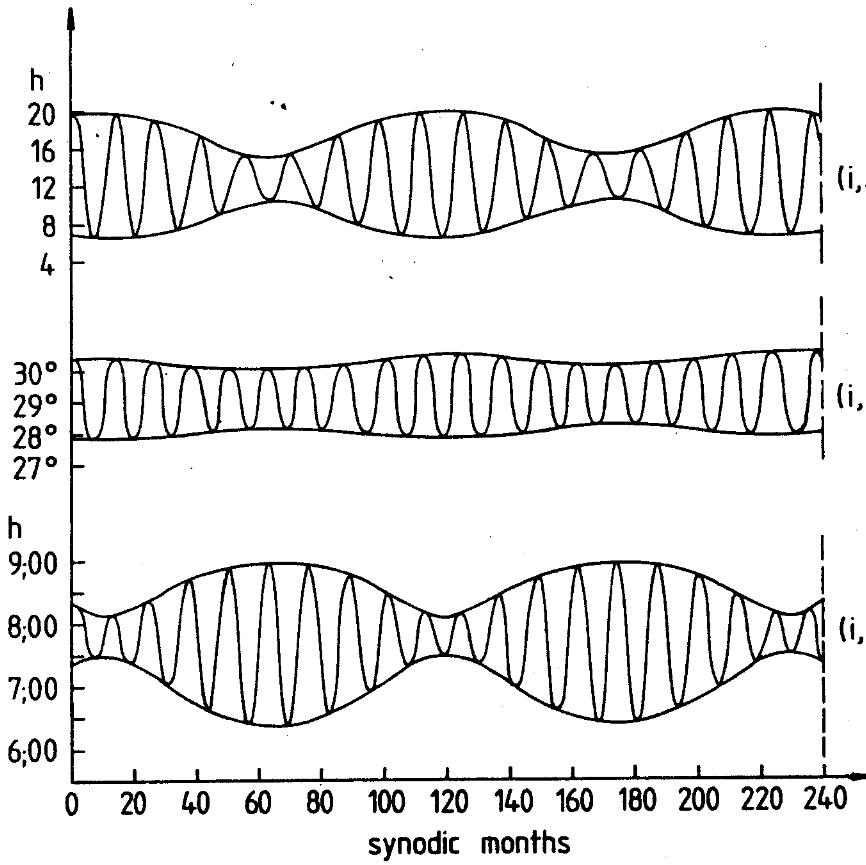

Fig. 2:
Dauer des synodischen Monats $\Delta^1 t$ (minus 29 Tage), Länge des synodischen Bogens $\Delta\lambda$, und Sarosdauer $\Delta^{223} t$ (minus 6585 Tage) als Funktionen der Lunationsnummer i.

Oben in Figur 2 ist $\Delta^1 t_i$ als Funktion der Lunationsnummer i gezeigt. Diese Kurve zeigt das typische Bild einer Schwebung: $(i, \Delta^1 t_i)$ vollführt eine schnelle Schwingung mit der Periode $P_☾$ und einer langsam, ebenfalls periodisch veränderlichen Amplitude. Moderne Mathematiker würden diese Schwebungskurve durch eine Summe von zwei Sinus- oder Cosinusfunktionen annähern. Die optimalen Parameter dieser Sinuskurven lassen sich aus der mittlere Periode der schnellen Schwingung und der Periode der Schwebung eindeutig festlegen. Es zeigt sich, daß ihre Perioden ungefähr zu 13.94 beziehungsweise 12.37 synodischen Monaten gewählt werden müssen. Diese beiden Perioden aber kennen wir: es sind $P_☾$ und $P_\odot$. Die Amplituden der überlagerten Sinuskurven lassen sich leicht aus der maximalen und minimalen Amplitude der obersten Kurve in Fig. 2 ausrechnen.[15]

Die Parameter der Sinusschwingungen, deren Summe sich der Kurve $(i, \Delta^1 t_i)$ am besten nähert, kann jetzt mit den babylonischen Parametern verglichen werden:

$$\begin{array}{llll} G_{\text{moderne}} & : 9^h00' & J_{\text{moderne}} & : 4^h10', \\ G_{\text{System A}} & : 9^h06' & J_{\text{System A}} & : 3^h48', \\ G_{\text{System B}} & : 10^h27' & J_{\text{System B}} & : 4^h20'. \end{array} \qquad (5)$$

Wir können folgern, daß die Babylonier mit ihren Berechnungen die tatsächlichen Abläufe am Himmel sehr gut beschrieben. Auch wir würden $(i, \Delta^1 t_i)$ durch eine Summe von zwei periodisch variierenden Funktionen mit Periode $P_☾$ und $P_\odot$ annähern, und die von den Babyloniern benützten Amplituden von G und J entsprechen auch in etwa den optimalen Werten. (Es ist wohl klar, daß die Babylonier keine Sinusfunktion gekannt haben. Sie benutzten periodische Schwingungen, die sie in tabellierter Form leicht handhaben konnten: Treppenfunktionen, lineare Zickzack-Funktionen und davon abgeleitete Funktionen.) Daß die babylonischen Berechnungen auch über längere Zeitspannen mit Erfolg benützt werden konnten, kommt daher, daß die Perioden $P_☾$ und $P_\odot$ mit großer Genauigkeit bestimmt waren.

Unsere bisherige Analyse von $\Delta^1 t_i$ sagt uns lediglich, *daß* die betrachteten babylonischen Berechnungen die Natur gut beschreiben – hingegen gibt sie uns keine Information darüber, *wie* die Babylonier zu ihrem Modell kamen. Es stellt sich also die Frage: wie fanden sie die Periode $P_☾$ aus ihren ziemlich primitiven Beobachtungen? $P_\odot$, die Dauer des Jahres in synodischen Monaten gemessen, kann recht einfach

[15] Siehe Brack-Bernsen [9] für nähere Details.

aus Mondfinsternissen gefunden werden, die zeitlich weit auseinander liegen, oder, wie oben angedeutet, aus über eine Reihe von Jahren beobachteten Neulichtpositionen. $P_☾$ hingegen hängt direkt mit dem anomalistischen Monat zusammen und ist wie dieser viel schwieriger durch Beobachtungen zu bestimmen. $P_☾$ ist die Periode, in mittelsynodischen Monaten gemessen, von derjenigen Funktion, die einmal jeden Neu- oder Vollmond die momentane Mondgeschwindigkeit angibt. Der Mond bewegt sich sehr unregelmäßig: die Apsidenlinie der Mondbahn dreht sich langsam im Verhältnis zur Ekliptik. Dies bedeutet, daß der Mond seine maximale Geschwindigkeit *nicht* an einer bestimmten Stelle der Ekliptik annimmt, sondern sie im Laufe der Jahre überall annehmen kann. Hierzu kommt, daß der Mond eine Breitenbewegung hat: er bewegt sich in einer Schlangenlinie um die Ekliptik herum und ändert dazu noch dauernd seine Phase. All dies macht es schwierig, aus Beobachtungen die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher sich der Mond von der Erde aus gesehen durch den Fixsternhimmel bewegt.

4. Kolonne Φ

Die Babylonier haben einen erstaunlich genauen Wert von $P_☾$ gekannt, nämlich 6247/448 ≈ 13;56,39,6 synodische Monate.[16] In den Mondephemeriden von System A gibt es drei Kolonnen, die genau diese Periode $P_☾$ besitzen. Es sind dies 1) Kolonne F, die für jeden Neu- oder Vollmond die momentane Mondgeschwindigkeit angibt, 2) Kolonne G, die den von der unregelmäßigen Mondbewegung stammenden Beitrag zur Dauer des synodischen Monats enthält, und 3) die etwas rätselhafte Kolonne Φ. Kolonne Φ steht auf den Tontafeln immer direkt nach der Anfangskolonne T, in der Jahr und Monat angegeben sind. Die Werte Φ_i in aufeinanderfolgenden Zeilen i, die mit einer überraschenden Genauigkeit von 6 Sexagesimalstellen angegeben werden, bilden eine lineare Zickzack-Funktion mit der Steigung $\pm d_\Phi = \Phi_{i+1} - \Phi_i$. Lehrtexte und Hilfstafeln zeigen uns, daß Kolonne G und die ungekürzte Version

---

[16] Hier und im Folgenden verwenden wir, wie die Babylonier, Sexagesimalzahlen. So bedeutet z.B. 2,22;13,20,... $= 2 \cdot 60 + 22 \cdot 1 + 13 \cdot 60^{-1} + 20 \cdot 60^{-2} + \ldots$, während Zahlen wie 6247 oder 12.376 als übliche Dezimalzahlen zu verstehen sind.

von Kolonne F von den Zahlen in Φ abgeleitet wurden.[17] Hieraus folgt, daß Φ die fundamentale Kolonne zur Berücksichtigung der variablen Mondgeschwindigkeit ist und demnach direkt aus astronomischen Beobachtungen stammen muß.

Neugebauer schrieb 1955: „Φ must describe a phenomenon very closely related to the lunar velocity".[18] Er vermutete: „Φ is the relative velocity of the moon with respect to the sun".[19] Wir sind überzeugt, daß er hiermit absolut recht hat. Etwas später publizierte er den sogenannten Sarostext[20], der ein ganz neues Licht auf Kolonne Φ warf. In diesem Lehrtext wird Φ nämlich sehr überraschend mit dem Saros in Verbindung gebracht.[21] In den Zeilen 13 und 16 auf der Rückseite der Sarostafel findet man die Bemerkung: „17,46,40 ist die Zunahme oder Abnahme in 18 Jahren". In der Tat ist es so, daß Werte von Φ , die zeitlich um einen Saros auseinanderliegen, fast gleich groß sind und sich nur um eine kleine Differenz $\varphi = 17{,}46{,}40$ unterscheiden. Nun ist aber diese Differenz genau gleich 3/28 der monatlichen Änderung von Φ :

$$\varphi = \frac{3}{28} d_\Phi. \tag{6}$$

Neugebauer wies dies nach und betonte die Wichtigkeit dieser Beziehung. Er zeigte, daß sie mit folgender Periodenrelation zwischen dem synodischen und dem anomalistischen Monat äquivalent ist:

$$1{,}44{,}7 \text{ synodische Monate} = 1{,}51{,}35 \text{ anomalistische Monate} = 7{,}28\ P_\Phi. \tag{7}$$

Die Relation (7) liegt der Kolonne Φ zugrunde. Sie besagt, daß $P_\Phi = 1{,}44{,}7 : 7{,}28 = 6247/448$ ist. Umgekehrt können wir auch sagen, daß aus der Näherung für die Mondperiode $P_☾ = 6247/448$ für die lineare Zickzack-Funktion Φ die Relation (6) folgt.

---

17 Siehe Aaboe [10] und HAMA ([1], S. 484ff. und 505 ff.).

18 ACT I [4], S. 44.

19 Ebenda, S. 43.

20 Neugebauer [11].

21 Unter „Saros" verstehen wir einen Finsterniszyklus von genau 223 synodischen Monaten, d.h. ungefähr 239 anomalistischen Monaten oder ca. 18 Jahren. Die Babylonier bezeichneten diesen Zyklus als „18 Jahre".

Durch die Arbeiten von van der Waerden[22], Aaboe[23] und Neugebauer[24] haben wir jetzt ein viel tieferes Verständnis von Φ und den numerischen Methoden, die von Φ zu G, F und Λ führen. Die schon zitierte Aussage über Φ: „17,46,40 ist die Änderung nach 18 Jahren", die astronomische Bedeutung von G und dessen Verknüpfung mit Φ lassen Rückschlüsse über Φ zu. Neugebauer geht von seiner ersten Vermutung über Φ weg: überzeugt von van der Waerdens und Aaboes Interpretation folgert er:[25] „The fundamental relation which connects the function Φ with the eclipse cycle of 223 months rests on the definition

$$1 \text{ Saros} = 223 \text{ synodic months} = 6585^{d} + \Phi^{H} \tag{8}$$

counted from the end of the month for which Φ is tabulated".[26]

Hierzu ein paar kurze Bemerkungen und Überlegungen: Diese Folgerung ist nicht zwingend. Neugebauer hätte an seiner ersten Vermutung festhalten und trotzdem die Textstelle im Sarostext als wahre Aussage annehmen können. Doch nicht als grundlegende Definition oder Deutung, sondern eher als Konsequenz aus dem gewählten Wert für P_{Φ} (oder anders ausgedrückt: als Konsequenz der oben genannten Periodenrelation). Im allgemeinen geben die Lehrtexte nur kurze Regeln zur Berechnung der Ephemeriden an, jedoch keine Erklärungen, Begründungen oder Definitionen – sie sind an Leser gerichtet, welche die Hintergründe kennen und verstehen. Vielleicht sollen wir diese Bemerkung nicht als eine Definition auffassen. Es gibt in anderen Lehrtexten ähnliche Stellen, die aber anders aufgefaßt werden. So z.B. (No. 220a section 1 line 6): „for 15 months 9,15,33,20 is the change", mit Neugebauers Kommentar: „The meaning is clear. If one compares the values of Φ for line n and for line n+14 (called 'for 15 months') one finds the difference 9,15,33,20. This is obviously an important checking rule for the computation of Φ ".[27] Die Aussage „17,46,40 is the change for 18

22 „Anfänge der Astronomie" [5], S.148.

23 Aaboe [10], [12].

24 HAMA [1], S. 502 ff.

25 HAMA [1], S. 505.

26 Die Einheit H, in der Φ hier angegeben ist, ist die Einheit, in der die Zahlen von Kolonne G gemessen werden. H ist gleich 4 Stunden und wird eine „Großstunde" genannt.

27 ACT [4], S. 210.

years" könnte in ähnlicher Weise interpretiert werden, nämlich als eine Konsequenz aus dem Modell der Babylonier, welche sie bemerkt hatten und u.a. als Kontrolle für ihre Berechnungen verwendeten. Sie muß nicht unbedingt als astronomische Deutung von Φ aufgefaßt werden. Nehmen wir aber trotzdem diese Deutung von Φ an und kombinieren sie mit der Aussage „17,46,40 is the change for 18 years", so bekommen wir folgendes Resultat: Die Dauer von aufeinanderfolgenden Saroi unterscheidet sich durch 1 Minute und 11 Sekunden. Dies ist aber viel zu genau: mehr als eine Größenordnung genauer als die Genauigkeit von Mondfinsternisbeobachtungen (nämlich ca. 1 Stunde), wie wir sie in den 'Diaries' überliefert finden. Die Erkenntnis, daß aufeinanderfolgende Saroi sich nur durch $1^m 11^s$ unterscheiden, kann unmöglich direkt aus Beobachtungen stammen.

5. Vergleich mit der Natur

Dies macht es aber fragwürdig, ob und wie Φ aus Beobachtungen entstanden sein könnte. Trotzdem nehmen wir die Definition als gültig an und untersuchen, wie die Dauer des Saros als Funktion der Lunationsnummer aussieht. Genau diese Funktion (abgesehen von einer Konstanten von 6585 Tagen) wird nämlich nach dieser Interpretation in Kolonne Φ Zeile für Zeile tabelliert. So wie wir oben Kolonne G mit der „Natur" verglichen haben, indem wir die Dauer des synodischen Monats $\Delta^1 t_i$ als Funktion der Lunationsnummer i durch moderne Methoden berechneten, wollen wir jetzt Kolonne Φ mit der „Natur" vergleichen. Da Φ_i die Dauer desjenigen Saros bedeuten soll, der mit dem i-ten Monat endet, berechnen wir

$$\Delta^{223} t_i = t_i - t_{i-223} \quad \text{für} \quad i = 0,1,2,..., \tag{9}$$

wobei die Zeitpunkte aufeinanderfolgender Neumonde $t_{-223}, t_{-222}, ..., t_0, t_1, t_2, ...$ aus Goldstines Tafeln[28] entnommen wurden. Unten in Figur 2 ist die Dauer $\Delta^{223} t_i$ des Saros als Funktion der Lunationsnummer i abgebildet. In der gleichen Figur 2 haben wir oben auch die Dauer des synodischen Monats, $\Delta^1 t_i$, und in der Mitte die Länge des synodischen Bogens $\Delta\lambda_i$ als Funktion von i gezeigt.

[28] Goldstine [8].

Die drei Kurven zeigen ein ähnliches Muster: eine schnelle periodische Schwingung mit langsam variierender Amplitude. Alle drei Funktionen können rekonstruiert werden als Summen von je zwei Sinuskurven mit Periode $P_{☾}$ und $P_{\odot}$. Dies wundert nicht, denn wir wissen ja, daß alle drei abgebildeten Größen sowohl von der variablen Mondgeschwindigkeit als auch von der variablen Sonnengeschwindigkeit abhängen. Die Periode der variablen Amplitude ist dieselbe für alle 3 Funktionen.[29]

Doch betrachten wir nun die schnellen Schwingungen, so bemerken wir den überraschenden Sachverhalt, daß $(i, \Delta^{223}t_i)$ und $(i, \Delta\lambda_i)$ dieselbe Periode besitzen,[30] während die schnelle Schwingung von $(i, \Delta^1 t_i)$ eine andere Periode hat: zwischen den Lunationen 0 und 223 führen $\Delta^{223}t_i$ und $\Delta\lambda$ beide je 18 Schwingungen durch, während $\Delta^1 t_i$ nur 16 Schwingungen vollzieht. Dies ist aber *sehr* überraschend, denn es zeigt uns, daß die $\Delta^{223}t_i$ (also die beobachtete Länge sukzessiver Saroi) mit der Periode $P_{\odot}$ schwingt und *nicht* wie Φ und $\Delta^1 t_i$ mit der Periode $P_{☾}$, wie man dies erwarten würde. Wenn man also das beobachtet, was Kolonne Φ definieren sollte, bekommt man eine Funktion mit der falschen Wellenlänge. Zusammenfassend: in der Natur beobachtete Werte für aufeinanderfolgende λ werden gut durch Kolonne B angenähert. Ebenso werden beobachtete synodische Monatslängen $\Delta^1 t$ sehr gut als Summe von G und J berechnet. Doch Φ, das die Dauer des Saros angeben soll, schwingt mit einer anderen Periode als die „beobachtete" Funktion $\Delta^{223}t$. Dies bedeutet aber, daß Kolonne Φ sicher nicht aus solchen Beobachtungen entstanden sein kann.

Hat dies auch zur Folge, daß die Interpretation von Φ falsch ist? Nicht unbedingt. Doch müssen wir sie etwas ergänzen. Eine Passage im Sarostext, kombiniert mit unserem Wissen über Kolonne G und ihrer Verbindung zu Φ, führte ja zu unserer Interpretation, und alle verwendeten Argumente haben immer noch ihre Gültigkeit. Doch so, wie die Dauer $\Delta^1 t$ des synodischen Monates als Summe von zwei Beiträgen G und J berechnet werden kann, muß die Dauer $\Delta^{223}t$ des Saros auch als Summe von zwei Beiträgen berechnet werden: nämlich von Φ und einer

---

29 Im Falle $\Delta\lambda$ ist die Variation der Amplitude sehr gering; sie zeigt uns den Einfluß des Mondes auf $\Delta\lambda$, und dieser ist sehr klein, wie wir schon wissen und hier wieder sehen. (S. a. Aaboe u. Henderson [6a], S. 195).

30 Dies hat unabhängig auch Maeyama bemerkt und astronomisch erklärt [7a, 12a]

hypothetischen Funktion S, die auch von Aaboe[31] postuliert wurde, aber nie in den Texten gefunden wurde:

$$1 \text{ Saros} = \Delta^{223}t = 6585^{d} + \Phi^{H} + S^{H} . \tag{10}$$

Φ hat die Periode $P_☾$ und mißt den vom unregelmäßigen Mond stammenden Beitrag, während S die Periode $P_\odot$ hat und den Beitrag darstellt, der von der unregelmäßigen Sonnengeschwindigkeit herstammt.

Im Falle der Monatsdauer $\Delta^1 t$ dominiert G, also der Beitrag des Mondes, denn $(i, \Delta^1 t_i)$ schwingt mit der Periode $P_☾$, während im Falle der Sarosdauer der Beitrag der Sonne dominiert. Dies äußert sich darin, daß $(i, \Delta^{223} t_i)$ mit der Periode $P_\odot$ (also im Takt mit $\Delta\lambda$) schwingt. Der Beitrag des Mondes, nämlich Φ, zeigt sich darin, daß die Amplitude von $(i, \Delta^{223} t_i)$ periodisch variiert. Diese Folgerung, die wir von den Kurven ablesen, baut auf einer Analyse von Funktionen auf, die als Summen zweier Sinusfunktionen mit Periode $P_☾$ und $P_\odot$ und verschiedenen Amplituden definiert sind.[32] Hier wurde gezeigt, daß eine solche Funktion im Takt mit dem dominierenden Sinus schwingt. Der Einfluß des nichtdominierenden Sinus (also desjenigen mit der kleineren Amplitude) zeigt sich durch die variierende Amplitude der Summenfunktion, die Schwebungscharakter besitzt.

Wir können an unserer Interpretation von Φ festhalten: die Größe Φ gibt den vom Mond herrührenden Beitrag zur Dauer des Saros an. Dies ist astronomisch vertretbar. Ein dominierender Term S müßte jedoch auch berücksichtigt werden – er kommt aber in den Texten nicht vor. Es fragt sich deshalb, ob die Babylonier die Kolonne Φ auch so verstanden haben wie wir oben, oder ob sie diese Zusammenhänge gar nicht bemerkt und Φ ganz anders aufgefaßt haben. Wir meinen, das Letzere trifft zu.

Wie oben gesehen, kann Kolonne Φ nicht aus Beobachtungen von Sarosdauern gefunden werden – und doch glauben wir, daß sie direkt aus Beobachtungen stammt. Sie hat eine Verbindung zum Saros, wie dem Sarostext zu entnehmen ist; doch das Erstaunlichste und für uns Wichtigste ist, daß ihre Periode P_Φ eine sehr gute Annäherung von $P_☾$ ist. Es fragt sich jetzt: ist es überhaupt möglich, $P_☾$ aus den überlieferten,

[31] Aaboe [12].

[32] Brack-Bernsen [9].

relativ primitiven Beobachtungen der Babylonier herzuleiten? Die Antwort ist Ja.

6. Babylonische Mondbeobachtungen

Aus den 'Diaries'[33] wissen wir genau, welche Mondphänomene die Babylonier regelmäßig beobachtet und notiert haben. Dies sind, außer Finsternissen und Passagen bei den Normalsternen, gewisse Zeitdifferenzen um Neu- oder Vollmond herum, nämlich Differenzen zwischen Auf- und Untergängen von Sonne und Mond. Diese Zeitintervalle wurden über Jahrhunderte hinweg beobachtet und aufgeschrieben, aber auch berechnet; doch hat man bis jetzt nicht herausgefunden, wozu diese Beobachtungen dienten. Die Dauer des Neulichts ist eins dieser observierten Zeitintervalle; sie gibt an, wie lange die neue Mondsichel am westlichen Abendhimmel zu sehen ist (von ihrer ersten Sichtbarkeit bei Sonnenuntergang bis zu ihrem Untergang). Dieses Zeitintervall ist sehr einfach zu beobachten, jedoch von einem theoretisch-astronomischen Gesichtspunkt aus äußerst kompliziert.

Um den Vollmond herum wurden 4 verschiedene Zeitintervalle beobachtet, die wir kurz die 'Lunar Four' bezeichnen werden:

ŠÚ = Zeit von letztem Monduntergang vor Opposition bis Sonnenaufgang,
ME = Zeit von letztem Mondaufgang vor Opposition bis Sonnenuntergang,
NA = Zeit von erstem Sonnenaufgang nach Opposition bis Monduntergang,
GE= Zeit von erstem Sonnenuntergang nach Opposition bis Mondaufgang.

(11)

Um die Zeitintervalle *ŠÚ* und *NA* zu bestimmen, müssen die Monduntergänge am westlichen Horizont am letzten Morgen vor Opposition sowie am nächsten Morgen, also gerade nach der Opposition, beobachtet werden. Ähnliche Beobachtungen der Mondaufgänge am östlichen Horizont, an den beiden Abenden vor und nach Opposition,

[33] Sachs u. Hunger [2].

liefern uns die zwei Intervalle *ME* und *GE*.[34] Diese Zeitdifferenzen wurden in *uš* (von den Griechen 'Zeitgrad' genannt) gemessen. 1 *uš* ist gleich 4 Minuten; dies ist die Dauer einer Drehung der Himmelskugel um 1° in ihrer täglichen Bewegung von $24^h = 1^d = 360° = 6{,}0$ *uš*. Welche Information enthalten nun diese Beobachtungen?

Die Babylonier waren erstaunlicherweise imstande, die Lunar Four sehr geschickt und unter Berücksichtigung aller wichtigen Faktoren zu berechnen.[35] Als Beispiel fassen wir kurz zusammen, wie *NA* ermittelt wurde. Die Babylonier berechneten den Zeitpunkt der Opposition und deren zeitlichen Abstand zum nächstfolgenden Sonnenaufgang. Hierbei berücksichtigten sie, daß sich die Dauer des Tages im Laufe eines Jahres ändert. Sodann wurden die momentane Mondgeschwindigkeit und die Mondbreite samt der momentanen Neigung der Ekliptik zum Horizont berücksichtigt. Die voraussichtliche Größe von *NA* war damit bekannt. Die Babylonier konnten also alle Faktoren, von denen *NA* abhängt, korrekt kombinieren.

Wir gehen im Folgenden umgekehrt vor, indem wir versuchen, aus den beobachteten Lunar Four die Mondperiode $P_☾$ zu isolieren. Der dominierende Faktor ist die sogenannte 'oblique ascension'. Sie kommt daher, daß die Sonne und der Mond sich auf der Ekliptik bewegen, während Zeiten und Zeitdifferenzen auf dem Äquator gemessen werden; dieser bildet mit der Ekliptik einen Winkel von ca. 23°. Bei der täglichen Drehung der Himmelkugel gleitet der Äquator in sich und hat (von einem bestimmten Ort aus gesehen) immer denselben Winkel zum Horizont. Der Winkel zwischen der Ekliptik und dem Horizont hingegen ändert sich ständig während der täglichen Drehung; von Babylon aus gesehen variiert er zwischen 33° und 81°. Die Lunar Four geben die Zeiten an, die es für gewisse kleine Ekliptikbögen dauert, den Horizont zu passieren. Diese Zeiten hängen also von der momentanen Neigung der Ekliptik zum Horizont ab. Abhängig davon, wo ein Bogen von 10° auf der Ekliptik liegt, dauert es zwischen 6°;45 und 13°;15 für diesen Bogen, den Horizont zu passieren.[36]

[34] Das letztere ist in der Fachliteratur meist mit GE_6 bezeichnet.

[35] Lehrtext No. 201, ACT [4], S. 226-240.

[36] Hier haben wir wie die Babylonier die Zeit in Zeitgrad angegeben.

Die Grundidee unserer Behandlung der Lunar Four[37] basiert auf folgender Tatsache (die die Babylonier sicher kannten): ein kleiner Ekliptikbogen, der ganz flach (und das bedeutet schnell) aufgeht, wird steil und damit langsam untergehen. Wir können deshalb den Effekt der 'oblique ascension' eliminieren, indem wir Beobachtungen am östlichen Horizont mit solchen am westlichen Horizont kombinieren, und damit aus den Lunar Four Aufschluß über die Mondgeschwindigkeit erhalten.

Leider sind die in den babylonischen Diaries erhaltenen Daten zu lückenhaft für eine systematische Analyse. Wir müssen uns daher ein vollständigeres Datenmaterial selbst besorgen. Moderne Computerprogramme ermöglichen es, die Lunar Four über viele Jahre hinweg zu berechnen, als wären sie von Babylon aus beobachtet. Wir berechnen also eine Folge von Oppositionen: O_1, O_2, O_3, ... O_i, und die dazu gehörigen Lunar Four $\check{S}\acute{U}_i$, NA_i, ME_i und GE_i. Aus diesen bilden wir nun die Summe und bezeichnen sie mit Σ:

$$\Sigma_i = \check{S}\acute{U}_i + NA_i + ME_i + GE_i \,. \tag{12}$$

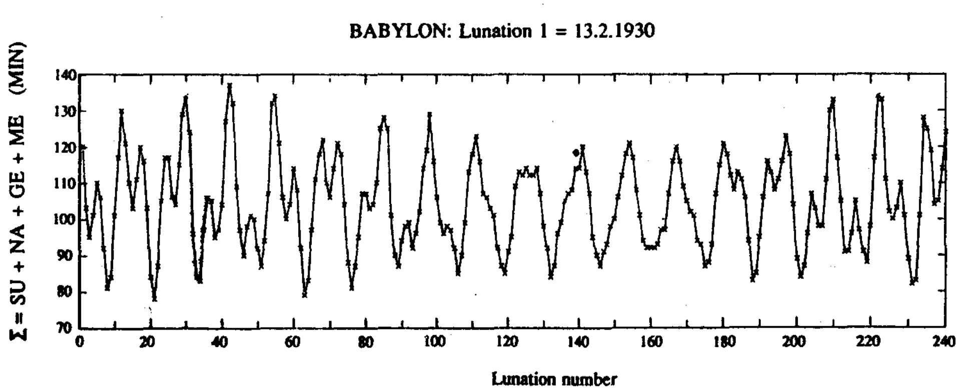

Fig. 3:
Die Summe $\Sigma = \check{S}\acute{U} + NA + GE + ME$ der Lunar Four als Funktion der Lunationsnummer i, berechnet für Babylon über eine Periode von 240 Monaten (ab 13. 2. 1930 n.Chr.).

[37] Brack-Bernsen [13].

In Figur 3 haben wir Σ_i als Funktion der Lunationsnummer i über 240 Monate hinweg abgebildet.[38] Wir sehen, daß Σ_i tatsächlich mit einer Periode von ca. 14 Monaten variiert. Wenn man diese Periode über eine längere Zeit mittelt, erhält man 13;57 synodische Monate, also eine sehr gute Näherung zu $P_☾$ = 13;56,39,6, ... synodische Monate. Genau eine solche Kurve haben wir gesucht, um Kolonne Φ zu rekonstruieren. Sie stammt direkt aus möglichen Beobachtungen und liefert uns die gesuchte Periode $P_☾$.

7. Σ und Φ

Ist es möglich, die Funktion Σ_i mit Φ in Verbindung zu bringen? Wir hatten Σ in Minuten ausgerechnet, während Φ der herkömmlichen Interpretation zufolge in Großstunden H gemessen wird. Diese beiden Zeiteinheiten können in Zeitgrad (*uš*) umgerechnet werden.[39] In Figur 4 vergleichen wir die beiden Funktionen Σ und Φ, nachdem wir von allen Φ -Werten 100° abgezogen haben. (Wir haben also die originale Zickzack-Funktion Φ um 100° nach unten verschoben.) Wir sehen, daß die Zickzack-Funktion unsere „Beobachtungsfunktion" Σ sehr gut nähert. Die beiden Kurven haben die gleiche Periode und ähnliche Amplituden, so daß wir postulieren:[40]

Φ_i ***ist von der Summe*** Σ_i ***der Lunar Four abgeleitet worden.*** (13)

Dies läßt sich z.B. folgendermaßen durchführen: Σ, durch Beobachtungen gefunden, wird mit einer linearen Zickzack-Funktion $\hat{\Sigma}_i$ angenähert. Wir machen dies graphisch; die Babylonier hingegen, die offensichtlich alle ihre Berechnungen rein numerisch vornahmen, können $\hat{\Sigma}_i$ durch numerische Methoden gefunden haben. Diese Funktion haben die Babylonier dann unserer Hypothese nach um ungefähr 100° nach oben verschoben, und damit ist die Funktion Φ_i entstanden. Warum sie dies taten, können wir nicht erklären; es hängt vermutlich damit zusammen, daß Φ zur Konstruktion von G benutzt wurde. Dies ist wohl der

---

[38] Die kleinen Kreuze „x" markieren die bei jeder Opposition „beobachteten" Werte von Σ. Um das Bild der Kurve zu verdeutlichen, haben wir diese Punkte mit Geraden verbunden.

[39] 4 Min. = 1° (= 1 *uš*) und 1 $H = 4^h$ = 240 Min. = 60° (= 1,0 *uš*).

[40] Brack-Bernsen [13].

schwächste Punkt in unserer Rekonstruktion, doch ist er nicht ganz abwegig, denn es scheint, daß im Sarostext eine zweite, nach unten verschobene Version von Φ vorkommt. In Section 14, Zeilen 30 und 31 des Sarostextes tritt einem Maximum (assoziiert mit minimaler Mondgeschwindigkeit) und ein Minimum (mit maximaler Mondgeschwindigkeit assoziiert) auf. Neugebauer bemerkt, daß ihre Differenz Δ_Φ gleicht, also der Amplitude von Φ. Doch die Extrema sind nicht die von Φ, sondern beide um ca. $0;51^H = 51°$ kleiner.[41] Verstehen wir den Text und Neugebauers Kommentar richtig, so zeigen diese, daß die Babylonier hier mit zwei verschiedenen, von $\hat{\Sigma}$ aus verschobenen Versionen arbeiteten (die eine um 100°, die andere um 49° nach oben verschoben).

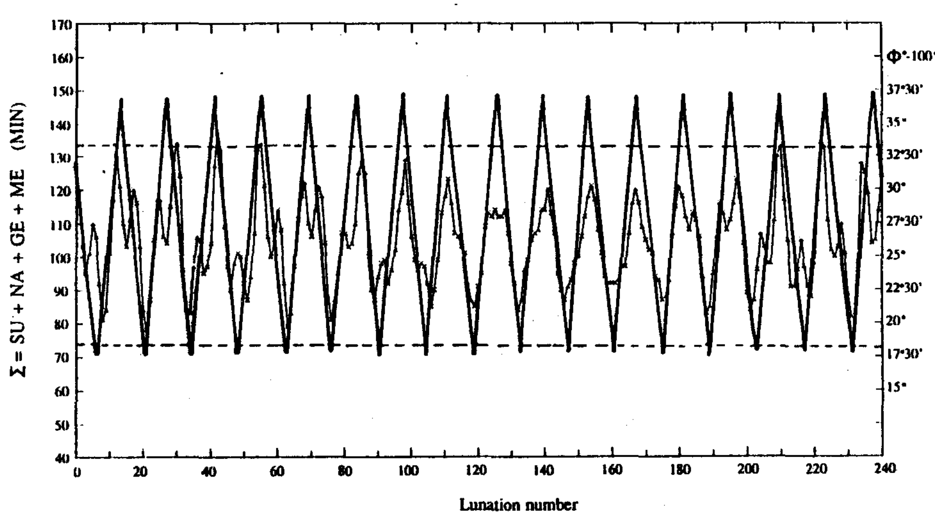

Fig. 4:
Die Größe Σ wie in Fig. 3 versus Lunationsnummer *i*. Die lineare Zickzack-Funktion zeigt die Werte der Kolonne Φ (in Zeitgraden 1° = 4 Min.) im System A der babylonischen Mondephemeriden, vertikal um 100° verschoben. Die gestrichelten horizontalen Geraden geben an, wo die Babylonier die Zickzack-Funktion abschnitten.

[41] Neugebauer [11], S. 10, 20.

Zusammenfassend können wir sagen: es ist möglich, den Effekt der 'oblique ascension' durch Kombination von Beobachtungen am westlichen und östlichen Horizont zu eliminieren. Damit kann eine Funktion mit der Periode $P_☾$ direkt aus Größen abgeleitet werden, die von den Babyloniern beobachtet wurden. Diese Funktion $\hat{\Sigma}$ unterscheidet sich nur durch eine Konstante von Φ, weshalb wir meinen, daß Φ von $\hat{\Sigma}$ und damit von der Summe der Lunar Four herstammt. Als weitere Unterstützung dieser Hypothese kann erwähnt werden, daß die Summen *ŠÚ+NA* und *ME+GE* in den Goal-Year-Texten[42] oft vorkommen und daß ihre berechneten Werte notiert wurden. Die Babylonier haben sich also tatsächlich für Summen aus den Lunar Four interessiert und sie ausgerechnet. Wir geben hier zum ersten Mal eine Erklärung dafür, zu welchem Zweck die Babylonier die Lunar Four verwendet haben könnten.

8. Σ und der Saros

Unserer Hypothese nach stammt Φ von der Summe Σ der Lunar Four. Vom Sarostext wissen wir, daß Φ mit dem Saros verknüpft ist. Wie steht es denn mit Σ und dem Saros? Es zeigt sich überraschenderweise, daß unsere Funktion Σ auch eng mit dem Saros verbunden ist. Die Form der einzelnen Schwingungen von Σ ist sehr variabel; sie ändert sich ständig, wie wir in Figur 3 sehen können, aber die speziellen und oft bizarren Formen der Schwingungen wiederholen sich nach einem Saros. In Figur 5 haben wir zwei Zeitabschnitte der Kurve Σ, die genau einen Saros auseinanderliegen, übereinander abgebildet. Wir bemerken: wenn ein Punkt ganz oben auf einem Maximum der Kurve liegt, dann wird der entsprechende Punkt genau einen Saros später wieder an einem Maximum sein. Mit anderen Worten: wenn der Punkt (i, Σ_i) Extremalwert der Kurve ist, dann ist der Punkt $(i + 223, \Sigma_{i+223})$ dies auch, und die beiden Schwingungen, auf denen diese Extrema liegen, haben praktisch dieselbe Form.

Vergleicht man aber Abschnitte unserer Kurve Σ miteinander, die mehrere Saroi auseinanderliegen, so zeigt es sich, daß die Punkte, die 1, 2, 3, ... Saroi vom Anfangspunkt (i, Σ_i) entfernt liegen, auf der Kurve nicht ganz stationär sind, sondern sich langsam verschieben: ist (i, Σ_i) ein

---

42 Pinches, Strassmeier u. Sachs [14].

Maximum, dann ist der Punkt 9 Saroi später nicht mehr ein Maximum, sondern er ist der letzte Punkt vor einem Maximum. Geht man von einem Maximum auf unserer Kurve 28 Saroi (das heißt, 28 × 223 Lunationen) vorwärts in der Zeit, so kommt man nicht zu einem Maximum, sondern zu einem Punkt, der 3 Lunationen vor einem Maximum liegt.

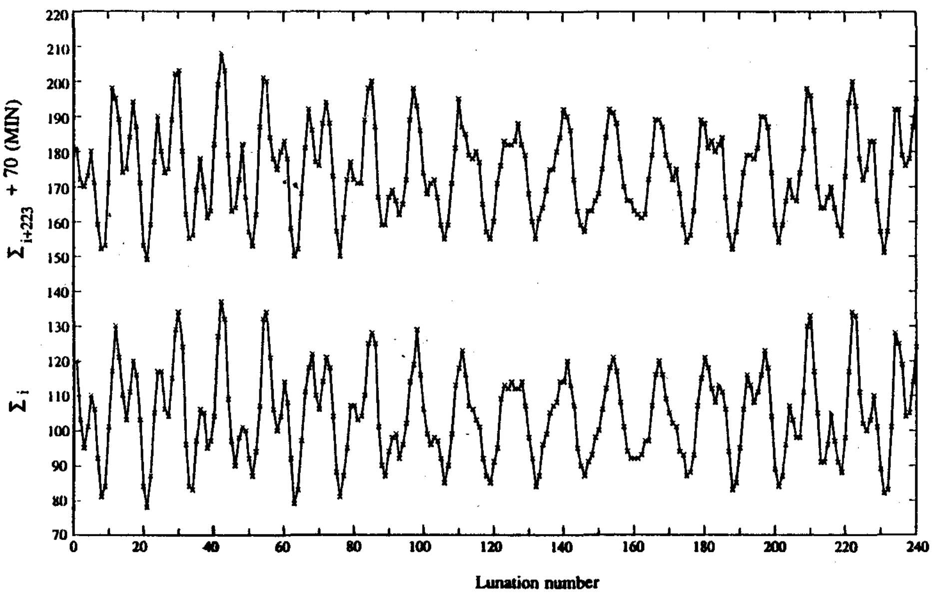

Fig. 5:

Unten: Die Werte Σ_i wie in Fig. 3. *Oben:* Σ_{i+223}, d.h., die Werte von Σ einen Saros (= 223 Monate) später (um 70 Minuten nach oben verschoben). Man beachte, wie sich die komplizierte Feinstruktur des Kurvenverlaufes nach einem Saros fast identisch wiederholt.

Zählt man nun die Schwingungen, die Σ in diesem Zeitintervall vollführt hat, so kommt man auf deren 28 × 16 = 448, oder sexagesimal geschrieben: 7,28. Diese beiden Tatsachen (die direkt von der Kurve $(i, \hat{\Sigma}_i)$ abzulesen sind) führen zu folgender Periodenrelation:

$$28 \text{ Saroi} + 3 \text{ synodische Monate} = 28 \cdot 16\, P_{☾}\,, \text{ oder}$$
$$(28 \cdot 223 + 3) \text{ synodische Monate} = 6247 \text{ synod. Monate} = 448\, P_{☾}\,. \quad (14)$$

Diese in unserem Zahlensystem geschriebene Relation ist identisch mit der sexagesimal notierten Relation (7), die der Kolonne Φ zugrunde liegt.

Diese grundlegende Relation können wir also, wie oben angedeutet, direkt aus den Beobachtungen der Lunar Four herleiten. Die Babylonier haben es ähnlich anhand ihrer numerischen Methoden herleiten können, und wir sind überzeugt davon, daß sie es auch getan haben.

Wie erwähnt, zeigte Neugebauer, daß diese Relation eng verbunden ist mit der vielzitierten Bemerkung im Sarostext: „Der Unterschied nach einem Saros gleicht 17,46,40". Unserer Auffassung zufolge ist Σ und die von ihr hergeleitete Relation das Primäre in Bezug auf Kolonne Φ. Die Bemerkung im Sarostext ist richtig, aber sekundär; sie folgt aus der Periodenrelation und daraus, daß Φ als lineare Zickzack-Funktion konstruiert wurde. Diese beruht auf dem Sachverhalt, daß Punkte auf Σ und damit auch auf Φ, die je einen Saros auseinanderliegen, sich langsam auf der Kurve verschieben. Nach 28 Saroi beträgt die Verschiebung $3 \times d_\Phi$, also 3 mal die monatliche Änderung von Φ. Durch Division finden wir, daß nach einem Saros die Verschiebung $(3:28) \times d_\Phi$ beträgt. Genau dies sagt der Sarostext aus (in Section 14), denn $17{,}46{,}40 = (3:28) \times d_\Phi$; es beinhaltet also nach unserer Auffassung nicht zwingend eine Interpretation oder Deutung von Φ.

9. Astronomische Deutung von Σ und Φ

Was messen wir eigentlich, wenn wir die Summe der Lunar Four bilden, d.h. was ist die astronomische Bedeutung von Σ? Betrachten wir zuerst die Teilsummen *ŠÚ* + *NA* und *ME* + *GE*. *ŠÚ* wird am Morgen unmittelbar vor der Opposition gemessen, *NA* am darauffolgenden Morgen. Diese Größen geben die Zeitunterschiede zwischen Monduntergang und Sonnenaufgang an. Gesetzt den Fall, daß die Opposition genau am Sonnenaufgang des ersten Morgens stattfindet, dann ist *ŠÚ* gleich null. Am nächsten Morgen fallen Sonnenaufgang und Monduntergang nicht mehr zusammen, denn in den dazwischenliegenden 24 Stunden hat sich die Sonne um ca. 1° in der Ekliptik fortbewegt, während sich der Mond (abhängig von seiner momentanen Geschwindigkeit) zwischen 11° und 15° in der Ekliptik voranbewegt hat. Relativ zur Sonne hat der Mond also zwischen 10° und 14° zurückgelegt. (Diesen Ekliptikbogen, den der Mond relativ zur Sonne während 24 Stunden durchlaufen hat, wollen wir im Folgenden seinen täglichen Elongationsbogen nennen.) *NA*, das Intervall vom Sonnenaufgang am zweiten Morgen bis zum Monduntergang, ist die Zeit, die es für diesen täglichen Elongationsbogen dauert, unterzugehen, d.h. den westlichen Horizont zu passieren. In dem oben betrachteten Falle, wo *ŠÚ* gleich null angenommen ist, ist *ŠÚ* + *NA* = *NA* gleich der Untergangszeit des täglichen Elongationsbogens. Es kann nun aber gezeigt werden, daß *ŠÚ* + *NA* immer diese Bedeutung hat.[43] Diese Untergangszeit hängt von der momentanen Mondgeschwindigkeit und der momentanen Neigung der Ekliptik ab. Entsprechende Überlegungen am östlichen Abendhimmel zeigen, daß *ME* + *GE* der Aufgangszeit des täglichen Elongationsbogens entspricht.

ŠÚ + *NA* sowie *ME* + *GE* enthalten also Information über die Elongationsbewegung des Mondes. Doch diese Information ist überlagert vom Effekt der 'oblique ascension', denn die Elongation des Mondes (d.h. sein Abstand zur Sonne) wird auf der Ekliptik gemessen, während die Lunar Four als Zeitintervalle auf dem Himmelsäquator gemessen werden.

Der Effekt der 'oblique ascension' wird aber, wie wir oben gesehen haben, eliminiert, wenn wir statt *ŠÚ* + *NA* oder *ME* + *GE* deren Summe Σ betrachten. Bei jedem Vollmond bedeutet nämlich Σ die *Summe* der Aufgangs- und Untergangszeiten desselben Elongationsbogens (d.h. des Ekliptikbogens, der die tägliche Verschiebung des Mondes relativ zur Sonne mißt). Diese Größe Σ ist *universell:* es kann gezeigt werden, daß sie von der geographischen Breite des Beobachtungsortes unabhängig ist.[44] *ŠÚ* + *NA* und *ME* + *GE* je für sich sind abhängig von der geographischen Breite: so werden Beobachtungen von *ŠÚ* + *NA* bei einem bestimmten Vollmond verschiedene Werte ergeben, wenn sie in Babylon, Alexandria oder auf Rhodos vorgenommen werden; Σ = *ŠÚ* + *NA* + *ME* + *GE* hingegen wird überall auf der Erde denselben Wert ergeben.

Wir möchten hier unterstreichen, daß die Größe Σ in Ref. [13] *rein empirisch* gefunden wurde. Bei dem Versuch, Φ zu rekonstruieren, haben wir nach Beobachtungen gesucht, die zur Bestimmung von $P_{☾}$ führen können. Um die Kompliziertheit der Horizontphänomene (also auch der Lunar Four) zu umgehen, haben wir Beobachtungen am westlichen und östlichen Horizont miteinander kombiniert und so die Größe Σ betrachtet, ohne uns zunächst um ihre astronomische Bedeutung zu kümmern.

---

43 Brack-Bernsen u. Schmidt [15].

44 Ebenda [15].

Genauso, glauben wir, können die Babylonier die Größe $\hat{\Sigma}$ rein empirisch gefunden haben.

Die astronomische Bedeutung von Σ ist die folgende: es kann gezeigt werden, daß Σ gleich der doppelten Aufgangszeit des täglichen Elongationsbogens des Mondes am Tag der Opposition bei der 'sphaera recta' ist.[45] Hiermit meinen wir zweimal die Zeit, die es vom Erdäquator aus gesehen für diesen Ekliptikbogen dauert, den Horizont zu passieren. Dies kann modernen Astronomen zu verstehen helfen, weshalb die 'oblique ascension' eliminiert wurde und weshalb man damit aus den Lunar Four die Mondperiode $P_☾$ bestimmen kann. Doch diese Interpretation von Σ ist so abstrakt, daß die Babylonier sie so sicher nicht kannten.[46]

10. Schlußfolgerung

Wir haben demonstriert, wie es möglich ist, die babylonischen Beobachtungen so zu verwenden, daß man aus ihnen eine Funktion $\hat{\Sigma}$ mit der Periode $P_☾$ herleiten kann. Wir glauben, daß die Babylonier diese Funktion $\hat{\Sigma}$ aus ihren Horizontbeobachtungen gefunden und die Zickzack-Funktion Φ durch Addition einer Konstanten von ca. 100° daraus hergeleitet haben. Wir kennen auch die astronomische Deutung von Σ; diese ist aber so abstrakt und kompliziert, daß die Babylonier sie wohl nicht kannten, da sie nach unserem Wissen keine räumliche Vorstellung von Himmelsphänomenen hatten.

Wenn unsere Hypothese stimmt, daß Φ direkt von Σ hergeleitet wurde, dann müssen wir folgende Schlußfolgerung ziehen: Die Babylonier haben rein empirisch eine periodische Funktion gefunden, die ihnen Aufschluß über die Elongationsbewegung des Mondes und damit seiner momentanen Geschwindigkeit gab. Ohne seine astronomische Bedeutung zu verstehen, haben sie Φ zur Ableitung der anderen Größen zu verwenden gewußt, welche dieselbe Periode $P_☾$ besitzen.
Wir denken, daß die Babylonier die verschiedenen Daten ihrer Beobachtungen systematisch nach deren Periodizität untersucht und,

---

45 Ebenda [15].

46 Ptolemaios hätte sie wohl verstanden, ist man doch imstande, sie anhand seiner Theorie herzuleiten.

ausgehend von einer bekannten Größe, Voraussagen über andere astronomische Größen mit derselben Periode gemacht haben. Diese Vorgehensweise zeichnet doch seit jeher die naturwissenschaftliche Tätigkeit aus: durch Entdeckung von sich wiederholenden Gesetzmäßigkeiten wird man auf Zusammenhänge geführt, die zu Voraussagen führen können, auch wenn ein tieferes Veständnis der zugrunde liegenden Naturgesetze fehlt oder nur teilweise vorliegt.

Ich danke O. Schmidt und Y. Maeyama für wertvolle Gespräche und Hinweise.

Bibliographie

[1] HAMA: O. Neugebauer: *A History of Ancient Mathematical Astronomy*. Springer Verlag, New York, 1975. Vols. I-III.

[2] A. Sachs and H. Hunger: *Astronomical diaries and related texts from Babylonia. Volume I: Diaries from 652 B.C. to 262 B.C.* Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien, 1988.

[3] O. Neugebauer: *The Exact Sciences in Antiquity*. 2nd ed., Dover, New York, 1969.

[4] ACT: O. Neugebauer: *Astronomical Cuneiform Texts*. Lund Humphries, London, 1955. Vols. I-III.

[5] B.L. van der Waerden: *Erwachende Wissenschaft, Band 2: Die Anfänge der Astronomie*. Birkhäuser, Basel, 1968; revidierte englische Ausgabe: *Science Awakening II: The Birth of Astronomy*. Oxford University Press, New York, 1974.

[6] L. Bernsen: „On the Construction of Column B in System A of the Astronomical Cuneiform Texts“, *Centaurus* 14 No.1 (1969) 23-28.

[6a] A. Aaboe and J. A. Henderson: „The Babylonian Theory of Lunar Latitude and Eclipses According to System A”, *Arch. Int. d'Hist. des Sci.* Vol. 25, No. 97 (1975) 181-222.

[7] A. Aaboe: „On Period Relations in Babylonian Astronomy“, *Centaurus* 10 (1964) 213-231.

[7a] Y. Maeyama: „On the Babylonian Lunar theory”, *Arch. Int. d'Hist. des Sci.* Vol. 28, No. 102 (1978) 21-35.

[8] H.H. Goldstine: *New and Full Moons 1001 B.C. to A.D. 1651*. Memoirs of the American Philosophical Society, Vol. 94 (1973).

[9] L. Brack-Bernsen: „Some investigations on the ephemerides of the Babylonian moon texts. System A“, *Centaurus* 24 (1980) 36-50.

[10] A. Aaboe: *Some Lunar Auxiliary Tables and Related Texts from the Late Babylonian Period.* Kgl. Dan. Vid. Selsk. Mat.-fys. Medd. 36 No. 12 (1968).

[11] O. Neugebauer: *Saros and Lunar Velocity in Babylonian Astronomy.* Kgl. Dan. Vid. Selsk. Mat.-fys. Medd. 31 No.4 (1957).

[12] A. Aaboe: *A Computed List of New Moons for 319 B.C. to 316 B.C. from Babylon: B.M.40094.* Kgl. Dan. Vid. Selsk. Mat.-fys. Medd. 37 No.3 (1969).

[12a] Y. Maeyama: „The Basic Problems of the Babylonian Lunar Theary", *Arch. Int. d'Hist. des Sci.* Vol. 31, No. 107 (1981) 253-372.

[13] L. Brack-Bernsen: „On the Babylonian Lunar Theory: A Construction of Column Φ from Horizontal Observations". *Centaurus* 33 (1990) 39-56.

[14] T.G.Pinches, J.N.Strassmaier and A.J.Sachs: *Late Babylonian Astronomical and Related Texts.* Brown Univ. Press, Providence, 1955, SS. [xxv] und [xxxii]. In diesem Buch sind u.a. die Goal-Year-Texte transkribiert und mit kurzen Inhaltsangaben wiedergegeben worden.

[15] L. Brack-Bernsen and O. Schmidt, to be published.