

LIS BRACK-BERNSEN

ZUR ENTSTEHUNG DER BABYLONISCHEN MONDTHEORIE

# BOETHIUS

TEXTE UND ABHANDLUNGEN ZUR  
GESCHICHTE DER MATHEMATIK  
UND DER NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON JOSEPH EHRENFRIED HOFMANN  
FRIEDRICH KLEMM UND BERNHARD STICKER

HERAUSGEGEBEN VON MENSIO FOLKERTS

BAND 40



---

FRANZ STEINER VERLAG STUTTGART

1997

LIS BRACK-BERNSEN

# ZUR ENTSTEHUNG DER BABYLONISCHEN MONDTHEORIE

BEOBACHTUNG  
UND THEORETISCHE BERECHNUNG  
VON MONDPHASEN



---

FRANZ STEINER VERLAG STUTTGART

1997

Abbildung auf der Titelseite: Fragment LBAT 1307 einer nicht datierbaren Goal-Year-Tafel, veröffentlicht von Sachs (LBAT, S. 203). In der linken Kolonne sind abwechselnd die Symbole ŠÚ + NA und ME + GE untereinander angeführt.

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

**Brack-Bernsen, Lis:**

Zur Entstehung der babylonischen Mondtheorie : Beobachtung und theoretische Berechnung von Mondphasen / Lis Brack-Bernsen. -

Stuttgart : Steiner, 1997

(Boethius ; Bd. 40)

Zugl.: Frankfurt (Main), Univ., Habil.-Schr., 1997

ISBN 3-515-07089-3



ISO 9706

Jede Verwertung des Werkes außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Übersetzung, Nachdruck, Mikroverfilmung oder vergleichbare Verfahren sowie für die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen. Als Habilitationsschrift auf Empfehlung des Fachbereichs Physik der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main gedruckt mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft. © 1997 by Franz Steiner Verlag Wiesbaden GmbH, Sitz Stuttgart. Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier. Druck: Druckerei Proff, Eurasburg.

Printed in Germany

Für Matthias



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Die Quellen der babylonischen Astronomie</b>	<b>7</b>
2.1	Die astronomisch-astrologischen Texte . . . . .	8
2.2	Die nicht-mathematischen astronomischen Texte . . . . .	14
2.3	Die Texte der mathematischen Astronomie . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Kurze Charakterisierung der babylonischen Astronomie</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>Errungenschaften der babylonischen Astronomie</b>	<b>29</b>
4.1	Systematische Sammlung von Beobachtungsdaten . . . . .	29
4.2	Erkennen von empirischen Zusammenhängen . . . . .	29
4.3	Entwicklung der mathematischen Astronomie . . . . .	30
4.4	Die Lunar Six . . . . .	31
<b>5</b>	<b>Berechnungsmethoden in den Mond-Ephemeriden</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Kolonne B: Die Position des Mondes in der Ekliptik</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>Die Dauer des synodischen Monats</b>	<b>47</b>
7.1	Periodische Funktionen zweier Variablen . . . . .	50
7.2	Appendix mit mathematischen Formeln . . . . .	53
<b>8</b>	<b>Deutung der Kolonne <math>\Phi</math> und ihre Verbindung mit dem Saros</b>	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>Die Rekonstruktion von <math>\Phi</math> aus Lunar-Four-Daten</b>	<b>61</b>
9.1	$P_{\zeta}$ und die babylonischen Lunar-Four-Daten . . . . .	61
9.2	$\Phi$ und die Summe $\Sigma$ der Lunar Four . . . . .	64
9.3	$\Sigma$ und der Saros . . . . .	67
<b>10</b>	<b>Astronomische Deutung von <math>\check{S}\acute{U}+NA</math> und <math>ME+GE</math> sowie deren Summe <math>\Sigma</math></b>	<b>69</b>
10.1	Beobachtung und Bedeutung von $\check{S}\acute{U}$ und $NA$ . . . . .	69
10.2	Bedeutung von $\check{S}\acute{U}+NA$ und $ME+GE$ . . . . .	72
10.3	Bedeutung der Summe $\Sigma$ . . . . .	75

10.4 Zusammenfassung . . . . .	77
10.5 Illustration durch Fourieranalyse . . . . .	77
<b>11 Empirie und periodische Funktionen in frühen Texten</b>	<b>81</b>
11.1 Konsequenzen der neuen Hypothese . . . . .	81
11.2 Babylonische Koppelung periodischer Schwingungen . . . . .	82
<b>12 Lunar-Six-Daten auf Goal-Year-Tafeln</b>	<b>89</b>
12.1 Allgemeines über die Goal-Year-Tafeln . . . . .	89
12.2 Der Goal-Year-Text LBAT 1285 . . . . .	90
12.3 Bemerkungen zu den Lunar Six Daten auf den Goal-Year-Tafeln . . . . .	92
<b>13 Computerberechnungen der Lunar Four</b>	<b>95</b>
13.1 Systematische Untersuchungen der Lunar Four . . . . .	95
13.2 Analyse der Lunar-Four-Daten auf LBAT 1285 und Kambyses 400 . . . . .	98
13.3 Kontrolle der Lunar-Four-Daten auf den übrigen Goal-Year-Tafeln . . . . .	104
<b>14 Empirische Vorhersagen der Lunar Six anhand der Goal-Year-Tafeln</b>	<b>115</b>
14.1 Verwendung der Goal-Year-Monddaten . . . . .	116
<b>15 Bestätigung der Voraussagemethode durch den Uruktext TU 11</b>	<b>123</b>
15.1 Die relevanten Abschnitte des Textes TU 11 . . . . .	123
15.2 Die tägliche Änderung von $(NA_N)_i$ und ihr Verhältnis zu $(\check{S}\check{U} + NA)_{(i-6)}$	126
15.3 Überprüfung der babylonischen Vorhersageregeln . . . . .	128
<b>16 Zusammenfassung, Schlußfolgerungen und offene Fragen</b>	<b>131</b>
<b>17 Bibliographie</b>	<b>135</b>

# Kapitel 1

## Einführung

Die Ephemeridentexte (siehe Abschnitt 2.3 und Kapitel 5) bezeugen, daß die Babylonier in der Seleukidischen Zeit (d.h. in den letzten 300 Jahren vor Christi Geburt) imstande waren, ganz komplizierte Mondphänomene zu berechnen. Sie verwendeten dazu periodisch variierende Funktionen, nämlich verschiedene Typen von Zahlenfolgen,<sup>1</sup> um periodisch sich wiederholende astronomische Phänomene zu beschreiben oder zu berücksichtigen. Eine der großen Errungenschaften der babylonischen Astronomen besteht in der genauen Bestimmung astronomischer Perioden, so wie sie implizit in den berechneten Zahlenkolonnen der Ephemeridentexte vorkommen. Man muß sich fragen: wie haben die Babylonier anhand ihrer Beobachtungen diese Perioden bestimmen und ihre Rechenschemata entwickeln können?

In den Diaries (Sachs und Hunger, 1988) haben die Babylonier ihre astronomischen Beobachtungen Jahr für Jahr zusammengetragen und aufgeschrieben. Aus diesen alten Berichten können wir genau ersehen, welche Phänomene die Babylonier regelmäßig beobachteten, und die Genauigkeit ihrer Beobachtungen ermitteln.

Es muß selbstverständlich von jeder Rekonstruktion der babylonischen Berechnungsschemata gefordert werden, daß sie nur solche Beobachtungen verwendet, wie sie die Babylonier tatsächlich durchgeführt haben können. Dabei darf die Genauigkeit der verwendeten Daten nicht die der babylonischen Beobachtungen übersteigen. Oder anders ausgedrückt: Eine jede Rekonstruktion der babylonischen Berechnungsschemata muß erklären, wie die fundamentalen astronomischen Perioden oder Periodenrelationen empirisch aus den damals möglichen Beobachtungen bestimmt werden können.

Das vorliegende Projekt befaßt sich mit der Entstehung der Mondephemeriden. Die fundamentalen Perioden, die in den Mondephemeriden vorkommen, sind die folgenden: die Länge  $P_{\odot}$  des Sonnenjahres, die Periode  $P_{\zeta}$  der variablen Mondgeschwindigkeit sowie die Periode  $P_{\Omega}$  der Breitenbewegung des Mondes. Gemäß den Ephemeridentexten, welche die astronomischen Größen einmal jeden synodischen Monat tabellierten, verstehen wir unter  $P_{\zeta}$  und  $P_{\Omega}$  die Perioden der Mondgeschwindigkeit  $v_{\zeta}$  und die der Breite  $\beta_{\zeta}$  des Mondes, wenn diese bei gleicher Mondphase in jedem synodischen Monat gemessen werden. Im Folgenden gehen wir auf  $P_{\odot}$  und  $P_{\zeta}$  ein. (Die Breitenbewegung des Mondes

---

<sup>1</sup>zum Beispiel stückweise arithmetische Reihen, die sogenannten Zickzack-Funktionen, oder stückweise konstante Funktionen, die wir Treppenfunktionen nennen,

zeigte ihre Wirkung z.B. durch die Tage im Monat, an denen die Lunar Four gemessen wurden. Daß die Breitenbewegung für unsere Untersuchungen keine wesentliche Rolle spielt, wurde in Brack-Bernsen und Schmidt (1994) gezeigt, siehe auch Kapitel 10.)

Wie es scheint, bereitet die Ermittlung der Länge des Sonnenjahres  $P_{\odot}$  keine allzu großen Probleme; sie läßt sich grundsätzlich aus Beobachtungen von Positionen aufeinanderfolgender Vollmonde oder Neulichter bestimmen (Bernsen, 1969; Aaboe und Henderson, 1975; Brack-Bernsen, 1993). Dies wird in Kapitel 6 diskutiert, wo wir auch auf einen anderen Rekonstruktionsansatz von Maeyama (1978, 1981) eingehen.

Die Bestimmung von  $P_{\zeta}$  hingegen ist viel schwieriger. Es war lange Zeit ein Rätsel, wie die Babylonier diese Größe so genau bestimmen konnten. Eines war klar, nämlich daß sie  $P_{\zeta}$  nicht direkt aus Beobachtungen von Mondpositionen ermittelt hatten, denn die Kolonne F, deren Zahlenwerte als die Mondgeschwindigkeit  $v_{\zeta}$  gedeutet werden, ist von der zweiten Kolonne der Ephemeriden im System A hergeleitet worden. Diese zweite Kolonne, die  $\Phi$  genannt wird, ist also Träger der Information über die momentane Mondgeschwindigkeit. Ihre Periode  $P_{\Phi}$  ist eine sehr gute Näherung an die Periode  $P_{\zeta}$ . Es stellt sich deshalb die Frage: woher kommt  $P_{\Phi}$  und was bedeutet oder mißt Kolonne  $\Phi$ ?

Die Zahlen in dieser Kolonne bilden anscheinend eine der frühesten Funktionen der mathematischen Astronomie, denn  $\Phi$  tritt schon in 'Text B' auf (Aaboe and Sachs, 1969). Dies ist der früheste von allen bekannten Texten, die von mathematischer Astronomie zeugen.<sup>2</sup>

Die einzigen Mondphänomene, die regelmäßig von den Babyloniern beobachtet wurden, sind folgende: Mondfinsternisse, Mondpassagen nahe an gewissen Normalsternen, sowie gewisse Zeitdifferenzen zwischen Aufgang oder Untergang von Sonne und Mond in den Tagen um Konjunktion oder Opposition herum. Kolonne  $\Phi$ , so nehmen wir an, muß aus der Beobachtung eines oder mehrerer dieser Phänomene entstanden sein.

Ein sehr wichtiger Text, der sogenannte Sarostext, bringt Kolonne  $\Phi$  mit dem Saros in Verbindung (Neugebauer, 1957a). Der Saros ist ein altbekannter Finsterniszyklus von 223 synodischen Monaten.<sup>3</sup> Deshalb wurde angenommen, daß Kolonne  $\Phi$  aus beobachteten Mondfinsternissen oder aus den verschiedenen Längen aufeinanderfolgender Saroi konstruiert wurde.

---

<sup>2</sup>Dieses Textstück B wird durch andere Teile (Text C und D) vervollständigt und wurde unter dem Namen 'Text S' von Britton (1989) nochmals bearbeitet. In Aaboe et al. (1991) wurden ein weiteres Teilstück des Textes veröffentlicht. Siehe auch Abschnitt 2.2.

<sup>3</sup>Der Name 'Saros' für diesen Zyklus ist eine spätere Erfindung (siehe Neugebauer, 1957, ad. 50, SS. 141–143). Das Besondere bei dieser Zeitspanne von 223 synodischen Monaten ist, daß sie ungefähr gleich ist nicht nur einer ganzen Anzahl anomalistischer Monate, sondern auch gleich einer ganzen Anzahl von siderischen und draconitischen Monaten: 223 syn. Monate  $\simeq$  239 anom. Monate  $\simeq$  241 sid. Monate  $\simeq$  242 drak. Monate  $\simeq$  18 Jahre + 11 Tage  $\simeq$  6585.321 Tage. Dies bedeutet, daß der Mond bei Syzygien, die um 223 syn. Monate auseinanderliegen, ungefähr die gleiche Geschwindigkeit  $v_{\zeta}$ , Länge  $\lambda_{\zeta}$  und Breite  $\beta_{\zeta}$  hat.

Da ich aber Zweifel an der Möglichkeit hegte, Kolonne  $\Phi$  so zu konstruieren (Brack-Bernsen, 1980), versuchte ich, herauszufinden, welche von den babylonischen Mondbeobachtungen Informationen über die variable Mondgeschwindigkeit in sich tragen. Es gelang mir, zu zeigen, daß die Summe  $\Sigma$  der vier von den Babyloniern beobachteten charakteristischen Zeitintervalle bei Opposition, 'Lunar Four' genannt, eine periodisch schwingende Funktion mit der mittleren Periode  $P_{\Phi}$  bildet (Brack-Bernsen, 1990). Es zeigte sich außerdem, daß die lineare Zickzack-Funktion  $\hat{\Sigma}$ , die sich dieser empirischen Funktion  $\Sigma$  am besten nähert, auch die gleiche Amplitude und Phase hat wie  $\Phi$ . Deshalb war und bin ich davon überzeugt, daß Kolonne  $\Phi$  aus der Summe  $\Sigma$  der Lunar Four abgeleitet wurde (Brack-Bernsen, 1990, 1993 und 1994).

Sehr viele, aber nicht alle Forscher anerkannten diese empirische Rekonstruktion von Kolonne  $\Phi$ . Ob diese oder eher die herkömmliche Deutung von  $\Phi$  die wahrscheinlichere ist, hängt eng mit der Frage zusammen, ob  $\Phi$  eine empirisch hergeleitete Funktion ist, deren genaue astronomische Interpretation die Babylonier eventuell gar nicht kannten, oder ob sie eher einer theoretischen Konstruktion entstammt.

Die vorliegende Arbeit dient dem Ziel, durch Hinzunahme anderer Texttypen als der mathematisch-astronomischen aus der Seleukidischen Zeit ein Bild davon zu gewinnen, wie die babylonische Astronomie entstanden sein könnte. Daneben werden sämtliche Texte untersucht, die Lunar-Six-Daten enthalten. Dabei kann gezeigt werden, daß die Babylonier diese Daten systematisch gesammelt haben, daß sie empirische Zusammenhänge erkannt und diese zu Vorhersagen benutzt haben, und daß die aufgezeichneten Werte auch genügend genau sind und die erforderliche Systematik aufweisen, die für die Konstruktion von  $\Sigma$  aus den Lunar Four notwendig und hinreichend ist.

Die Arbeit ist wie folgt strukturiert. In den Kapiteln 2 bis 5 wird für den nicht spezialisierten Leser eine allgemeine Einführung in die babylonische Astronomie gegeben. Kapitel 2 stellt das gesamte Quellenmaterial vor, das uns einen Einblick in die "Mesopotamische Weisheit" und damit in die damaligen Wissenschaften gewährt. In Kapitel 3 werden die astronomischen Phänomene erwähnt, die von den Babyloniern beobachtet und berechnet wurden, und es wird erörtert, wodurch unsere moderne Astronomie sich von der babylonischen Astronomie unterscheidet, deren wichtigste Leistungen wir dann in Kapitel 4 zusammenfassen. In Kapitel 5 wird als Beispiel für die babylonischen Mondberechnungen der Ephemeridentext ACT 5 vorgestellt und die Bedeutung der darin enthaltenen Kolonnen besprochen.

Die Kapitel 6 bis 8 führen näher in den Problemkreis ein. Kapitel 6 enthält zwei Rekonstruktionsvorschläge von Kolonne B. In Kapitel 7 wird eine empirische Methode zur Analyse von babylonischen Beobachtungsdaten in heuristischer und auch für Nicht-Mathematiker verständlicher Weise dargestellt. Kapitel 8 ist einem zentralen Objekt

unserer Untersuchungen, nämlich der Kolonne  $\Phi$  der babylonischen Mondephemeriden, gewidmet; wir diskutieren dort ihre bisherige Deutung in Verbindung mit der Sarosperiode.

Die Kapitel 9 bis 15 enthalten meine neuesten Arbeiten zur vorliegenden Problematik. In Kapitel 9 wird mein Vorschlag zur Rekonstruktion von Kolonne  $\Phi$  aus babylonischen Horizontbeobachtungen vorgestellt. Kapitel 10 geht auf die astronomische Bedeutung der dabei verwendeten Teilsommen der Lunar Four ein. Kapitel 11 bespricht einige Konsequenzen meiner Hypothese, die sich auch durch ältere Texte bestätigen lassen. In den Kapiteln 12 bis 15 werden weitergehende Untersuchungen vorgestellt, die zum Ziel haben, meinen Rekonstruktionsvorschlag von Kolonne  $\Phi$  weiter zu untermauern und andere Evidenz für die dabei vermutete Vorgehensweise der Babylonier hervorzu- bringen. Dazu werden in Kapitel 12 die sogenannten Goal-Year-Tafeln und die darin enthaltenen Lunar-Six-Daten, die ich übersetzt habe, besprochen. Kapitel 13 stellt Computerberechnungen mit einem modernen Ephemeridenprogramm vor, die es er- lauben, das historische Datenmaterial der Babylonier teils zu überprüfen und teils zu ergänzen. Es ergibt sich (Abschnitt 13.3), daß die aufgezeichneten Daten recht ge- nau sind und die für die vorgeschlagene Rekonstruktion von  $\Phi$  notwendige Systematik aufweisen.

Die Daten auf den Goal-Year-Tafeln wurden von den Babyloniern zusammengestellt, um mit ihrer Hilfe Vorhersagen machen zu können. Eine systematische Analyse von Lunar-Four-Daten führt zu einer Vermutung darüber, wie sie zu Vorhersagen benützt worden sind (Kapitel 14). Diese Vermutung kann, wie in Kapitel 15 gezeigt wird, durch zwei Abschnitte aus dem neulich von H. Hunger übersetzten Text TU 11 explizit bestätigt werden. Damit ist zum ersten Mal die volle Funktionsweise der Goal-Year-Tafeln verstanden worden.

An dieser Stelle möchte ich allen, die mich bei diesem Projekt unterstützt haben, meinen herzlichen Dank aussprechen.

Ich danke der Deutschen Forschungsgemeinschaft für ein Habilitationsstipendium und dem Freistaat Bayern für ein Wiedereinstiegstipendium im Rahmen des Hochschul- sonderprogrammes II.

Herrn Professor Dr. D. King danke ich für die Möglichkeit, am Institut für Geschichte der Naturwissenschaften in Frankfurt an Veranstaltungen teilzunehmen, Vorlesungen zu halten und dort meine Habilitationsschrift einzureichen.

Herrn Professor Dr. Y. Maeyama bin ich zu besonderem Dank verpflichtet. Er hat mich an der Universität Frankfurt stets gastfreundlich empfangen und mich durch eine Reihe von Diskussionen und Anregungen bei meiner Arbeit unterstützt. Insbesondere danke ich ihm dafür, daß er die Mühe auf sich genommen hat, eine „Wiedereinsteigerin“ bei ihrer Habilitationsarbeit zu betreuen.

Meinem Lehrer, Herrn Professor Dr. Olaf Schmidt in Kopenhagen, habe ich sehr viel zu verdanken. Er hat mich durch seine Vorlesungen und durch die interessanten Aufgaben, die er mir gestellt hat, in das spannende Gebiet der Astronomiegeschichte eingeführt und mir ein solides Fundament und Einsicht in die Fragestellungen und Arbeitsmethoden der Geschichte der Mathematik und Astronomie vermittelt. Ich danke ihm für die gute Zusammenarbeit auf dem Gebiet der babylonischen Mathematik und der Horizontphänomene, und vor allem für die unzähligen Gespräche, bei denen er mich an seinen tiefen Einsichten in die antike Mathematik teilhaben ließ und meine Arbeiten über alte Astronomie mit mir diskutierte. Ohne diese Gespräche und seine stetige Ermunterung hätte ich es kaum gewagt, wieder in die Forschung einzusteigen.

Bei Herrn Professor Dr. H. Hunger an der Universität Wien bedanke ich mich für die Übersetzung des Textes TU 11 und für seine Hilfe in bei meiner Übersetzung der Goal-Year-Texte. Er hat sich freundlicherweise Zeit genommen, um mir zu erklären, wie die schwierigeren Passagen über Finsternisse übersetzt werden, und um mit mir über andere Fragen zu diskutieren, die auftauchen, wenn Nicht-Assyriologen sich mit diesem Gebiet beschäftigen.

Herrn Dr. Chr. Walker am British Museum danke ich für alle mir zugesandten Transliterationen und Übersetzungen von Lehr- und anderen Keilschrifttexten.

Herrn Professor Dr. Chr. Meinel und den Mitarbeitern an seinem Lehrstuhl an der Universität Regensburg danke ich für die guten Arbeitsbedingungen und für alles, was ich in Vorlesungen, Seminaren und Diskussionen am Lehrstuhl gelernt habe. Besonders möchte ich Frau Dr. Maria Reményi, Frau Dr. Martina Lorenz und Frau Catherine Gobert erwähnen, die dieses Manuskript gelesen und sprachlich verbessert haben. Ich bedanke mich für ihre freundschaftliche Hilfe und für anregende Diskussionen.

Thomas Hirschmann, Stephanie Reimann und Franz Stadler haben mir bei der Anfertigung von Abbildungen und bei allerlei Problemen in Verbindung mit der Textverarbeitung geholfen. Ihnen ist es zu verdanken, daß die Abbildungen korrekt und an den relevanten Stellen dieser Habilitationsschrift erscheinen.

Auch Bettina Drucker und Horst Schymura möchte ich für aufmerksames Durchlesen des Manuskripts und gute Verbesserungsvorschläge herzlich danken.

Meinem Mann Matthias Brack sowie Helene, Marion, Christian und Sonja danke ich herzlich dafür, daß sie mich ermutigt haben, diese Arbeit in Angriff zu nehmen und bereit waren, häusliche Pflichten mit mir zu teilen.

Mein besonderer Dank gilt meinem lieben Mann für seine Unterstützung und sein Interesse an meiner Arbeit, für seine Hilfe bei der Textverarbeitung und für das Durchlesen und Korrigieren meiner Publikationen. Speziell möchte ich ihm herzlich für die große Unterstützung danken, die er mir bei den Computerberechnungen der Lunar Six und der Erstellung der zugehörigen Abbildungen geleistet hat.



## Kapitel 2

# Die Quellen der babylonischen Astronomie

In der Mitte des letzten Jahrhunderts wurden in Mesopotamien die ersten Tontafeln ausgegraben. Um das Jahr 1880, als Straßmaier und Epping (1881) entdeckten, daß einige dieser Keilschrifttexte astronomischen Inhalts waren, wußte man fast nichts über die babylonische Astronomie. Sekundärquellen bezeugten ihre Existenz, doch die sporadischen griechischen und lateinischen Hinweise enthielten wenig Information und übermittelten ein recht diffuses und oft, wie wir jetzt wissen, falsches Bild von der babylonischen Astronomie.

Die originalen babylonischen Keilschrifttexte zeugen von einer erstaunlich hochentwickelten Astronomie: Sie enthalten effektive und elegante numerische Systeme zur Berechnung von komplizierten Himmelsphänomenen.

Bis jetzt hat man über 2000 astronomische Keilschrifttexte gefunden, die oft nur Fragmente sind: in Assurbanipals Bibliothek in Ninive, in Uruk, aber weitaus die meisten in Babylon. Diese astronomischen Texte werden in drei Gruppen eingeteilt, die eng miteinander verbunden sind:

- Die astronomisch-astrologischen Texte, die sich mit astronomischen Omina beschäftigen.
- Die Texte der mathematischen Astronomie, die sogenannten Ephemeriden-Tafeln mit berechneten Zeiten und Positionen von Mond und den damals bekannten 5 Planeten (Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn),<sup>1</sup> samt Lehrtexten, die ganz kurzgefaßte Rechenrezepte und Kontrollregeln der Ephemeriden enthalten. Diese Texte werden auch kurz ACT-Texte genannt.
- Die übrigen astronomischen Texte sind die sogenannten nicht-mathematischen Texte, deren Inhalte weitgehend Beobachtungen sind.

---

<sup>1</sup>Hier sind die Planeten nach ihren Abständen zur Sonne geordnet aufgelistet; die babylonischen Texte weisen eine andere Reihenfolge auf: Jupiter, Venus, Merkur, Saturn und Mars.

## 2.1 Die astronomisch-astrologischen Texte

Im alten Mesopotamien herrschte der Glaube, daß die Götter die Menschen durch Zeichen auf kommende Ereignisse hinweisen. Diese Zeichen konnten unter anderem in den Eingeweiden geopferter Schafe oder am Himmel auftauchen. Wenn etwas besonders Wichtiges sich kurz nach dem Auftreten eines Zeichens ereignete, nahm man an, es bestünde ein Zusammenhang zwischen dem Ereignis und dem Zeichen: das gleiche Zeichen würde, wenn es wieder auftrat, das schon erlebte Ereignis wieder ankündigen. Frühe Texte berichteten von verschiedenen Zeichen und den durch sie vorhergesagten Ereignissen. Später wurden die Zeichen systematisch geordnet und auf Tontafeln aufgeschrieben, zusammen mit den dazugehörigen Voraussagen. Demnach sagten Mondfinsternisse oft den Tod eines Königs voraus; welcher König sterben würde, hing vom Verlauf der Finsternis und von den während dieser Zeit sichtbaren Planeten ab.

Huber (1987) argumentiert überzeugend dafür, daß die Omen-Astrologie aus historischen Ereignissen entstanden ist. Einige der aufgezeichneten Omina deuten darauf hin: Ihre Zeichen sind so genau beschriebene Mondfinsternisse, daß diese sich datieren lassen: Verlauf und Planetenerscheinung sind identisch mit berechneten Finsternissen aus der Zeit 2300 bis 2000 v. Chr. Auch können die dazugehörigen Vorhersagen mit geschichtlichen Ereignissen identifiziert werden – zum Beispiel mit dem Tod eines Königs aus derselben Zeit – die in anderen Texten aufgezeichnet worden sind. Die astronomische Datierung stimmt mit der Chronologie überein, die man aus anderen Quellen hergeleitet hat.

In einem Ominakatalog wird für den Monat Nisan als Zeichen eine Mondfinsternis angegeben, die gewisse Charakteristika aufweist. Der Text sagt: "Wenn man eine derartige Finsternis beobachtet, dann wird der König von Akkad sterben und sein Sohn wird den Thron übernehmen." P. Huber (1982) hat die Regierungsjahre der akkadischen Könige datiert und untersucht, welche Finsternisse im letzten Regierungsjahr dieser Könige auftraten. Dabei stellte sich heraus, daß nicht weniger als dreimal ein akkadischer König kurz nach dem Auftreten einer Mondfinsternis gestorben war, die genau die Merkmale dieses Omens hatte, und daß in allen drei Fällen der Sohn sein Nachfolger war. Aus diesem unglaublichen Zufall heraus, so vermutet Huber, ist die Omen-Astrologie entstanden. Er schreibt (1987, S. 11): "We may have uncovered the birth of omen astrology; who would not become superstitious if two very similar total lunar eclipses occur shortly before the death of two consecutive kings (Manishtushu and Naramsin), and then there is even a third instance?"

Im Folgenden werden die wichtigsten Quellen der Omen-Astrologie kurz vorgestellt.

## Enūma Anu Enlil

Enūma Anu Enlil, kurz "EAE", ist eine Sammlung von etwa 7000 astronomischen Omina, die auf 70 Tafeln zusammengestellt sind und ihre Wurzeln in der Zeit vor 2000 v. Chr. haben. Ihre endgültige Form erhielt sie um 1000 v. Chr. Diese Serie von Tafeln wurde über Jahrhunderte verwendet, oft kopiert und immer wieder konsultiert, um herauszufinden, welche Ereignisse durch beobachtete astronomische Phänomene angekündigt wurden. Ihr Name 'Enūma Anu Enlil' ist identisch mit den einleitenden Worten zur Serie und bedeutet: 'Wenn [die Götter] Anu und Enlil'.

Die Struktur eines Omens ist von der Form: "Wenn das Zeichen A auftritt, dann wird folgendes Ereignis B eintreffen." Manchmal ließ sich aber das angekündigte Schicksal durch Opfer oder rituelle Handlungen abwenden.

Eine treffende Charakterisierung der Omen-Serie wurde von Parpola (1993, S. 53) gegeben:

I understand the series Enūma Anu Enlil primarily as a scientific collection of signals sent by the gods to the King. They sent these signs in order to affect the conduct of the king, the actions that he should take, and these signs were there for this single purpose only – that the gods could express their pleasure or displeasure with the conduct of the king through a system of signs that could be interpreted and reacted to.

Zur Orientierung sollen einige neuere Bearbeitungen ausgewählter Tafeln der Serie "EAE" angeführt werden:

*Tafel 14* (Al-Rawi und George, 1991) enthält keine Omina, sondern Tabellen mit der Sichtbarkeitsdauer des Mondes, kann also am ehesten als eine Sammlung von primitiven astronomischen Tafeln aufgefaßt werden.

Die *Tafeln 15 bis 22* (Rochberg-Halton, 1988) behandeln Omina bei Mondfinsternissen.

*Tafel 50 und 51* (Reiner und Pingree, 1981) befassen sich mit Sternkonstellationen und Planeten. Ein Omen (XII 3 von Seite 65 dieser Bearbeitung) soll hier zitiert werden:

*If the Fields rises heliacally in Month I but the eastern one is not visible: in Elam the cultivated land will not prosper, the people will live off the price of their children.*

*Tafel 63* (Reiner und Pingree, 1975) ist auch unter den Namen 'die Venustafel vom Ammisaduqa' bekannt. Sie enthält Venus-Omina. Ihre astronomischen Aufzeichnungen, Angaben von Sichtbarkeits- und Unsichtbarkeitsdauer des Planeten Venus über einen Zeitraum von 21 Jahren, sind im babylonischen Mondkalender angegeben. Nimmt

man an, daß diese gekoppelten astronomischen Angaben aus Beobachtungen stammen, dann reichen sie fast aus, um anhand von rein astronomischen Kriterien datiert zu werden; dabei sind nur wenige Datierungen möglich (Langdon, Fotheringham und Schoch, 1928). Huber (1982) hat gezeigt, daß nur eine dieser Datierungsmöglichkeiten mit den astronomischen Informationen aus anderen Quellen übereinstimmen kann. Dadurch hat er die Regierungszeit von Ammisaduqa datiert und damit auch die ganze Hammurabi-Dynastie.

### **MUL.APIN** (Hunger und Pingree, 1989)

Diese Sammlung ist jünger<sup>2</sup> als Enūma Anu Enlil und enthält u. a. einen Sternkatalog, Angaben über heliakische Aufgänge der Fixsterne, Windrichtungen, wenige Omina, Angaben über Sichtbarkeit der Planeten und eine Tabelle, in der die Tageslängen am 1. und am 15. der 12 babylonischen Monate in Einheiten von Minen und Shekel angegeben werden (diese Tageslängen wurden damit in Volumenmaßen, also mit einer Wasseruhr gemessen). Die Sichtbarkeit des Mondes an diesen Tagen wird von den angegebenen Tageslängen abgeleitet. Der Charakter dieser Sammlung ist offenbar eher astronomisch als astrologisch.

Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, daß es eine Reihe von babylonischen Horoskopfen gibt. Das früheste bis jetzt gefundene stammt aus dem fünften Jahrhundert vor Christus. Dieses Textmaterial wird aber in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

### **Astrological Reports to Assyrian Kings** (Hunger, 1992)

Im achten und siebten Jahrhundert vor Christus haben Spezialisten den assyrischen Königen ihre astronomischen und anderen außergewöhnlichen Beobachtungen mitgeteilt und mit Hilfe von "EAE" oder anderen Ominasammlungen astrologisch gedeutet. Ein solcher Rapport kann beispielsweise folgende Elemente haben: Erst wird ein Omen aus "EAE" zitiert, dann wird das Omen erklärt und danach wird von aktuellen Beobachtungen (manchmal auch von Vorhersagen) dieses Phänomens berichtet. Der Rapport wird mit der Angabe von Absender und Datum abgeschlossen. Als Beispiel zitieren wir aus dem "Report 55", S. 33:

*If the moon is surrounded by a halo and Cancer stands in it: the king of Akkad will extend the life.*

*This night the moon was surrounded by a halo, it did not close.*

*If the moon is surrounded by a drawing: there will be an eclipse.*

*Eclipse means trouble.*

*This night the moon was surrounded by a drawing, it did not close. ...*

---

<sup>2</sup>Die älteste erhaltene Kopie dieser Sammlung wird zu etwa 700 v. Chr. datiert. Die Sammlung basiert aber sicherlich auf noch älterem Material.

**Letters from Assyrian scholars to the Kings Esarhaddon and Assurbanipal**  
(Parpola, 1970, 1983 und 1993a)

Die Briefe der Astronomiekundigen geben uns Einsicht in ihre Tätigkeit und ihr Können. Sie haben die Himmelskörper beobachtet und wußten zum Beispiel, wann und wo die Planeten zu sehen waren und wann man nach Finsternissen Ausschau halten sollte. Ihre Beobachtungen wurden dazu verwendet, die Könige astrologisch zu beraten. Ein Brief zeigt sogar, daß eine vorhergesagte Mondfinsternis tatsächlich eingetroffen ist. Ein paar Beispiele sollen hier angeführt werden.

1. Aus Brief 74 (Parpola, 1993a):

*To the king, my lord: your servant Nabû-ahhe-eriba. Good health to the king, my lord! May Nabu and Marduk bless the king, my lord!*

*Concerning the crown prince about whom the king, my lord, wrote to me saying that the crown [prince should visit the k]ing, my lord, (and asking) "Is the 1st of Nissan (I) favourable?"*

*On the 1st of Nissan (I) he should c[leanse and p]urify [oneself], make his food offering to Marduk, libate water and first-quality beer to the right and to the left; (then) this man will shine like the sun.*

*On the 2nd he should not go into the street.*

*On the 4th of Nissan (I) he should prostrate himself before Marduk and make his sign known; he will (then) be granted fame and prosperity.*

*"He should make his sign known" (means) he should plead his case before the god.*

*Another matter: the planet Mercury is shining [ver]y brightly; it (signifies) the crown prince. This is [propitious] for the country of Subartu, [and propiti]ous for the king and the crown prince. (If) the crown prin[ce] is to come into the presence of the king, [my lord], it is (now) [favourable t]o do so. ...*

2. Aus Brief 109 (Parpola, 1970):

*... On the loss of radiance he (=the scholiast) has remarked: "It is not an eclipse". But the loss of radiance is even more dangerous than an eclipse, its sign is very unlucky. The planet Mars has gone into the constellation Capricorn, halted (there), (and) is (at present) shining very brightly. The relevant interpretation is as follows: "If the Sun is gloomy, the king of Akkad will d[ie]."*

War eine Mondfinsternis zu erwarten, die für den König gefährlich werden konnte, wurde ein anderer König (mit Königin) provisorisch eingesetzt. Der 'richtige König' erhielt während dieser 'gefährlichen Zeit' Briefe von den Gelehrten, wurde aber mit "Bauer" statt "König" tituliert. Wenn die Gefahr vorbei war, mußten der Ersatzkönig und seine Königin sterben; sie wurden aber mit königlichen Ehren beerdigt. Nach Reinigungsriten wurde der richtige König wieder eingesetzt. Als Beispiel betrachten wir zwei Briefe aus (Parpola, LAS I, 1970).

77: *To the "farmer", my lord, (from) your servant Nabu-sūmu-iddina, the foreman of the collegium of-ten (scribes) of Nineveh: May the gods Nabu (and) Marduk bless the Farmer, my lord. On the 14th day we were watching the Moon: it was eclipsed.*

135: *To the king, my lord, (from) your servant Adad-sūmu-usur: Good health to the king, my lord! May the gods Nabu and Marduk bless the king, my lord.*

*As regards the substitute king about whom the king, my lord, wrote to me: "How many days should he sit?", we waited for a solar eclipse, (but) the eclipse did not take place. Now, if the gods are seen in opposition on the 15th day, he could go to his fate on the 16th.*

*Or if it suits the king, my lord, better, he could (as well) sit the full 100 days.*

Natürlich war es von größter Wichtigkeit, den König richtig zu beraten. Etliche Briefe zeugen von Kompetenzstreitigkeiten. Es bestand somit großes Interesse daran, die relevanten Himmelsphänomene vorhersagen oder sogar berechnen zu können. Die hieraus entstandene berechnende Astronomie erscheint in den Texten der mathematischen Astronomie als eine abstrakte und elegante rechentechnische Wissenschaft. O. Neugebauer, der sich hauptsächlich mit diesen Texten beschäftigte, sieht die Hauptmotivation zur babylonischen Astronomie in dem Bedürfnis, den Anfang des babylonischen Monats berechnen zu können. Beides mag eine Rolle gespielt haben – sicher auch rein wissenschaftliches Interesse und Spaß an der Sache. Das Resultat ist jedenfalls, daß die babylonische mathematische Astronomie uns heute als nüchterne Naturwissenschaft erscheint. Einzig die Bezeichnung des Astronomen als *tupšar* (d.h. Schreiber des) *Enūma Anu Enlil* auf den Tafeln der mathematischen Astronomie erinnert uns an ihre Wurzeln. Wie wir sehen werden, können wir mit modernen wissenschaftlichen Methoden die Texte verstehen, ihre Berechnungsmethoden reproduzieren und sogar ihre Entstehung teilweise rekonstruieren.

Die Himmelskörper mit ihren regelmäßigen Bewegungen waren die Untersuchungsobjekte der babylonischen Astronomen. Der Kontext war der Glaube an astronomische Omina (nämlich daß die Götter zu den Menschen sprachen, unter anderem durch

astronomische Zeichen). Doch das Resultat ihrer Bemühungen – ein elegantes numerisches Berechnungssystem – ist weitgehend von ihrem mathematischen Werkzeug und Können bestimmt worden und scheint sozusagen unabhängig vom Kontext zu sein. Dennoch: Was diese Astronomie leistete, war, genau das zu berechnen, was die Astrologie benötigte!

Parpola (1993) weist darauf hin, daß es irreführend sei, unsere Begriffe Astronomie und Astrologie auf die babylonische Wissenschaft anzuwenden. Für uns liegen diese Disziplinen weit voneinander entfernt; die eine ist eine ernstzunehmende Wissenschaft und die andere Aberglaube. Für die Babylonier war es eins und dasselbe. Nicht nur die Schreiber und Deuter von "EAE", sondern auch die professionellen Beobachter Mesopotamiens aus dem ersten Jahrtausend wurden *tupšar Enūma Anu Enlil* genannt – ein Titel, den wir am besten mit "Beobachter und Interpreten von Himmelsphänomenen" übersetzen sollten.

Pingree (1992, S. 559) betont, daß wir nicht unsere moderne Auffassung der Naturwissenschaft zum Maß und Richter alter Wissenschaften machen dürfen. Er schlägt als Wissenschaftshistoriker eine andere Definition von Wissenschaft vor: "Science is a systematic explanation of perceived or imaginary phenomena".

Swerdlow (1995, S. 24) argumentiert, übereinstimmend hiermit, daß beide Tätigkeiten, das Berechnen von ominahaften Phänomenen wie auch deren Interpretation, empirische Wissenschaften seien: "Divination, observation, and calculation must be regarded as parts of a single descriptive and interpretive science of the heavens that included both astronomical and meteorological phenomena, some of which could eventually be calculated, some not."

Die Menschen, die die mathematische Astronomie entwickelten und berechneten, waren auch dieselben, die den König berieten. Sie hatten oft mehrere Titel, wie *tupšar Enūma Anu Enlil* und *kalû* oder *āšipu*, d.h. "Astrologe" und "Klagesänger" oder "Astrologe" und "Exorzist". Sie waren also Spezialisten auf mehreren Gebieten, die durch die Titel der Berufe charakterisiert werden können:

*tupšarru* „Astrologe – Astronom – Schreiber“ ,  
*bārû* „Wahrsager“ ,  
*āšipu* „Exorzist – Magier“ ,  
*asû* „Arzt“ und  
*kalû* „Klagesänger“ .

Die Spezialisten arbeiteten eng zusammen. Alle ihre Gebiete waren Teil eines Ganzen, das Parpola die "Mesopotamische Weisheit" nennt. Der König war Repräsentant der Götter auf Erden. Sein Benehmen bestimmte das Schicksal seines Volkes mit. Er mußte nach dem Willen der Götter leben und handeln. Die Spezialisten halfen ihm dabei: sie lasen und deuteten die Zeichen am Himmel und berieten ihn. Wenn Böses angekündigt worden war, versuchten sie es durch Rituale abzuwenden: sie sangen Klagegesänge und

unternahmen Reinigungsriten, wenn dem König durch Zeichen gezeigt wurde, daß er gesündigt hatte. Doch das Wissen, das sie besaßen, hielten sie geheim.

Viele der Tontafeln haben einen Kolophon, der unter anderem den Besitzer, den Schreiber und das Datum der Tafel angibt. Der Kolophon einer Ephemeridentafel mit berechneten Mondfinsternissen enthält z. B. folgende Bemerkung:<sup>3</sup>

*Computation (according to) the wisdom of Anu-ship, the secret of [...(deity)], the guarded knowledge of the expert. The informed may show it to the informed; the uninformed shall not see it. It belongs to the forbidden things of Anu, Enlil, and Ea, the great gods.*

Dieses geheime Wissen ging als Erbe von Vater zu Sohn über, wahrscheinlich in mündlicher Überlieferung. Die Lehrtexte der berechnenden Astronomie sind so kurz gefaßt, daß nur derjenige sie verstehen kann, der schon weiß, wie man rechnet. Wir können also nicht damit rechnen, je eine Tafel zu finden, die die Theorien begründet oder die Berechnungsmethoden näher erklärt. Wir sind allein auf die Bewegungen der Himmelskörper und unsere modernen wissenschaftlichen Methoden angewiesen, wenn wir die astronomischen Tafeln der Babylonier verstehen wollen.

## 2.2 Die nicht-mathematischen astronomischen Texte

Sachs (1948) hat die nicht-mathematischen astronomischen Texte in verschiedene Typen eingeteilt und ihre Inhalte beschrieben. Es sind dies die Diaries, die Normal Star Almanacs, die Almanacs und die Goal-Year-Texte. Außerdem gibt es Tafeln, die Beobachtungen eines Planeten oder des Mondes über längere Zeit gesammelt aufzeichnen, sowie Listen von Finsternissen. Sachs' Klassifizierung hat dadurch ihre Gültigkeit bewiesen, daß sie immer noch verwendbar war, als das Textmaterial sich um den Faktor 20 vergrößerte – nämlich, als die Tafeln im British Museum zugänglich wurden.

### Late Babylonian Astronomical and Related Texts (LBAT)

(Pinches, Strassmaier und Sachs, 1955)

In LBAT hat Sachs unter anderem die Quellen der nicht-mathematischen Astronomie nach seiner oben erwähnten Klassifizierung geordnet, kurz kommentiert und soweit möglich datiert. Die (von Strassmaier und Pinches gezeichneten) Kopien der Keilschrifttexte sind in LBAT publiziert, wobei es Sachs gelang, Bruchstücke von Tafeln zusammensetzen und dadurch größere zusammenhängende Texte zu erhalten. Es war sein Ziel, alle Texte der obenerwähnten vier Typen zu übersetzen, zu kommentieren und herauszugeben. So weit kam es nicht. Die Almanache, NS Almanache und die

<sup>3</sup>Publiziert in ACT I, S. 12.

Goal-Year-Texte (siehe unten) liegen nur in Keilschriftreproduktion vor. Ihre Struktur und ihre Inhalte sind aber von Sachs (1948) beschrieben worden. Diese drei Texttypen basieren im Wesentlichen auf den astronomischen Beobachtungen, die in den "Diaries" aufgeschrieben wurden.

### Die Diaries (Sachs und Hunger, 1988, 1989 und 1996)

In den Diaries wurden die Beobachtungsdaten aus einem Zeitraum von meistens einem halben Jahr sauber zusammengestellt. Monat für Monat wurden die Tage aufgeschrieben, an denen etwas Bemerkenswertes beobachtet worden war. Meßwerte wurden angegeben, oft zusammen mit Bemerkungen über Sichtbarkeitsverhältnisse. Doch schon in den frühesten Diaries wurden die Zahlenwerte auch dann angegeben, wenn der Text besagte, daß nichts beobachtet werden konnte oder wurde. Wie die Babylonier diese Zahlen ermittelten und wie gut sie waren, wissen wir nicht.

Ein typischer Diary enthält Information über folgende Themen: den Mond, die Planeten, Sirius, Solstitionen und Äquinoktien, Meteore und Kometen, aber auch über das Wetter, Preise, Wasserstand und geschichtliche Ereignisse. Es gibt etwa 1200 Diaries oder Bruchstücke davon. Der älteste erhaltene Text stammt aus dem Jahr 652 v. Chr., doch spricht viel dafür, daß dieses Aufzeichnen von Beobachtungen schon hundert Jahre früher anfang. Der jüngste Diary-Text stammt aus dem Jahre 61 v. Chr.

Der babylonische Kalender teilte die Zeit in Tage, Monate und Jahre ein. Der Tag begann abends beim Sonnenuntergang. Der Monat wurde vom Mond definiert. Er begann, wenn der neue Mond zum erstenmal nach Konjunktion in der Abenddämmerung sichtbar wurde. Er hatte 29 oder 30 Tage. Ein Jahr bestand meist aus 12 Monaten. Wenn jedoch der erste Monat zu früh im Verhältnis zum Frühlingsäquinoktium fiel, wurde ein Schaltmonat eingefügt und das Jahr hatte 13 Monate. Später wurden die Schaltjahre nach einem festen Schema festgelegt.

Zur Illustration folgen hier die Aufzeichnungen aus dem Monat XII des 37. Regierungsjahres von Nebukadnezar; dieser Monat deckt die Zeit vom 15. 3. bis 13. 4. 567 v. Chr. ab (aus Diaries I, S. 51).

*Month XII, the 1st (of which followed the 30th of the preceding month), the moon became visible behind Aries while the sun stood there; sunset to moonset: 25°, measured: earthshine; the north wind blew. At that time Jupiter [... Mercury and Saturn, which had set,] were not visible. The 1st, the river level rose. Night of the 2nd, the moon was balanced 4 cubits below  $\eta$  Tauri. Night of the 3rd, beginning of the night, 2 1/2 cubits [...]*

*From the 1st to the 5th, the river level rose 8 fingers; on the 6th it receded. Night of the 7th, the moon was surrounded by a halo; Praesepe and  $\alpha$  Leonis [stood] in [it ...] the halo surrounded Cancer and Leo, it was split towards the south. Inside*

*the halo, the moon stood 1 cubit in front of  $\alpha$  Leonis, the moon being 1 cubit high. Night of the 10th, first [part of the night,...]*

*Night of the 11th, overcast. The 11th, rain DUL. Night of the 12th, a little rain,... The 12th, one god was seen with the other; sunrise to moonset:  $1^{\circ} 30'$ ;...[... Mercury] was in front of the "band" of the Swallow.  $1/2$  cubit below Venus, Mercury having passed 8 fingers to the east; when it became visible it was bright and (already) high.  $1^{\circ}$  [...Saturn] was balanced 6 fingers above Mercury and 3 fingers below Venus, and Mars was balanced  $2/3$  cubits below the bright star of .... towards [...]*

...., ....

*The 21st, overcast; the river level rose. Around the 20th, Venus and Mercury entered the "band" of the Swallow. From [...Jupiter,] which had passed to the east, became stationary. At the end of the month, it went back to the west. Around the 26th, Mercury and Venus [came out] from the "band" of Anunitu [...] the river level receded 8 Fingers. That month, on the 26th, a wolf entered Borsippa and killed two dogs; it did not go out, it was killed [...]*

Es kann ohne Übertreibung festgestellt werden, daß diese Aufzeichnungen Zeugnisse des umfangsreichsten und längsten kontinuierlichen Forschungsprojektes aller Zeiten sind. Während ungefähr 700 Jahren wurden Monat für Monat die relevanten astronomischen, meteorologischen und ökonomischen Daten sowie geschichtliche Ereignisse gesammelt und aufgeschrieben.

## Die Goal-Year-Tafeln

Es gibt ungefähr 150 Goal-Year-Tafeln, wenn man sowohl Fragmente als auch ganze Tafeln zählt. Sie sind registriert und die meisten davon in LBAT unter den Nummern 1213 bis 1367 von Sachs publiziert worden. Sie enthalten Auszüge aus den Diaries: Beobachtungen, die für Vorhersagen über den Mond und die Planeten für ein bestimmtes Jahr verwendet wurden. Eventuell fehlende Daten wurden irgendwie ergänzt, so daß jede Goal-Year-Tafel eine recht vollständige Liste aller relevanten Daten enthält. Wie diese nicht beobachteten Daten gefunden wurden, wissen wir nicht. Ein Kolophon unten auf der Rückseite der Tafel gibt, falls erhalten, das von Sachs so genannte 'goal year', also das 'Zieljahr', an. Es ist Sachs gelungen, ungefähr 90 dieser Tafeln aus astronomischen Kriterien zu datieren. Sie stammen aus der Zeit von 71 SÄ bis 352 SÄ.<sup>4</sup>

Die Struktur aller Goal-Year-Tafeln ist dieselbe. Die Vorderseite ist in Abschnitte für die 5 Planeten geteilt, und zwar immer in der strikten Reihenfolge Jupiter, Venus, Merkur, Saturn und Mars. Der größte Teil der Rückseite ist dem Mond gewidmet.

<sup>4</sup>Ab 311 v. Chr. wurde die Zeit nicht mehr nach den Regierungsjahren der Könige angegeben, sondern die Jahre wurden nach Seleukos I. kontinuierlich gezählt. Mit 71 SÄ meinen wir das 71. Jahr nach Anfang der Seleukidischen Ära.

Eine Goal-Year-Tafel für das Jahr Y enthält Jupiterdaten aus den Jahren Y-71 (Phasen) und Y-83 (Passagen bei Fixsternen), Venusdaten aus dem Jahre Y-8, Merkurdaten aus dem Jahre Y-46 usw. Die Babylonier haben offensichtlich bemerkt und ausgenutzt, daß sich die charakteristischen Jupiterphasen nach 71 Jahren wiederholen, die Passagen bei den Normalsternen hingegen erst nach 83 Jahren.

Wie erwähnt, gibt es keine Edition der Goal-Year-Tafeln. Ihre Inhalte sind von Sachs (1948, SS. 282-285) diskutiert worden, und Daten daraus sind mehrmals verwendet worden, doch eine Übersetzung der Tafeln existiert noch nicht. In den Kapiteln 12 bis 14 werden wir uns im Detail mit diesen Tafeln und ihren Monddaten beschäftigen.

Die Tafeln LBA 1368 bis 1457 ('Planetary and Lunar Observations, etc.') sind je nur einem Himmelskörper gewidmet. Sie stellen Informationen über die charakteristischen Phänomene des betreffenden Himmelskörpers zusammen. Vielleicht lieferten diese Tafeln das Rohmaterial für die Goal-Year-Tafeln.

Die Monddaten, teils beobachtet, teils berechnet, sind auf den Tafeln LBA 1413 bis 1457 gesammelt. Hier findet man Berichte über beobachtete Finsternisse, Listen (oder Tabellen) von aufeinanderfolgenden Mondfinsternissen (in Gruppen von je 18 Jahren eingeteilt) sowie Sammlungen sämtlicher Lunar Six Zeitintervalle über mehrere Jahre.

### Die Finsternis-Tabellen

Eine Mondfinsternis findet dann statt, wenn die Mondbreite bei Vollmond genügend klein ist. Dies passiert etwa alle sechs Monate. Einer Liste aufeinanderfolgender Mondfinsternisse entspricht eine Liste von Oppositionen, die meist 6 Monate auseinander liegen, hin und wieder unterbrochen von einem Intervall von 5 Monaten. Eine solche Liste umfaßt sämtliche Oppositionen, an denen eine Mondfinsternis möglich ist. Wenn eine Mondfinsternis eintritt, kann sie von der Erdhälfte aus gesehen werden, die zu diesem Zeitpunkt dem Mond zugewendet ist. Von einem bestimmten Ort auf der Erde aus können also nur gut die Hälfte aller Finsternisse gesehen werden.<sup>5</sup>

Etliche Keilschrifttexte enthalten solche Listen von Monaten, die sechs oder manchmal 5 Monate auseinander liegen: Jahr und Monat wurden notiert, samt meistens einer Bemerkung, wenn zwischen zwei Eintragungen nur 5 Monate lagen.<sup>6</sup> Die Listen enthalten meistens Mondfinsternisse, doch gibt es auch Listen von möglichen Sonnenfinsternissen.

---

<sup>5</sup>Eine Mondfinsternis kann über 2 1/2 Stunden dauern. Von einem Ort der Erde aus kann also beobachtet werden, wie der Mond kurz vor seinem Untergang verfinstert wird. Bei einer anderen Finsternis kann man zum Beispiel die letzte Phase der Verfinsterung bei Mondaufgang wahrnehmen. Von einem Ort auf der Erde aus können also etwas mehr als die Hälfte aller Finsternisse beobachtet werden, vorausgesetzt, das Wetter läßt dies zu.

<sup>6</sup>Es soll betont werden, daß *nur* Jahr und Monat in diesen Listen angegeben wurden und also weder Tag noch Zeitpunkt der Finsternis.

Solche Listen wurden in Kolonnen zu Ton gebracht. In der ersten Kolonne sind für eine Periode von 18 Jahren<sup>7</sup> die Finsternismonate angegeben – in der nächsten Kolonne diejenigen für den nächsten Saros, und so weiter. In jeder Zeile des Textes steht also eine Reihe von Monaten, in denen Finsternisse auftreten können, die jeweils um einen Saros auseinander liegen. Die Texte werden deshalb auch 'Saros Cycle Texts' genannt. Diese Texte mit aufeinanderfolgenden Finsternissen decken oft mehr als hundert Jahre ab. Die früheste Liste betrifft Mondfinsternisse ab 748 vor Christus. Die berühmteste ist der sogenannte **Saros Canon**. Er enthält die Daten (d.h. Jahr und Monat) aufeinanderfolgender Mondfinsternisse vom vierten Regierungsjahr des Königs Artaxerxes bis zum vierzigsten Jahr der Seleukidischen Ära, also vom Jahr 401 v. Chr bis zum Jahr 272 v. Chr.

In Aaboe et al. (1991) sind vier dieser Texte veröffentlicht und besprochen worden. Wann und zu welchem Zweck diese Finsternistafeln hergestellt wurden, wissen wir nicht. Aaboe et al. weisen darauf hin, daß sie sicherlich nicht Beobachtungsberichte sind, denn von Babylon aus hat man ja nur einen Bruchteil dieser möglichen Finsternisse beobachten können. Auch können sie nicht vorherberechnete Warnungen möglicher Finsternisse darstellen. Die Jahre werden nämlich als Regierungsjahre der verschiedenen Könige angegeben. Erst nach einem Regierungswechsel kann man davon wissen. Aaboe et al. (1991) geben drei mögliche Verwendungszwecke an:

1. als Leitfaden zu den Beobachtungsberichten über Finsternisse in den Diaries,
2. zur Identifizierung solcher Finsternisse, bei denen die Mondanomalie (und damit die Mondgeschwindigkeit) sozusagen die gleichen war (dies ist nämlich der Fall bei Finsternissen, die 1 Saros auseinander liegen), oder
3. als Hilfe oder Übung, um Chronologien über längere Zeiträume herzustellen.

Ich möchte eine vierte Verwendungsmöglichkeit (die eng mit dem Verwendungszweck 2 zusammenhängt) zu Bedenken geben:

4. Ist es möglich, daß ein Teil dieser Listen dazu beitrug, die Rechenschemata aufzustellen, nach denen die Kolonnen G und A von Kolonne  $\Phi$  abgeleitet wurden?

Es gibt Texte, die außer Saros-Cycle-Daten auch noch astronomische Funktionen auflisten. Der wichtigste dieser Texte, **Text S** genannt, enthält außer Daten möglicher Sonnenfinsternisse Kolonnen, welche die Position in der Ekliptik angeben, an der die Konjunktion zwischen Mond und Sonne stattfand, sowie Größe und ungefähren Zeitpunkt der zu erwartenden Finsternis und die momentane Mondgeschwindigkeit, samt korrekt ausgerechneten Werten der Kolonne  $\Phi$  für die angegebenen Daten.

<sup>7</sup>Die Babylonier bezeichneten die 18-jährige Sarosperiode durch die Zahl 18.

Dieser Text ist öfters bearbeitet worden (Aaboe und Sachs, 1969; HAMA, SS. 525–528; Moesgaard, 1980; Britton, 1989; und Aaboe et al., 1991).

Was diesen Text so interessant und bedeutend macht, ist, daß er Zahlenkolonnen, die wir sonst nur aus den Texten der mathematischen Astronomie her kennen, mit primitiven Berechnungsschemata und Beobachtungen kombiniert. Die Positionen und Finsternisgrößen sind nach viel primitiveren Rechenschemata berechnet worden als diejenigen, die wir von der mathematischen Astronomie her kennen. Dennoch sind Kolonne  $\Phi$  und F vollständig vorhanden, so wie man sie in den Ephemeridentexten findet. Hieraus schließt Britton (1989, S. 45), daß die Rechensysteme der mathematischen Astronomie in zwei Stufen entwickelt worden sind: zuerst Kolonne  $\Phi$  und F und erst danach zum Beispiel Kolonne B, die die Position der Konjunktion (oder Opposition) ausrechnet. Text S umfaßt die Zeit von 475 v. Chr. bis 457 v. Chr. Daraus folgt, daß das vollständige Berechnungssystem der Ephemeriden erst nach 457 v. Chr. entwickelt worden sein kann.

Ich bin deshalb so detailliert auf diese Texte eingegangen, weil oft auf die babylonischen Listen von Finsternissen hingewiesen wird und öfters vermutet worden ist, Kolonne  $\Phi$  sei aus den genauen Zeitpunkten beobachteter Mondfinsternisse konstruiert worden. Die in Text S angegebenen Zeitpunkte für Sonnenfinsternisse stimmen schlecht mit modernen Berechnungen überein.

Ich denke, Text S zeigt uns, daß die Babylonier die Kolonnen  $\Phi$  und F konstruiert haben, ehe sie imstande waren, die genauen Zeitpunkte der Finsternisse zu ermitteln. Aber dann kann  $\Phi$  unmöglich aus genau beobachteten Zeitpunkten von Mondfinsternissen konstruiert worden sein.

### Der Text TU 11

Der Text TU 11 aus Uruk, auch unter der Museumsnummer AO 6455 bekannt, wurde von Thureau-Dangin (1922) in Keilschrift-Transkription veröffentlicht. Sein Inhalt ist sehr gemischt. Er enthält astrologische Abschnitte, mehrere verschiedene Faustregeln zur Vorhersage von astronomischen Phänomenen sowie Rechenbeispiele, die demonstrieren, wie Vorhersagen gemacht werden können. Die astronomischen Faustregeln sind zum Teil primitiv und alt, zum Teil recht geschickt und kurz gefaßt.

Nur ein kleiner Teil der Tafel ist von Neugebauer (1949) übersetzt, jedoch nicht kommentiert worden, nämlich Sektion 19, die aus den Zeilen 8 bis 15 der Rückseite besteht. Auf diese Sektion 19 werden wir im Abschnitt 11.2 näher eingehen.

Van der Waerden deutete diesen Abschnitt und brachte ihn mit Tabellen aus "EAE" in Verbindung. Er muß aber auch andere Teile aus TU 11 in Übersetzung zur Verfügung gehabt haben, denn er erwähnt (1951, S. 29), daß darin einige Regeln zur Berechnung der Auf- und Untergangszeiten des Mondes enthalten seien.

Hunger hat vor kurzem sämtliche astronomischen Abschnitte aus TU 11 übersetzt und sie mir freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Im Kapitel 15 werden einige der neu

übersetzten Abschnitte eine zentrale Rolle spielen, indem sie meine Vermutung, wie die Goal-Year-Tafeln zur Vorhersage von Mondphänomenen verwendet wurden, voll bestätigen.

## 2.3 Die Texte der mathematischen Astronomie

Das Quellenmaterial zur babylonischen mathematischen Astronomie besteht aus circa 300 Tafeln und Fragmenten. Durch enge Zusammenarbeit von Assyriologen und Astronomen ist es gelungen, dieses große und sehr schwer entzifferbare Material zugänglich zu machen und weitgehend zu verstehen.

Pioniere hierbei waren die Jesuitenpatres Straßmeier (Assyriologe), Epping und Kugler (Astronomen). Neugebauer, Sachs und andere setzten die Arbeit fort, und 1955 erschien das Standardwerk über die mathematische Astronomie der Babylonier, "**Astronomical Cuneiform Texts Vols I-III**" (Neugebauer, 1955), auch ACT genannt. Hierin hat O. Neugebauer sämtliche damals bekannten mathematisch-astronomischen Tafeln oder Fragmente transkribiert, übersetzt und kommentiert. Seitdem werden alle – auch neu gefundene – Texte der mathematischen Astronomie kurz ACT-Texte genannt.

Die ACT-Texte bestehen im wesentlichen aus zwei Typen: den Ephemeridentexten und den Lehrtexten.

Ein **Ephemeridentext** besteht aus Zahlenkolonnen, die manchmal mit technisch-astronomischen Bezeichnungen oder Logogrammen der babylonischen Monate oder Tierkreiszeichen bereichert sind. Die verschiedenen Zahlenkolonnen stellen die berechneten Werte astronomischer Größen dar. Die Texte werden in zwei Typen unterteilt: In System A werden die Positionen in der Ekliptik anhand von Treppenfunktionen ausgerechnet, in System B hingegen anhand von linearen Zickzack-Funktionen.

In ACT stellt Neugebauer die astronomische Deutung der meisten Zahlenkolonnen der Ephemeriden dar und erklärt, wie sie berechnet wurden. In vielen Fällen hat er fehlende Zahlen ergänzt und Zahlenkolonnen teilweise rekonstruiert. Neuere Funde haben seine Rekonstruktionen bestätigt.

Einige der Mond- oder Planetenphänomene, die systematisch berechnet wurden, sollen kurz erwähnt werden:

- Der Zeitpunkt, zu dem der Mond in Konjunktion oder Opposition zur Sonne steht, und seine Position in der Ekliptik, seine Breite und momentane Geschwindigkeit zu diesem Zeitpunkt.
- Datum, Zeitpunkt und Größe von Mondfinsternissen.
- Die Zeitintervalle zwischen Aufgang und Untergang von Sonne und Mond in den Tagen um Opposition oder Konjunktion herum.

- Für die Planeten wurde zum Beispiel der Zeitpunkt des ersten sichtbaren Aufgangs im Osten sowie ihre Position in der Ekliptik zu diesem Zeitpunkt berechnet.

In Kapitel 5 wird der Ephemeridentext ACT no. 5 näher erklärt und in Abbildung 5.1 wiedergegeben werden.

Die **Lehrtexte** fassen in extrem kurzer Form die Regeln zusammen, nach denen die Ephemeriden berechnet wurden. Sie liefern keine Erklärungen oder Begründungen und wurden offenbar ausschließlich von Schreibern verwendet, denen die theoretischen Hindergründe schon bekannt waren, also von solchen, die schon wußten, was berechnet wurde und wie und warum die Rechenregeln funktionierten.

Das Entziffern der Texte, das Verständnis der Inhalte und die Rekonstruktion der Berechnungsregeln basieren nahezu ausschließlich auf den Zahlen der Ephemeriden. Danach haben die Lehrtexte die rekonstruierten Rechenregeln bestätigt.

Einige wichtige Übersichts-Publikationen über die babylonische mathematische Astronomie sollten hier erwähnt werden: Von O. Neugebauer gibt es neben ACT auch "Exact Sciences in Antiquity" (1957) und HAMA (1975, SS. 347-555), wo er in Book II die babylonische Astronomie nochmals darstellt unter Hinzunahme neuerer Erkenntnisse.<sup>8</sup> Siehe auch Aaboe (1991), van der Waerden (1968 und 1974) und Kugler (1906-1935). Für eine ausführliche Bibliographie über babylonische Astronomie und Astrologie verweise ich auf Walker (1993).

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die mathematische Astronomie insoweit verstanden ist, als man jetzt die astronomische Bedeutung der verschiedenen Kolonnen kennt und weiß, wie sie berechnet wurden.

Was noch zu untersuchen bleibt, ist die Frage, wie die Berechnungsmethoden entstanden sind und wie gut sie die Natur beschreiben.

Ziel dieser Arbeit ist es, durch Kombination verschiedener Texttypen ein Bild von der Entwicklung der babylonischen Mondtheorie zu verschaffen, vornehmlich aber nach Bestätigung oder Entkräftung der vorgeschlagenen Rekonstruktion von Kolonne  $\Phi$  zu suchen.

---

<sup>8</sup>In dem Abschnitt " $\Phi$ , Friends and Relations" werden zum Beispiel die von Aaboe entdeckten numerischen Methoden zur Berechnung der Kolonne G und A von den Zahlen der Kolonne  $\Phi$  systematisch erklärt.



## Kapitel 3

# Kurze Charakterisierung der babylonischen Astronomie

Bei der Beschäftigung mit alter Astronomie ist zu beachten, daß moderne Auffassungen und Begriffe nicht einfach übertragbar sind. Es soll hier als Beispiel erwähnt werden, daß das babylonische Wort "ZI", welches wir in gewissen Zusammenhängen mit 'Geschwindigkeit' übersetzen, in anderen Zusammenhängen 'Seele', 'ausreißen', 'sich erheben', 'subtrahieren' oder 'bewegen' heißen muß. Wie "ZI" im konkreten Fall zu übersetzen ist, wird durch unsere Deutung der jeweiligen Textstellen oder Zahlen bestimmt. Wenn die Babylonier zum Beispiel angeben, wie weit die Sonne sich an einem Tag bewegt, nennen sie es "ZI *d šamaš*" (wobei *d šamaš* ihre Bezeichnung für Sonne ist). Was sie genau darunter verstanden haben, wissen wir nicht. Wir fassen diese Angabe als die der Geschwindigkeit der Sonne in Grad pro Tag ( $^{\circ}/d$ ) auf.<sup>1</sup> Viele der technischen Fachwörter sind also aus unserem fachlichen Verständnis heraus übersetzt worden und sind damit Interpretationen der babylonischen Texte. Neue Interpretationen können eventuell zu anderen oder neuen Übersetzungen führen.

Ehe wir über die babylonische Astronomie berichten, wollen wir kurz rekapitulieren, wie Ptolemäus und die modernen Astronomen die Bewegungen der Himmelskörper berechnen.

In Ptolemäus' Almagest wurden anhand von Epizykelmodellen die Bewegungen der fünf Planeten, der Sonne und des Mondes beschrieben. Tabellen wurden aufgestellt, mit deren Hilfe man für jeden Zeitpunkt  $t$  die Position des betrachteten Himmelskörpers in der Ekliptik berechnen konnte.

Die moderne Astronomie berechnet auch – jetzt anhand der Keplerschen Gesetze und der bekannten Größen der Bahnelemente – die Positionen (d.h. die Ortsvektoren  $\mathbf{r}$ ) der Himmelskörper als kontinuierliche Funktionen der Zeit:  $\mathbf{r}(t)$ .

Was aber ein Betrachter auf der Erde am Himmel sieht, ist nicht eine kontinuierliche Bewegung. Er sieht nur, daß der Mond und die Planeten sich im Verhältnis zur Sonne und zu den Fixsternen verschieben, daß sie zudem manchmal die ganze Nacht hindurch

---

<sup>1</sup>Statt "Geschwindigkeit" sollte man besser "Winkel-Verschiebung (angular displacement) pro Zeiteinheit" verwenden (Mayearna, private Mitteilung).

sichtbar sind, manchmal nur am Anfang oder gegen Ende der Nacht, und daß sie manchmal über längere Zeit unsichtbar sind.

Wir wollen den Planeten Jupiter als Beispiel nehmen: In der geozentrischen Betrachtung (die bei alter Astronomie immer zu anzuwenden ist) würden wir die Bewegung des Jupiter beschreiben, indem wir seine geozentrische Länge  $\lambda$  als kontinuierliche Funktion der Zeit  $t$  berechnen.

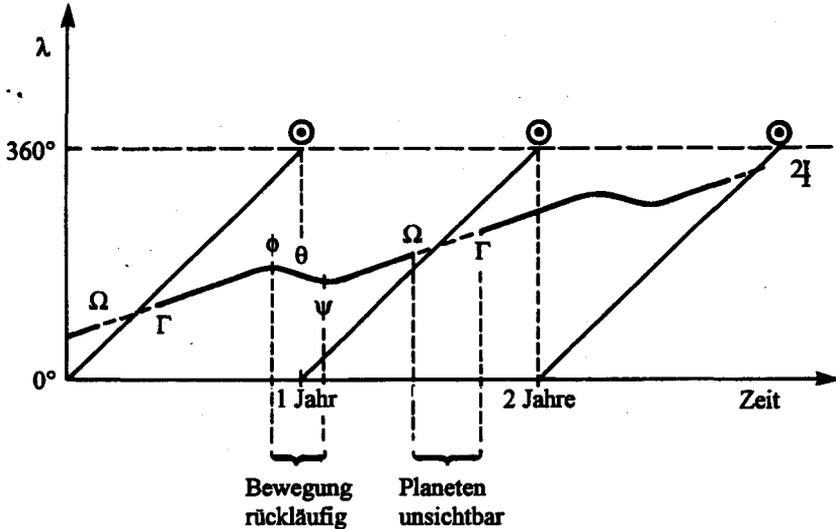


ABBILDUNG 3.1: Die geozentrischen Längen des Jupiter ( $\text{♃}$ , fette Wellenlinie) und der Sonne ( $\odot$ , dünne, stückweise gerade Sägefunktion) abgebildet als Funktionen der Zeit.

In Abbildung 3.1 haben wir die berechneten geozentrischen Längen  $\lambda_{\text{♃}}(t)$  des Jupiter und  $\lambda_{\odot}(t)$  der Sonne als Funktionen von  $t$  in einem Koordinatensystem aufgezeichnet. Wir betrachten einen Zeitraum von drei Jahren. Während dieser Zeit hat die Sonne die Ekliptik dreimal durchlaufen, und Jupiter stand dreimal in Konjunktion mit der Sonne, nämlich zu den Zeitpunkten, an denen die beiden Längen  $\lambda_{\odot}(t)$  und  $\lambda_{\text{♃}}(t)$  gleich groß waren (dort wo die Kurven sich schneiden). Wir sind also in dieser Figur der Bewegung des Jupiter während etwas mehr als zwei synodischen Perioden gefolgt, beginnend kurz vor seiner ersten Konjunktion mit der Sonne und endend kurz nach seiner dritten Konjunktion.

Jupiter ist aber nicht während dieser ganzen Zeit sichtbar: Wenn er der Sonne zu nahe steht, kann er nicht gesehen werden. Seine letzte Sichtbarkeit vor Konjunktion

markieren wir mit  $\Omega$ . Ungefähr einen Monat lang ist er nicht zu sehen, bis er an der Position  $\Gamma$  zum erstenmal nach der Konjunktion sichtbar wird, diesmal als Morgenstern. Danach geht er Tag für Tag immer früher auf und bewegt sich langsam gegen Osten im Verhältnis zu den Fixsternen bis zum ersten Stillstand  $\Phi$ . Danach ist er für circa vier Monate rückläufig. Er bewegt sich also nach Westen (im Verhältnis zu den Fixsternen), steht im Punkte  $\Theta$  in Opposition zur Sonne und erreicht in  $\Psi$  seinen zweiten Stillstand. Danach bewegt er sich wieder ostwärts und ist als Abendstern sichtbar bis zu  $\Omega$ , seiner letzten Sichtbarkeit im Westen vor der nächsten Konjunktion.

In dieser Analyse der Jupiterbewegung sind wir von der kontinuierlichen Bewegung Jupiters ausgegangen. Auf seiner Bewegungskurve haben wir danach spezielle, charakteristische Punkte markieren können, indem wir Überlegungen über Sichtbarkeit und Position im Verhältnis zu den Fixsternen angestellt haben.

Die Babylonier haben Astronomie ganz anders betrieben: Sie haben die Bewegung nicht kontinuierlich berechnet, sondern interessierten sich hauptsächlich für gewisse charakteristische Phänomene. Nämlich genau für solche, wie wir sie oben mit griechischen Buchstaben bezeichnet haben. Diese charakteristischen Phänomene haben sie über Jahrhunderte hinweg beobachtet und schon 600 v. Chr. Methoden zur ihrer Vorhersage entwickelt. Sie verwendeten hierzu frühere Beobachtungen zusammen mit der Erfahrung, daß diese Phänomene sich in regelmäßigen Zeitabständen wiederholen.

In den letzten 300 Jahren v. Chr. sind die charakteristischen Phänomene der Planeten systematisch berechnet worden. Ein Ephemeridentext für den Planeten Jupiter kann zum Beispiel in der ersten Kolonne die berechneten Zeitpunkte  $t(\Gamma_i)$  ( $i=1,2,3,\dots$ ) von aufeinanderfolgenden  $\Gamma$ -Phänomenen untereinander enthalten. Die Positionen  $\lambda(\Gamma_i)$  dieser Phänomene wären dann in der zweiten Kolonne angegeben. Die beiden nächsten Kolonnen würden die Zeitpunkte und Positionen vom ersten Stillstand,  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3,\dots$  enthalten, und die darauffolgenden diejenigen von der Opposition  $\Theta_i$  und so weiter.

Wir könnten einen solchen Text folgendermaßen wiedergeben:

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>...</i>
$t(\Gamma_1)$	$\lambda(\Gamma_1)$	$t(\Phi_1)$	$\lambda(\Phi_1)$	$t(\theta_1)$	<i>...</i>
$t(\Gamma_2)$	$\lambda(\Gamma_2)$	$t(\Phi_2)$	$\lambda(\Phi_2)$	$t(\theta_2)$	<i>...</i>
$t(\Gamma_3)$	$\lambda(\Gamma_3)$	$t(\Phi_3)$	$\lambda(\Phi_3)$	$t(\theta_3)$	<i>...</i>
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	<i>...</i>
$t(\Gamma_i)$	$\lambda(\Gamma_i)$	$t(\Phi_i)$	$\lambda(\Phi_i)$	$t(\theta_i)$	<i>...</i>
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	<i>...</i>

Wir sehen, daß eine Zeile eines solchen Textes damit die Zeiten und Längen verschiedener Stationen einer synodischen Jupiterperiode angibt. Lehrtexte aus der Seleukidischen Zeit zeigen uns, daß die Babylonier die Position Jupiters zwischen den charakteristischen Punkten durch lineare Interpolation gefunden haben. Die babylonischen Astronomen sind also genau den umgekehrten Weg gegangen wie die moderne Astro-

nomie: Sie haben erst die verschiedenen Stationen separat berechnet, um danach die ganze Bewegung erfassen zu können.<sup>2</sup>

Auch in anderer Hinsicht ist die babylonische Astronomie ganz anders als unsere. Die Zahlenkolonnen der Ephemeridentexte sind alle nach unterschiedlichen arithmetischen Schemata berechnet worden und stammen nicht aus geometrischen Modellen der Bewegungen, so wie man es eigentlich erwarten würde. Die babylonische berechnende Astronomie stellt sich als eine rein numerische dar, ohne jegliche Spuren von Stereometrie, räumlichen Vorstellungen oder kinematischen Modellen. Sie ist eine numerische, phänomenologische Naturbeschreibung. O. Neugebauer schreibt dazu: "The Babylonian astronomy is a completed system of admirable elegance and efficiency; ... but the study of it reveals to us the working of a theoretical astronomy which operates without any model of a spherical universe, without circular motions and all the other concepts which seemed 'a priori' necessary for the investigation of celestial phenomena. The influence of the available mathematical tools on the development of a scientific theory is perhaps far greater than we customarily admit."<sup>3</sup> Um so spannender und wichtiger ist es, herauszufinden, wie diese ganz andersartige Astronomie wohl entstanden sein mag. Was den Mond betrifft, so wurden auch nur spezielle Phänomene beobachtet und beschrieben. Diese waren Mondfinsternisse, Mondpassagen nahe an Planeten oder gewissen Fixsternen sowie sechs charakteristische Zeitintervalle zwischen Aufgang und Untergang von Sonne und Mond in den Tagen um Konjunktion oder Opposition herum. Diese Zeitintervalle wurden von A. Sachs die 'Lunar Six' genannt.

Typischerweise interessierte man sich in den Frühstadien der Astronomie für Horizontphänomene. Die meisten der charakteristischen Planetenphänomene sind durch Beobachtungen nahe am östlichen oder westlichen Horizont bestimmt. Die erste Sichtbarkeit eines Planeten im Osten ( $\Gamma$ ) ist ja der Moment, an dem der Planet zum erstenmal nach einer Unsichtbarkeitsperiode am östlichen Morgenhimmel zu sehen ist. Das Phänomen  $\Omega$  ist die letzte Sichtbarkeit im Westen, also das letzte Mal, daß der Planet am Abend nahe dem westlichen Horizont zu sehen war, ehe er wegen der Nähe der Sonne unsichtbar wurde. Die Opposition eines Himmelskörpers mit der Sonne kann nicht direkt beobachtet werden. Es ist sehr wohl möglich, daß das Phänomen  $\Theta$  der äußeren Planeten, das wir als Opposition interpretieren, eigentlich der akronychische Aufgang ist, das heißt der Aufgang des Planeten am Sonnenuntergang. Dieses Phänomen wurde also dadurch bestimmt, daß der Planet am östlichen Horizont sichtbar aufging im gleichen Moment, in dem die Sonne am westlichen Horizont unterging.

---

<sup>2</sup>Wie diese Berechnungsschemata aus den babylonischen Beobachtungen hergeleitet werden konnten, wurde von Aaboe (1964 und 1980) gezeigt. Für einen anderen Rekonstruktionsvorschlag, in dem die Parameter aus babylonischen Beobachtungen hergeleitet werden, siehe Swerdlow (1995).

<sup>3</sup>HAMA, S. 348.

Auch im Falle des Mondes bestimmten die Babylonier die wichtigen Phasen durch Horizontbeobachtungen. Um Neumond herum wurde der letzte sichtbare Aufgang des Mondes vor Konjunktion beobachtet, sowie seine erste Sichtbarkeit im Westen nach der Konjunktion. (Die Konjunktion kann, abgesehen von totalen Sonnenfinsternissen, nicht durch Beobachtung bestimmt werden, da der Mond ja zu diesem Zeitpunkt wegen seiner Nähe zur Sonne nicht sichtbar ist.)

Der Moment der Opposition kann auch nicht direkt beobachtet werden. In den Tagen vor der Opposition geht der Mond immer später unter, aber vor Sonnenaufgang, während er nach der Opposition erst nach Sonnenaufgang untergeht. Was vom Mond in seiner vollen Phase beobachtet wurde, war der letzte Monduntergang vor Sonnenaufgang, sowie am nächsten Morgen sein erster Untergang nach Sonnenaufgang. Irgendwann zwischen diesen beiden Morgen hat die Opposition stattgefunden.<sup>4</sup> Entsprechend wurde auch dem letzten Abend vor Opposition und dem ersten nach Opposition spezielles Interesse gewidmet. An diesen beiden aufeinanderfolgenden Abenden wurde nämlich der letzte Mondaufgang vor Sonnenuntergang sowie der erste Mondaufgang nach Sonnenuntergang beobachtet.

Die 'Lunar Six' genannten Zeitintervalle entspringen aus genau diesen Horizontbeobachtungen. Bei der letzten Sichtbarkeit des Mondes vor Konjunktion wurde *KUR* als die Zeitdifferenz zwischen dem letzten sichtbaren Mondaufgang und dem nächsten Sonnenaufgang gemessen. Bei Opposition wurden vier Zeitintervalle gemessen (siehe Abschnitt 4.4); eines davon ist zum Beispiel *ŠÚ*, die Zeit vom letzten Monduntergang vor Opposition bis zum Sonnenaufgang.

Diese Zeitintervalle sind vom Konzept her einfach und leicht zu beobachten. Dennoch sind es recht komplizierte astronomische Größen – und da sie aus Horizontbeobachtungen stammen, sind sie außerdem mit vielen Unsicherheitsfaktoren belastet. Die moderne Astronomie bestimmt ihre Parameter durch Beobachtung von weniger komplizierten und genauer bestimmbareren Größen.

### Das babylonische Sexagesimalsystem

Zum Schluß soll darauf hingewiesen werden, daß die Babylonier, so wie wir, ein Positionenzahlensystem benützten. Doch hatten sie nicht wie wir 10 als Grundzahl, sondern 60. Wir würden zum Beispiel folgende Zahl:

$$22 \times 60^3 + 2 \times 60^2 + 13 \times 60 + 20 + 17 \times 60^{-1} + 7 \times 60^{-2}$$

folgendermaßen im Sexagesimalsystem wiedergeben: 22, 2,13,20;17, 7.

---

<sup>4</sup>In dieser Argumentation wurde von Ausnahmen abgesehen, die auftreten, wenn der Mond seinen maximalen Abstand von der Ekliptik hat. Ist die Breite des Mondes etwa +5 Grad, so kann es sein, daß die Opposition erst nach den beiden genannten Morgen stattfindet; ist seine Breite ungefähr –5 Grad, so kann die Opposition vor dem ersten Morgen auftreten.

Die Darstellungsweise der Babylonier entspricht dieser Schreibweise nahezu. Sie schrieben die Ziffer (in Keilschrift) hin, doch hatten sie kein Zeichen ';', das die ganzen Zahlen von den Sexagesimalteilen unterteilte.

Wenn also babylonische Zahlen transkribiert werden und ein ';' verwendet wird, ist es von uns eingesetzt worden aufgrund von unserer Interpretation der Zahl und unserem Wissen um ihre Größenordnung.

## Kapitel 4

# Errungenschaften der babylonischen Astronomie

### 4.1 Systematische Sammlung von Beobachtungsdaten

Über Jahrhunderte hinweg haben die alten Mesopotamier Monat für Monat charakteristische Himmelsphänomene beobachtet und ihre Beobachtungen in den Diaries chronologisch niedergeschrieben. Daraus haben sie dann, thematisch geordnet, verschiedene Auszüge gemacht. So gibt es zum Beispiel Tafeln für jeden Planeten und für den Mond, auf denen die Daten des betreffenden Himmelskörpers zusammengestellt worden sind. Die älteste bekannte Tafel mit Venusbeobachtungen stammt aus dem Jahre 587 v. Chr., und die älteste für Jupiter datiert von 526 v. Chr.

Es gibt Listen mit aufeinanderfolgenden Mondfinsternissen ab 748 v. Chr. So stand zum Beispiel Ptolemäus, wie von ihm selber erwähnt, eine ganze Liste beobachteter Mondfinsternisse zur Verfügung, als er demonstrieren wollte, wie die Parameter seiner Mondepizykel aus beobachteten Finsternissen genau bestimmt werden konnten. Er benötigte dabei Finsternisse, die Jahrhunderte früher registriert worden waren und die er nach speziellen Kriterien auswählte – zusammen mit Finsternissen, die er selber beobachtet hatte. Wie der Almagest uns zeigt, war Ptolemäus tatsächlich imstande, passende Finsternisberichte zu finden und deren Information zur genauen Bestimmung des Radienverhältnisses seines Epizykelmodells sowie der Epoche der Breitenbewegung des Mondes zu verwenden.

### 4.2 Erkennen von empirischen Zusammenhängen

Die Babylonier haben ihre Daten systematisch analysiert und dadurch empirische Methoden zur Voraussage charakteristischer Phänomene entwickelt. Die von ihnen beobachteten Phänomene der Planeten konnten sie mit erwarteten Werten vergleichen oder fehlende Beobachtungswerte in den Diaries nachtragen. Sogar die komplizierten Lunar Six haben sie irgendwie ermitteln können. Schon in den allerersten Diaries gibt es Fälle, wo deren Werte angegeben sind, und dies, obwohl Bemerkungen daneben stehen, daß der Mond wegen schlechten Wetters oder Wolken nicht beobachtet werden konnte. Wie gut diese frühen Voraussagen waren, ist nicht bekannt.

Doch in der Seleukidischen Zeit haben die Babylonier, wie wir jetzt wissen (Brack-Bernsen, 1996), durch eine sehr geschickte Kombination von Daten, die einen Saros früher beobachtet und registriert worden waren, alle Lunar-Six-Werte leicht, elegant und präzise vorausberechnen können. Es ist eine imponierende Leistung, diese Methode entwickelt zu haben (s. Kapitel 14 und 15); wann dies genau geschah, wissen wir nicht.

### 4.3 Entwicklung der mathematischen Astronomie

In den letzten drei Jahrhunderten vor Christi Geburt konnten die Babylonier anhand von eleganten numerischen Methoden alle beobachteten charakteristischen Phänomene auch berechnen: zum Beispiel die Phasen der fünf bekannten Planeten, die Lunar-Six-Werte, sowie Zeitpunkte und Größe von Mondfinsternissen.

Implizit enthalten diese Berechnungsmethoden zum Teil erstaunlich genaue Periodenrelationen. Diese müssen die alten Astronomen irgendwie aus ihrem Beobachtungsmaterial herausgeholt haben. Auch dies war eine bemerkenswerte Leistung. Die große Bedeutung der babylonischen mathematischen Astronomie erweist sich auch aus ihrer Verbreitung und Verwendung.

Die babylonischen Periodenrelationen zum Beispiel wurden von späteren Astronomen übernommen und verwendet. Ptolemäus schreibt, daß Hipparch anhand von eigenen Beobachtungen die babylonischen Parameter verbessert und damit die mittlere Dauer des synodischen Monats zu 29;31,50, 8,20 Tagen bestimmt hat. Dieser "verbesserte" Wert stammt aber von den Babyloniern, wie schon Kugler bemerkt hat; und von ihnen muß er sie übernommen haben, denn ihre beiden letzten Sexagesimalziffern sind falsch.<sup>1</sup> Darüber hinaus hat A. Jones vor kurzem nachgewiesen, daß Hipparch die Positionen von Sonne und Mond anhand der babylonischen Rechenschemata berechnet hat und nicht, wie bis jetzt vermutet, anhand von seinem Epizykelmodell.

Die Verwendung von babylonischen Parametern und Methoden war offenbar viel weiter verbreitet, als man lange angenommen hatte (für nähere Details siehe Jones, 1991 und 1993).

---

<sup>1</sup>Für weitere Details siehe Aaboe (1955).

## 4.4 Die Lunar Six

Zum Schluß wollen wir noch speziell auf die sechs charakteristischen Zeitintervalle, genannt Lunar Six, eingehen. Da sie für die folgenden Untersuchungen von großer Bedeutung sind, geben wir hier ihre genaue Definition sowie ihre babylonischen Namen an. Die Phänomene um Konjunktion herum sind:

$KUR$  = Zeit vom letzten sichtbaren Mondaufgang vor Konjunktion bis zum Sonnenaufgang,

$NA_N$  = Zeit von Sonnenuntergang bis zum ersten sichtbaren Monduntergang nach Konjunktion.

Die Phänomene um Opposition herum, die wir die **Lunar Four** nennen, sind:

$\check{S}\check{U}$  = Zeit vom letzten Monduntergang vor Opposition bis Sonnenaufgang,

$ME$  = Zeit vom letzten Mondaufgang vor Opposition bis Sonnenuntergang,

$NA$  = Zeit vom ersten Sonnenaufgang nach Opposition bis Monduntergang,

$GE$  = Zeit vom ersten Sonnenuntergang nach Opposition bis Mondaufgang.

(4.1)

Diese sechs Zeitintervalle sind sehr leicht zu beobachten – doch von einem theoretisch-astronomischen Standpunkt aus sind es sehr komplizierte Größen, da jede für sich von vielen verschiedenen Variablen abhängt.<sup>2</sup> Sie wurden in der Einheit  $u\check{s}$  gemessen, die unserem Zeitgrad entspricht. Ein Zeitgrad = 1  $u\check{s}$  ist die Dauer einer Drehung der Himmelkugel um  $1^\circ$  in ihrer täglichen Bewegung um  $24^h = 360^\circ$ . Deshalb ist 1  $u\check{s}$  gleich 4 Minuten.

In Abbildung 4.1 ist das Phänomen  $KUR$  folgendermaßen dargestellt: Der dünne horizontale Großkreis ist der Horizont, der dicke schräge Großkreis ist der Himmelsäquator (von Babylon aus gesehen), der punktierte Großkreis ist die Ekliptik. Wir betrachten einen Morgen kurz vor Neumond: Sonne und Mond befinden sich auf der Ekliptik nahe dem östlichen Horizont (wir haben dabei die Breite des Mondes vernachlässigt). Der Ekliptikbogen zwischen Mond und Sonne sei etwa  $20^\circ$  – der Mond ist also rund 1 1/2 Stunden vor Sonnenaufgang sichtbar aufgegangen. Am nächsten Morgen ist der Mond jedoch so nahe an der Sonne, daß sein Aufgang nicht sichtbar ist. Die Zeitdifferenz zwischen diesem letzten sichtbaren Mondaufgang vor Konjunktion und dem Sonnenaufgang ist  $KUR$ .

Man könnte meinen, daß diese Zeitdifferenz auf der Ekliptik zwischen Mond und Sonne gemessen wird. Dies ist aber nicht so: Zeiten werden auf dem Äquator gemessen, und deshalb müssen wir zwei Punkte A und B auf dem Äquator finden, die gleichzeitig mit dem Mond und der Sonne aufgehen. Diese Punkte können, wie Schmidt

<sup>2</sup>Siehe zum Beispiel Neugebauer (1957), SS. 106–109.

gezeigt hat (1996), graphisch gefunden werden. Man zieht Großkreise, die durch die Zentren von Mond und Sonne hindurchgehen und den größten immer sichtbaren Kleinkreis tangieren. Die Aufgangszeit des Elongationsbogens ( $\nu, \odot$ ) ist die babylonische Beobachtungsgröße *KUR*. Sie ist durch die Länge des Bogens ( $A, B$ ) bestimmt. Dieser hängt wiederum von der Länge des Elongationsbogens ( $\nu, \odot$ ) ab und davon, wo auf der Ekliptik dieser Bogen sich befindet.<sup>3</sup> Die Länge von ( $\nu, \odot$ ) ist von der momentanen Geschwindigkeit  $v_{\zeta}$  des Mondes bestimmt und davon, wie bald nach diesem Morgen die Konjunktion stattfindet.<sup>4</sup> Wie hier angedeutet, ist also *KUR* abhängig von  $v_{\zeta}$ ,  $\lambda_{\zeta}$ ,  $\beta_{\zeta}$  und davon, wann im Vergleich zu Sonnenaufgang die Konjunktion stattfindet.

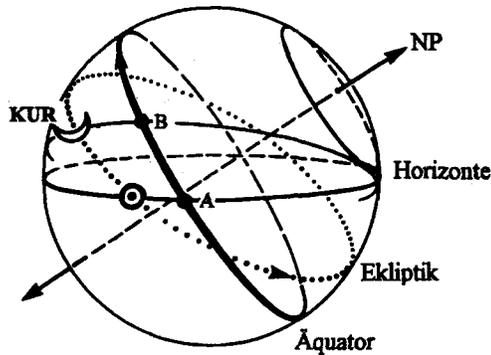


ABBILDUNG 4.1: Die Himmelskugel für Babylon; ein Morgen kurz vor Neumond.

Analog hängen die Lunar Four vom Zeitpunkt  $t$  der Opposition ab, von der Position  $\lambda_{\zeta}$  des Mondes in der Ekliptik zu diesem Zeitpunkt, von der momentanen Geschwindigkeit  $v_{\zeta}$  des Mondes und von seiner momentanen Breite  $\beta_{\zeta}$  (d.h. seinem Abstand von der Ekliptik). Dennoch zeigen uns die Ephemeriden- und Lehrtexte, daß die babylonischen Astronomen imstande waren, jede dieser Größen durch sinnvolle Berücksichtigung aller Variablen zu berechnen (ACT I, SS. 226–239 und HAMA, SS. 474–555). Dies wird als die größte Leistung der babylonischen Astronomie angesehen.

<sup>3</sup>Die Situation, die wir in Abbildung 4.1 aufgezeichnet haben, findet kurz vor Frühlingsäquinoktium statt: die Ekliptik liegt bei Sonnenaufgang ganz flach. Ein halbes Jahr später sieht die Situation beim letzten sichtbaren Mondaufgang anders aus, denn dann steht die Ekliptik bei Sonnenaufgang ganz steil und die Aufgangszeit eines Ekliptikbogens von 20 Grad wird viel größer sein als in Abbildung 4.1. Diese Tatsache demonstriert die Abhängigkeit von  $\lambda_{\zeta}$ .

<sup>4</sup>Für nähere Details siehe Brack-Bernsen und Schmidt (1994).

Ich stimme O. Neugebauer zu, der dies für eine der brilliantesten Errungenschaften der antiken Naturwissenschaften hält: "It is one of the most brilliant 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" (Neugebauer, 1957, S. 108).



## Kapitel 5

# Berechnungsmethoden in den Mond-Ephemeriden

Wir wollen jetzt erläutern, wie die Lunar-Six-Zeitintervalle berechnet wurden. Dazu untersuchen wir beispielhaft einen Neumond-Ephemeridentext, und zwar den Text ACT No. 5, den wir in Abbildung 5.1 wiedergegeben haben.<sup>1</sup> Dieser Mondtext ist wie alle Ephemeridentexte in Kolonnen eingeteilt, welche die berechneten Werte verschiedener astronomischen Größen enthalten. Jede Zeile enthält die Angaben für einen synodischen Monat. Hauptziel dieses Textes ist es, die beiden Größen  $KUR$  und  $NA_N$  für aufeinanderfolgende Monate zu berechnen. In der letzten Kolonne sind die ermittelten Werte von  $NA_N$  angegeben, während diejenigen von  $KUR$  am Rande der Tafel notiert wurden, und zwar zusammen mit dem Datum (Monat und Tag), an dem  $KUR$  zu beobachten sein wird. Die davorstehenden Kolonnen werden zur Berechnung von  $NA_N$  und  $KUR$  verwendet.

Die astronomische Bedeutung einiger dieser Zahlenkolonnen ist die folgende:

Kolonne T : Jahr und Monat in der Seleukidischen Ära,

Kolonne  $\Phi$  : *Unser Hauptinteresse gilt dieser Kolonne!*

Kolonne B : Länge  $\lambda_{\zeta}$  des Mondes in der Ekliptik,

Kolonne C : Tageslänge,

Kolonne E : Breite  $\beta_{\zeta}$  des Mondes,

Kolonne F : Mondgeschwindigkeit  $v_{\zeta}$ ,

Kolonne M : Zeitpunkt der Konjunktion,

Kolonne P :  $NA_N$ .

Die Datenangaben in Abbildung 5.1 wollen wir nun anhand von Zeile 14 der Vorderseite (Obv.) näher diskutieren, in der die 14. Lunation berechnet wird. Wir befinden uns im Monat I (babylonisch 'bar') im 147. Jahr der Seleukidischen Ära [(Jahr) '2,27' (Monat) 'I'], wie Kolonne T besagt. Die Konjunktion findet den babylonischen Berechnungen zufolge am 28. Tag dieses Monats 1,43;54  $u\check{s}$  vor Sonnenuntergang statt (Kolonne M: [(Monat) 'bar' (Tag) '28' '1,43,54 ŠÚ']). Die neue Mondsichel wird voraussichtlich zwei Tage später, am 30., sichtbar werden und 13;20  $u\check{s}$  nach Sonnenuntergang untergehen.

---

<sup>1</sup>Der Text wurde von Neugebauer übersetzt und zum Teil rekonstruiert (ACT III, SS. 9–11).

Obv.	T	Φ	B	C	E	F	G		
1.	<u>II</u> <sub>2</sub>	[1, 58, 27, 13, 20]	[27, 11, 15	hun]	[3, 11, 27, 30]	+ 3, 12, 8, 39	[11, 1]3	4, 58, 24, 4 [26, 40]	1.
	2, 26 I	[2, 1, 13, 8, 53, 20]	[25, 18, 45	múl]	[3, 24, 7, 30]	+ 2, 58, 54	[11, 55]	4, 44, 31, 20]	
	II	[2, 3, 59, 4, 24, 40]	[23, 24, 15	maš	[3, 33, 47, 30]	- 3, 9, 22, 45	[12, 37]	4, 18, [44, 41, 28, [63, 20]	
	III	[2, 4, 45]	[21, 33, 45	kušú	[3, 34, 27, 30]	- 5, 8, 8, 27	[13, 19]	3, 52, 56, 2, [57, 46, 40]	
5.	IV	[2, 9, 30, 55, 33, 20]	[19, 41, 15	a]	[3, 28, 7, 30]	- 7, 6, 54, 9	[14, 1]	3, 27, 7, 24, [46, 40]	5.
	V	[2, 12, 16, 57, 6, 40]	18, 8	[absin]	[3, 14, 34, 40]	- 5, 17, 3, 9	[14, 43]	3, [11, 45, 55, 33, 20]	
	VI	[2, 15, 2, 46, 40]	18, 8	[rín]	[2, 54, 34, 40]	- 3, 19, 57, 27	[15, 25]	[2, 41, 22, 46, 40]	
	VII	[2, 16, 20, 58, 33, 20]	18, 8	gír	[2, 34, 44, 48]	+ 14, 54, 30	[15, 47]	[2, 40]	
	VIII	[2, 13, 35]	18, 8	pa	[2, 26, 58, 55]	+ 3, 25, 43, 57	[15, 5]	[2, 40]	
10.	IX	[2, 10, 49]	18, 8	máš	[2, 25, 5, 4]	+ 5, 31, 59, 39	[14, 23]	[2, 57, 58, 20]	10.
	X	[2, 8, 3]	18, 8	[qu]	[2, 31, 15, [12]	+ 6, 45, 44, 39	[13, 47]	[3, 17, [41, 57, 2, 13, 20]	
	XI	[2, 5, 17, 13, 20]	18, 8	[zib]	[2, 45, 25, [20]	+ 4, 39, 28, 57	[12, 59]	3, 43, 32, 35, 33, 20	
	XII	[2, 2, 31, 17, 46, 40]	[16, 48, 45	hun]	3, 4, 32, 30]	+ 2, 38, 38, 15]	[12, 17]	4, 9, 21, 14, 4, 24, 40]	
15.	2, 27 I	[1, 59, 45, 22, 13, 20]	[14, 56, 15]	múl	3, 21, 58, [30]	- 1, 4, 30, 54	[11, 35]	4, 35, 1, 52, 35, 33, 20	15.
	II	[1, 58, 36, 28, 53, 20]	[13, 3, 45	maš	3, 32, 24, [30]	- 3, 43, 4, 9	[11, 15]	4, 56	
	III	[2, 1, 22, 24, 26, 40]	11, 11, 15	kušú	3, 35, 50, [30]	- 5, 41, 46, 51	[11, 57]	4, 43, 6, 54, 48, 53, 20	
	IV	[2, 4, 8, 20]	1, 18, 45	a	3, 32, 15, 30]	- 6, 43, 27, 27	[12, 39]	4, 17, 18, 16, 17, 46, 40	
	V	[2, 6, 54, 15, 33, 20]	Z, 26, [15	absin]	[3, 21, 1, 30]	- 4, 44, 41, 45	[13, 21]	3, 51, 29, 37, 46, 40	
	VI	[2, 1, 40, 11, 6, 40]	[7, 4	rín]	[3, 1, 57, 20]	- 2, 39, 58, 3	[14, 3]	3, 25, 41, 59, 15, 33, 20	
Rev.	Jahr Monat	Φ	λ	α	Tageslänge	β	γ	υ	
1.	VI	2, 12, 26, 6, 40	7, 4	gír	2, 41, 57, 20	+ 1, 16, 41, 18	[14, 45]	2, 59, 52, 29, 44, 26, 40	1.
	VII	<u>2, 15, 12, 2, 13, 20</u>	7, 4	pa	2, 29, 10, 24	+ 3, 54, 34, 21	[15, 27]	2, 40, 55	
	VIII	2, 16, 11, 40	7, 4	maš	<u>2, 24, 23, 28</u>	+ 6, 2, 52, 3	[15, 45]	2, 40	
	IX	2, 13, 25, 44, 24, 40	7, 4	qu	2, 27, 34, 32	+ 6, 14, 52, 15	[15, 3]	2, 40	
5.	X	2, 10, 39, 48, 53, 20	Z, 4	zib	2, 38, 49, 36	+ 4, 8, 36, 33	[14, 21]	2, 53, 21, 43, 42, 13, 20	5.
	XI	2, 7, 53, 53, 20	4, 25, 15	hun	2, 57, 37, 30	+ 1, 45, 43, 42	[13, 89]	3, 19, 10, 22, 13, 20	
	2, 28 I	2, 5, 7, 57, 46, 40	4, 33, 45	múl	3, 16, 22, 30	- 2, 11, 47, 42	[12, 57]	[3, 44, 59, 44, 26, 40]	
	II	2, 2, 22, 2, 13, 20	2, 41, 15	maš	3, 29, 4, 30	- 4, 16, 38, 33	[12, 15]	4, 10, 47, 39, 15, 33, 20	
	III	<u>1, 59, 36, 6, 40</u>	48, 45	kušú	<u>3, 34, 46, 30</u>	- 6, 15, 25, 15	[11, 33]	[4, 36, 36, 17, 46, 40]	
10.	IV	1, 58, 45, 44, 26, 40	28, 56, 15	kušú	3, 33, 28, 30	- 6, 9, 49, 3	[11, 17]	<u>4, 36, [17, 26, 26, 40]</u>	10.
	V	2, 1, 31, 40	22, 3, 45	a	3, 25, 10, 30	- 4, 11, 3, 21	[11, 59]	4, 41, 48, 29, 37, 46, 40	
	VI	2, 4, 17, 35, 33, 20	26	absin	3, 9, 20	- 1, 56, 5, 18	[12, 41]	4, 15, 51, 57, 6, 40	
	VII	2, 7, 3, 31, 6, 40	26	rín	2, 49, 20	+ 2, 18, 26, 6	[13, 83]	3, 50, 3, 12, 35, 33, 20	
	VIII	2, 9, 49, 24, 40	26	gír	2, 33, 36	+ 4, 27, 28, 45	[14, 5]	3, 24, 14, 34, 4, 26, 40	
15.	IX	2, 12, 35, 22, 13, 20	26	pa	2, 25, 52	+ 6, 33, 44, 27	[14, 47]	2, 58, 25, 55, 33, 20	15.
	X	<u>2, 15, 21, 17, 46, 40</u>	26	maš	2, 24, 8	+ 5, 43, 59, 51	[15, 34]	<u>2, 40, 35, 55, 33, 20</u>	
	XI	2, 16, 2, 24, 26, 40	26	qu	2, 34, 24	+ 3, 37, 44, 9	[15, 43]	2, 40	
	XII	2, 13, 16, 28, 53, 20	26	zib	2, 50, 40	+ 2, 38, 58, 54	[15, 1]	2, 49, 31, 57, 6, 40	
	II	2, 10, 30, 33, 20	24, 11, 15	hun	3, 9, 27, 30	- 2, 57, 22, 15	[14, 14]	2, [34, 44, 8, 53, 20	

ABBILDUNG 5.1: Der Neumond-Ephemeridentext ACT no. 5. In dieser Wiedergabe sind Bezeichnungen der Kolonnen angegeben und in einigen Fällen auch ihre astronomische Bedeutung.

	J	C'	K	M	P	Obv.
1.	[57, 3, 45 lal]	[9, 24, 30 lal]	[3, 49, 8]	[dirig 29 5, 29, 42 36]	[bar 1 <del>30</del> ]	1.
	[57, 3, 45 lal]	[7, 20 lal]	[3, 49, 19]	[bar 28 1, 49, 23 36]	[gu <sub>4</sub> 1 <del>30</del> ]	
	[57, 3, 45 lal]	[3, 50 lal]	[3, 17, 50]	[gu <sub>4</sub> 28 4, 31, 33 36]	[sig 30 <del>30</del> ]	
	[57, 3, 45 lal]	[20 lal]	[2, 55, 32]	[sig 28 1, 34, 1 36]	[zu 1 <del>30</del> ]	
5.	[57, 3, 45 lal]	[3] 10 tab	2, 33, 13	[zu 28 5, 2, 48 36]	[izi 30 <del>30</del> ]	5.
	[57, 17, 30, 30 lal]	6, 46, 25 tab	2, 20, 46	[izi 28 2, 42, 2 36]	[kin 30 <del>30</del> ]	
		10 u8 tab	2, 51, 22	[kin 29 5, 50, 40 36]	[du <sub>2</sub> 1 <del>30</del> ]	
		8, 54, 56 tab	2, 48, 56]	[du <sub>2</sub> 28 3, 1, 45 36]	[apin 30 <del>30</del> ]	
		4, 54, 56 tab	2, 44, 56]	[apin 29 .., 16, 30 36]	[gan 30 14, 20	10.
10.		6, 54, 56 tab	2, 52, 56]	[gan 29 3, 23, 57 36]	ab 1 23	
		3, 5, 4 lal	3, 14, 30]	ab 28 .., 9, 19 36]	zi <sub>2</sub> 30 13, 20	
		7, 5, 4 lal	3, 36, 27	zi <sub>2</sub> 29 2, 32, 52 36]	ze 1 20	
	40, 11, 50, 30 lal]	9, 33, 35 lal	3, 19, 35]	ze 29 5, 13, 17 36]	bar 1 <del>inn 30-36 10, 30</del>	
	57, 3, 45 lal	6, 43 lal	3, 29, 29]	bar 28 1, 43, 54 36]	gu <sub>4</sub> 30 13, 20	
15.	57, 3, 45 lal	[5, 13] lal	3, 53, 40]	gu <sub>4</sub> 29 5, 28, 11 36]	sig 1 14, 10	15.
	57, 3, 45 lal	1, 53] lal	3, 44, 20	sig 28 .., 5, 51 36]	zu 1 <del>30</del>	
	57, 3, 45 lal	[5, 32] tab	3, 22, 7	zu 28 2, 53, 44 36]	[izi 30 <del>30</del> ]	
	57, 3, 45 lal	[5, 32] tab	2, 57, 58]	[izi 29 5, 43, 46 36]	[kin 1 <del>30</del> ]	
	[11, 17, 9, 30 lal]	[1, 32] 5 tab	3, 23, 56]	[kin 28 2, 19, 57 36]	[du <sub>2</sub> 30 <del>30</del> ]	

t Konjunktion

NA<sub>N</sub>

Rev

1.	[10 u8 tab	3, 9, 52	du <sub>2</sub> 29 5, 9, 57 36]	[apin 1 <del>30</del> ]	1.	
	[6, 23, 28] tab	2, 47, 18	apin 28 2, 23, 41 36]	[gan 30 <del>30</del> ]		
	[2, 23, 28] tab	2, 42, 23	gan 29 5, 40, 10 36]	ab [30 <del>30</del> ]		
	[1, 36] 32 lal	2, 28, 23	ab 29 3, 1, 36 36]	zi <sub>2</sub> 1 23, 10	5.	
5.	[5] 34, 32 lal	2, 47, 45	zi <sub>2</sub> 28 [.., 14, 10 36]	ze 30 15, 10		
	19, 8, 57, 30 [lal]	9, 23, 57 lal	2, 50, 37	ze 29 3, 23, 33 36]	bar 1 22	
	57, 3, 45 lal	9, 22, 30 lal	2, 38, 33	bar 28 [.., 48 36]	gu <sub>4</sub> 30 13, 40	
	57, 3, 45 lal	6, 21 lal	3, 7, 22	gu <sub>4</sub> 29 [3, 37, 38 36]	sig 1 16	
	57, 3, 45 lal	2, 51] lal	3, 34, 41	sig 28 [.., 57 36]	zu 1 15, 20 ....	
10.	57, 3, 45 lal]	31 tab	3, 51, 52	zu [28 2] 1, 5 36]	izi 1 15, 50	10.
	57, 3, 45 lal]	[4] 7 tab	3, 48, 45	izi [28 4, 12, 20 36]	kin 30 10, 20	
	12, 28, 7, 30 lal]	17, 35, 15 tab	3, 57, 27	kin 28 [.., 20, 53 36]	[du <sub>2</sub> 1] 20	
		10 u8 tab	4, .., 3	du <sub>2</sub> 28 [2, 20, 50 36]	[apin 30 <del>30</del> ]	
		7, 52 tab	3, 32, 6]	[apin 29 4, 48, 44 36]	[gan 30 <del>30</del> ]	
15.		3, 52 tab	3, 21, 17]	[gan 28 1, 44, 27 36]	ab 30 <del>30</del>	15.
		8 lal	2, 40, 52]	ab 28 5, 6 36]	[ze 30 <del>30</del> ]	
		4, 8 lal	2, 35, 52]	ze 29 2, 30, 8 36]	ze 1 <del>30</del>	
		8, 8 lal	2, 32, 13	ze 29 5, 57, 55 36]	[dirig 30 <del>30</del> ]	
	55, 9, 37, 30 lal	9, 23, 45 lal	1, 50, 15]	[dirig 29 4, 7, 40 36]	[bar 30 <del>30</del> ]	

ABBILDUNG 5.2: (Fortsetzung von Abb. 5.1)

Das Neulicht (d.h. die erste Sichtbarkeit des neuen Mondes) definiert den Anfang des neuen Monats,  $gu_4$ . Der erste Tag von Monat II ist also gleich Tag 30 von Monat I. Dies alles wird in Kolonne P durch 'gu<sub>4</sub> 30 13,20' angegeben. Die Zeile darunter gibt mit 'sig 1' an, daß der erste Tag von Monat III erst auf den Tag nach dem 30. II fällt.

Wie diese Tafel vermuten läßt, sind die babylonischen Rechnungen, die zu  $NA_N$  führen, aufwendig und komplex. Dies müssen sie sein, denn wir wissen ja, daß das Zeitintervall  $NA_N$  eine komplizierte Größe ist.

Wie schon erwähnt, hängt  $NA_N$  stark davon ab, wann im Vergleich zum Sonnenuntergang die Konjunktion stattfand. Es ist auch abhängig von der momentanen Geschwindigkeit  $v_\zeta$  und der Breite  $\beta_\zeta$  des Neumondes, sowie von seiner Position  $\lambda_\zeta$  in der Ekliptik.<sup>2</sup>

Genau diese Variablen werden in den einzelnen Kolonnen des Textes ausgerechnet und in den weiteren Rechnungen verwendet. Sie sind alle periodisch variierende Größen, die durch periodische Zahlenfolgen genähert werden: Treppenfunktionen, lineare Zickzack-Funktionen sowie andere davon abgeleitete numerische Funktionen. Um diese Zahlenfolgen auszurechnen, muß man nur die vier arithmetischen Grundoperationen Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division verwenden – keinerlei geometrische Modelle oder Bahnkurven sind dazu erforderlich.

Dieser rein numerische Charakter der babylonischen Astronomie ist sehr überraschend, da man eigentlich erwarten würde, daß es nur durch Verwendung von kinematischen Modellen und sphärisch-geometrischen Methoden möglich ist, so komplizierte Mondphänomene wie die Dauer des Neulichtes oder den Zeitpunkt und die Größe einer Mondfinsternis zu berechnen. Daß die babylonischen Rechenschemata dies vermochten, demonstriert ihre Leistungsfähigkeit. Um so interessanter und wichtiger ist es deshalb, zu untersuchen, wie die Babylonier durch Verwendung ihrer astronomischen Beobachtungen und ihrer mathematischen Methoden imstande waren, solch elegante numerische Verfahren zu entwickeln.

Die Systematik der Zahlenkolonnen in Kombination mit den in den Lehrtexten überlieferten Berechnungsanweisungen hat es Kugler, Neugebauer, van der Waerden und Aaboe ermöglicht, sozusagen alle den Ephemeriden zugrundeliegenden Rechenschemata zu rekonstruieren. Wir wissen also nicht nur, was die Zahlen bedeuten, sondern sind auch in der Lage, babylonische Ephemeridentexte zu rekonstruieren oder neu auszurechnen.

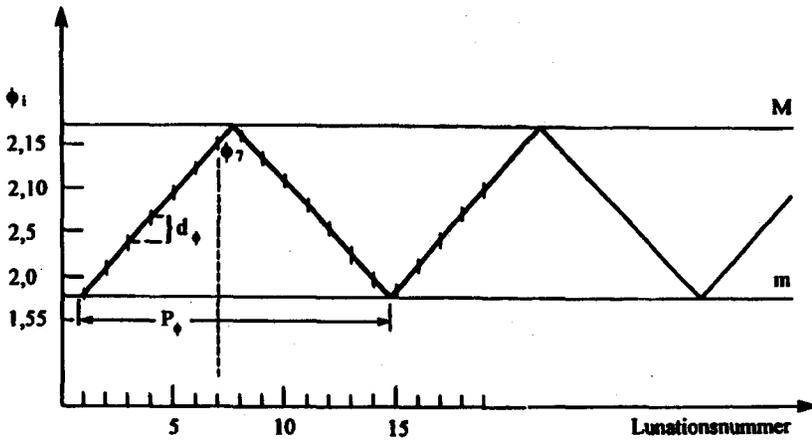
Es würde an dieser Stelle zu weit führen zu erklären, wie alle diese Rechnungen im einzelnen ausgeführt wurden. Wir greifen deshalb nur ein paar Details heraus, und verweisen auf ACT und HAMA für vollständigere Darstellungen.

---

<sup>2</sup>Eine ausführliche mathematisch-astronomische Analyse dieser Zusammenhänge wird im Kapitel 10 besprochen. Siehe auch Brack-Bernsen und Schmidt (1994).

Kolonne  $\Phi$ :

Wir wollen die Zahlen in den einzelnen Kolonnen als Funktionen der Zeilennummer (also der Lunationsnummer) auffassen. Kolonne  $\Phi$  ist als Funktion der Lunationsnummer in Abbildung 5.3 dargestellt. Die Werte von  $\Phi$  liegen auf einer linearen Zickzack-Funktion, deren Periode  $P_\Phi$  eine gute Näherung von  $P_\zeta$  ist. Um von einer Zahl zur nächsten zu kommen, muß man einfach die konstante Differenz 2,45,55,33,20 abziehen oder addieren. Das Ausrechnen der Zahlen um die Extrema herum ist ein wenig komplizierter, folgt aber klaren Regeln.



$$\begin{aligned} M &= 2, 17; 4, 48, 53, 20 \text{ } \omega \ddot{\text{A}} \\ m &= 1, 57; 47, 57, 46, 40 \text{ } \omega \ddot{\text{A}} \\ d_\Phi &= 2, 45, 55, 33, 20 \text{ } \omega \ddot{\text{A}} \end{aligned}$$

ABBILDUNG 5.3: Graphische Darstellung von Kolonne  $\Phi$ . Die Zahlen aus ACT 5 sind mit Strichen angegeben, die durch eine durchgezogene Linie verbunden worden sind. Wir sehen, die  $\Phi$ -Werte des Textes liegen auf einer linearen Zickzack-Kurve. Diese lineare Zickzack-Funktion ist über die Zeitdauer des Textes ACT 5 hinaus verlängert worden.

Die Periode  $P_\Phi$  ist durch folgende Periodenrelation gegeben, die implizit in den Zahlen der Kolonne enthalten ist:

$$1, 44, 7 \text{ synodische Monate} = 7, 28 P_\Phi, \quad (5.1)$$

oder in unseren Zahlen ausgedrückt:

$$6247 \text{ synodische Monate} = 448 P_\Phi. \quad (5.2)$$

In der Praxis bedeutet dies, daß die Zahlenwerte in Kolonne  $\Phi$  sich erst nach 6247 synodischen Monaten  $\approx$  523 Jahren wiederholen. Kolonne  $\Phi$  kann deshalb zur Datierung von Texten benutzt werden.

### *Kolonne B:*

In einem Neumondtext wie diesem gibt Kolonne B die Position von Sonne und Mond im Moment der Konjunktion an; in den Vollmondtexten ist in Kolonne B die Position des Mondes und der Gegen Sonne zum Zeitpunkt der Opposition angegeben. (Unter Gegen Sonne verstehen wir den zur Sonne diametral entgegengesetzten Punkt auf der Ekliptik, also einen imaginären Punkt, der  $180^\circ$  von der Sonne entfernt ist.) Die Zahlen von Kolonne B wurden unter Verwendung einer Treppenfunktion berechnet. Die Periode dieser Treppenfunktion, 12;22, 8 synodische Monate, ist die Dauer des Jahres in synodischen Monaten. Kolonne B enthält damit implizit eine babylonische Näherung zum Sonnenjahr, der Umlaufzeit der Sonne in der Ekliptik.

Die Rechnungen, die zu den Zahlen der Kolonne B führen, können wir folgendermaßen deuten und beschreiben: Das imaginäre Phänomen Neumond (resp. Konjunktion) bewegt sich auf einem Teil der Ekliptik mit der Geschwindigkeit  $30^\circ$  pro syn. Monat, während es sich auf einem anderen Teil der Ekliptik mit der Geschwindigkeit  $28;7,30^\circ$  pro Monat bewegt. Von Zeile 5 bis 11 sind die angegebenen Positionen immer  $30^\circ$  auseinander; während sie von Zeile 12 bis 17 den konstanten Abstand  $28;7,30$  haben. Beim Übergang von einer Geschwindigkeit zur nächsten wurden passende arithmetische Formeln oder Regeln benutzt.<sup>3</sup>

Andere Zahlenkolonnen sind komplizierter, doch stellen sie alle numerische Näherungen astronomischer Größen dar. Periodisch schwingende Zahlenfolgen geben die jeweiligen Werte an, die alle nach verschiedenen arithmetrischen Schemata berechnet worden sind. Wir wissen also genau, wie Ephemeridentexte wie dieser berechnet wurden, und wir kennen die astronomische Bedeutung der meisten Kolonnen. Dennoch stellen sich etliche weitere Fragen.

Wie gut beschreiben diese Berechnungen (d.h. die einzelne Kolonnen) die Natur?

Wie sind die Berechnungsmethoden entwickelt worden?

Wie konnten die Babylonier die genauen Periodenrelationen aus ihren Beobachtungen bestimmen?

Diese und ähnliche Fragen haben die Untersuchungen motiviert, die in dieser Arbeit behandelt werden.

---

<sup>3</sup>Diese Darstellung der Treppenfunktionen als Geschwindigkeitsfunktionen der charakteristischen Phänomene stammt aus den Vorlesungen über babylonische Astronomie, die Professor O. Schmidt in Kopenhagen hielt. Im Falle der Planeten können die Treppenfunktionen zur Berechnung eines charakteristischen Phänomens auch als Geschwindigkeitsfunktion aufgefaßt werden, wenn man bloß als Zeiteinheit die synodische Periode des Planeten verwendet (Schmidt, 1969).

## Kapitel 6

# Kolonne B: Die Position des Mondes in der Ekliptik

Kolonne B gibt an, wo den babylonischen Rechnungen zufolge die Konjunktion (oder, in den Vollmondephemeriden, die Opposition) stattfindet. Bei der Betrachtung von Kolonne B des Neumondtextes ACT 5 in Abb. 5.1 sehen wir, daß von Zeile 6 bis Zeile 12 die Positionen genau um  $30^\circ$  auseinanderliegen (die Zahl ist immer die gleiche, nur der Name des Tierkreiszeichens hat sich geändert). Von Zeile 13 bis 18 ist der Abstand zwischen den Positionen  $28; 7,30^\circ$ .

Dies ist in den Mondephemeriden von System A immer so. Auf einem Teil der Ekliptik liegen diese Neumondpositionen  $\lambda_{\zeta}$  genau um  $30^\circ$  auseinander, während sie auf einem anderen Teil um  $28; 7,30^\circ$  auseinanderliegen.<sup>1</sup>

Den Zahlen in Kolonne B liegt eine Treppenfunktion zugrunde, die als die Geschwindigkeit des Phänomens Konjunktion aufgefaßt werden kann, gegeben als Funktion vom Ort in der Ekliptik. (Sie kann selbstverständlich auch als die Geschwindigkeitsfunktion der Sonne aufgefaßt werden, gegeben in Grad ( $^\circ$ ) pro synodischen Monat: während des synodischen Monats hat sich die Sonne von einem Konjunktionsort bis zum nächsten bewegt, der Mond hingegen hat sich außer diesem Bogen einmal um die Erde bewegt.) Wo die neue Konjunktion den babylonischen Berechnungen zufolge stattfinden wird, hängt alleine vom Ort der jetzigen Konjunktion ab.

In den babylonischen Ephemeriden wurde also zur Berechnung von  $\lambda_{\zeta}$  nur die Variable  $\lambda$  und damit nur die Geschwindigkeit der Sonne berücksichtigt, nicht aber die des Mondes. Die Apsidenlinie des Mondes bewegt sich ja im Verhältnis zur Ekliptik, so daß der Mond seine maximale Geschwindigkeit an jedem Ort der Ekliptik annehmen kann ( $v_{\zeta}$  ist *nicht* eine Funktion vom Ort in der Ekliptik). Die Geschwindigkeit der Sonne hingegen ist fest in der Ekliptik verankert.

Im ersten Moment ist dies recht überraschend, denn Konjunktion von Sonne und Mond bedeutet ja, daß Sonne und Mond von uns aus gesehen in der gleichen Richtung stehen. Man könnte meinen, daß sowohl die variable Geschwindigkeit des Mondes als auch die

---

<sup>1</sup>Bei den Vollmondtexten ist diese Verteilung der Positionen um  $180^\circ$  verschoben, was nicht verwunderlich ist. Die Opposition von Sonne und Mond kann ja auch als Konjunktion zwischen Gegensonne und Mond verstanden werden. Es zeigt uns, daß Kolonne B die Position des Mondes zur Zeit der Konjunktion (respektive der Opposition) angibt.

der Sonne berücksichtigt werden müßte. Dazu kommt, daß die Bewegung des Mondes viel unregelmäßiger ist als die der Sonne, und daß die Schwankungen von  $v_{\text{t}}$  viel größer sind als die von  $v_{\text{0}}$ . Die babylonischen Berechnungen berücksichtigen aber nur eine Variable, die fest mit der Ekliptik verbunden ist.

Ist es astronomisch korrekt, den Ort der Konjunktion von Sonne und Mond auf diese Art zu berechnen? Seien  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$  die Ekliptikpositionen aufeinanderfolgender Konjunktionen. Den Ekliptikbogen  $(\lambda_i, \lambda_{i+1})$  zwischen zwei aufeinanderfolgenden Konjunktionen nennen wir den synodischen Bogen. Dann können wir unsere Frage auch anders ausdrücken: Ist die Länge des synodischen Bogens im wesentlichen von der Sonnengeschwindigkeit bestimmt und damit weitgehend unabhängig von der variablen Geschwindigkeit des Mondes?

Die Antwort lautet: "Ja!" (Bernsen, 1969). Mit Hilfe von modernen Ephemeriden wurden die Positionen von 257 aufeinanderfolgenden Konjunktionen berechnet. Dadurch konnte graphisch gezeigt werden, daß  $\Delta\lambda_i = \lambda_i - \lambda_{i-1}$ , also die Länge des synodischen Bogens, im großen ganzen eine Funktion von  $\lambda_i$  ist.

Wir verstehen auch, warum dies so ist: im Mittel dauert ein synodischer Monat 29.53 Tage. Während dieser Zeit hat die Sonne sich von einer Konjunktion mit dem Mond bis zur nächsten um etwa  $29^\circ$  fortbewegt (genausoweit wie das Phänomen Konjunktion); der Mond hingegen hat  $360^\circ$  (eine ganze Runde in der Ekliptik) plus  $29^\circ$  zurückgelegt. Während der ersten 27.55 Tage durchläuft der Mond sein ganzes Geschwindigkeitsspektrum, so daß wir für diese Tage seine mittlere Geschwindigkeit ansetzen können. Die Variation seiner Geschwindigkeit ist nur an den verbleibenden 2 Tagen relevant.

Die Variation der Sonnengeschwindigkeit hingegen ist während der ganzen 29.5 Tage wichtig, da ihre anomalistische Periode gleich einem Jahr ist. Dadurch wird die Geschwindigkeit der Sonne maßgebend für die Größe von  $\Delta\lambda$ .

Dieser Sachverhalt kann auch anders veranschaulicht werden. Neumondorte, berechnet über etliche Jahre nach der babylonischen Kolonne B, in die Ekliptik eingezeichnet, liegen enger beieinander auf einem Teil der Ekliptik und weiter auseinander auf einem anderen Teil.

Dies entspricht der Natur. Wirklich vorkommende Neumondorte (oder entsprechend auch Vollmondorte), die wir in die Ekliptik einzeichnen, weisen eine sehr ähnliche Verteilung auf. Sie liegen weit auseinander nahe dem Perigäum (wo die Sonne sich schnell bewegt), während sie um das Apogäum herum dichter beieinander liegen. Diese Tatsache liegt meinem Rekonstruktionsvorschlag von Kolonne B (Bernsen, 1969) zugrunde. Wenn man also, genauer gesagt, nur die ungefähren Orte aufeinanderfolgender Neumonde (oder auch die Orte der Neulichter oder Vollmonde) über eine Zeitdauer von ungefähr 50 Jahren kennt, kann man daraus eine Treppenfunktion wie die babylonische konstruieren.

Eine Stärke dieses Rekonstruktionsvorschlags ist es, daß er die charakteristischen Mondphänomene in gleicher Weise behandelt wie dies früher auch schon für die Planeten vor-

geschlagen wurde. Aaboe (1964, 1980) hatte bemerkt, daß die Treppenfunktion zur Berechnung von charakteristischen Planetenphänomenen eine unregelmäßige Verteilung der Orte der Phänomene in der Ekliptik zur Folge hat. Er schlug vor, diese ungleiche Verteilung könne der Ausgangspunkt für die Treppenfunktionen sein und zeigte, daß eine solche Verteilung beobachteter Phänomene zu einer Treppenfunktion führen könne.<sup>2</sup> Neugebauer hat darauf hingewiesen (HAMA, S. 373), daß der genaue Ort der Syzygien<sup>3</sup> nicht direkt beobachtet werden könne, und schlägt deshalb vor, daß eventuell eine Reihe beobachteter Mondfinsternisse verwendet worden sei, um die Treppenfunktion der Kolonne B zu konstruieren.

Sowohl Neugebauer (HAMA, S. 372) wie auch Aaboe und Henderson (1975) teilen meine Auffassung, daß die unregelmäßige Verteilung von Syzygien wohl zur Konstruktion der Treppenfunktion und damit zur Entdeckung der Sonnenanomalie geführt haben kann. Wir möchten betonen, daß diese Treppenfunktion als Näherung der unregelmäßigen Sonnengeschwindigkeit verstanden werden kann und rein empirisch entstanden ist. Im Prinzip könnte jede der Mondphasen in dieser Weise benützt worden sein. Vielleicht dienten dazu die Positionen des Neulichtes, die direkt beobachtet werden können und die oft in den frühesten Diaries angegeben werden. Um von der Treppenfunktion des Neulichtes zu derjenigen des Neumondes zu kommen, müßte man sie um eine Konstante verschieben. Ähnlich wurden die Treppenfunktionen mehrerer Jupiter-Phänomene aus denjenigen des heliakischen Aufganges abgeleitet (siehe ACT II, S. 312).

Maeyama (1978 und 1981, SS. 263–268) hingegen vertritt die Ansicht, die ungleiche Dauer und Winkelausdehnung der Saroi<sup>4</sup> sei die Quelle der Entdeckung der Anomalie der Sonne, und weiterhin sei die Treppenfunktion entstanden, indem die Babylonier die Sonnenanomalie ausschalteten, um die Mondanomalie finden zu können. Sie taten dies, indem sie nur Syzygien betrachteten, die auf dem 'schnellen Bogen' von der Ekliptik stattfanden. Für diesen Bogen wurde dann der Mittelwert der Winkelverschiebung aller verfügbaren Saroi bestimmt. Von diesem Mittelwert in Kombination mit der Sarosperiode leitet Maeyama danach die kanonische Jahreslänge (1 Jahr = 12;22, 8 synodische Monate) her – eine Jahreslänge, die implizit in der Kolonne B enthalten ist. Ob die Babylonier schon bei der Konstruktion von Kolonne B solche theoretischen Überlegungen anstellten, ist bisher durch Quellen nicht belegt.

Maeyama benutzt aber auch die Tatsache, daß Syzygien auf einem Teil von der Ekliptik enger beieinander und auf einem anderen Teil weiter auseinander liegen. Diese ungleiche Verteilung von Syzygien zeigt sich sowohl bei aufeinander folgenden Syzygien

---

<sup>2</sup>Swerdlows neue Rekonstruktion (1995) der babylonischen Planetenberechnungs-Schemata basiert auf beobachteten Zeitpunkten der charakteristischen Phänomene. Seine Methode kann auf die in Kolonne B vorkommende Treppenfunktion nicht angewandt werden.

<sup>3</sup>Neumond und Vollmond werden als Syzygien bezeichnet.

<sup>4</sup>Der Saros ist ein Finsterniszyklus, dessen Dauer 223 synodische Monate beträgt. Diesen Zyklus kannten die Babylonier, und sie nützten ihn zu Vorhersagen von Finsternissen.

von der gleichen Sorte wie auch bei Syzygien, die um 1 Saros auseinander liegen. Er benutzt also, genau wie ich, eine direkt beobachtbare ungleichmäßige Verteilung von Syzygien für seine Konstruktion von Kolonne B. Es ist eine gute Idee, die Winkelverschiebung, die bei Saroi zu beobachten ist, mit der monatlichen Winkelverschiebung der Syzygien in Verbindung zu bringen. Als Stärke seiner Rekonstruktion gilt, daß er durch Verwendung von Saroi und ihre Winkelverschiebung im Stande ist, die kanonische Jahreslänge zu bestimmen.

In seinem Vorschlag, wie die Babylonier die Mondanomalie gefunden haben könnten, verbindet Maeyama die Treppenfunktion mit der Beobachtung, daß ein Saros, der im Winter seinen Anfang hat, länger dauert als einer, der im Sommer anfängt – eine Beobachtung, auf die er als erster hinwies. Er beschränkt sich auf den schnellen Bogen der Treppenfunktion, auf dem die mittlere Winkelverschiebung der Saroi als  $10;48^\circ$  angesetzt wird, und weist darauf hin, daß die zeitliche Variation der Saroi, die auf diesem Teil von der Ekliptik gemessen werden, die Mondanomalie widerspiegelt.

Es ist aber schwierig, die genauen Zeitpunkte der Syzygien festzulegen. Nur bei Finsternissen können diese Momente direkt beobachtet werden. Doch die ältesten Berichte über Finsternisse sind recht ungenau: Die Zeitangaben der frühen Finsternisbeobachtungen sind mit einer Unsicherheit von mindestens  $\pm$  einer halben Stunde behaftet,<sup>5</sup> was ihre Verwendbarkeit sehr reduziert. Die Variation der Saroslänge, die durch die unregelmäßige Sonnengeschwindigkeit bewirkt wird, beträgt nämlich nur 1 1/2 Stunden, während die Variation, die durch die unregelmäßige Mondgeschwindigkeit bewirkt wird, noch weniger, ca. eine Stunde, beträgt.<sup>6</sup> Daß die Babylonier um 400 v. Chr. überhaupt imstande waren, anhand ihrer Beobachtungen diese Variationen in der Dauer von Saroi festzustellen, wäre erst durch Quellen zu belegen.

Was Quellen belegen, ist, daß die Babylonier bemerkt haben, wie die Summen der Lunar-Four-Zeitintervalle,  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$ , sich sozusagen nach einer Saros wiederholen, denn sie haben diese Summen zur Vorhersage der einzelnen Lunar Four verwendet (siehe Kapitel 15). Die kurzen Lunar-Four-Zeitintervalle wurden von den Babyloniern recht genau gemessen, wie die Analyse der babylonischen Daten in Kapitel 13 ergeben hat. Da die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  von Saros zu Saros zur Vorhersage der Lunar Four verwendet wurden, ist es sehr wahrscheinlich, daß die Babylonier gemerkt haben, daß diese Summen sich langsam, also nach mehreren Saroi, ändern.

---

<sup>5</sup>Private Mitteilung der Assyriologen Ch. Walker, British Museum, Prof. H. Hunger, Wien, und F. Rochberg, Chicago.

<sup>6</sup>siehe Brack-Bernsen, 1980, S. 46, oder Abschnitt 7.1). Maeyama (1979, 1981, 1994) findet für die Variation der Saroslänge, die durch die unregelmäßige Mondgeschwindigkeit bewirkt wird, den genauen Wert ca. 1.06 Stunden.

Maeyamas These wird aber zum Teil von Ptolemäus' Bemerkung über die 'alten Mathematiker' unterstützt,<sup>7</sup> die sich im sogenannten *Almagest* findet.

Hierin schreibt Ptolemäus:

„Deshalb haben die alten Mathematiker mit Recht einen Zeitraum festzustellen gesucht, nach dessen Verlauf der Mond jedesmal die gleichgroße Strecke in *Länge* zurückgelegt haben würde, in der Annahme, daß einzig und allein dieser Zeitraum für die Wiederkehr der Anomalie maßgebend sein könne. Indem sie also aus den oben besprochenen Gründen die Beobachtungen von *Mondfinsternissen* miteinander verglichen, prüften sie, welches Intervall mit einer bestimmten Zahl von Lunationen jedesmal wieder die gleiche Zeitdauer hätte, wie die Intervalle mit gleicher Zahl der Lunationen, und dabei gleichviel Kreise in *Länge* enthielte, seien es nun ganze Kreise oder solche mit dem Zusatz gewisser gleichgroßer Bogen. Nach etwas oberflächlicher Schätzung nahmen nun die noch älteren Beobachter diesen Zeitraum zu 6595  $\frac{1}{3}$  Tagen (d.h. 18 Sonnenjahre und 10  $\frac{5}{6}$  Tage) an. Im Verlauf dieser Zeit sahen sie nämlich ohne merklichen Fehler sich vollenden 223 Lunationen, 239 Wiederkehren der Anomalie, 242 Wiederkehren der Breite, 241 Umläufe der Länge und 10  $\frac{2}{3}$  Grade darüber, welche die Sonne in der genannten Zeit zu 18 Kreisen zusetzt, womit man die Wiederkehr von Sonne und Mond mit Bezug auf die Fixsterne theoretisch bestimmt zu haben meinte. Sie nannten diesen Zeitraum einen periodischen, weil er die Bewegungen verschiedener Art erstmalig annähernd zu einer Wiederkehr führe.“

Wer die 'alten' und noch 'älteren Mathematiker' sind, ist nicht klar. Maeyama bezieht diese Bemerkungen von Ptolemäus auf die Babylonier und betont, daß sein Rekonstruktionsvorschlag (für  $B$  und  $\Phi$ ) in Übereinstimmung hiermit erstens darauf basiert, daß die Babylonier den Saros als fundamentale Zeiteinheit erkannt hatten und nicht nur die Periode von 223 synodischen Monaten als einen Finsternis-Zyklus benützten, sondern auch erkannt hatten, daß dies eine fundamentale Periode für die synodischen Mondphänomene sei, und zweitens darauf, daß sie später bemerkt haben, daß die Dauer der Saroi nicht konstant sei, und daß sie ein gewisses theoretisches Verständnis besaßen über die verschiedenen Faktoren, welche die Mondbewegung bestimmen.

Es hat sich aber gezeigt, daß die Bemerkungen, die Ptolemäus gerade anschließend an den oben zitierten Abschnitt über die Astronomie der Chaldäer schreibt, nicht richtig sein können (siehe Abschnitt 4.3), was Maeyama auch betont. Ob die hier zitierte Bemerkung von Ptolemäus die Entstehung der babylonischen Astronomie korrekt wiedergibt, ist also nicht sicher.

---

<sup>7</sup>Ptolemäus: "Handbuch der Astronomie", viertes Buch, Kapitel 2, Hei 269 und Hei 270; hier in Manitius' deutscher Übersetzung: S. 195. Siehe auch Toomers hervorragende Übersetzung dieser Stelle (1984, S. 175).

Vergleichend kann man sagen, daß Maeyamas Rekonstruktionsvorschlag (1978, 1981, 1994) eher auf theoretischen Überlegungen basiert, während der meinige ausschließlich auf Empirie baut. Nach Maeyamas Auffassung haben die Babylonier mit der Sarosperiode als Ausgangspunkt nach der anomalistischen Mondbewegung gesucht und sind dabei auf die Sonnenanomalie gestoßen. Nach meiner Rekonstruktion haben sie die ungleichmäßige Verteilung der Syzygien bemerkt und durch eine Treppenfunktion angenähert. Ich denke, diese allerfrüheste Naturbeschreibung ist direkt aus der Empirie entstanden – und erst später kam die Einsicht in die dahinterliegenden Ursachen. Maeyamas Rekonstruktionsvorschlag setzt meines Erachtens zuviel theoretisches Wissen voraus.

Eine zentrale Frage, die deshalb geklärt werden muß, ist die folgende: Gibt es andere Texte, die Hinweise darüber enthalten, ob die babylonische Astronomie eher einem theoretischen Verständnis der Himmelsphänomene entstammt, oder ob sie eher aus einer empirischen Naturbeschreibung entstanden ist?

Maeyamas Betonung des Saros als einer fundamentalen Zeitperiode für synodische Mondphänomene hat sich als absolut richtig erwiesen. Wir wissen jetzt (Brack-Bernsen, 1994 und 1996), daß die Babylonier die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  von einer Opposition verwendeten, um die Größen der Lunar Four bei der Opposition 1 Saros später vorherzusagen. Sie hatten bemerkt, daß sich die Meßwerte von  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  immer nach einem Saros wiederholen – und sie benützten dies auch zu Vorhersagen (siehe auch Kapitel 14 und 15).

## Kapitel 7

# Die Dauer des synodischen Monats

Wie die variable Mondgeschwindigkeit die Größen von Beobachtungsdaten beeinflusst, können wir gut anhand der Dauer des synodischen Monats demonstrieren. In den Ephemeridentexten vom Typus A wurde die Dauer des synodischen Monats als 29 Tage plus die Summe von zwei Zahlen berechnet, die in Kolonne G und Kolonne J notiert waren:

$$1 \text{ synodischer Monat} = 29 \text{ Tage} + G + J. \quad (7.1)$$

Die Zahlen in Kolonne G stellen eine periodisch schwingende Funktion dar, deren Periode  $P_G$  gleich  $P_\Phi$  (der Periode der zweiten Kolonne  $\Phi$ ) und damit eine gute Näherung zu  $P_\zeta$  ist. Die Zahlen der Kolonne J stellen auch eine periodisch schwingende Funktion dar. Ihre Periode  $P_J$  ist gleich  $P_B$  und damit eine gute Näherung zu  $P_\odot$ , der Dauer des Sonnenjahres.<sup>1</sup>

Wir deuten diese babylonischen Berechnungen folgendermaßen: Die Zahl G stellt den von der variablen Mondgeschwindigkeit stammenden Beitrag zur Dauer des synodischen Monats dar, während J die variable Sonnengeschwindigkeit berücksichtigt.

Die Zahlen in Kolonne G sind nicht direkt berechnet, sondern von den Zahlen der Kolonne  $\Phi$  abgeleitet worden. Aaboe (1968, 1969 und 1971) hat durch Analyse von Lehrtexten und sogenannten Hilfstafeln herausgefunden, wie die Babylonier von Kolonne  $\Phi$  ausgehend G berechneten. Kolonne J ist konsistent mit Kolonne B und wurde von ihr abgeleitet: Wenn der synodische Bogen laut Kolonne B als  $30^\circ$  angesetzt wurde, dann ist J gleich Null; ist der synodische Bogen um  $q$  kleiner als  $30^\circ$ , dann ist J negativ und proportional zu  $q$ .

Vorerst wollen wir uns nicht mit der Entstehung der Berechnungsmethoden, sondern nur mit ihrer Qualität beschäftigen. Ist es sinnvoll, die Dauer des synodischen Monats auf diese Weise, also als Summe von zwei periodisch schwingenden Termen, zu berechnen? Gibt das eine gute Beschreibung der Natur?

Um dies zu untersuchen, wurde die Dauer aufeinanderfolgender synodischer Monate berechnet und als Funktion der Lunationsnummer abgebildet (Brack-Bernsen, 1980;

---

<sup>1</sup>Wir unterscheiden hier nicht zwischen tropischem und siderischem Jahr, weil die Babylonier dies auch nicht taten.

siehe speziell die Figur 1 auf S. 40, die wir hier in Abbildung 7.1 wiedergeben). Die Dauer des synodischen Monats ist mit  $\Delta^1 t$  bezeichnet, während  $\Delta^n t$  die Dauer von  $n$  synodischen Monaten bezeichnet.

Die Größe  $\Delta^1 t$ , abgebildet als Funktion der Monatsnummer (Abbildung 7.1 oben), erscheint als eine schnelle Schwingung mit variierender Amplitude. Wir können diese Kurve durch eine Superposition von zwei Sinusschwingungen reproduzieren. (Etliche andere astronomische Größen, mit denen sich die Babylonier beschäftigten, weisen eine ähnliche Struktur auf, wie z.B. die beiden unteren Kurven in dieser Abbildung 7.1.)

Die Perioden und Amplituden der beiden Sinuskurven, deren Summe am besten unser Graph von  $(i, \Delta^1 t_i)$  wiedergibt, können anhand ihrer graphischen Abbildung bestimmt werden. Wie dies genau gemacht wird, ist in Brack-Bernsen (1980, SS. 43,44) beschrieben und wird im nächsten Abschnitt 7.1 kurz skizziert.

Dazu wurden die graphische Abbildung der Dauer aufeinanderfolgender synodischer Monate  $\Delta^1 t$  analysiert und daraus die Parameter der beiden Funktionen bestimmt, deren Summe unsere Abbildung am besten annähert. Die eine Sinuskurve muß mit der Periode  $P_{\zeta}$  schwingen und ihre Amplitude muß ungefähr  $9^h; 00 = 2,15;00 u\ddot{s}$  betragen. Die andere Sinuskurve muß die Periode  $P_{\odot}$  und die Amplitude  $4^h; 10 = 1,2;30 u\ddot{s}$  haben.

Wir sehen, daß die Babylonier in ihren Ephemeridentexten die Dauer des synodischen Monats auf ganz ähnliche Weise approximiert haben, wie wir es tun würden, nämlich als Summe von zwei periodisch schwingenden Termen. Sie verwandten numerische Methoden, während wir die 'Beobachtungsdaten' graphisch analysierten und annähernten. Wir können die babylonischen Parameter mit den von uns bestimmten vergleichen: Die Funktion in der Kolonne G schwingt mit der Periode  $P_{\Phi}$ , die eine sehr gute Näherung zu  $P_{\zeta}$  ist, und ihre Amplitude beträgt  $2,16;35 u\ddot{s} = 9^h; 06$  und ist damit nur um 6 Minuten =  $1 \frac{1}{2} u\ddot{s}$  größer als der von uns als ideal festgelegte Wert  $9^h; 00$ . Die Periode der Treppenfunktion, die in Kolonne J auftritt, ist eine gute Näherung zu  $P_{\odot}$ , und ihre Amplitude ist mit  $57;3,45 u\ddot{s}$  um  $5;30 u\ddot{s}$  kleiner als unser Wert  $4^h; 10 = 1,2;30 u\ddot{s}$ . Recht viel besser kann man kaum eine Sinuskurve durch eine Treppenfunktion annähern.

Wir haben also gesehen, daß die babylonischen Berechnungen eine gute Beschreibung der Natur liefern: Es ist sinnvoll,  $\Delta^1 t$  als Summe zweier variabler Größen zu berechnen. Die in den Kolonnen G und J enthaltenen Parameter sind erstaunlich genau.

Die Frage drängt sich auf, wie diese Rechenschemata entstanden und entwickelt worden sind. Darüber schweigen die Quellen. Die Lehrtexte geben nur extrem kurze Rechenanweisungen ohne Erklärung, und die Ephemeridentafeln enthalten nichts als die ausgerechneten Zahlen.

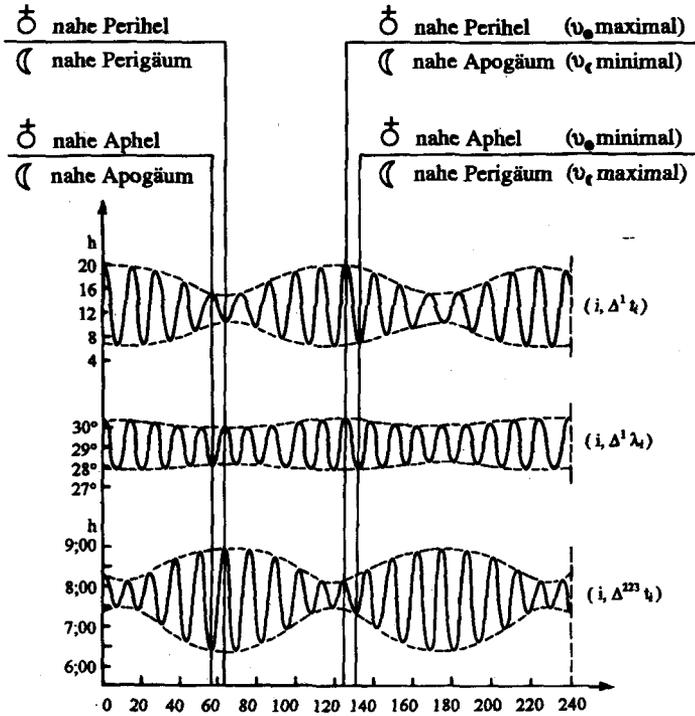


ABBILDUNG 7.1: Dauer des synodischen Monats  $\Delta^1 t$  (minus 29 Tage), Länge des synodischen Bogens  $\Delta^1 \lambda$ , und Sarosdauer  $\Delta^{223} t$  (minus 6585 Tage) als Funktionen der Lunationsnummer  $i$ .

Was die Quellen uns ermöglichen, ist, die innere Struktur der Rechenschemata zu erkennen: welche Kolonnen primär sind und deshalb am ehesten direkt aus Beobachtungen entstanden sind und welche Kolonnen von den primären abgeleitet wurden. Ältere Quellen geben uns spärliche Informationen über frühere Stadien der babylonischen Astronomie, aber trotzdem Hinweise auf deren Methoden, Entstehung und Entwicklung. Sie ermöglichen es uns, eventuelle Rekonstruktionen und Theorien nachzuprüfen.

Zurück zur Tafel ACT No. 5: Kolonne J ist von Kolonne B abgeleitet. Im vorherigen Abschnitt habe ich zwei Möglichkeiten erwähnt, diese Kolonne zu rekonstruieren. Was aber Kolonne G betrifft, so ist sie – wie auch Kolonne F, welche die momentane Mondgeschwindigkeit angibt – von Kolonne  $\Phi$  abgeleitet. Kolonne  $\Phi$  folgt unmittelbar nach Kolonne T, die Jahr und Monat angibt. Die Zahlenmanipulationen, die von  $\Phi$

zu G und F führen, kennen wir. Dennoch wissen wir wenig darüber, welche Gedanken oder Überlegungen dahinterstecken.

Ich bin überzeugt, daß wir erst dann eine Hoffnung haben werden, diese dahinterliegenden Gedanken und Überlegungen zu erraten oder zu verstehen, wenn wir wissen, woher Kolonne  $\Phi$  kommt und was sie mißt.

Es war lange ein großes Rätsel, was Kolonne  $\Phi$  eigentlich darstellt und wie sie entstanden ist. Klar war lediglich, daß diese Kolonne irgendwie Informationen über die unregelmäßige Mondgeschwindigkeit enthält. In ACT (S. 44) schrieb Neugebauer: „ $\Phi$  must describe a phenomenon very closely related to the lunar velocity“ und (S.45) „perhaps  $\Phi$  is obtained from the relative velocity“.

Ehe ich im nächsten Kapitel weiter auf Kolonne  $\Phi$  eingehe,<sup>2</sup> werde ich einige Ergebnisse vorstellen, die durch Analyse der Superposition von Sinusschwingungen gewonnen sind.

## 7.1 Periodische Funktionen zweier Variablen

Etliche Mondphänomene, für die sich die Babylonier interessierten, weisen eine Ähnlichkeit Struktur auf wie  $\Delta^1 t$ . In Abbildung 7.1 sind auch die Länge  $\Delta^1 \lambda$  des synodischen Bogens sowie die Dauer  $\Delta^{223} t$  der Saroi für 240 aufeinanderfolgende Monate ausgerechnet und als Funktion der Lunationsnummer L abgebildet.<sup>3</sup>

Wir sehen die strukturelle Ähnlichkeit der drei Kurven: alle weisen eine schnelle periodische Schwingung mit langsam variierender Amplitude auf. Die Periode der Amplitudenvariation ist in allen drei Fällen die gleiche, doch haben die schnellen Schwingungen nicht die gleiche Periode.

Die beiden unteren Kurven  $\Delta^1 \lambda$  und  $\Delta^{223} t$  vollenden in der Zeit von einem Saros (= 223 Lunationen) 18 Schwingungen, während die oberste Kurve, die  $\Delta^1 t$  darstellt, in derselben Zeit nur 16 Schwingungen vollbringt. Nun ist aber 1 Saros  $\simeq$  18 Jahre = 18  $P_{\odot}$  und 1 Saros  $\simeq$  16  $P_{\uparrow}$ . Die beiden unteren Kurven  $\Delta^1 \lambda$  und  $\Delta^{223} t$  schwingen also offenbar im Takt mit der variablen Sonnengeschwindigkeit  $v_{\odot}$ , während  $\Delta^1 t$  im Takt mit der Mondgeschwindigkeit  $v_{\uparrow}$  schwingt.

Kurven wie die drei in Abbildung 7.1 dargestellten (die eine schnelle periodische Schwingung mit langsam variierender Amplitude aufweisen) werden Schwebungen genannt. Schwebungen können entstehen, wenn zwei periodische Schwingungen überlagert werden. Meine Analyse von 1980 zielte darauf, die drei Kurven in Abbildung 7.1 besser zu verstehen. Deshalb wurden als Grundschwingungen zwei Sinusfunktionen mit den

<sup>2</sup>In Kapitel 8 wird die herkömmliche Deutung von  $\Phi$  besprochen und in Kapitel 9 wird meine Rekonstruktion von Kolonne  $\Phi$  präsentiert.

<sup>3</sup>Alle diese Größen sind ausgerechnet worden mit Hilfe von Goldstines Tabellen (1973), die berechnete Zeitpunkte und Längen von Konjunktionen und Oppositionen vom Mond mit der Sonne angeben.

Perioden  $P_{\odot}$  und  $P_{\zeta}$  und variierenden Amplituden gewählt. Ich weise auf diese Publikation hin und werde an dieser Stelle nur die Resultate bringen und sie anhand der Abbildung 7.2 heuristisch erklären.

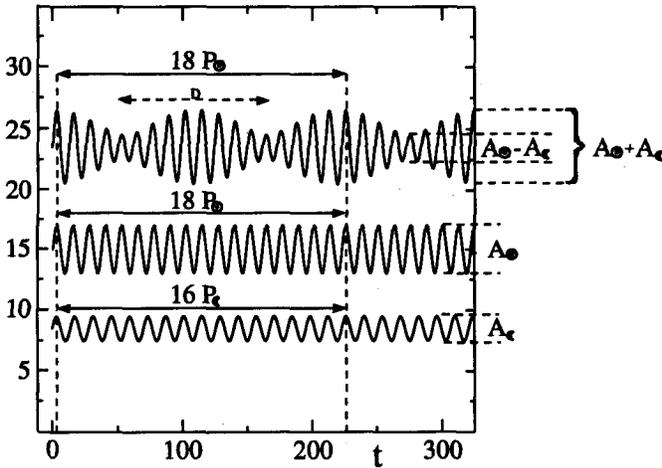


ABBILDUNG 7.2: Erklärung des Schwebungsphänomens. Zuunterst ist die Funktion  $g_{\zeta} = 8.5 + \sin(2\pi t/P_{\zeta})$  abgebildet; darüber die Funktion  $g_{\odot} = 15 + 2\sin(2\pi t/P_{\odot})$ , und zuoberst die Summe  $g = 23.5 + \sin(2\pi t/P_{\zeta}) + 2\sin(2\pi t/P_{\odot})$  dieser beiden Funktionen.

In Abbildung 7.2 ist zuunterst eine Sinusschwingung  $g_{\zeta}$  mit Periode  $P_{\zeta}$  und Amplitude  $A_{\zeta} = 2$  dargestellt, darüber eine Sinusschwingung  $g_{\odot}$  mit Periode  $P_{\odot}$  und Amplitude  $A_{\odot} = 4$ , und zuoberst die Schwebung  $g$ , die als Summe dieser beiden Kurven entsteht:  $g = g_{\zeta} + g_{\odot}$ .

In diesem Beispiel dominiert die Schwingung  $g_{\odot}$  über  $g_{\zeta}$ , denn ihre Amplitude  $A_{\odot}$  ist doppelt so groß wie die Amplitude  $A_{\zeta}$ . Diese Dominanz wird dadurch sichtbar, daß die Summenfunktion  $g$  im Takt mit  $g_{\odot}$  schwingt. Während der Zeit von 0 bis 223 vollführen die Kurven  $g_{\odot}$  und  $g$  beide 18 Schwingungen,  $g_{\zeta}$  hingegen nur 16.<sup>4</sup>

Was  $g_{\zeta}$  zur Summe  $g$  beiträgt, ist die Variation der Amplitude: wenn  $g_{\zeta}$  und  $g_{\odot}$  die gleiche Phase haben (wie bei  $t = 0$  oder bei  $t \simeq 110$ ), verstärken sie einander, und  $g$  hat seine maximale Amplitude  $A_{\zeta} + A_{\odot}$ , in diesem Falle = 6. Wenn  $g_{\zeta}$  und  $g_{\odot}$

<sup>4</sup>In Figur 2, S. 42 meines Artikels (Brack-Bernsen, 1980) wird das gleiche auf eine andere Weise gezeigt. Diese Figur ist aber falsch; die beiden Kurven  $g_p$  und  $g_q$  sind leider vertauscht worden. Die obere Kurve in Abb. 2 schwingt langsam, d.h. im Takt mit  $P_{\zeta}$ . Sie sollte  $g_{\zeta}$  heißen, denn hier ist  $B=2.4$  und damit größer als  $A$ , das gleich 2 gewählt wurde. Die unterste Kurve sollte  $g_p$  heißen.

in Gegenphase sind (wie bei  $t \simeq 55$  oder bei  $t \simeq 165$ ), wird die Amplitude von  $g$  am kleinsten und gleich  $A_{\odot} - A_{\zeta}$ , also hier gleich 2. Die Periode  $D$  der Amplitudenvariation ist bestimmt durch  $P_{\zeta}$  und  $P_{\odot}$ , siehe Gleichung (7.5) unten.

Hierdurch wird ersichtlich, wie die Summenkurve  $g$  von den beiden Grundschwingungen  $g_{\zeta}$  und  $g_{\odot}$  bestimmt wird. Ihre Perioden und Amplituden bestimmen Form und Struktur von  $g$ .

Umgekehrt kann man aus dem Graphen einer Schwebung die beiden Sinusfunktionen bestimmen, deren Summe die gegebene Schwebung am besten nähert: Die maximale Amplitude ( $A_{\zeta} + A_{\odot}$ ) sowie die minimale Amplitude ( $A_{\zeta} - A_{\odot}$ ) können von der Kurve abgelesen werden, wonach  $A_{\zeta}$  und  $A_{\odot}$  durch eine simple Rechnung gefunden werden können.

Diese Resultate können zur Analyse von Beobachtungsdaten verwendet werden. Wenn immer empirisch gefundene Daten eine Struktur wie  $g(t)$  aufweisen, können wir die Periode des dominierenden Terms aus dem Graphen durch Abzählen der schnellen Schwingung bestimmen; die Periode  $D$  und die Stärke der Amplitudenvariation kann auch einfach vom Graphen abgelesen werden. Dies heißt, daß wir durch graphische Analyse imstande sind, zwei periodische Schwingungen zu finden, deren Summe die Observationsdaten am besten nähert.

Durch Analyse der Graphen von  $\Delta^1 t$ ,  $\Delta^6 t$  und  $\Delta^{12} t$  wurden so die Werte  $A_{\odot}$  und  $B_{\zeta}$  bestimmt, die am besten die betrachteten Kurven approximieren, und mit den entsprechenden Werten aus den babylonischen Rechenschemata verglichen. Sie stimmen in der Tat recht gut überein.<sup>5</sup> Es wurde auch untersucht, wie die Dauer  $\Delta^{223} t$  des Saros von  $v_{\odot}$  und  $v_{\zeta}$  abhängt. Die unregelmäßige Sonnengeschwindigkeit bewirkt eine Variation von ca.  $1 \frac{1}{2}^h$  in der Sarosdauer, während  $v_{\zeta}$  nur eine Variation von ca.  $1^h$  bewirkt. Die unterste Kurve,  $\Delta^{223} t$ , in Abbildung 7.1 schwingt ja, wie wir schon bemerkt haben, mit der Periode  $P_{\odot}$ , und also im Takt mit  $v_{\odot}$ .

Meines Wissens war diese Analyse (Brack-Bernsen, 1980) die erste systematische Bearbeitung von Beobachtungsdaten, deren Graphen eine Struktur aufweisen wie die Kurven in Abbildung 7.1. Teilergebnisse dieser Analyse sind früher schon bemerkt worden: z.B. daß  $\Delta^1 \lambda$  eine Funktion von  $\lambda$  ist, was bedeutet, daß ihre Größe im Wesentlichen von  $v_{\odot}$  bestimmt wird (Bernsen, 1969). Daß man den Effekt der variablen Mondgeschwindigkeit auf  $\Delta^1 \lambda$  aus dessen Graphen ablesen kann, wurde schon von Aaboe und Henderson (1975) bemerkt.

Maeyama (1978, 1979, 1981, 1994) kommt auf einem ganz anderen Weg zu ähnlichen Resultaten. Ausgehend von den Keplerschen Gesetzen und den bekannten Größen der Bahnelemente kann er die Variation und Systematik verschiedener astronomischer Größen theoretisch abschätzen und herleiten. 1978 zeigte er, daß die Dauer  $\Delta^{223} t$  eines Saros am größten ist, wenn er im Winter anfängt, wo die Sonne ihre maximale

<sup>5</sup>Siehe Brack-Bernsen, 1980, S. 46.

Geschwindigkeit hat, und daß  $\Delta^{223}t$  immer klein ist, wenn sein Anfang mit einer niedrigen Sonnengeschwindigkeit zusammenfällt. 1979 behandelte Maeyama allgemein die Dauer von  $n$  synodischen Monaten. 1981 (S. 264, Fig. 3.1) zeigte er, wie die Sarosdauer davon abhängt, wo sich der Mond im Verhältnis zu den Apsidenlinien von Mond und Sonne befindet. Mit anderen Worten: Maeyama zeigt hier, wie  $\Delta^{223}t$  davon abhängt, welche Geschwindigkeit Sonne und Mond an derjenigen Syzygie hatten, die das Ende des betreffenden Saros definierte.

Die Erkenntnisse, die wir so unabhängig voneinander gefunden haben, stimmen vollständig miteinander überein. Um diese Übereinstimmung mit Maeyama (1981, Fig. 3.1) deutlicher zu zeigen, habe ich in Abbildung 7.1 verschiedene Linien gezogen, die spezielle Konjunktionen markieren, nämlich solche, die sowohl nahe der Apsidenlinie der Mondbahn als auch nahe der Apsidenlinie der Sonnenbahn stattfinden.

## 7.2 Appendix mit mathematischen Formeln

Für diejenigen, denen mathematische Formeln lieber sind als heuristische Erklärungen, habe ich die oben erwähnten Erkenntnisse kurz und allgemein formuliert:

Sei  $g_{\odot}(t)$  eine periodische Schwingung mit der Periode  $P_{\odot}$  und der Amplitude  $A_{\odot}$ :

$$g_{\odot}(t) = \frac{A_{\odot}}{2} \sin(\alpha t) \quad \text{mit} \quad \alpha = \frac{2\pi}{P_{\odot}}. \quad (7.2)$$

Ebenso sei  $g_{\zeta}(t)$  eine periodische Schwingung mit der Periode  $P_{\zeta}$  und der Amplitude  $A_{\zeta}$ :

$$g_{\zeta}(t) = \frac{A_{\zeta}}{2} \sin(\beta t) \quad \text{mit} \quad \beta = \frac{2\pi}{P_{\zeta}}. \quad (7.3)$$

Die unabhängige Variable  $t$  ist die Zeit in synodischen Monaten gemessen.

Wir definieren nun  $g(t)$  als Summe dieser beiden Funktionen:

$$g(t) = g_{\odot}(t) + g_{\zeta}(t). \quad (7.4)$$

Die Funktion  $g(t)$  ist also als Überlagerung von zwei periodischen Schwingungen mit den Amplituden  $A_{\odot}$  und  $A_{\zeta}$  definiert. Wenn  $A_{\odot}$  und  $A_{\zeta}$  verschieden, aber von der gleichen Größenordnung sind, hat der Graph von  $g(t)$  dieselbe Struktur wie die drei Kurven in Abbildung 7.1: er stellt eine periodische Schwingung mit variierender Amplitude und variabler Frequenz dar – was man in der Physik eine Schwebung nennt. Die Periode der Amplitudenvariation sei  $D$ . Wie aber das graphische Bild von  $g(t)$  aussieht, hängt von der Größe der beiden Amplituden  $A_{\odot}$  und  $A_{\zeta}$  ab:

— Die Periode  $D$  der Amplitudenvariation ist gleich die Umlaufszeit in der Ekliptik von der Apsidenlinie der Mondbahn. Es gilt nämlich:

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{P_{\odot}} - \frac{1}{P_{\zeta}}. \quad (7.5)$$

— Wenn  $A_{\odot} > A_{\zeta}$ , ist die mittlere Periode von  $g(t)$ , gemittelt über die Periode  $D$  gleich  $P_{\odot}$ . In diesem Fall schwingt  $g(t)$  also im Takt mit  $v_{\odot}$ .

— Ist  $A_{\odot} < A_{\zeta}$ , wird die mittlere Periode von  $g(t)$  gleich  $P_{\zeta}$  sein, so daß  $g(t)$  im Takt mit  $v_{\zeta}$  schwingen wird.

— Die größte Amplitude von  $g(t)$  ist gleich  $A_{\odot} + A_{\zeta}$ .

— Die kleinste Amplitude von  $g(t)$  ist gleich  $|A_{\odot} - A_{\zeta}|$ .

Mit anderen Worten: Der dominierende Term (d.h. derjenige von  $g_{\odot}$  und  $g_{\zeta}$  mit der größten Amplitude) bestimmt die Frequenz und die mittlere Amplitude von  $g(t)$ , während der andere die Variation der Amplitude bewirkt. Die Perioden  $P_{\odot}$  und  $P_{\zeta}$  zusammen mit den Amplituden  $A_{\odot}$  und  $A_{\zeta}$  bestimmen den Graph der Summenfunktion. Umgekehrt kann eine graphische Analyse einer Schwebung die dahinterliegende Sinusschwingungen ermitteln. Für nähere Details siehe Brack-Bernsen (1980).

## Kapitel 8

# Deutung der Kolonne $\Phi$ und ihre Verbindung mit dem Saros

Lange Zeit wußte man nur, daß  $\Phi$  Information über die Position des Mondes im anomalistischen Monat enthielt. Lehrtexte zeigten, daß die Babylonier astronomische Größen wie z.B. G und F, die von  $v_{\mathcal{C}}$  abhängen, aus den Zahlen in Kolonne  $\Phi$  abgeleitet hatten. Hieraus folgt, daß  $\Phi$  die fundamentale Kolonne zur Berücksichtigung der variablen Mondgeschwindigkeit ist. Sie muß früher entstanden sein als F und G, und ihre Parameter müssen aus astronomischen Beobachtungen herkommen.<sup>1</sup> Woher aber  $\Phi$  kam und was ihre Zahlen genau bedeuteten, wußte man nicht. In ACT (1955) vermutete Neugebauer, daß  $\Phi$  sehr eng mit der Geschwindigkeit des Mondes relativ zur Sonne verbunden sei. Ich bin davon überzeugt, daß er hiermit absolut recht hatte.

Etwas später publizierte er den sogenannten „Sarostext“ (Neugebauer, 1957a), der ein ganz neues Licht auf Kolonne  $\Phi$  warf. In diesem Text wird  $\Phi$  überraschend mit dem Saros in Verbindung gebracht.<sup>2</sup> 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  $\Phi$ , die zeitlich um einen Saros auseinanderliegen, fast gleich groß sind und sich nur um eine kleine Differenz  $\varphi = 17,46,40$  unterscheiden. Abgesehen von den Ausnahmen bei den Extrema gilt:

$$|\Phi_{223+i} - \Phi_i| = \varphi.$$

Nun ist aber diese Differenz genau gleich  $3/28$  der monatlichen Änderung  $d_{\Phi}$  von  $\Phi$ :

$$|\Phi_{223+i} - \Phi_i| = \varphi = \frac{3}{28} d_{\Phi}. \quad (8.1)$$

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:

$$1,44,7 \text{ synodische Monate} = 1,51,35 \text{ anomalistische Monate} = 7,28P_{\Phi}. \quad (8.2)$$

<sup>1</sup>Was F und G von  $\Phi$  übernehmen, ist die Periode  $P_{\Phi}$  – Amplituden und Mittelwerte werden geändert und wohl Beobachtungen angepaßt. Mit anderen Worten:  $\Phi$  ist Träger der Information über  $P_{\mathcal{C}}$ .

<sup>2</sup>Die Babylonier bezeichneten den Saroszyklus (= 223 syn. Monate) als „18 Jahre“.

Die Relation (8.2) liegt der Kolonne  $\Phi$  zugrunde. Sie besagt, daß  $P_\Phi = 1,44,7 : 7,28$  syn. Monate =  $6247 : 448$  syn. Monate ist. Umgekehrt können wir auch sagen, daß aus der Näherung für die Mondperiode  $P_\zeta = 6247/448$  syn. Monate für die lineare Zickzack-Funktion  $\Phi$  die Relation (8.1) folgt.

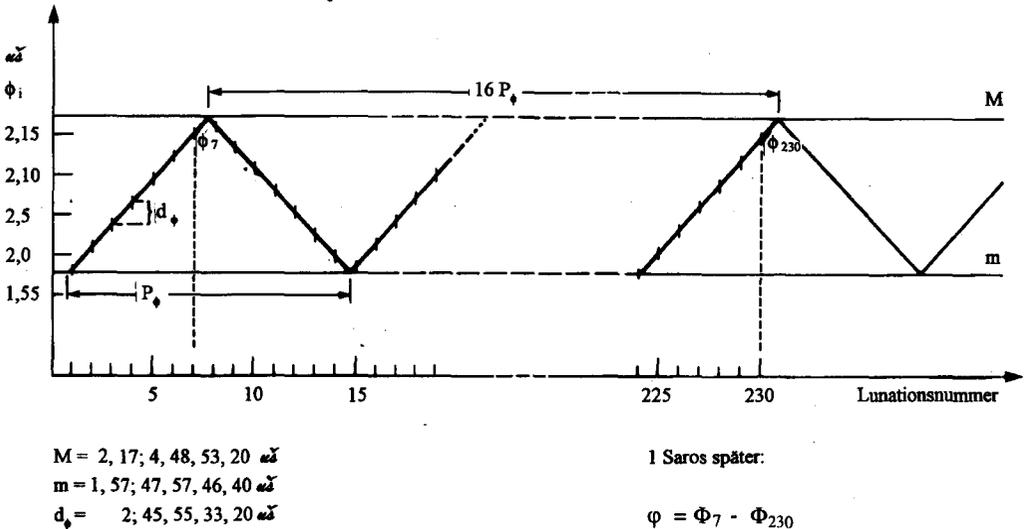


ABBILDUNG 8.1: Zwei Abschnitte der linearen Zickzack-Funktion  $\Phi$ .

In Abbildung 8.1 ist die lineare Zickzack-Funktion  $\Phi$  dargestellt: links sind die Werte aus ACT no. 5 (wie in Abbildung 5.3) eingezeichnet, und in der Fortsetzung sind auch Werte eingezeichnet, die 223 synodische Monaten später als diejenigen von ACT no. 5 liegen. Zwischen  $\Phi_7$  und  $\Phi_{230}$  liegt ein Saros; während dieser Zeit hat die Funktion  $\Phi$  fast 16 Schwingungen vollzogen;  $\Phi_{230}$  ist nur um  $0;17,46,40 = 3/28 d_\Phi$  kleiner als  $\Phi_7$ . Mit anderen Worten: 1 Saros ist um  $3/28$  synodische Monate kleiner als  $16 P_\Phi$ .

Durch die Arbeiten von van der Waerden (1968) und Aaboe (1968 und 1969) wurde klargestellt, wie  $\Phi$  und  $G$  zusammenhängen; Aaboe konnte zeigen, wie  $G$  anhand von Hilfstafeln aus  $\Phi$  abgeleitet wurde. Es wurde darauf hingewiesen, daß es auch für  $\hat{G}$  gilt,<sup>3</sup> daß Werte ( $\hat{G}_i$  und  $\hat{G}_{223+i}$ ), die 1 Saros auseinander liegen, fast gleich sind: ihre Differenz  $|\hat{G}_{223+i} - \hat{G}_i|$  beträgt genau  $d_\Phi$ . Für  $\hat{G}$  gilt also eine ähnliche Relation wie (8.1) für  $\Phi$ :

<sup>3</sup>Mit  $\hat{G}$  meinen wir die lineare Zickzack-Version von  $G$ ;  $G$  selber ist nur stückweise linear, seine Extrema sind abgerundet.

$$|\hat{G}_{223+i} - \hat{G}_i| = d_\Phi = \frac{3}{28} d_G. \quad (8.3)$$

Diese Erkenntnisse zusammen mit unserem Wissen, wie die Babylonier  $\Delta^1 t$  ausrechneten, nämlich als

$$1 \text{ synodischer Monat} = \Delta^1 t = 29 \text{ Tage} + G + J, \quad (8.4)$$

führten zu folgender Relation:  $1 \text{ Saros} = \Delta^{223} t = 6585 \text{ Tage} + \Phi$ . Sie ist gültig für das Halbjahr in dem  $J = 0$  ist; dies ist genau dann der Fall, wenn der synodische Bogen des Mondes  $\Delta \lambda$  gleich  $30^\circ$  ist.

Neugebauer weicht damit von seiner ersten Vermutung über  $\Phi$  ab: überzeugt von van der Waerdens und Aaboes Interpretation folgert er (HAMA I, S. 505): „The fundamental relation which connects the function  $\Phi$  with the eclipse cycle of 223 months rests on the definition

$$1 \text{ Saros} = 223 \text{ synodic months} = 6585^d + \Phi^H \quad (8.5)$$

counted from the end of the month for which  $\Phi$  is tabulated“.<sup>4</sup>

Um nachzuprüfen, wie gut Relation (8.5) die Natur annähert, berechnete ich für eine Reihe  $S_1, S_2, S_3, \dots$  aufeinanderfolgender Syzygien die jeweilige Dauer  $\Delta^{223} t_1, \Delta^{223} t_2, \Delta^{223} t_3, \dots$  der Saroi, die mit diesen Syzygien endeten. Beim Betrachten der berechneten Zahlen sah ich zu meiner großen Überraschung, daß sie während der Zeit von 223 synodischen Monaten 18 mal ein Maximum erreichten und nicht, wie erwartet, 16 mal. Dies bedeutet aber, daß man, wenn man genau das beobachtet, was Kolonne  $\Phi$  astronomisch bedeuten soll, eine Funktion erhält, die *nicht* mit der Periode  $P_\Phi$  ( $\approx P_G$ ) von Kolonne  $\Phi$  schwingt, sondern mit der Periode  $P_\odot$ .

Ich bezweifelte, daß (8.5) die grundlegende Relation zur Konstruktion von Kolonne  $\Phi$  sei, und fing an zu überlegen, welche babylonischen Beobachtungen wohl Information über  $v_G$  enthielten: Informationen, durch welche die Babylonier die Größe von  $P_\Phi$  hätten bestimmen können.

Die Frage, warum die Kurve  $(i, \Delta^{223} t_i)$  mit der falschen Frequenz schwinde, motivierte die Untersuchungen von periodisch variierenden Schwingungen mit variabler Amplitude, die in Brack-Bernsen (1980) publiziert wurden und die oben in Kapitel 7 besprochen worden sind.

Jetzt verstehen wir, warum die „beobachtete Kurve  $(\Delta^{223} t)$ “, die zuunterst in Abb. 7.1 abgebildet ist, eine Schwebung ist, deren mittlere Periode  $P_\odot$  gleicht: Die variable Sonnengeschwindigkeit bewirkt eine größere Variation der Saroslänge von  $1 \frac{1}{2}^h$ , während die Unregelmäßigkeit von  $v_G$  nur eine Variation von ca.  $1^h$  zur Folge hat.

<sup>4</sup>Die Einheit  $H$ , in der  $\Phi$  hier angegeben ist, ist die Einheit, in der Neugebauer die Zahlen von Kolonne  $G$  wiedergab.  $H$  ist gleich 4 Stunden und wird eine „Großstunde“ genannt.

Eine babylonische Formel zur Berechnung der Sarosdauer müßte folgendermaßen aussehen:

$$1 \text{ Saros} = \Delta^{223}t = 6585^d + \Phi^H + S, \quad (8.6)$$

wobei der Beitrag  $S$  mit einer größeren Amplitude schwingt als der von  $\Phi$ . Diese Formel wäre ganz analog zu Formel (8.4) zur Berechnung von  $\Delta^{12}t$ . Sie wurde schon 1969 von Aaboe postuliert, und er zeigte, wie dadurch der zu hohe Mittelwert von  $\Phi$  korrigiert wurde. Aaboe berechnete auch die Amplitude von  $S$ , die sich als größer im Vergleich zu derjenigen von  $\Phi$  herausstellte – ganz in Übereinstimmung mit unserem Resultat – doch hat er nicht die Konstruktion von  $\Phi$  aus beobachteten Längen von Saroi in Frage gestellt...

Die postulierte Funktion  $S$  ist nie in den babylonischen Texten gefunden worden, was gegen die Deutung (8.6 und 8.5) spricht. Auch aus einem ganz anderen Grund meldete Aaboe (1969, S.16) Bedenken gegen (8.6) an: Kolonne  $\Phi$  tritt in dem ganz frühen Text  $S$  auf,<sup>5</sup> zusammen mit einer primitiven Version der Sonnengeschwindigkeit. Das bedeutet, daß  $\Phi$  in seiner vollständigen Form vorhanden war, ehe System A fertig entwickelt worden ist. Doch so wie Aaboe die Größe  $S$  konstruiert hat, hängt sie, wie er selber bemerkt, von der Kolonne B (System A) in ihrer endgültigen Form ab. Mit anderen Worten: die Formel (8.6) und damit auch die bisherige Deutung von  $\Phi$  basiert auf Kolonne B und kann deshalb erst nach der Entwicklung von B aufgestellt worden sein. Aber  $\Phi$  war vor B vorhanden.

Aaboe (1969, S.16) unterstreicht die zentrale Rolle von  $\Phi$  und schreibt, daß er noch nicht erklären kann, wie es möglich ist, die Amplitude von  $\Phi$  aus solchen Beobachtungen herzuleiten, wie sie die Babylonier aufzeichneten. Ich denke, das noch größere Problem liegt in der Bestimmung der  $\Phi$  zugrundeliegenden Periodenrelation, oder, damit äquivalent, in der Bestimmung von  $P_\Phi$ . Denn diese Periode  $P_\Phi$  kann nicht unmittelbar aus beobachteten Längen von Saroi gefunden worden sein.

Britton (1987) zeigte, wie es möglich ist, Kolonne  $\Phi$  unabhängig vom Sonnenmodell (d.h. Kolonne B) des Systems A zu konstruieren. Er verbindet dabei  $\Phi$  mit zwei anderen Zeitintervallen, nämlich mit  $\Delta^{12}t$  (die Dauer von 12 synodischen Monaten) und mit  $\Delta^{235}t$  (die Dauer von 235 synodischen Monaten  $\simeq$  19 Jahren, ein Zyklus, der schon ab 490 v. Chr. von den Babyloniern verwendet wurde). Die von der Mondgeschwindigkeit abhängige Variation von  $\Delta^{12}t$ , ( $\Lambda$ ), wird in den Keilschrifttabellen auf ähnliche Weise wie  $G$  von  $\Phi$  abgeleitet.<sup>6</sup> In seiner Rekonstruktion von  $\Phi$  läßt Britton bewußt die Parameter von  $\Phi$  so wählen, daß die beiden Zeitintervalle  $\Delta^{12}t$  und  $\Delta^{235}t$  schöne Symmetrien aufweisen. Dies setzt aber sehr viel Einsicht und eine vernünftige Notation voraus, was recht bedenklich ist, zumal es hier um die Entstehung oder Entwicklung einer der ersten Kolonnen der mathematischen Astronomie geht. Die babylonische Astronomie ist

<sup>5</sup>Dieser Text  $S$  wurde bereits im Abschnitt 2.2 besprochen.

<sup>6</sup>Siehe Aaboe, 1971.

ja die allererste mathematische Wissenschaft unserer Welt. Die ersten Regeln und Erkenntnisse müssen demnach empirischer Natur gewesen sein. Wann und wie aber ein theoretisches Verständnis der Dinge dazugekommen ist, ist schwer zu sagen.

Nach meiner Auffassung ist Kolonne  $\Phi$  zuerst empirisch – und unabhängig von  $\Delta^{12}t$  und  $\Delta^{235}t$  – gefunden worden. Erst danach hat man die eleganten Methoden zur Berechnung von  $\Lambda$  und  $G$  entwickelt. Die auftretenden Symmetrien folgen als Konsequenz der Methode, nach der die Babylonier von der Zickzack-Funktion  $\Phi$  ausgehend andere periodische Schwingungen mit der gleichen Periode  $P_\Phi$ , aber mit einer anderen Amplitude als der von  $\Phi$ , konstruierten.

Maeyama (1978, Fig. 2) bemerkte, wie schon im Kapitel 6 besprochen, daß  $\Delta^{223}t$  groß ist, wenn  $v_\odot$  groß ist, und klein, wenn  $v_\odot$  klein ist. Er stellte darauf die Hypothese auf, daß die beobachteten ungleichen Längen von Saroi den Babyloniern ermöglichten, die Anomalie der Sonne zu entdecken (und Kolonne B zu entwickeln) – und daß sie erst danach Kolonne  $\Phi$  konstruierten. Er postulierte, daß die Dauer von Saroi, wenn immer zur gleichen Jahreszeit beobachtet, zu der Konstruktion von Kolonne  $\Phi$  geführt habe. Wie dies anhand von babylonischen Beobachtungen vor sich gehen kann, hat er nicht im Detail ausgeführt. Er weist aber auf die vielen babylonischen Berichte und Aufzeichnungen über Mondfinsternisse hin.

In der Zwischenzeit sind etliche dieser Berichte und Finsternislisten übersetzt worden, und es hat sich gezeigt, daß die Zeitangaben recht unpräzise sind. Wie man aus solchen Daten die Periode  $P_\zeta$  (oder  $\varphi$ ) bestimmt haben soll, ist mir nicht klar. Ich glaube eher, diese Periode ist anders gefunden worden. Dennoch ist es offensichtlich, daß die Babylonier die Kolonne  $\Phi$  mit Mondfinsternissen in Verbindung brachten. Der oben erwähnte Text S – der früheste bekannte, der  $\Phi$  enthält – listet für eine Reihe von Konjunktionen, an denen Sonnenfinsternisse möglich waren, die entsprechenden  $\Phi$ -Werte auf. Doch diese  $\Phi$ -Werte sind, wie schon bemerkt, kombiniert mit berechneten Positionen der Konjunktionen. Und diese Positionen sind *nicht* nach Kolonne B berechnet worden, sondern nach einem primitiveren Schema, welches nicht die Ekliptik in einen schnellen und einen langsamen Bogen teilt.

Fassen wir zusammen:

Obwohl alle Argumente, die zu (8.5) oder (8.6) führen, korrekt sind, kann man keineswegs mit Sicherheit sagen, daß die Babylonier in diesen Formeln dachten. Die Bemerkung „17,46,40 is the change for 18 years“ (die in Kombination mit unserem Wissen über  $\Phi$ ,  $G$  und  $J$  zu der Interpretation führte) kann auch als eine einfache Kontrollregel aufgefaßt werden. In vielen Lehrtexten treten solche Regeln auf, die dazu dienen, die berechneten Werte der verschiedenen Kolonnen zu überprüfen. So steht z.B. in Lehrtext ACT 220a section 1 line 6: „for 15 month 9,15,33,20 is the change“. Neugebauer kommentiert diese Stelle: „The meaning is clear. If one compares the values of  $\Phi$  for

line  $n$  and for line  $n + 14$  (called 'for 15 month') one finds the difference 9,15,33,20. This is obviously an important checking rule for the computation of  $\Phi$ .<sup>7</sup>

Selbst wenn die Babylonier (8.5) oder (8.6) kannten, glaube ich trotzdem nicht, daß Kolonne  $\Phi$  aus beobachteten Dauern von Saroi konstruiert wurde. Daß die Relation (8.1) für die lineare Zickzack-Funktion  $\Phi$  zutrifft, kann ich nur als Konsequenz der gewählten Periodenrelation (8.2) sehen. Die Aussage von (8.1) ist ja, daß der Unterschied der Dauer von zwei nacheinanderfolgenden Saroi  $|\Delta^{223}t_i - \Delta^{223}t_{i+223}|$  gleich  $\varphi = 0;17,46,40$   $u\check{s}$  beträgt. Nun ist  $0;17,46,40$   $u\check{s}$  gleich  $1;11,6,40$  Minuten  $\approx 1^{min} 11^{sec}$ . Die Finsternisberichte bezeugen aber nur eine Genauigkeit der Zeitangaben von  $\pm (1/2$  bis  $1 1/2)$  Stunden.<sup>8</sup> Um aus Daten mit einer solch großen Ungenauigkeit  $\varphi$  oder damit äquivalent  $P_\Phi$  genau zu bestimmen, wären Beobachtungen über eine unwahrscheinlich lange Zeit nötig gewesen.

Die einzigen babylonischen Beobachtungsdaten, die eine Genauigkeit von Bruchteilen von Minuten aufweisen, sind die Lunar Six. Im nächsten Kapitel wird gezeigt, wie es möglich ist, aus solchen 'babylonischen' Daten die Periode  $P_\Phi$  zu bestimmen.

Man kann an der Interpretation von  $\Phi$  festhalten: die Größe  $\Phi$  gibt den vom Mond herrührenden Beitrag zur Dauer des Saros an. Dies ist astronomisch vertretbar. Ein dominierender Term  $S$  müßte auch berücksichtigt werden - er kommt aber in den Texten nicht vor. Es fragt sich deshalb, ob die Babylonier die Kolonne  $\Phi$  auch so verstanden haben wie oben beschrieben, oder ob sie diese Zusammenhänge gar nicht bemerkt und  $\Phi$  ganz anders aufgefaßt haben. Ich meine, das letztere trifft zu.

**Zeiteinheiten:** In ACT führte Neugebauer die Zeiteinheit  $H$  als Großstunde ein. Eine Großstunde  $= 1^H$  ist gleich 4 Stunden. Die Zahlen von Kolonne G und  $\Phi$  gab er in Einheiten von  $H$  wieder. Ich möchte aber lieber die Einheit  $u\check{s}$  benützen. Die Einheit  $H$  kommt nämlich (im Gegensatz zu  $u\check{s}$ ) in den babylonischen Texten nicht vor. Die beobachtete Dauer der Lunar Six wurden in der Einheit  $u\check{s}$  angegeben.  $1$   $u\check{s}$  (von den Griechen 'Zeitgrad' genannt) ist gleich 4 Minuten. Dies ist die Dauer einer Drehung der Himmelskugel um  $1^\circ$  in ihrer täglichen Bewegung um  $24^h = 1^d = 360^\circ$ . Nun ist  $1^H = 60$   $u\check{s} = 1,0$   $u\check{s}$ ; und da die Babylonier in ihren Zahlen die Nullstelle nicht angeben, können wir die Zahlen von Kolonne G und  $\Phi$  genauso gut in Einheiten von  $u\check{s}$  lesen. Wir müssen dabei nur das von uns gesetzte „;“, das die Nullstelle der Zahl angibt, um eine Position nach rechts verschieben.

<sup>7</sup>ACT, S. 210.

<sup>8</sup>Stephenson und Fatoohi (1993) haben die Zeitangaben sämtlicher datierbaren babylonischen Berichte über Mondfinsternisse anhand moderner Computerberechnungen kontrolliert. Dadurch haben sie zeigen können, daß die Zeitmessung noch ungenauer war, als bis jetzt angenommen wurde: Die mittlere Abweichung zwischen berechneten und von den Babyloniern gemessene Dauer der Finsternisse beträgt eine halbe Stunde. Die babylonischen Angaben über die Zeitpunkte der Finsternisse sind noch ungenauer: im Mittel beträgt ihre Abweichung von berechneten Werten etwa 50 Minuten.

## Kapitel 9

# Die Rekonstruktion von $\Phi$ aus Lunar-Four-Daten

### 9.1 $P_{\Phi}$ und die babylonischen Lunar-Four-Daten

Wie oben gesehen, kann Kolonne  $\Phi$  kaum aus Beobachtungen der Dauer von Saros herkommen – und doch glaube ich, daß sie direkt aus Beobachtungen stammt. Sie hat eine Verbindung zum Saros, wie dem Sarostext zu entnehmen ist; doch das Erstaunlichste und für mich Wichtigste ist, daß ihre Periode  $P_{\Phi}$  eine sehr gute Annäherung von  $P_{\zeta}$  ist. Es stellt sich jetzt die Frage, ob es überhaupt möglich ist,  $P_{\zeta}$  aus den überlieferten, relativ primitiven Beobachtungen der Babylonier herzuleiten? Die Antwort lautet: „Ja!“.

Aus den 'Diaries' wissen wir genau, welche Mondphänomene die Babylonier regelmäßig beobachtet und notiert haben. Dies sind, außer Finsternissen und Passagen bei den Normalsternen,<sup>1</sup> die in Abschnitt 4.4 bereits besprochenen Lunar Six. Diese Zeitintervalle wurden über Jahrhunderte hinweg beobachtet und auch berechnet, doch hat man bis jetzt nicht herausgefunden, wozu sie dienten. Sie sind sehr einfach zu beobachten, jedoch von einem theoretisch-astronomischen Gesichtspunkt aus äußerst komplizierte Funktionen mehrerer Variablen.

Im folgenden werden wir die Lunar Four näher betrachten; dies sind die vier verschiedenen Zeitintervalle, die um Vollmond herum beobachtet wurden. Wir wiederholen ihre Definition:

- $\check{S}\check{U}$  = Zeit vom letzten Monduntergang vor Opposition bis Sonnenaufgang
  - $ME$  = Zeit vom letzten Mondaufgang vor Opposition bis Sonnenuntergang
  - $NA$  = Zeit vom ersten Sonnenaufgang nach Opposition bis Monduntergang
  - $GE$  = Zeit vom ersten Sonnenuntergang nach Opposition bis Mondaufgang
- (9.1)

Um die Zeitintervalle  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  zu bestimmen, müssen die Monduntergänge am westlichen Horizont am letzten Morgen vor Opposition sowie am nächsten Morgen, also

---

<sup>1</sup>In Diskussionen hat Chr. P. Moesgaard von seinen Untersuchungen über Passagen des Mondes bei den Normalsternen berichtet. Er brachte überzeugende Argumente dafür, daß  $\Phi$  nicht aus solchen Beobachtungen hergeleitet werden konnte.

gerade nach der Opposition, beobachtet werden. Ähnliche Beobachtungen der Mondaufgänge am östlichen Horizont, an den beiden Abenden vor und nach Opposition, liefern uns die zwei Intervalle  $ME$  und  $GE$ .<sup>2</sup> Diese Zeitdifferenzen wurden in  $u\text{s}$  gemessen. Welche Informationen enthalten nun diese Beobachtungen? – Sie enthalten wohl Informationen über alle die Variablen, welche die Größe dieser Zeitintervalle bestimmen. Wie schon erwähnt, waren die Babylonier erstaunlicherweise imstande, die Lunar Four sehr geschickt und unter Berücksichtigung aller wichtigen Faktoren zu berechnen (Lehrtext No. 201 in ACT I, S. 226-240). 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 berücksichtigen.

Wir gehen im Folgenden umgekehrt vor, indem wir versuchen, aus den beobachteten Lunar Four die Mondperiode  $P_{\ell}$  zu isolieren. Ein dominierender Faktor ist die sogenannte 'oblique ascension'. Sie kommt daher, daß Sonne und Mond sich auf der Ekliptik bewegen, während Zeiten und Zeitdifferenzen auf dem Äquator gemessen werden; dieser bildet mit der Ekliptik einen Winkel von ca.  $23^{\circ}$ . Bei der täglichen Drehung der Himmelskugel 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  $33^{\circ}$  und  $81^{\circ}$ . 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  $10^{\circ}$  auf der Ekliptik liegt, dauert es zwischen  $6^{\circ};45$  und  $13^{\circ};15$  für diesen Bogen, den Horizont zu passieren. (Hier haben wir, wie die Babylonier, die Zeit in Zeitgrad angegeben.) – Die Aufgangszeit des Ekliptikbogens hängt also stark von ihrer Position  $\lambda$  in der Ekliptik ab.

Die Grundidee unserer Behandlung der Lunar Four (Brack-Bernsen, 1990) basiert auf folgender Tatsache, welche 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,<sup>3</sup> indem wir

<sup>2</sup>Das letztere ist in der Fachliteratur mit  $GE_6$  bezeichnet.

<sup>3</sup>Eine kurze Bemerkung zur 'oblique ascension': Am Erdäquator steht der Himmelsäquator senkrecht zum Horizont – wir nennen dies 'sphaera recta' – und die Aufgangsphänomene am Horizont lassen sich relativ einfach stereometrisch beschreiben. Bei jeder anderen geometrischen Breite – bei 'sphaera obliqua' – steht der Himmelsäquator schräg zum Horizont und die Beschreibung der Aufgangsphänomene sind viel komplizierter; der 'schräge Aufgang' wird 'oblique ascension' genannt.

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 beschaffen. 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:  $O_1, O_2, O_3, \dots O_i$ , und die dazu gehörigen Lunar Four  $\check{S}U_i, NA_i, ME_i$  und  $GE_i$ . Aus diesen bilden wir nun die Summe und bezeichnen sie mit  $\Sigma_i$ :

$$\Sigma_i = \check{S}U_i + NA_i + ME_i + GE_i . \quad (9.2)$$

In Abbildung 9.1 haben wir  $\Sigma_i$  als Funktion der Lunationsnummer  $i$  über 240 Monate hinweg abgebildet. (Die Kreuze „×“ markieren die bei jeder Opposition berechneten Werte von  $\Sigma_i$ . Um das Bild der Kurve zu verdeutlichen, haben wir diese Punkte mit Geraden verbunden.)

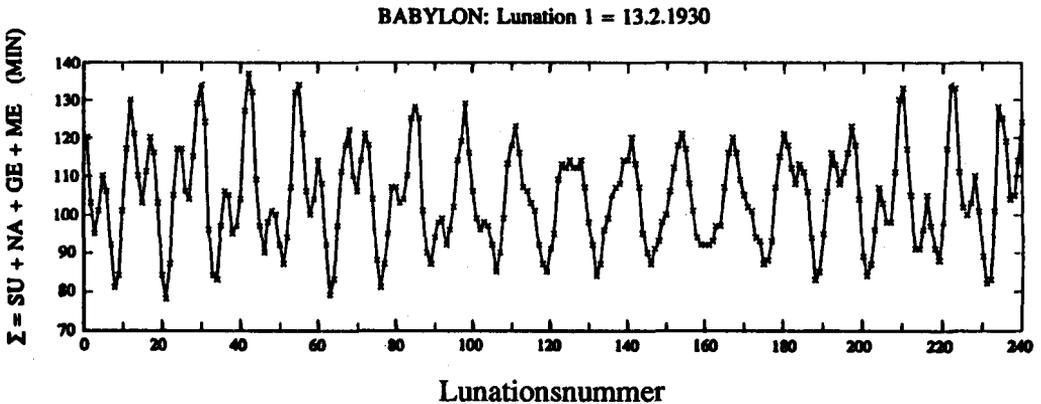


ABBILDUNG 9.1: Die Summe  $\Sigma_i$  der Lunar Four, abgebildet als Funktion der Lunationsnummer  $i$ .  $\Sigma_i$  wurde (in Minuten) berechnet für Babylon über eine Periode von 240 synodischen Monaten; angefangen bei Lunation 1 am 13.2.1930 n. Chr.

Wir sehen, daß  $\Sigma_i$  tatsächlich mit einer Periode von  $\simeq 14$  Monaten variiert. Wenn man diese Periode über eine längere Zeit mittelt, erhält man  $13;57$  synodische Monate, also eine sehr gute Näherung zu  $P_{\zeta} = 13;56,39,6, \dots$  synodische Monate. Genau eine solche Kurve haben wir gesucht, um Kolonne  $\Phi$  zu rekonstruieren. Sie stammt direkt aus möglichen Beobachtungen und liefert uns die gesuchte Periode  $P_{\zeta}$ .

## 9.2 $\Phi$ und die Summe $\Sigma$ der Lunar Four

Ist es möglich, die Funktion  $\Sigma$  mit  $\Phi$  in Verbindung zu bringen? Wir hatten  $\Sigma$  in Minuten ausgerechnet, während  $\Phi$  der herkömmlichen Interpretation zufolge in Großstunden  $H$  gemessen wird. Diese beiden Zeiteinheiten können in Zeitgrad ( $u\ddot{s}$ ) umgerechnet werden [ $4 \text{ Min.} = 1^\circ = 1 u\ddot{s}$  und  $1H = 4^h = 240 \text{ Min.} = 60^\circ = 1,0 u\ddot{s}$ ].

In Abbildung 9.2 vergleichen wir die beiden Funktionen  $\Sigma$  und  $\Phi$ , nachdem wir von allen  $\Phi$ -Werten  $100^\circ$  abgezogen haben (wir haben also die originale Zickzack-Funktion  $\Phi$  um  $100^\circ$  nach unten verschoben). Da wir nicht wissen, wo (das heißt bei welcher Lunation) die Funktion  $\Phi$  in unserer Zeit ihr Minimum haben würde, haben wir sie so hingelegt, daß die Übereinstimmung zwischen der berechneten Kurve und der verschobenen  $\Phi$  maximal ist (die lineare Zickzack-Funktion ist also entlang der  $x$ -Achse verschoben worden). Wir sehen, daß die Zickzack-Funktion unsere „Beobachtungsfunktion“  $\Sigma$  sehr gut nähert.

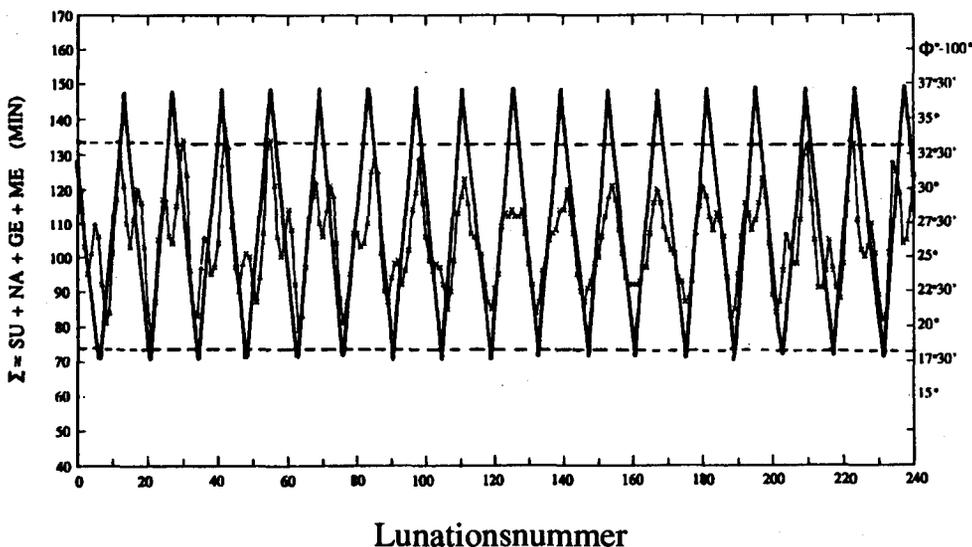


ABBILDUNG 9.2:  $\Sigma$ ; wie in Abbildung 9.1. Die lineare Zickzack-Funktion zeigt die Werte der Kolonne  $\Phi$  (in Zeitgraden  $1^\circ = 4 \text{ Min.}$ ), vertikal um  $100^\circ$  nach unten verschoben. Die gestrichelten horizontalen Geraden geben an, wo die Babylonier die Zickzack-Funktion abschnitten.

Die beiden Kurven haben die gleiche Periode und ähnliche Amplituden, so daß wir postulieren (Brack-Bernsen, 1990):

$\Phi$  ist von der Summe  $\Sigma$  der Lunar Four abgeleitet worden. (9.3)

Dies läßt sich z.B. folgendermaßen durchführen:  $\Sigma_i$ , 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  $100^\circ$  nach oben verschoben, und damit ist die Funktion  $\Phi_i$  entstanden. Warum sie dies taten, kann ich nicht erklären. Es hängt vermutlich damit zusammen, daß  $\Phi$  zur Konstruktion von  $G$  benutzt wurde. Dies ist wohl der schwächste Punkt in meiner Rekonstruktion, doch ist er nicht ganz abwegig, denn es scheint, daß im Sarostext eine zweite, nach unten verschobene Version von  $\Phi$  vorkommt. In Sektion 14, Zeilen 30 und 31 des Sarostextes treten ein Maximum (assoziiert mit minimaler Mondgeschwindigkeit) und ein Minimum (mit maximaler Mondgeschwindigkeit assoziiert) auf. Neugebauer bemerkt, daß ihre Differenz gleich  $\Delta_\Phi$  ist, also der Amplitude von  $\Phi$ . Doch die Extrema sind nicht die von  $\Phi$ , sondern beide um  $\simeq 0;51^H = 51^\circ$  kleiner (Neugebauer, 1957a, SS. 10,20). 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  $100^\circ$ , die andere um  $49^\circ$  nach oben verschoben).

Zusammenfassend können wir sagen: es ist möglich, den Effekt der 'oblique ascension' durch die Kombination von Beobachtungen am westlichen und östlichen Horizont zu eliminieren. Damit kann eine Funktion mit der Periode  $P_\zeta$  direkt aus Größen abgeleitet werden, die von den Babyloniern beobachtet wurden. Diese Funktion  $\hat{\Sigma}$  unterscheidet sich nur durch eine Konstante von  $\Phi$ , weshalb wir meinen, daß  $\Phi$  von  $\hat{\Sigma}$  und damit von der Summe der Lunar Four her stammt. Als weitere Unterstützung dieser Hypothese kann erwähnt werden, daß die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  in den Goal-Year-Texten (LBAT) oft vorkommen und daß ihre ausgerechneten Werte notiert wurden. Die Babylonier haben sich also tatsächlich für Summen aus den Lunar Four interessiert und sie ausgerechnet. Dies gibt zum ersten Mal eine Erklärung dafür, wozu die Babylonier die Lunar Four verwendet haben können.

Beim ersten Nachweis (Brack-Bernsen, 1990), wie Kolonne  $\Phi$  von Horizontbeobachtungen hergeleitet werden kann, standen nur moderne Daten zur Verfügung. Deshalb zeigt Abbildung 9.2 nur, daß  $\Sigma$  und  $\Phi$  dieselben Perioden und Amplituden haben.

Inzwischen wurde von Moshier (1987 – 1995) ein präziseres Computerprogramm entwickelt, das es erlaubt, Ephemeriden des Sonnensystems auch für archäologische Zeiten zu berechnen. Dies ist von großem Vorteil, denn es ermöglicht uns, die babylonischen Daten direkt zu kontrollieren und dabei ein altes „babylonisches Zahlenmaterial“ zu konstruieren.

In Brack-Bernsen (1994) haben wir  $\Sigma$  für 260 Monate aus der Seleukidischen Zeit berechnet: Lunation 1 ist der Vollmond, der sich am 23. Januar 146 v. Chr. (JD 1668119)

ereignete.<sup>4</sup> In Abbildung 9.3 haben wir  $\Sigma$  für diese 260 Monate abgebildet ( $\times$  mit dicken Strichen verbunden). Diese Kurve hat erwartungsgemäß exakt dieselbe Struktur wie diejenige aus unserer Zeit, die wir in Brack-Bernsen, 1990 benützten. Sie hat aber den Vorteil, daß wir sie direkt mit der Zickzack-Funktion  $\Phi$  vergleichen können, um festzustellen, ob ihre *Phasen* wirklich auch so übereinstimmen, wie sie es müssen, wenn unsere Hypothese (9.3) richtig ist. Da die Lunationen in Abbildung 9.3 in die Seleukidische Ära fallen, können ihre  $\Phi$ -Werte ermittelt werden. Die dünne gestrichelte Linie zeigt uns die lineare Zickzackfunktion  $\Phi - 100$  us (in Minuten umgerechnet). Sie stellt eine optimale Überdeckung der „beobachteten Kurve“  $\Sigma$  dar. Wie wir es hofften, *haben  $\Sigma$  und  $\Phi$  also exakt dieselbe Phase*. Dies stellt eine klare Bestätigung meiner Hypothese dar.

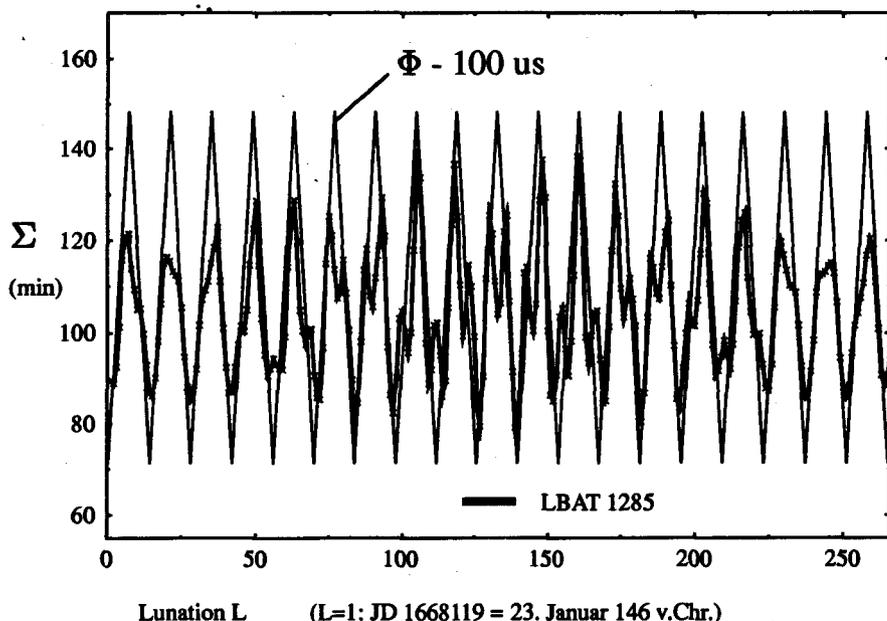


ABBILDUNG 9.3: Die Summe  $\Sigma = \check{S}\check{U} + NA + ME + GE$  der Lunar Four als Funktion der Lunationsnummer  $L$  ( $\times$  mit dicken Strichen verbunden), berechnet für Babylon über eine Periode von 260 Monaten (ab JD 1668119 = 23. Januar 146 v. Chr.). Die dünne Linie zeigt die babylonische lineare Zickzack-Funktion  $\Phi - 100$  us, ermittelt für diese Zeitspanne und in Minuten umgerechnet. Der horizontale Balken kennzeichnet die Zeitspanne der Monddaten aus der Tafel LBAT 1285 in Abschnitt 12.2.

<sup>4</sup>JD ('Julian Day') = Julianischer Tag in absoluter Zählung (JD 0 = 1. Januar 4713 v. Chr.)

### 9.3 $\Sigma$ und der Saros

Meiner Hypothese nach stammt  $\Phi$  von der Summe  $\Sigma$  der Lunar Four. Vom Sarostext wissen wir, daß  $\Phi$  mit dem Saros verknüpft ist. Wie steht es denn mit  $\Sigma$  und dem Saros? Es zeigt sich zu unserer Überraschung, daß unsere Funktion  $\Sigma$  auch eng mit dem Saros verbunden ist. Die Form der einzelnen Schwingungen von  $\Sigma$  ist sehr variabel. Sie ändert sich ständig, wie wir in Abbildung 9.1 sehen können, aber die speziellen und oft bizarren Formen der Schwingungen wiederholen sich nach einem Saros. In Abbildung 9.4 haben wir zwei Zeitabschnitte der Kurve  $\Sigma$ , 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  $(i, \Sigma_i)$  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.

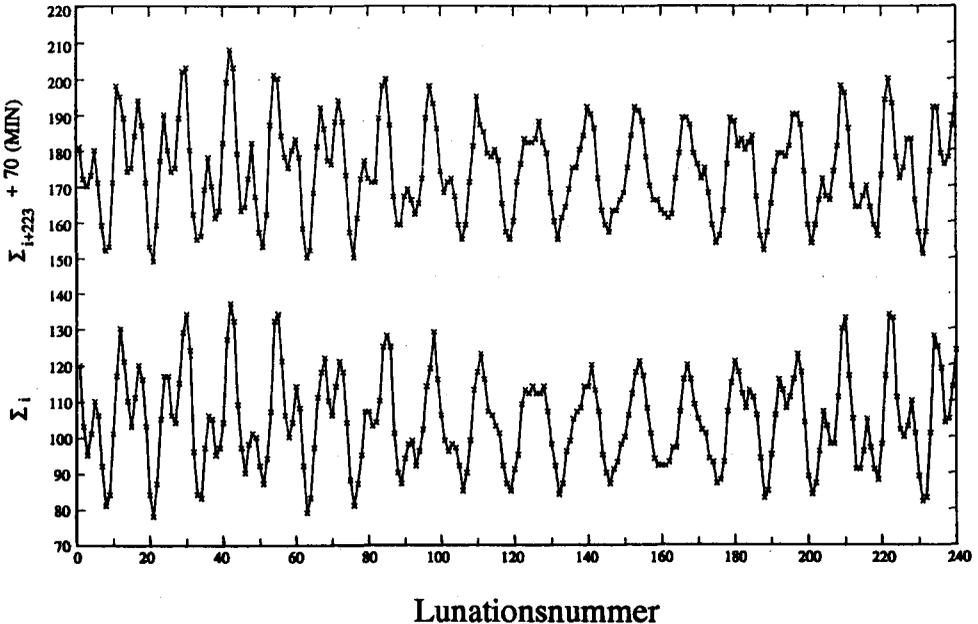


ABBILDUNG 9.4: Unten: Die Werte  $\Sigma_i$  wie in Figur 3. Oben:  $\Sigma_{i+223}$ , d.h. die Werte von  $\Sigma$  einen Saros (= 223 Monate) später (um 70 Minuten nach oben verschoben). Man beachte, wie sich die komplizierte Feinstruktur des Kurvenverlaufes nach einem Saros fast identisch wiederholt.

Vergleicht man aber Abschnitte unserer Kurve  $\Sigma$  miteinander, die mehrere Saroi auseinanderliegen, so zeigt es sich, daß die Punkte, die 1, 2, 3, ... Saroi vom Anfangspunkt  $(i, \Sigma_i)$  entfernt liegen, auf der Kurve nicht ganz stationär sind, sondern sich langsam verschieben: ist  $(i, \Sigma_i)$  ein 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,  $28 \times 223$  Lunationen) vorwärts in der Zeit, so kommt man nicht zu einem Maximum, sondern zu einem Punkt, der 3 Lunationen vor einem Maximum liegt.

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

$$28 \text{ Saroi} + 3 \text{ synodische Monate} = 28 \cdot 16 P_{\zeta}, \quad (9.4)$$

oder:

$$(28 \cdot 223 + 3) \text{ synodische Monate} = 6247 \text{ synodische Monate} = 448 P_{\zeta}. \quad (9.5)$$

Diese in unserem Zahlensystem geschriebene Relation ist identisch mit der sexagesimal notierten Relation (8.1), die der Kolonne  $\Phi$  zugrunde liegt.

Diese grundlegende Relation können wir also 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  $\Sigma$  und die von ihr hergeleitete Relation das Primäre in Bezug auf Kolonne  $\Phi$ . Die Bemerkung im Sarostext ist richtig, aber sekundär. Sie folgt aus der Periodenrelation und daraus, daß  $\Phi$  als lineare Zickzack-Funktion konstruiert wurde. Diese beruht auf dem Sachverhalt, daß Punkte auf  $\Sigma$  und damit auch auf  $\Phi$ , 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  $\Phi$ . Durch Division finden wir, daß nach einem Saros die Verschiebung  $(3:28) \times d_{\Phi}$  beträgt. Genau dies sagt der Sarostext aus (Sekt. 14), denn  $17,46,40 = (3:28) \times d_{\Phi}$ . Er beinhaltet also nach unserer Auffassung nicht zwingend eine Interpretation oder Deutung von  $\Phi$ .

## Kapitel 10

# Astronomische Deutung von $\check{S}\check{U}+NA$ und $ME+GE$ sowie deren Summe $\Sigma$

Es ist demonstriert worden, daß  $\Phi$  von der Summe  $\Sigma$  der Lunar Four abgeleitet werden kann. Noch wichtiger ist jedoch, daß wir in  $\Sigma$  erstmals eine Größe haben, die alleine auf 'babylonischen Beobachtungen' basiert und die uns die Periode  $P_{\zeta}$  liefert. Wie wollen jetzt überlegen, was wir messen, wenn wir die Summe der Lunar Four bilden, d.h. was die astronomische Bedeutung von  $\Sigma$  ist.

Wir verfolgen in diesem Kapitel zwei Absichten:

- Wir wollen die astronomische Deutung der Summe  $\Sigma$  der Lunar Four darlegen, zuerst aber ihre Teilsummen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  deuten.
- Wir wollen gleichzeitig zeigen, warum man einfach durch Addieren der Lunar Four Zugang zu einzelnen Variablen finden kann, von denen sie abhängen.

Wir nehmen die Resultate vorweg: Jedes der Lunar-Four-Zeitintervalle ist bestimmt durch vier Variablen: die Länge  $\lambda_{\zeta}$  des Mondes bei Opposition, die momentane Geschwindigkeit  $v_{\zeta}$  des Mondes zu diesem Zeitpunkt, die Breite  $\beta_{\zeta}$  des Mondes sowie eine Zeitdifferenz  $\Delta t$  zwischen Opposition und Sonnenauf- respektive -untergang.

Durch Addition von  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  (oder  $ME$  und  $GE$ ) werden die Variablen  $\Delta t$  und  $\beta_{\zeta}$  eliminiert. Die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  sind im Wesentlichen von  $\lambda_{\zeta}$  bestimmt -  $v_{\zeta}$  hat nur wenig Einfluß auf ihre Größe. Als Funktionen der Lunationsnummer schwingen sie mit der Periode  $P_{\odot}$ . Durch nochmaliges Addieren wird die Abhängigkeit von  $\lambda_{\zeta}$  reduziert, so daß in der Summe  $\Sigma$  die Variable  $v_{\zeta}$  dominiert: ihr Graph schwingt mit der Periode  $P_{\zeta}$ .

### 10.1 Beobachtung und Bedeutung von $\check{S}\check{U}$ und $NA$

Die Zeitdifferenz  $\check{S}\check{U}$  zwischen letztem Monduntergang und Sonnenaufgang vor Opposition befaßt sich mit dem Mond am westlichen Horizont und der Sonne in der entgegengesetzten Richtung (d.h. am östlichen Horizont). Wir führen deshalb mit dem Symbol  $\odot$  die 'Gegensonne' ein, nämlich den Punkt der Ekliptik, der der Sonne diametral gegenüberliegt. In dem Moment, wo die Sonne aufgeht, geht  $\odot$  unter und *vice*

versa. Demnach ist  $\check{S}\check{U}$  die Zeitdifferenz zwischen Monduntergang und Untergang der Gegen Sonne  $\overline{\odot}$ . Entsprechend ist  $NA$  die Zeitdifferenz zwischen Untergang der Gegen Sonne und Monduntergang am nächsten Morgen.  $ME$  ist die Zeit von Mondaufgang bis zum Aufgang der Gegen Sonne, gemessen am letzten Abend vor Opposition.

Abbildung 10.1 zeigt den westlichen Horizont (als horizontale Linie) im Moment des Sonnenaufgangs am *letzten Morgen N vor Opposition*, nämlich am Morgen, an dem die Größe  $\check{S}\check{U}$  gemessen wird. Die punktierte schräge Linie stellt die Ekliptik dar. Der Pfeil gibt die Richtung an, in der sich Mond und 'Gegen Sonne' entlang der Ekliptik bewegen.<sup>1</sup>

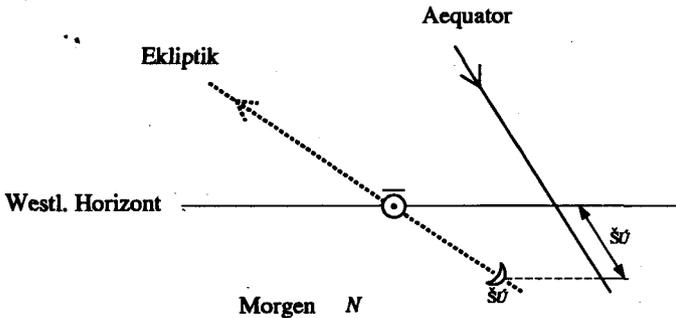


ABBILDUNG 10.1: Die Positionen von Mond und Gegen Sonne am westlichen Horizont im Moment des Sonnenaufgangs am Morgen  $N$ . Der Mond ist schon untergegangen, während die Gegen Sonne gerade den Horizont passiert.

Bei Sonnenaufgang geht der Punkt  $\overline{\odot}$  gerade unter, während der Mond  $\text{☾}_{SU}$  schon untergegangen ist. Während des nächsten Tages bewegen sich Mond (schnell) und Gegen Sonne (langsam) entlang der Ekliptik. Die Opposition findet genau dann statt, wenn der Mond die Gegen Sonne überholt. Die dickere schräge Linie stellt den Äquator dar, und der Pfeil gibt die Richtung der täglichen Umdrehung des Himmels an. Es ist diese Linie, entlang der die Zeit gemessen wird.

Die babylonische Beobachtungsgröße  $\check{S}\check{U}$  ist die Zeit, die der Bogen  $(\text{☾}_{SU}, \overline{\odot}) = e_{SU}$  zwischen  $\text{☾}_{SU}$  und  $\overline{\odot}$  benötigt, um den Horizont zu passieren. Ihre Größe hängt von der Länge des Ekliptikbogens  $e_{SU}$  ab und davon, wie schräg die Ekliptik am westlichen Horizont steht. Der Winkel zwischen der Ekliptik und dem Horizont zu der Zeit, wo  $e_{SU}$  untergeht, hängt davon ab, wo in der Ekliptik dieser Bogen sich befindet. Seine Position in der Ekliptik ist durch  $\lambda_O$  gegeben, die Position der Opposition in der Ekliptik. Die

<sup>1</sup>In dieser Abbildung passiert die Ekliptik den Horizont unter einem kleinen Winkel von  $\sim 34^\circ$ . Dies ist der Fall, wenn der Vollmond nahe dem Frühlingsäquinoktium stattfindet. Hätte sie nahe dem Herbstäquinoktium stattgefunden, dann wäre der Winkel viel größer (etwa  $81^\circ$ ) gewesen.

Länge von  $e_{SU}$  ist durch die relative Geschwindigkeit des Mondes im Verhältnis zur Sonne ( $v_{\check{C}} - v_{\odot}$ ) und durch die Zeit  $\Delta t$  vom Untergang der Gegen Sonne am Morgen  $N$  bis zur Opposition bestimmt.

$$e_{SU} = \Delta t \times (v_{\check{C}} - v_{\odot})$$

Die Geschwindigkeit des Mondes relativ zur Sonne variiert zwischen  $10^\circ$  und  $14^\circ$ . Die Variation des ersten Faktors,  $\Delta t$ , aber ist viel größer. Sie kann  $0^h$  sein, wenn die Opposition unmittelbar nach Sonnenaufgang am Tag  $N$ , und bis zu  $24^h$  werden, wenn die Opposition unmittelbar vor Sonnenaufgang stattfindet.

Wir haben also gelernt, daß  $\check{S}\check{U}$  durch  $\lambda_{\check{C}}$ ,  $v_{\check{C}}$ ,  $\Delta t$  (die Zeit vom Untergang der Gegen Sonne bis zur Opposition) und durch die Breite des Mondes  $\beta_{\check{C}}$  bestimmt ist, die wir hier nicht berücksichtigt haben. Der dominierende Faktor ist  $\Delta t$ .

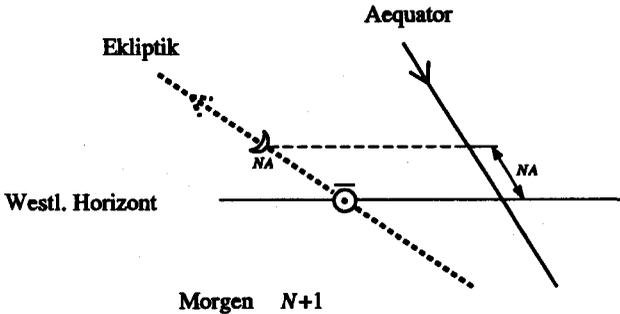


ABBILDUNG 10.2: Derselbe Sachverhalt wie in Abb. 10.1, aber am nächsten Morgen  $N + 1$ : Hier wird der Mond *nach* der Gegen Sonne untergehen.

Abbildung 10.2 zeigt die Situation am nächsten Morgen  $N + 1$ , wenn  $NA$  beobachtet wird. Der Mond hat die Gegen Sonne  $\odot$  überholt - die Opposition hat stattgefunden.  $NA$  ist die Untergangszeit des Ekliptikbogens ( $\odot, \triangleright_{NA}$ ) =  $e_{NA}$ . Analog zum Beispiel  $\check{S}\check{U}$  können wir hier schließen:  $NA$  ist durch den Zeitunterschied  $\Delta t$  zwischen Opposition und Sonnenaufgang am Tage  $N + 1$ , durch  $\lambda_{\check{C}}$  und durch  $v_{\check{C}}$  bestimmt (und durch die hier nicht berücksichtigte Breite des Mondes  $\beta_{\check{C}}$ ). Der dominierende Faktor ist wiederum  $\Delta t$ .

Ähnliche Überlegungen über die Aufgänge des Vollmondes an den beiden *Abenden* vor und nach der Opposition führen zu einem analogen Verständnis von  $ME$  und  $GE$ : dies sind die Aufgangszeiten (wieder in Zeitgrad  $u\check{s}$  gemessen) von den Ekliptikbögen ( $\triangleright_{ME}, \odot$ ) =  $e_{ME}$  respektive ( $\odot, \triangleright_{GE}$ ) =  $e_{GE}$ .

### 10.2 Bedeutung von $\check{S}\acute{U}+NA$ und $ME+GE$

Betrachten wir zuerst die Teilsumme  $\check{S}\acute{U}+NA$ . Abbildung 10.3 faßt die Situation am westlichen Horizont an den beiden Morgen  $N$  und  $N+1$  zusammen, indem sie die beiden Abbildungen 10.1 und 10.2 zu einer Abbildung kombiniert. Weil nur die Bewegung des Mondes relativ zur Sonne von Bedeutung ist, haben wir die Bewegung der Sonne (und damit auch die der Gegen Sonne) während der Zeit von Morgen  $N$  zu Morgen  $N+1$  vernachlässigt. Die Summe  $\check{S}\acute{U}+NA$  ist die Untergangszeit des Ekliptikbogens ( $\mathfrak{D}_{SU}$ ,  $\mathfrak{D}_{NA}$ ). Im allgemeinen Fall findet die Opposition irgendwann zwischen Morgen  $N$  und Morgen  $N+1$  statt:  $\odot$  befindet sich entsprechend irgendwo zwischen  $\mathfrak{D}_{SU}$  und  $\mathfrak{D}_{NA}$ ; je eher nach dem Morgen  $N$  die Opposition stattfindet, desto kürzer ist der Abstand zwischen  $\odot$  und  $\mathfrak{D}_{SU}$ .

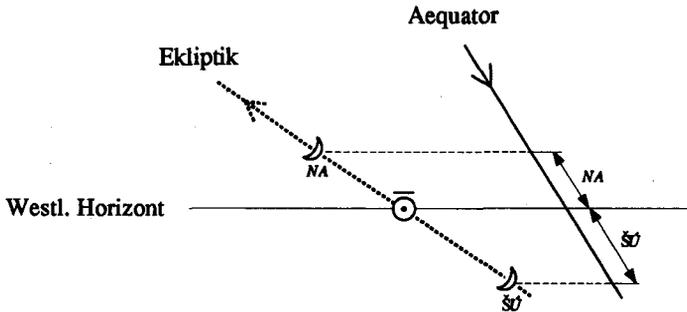


ABBILDUNG 10.3: Die Positionen von Mond und Gegen Sonne am westlichen Horizont an den beiden Morgen  $N$  und  $N+1$  um Vollmond herum, an denen  $\check{S}\acute{U}$  und  $NA$  gemessen werden.

Gesetzt den Fall, daß die Opposition genau bei Sonnenaufgang des ersten Morgens stattfindet, dann ist  $\check{S}\acute{U}$  gleich Null ( $\odot$  und  $\mathfrak{D}_{SU}$  fallen zusammen). Am nächsten Morgen  $N+1$  fallen Sonnenaufgang und Monduntergang nicht mehr zusammen, denn in den dazwischenliegenden 24 Stunden hat sich die Sonne um ca.  $1^\circ$  in der Ekliptik fortbewegt, während sich der Mond (abhängig von seiner momentanen Geschwindigkeit) zwischen  $11.8^\circ$  und  $15.3^\circ$  in der Ekliptik voranbewegt hat.<sup>2</sup> Relativ zur Sonne hat der Mond also zwischen  $10.8^\circ$  und  $14.3^\circ$  zurückgelegt (Diesen Ekliptikbogen, ( $\mathfrak{D}_{SU}$ ,  $\mathfrak{D}_{NA}$ ), den der Vollmond 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

<sup>2</sup>Ich danke Herrn Prof. Maeyama für die Mitteilung dieser genauen Zahlenwerte.

täglichen Elongationsbogen dauert, den westlichen Horizont zu passieren. In dem oben betrachteten Falle, wo  $\check{S}\check{U}$  gleich Null angenommen ist, ist  $\check{S}\check{U}+NA=NA$  die Unter- gangszeit des täglichen Elongationsbogens. Es kann nun aber gezeigt werden (Brack- Bernsen und Schmidt, 1994), daß  $\check{S}\check{U}+NA$  immer diese Bedeutung hat:

*$\check{S}\check{U}+NA$  mißt die Unter- gangszeit des täglichen Elongationsbogens des Mondes.*

Entsprechende Überlegungen am östlichen Abendhimmel zeigen:

*$ME+GE$  mißt die Aufgangszeit des täglichen Elongationsbogens des Mondes.*

Da die Bedeutung der Teilsummen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  für unsere Untersuchungen und für das Verständnis der babylonischen Vorhersageregeln von so fundamentaler Wichtigkeit ist, wollen wir sie nun an  $ME+GE$  nochmals in etwas anderer Weise erläutern.

In Abbildung 10.4 ist das Phänomen  $ME$  illustriert, hier in analoger Weise wie  $KUR$  in Abbildung 4.1.<sup>3</sup> Der dünne horizontale Großkreis ist der Horizont, der dicke schräge Großkreis ist der Himmelsäquator (von Babylon aus gesehen), und der punktierte Großkreis ist die Ekliptik. Wir betrachten einen Abend kurz vor Vollmond. Die Sonne geht gerade unter (d.h. die Gegen- sonne geht gerade auf), während der Mond schon auf- gegangen ist. Wir haben also die Breite des Mondes vernachlässigt und ihn auf die Ekliptik plaziert (ein wenig über den östlichen Horizont), während die Gegen- sonne  $\overline{\odot}$  im Horizont steht. Die Position des Mondes zu diesem Zeitpunkt ist mit  $\triangleright_{ME}$  markiert.  $ME$  ist die Aufgangszeit des Elongationsbogens ( $\triangleright_{ME}, \overline{\odot}$ ). Wie lange es für diesen Bo- gen dauert, aufzugehen, hängt von seiner Länge und seiner Position in der Ekliptik ab.

In der Zeit von diesem bis zum nächsten Abend bewegt sich der Mond entlang der Ekliptik. Zur Zeit der Opposition passiert er die Gegen- sonne  $\overline{\odot}$  und steht im Mo- ment des Sonnenunterganges am nächsten Abend in der Position  $\triangleright_{GE}$ , die auch in Abbildung 10.4 eingezeichnet wurde.  $GE$  ist die Aufgangszeit des Elongationsbogens ( $\overline{\odot}, \triangleright_{GE}$ ) und hängt wiederum von seiner Länge und seiner Position in der Ekliptik ab. Sowohl  $ME$  wie  $GE$  hängen stark davon ab, wann die Opposition im Vergleich zum Sonnenuntergang stattfindet. Tritt sie am ersten Abend unmittelbar nach Auf- gang der Gegen- sonne ein, so ist der Bogen ( $\triangleright_{ME}, \overline{\odot}$ ) ganz klein, während der Bogen ( $\overline{\odot}, \triangleright_{GE}$ ) groß ist.

<sup>3</sup>Die Sonne befindet sich nahe dem Frühlingspunkt; diese Opposition mag also diejenige sein, die 1/2 Monat nach dem Morgen in Abbildung 4.1 stattfindet. Die Ekliptik steht steil beim Sonnenuntergang.

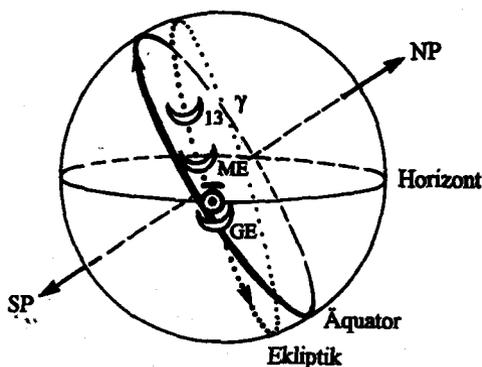


ABBILDUNG 10.4: Die Himmelskugel von Babylon aus gesehen: Positionen des Mondes nahe dem östlichen Horizont im Moment des Sonnenuntergangs an drei aufeinanderfolgenden Abenden um Opposition herum.

Die Summe  $ME+GE$  hingegen mißt die Aufgangszeit des Bogens ( $\mathfrak{D}_{ME}, \mathfrak{D}_{GE}$ ) und ist unabhängig vom Zeitpunkt der Opposition. Die Länge des Bogens ( $\mathfrak{D}_{ME}, \mathfrak{D}_{GE}$ ) ist nämlich alleine durch die Geschwindigkeit des Mondes relativ zur Sonne bestimmt. Sie ist gleich  $(v_M - v_\odot)$ , wobei die Geschwindigkeiten in Grad pro Tag gemessen werden. Der Bogen ( $\mathfrak{D}_{ME}, \mathfrak{D}_{GE}$ ) wurde oben als der tägliche Elongationsbogen des Mondes bezeichnet. Die Länge des Bogens ( $\mathfrak{D}_{ME}, \odot$ ) hingegen ist gleich dem Produkt von  $\Delta t$  mit  $(v_M - v_\odot)$ , wobei  $\Delta t$  die Zeitdifferenz zwischen Sonnenuntergang am Abend, an dem  $ME$  gemessen wird, und Opposition ist. Diese starke Abhängigkeit von  $ME$  und  $GE$  vom Zeitpunkt der Opposition wird also eliminiert, wenn diese addiert werden. In Brack-Bernsen und Schmidt (1994, Abb. 10) haben wir zeigen können, daß auch die Abhängigkeit der Lunar Four von der Breite  $\beta_M$  des Mondes stark reduziert wird durch deren Addition. Dies bedeutet, daß die Summen  $ME+GE$  und  $\check{S}\check{U}+NA$  viel einfachere Funktionen sind als jede einzelne der Lunar Four, da sie im Wesentlichen nur von zwei Variablen abhängen. Wie wir in Kapitel 14 sehen werden, haben die Babylonier dies ausgenutzt. Sie haben die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  ausgerechnet und zu Vorhersagen verwendet.

### 10.3 Bedeutung der Summe $\Sigma$

$\check{S}\check{U}+NA$  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. Die Aufgangszeit eines Ekliptikbogens hängt stark davon ab, wo auf der Ekliptik er sich befindet. Abbildung 10.5 illustriert diese Tatsache. Hier sind die Größen  $NA$ ,  $\check{S}\check{U}+NA$ ,  $ME+GE$  und  $\Sigma$  als Funktion der Lunationsnummer abgebildet worden.

Wir sehen, daß  $\check{S}\check{U}$  sehr unregelmäßig und scheinbar ohne System variiert, die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  hingegen bilden relativ einfache periodische Funktionen. Ihre mittlere Periode ist gleich  $P_{\odot}$ , was uns zeigt, daß  $\lambda_{\odot}$  die dominierende Variable ist, während  $\nu_{\odot}$  nur einen kleinen Einfluß hat. Auch  $\Sigma$  bildet eine periodische Schwingung, aber jetzt mit der mittleren Periode  $P_{\zeta}$ . Durch Addition ist also die Abhängigkeit von  $\lambda_{\odot}$  so stark reduziert worden, daß die Variable  $\nu_{\zeta}$  dominiert.

Der Effekt der 'oblique ascension' wird also weitgehend eliminiert, wenn wir statt  $\check{S}\check{U}+NA$  oder  $ME+GE$  deren Summe  $\Sigma$  betrachten. Dies können wir auch anders erklären: Bei jedem Vollmond bedeutet  $\Sigma$  die *Summe* der Aufgangs- und Untergangszeiten desselben Elongationsbogens, der die tägliche Verschiebung des Mondes relativ zur Sonne entlang der Ekliptik mißt. Nun ist aber die Summe von Auf- und Untergangszeit eines und desselben Bogens gleich seiner doppelten Aufgangszeit bei 'sphaera recta', d.h. am Erdäquator beobachtet (Brack-Bernsen und Schmidt, 1994). Diese Größe  $\Sigma$  ist also universell: sie ist von der geographischen Breite des Beobachtungsortes unabhängig.  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  je für sich hängen von der geographischen Breite ab: so werden Beobachtungen von  $\check{S}\check{U}+NA$  bei einem bestimmten Vollmond verschiedene Werte ergeben, wenn sie in Babylon oder in Kopenhagen vorgenommen werden.  $\Sigma = \check{S}\check{U}+NA+ME+GE$  hingegen wird überall auf der Erde denselben Wert ergeben. Das für uns wichtigste ist dabei, daß  $\Sigma$  aus babylonischen Beobachtungen stammen kann und mit der Periode  $P_{\zeta}$  der variablen Mondgeschwindigkeit schwingt.

Diese astronomische Bedeutung von  $\Sigma$  kann modernen Astronomen helfen zu verstehen, weshalb die 'oblique ascension' aus der Summe der Lunar Four eliminiert wird und wie man damit die Mondperiode  $P_{\zeta}$  bestimmen kann. Doch diese Interpretation von  $\Sigma$  ist so abstrakt, daß die Babylonier sie unserer Ansicht nach nicht kannten. (Ptolemäus hingegen hätte sie verstehen können, ist man doch imstande, sie anhand seiner Theorie herzuleiten.)

Es muß deshalb unterstrichen werden, daß die einfache periodische Struktur von  $\Sigma$  in Brack-Bernsen (1990) *rein empirisch* gefunden wurde. Bei dem Versuch,  $\Phi$  zu rekonstruieren, habe ich nach Beobachtungen gesucht, die zur Bestimmung von  $P_{\zeta}$  führen können. Um die Kompliziertheit der Horizontphänomene (also auch der Lunar Four)

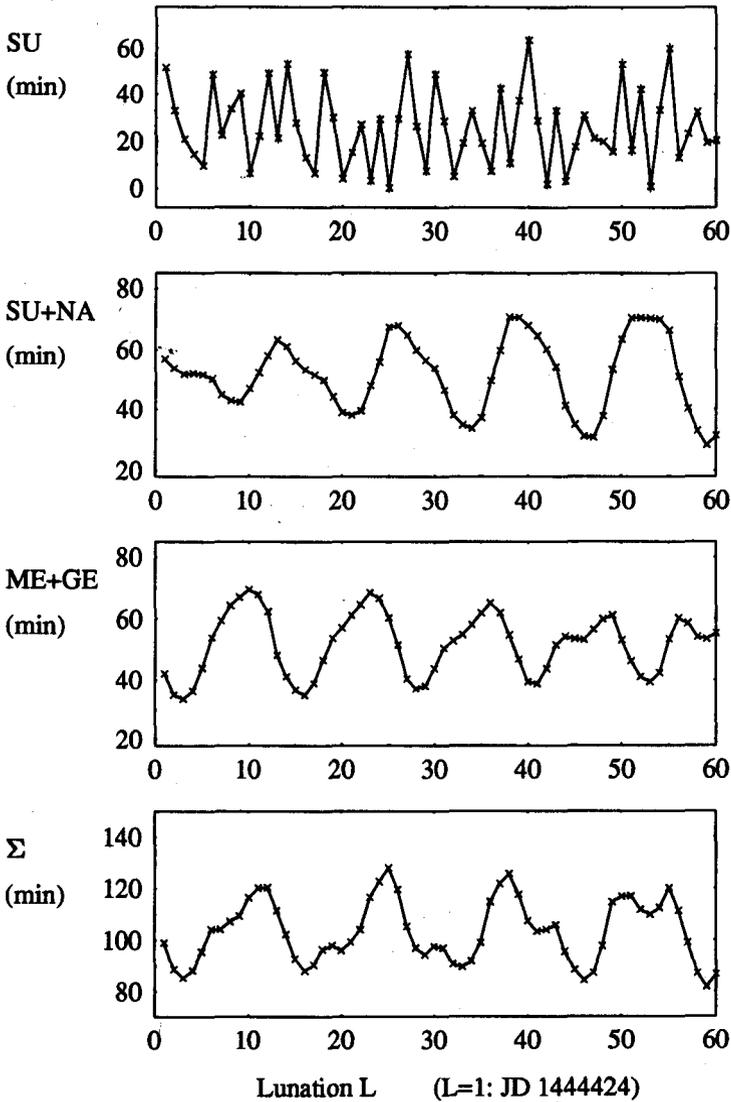


ABBILDUNG 10.5: Verschiedene Horizontphänomene aus den 'Lunar Four', abgebildet als Funktionen der Lunationsnummer  $L$ , berechnet für Babylon über eine Periode von 60 Monaten (ab JD 1444424 = 14 August 759 v. Chr.). Von oben nach unten  $\check{S}\check{U}$ ,  $\check{S}\check{U}+NA$ ,  $ME+GE$ ,  $\Sigma$ . Die Größen sind in Minuten angegeben (4min = 1  $u\check{s}$ ).

zu umgehen, habe ich Beobachtungen am westlichen und östlichen Horizont miteinander kombiniert und so die Größe  $\Sigma$  betrachtet, ohne mich zunächst um ihre astronomische Bedeutung zu kümmern. Genauso, glaube ich, können die Babylonier die Größe  $\check{\Sigma}$  rein empirisch gefunden haben.

## 10.4 Zusammenfassung

Jedes der Lunar-Four-Intervalle hängt ab von vier Variablen: von der momentanen Mondgeschwindigkeit  $v_{\zeta}$ , von der Position  $\lambda_{\zeta}$  in der Ekliptik, an der die Opposition stattfand, von der Breite  $\beta_{\zeta}$  des Mondes zu diesem Zeitpunkt, und davon, wann im Vergleich zu Sonnenauf- oder -untergang die Opposition stattfand.  $ME$  kann als Beispiel für alle gelten:

$$ME = ME(\Delta t, v_{\zeta}, \lambda_{\zeta}, \beta_{\zeta}). \quad (10.1)$$

Die Summen  $ME+GE$  und  $\check{S}\check{U}+NA$  hingegen sind im wesentlichen Funktionen von nur 2 Variablen:

$$ME + GE = (ME + GE)(v_{\zeta}, \lambda_{\zeta}).$$

$ME+GE$  ist die Aufgangszeit des täglichen Elongationsbogens des Mondes.

$\check{S}\check{U}+NA$  ist die Untergangszeit des täglichen Elongationsbogens des Mondes.

Dieser tägliche Elongationsbogen wird am Tage der Opposition gemessen; seine Länge gibt an, wie weit der Mond sich an diesem Tag relativ zur Sonne bewegt hat.

$\Sigma$  ist die doppelte Aufgangszeit des täglichen Elongationsbogens bei 'sphaera recta', d.h. bei seiner Beobachtung vom Erdäquator aus.

Die dominierende Variable der beiden Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  ist  $\lambda_{\zeta}$ ; bei  $\Sigma$  hingegen ist die dominierende Variable die Mondgeschwindigkeit  $v_{\zeta}$ .

## 10.5 Illustration durch Fourieranalyse

Für einen Physiker oder Mathematiker ist es offensichtlich, daß der soeben dargestellte Sachverhalt auch durch eine Fourieranalyse der Größen  $\check{S}\check{U}+NA$ ,  $ME+GE$  und  $\Sigma$  demonstriert werden kann. Dabei greifen wir auf die im Abschnitt 7.1 erläuterte Analyse von Schwebungen zurück und verallgemeinern sie zu der mathematischen Aussage: Jede periodische oder quasi-periodische Funktion  $g(t)$  kann durch eine Fourieranalyse in eine Summe von Grundschwingungen (d.h. einfache Sinus- und Kosinusfunktionen) mit wohldefinierten Perioden  $P_n$  zerlegt werden. Durch eine Formel ausgedrückt:

$$g(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \{A_n \cos(2\pi t/P_n) + B_n \sin(2\pi t/P_n)\}. \quad (10.2)$$

Wenn wir dies auf die z.B. in Abb. 10.5 dargestellten Größen anwenden, wobei die Lunationsnummer  $L$  die Rolle des Zeitparameters  $t$  spielt, erhalten wir ein Spektrum der für sie maßgebenden Perioden  $P_n$ .

Für eine ausführliche Diskussion dieser Fourieranalyse, bei der wir wiederum die mit dem Ephemeridenprogramm von Moshier (1995) berechneten Daten für die Zeiten der Babylonier zugrundegelegt haben, verweisen wir auf eine bevorstehende Publikation (L. Brack-Bernsen und M. Brack, 1996). In Abbildung 10.6 sollen hier die Hauptaussagen von Abschnitt 10.4 durch die Resultate dieser Fourieranalyse kurz illustriert werden.

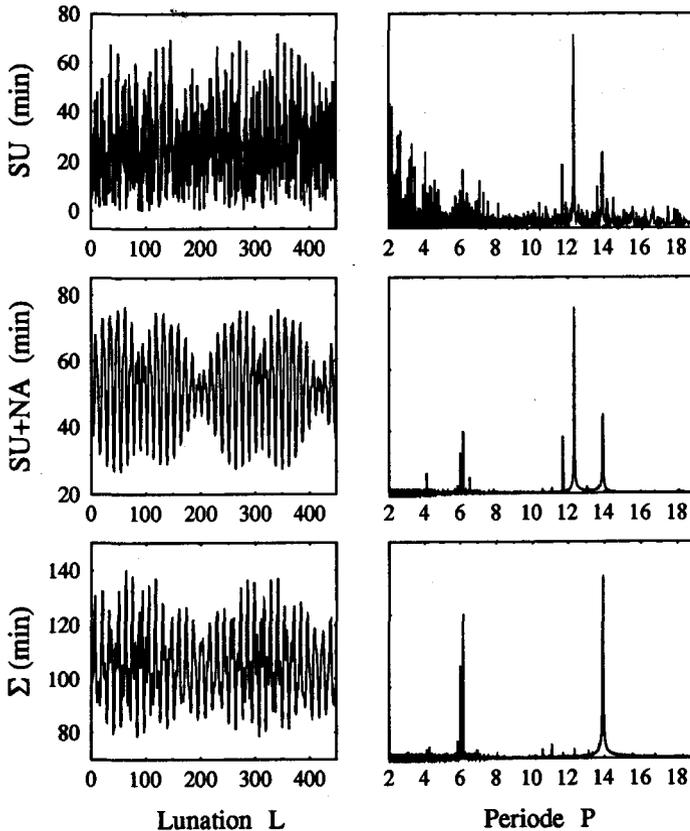


ABBILDUNG 10.6: Fourierspektren von Lunar-Four-Daten (ab 14. 8. 759 v. Chr.). Links: Die Größen  $\check{S}U$ ,  $\check{S}U+NA$  und  $\Sigma$  (in Minuten) als Funktionen der Lunationsnummer  $L$ . Rechts: Die Fourierspektren derselben Größen (in beliebig gewählten Einheiten) als Funktionen der Periode  $P$ .

Als Beispiele wählen wir die Größe  $\check{S}\check{U}$ , die Teilsumme  $\check{S}\check{U}+NA$  und die Summe  $\Sigma$  aller Lunar Four. Auf der linken Seite von Abbildung 10.6 sind sie nochmals als Funktionen der Lunationsnummer  $L$  dargestellt. Rechts davon wird jeweils ihr Fourierpektrum gezeigt, und zwar als Funktion der in synodischen Monaten gemessenen Periode  $P$  (hier als kontinuierliche Variable). Die (in beliebig gewählten Einheiten gemessene) Höhe der einzelnen Linien des Spektrums ist durch die Amplituden  $A_n$  und  $B_n$  in Gleichung (10.2) bestimmt. Wäre die betreffende Größe eine reine Sinus- oder Kosinusschwingung mit Periode  $P_N$ , dann wäre nur ein einziges Signal bei der Periode  $P_N$  zu sehen. Wir beobachten nun, daß die Fourierpektren von  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $\Sigma$  nur wenige herausragende Signale enthalten, während das Spektrum von  $\check{S}\check{U}$  recht unübersichtlich erscheint. Dennoch zeigt es deutlich zwei Perioden an, und zwar bei 12.35 und 13.92 synodischen Monaten.

Im Fourierpektrum von  $\check{S}\check{U}+NA$  liegt das Signal mit der größten Amplitude bei der Periode  $P$  von 12.35 synodischen Monaten. Diese Periode identifizieren wir mit  $P_\odot$ . Auf diese Weise wird nochmals demonstriert, daß  $\lambda_\odot$  in  $\check{S}\check{U}+NA$  die dominierende Variable ist.

Im Spektrum von  $\Sigma$  ist die dominierende Periode  $P = 13.92$  Monate. Dies ist die Periode  $P_\zeta$ . Daß auch bei  $P = 6.18$  (d.h. bei  $1/2 P_\odot$ ) ein deutliches Signal liegt, kommt daher, daß  $\Sigma$  die doppelte Aufgangszeit des täglichen Elongationsbogens bei 'sphaera recta' mißt. Die Aufgangszeit bei 'sphaera recta' von einem Ekliptikbogen ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ) kann, wie in Figur 12 des Artikels von Brack-Bernsen und Schmidt (1994) gezeigt wurde, graphisch bestimmt werden. Sie ergibt sich als die von  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  begrenzte Fläche unter der in jener Figur gezeigten Kurve A. Diese hat aber genau die halbe Periode der Ekliptik. (Für eine ausführlichere Erklärung verweisen wir auf die erwähnte bevorstehende Publikation.)



# Kapitel 11

## Empirie und periodische Funktionen in frühen Texten

### 11.1 Konsequenzen der neuen Hypothese

Wir haben demonstriert, wie es möglich ist, die babylonischen Beobachtungen so zu verwenden, daß man aus ihnen eine Funktion  $\hat{\Sigma}$  mit der Periode  $P_{\zeta}$  herleiten kann.<sup>1</sup> Es ist wahrscheinlich, daß die Babylonier diese Funktion  $\hat{\Sigma}$  aus ihren Horizontbeobachtungen gefunden und die Zickzack-Funktion  $\Phi$  durch Addition einer Konstanten  $\simeq 100^\circ$  daraus hergeleitet haben. Wir kennen auch die astronomische Bedeutung von  $\Sigma$ . 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 die Hypothese stimmt, daß  $\Phi$  direkt von  $\Sigma$  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 dessen astronomische Bedeutung genau zu verstehen, haben sie  $\Phi$  zur Ableitung der anderen Größen zu verwenden gewußt, welche dieselbe Periode  $P_{\zeta}$  besitzen.

Ich denke, daß die Babylonier die verschiedenen Beobachtungsdaten systematisch nach ihrer Periodizität untersucht und, 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 Verständnis der zugrunde liegenden Naturgesetze fehlt oder nur teilweise vorliegt.

Es kann in der Tat gezeigt werden, daß auch andere babylonische Texte Spuren dieser Konsequenzen tragen und damit unsere Hypothese unterstützen.

Daß die Babylonier die Lunar Four regelmäßig über Jahrhunderte gesammelt und ausgewertet haben, wurde in Brack-Bernsen (1994) gezeigt; auch daß die von den Babyloniern gesammelten Daten genügend genau sind und die richtige Systematik aufweisen,

---

<sup>1</sup>Wie im Abschnitt 9.2 eingeführt, meinen wir mit  $\hat{\Sigma}$  die lineare Zickzack-Funktion, die  $\Sigma$  annähert.

die notwendig und hinreichend ist, um die Periode  $P_{\zeta}$  aus der Summe  $\Sigma$  der Lunar Four herzuleiten. Diese Untersuchung wird im Kapitel 13 besprochen.

## 11.2 Babylonische Koppelung periodischer Schwingungen

Es gibt etliche ältere babylonische Texte, die Informationen über frühe Stufen ihrer Mondtheorie enthalten. Dies sind:

ENUMA ANU ENLIL (Tafel B) und Text „K 90“ (Al-Rawi und George, 1991).

MUL APIN (Tafel II, Zeilen ii 43 bis iii 12) (Hunger und Pingree, 1989).

Dazu ist auch ein Abschnitt (Rev., Zeilen 8 bis 15) des Textes „TU 11“ zu zählen, der von Neugebauer (1947) übersetzt und publiziert wurde.

Wenn diese Texte miteinander in Verbindung gebracht werden, so erklären sie einander gegenseitig und geben ein konsistentes Bild davon, wie die Sichtbarkeitsdauer des Mondes von der Tages- oder Nachtlänge abgeleitet wurde. Van der Waerden (1949, 1951 und 1968, SS. 83–90) hat als erster diese Texte kombiniert und ihnen eine sinnvolle astronomische Deutung gegeben. Al-Rawi und George (1991) weisen seine Deutung jedoch zurück.

Ich selber bin unabhängig von van der Waerden zu genau denselben Ergebnissen gekommen, was für unsere Deutung spricht. Ich weise auf seine Arbeiten hin, werde im Folgenden aber die Zusammenhänge auf meine Weise und ein wenig anders als van der Waerden darstellen.

In Abbildung 11.1 ist nicht nur (wie in Abbildung 4.1) die Position des Mondes (relativ zur Sonne) bei seinem letzten sichtbaren Aufgang markiert, sondern auch seine Position im Moment des Sonnenaufgangs an den beiden folgenden Tagen. Dabei ist angenommen, daß  $KUR$  (= 1 1/2 Stunden) am 27. Tag des babylonischen Monats gemessen wurde. An Tag 28 ist der Mond in Position  $\mathfrak{D}_{28}$  so nahe der Sonne, daß er beim Aufgehen nicht sichtbar ist, und am Tag 29 geht der Mond  $\mathfrak{D}_{29}$  erst nach Sonnenaufgang unsichtbar auf.

Am Tag 26, also an dem Morgen vor  $KUR$ , war der Mond um etwa  $12^\circ$  weiter von der Sonne entfernt als in der Position  $KUR$ , ging also knapp 2 1/2 Stunden vor Sonnenaufgang auf. (Man könnte sagen, daß ' $KUR_{26}$ ' gleich knapp 2 1/2 Stunden ist.) Der Mond war also am Tage 26 knapp eine Stunde länger sichtbar als am Tage 27. Die tägliche Abnahme der Sichtbarkeitsdauer des Mondes in den Tagen um Konjunktion nenne ich ' $\Delta KUR$ '.

*Wenn man  $\Delta KUR$ , also die Verspätung des Mondaufgangs, kennt, kann man durch Extrapolation herausfinden, wann im Verhältnis zum Sonnenaufgang der unsichtbare Mond am Tage 28 und 29 aufgeht. Genau dies, behaupte ich, haben die Babylonier gemacht, indem sie verschiedentlich versucht haben, die Größe von  $\Delta KUR$  zu bestimmen.*

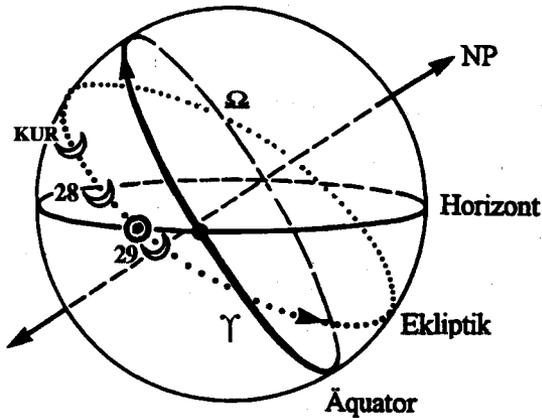


ABBILDUNG 11.1: Für drei aufeinanderfolgende Morgen ist die Position des Mondes im Moment des Sonnenaufgangs abgebildet. In den Positionen 28 und 29 ist der Mond wegen seiner Nähe zur Sonne nicht sichtbar.

Sie haben z.B.  $\Delta KUR$  von der Dauer des Tageses abgeleitet. Hier sei der von O. Neugebauer übersetzte Textabschnitt von TU 11 näher betrachtet:

*“in order for you to find the time of invisibility (of the moon). (A.) If in the month I of your new Jahr (on the) 27th, the last visibility (is)  $25^{\circ}, 3;20$  (mana)<sup>2</sup> the daylight,  $2;40$  (mana) the night, (multiply)  $3;20$  by  $4$ ; (the result is)  $13;20$ . Subtract  $13;20$  from  $25$ , and  $11;40$  remains; on the 28th day (the moon) remains  $11;40^{\circ}$  behind the sun. Subtract  $13;20$  from  $11;40$ ; on the 29th day the moon passed the sun  $1;40^{\circ}$ . Add  $13;20$  to  $1;40$ , and  $15$  (is the result); on the 30th day the moon passed the sun  $15^{\circ}$ . (B.) ... (C.) If on the 27th the last visibility is  $24^{\circ}, 4$  (mana) daylight,  $2$  (mana) night, (multiply)  $4$  by  $4$ ; (the result is)  $16$ . Subtract  $16$  from  $24$ , and  $8$  remains; on the 28th (the moon) remains  $8^{\circ}$  behind the sun, subtract  $16$  from  $8$ ; on the 29th, (the moon) passed the sun  $8^{\circ}$ . One-half of  $16$ , namely,  $8$ , add to (the preceding  $8$ , and (the result is)  $16$ ; on the 29th at sunset, the first visibility is  $16^{\circ}$ . (D.) ...”*

Kommentar: Hier wird eine Berechnungsmethode durch Rechenbeispiele demonstriert. Diese alte Faustregel zur Berechnung des Zeitpunkts des unsichtbaren Mondaufgangs

<sup>2</sup>Die Babylonier maßen die Zeit u.a. mit Wasseruhren, wobei die ausgelaufene Wassermenge mit den Volumeneinheiten MANA = Minen und Schekel gemessen wurde.

Kommentar: Hier wird eine Berechnungsmethode durch Rechenbeispiele demonstriert. Diese alte Faustregel zur Berechnung des Zeitpunkts des unsichtbaren Mondaufgangs geht im ersten Beispiel von einem  $KUR = 25 \text{ uš}$  aus. Sie nimmt  $13;20 \text{ uš}$  als die tägliche Verspätung des Mondaufgangs [von uns ' $\Delta KUR$ ' genannt], und findet durch Extrapolation die Aufgangszeit des unsichtbaren Mondes an den beiden nächsten Morgen. [Am 28. als  $11;40 \text{ uš} = 46^{\text{min}} 40^{\text{sec}}$  vor Sonnenaufgang, und am 29. als  $1;40 \text{ uš} = 6^{\text{min}} 40^{\text{sec}}$  nach Sonnenaufgang]. Dieses Beispiel entspricht in etwa der Situation, die wir in Abbildung 11.1 aufgezeichnet haben.

Im Textabschnitt (C.) steht ein Rechenbeispiel, das davon ausgeht, daß  $KUR$  am 27. Tag  $24 \text{ uš}$  betrug und daß die Tageslänge  $4 \text{ MANA}^3$  betrug. ' $\Delta KUR$ ' wird als 4 mal 4 gleich 16 ausgerechnet. Am 29., so rechnet der Text, ist der Mond um  $8 \text{ uš}$  an der Sonne vorbeigegangen [i.e. Mondaufgang  $8 \text{ uš}$  nach Sonnenaufgang]. Am 30. fände der Mondaufgang um  $(8 + 16 = 24) \text{ uš}$  nach Sonnenaufgang statt. Doch so rechnet der Text nicht, sondern er halbiert die  $16 \text{ uš}$ , um herauszufinden, wie weit der Mond am Sonnenuntergang des 29. an der Sonne vorbeigegangen ist, und bestimmt  $NA_N$  als  $(8 + 8 = 16) \text{ uš}$ .

Wir sehen hier, daß die Babylonier bei diesen Rechnungen nicht nur die Zeitpunkte der Mondaufgänge an aufeinanderfolgenden Morgen berechneten, sondern auch wußten, wie sich der Mond in Vergleich zur Sonne während dieser Tage bewegte.

Die Größe  $\Delta KUR$  kann auch dazu verwendet werden,  $KUR$  zu ermitteln. Nehmen wir an, die Zeit von Mondaufgang bis Sonnenaufgang (die wir kurz  $KUR_{26}$  nennen) sei am Tag 26 gemessen worden – wonach der Mond am nächsten Morgen 27 wegen Wolken nicht beobachtet werden konnte.  $KUR_{26}$  aber war so groß (knapp  $2 \frac{1}{2}$  Stunden), daß es nicht die letzte Sichtbarkeit des Mondes vor Konjunktion sein könnte. Ein recht guter Ersatzwert für das nicht meßbare  $KUR$  wäre  $KUR = KUR_{26} - \Delta KUR$ .

Zurück zu unserem ersten Rechenbeispiel. Die Größe  $13;20 \text{ uš}$  fanden die Babylonier als 4 mal die Länge des Tages, in  $MANA$  gemessen:

$$\Delta KUR = 4 \times 3;20 \text{ MANA} = 13;20 \text{ uš}$$

Wir würden nicht zwei verschiedene Einheiten benützen, sondern die Rechnung in der Einheit  $\text{uš}$  ausführen.<sup>4</sup> Nun dauert die Nacht am Äquinoktium  $3 \text{ MANA} = 3,0 \text{ uš} = 180^\circ$ ; also ist die als  $3;20 \text{ MANA}$  angegebene Dauer des Tages etwa gleich  $3,20 \text{ uš}$ . Um daraus  $13;20 \text{ uš}$  zu erhalten, müssen wir aber mit  $0;04 = 4/60 = 1/15$  (und

<sup>3</sup>Der längste Tag in Babylon wurde mit  $4 \text{ MANA}$  angegeben. Dieses Beispiel berechnet also Mondphasen in der Zeit um das Sommersolstitium herum.

<sup>4</sup>Diese Rechnungsweise ist etwas problematisch, zumal O. Neugebauer (1947) darauf hingewiesen hat, daß die ausgelaufene Wassermenge nicht eine lineare Funktion der Zeit ist. Dennoch denke ich, diese heuristische Rechnung liegt den damaligen Überlegungen nahe.

nicht mit 4) multiplizieren. Die babylonische Rechnung müssen wir also folgendermaßen wiedergeben:

$$\Delta KUR = 0;04 \times 3,20 \text{ uš} = 1/15 \times \text{Tagesdauer} = 13;20 \text{ uš}.$$

In diesen Rechnungen verwendeten die Babylonier also  $1/15$  des Tages für  $\Delta KUR$ , die tägliche Änderung der Sichtbarkeitsdauer des Mondes in den Tagen um Konjunktion herum. Da der Mond in diesen Tagen unsichtbar ist, kann  $\Delta KUR$  ja nicht direkt beobachtet werden. Als  $\Delta KUR$  würden wir die Aufgangszeit des Ekliptikbogens ( $\mathfrak{D}_{28}$ ,  $\mathfrak{D}_{29}$ ) nehmen, nämlich die Aufgangszeit des täglichen Elongationsbogens des Mondes am Tage der Konjunktion. Sie entspricht  $\Delta ME$  und verhält sich analog zu dieser. Aber  $\Delta ME$  am Tage der Opposition gemessen ist gleich  $ME+GE$  (siehe Brack-Bernsen und Schmidt, 1994). So wie  $ME+GE$  ist auch  $\Delta KUR$  im wesentlichen eine Funktion von  $\lambda_{\odot}$ . Als Funktion der Lunationsnummer schwingt  $\Delta KUR$  mit der Periode  $P_{\odot}$ . Die Tageslänge sowie die Dauer der Nacht schwingen gleichfalls mit der Periode  $P_{\odot} = 1$  Jahr. Haben die Babylonier hier bewußt zwei Funktionen miteinander in Verbindung gebracht, die beide mit der Periode  $P_{\odot} = 1$  Jahr schwingen? Wenn dem so wäre, dann müßten sie irgendwann gemerkt haben, daß diese Funktionen, obwohl sie im Takt schwingen, um 3 Lunationen außer Phase sind.<sup>5</sup> Um diese Möglichkeit näher zu überprüfen, habe ich in den Texten nach anderen Beispielen gesucht, in denen die Babylonier periodische Schwingungen miteinander in Verbindung brachten. Speziell habe ich danach gesucht, ob sie periodische Schwingungen verschoben haben, und bin fündig geworden.

Ein anderer Abschnitt von TU 11, den H. Hunger vor kurzem übersetzt hat, liefert so ein Beispiel. Um die Dauer des Neulichtes  $NA_N$  zu berechnen, verwendeten die Babylonier als  $\Delta NA_N$  nicht  $1/15$  des Tages oder der Nacht, sondern die Größe  $\check{S}\check{U} + NA = \Delta NA$ , die sie um 6 Monate nach hinten verschoben. Es zeigt sich, daß diese Berechnungsmethode sehr gut und genau ist (siehe Kapitel 15).

In anderen Texten wird die Änderung der Sichtbarkeitsdauer des Mondes von der Länge der Nacht abgeleitet:

Die ganz frühen astrologisch-astronomischen Texte, ENUMA ANU ENLIL, Tafel B, sowie der Text „K 90“ (Al-Rawi und George, 1991) enthalten Schemata, welche die Sichtbarkeitsdauer des Mondes an jedem Tag eines babylonischen Monats angeben. Tafel B behandelt einen Monat um das Wintersolstitium herum, wo die Dauer der 15. Nacht als 4 *MANA* angegeben wurde, während „K 90“ einen Monat um Äquinoktium herum behandelt, wo die 15. Nacht (des babylonischen Monats) 3 *MANA* betrug. In beiden Fällen nimmt die Sichtbarkeit des Mondes von der 5. Nacht (des babylonischen Monats) täglich um  $1/15$  der Nacht zu (d.h. um 4 mal 4 *MANA*  $\sim 16$  *uš*, respektive

<sup>5</sup>Denn  $ME+GE$  und  $\Delta KUR$  haben ihre Maxima um das Frühlingsäquinoktium herum, während die Tageslänge ihr Maximum am Sommersolstitium erreicht.

um 4 mal 3 *MANA*  $\sim 12 u\check{s}$ ), bis zur 15. Nacht des Monats. Während dieser Nacht ist der Mond die ganze Nacht hindurch sichtbar (d.h. während  $240 u\check{s} \sim 4 \text{ MANA}$  am Wintersolstitium, respektive  $180 u\check{s} \sim 3 \text{ MANA}$  am Äquinoktium). Danach nimmt die Leuchtdauer des Mondes täglich um  $1/15$  der Nacht ab bis zur 25. Nacht.

Diese Schemata sind einfach, aber gar nicht so schlecht. Sie verwenden lineare Progression und erreichen die korrekte Leuchtdauer des vollen Mondes in der 15. Nacht des Monats, wo der Mond ja die ganze Nacht hindurch zu sehen ist. Im Winter dauert die Nacht und damit die Leuchtdauer des vollen Mondes 4 *MANA*, während sie am Äquinoktium nur 3 *MANA* dauert. In diesen Schemata wurde die tägliche Änderung der Sichtbarkeit des Mondes um Opposition herum als  $1/15$  der Nacht berechnet; in dem oben erwähnten Textabschnitt von TU 11 wurde  $1/15$  des Tages als die tägliche Verspätung des Mondaufgangs in den Tagen um Konjunktion herum verwendet.

In MUL APIN (Zeile *ii* 43 bis *iii* 12) wird Monat für Monat  $\check{S}\check{U}$  als 4 mal die Dauer der 1. Nacht (des babylonischen Monats) ausgerechnet, während *KUR* als 4 mal die Dauer der 15. Nacht berechnet wird. Die Nachtdauern werden auch hier in *MANA* gemessen. Der Text findet also „ $\check{S}\check{U}$ “ als  $1/15$  der 1. Nacht, und „*KUR*“ als  $1/15$  der 15. Nacht. Dies hat aber sehr wenig Sinn, denn  $\check{S}\check{U}$  kann gleich 0 sein und ist meistens kleiner als die hier angegebenen Werte. Wenn wir aber statt „ $\check{S}\check{U}$ “ und „*KUR*“  $\Delta\check{S}\check{U}$  und  $\Delta\textit{KUR}$  lesen, stimmt der Text mit den oben erwähnten Textstellen überein; und er wäre astronomisch sinnvoll. Dieser Deutung zufolge haben die Babylonier als eine erste Annäherung die tägliche Änderung von  $\check{S}\check{U}$  und *KUR* als  $1/15$  der Nacht angesetzt. Später haben sie eine bessere Näherung gefunden, nämlich  $\Delta\check{S}\check{U} = \check{S}\check{U} + NA$ , gemessen einen Saros früher (siehe Kapitel 14 und 15). Für  $\Delta NA_N$  (so bezeugt TU 11) benützten sie den Wert von  $\check{S}\check{U} + NA$ , der um einen Saros plus 6 Monate früher ermittelt worden war. In Analogie hierzu haben sie wohl auch für  $\Delta\textit{KUR}$  den Wert von  $ME + GE$  verwendet, der einen Saros plus 6 Monate früher gemessen worden war. Diese ganz frühen Schemata und Rechenbeispiele bezeugen, wie die babylonischen Astronomen versucht haben, die Zeitpunkte der Mondaufgänge zu ermitteln. Sie haben die Abnahme oder Zunahme der Sichtbarkeitsdauer des Mondes teils von der Tageslänge und teils von der Länge der Nacht abgeleitet. Die Größenordnung der so gefundenen Änderung ist die richtige, doch im Detail sind diese Methoden nicht gut, denn die Phasen der verwendeten Schwingungen sind falsch. Es zeigt uns aber, daß die Babylonier die periodische Funktion der Tages- oder Nachtlänge mit der periodischen Funktion ' $\Delta\textit{KUR}$ ' gekoppelt und dadurch versucht haben, Vorhersagen zu machen. Astronomisch oder theoretisch gesehen haben diese Funktionen nichts anderes miteinander zu tun, als daß sie die gleiche Periode  $P_\odot$  haben.

Unsere Hypothese,  $\Phi$  sei aus der Summe  $\Sigma$  der Lunar Four entstanden, wird hierdurch untermauert oder zumindest doch wahrscheinlicher gemacht. Denn wie wir im Abschnitt 10.1 sahen, hat die Hypothese zur Konsequenz, daß die Babylonier mit  $\Phi$

eine empirisch gefundene Funktion verwendeten, die mit der Periode  $P_C$  schwingt – auch wenn sie deren astronomische Bedeutung wohl kaum kannten. Auch in einer anderen Hinsicht unterstützen diese alten Texte unsere Hypothese. Sie dokumentieren nämlich, daß die Babylonier sich schon zu einem frühen Zeitpunkt eingehend mit den Lunar Six beschäftigt haben. Dies liefert eine gute Voraussetzung dafür, eventuelle Regelmäßigkeiten zu finden, die dann zur Konstruktion von  $\Phi$  führen konnten.

Was aber noch untersucht werden muß, sind folgende Fragen: Haben die Babylonier das Zahlenmaterial der Lunar Six systematisch bearbeitet? Sind die Daten genügend genau und zeigen sie diejenige Systematik auf, die zur Konstruktion von  $\Phi$  notwendig und hinreichend ist? Und wenn ja, stimmt die Systematik des Beobachtungsmaterials tatsächlich mit Kolonne  $\Phi$  überein? Alle diese Fragen werden wir mit „ja“ beantworten können.

Die erste Frage ist schnell beantwortet: Auf der Tafel B.M. 34075, die als LBAT 1431 von Sachs publiziert wurde (LBAT, S. xxxii), sind für mindestens fünf aufeinanderfolgende Jahre (323 – 319 v. Chr.) sämtliche Werte der Lunar Six Monat für Monat aufgezeichnet – ein Beweis dafür, daß diese Daten systematisch gesammelt wurden.<sup>6</sup> Es gibt mehrere Tafeln, die nichts enthalten als eine Zusammenstellung dieser Größen. Solche Monddaten wurden schon ab dem 6. Jh. v. Chr. gesammelt. Dies zeigt uns die Tafel Kambyses 400. Dieser Text ist von Kugler übersetzt und ausführlich behandelt worden (1907: SSB I, SS. 61–73). Er enthält die Lunar Six für das 7. Regierungsjahr von Kambyses (d.h. von April 523 v. Chr. bis April 522 v. Chr.).

Eine andere Reihe von Tafeln, welche die Lunardaten systematisch sammeln, sind die sogenannten Goal-Year-Tafeln. Sie sind für unsere Fragen von besonderer Wichtigkeit, weshalb wir nun in Kapitel 12 etwas ausführlicher über diesen Texttyp berichten. Ihre Lunar-Four-Daten werden wir zusammen mit den Daten vom Kambysesextext dann im Kapitel 13 untersuchen.

---

<sup>6</sup>Die auf LBAT 1431 gesammelten Monddaten wurde von Stephenson (1974) nachgeprüft. Er wies unter anderem nach, daß sie recht exakt sind.



# Kapitel 12

## Lunar-Six-Daten auf Goal-Year-Tafeln

### 12.1 Allgemeines über die Goal-Year-Tafeln

Die Goal-Year-Tafeln enthalten Auszüge aus den Diaries und haben alle die gleiche Struktur. Ihr Inhalt und Zweck ist von Kugler (SSB I-III), Sachs (1948, SS. 282–285) und van der Waerden (1974, SS. 108–110) beschrieben worden. Sie dienen dazu, für ein bestimmtes Jahr – das 'Zieljahr' – Voraussagen über charakteristische Himmelsphänomene zu machen. Sachs nannte sie deshalb 'Goal-Year texts'. Sie bestehen aus einer Zusammenstellung von astronomischen Phänomenen aus früheren, jeweils eine Planeten- oder Mondperiode vor dem Zieljahr liegenden Jahren.

Es gibt ungefähr 150 Fragmente oder ganze Goal-Year-Tafeln. Davon sind 93 datierbar für 56 verschiedene Zieljahre zwischen 76 SÄ und 352 SÄ.<sup>1</sup> Diese Tafeln bieten uns somit ein großes Reservoir von babylonischen Beobachtungen, die über mehrere Jahrhunderte verteilt sind. Nur wenige dieser Tafeln sind aber übersetzt oder bearbeitet worden. Ich habe deshalb alle datierten Tafeln übersetzt, die in LBAT transkribiert und soweit erhalten sind, daß sie hinreichend viele lesbare Daten enthalten. Aufbau und Struktur der Goal-Year-Tafeln sind immer gleich. Wir greifen deshalb eine Tafel beispielhaft heraus und analysieren sie gründlich.

In dem nächsten Abschnitt behandeln wir die am besten erhaltene Goal-Year-Tafel, LBAT 1285, detailliert. Wir übersetzen und kommentieren ihre Rückseite. Dann untersuchen wir ihre Monddaten und kontrollieren sie graphisch auf ihre Zuverlässigkeit hin. Die Genauigkeit der Monddaten auf den anderen Goal-Year-Texten und auf dem Kambyses-Text werden danach in ähnlicher Weise anhand von Figuren veranschaulicht. Schließlich werden wir im Kapitel 14 durch Analyse von neu berechneten Daten der Lunar Four und theoretischen Überlegungen zeigen, wie solche Tafeln zur Vorhersage von Mondphasen benützt werden konnten.

---

<sup>1</sup>SÄ = (Jahr der) Seleukidischen Ära.

## 12.2 Der Goal-Year-Text LBAT 1285

Die Rückseite der Goal-Year-Tafel LBAT 1285 enthält Mondbeobachtungen aus der Zeit von September 137 bis März 135 v. Chr.<sup>2</sup> In dem Kolophon zuunterst auf der Rückseite der Tafel steht: „Tage des Sichtbarwerdens, des Verschwindens und der Finsternisse, ermittelt für das Jahr 194, in dem Arsaka König war“.

Hier ist offensichtlich der Zweck dieser Tafel bekundet, deren Zieljahr als das Jahr 194 SÄ angegeben wird. Auf der ganzen Vorderseite der Tafel, sowie in den ersten drei Zeilen der Rückseite sind in verschiedenen Abschnitten Planetenbeobachtungen aufgezeichnet, die dazu dienten, Voraussagen für das Jahr 194 SÄ zu machen. So wurden z.B. die für den Planeten Jupiter im Jahre 123 SÄ (123=194-71) beobachteten „charakteristischen“ Phänomene notiert. Die babylonischen Astronomen haben offensichtlich gewußt und ausgenützt, daß sich die charakteristischen Phänomene Jupiters nach 71 Jahren an ungefähr demselben Datum wiederholen.

Von den ersten drei Zeilen abgesehen, ist die ganze Rückseite dem Mond gewidmet. Diesen Mondtext wollen wir jetzt näher betrachten. Da dieser Goal-Year-Text nur in Keilschrifttranskription (LBAT S. 198) vorliegt, zeigen wir in Tabelle 12.1 eine Umschrift der Mondaufzeichnungen – doch ohne Berücksichtigung von Beobachtungsbemerkungen wie „Nebel, (trotzdem) gemessen“, „der Mond stand tief“ oder „bewölkt, nicht gesehen“. In dieser ersten Bearbeitung werden wir sämtliche Daten verwenden und machen also keinen Unterschied zwischen sog. „beobachteten“ und „nicht beobachteten“ Daten. Der Text ist in vier Kolonnen geteilt. In der oberen Hälfte von Kolonne 1 sind die *Summen ŠÚ+NA* und *ME+GE* für die Monate VII bis XII des Jahres 175 SÄ angegeben, also für die letzten 6 Monate des Jahres, das 19 Jahre vor unserem Zieljahr liegt. So steht z.B. in der 1. und 2. Zeile von Kolonne 1:

Jahr 175 (Monat) VII 15 ŠÚNA

Hiermit ist gemeint: [Für den Vollmond im] Monat VII [im] Jahr 175 [SÄ betrug die Summe von] ŠÚ [und] NA 15 [uš]. Im alten Mesopotamien begann der neue Monat immer dann, wenn die Mondsichel (das Neulicht) zum ersten Mal nach Neumond sichtbar wurde. Dies bedeutet, daß der Vollmond immer ungefähr in die Mitte des babylonischen Monats, das Neulicht hingegen auf den 1. Tag des Monats fiel.

Weiter unten in Kolonne 1 befinden sich genaue Berichte zweier Mondfinsternisse sowie einer Sonnenfinsternis. Hier sind nur die Daten dieser Finsternisse wiedergegeben.

---

<sup>2</sup>Zur Umrechnung der Daten wurde die „Babylonian Chronology“ von Parker und Dubberstein (1956) verwendet.



Wir weisen darauf hin, daß Monat I sowie Monat VII in unserem Zieljahr 194 SÄ genau 223 Monate später als die erwähnten Finsternis-Monate liegen. Nun ist aber die Zeitspanne von 223 synodischen Monaten eine altbekannte Finsternisperiode. Wir nennen sie den Saros; die Babylonier nannten sie „18 Jahre“. Unser Goal-Year-Text bezeugt, daß die babylonischen Astronomen ihr Wissen über die Sarosperiode hier ausgenützt haben, um eventuelle Finsternisse im Zieljahr 194 SÄ vorauszusagen.

Der Rest der Tabelle enthält sämtliche Lunar Six für die 13 Monate von XII<sub>2</sub> 175 SÄ bis XII 176 SÄ.<sup>3</sup> Nach den Finsternisberichten steht:

Jahr 175 (Monat) XII<sub>2</sub> 30 11 NA

Dies bedeutet: [Im] Jahr 175 [in der Seleukidischen Ära fiel der erste Tag vom] Monat XII<sub>2</sub> [auf den Tag] 30 [des vorhergehenden Monats XI.] 11 [uš ist der Wert von] NA.

In der Zeile darunter lesen wir:

14. 3 50 ŠÚ

[Im Monat XII<sub>2</sub> am Morgen des] 14. [Tages hatte] ŠÚ [den Wert] 3 50 [uš]. Die Lesung der übrigen Daten folgt ganz analog nach demselben Muster.

In allen vier Kolonnen wird also ganz links das Datum (d.h. Monat und Tagesnummer) angegeben. Ganz rechts steht der Name des Zeitintervalls aus den Lunar Six, und dessen beobachteter (oder berechneter) Wert wird durch die Zahl in der Mitte der Kolonne angegeben. Wir machen darauf aufmerksam, daß das Zieljahr 194 SÄ ein Schaltjahr war, es bestand aus den 13 Monaten I, II, ..., XI, XII und XII<sub>2</sub>. Diejenigen Monate, die jeweils um 223 synodische Monate früher als diese 13 Monate lagen, sind die Monate XII<sub>2</sub> 175 SÄ bis XII 176 SÄ, für die der Text die Werte der Lunar Six notiert.

### 12.3 Bemerkungen zu den Lunar Six Daten auf den Goal-Year-Tafeln

Daß die babylonischen Astronomen die Summen  $\dot{S}\dot{U}+NA$  und  $ME+GE$  berechnet und in Kolonne 1 aufgeschrieben haben, betrachten wir als eindeutige Bestätigung unserer vorgeschlagenen Rekonstruktion von  $\Phi$ . Wir meinen, daß  $\Phi$  aus der Summe  $\dot{S}\dot{U}+NA+ME+GE$  entstanden ist. Diese Summe aller Lunar Four kommt zwar nicht vor, doch die Goal-Year-Tafeln zeigen uns, daß das Zahlenmaterial der Lunar Four systematisch bearbeitet wurde – und daß die Babylonier Summen bildeten und sich für  $\dot{S}\dot{U}+NA$  und  $ME+GE$  interessierten.

Es stellen sich jetzt mehrere Fragen: Wie und wozu wurden diese (teils beobachteten, teils berechneten) Lunar Six und deren Teilsummen verwendet, und wie genau sind diese babylonischen Lunar Six Werte?

<sup>3</sup>Im Originaltext steht der erste Abschnitt, der die Lunar Six für Monat XII<sub>2</sub> Jahr 175 SÄ angibt, zuoberst in Kolonne 2. Aus Platzgründen haben wir in Tabelle 12.1 diesen Abschnitt zuunterst in Kolonne 1 wiedergegeben.

Um diese Fragen beantworten zu können, müssen wir zunächst einer anderen Frage nachgehen. Welche Gesetzmäßigkeiten weisen die Lunar Six auf? Die Wichtigkeit dieser Frage ist einleuchtend: Wenn wir imstande sind, Gesetzmäßigkeiten der Lunar Six oder ihrer Teilsummen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  zu finden, dann können wir begründete Vermutungen über die Verwendung der Monddaten in den Goal-Year-Tafeln aufstellen. Zudem können wir kontrollieren, ob die babylonischen Daten wirklich diese Gesetzmäßigkeiten aufweisen, was ein Zeichen ihrer Exaktheit wäre.

Astronomische Überlegungen zeigen uns, daß die Struktur der einzelnen Lunar Six im Prinzip dieselbe sein muß. Auch die beiden Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  müssen strukturell gleich sein. Jede der Lunar Six mißt ja die Zeit, die es für einen kleinen Ekliptikbogen dauert, den Horizont zu passieren:  $KUR$  und  $NA_N$  messen Auf- und Untergangszeit des Ekliptikbogens zwischen Mond und Sonne; die übrigen Lunar Four messen die Auf- oder Untergangszeit des Ekliptikbogens zwischen Mond und Gegen Sonne. Wie wir in Kapitel 10 gezeigt haben, messen die Summen  $ME+GE$  und  $\check{S}\check{U}+NA$  die Auf- und Untergangszeit von dem Ekliptikbogen, dessen Länge gleich der täglichen Elongationsbewegung des Mondes ist. Wir müssen deshalb nicht sämtliche Größen untersuchen, sondern können unsere Erkenntnisse über eines der Lunar Six auf die anderen übertragen.

Wir erinnern daran, daß die Goal-Year-Tafel, die für das Zieljahr  $Y$  zusammengestellt war, folgendes angibt: die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  für die Monate VI bis XII des Jahres  $Y-19$ , sowie die Lunar Six für die darauf folgenden 12 (oder, in einem Schaltjahr, 13) Monate bis zum Ende des Jahres  $Y-18$ . Wir nehmen  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  als Beispiel und untersuchen, wie sich  $\check{S}\check{U}$ ,  $NA$  sowie  $\check{S}\check{U}+NA$  als Funktion der Lunationsnummer verhalten. Kann man z.B. unmittelbar die Größen  $NA$  oder  $\check{S}\check{U}+NA$  für irgend einen Monat (Vollmond) voraussagen, wenn man ihre Größe in demjenigen Monat kennt, der genau 1 Jahr, 18 Jahre (d.h. 223 Monate) oder 19 Jahre früher zu beobachten war?



# Kapitel 13

## Computerberechnungen der Lunar Four

### 13.1 Systematische Untersuchungen der Lunar Four

Mit einem modernen Computerprogramm für Ephemeriden, das insbesondere auch für Mondephegeriden in antiken Zeiten zuverlässige Werte liefert (Moshier, 1995), haben wir für Sonne und Mond die Auf- und Untergänge von 550 v. Chr. bis zum Jahr 0 berechnet. Aus diesen Daten haben wir danach die Lunar Four für jede Opposition ausgerechnet, und so ein echtes altes „babylonisches Zahlenmaterial“ konstruiert. Von diesen numerischen Daten werden wir im folgenden Gebrauch machen. Wir werden es auf eine Systematik hin untersuchen und die babylonischen Daten direkt kontrollieren.

Die Goal-Year-Texte enthalten jeweils Monddaten über einen kurzen Zeitraum von anderthalb Jahren. Um das Verhalten der Lunar Four zu untersuchen, haben wir sie für eine Reihe von aufeinanderfolgenden Vollmonden berechnet, beginnend am 20. Juli 233 v. Chr. = JD 1636521. Zuoberst in Abbildung 13.1 sind die berechneten Werte von  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  für 30 aufeinanderfolgende Monate durch Kreuze ( $\times$ ) dargestellt und mit Geraden verbunden. Darunter sind in gleicher Weise die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  wiedergegeben. Wir bemerken, daß die Größen  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  sehr unregelmäßig und scheinbar ohne System variieren;  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  hingegen bilden viel glattere Kurven. Dies läßt uns vermuten, daß die Größen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  einfacher zu Voraussagen benutzt werden können als jede der Lunar Four für sich.

Unsere Vermutung wird bestätigt, wenn wir die Werte von  $NA$ ,  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  mit denjenigen vergleichen, die für jeweils 223 oder 235 synodische Monate früher berechnet wurden, d.h. mit denen, die man erhält, wenn man die Kurven in Abbildung 13.1 um 223 resp. 235 Lunationen nach links verschiebt. Dieser Vergleich wird in Abbildung 13.2 durchgeführt. Die Kreuze markieren wieder dieselben Größen wie in Abbildung 13.1 (wir haben hier auf  $\check{S}\check{U}$  verzichtet, das genau so chaotisch aussieht wie  $NA$ ). Die um 223 synodische Monate (= 18 Jahre) früher zu messenden Werte sind mit Sternen ( $\star$ ) markiert und diejenigen, die 235 Monate (= 19 Jahre) früher liegen, mit Kreisen ( $\circ$ ).

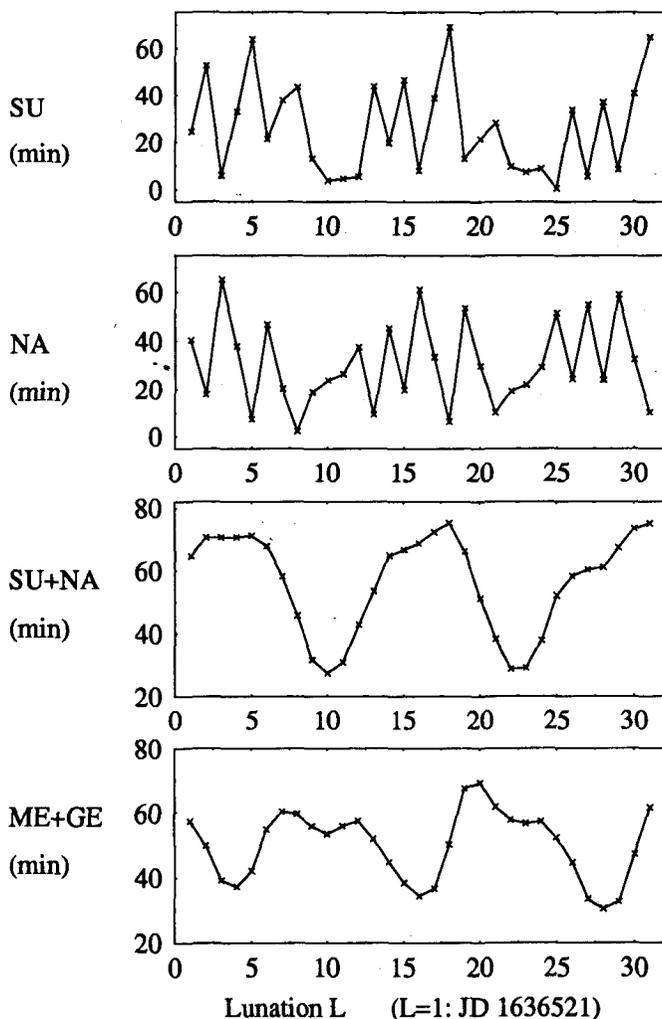


ABBILDUNG 13.1: Verschiedene Horizontphänomene aus den Lunar Four, abgebildet als Funktionen der Lunationsnummer  $L$ , berechnet für Babylon über eine Periode von 30 Monaten (ab JD 1636521 = 20. Juli 233 v. Chr.). Von oben nach unten:  $\check{S}\check{U}$ ,  $NA$ ,  $\check{S}\check{U}+NA$ ,  $ME+GE$ . Die Größen sind in Minuten angegeben (4min = 1  $u\check{s}$ ).

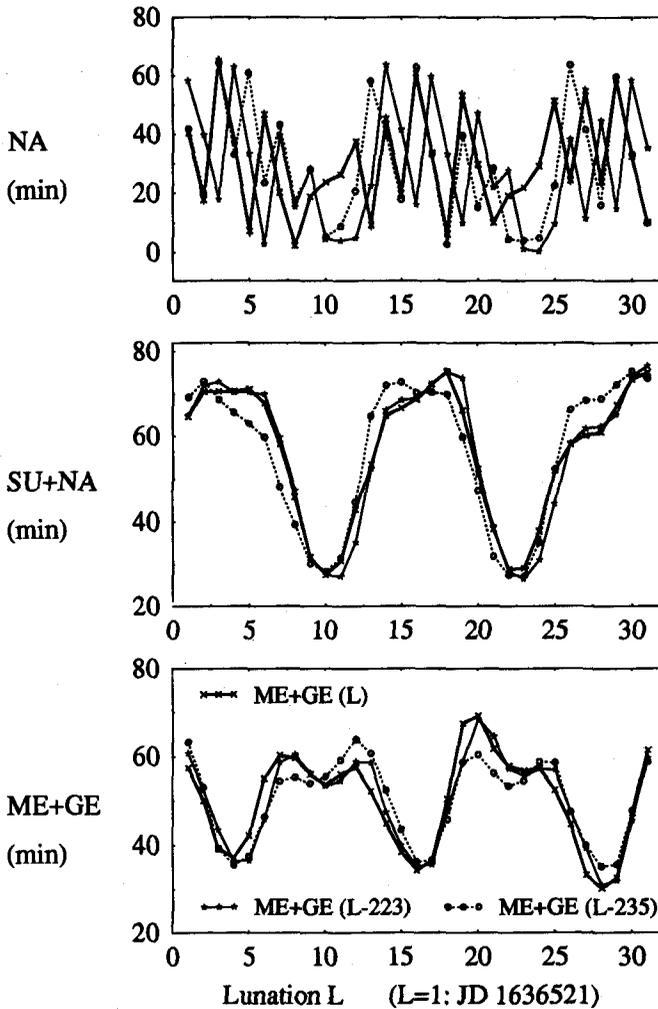


ABBILDUNG 13.2: Vergleich der Horizontphänomene aus Abb. 13.1 (durch Kreuze  $\times$  markiert) mit denjenigen, die um 223 Monate früher (mit Sternen  $\ast$  markiert) oder 235 Monate früher (mit Kreisen  $\circ$  markiert) stattfanden.

Wir sehen, daß  $NA$  keine offensichtliche Periodizität besitzt; seine Struktur wiederholt sich weder nach einem Jahr ( $\ast$  und  $\circ$  variieren unabhängig voneinander), noch nach 18 Jahren ( $\times$  und  $\ast$  variieren unabhängig voneinander), noch nach 19 Jahren. Hingegen sehen wir, daß die Struktur von  $\check{S}U+NA$  und  $ME+GE$  sich nach 223 Monaten = 1

Saros fast identisch wiederholt, die beiden Kurven, die durch  $\times$  und  $\star$  gehen, fallen fast zusammen. Dies gilt, wenn auch weniger genau, auch für die um 235 Monate verschobenen und im selben Grade für die um ein Jahr (= 12 Monate) verschobenen Daten.

### Resultat der Untersuchung und dessen Folgen

Aus dieser Untersuchung schließen wir, daß es möglich ist, aus systematischen Beobachtungen der Summe  $\check{S}\check{U}+NA$  deren Werte sehr genau vorauszusagen für Vollmonde, die 223 Monate später stattfinden werden, und etwas ungenauer für Vollmonde, die um 12 Monate oder 235 Monate später stattfinden werden. Dies gilt aber nicht unmittelbar für  $\check{S}\check{U}$  oder  $NA$  einzeln. Genau dasselbe können wir über die Zeitintervalle  $ME$  und  $GE$  sagen, d.h. daß sie je für sich keine brauchbare Systematik aufweisen, ihre Summe  $ME+GE$  hingegen regelmäßig variiert und vorausgesagt werden kann, wenn man deren Werte ein Jahr oder einen Saros früher durch Beobachtung bestimmt hat.

All dies können auch die Babylonier leicht und rein empirisch gefunden oder erkannt haben, wenn sie bloß ihre Beobachtungen über große Zeiträume systematisch und einigermaßen lückenlos festgehalten haben – vorausgesetzt, die beobachteten Daten waren genügend genau. Die Daten in Abbildung 13.2, die uns diese Erkenntnisse gebracht haben, beruhen ja direkt auf möglichen Beobachtungen. Die Tatsache, daß die Goal-Year-Texte die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  sowie  $ME+GE$  enthalten, spricht dafür, daß die Babylonier deren Regelmäßigkeit bemerkt und zu Voraussagen praktisch ausgenutzt haben.

Im Kapitel 14 wollen wir untersuchen, wie die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  zu Vorhersagen benutzt werden können. Wir wollen aber erst die babylonischen Daten auf ihre Brauchbarkeit hin überprüfen. In den beiden nächsten Abschnitten wird demonstriert, daß die Genauigkeit der babylonischen Lunar Four groß genug war, um zu unseren Erkenntnissen zu gelangen. Im Kapitel 15 wird durch den Text TU 11 belegt, daß die babylonischen Astronomen tatsächlich diese Erkenntnisse besaßen und zu Vorhersagen benutzten.

## 13.2 Analyse der Lunar-Four-Daten auf LBAT 1285 und Kambyes 400

### LBAT 1285

Wir wollen nun die auf LBAT 1285 vorkommenden Werte der Lunar Four untersuchen. Diese sind teils beobachtet, teils nicht – so steht es jedenfalls im Text. Für die Untersuchung unterscheiden wir das nicht und behandeln das ganze Zahlenmaterial. Der Text deckt den Zeitraum von Monat VII 175 SÄ bis XII<sub>2</sub> 176 SÄ. Im Julianischen Kalender entspricht dies dem Zeitraum von September 137 v. Chr. bis März 135 v. Chr. Für die ersten 6 Monate VII bis XII 175 SÄ (wir nennen sie hier Lunation  $L=1,2,\dots,6$ )

gibt der Text nur die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  an; für die 13 folgenden Monate ( $L=7,8,\dots,19$ ) von XII<sub>2</sub> 175 bis XII 176 sämtliche Lunar Six, aber keine Summen. Deshalb rechnen wir die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  für diese Monate aus. In Abbildung 13.3 links haben wir diese Daten mit Kreisen (o) markiert (analog zu Abbildung 13.1) In den beiden obersten Diagrammen haben wir  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  als Funktion der Monatsnummer  $L$  abgebildet (beide erst ab  $L=7$ , da der Text in den ersten 6 Monaten nur die Summen, nicht aber die einzelnen Lunar Six angibt). Da der Text an einigen Stellen beschädigt war und Risse hat, sind nicht sämtliche Werte erhalten. Trotzdem sind es so viele, daß wir feststellen können, daß  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  genau so chaotisch variieren wie in den berechneten Kurven von Abbildung 13.1. In den beiden untersten Diagrammen links in Abbildung 13.3 sehen wir  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$ . Sie bilden relativ glatte Kurven mit den charakteristischen Formen, die wir von Abbildung 13.1 kennen.

Wir können folgern: Die Babylonier haben uns gute Zahlen überliefert – solche, die die Natur gut beschreiben. Vielleicht ist dies nicht allzu verwunderlich, stammt dieser Text doch aus der Seleukidischen Ära, also aus der Zeit ihrer avanciertesten mathematischen Astronomie. Es gibt aber noch einen viel älteren Text, dessen Monddaten genauso gut sind und den wir im folgenden untersuchen wollen.

### Kambyses 400

Dieser Text ist schon mehrmals, z.B. von Epping und Kugler, bearbeitet worden – am ausführlichsten von Kugler (1917, SSB I, SS. 61–75). Der Text enthält Mond- und Planetendaten aus dem 7. Regierungsjahr von Kambyses. Im Julianischen Kalender ist dies die Zeit von April 523 v. Chr. bis April 522 v. Chr. Unser Text ist eine Abschrift eines originalen Textes aus Kambyses' Zeit. Epping und Kugler sind sich darüber einig, daß die Planetendaten beobachtet sein müssen; hingegen sind sie über die Herkunft der Monddaten uneinig: Epping (1890, SS. 281–288) hält sie für Beobachtungen, während Kugler sie für berechnet ansieht. Ich bin völlig davon überzeugt, daß die Monddaten aus Beobachtungen stammen! Wie wir sehen werden, sind sie viel zu gut und detailliert, um von den Babyloniern zu einem so frühen Zeitpunkt berechnet worden zu sein.

Da Kugler diesen Text minutiös bearbeitet und die übersetzten Daten auf den Seiten 68 und 69 in SSB I publiziert hat, geben wir sie hier nur graphisch wieder, und zwar in der rechten Hälfte von Abbildung 13.3. Von oben nach unten haben wir dort die Werte für  $\check{S}\check{U}$ ,  $NA$  und die von uns addierten Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  für die 13 Monate, die in Kambyses 400 aufgezeichnet sind, durch Kreise (o) markiert. Die Struktur dieser Daten ist die richtige:  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  variieren unregelmäßig, während die beiden Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  die erwarteten charakteristischen Kurven bilden.

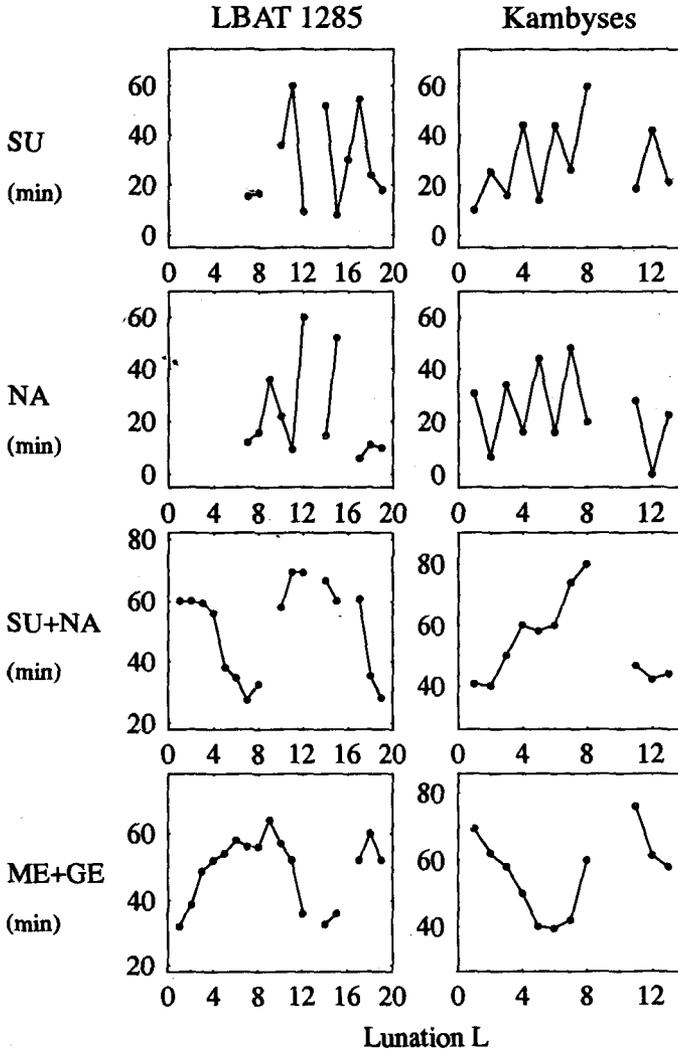


ABBILDUNG 13.3: Abbildung von Lunar-Four-Werten und ihre Teilsummen aus babylonischen Quelltexten. *Links*: Die Monddaten der Goal-Year-Tafel LBAT 1285. *Rechts*: Die Monddaten aus der Tafel Kambyes 400. Hier wie in den folgenden Abbildungen sind alle Größen in Minuten angegeben.

### Vergleich mit modernen Daten

Wir haben oben gesehen, daß die babylonischen Daten die richtige Struktur haben. Wir können sie aber auch direkt kontrollieren. Dazu haben wir die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$ ,  $ME+GE$  und  $\Sigma$  für die in den beiden Texten vorkommenden Zeitspannen direkt berechnet. In Abbildung 13.4 (Zeit von LBAT 1285) und Abb. 13.5 (Zeit von Kambyses 400) sind sie abgebildet (Kreuze  $\times$ , durch dünne Linien verbunden) und um je 10 Lunationen vor und nach denen der überlieferten Daten ergänzt. In den gleichen Abbildungen haben wir auch die aus den Originalquellen stammenden Summen als Kreise eingezeichnet ( $\circ$ , verbunden durch dicke Linien). Die babylonischen Daten stimmen mit den von uns berechneten „theoretischen“ erstaunlich gut überein – so gut, daß wir folgern: Aus umfassenderen babylonischen Aufzeichnungen der Lunar Four würde man dieselben Schlüsse ziehen können wie aus den von uns berechneten.

Speziell würde man, wie in Abschnitt 9.2 oben schon erwähnt und in Abb. 9.3 demonstriert,  $\Phi$  aus der Summe der beobachteten Lunar Four erhalten können – abgesehen von einer Konstanten von  $100 u\check{s}$ . (In dieser Abbildung ist die Zeitspanne, die von LBAT 1285 überdeckt wird, durch einen horizonatalen Balken markiert.)

Zuuntermst in Abbildung 13.4 haben wir  $\Phi - 100 u\check{s}$  eingezeichnet und sehen, daß die babylonischen Daten recht gut damit übereinstimmen. Für die Kambyseszeit haben wir ebenfalls  $\Phi - 100 u\check{s}$  berechnet und in Abbildung 13.5 eingezeichnet. Auch hier finden wir eine gute Übereinstimmung. Wir wissen zwar nicht, wie früh die Babylonier die Kolonne  $\Phi$  zur Verfügung hatten, doch müßte sie auch mit ganz frühen Werten der Lunar Four übereinstimmen, wenn  $\Phi$  tatsächlich als Näherung der Kurve  $\Sigma$  entstanden ist.

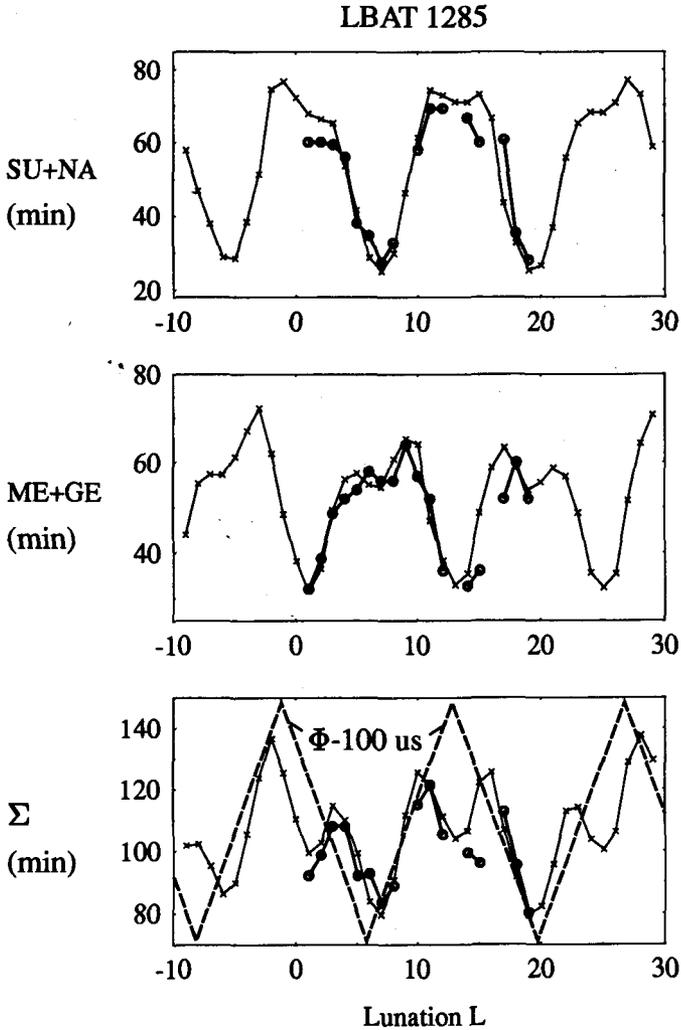


ABBILDUNG 13.4: Vergleich der Daten aus LBAT 1285 (o, mit dicken Linien verbunden) mit ihren berechneten Werten (x, mit dünnen Linien verbunden). Zuunterst ist neben  $\Sigma$  auch das babylonische  $\Phi - 100\text{us}$  eingezeichnet (dick gestrichelt).

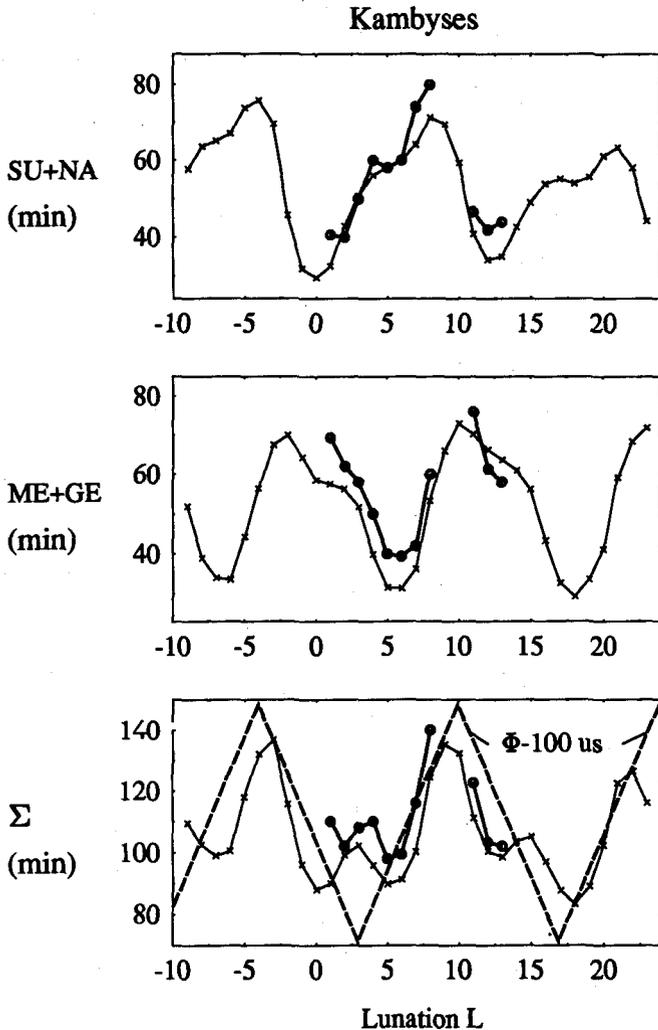


ABBILDUNG 13.5: Vergleich der Daten aus Kambyes 400 (o, mit dicken Linien verbunden) mit ihren berechneten Werten (x, mit dünnen Linien verbunden). Zuunterst ist neben  $\Sigma$  auch das babylonische  $\Phi - 100 \mu s$  (dick gestrichelt), hier für die Zeit von Kambyes zurück extrapoliert, eingezeichnet.

### 13.3 Kontrolle der Lunar-Four-Daten auf den übrigen Goal-Year-Tafeln

Genauso, wie wir bei Tafel LBAT 1285 vorgegangen sind, haben wir die übrigen Goal-Year-Tafeln behandelt. Wir haben sie übersetzt und ihre Lunar-Four-Daten durch Analyse ihrer Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  kontrolliert.

Jedes der Lunar Four ist sehr sensibel darauf, wie die Sonnenauf- und -untergänge definiert waren. Wir wissen nicht genau, wie die Lunar Four in der frühen Zeit gemessen wurden, ob Sonnenaufgang stattfand, wenn der oberste Sonnenrand, die Mitte der Sonne oder ihr unterer Sonnenrand am östlichen Horizont stand – oder ob dieser Zeitpunkt durch die Position von Schatten festgelegt wurde. Durch die Addition von  $ME$  und  $GE$  respektive von  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  wird diese Unsicherheit eliminiert.<sup>1</sup> Deshalb ist es sinnvoll, die Summen anstelle der einzelnen Lunar Four mit berechneten Werten zu vergleichen.

Eine vollständige Goal-Year-Tafel enthält die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  für die letzten 6 Monate eines babylonischen Jahres plus sämtliche Lunar Six für das folgende Jahr. Die Monddaten der frühesten Goal-Year-Tafeln LBAT 1214 stammen aus der Zeit von Jahr 60 SÄ, Monat VII, bis Monat XII im Jahr 61 SÄ. (Dies entspricht der Zeit von Mitte Oktober 252 v. Chr. bis März 250 v. Chr.). Die späteste Tafel, LBAT 1291, hat das Jahr 207 SÄ als Zieljahr und enthält damit Monddaten aus den 18 Monaten von Monat VII im Jahr 188 SÄ bis Monat XII im Jahr 189 SÄ. Dieser letzte Monat endete am 13.4. 122 v. Chr. Die babylonischen Monddaten sind also über einen Zeitraum von 130 Jahren verteilt (von 252 v. Chr. bis 122 v. Chr.).

Um diese (und andere) Daten zu kontrollieren, haben wir sämtliche Lunar Four für die Zeit vom 6. Januar 253 v. Chr. (JD 1629020)  $\sim$  Lunation  $L = 1$  bis einschließlich 17. April 105 v. Chr. (JD 1682179)  $\sim$  Lunation  $L = 1835$  berechnet.

Die zu untersuchenden Goal-Year-Tafeln sind im folgenden aufgeführt und mit den entsprechenden Lunationsnummern gekennzeichnet. (Als Beispiel: die Daten von LBAT 1214 stammen aus den Monaten mit  $L = 23$  bis  $L = 41$ .)

---

<sup>1</sup> $ME+GE$  mißt ja z.B. die Aufgangszeit des täglichen Elongationsbogens des Mondes und ist ganz unabhängig davon, wie die Babylonier den Zeitpunkt des Sonnenuntergangs oder des Mondaufgangs festlegten.

LBAT 1214 :	$L \in [23, 41]$	
LBAT 1220 :	$L \in [173, 191]$	
LBAT 1225 :	$L \in [235, 253]$	
LBAT 1230 :	$L \in [345, 363]$	
LBAT 1238 :	$L \in [560, 578]$	
LBAT 1249 :	$L \in [716, 734]$	
LBAT 1251 :	$L \in [777, 795]$	
LBAT 1252 :	$L \in [777, 795]$	
LBAT 1257 :	$L \in [827, 845]$	
LBAT 1263 :	$L \in [1025, 1043]$	
LBAT 1265 :	$L \in [1124, 1142]$	
LBAT 1266 :	$L \in [1124, 1142]$	
LBAT 1285 :	$L \in [1445, 1463]$	
LBAT 1291 :	$L \in [1606, 1624]$	(13.1)

Abb. 13.6 zeigt die berechneten Kurven  $\check{S}\check{U}+NA$ ,  $ME+GE$  und  $\Sigma$  für die Zeit von Lunationen  $L=1$  bis  $L=1650$ , also für ein wenig mehr als die 130 Jahre, aus denen die Goal-Year-Daten stammen. Während dieser Zeit haben die Kurven  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  135 Perioden durchlaufen,  $\Sigma$  hingegen nur 118, und es wird nun untersucht, wie gut das babylonische Zahlenmaterial diesen Kurven folgt. Die Zeitintervalle, von denen die Goal-Year-Daten stammen, sind durch kleine Punkte markiert worden. Wir sehen, wie wenige Daten uns überliefert worden sind, und wie zerstreut und weit auseinander sie liegen. Doch eben weil sie über einen so langen Zeitraum verteilt sind, und weil unsere Kurven mit variierenden Amplituden und Formen schwingen, wird der Vergleich zwischen den babylonischen Werten von  $\check{S}\check{U}+NA$ ,  $ME+GE$  und  $\Sigma$  und den von uns berechneten Werten recht aussagekräftig sein.

## Zeitspanne der Goar-Year-Monddaten

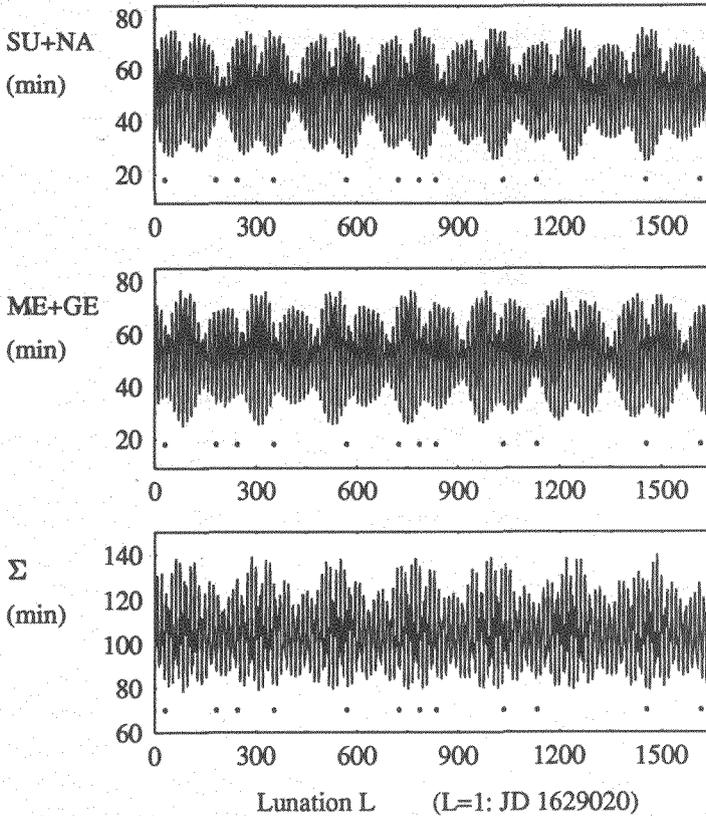


ABBILDUNG 13.6: Die berechneten Kurven  $\check{S}U+NA$ ,  $ME+GE$  und  $\Sigma$  für die Zeit von 253 v. Chr. bis 120 v. Chr., aus der alle Goal-Year-Monddaten herkommen. Die Punkte markieren die Zeiten der hier bearbeiteten Goal-Year-Tafeln.

Abb. 13.7 zeigt dieselben Größen wie Abb. 13.6, doch hier nur für einen Zeitraum von 425 Monaten. Dadurch wird die Variation der Kurven besser sichtbar. In diesen herausgegriffenen Zeitraum fallen nur vier der Goal-Year-Tafeln. Die entsprechenden Zeitintervalle sind durch horizontale Balken markiert.

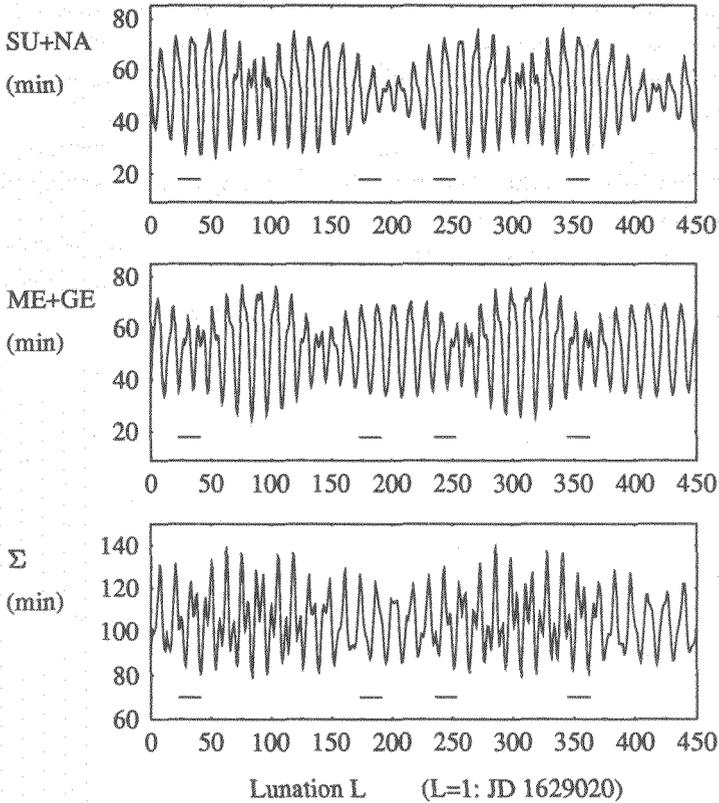


ABBILDUNG 13.7: Der Verlauf der Kurven  $\check{S}U+NA$ ,  $ME+GE$  und  $\Sigma$  für die Zeit von 253 v. Chr. bis 217 v. Chr., aus der die fünf frühesten Goal-Year-Monddaten stammen. Die horizontalen Balken kennzeichnen die Zeitspannen der Monddaten aus den Tafeln LBAT 1214, 1220, 1225 und 1230.

In den folgenden Abbildungen 13.8 bis 13.13 haben wir ganz analog zu Abb. 13.4 die Daten von den Goal-Year-Tafen durch Kreise (o) markiert und mit computerberechneten Daten (Kreuze  $\times$ , durch dünne Linien verbunden) verglichen. Zuoberst ist  $\check{S}\check{U}+NA$ , in der Mitte  $ME+GE$  und unten  $\Sigma$  abgebildet. Die Daten auf diesen Tafeln sind nicht ganz so gut wie diejenigen auf LBAT 1285 und Kambyses 7. Dennoch zeigen sie dieselben Strukturen wie die berechneten Kurven. In einigen Fällen lag ein Kreis (d.h. ein babylonischer Wert) ganz weit weg von der berechneten Kurve. Diese falschen Positionen konnten in drei Fällen durch Korrekturen verbessert werden, die Sachs bei Kollationierung gefunden hatte.<sup>2</sup> Dabei kamen die von Sachs verbesserten Werte viel näher an die heute berechneten Kurven, d.h. die Übereinstimmung zwischen unseren und den babylonischen Daten wurde durch Sachs' Korrekturen oft verbessert und nie verschlechtert.

Das babylonische Datenmaterial ist zwar spärlich und lückenhaft, doch erweist es sich als recht genau, folgen doch die babylonischen Werte recht gut unseren berechneten, schwingenden Kurven über die ganze Zeitspanne (von 252 v. Chr. bis 122 v. Chr.), die von unserem Textmaterial gedeckt wird.

---

<sup>2</sup>Ich bin Herrn Prof. H. Hunger sehr zu Dank verpflichtet, der mir Sachs' Korrekturen zu den erwähnten und von Pinches kopierten LBAT Texten zugesandt hat.

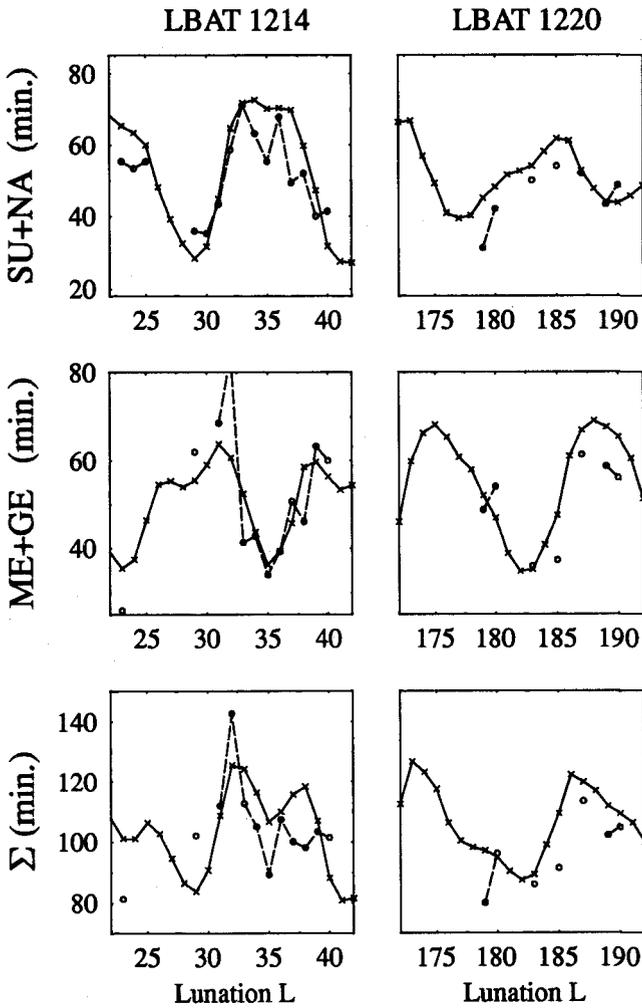


ABBILDUNG 13.8: Vergleich von Goal-Year-Daten mit berechneten Werten: links für die Tafel LBAT 1214, rechts für die Tafel LBAT 1220.

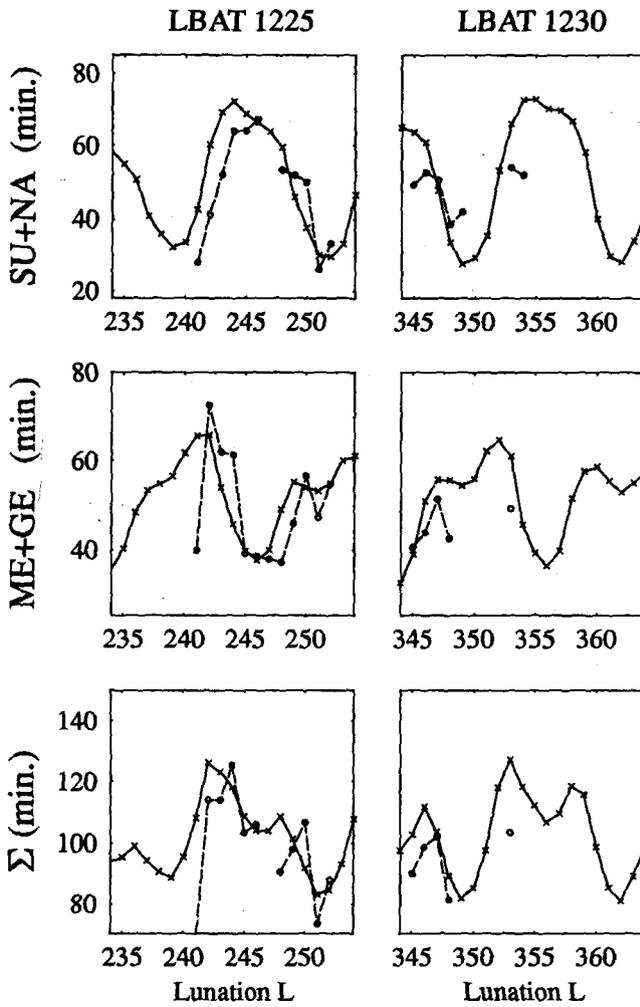


ABBILDUNG 13.9: Vergleich von Goal-Year-Daten mit berechneten Werten: links für die Tafel LBAT 1225, rechts für die Tafel LBAT 1230.

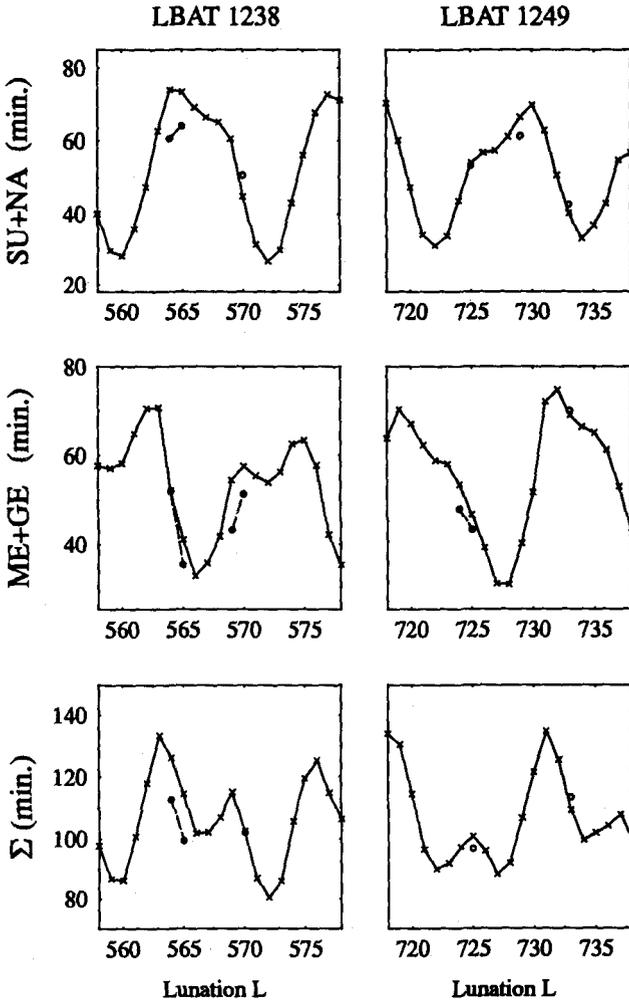


ABBILDUNG 13.10: Vergleich von Goal-Year-Daten mit berechneten Werten: links für die Tafel LBAT 1238, rechts für die Tafel LBAT 1249.

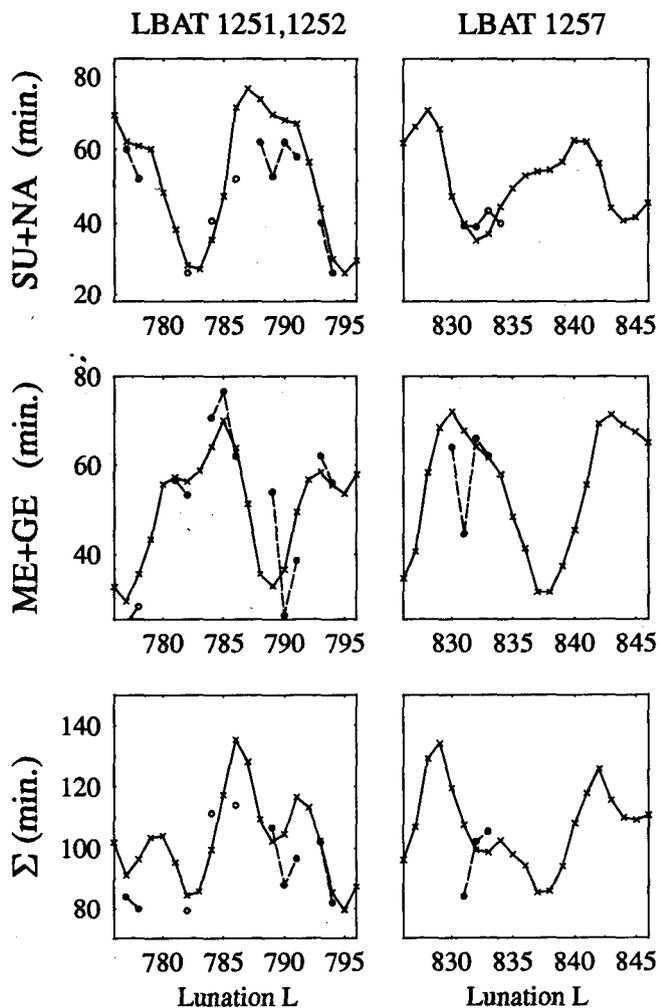


ABBILDUNG 13.11: Vergleich von Goal-Year-Daten mit berechneten Werten: links für die Tafeln LBAT 1251 und 1252, rechts für die Tafel LBAT 1257.

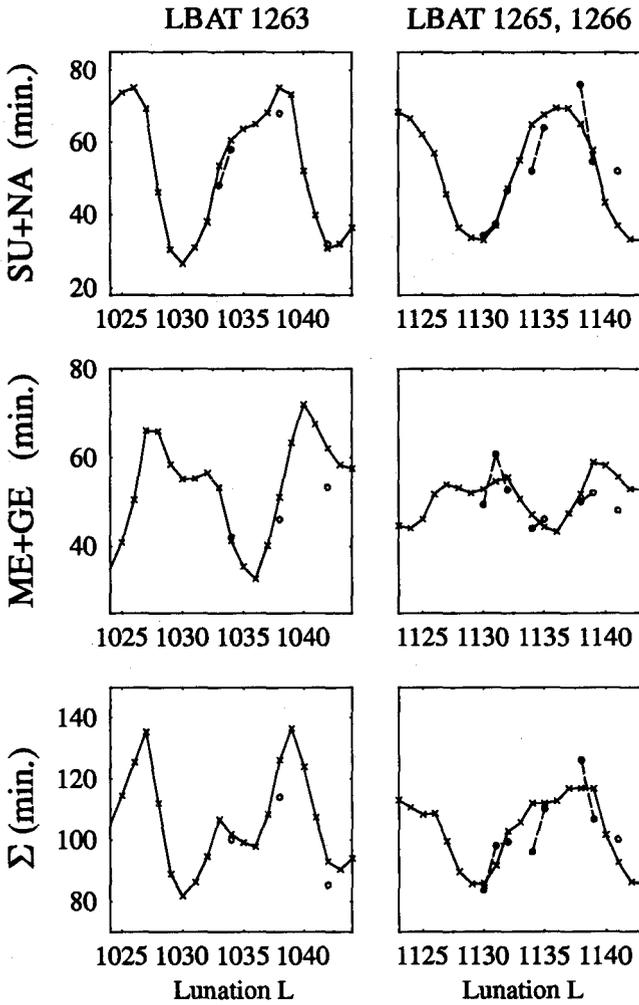


ABBILDUNG 13.12: Vergleich von Goal-Year-Daten mit berechneten Werten: links für die Tafel LBAT 1263, rechts für die Tafeln LBAT 1265 und 1266.

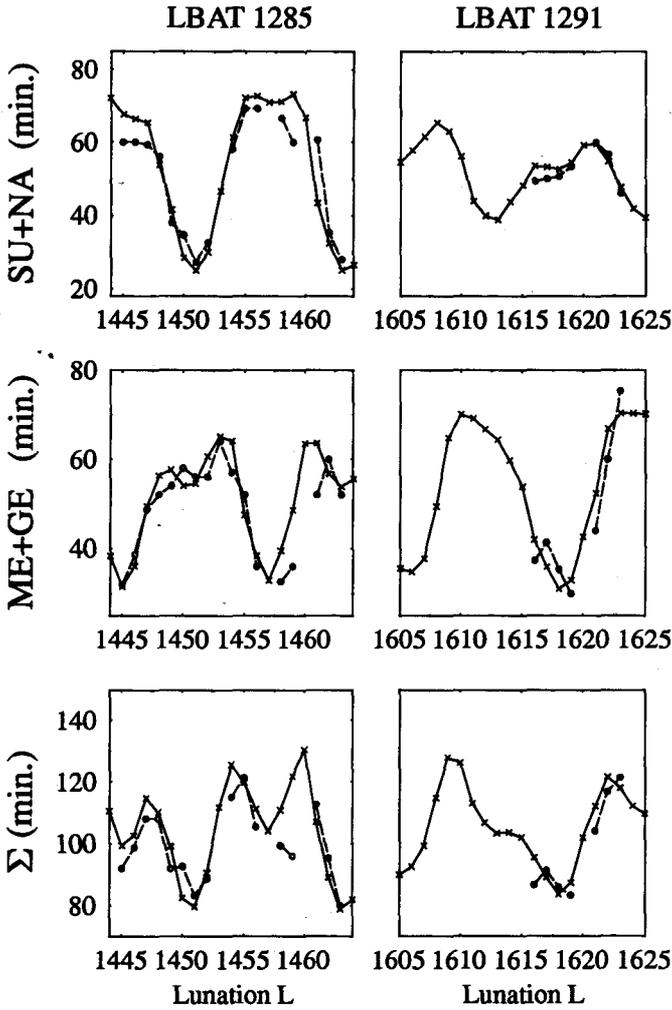


ABBILDUNG 13.13: Vergleich von Goal-Year-Daten mit berechneten Werten: links für die Tafel LBAT 1285, rechts für die Tafel LBAT 1291.

## Kapitel 14

# Empirische Vorhersagen der Lunar Six anhand der Goal-Year-Tafeln

Im Abschnitt 10.1 haben wir gesehen, wie komplex die so einfach zu beobachtenden Lunar Four sind. Jedes dieser Zeitintervalle wird von vier Variablen bestimmt: von  $\lambda_{\zeta}$ , von  $v_{\zeta}$ , von  $\beta_{\zeta}$  und davon, wann am Tag die Opposition stattfindet. Zudem wissen wir, daß jedes der Lunar Six prinzipiell die gleiche Struktur haben muß. Sie sind ja alle Auf- oder Untergangszeit eines kleinen Ekliptikbogens. Im Falle von  $KUR$  und  $NA_N$  ist es der Elongationsbogen zwischen Mond und Sonne, während es für die Lunar Four ( $\check{S}\check{U}$ ,  $NA$ ,  $ME$  und  $GE$ ) ein Elongationsbogen zwischen Mond und Gegen Sonne ist.

Der in Abbildung 5.1 wiedergegebene Ephemeridentext ACT 5 bezeugt, daß die Babylonier während der seleukidischen Zeit imstande waren, die Lunar Six unter Berücksichtigung aller relevanten Variablen zu berechnen.

Aus ihren 'Diaries' wissen wir, daß die Babylonier schon im sechsten Jahrhundert vor Christus die Lunar Six regelmäßig beobachteten – und daß sie manchmal auch dann Zahlenwerte dieser Größen einschrrieben, wenn sie *nicht beobachtet* worden waren. Wie sie diese Zahlenwerte ermittelten, wissen wir nicht; dennoch geben ältere Texte uns Hinweise darauf, daß sie irgendwann durch Extrapolation unter Verwendung von der täglichen Änderung der betreffenden Größe gefunden wurden. (Bei Konjunktion wurde  $\Delta KUR$  verwendet, und bei Opposition wohl  $\Delta\check{S}\check{U}$  und  $\Delta ME$ .)

Daß diese in Kapitel 11 behandelten alten Methoden zur Berechnung der Mondaufgänge nicht allzu gut funktionierten, haben die Babylonier wohl bald gemerkt. Auf alle Fälle haben sie, wie wir jetzt sehen werden, eine viel bessere und genauere Methode zur Berechnung der Mondauf- und -untergänge gefunden: eine empirische Methode, die zur Vorhersage von  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  die periodische Funktion  $\check{S}\check{U}+NA$  verwendet und zur Vorhersage von  $NA_N$  dieselbe, aber jetzt um 6 Monate verschoben, Funktion  $\check{S}\check{U}+NA$ .

## 14.1 Verwendung der Goal-Year-Monddaten

Wir wollen jetzt überlegen, wie die auf den Goal-Year-Tafeln gesammelten Monddaten zur Ermittlung von Lunar-Four-Daten benutzt werden können.

Wir erinnern daran, daß eine Goal-Year-Tafel für das Jahr  $Y$  sämtliche Lunar Six für alle Monate des Jahres  $Y-18$  enthält, sowie die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  für die sechs vorhergegangenen Monate.

In Abschnitt 13.1 haben wir gesehen, daß sich die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  mit großer Genauigkeit nach einem Saros wiederholen. Dies ist aber nicht der Fall für die einzelnen Werte der Lunar Four.

Wir betrachten nun eine beliebige Folge von Oppositionen  $1, 2, \dots, i, \dots$ . Die an der Lulation  $i$  ermittelten Werte von  $\check{S}\check{U}$ ,  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  nennen wir  $\check{S}\check{U}_i$ ,  $\check{S}\check{U}+NA_i$  und  $ME+GE_i$ . Dann können wir unser Wissen folgendermaßen ausdrücken:

$$(\check{S}\check{U} + NA)_i = (\check{S}\check{U} + NA)_{i-223}, \quad (14.1)$$

$$(ME + GE)_i = (ME + GE)_{i-223}. \quad (14.2)$$

Mit anderen Worten: Die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  sind für jeden Monat eines Jahres  $Y$  bekannt, wenn eine Goal-Year-Tafel für dieses Jahr existiert (Sie können durch Addition der angegebenen Lunar-Four-Daten des Jahres  $Y-18$  unmittelbar gefunden werden).

Dies kann folgendermaßen ausgenutzt werden: Wenn die Babylonier z.B. bei einer Opposition  $\check{S}\check{U}$  beobachten konnten, am nächsten Morgen aber Wolken den Mond verdeckten, dann konnte der fehlende Wert von  $NA$  leicht anhand einer Goal-Year-Tafel für das aktuelle Jahr ermittelt werden. Wir nennen diesen gesuchten Wert  $NA_i$ . In der entsprechenden Goal-Year-Tafel können die Werte von  $\check{S}\check{U}_{i-223}$  und  $NA_{i-223}$  gefunden und ihre Summe ausgerechnet und damit  $NA_i$  berechnet werden:

$$NA_i = (\check{S}\check{U} + NA)_i - \check{S}\check{U}_i = (\check{S}\check{U} + NA)_{i-223} - \check{S}\check{U}_i.$$

Oder umgekehrt: Wenn  $NA$  bekannt ist, kann  $\check{S}\check{U}$  gefunden werden. Das Analoge gilt auch für  $ME$  und  $GE$ : Wenn das eine davon gemessen wurde, kann das andere unter Verwendung einer passenden Goal-Year-Tafel gefunden werden.

Diese Verwendung der Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  wurde von van der Waerden (1974, S. 110) vorgeschlagen – nur mit dem Unterschied, daß er die Summe  $\check{S}\check{U}+NA$  verwendete, die 19 Jahre früher gemessen war statt  $\check{S}\check{U}+NA_{i-223}$ , d.h. den Wert von 18 Jahren früher. Die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  wiederholen sich sehr genau nach einem Saros, aber viel ungenauer nach 19 Jahren, wie Abbildung 13.2 veranschaulichte. Die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  wurden auch nur für die letzten 6 Monate des Jahres  $Y-19$  angegeben, und nicht für das ganze Jahr  $Y-19$ . Deshalb bin ich überzeugt, daß die Babylonier, um fehlende Lunar Four für einen Monat zu ermitteln, die entsprechenden Werte verwendeten, die einen Saros – und nicht 19 Jahre –

früher als der betreffende Monat beobachtet wurden. Wozu die angegebene Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  dienten, wird im nächsten Kapitel gezeigt werden.

Es gibt aber Beispiele in den Diaries, in denen jeweils beide Werte (sowohl  $\check{S}\check{U}$  wie  $NA$  oder sowohl  $ME$  wie  $GE$ ) aufgezeichnet worden sind, obwohl Bemerkungen daneben besagen, daß der Mond in keinem der Fälle sichtbar gewesen war. Im nächsten Abschnitt werde ich zeigen, wie auch solche Lunar Four anhand von Monddaten ermittelt werden können, die einen Saros früher beobachtet wurden.

### Vergleich zwischen $\check{S}\check{U}_i$ und $\check{S}\check{U}_{i-223}$

Wir haben in Abbildung 13.2 gesehen, daß die Lunar Four keine auffallende Systematik aufweisen und daß sich die einzelnen Lunar Four nicht nach einem Saros oder 19 Jahren wiederholen. Und wir wissen, daß jedes der Lunar Four eine Funktion von vier Variablen ist. Nehmen wir  $\check{S}\check{U}$  als Beispiel:

$$\check{S}\check{U} = \check{S}\check{U}(\Delta t, v_{\zeta}, \lambda_{\zeta}, \beta_{\zeta}).$$

Wir interessieren uns nun speziell für  $\check{S}\check{U}_i$  und  $\check{S}\check{U}_{i-223}$ . Die Variable  $\Delta t$  ist hier die Zeitdifferenz zwischen dem letzten Sonnenaufgang vor der Opposition und der Opposition selbst in den Monaten  $i$  und  $i-223$ . Die anderen Variablen  $v_{\zeta}$ ,  $\lambda_{\zeta}$  und  $\beta_{\zeta}$  sind die Geschwindigkeit des Mondes, seine Länge und Breite an den Oppositionen  $O_i$ , respektive  $O_{i-223}$ .

Ein Saros ist als 223 synodische Monate definiert, aber mit einer recht großen Genauigkeit ist er auch gleich einer ganzen Zahl von anomalistischen, siderischen und draconistischen Monaten:

$$223 \text{ syn. M.} \approx 239 \text{ anom. M.} \approx 241 \text{ sid. M.} \approx 242 \text{ drac. M.} \approx 18 \text{ Jahre.}$$

Deshalb werden die drei Variablen  $v_{\zeta}$ ,  $\lambda_{\zeta}$  und  $\beta_{\zeta}$  an den Oppositionen  $O_i$  und  $O_{i-223}$ , die einen Saros auseinander liegen, ziemlich genau die gleichen Größen haben. Von den vier Variablen, die  $\check{S}\check{U}$  bestimmen, ist  $\Delta t$  die einzige, die sich eventuell geändert hat. Wir suchen also den Unterschied zwischen  $\Delta t_{i-223}$  und  $\Delta t_i$  zu finden. Wir wissen aber, daß

$$1 \text{ Saros} = 223 \text{ syn. M.} = 6585 + 1/3 \text{ Tag}.$$

Die Opposition  $O_i$  wird deshalb in Vergleich zum Sonnenaufgang um  $1/3$  Tag später stattfinden, als es bei der Opposition  $O_{i-223}$  der Fall war. Die Variable  $\Delta t_i$  ist damit gleich  $\Delta t_{i-223} + 1/3 \text{ Tag}$ :

$$\Delta t_i = \Delta t_{i-223} + 1/3 \text{ Tag} \quad \text{für } \check{S}\check{U}.$$

Wir erinnern daran, daß  $\check{S}\check{U}$  die Untergangszeit eines Ekliptikbogens mißt, nämlich den Bogen zwischen  $\triangleright_{SU}$  und  $\overline{\odot}$ , und daß seine Länge gleich  $\Delta t \times (v_{\check{S}} - v_{\odot})$  ist. Die Geschwindigkeiten von Sonne und Mond sind gleich an den beiden Oppositionen  $O_{i-223}$  und  $O_i$ , nur der Faktor  $\Delta t$  hat sich um  $1/3$  Tag verändert. Deshalb wird der Bogen ( $\triangleright_{SU}, \overline{\odot}$ ) bei Lunation  $i$  um  $\frac{1}{3}^d(v_{\check{S}} - v_{\odot})$  größer sein als bei Lunation  $i-223$ . Die Zeit, die es für diesen Bogen von der Länge  $\frac{1}{3}^d(v_{\check{S}} - v_{\odot})$  dauert, unterzugehen, ist die Differenz zwischen  $\check{S}\check{U}_i$  und  $\check{S}\check{U}_{i-223}$ . Aber diese Untergangszeit ist ja bloß ein Drittel von  $\check{S}\check{U}+NA$ , denn  $\check{S}\check{U}+NA$  ist die Untergangszeit des Bogens ( $\triangleright_{SU}, \triangleright_{NA}$ ), und dieser Bogen hat die Länge  $1^d(v_{\check{S}} - v_{\odot})$ . Deshalb wissen wir jetzt, daß

$$\check{S}\check{U}_i - \check{S}\check{U}_{i-223} = 1/3(\check{S}\check{U} + NA)_i = 1/3(\check{S}\check{U} + NA)_{i-223}. \tag{14.3}$$

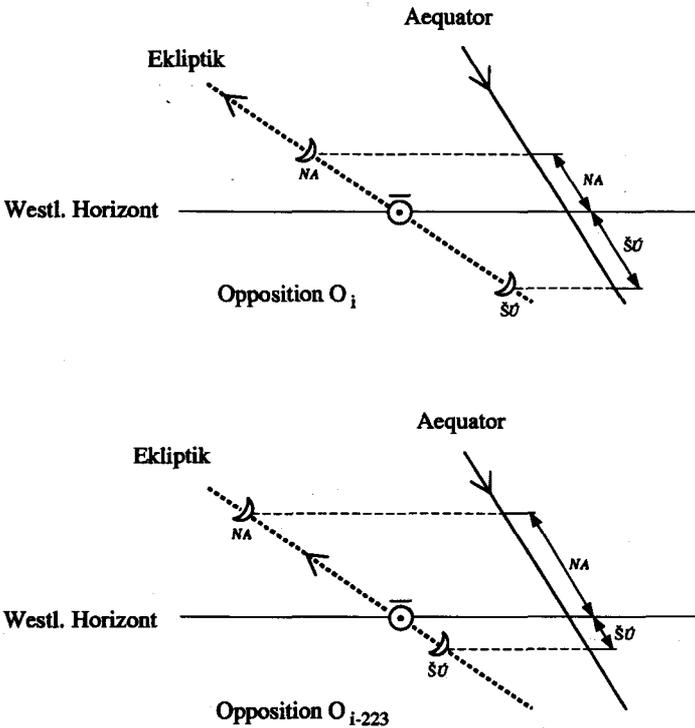


ABBILDUNG 14.1: Oben: Am westlichen Horizont sind die Positionen von Mond und Gegen Sonne an den beiden Morgen um Opposition  $O_i$  herum eingezeichnet, an denen  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  gemessen werden. Unten: Die Situation am westlichen Horizont einen Saros früher, d.h. bei der Opposition  $O_{i-223}$ .

Dieser Zusammenhang kann auch anhand einer Figur demonstriert werden. In Abbildung 10.3 war die Position des Mondes relativ zur Gegen Sonne in den Tagen um die Opposition herum veranschaulicht: Die Gegen Sonne war am Horizont plazierte, und die Positionen des Mondes am Sonnenaufgang (= Untergang der Gegen Sonne) an den beiden Morgen  $N$  und  $N+1$  waren eingezeichnet. Die Situation bei dieser Opposition, nennen wir sie  $O_i$ , wollen wir mit der Situation an der Opposition  $O_{i-223}$  vergleichen, die einen Saros früher stattfand.

In Abbildung 14.1 oben ist die Situation am westlichen Horizont bei  $O_i$  nochmals abgebildet, und darunter die Situation bei der Opposition  $O_{i-223}$ . Die Bewegung des Mondes relativ zur Gegen Sonne ist illustriert. An dem Morgen unmittelbar vor der Opposition ist der Mond in der Position  $\mathfrak{D}_{SU}$ . Danach bewegt er sich langsam entlang der Ekliptik in die durch einem Pfeil angezeigte Richtung. Bei der Opposition passiert der Mond die Gegen Sonne, und am nächsten Morgen hat er die Position  $\mathfrak{D}_{NA}$  erreicht. Die beiden Situationen in Abbildung 14.1 sind fast identisch: Die Winkel zwischen der Ekliptik und dem Horizont sind gleich groß, denn  $\lambda_{\zeta i} \simeq \lambda_{\zeta i-223}$ . Auch die Längen der beiden Bögen ( $\mathfrak{D}_{SU}$ ,  $\mathfrak{D}_{NA}$ ) (d.h. die Verschiebung des Mondes relativ zur Gegen Sonne während der betrachteten 24 Stunden) sind gleich groß, denn die Mondgeschwindigkeit ist dieselbe in beiden Fällen. Die Aufgangszeit des Bogens ( $\mathfrak{D}_{SU}$ ,  $\mathfrak{D}_{NA}$ ) in den beiden Situationen ist gleich:  $(\check{S}\check{U}+NA)_i = (\check{S}\check{U}+NA)_{i-223}$ . Der einzige Unterschied besteht in der Plazierung der Gegen Sonne  $\overline{\odot}$  in Verhältnis zu  $\mathfrak{D}_{SU}$  und  $\mathfrak{D}_{NA}$ : Bei der Lunation  $i-223$  passiert der Mond die Gegen Sonne, kurz nachdem  $\check{S}\check{U}$  gemessen wurde ( $\Delta t_{i-223}$  ist klein), während die Opposition bei der Lunation  $i$  um 8 Stunden später stattfindet ( $\Delta t_i = \Delta t_{i-223} + 1/3$  Tag).

Im Falle von  $NA$  ist die Situation umgekehrt: Der Abstand zwischen  $\overline{\odot}$  und  $\mathfrak{D}_{NA}$  ist groß bei der Lunation  $i-223$  und kleiner bei Lunation  $i$ , und zwar um ein Drittel des Bogens zwischen  $\mathfrak{D}_{SU}$  und  $\mathfrak{D}_{NA}$ . Deshalb wird der Parameter  $\Delta t$  im Falle von  $NA$  folgende Relation erfüllen:

$$\Delta t_i = \Delta t_{i-223} - 1/3 \text{ Tag} \quad \text{für } NA.$$

Daraus schließen wir:  $NA_i$  muß um ein Drittel des Wertes von  $(\check{S}\check{U}+NA)_{i-223}$  kleiner sein als  $NA_{i-223}$ . (Die Summe  $\check{S}\check{U}+NA$  hingegen bleibt dieselbe, wie wir schon wissen.) Wir können also  $NA$  für den Monat  $i$  vorausberechnen, wenn wir die Größen von  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  kennen, die um einen Saros früher im Monat  $i-223$  gemessen wurden. Wir können auch  $\check{S}\check{U}+NA$  auf andere Weise erklären. Es ist die tägliche Änderung (d.h. Abnahme) von  $\check{S}\check{U}$ :

$$\Delta \check{S}\check{U} = -(\check{S}\check{U} + NA).$$

Die Zeitdifferenz zwischen Monduntergang und Sonnenaufgang, gemessen einen Tag zu früh, d.h. einen Tag vor  $\check{S}\check{U}$ , würde ungefähr  $\check{S}\check{U} + (\check{S}\check{U}+NA)$  betragen. Die gleiche

Zeitdifferenz, um einen Tag zu spät gemessen, wäre natürlich  $-NA$  (wobei  $NA$  die Zeitdifferenz zwischen Sonnenaufgang und Monduntergang mißt):  $-NA = \check{S}\check{U} - (\check{S}\check{U} + NA)$ . Die Größe  $NA$ , um einem Tag zu spät gemessen, wäre ungefähr gleich  $NA + (\check{S}\check{U} + NA)$ . Daß wir so rechnen dürfen, kommt daher, daß  $\check{S}\check{U} + NA$  die Untergangszeit des täglichen Elongationsbogens ( $\mathfrak{D}_{SU}$ ,  $\mathfrak{D}_{NA}$ ) des Mondes mißt. Dieser Elongationsbogen repräsentiert die Verschiebung des Mondes im Verhältnis zur Sonne am Tage der Opposition. Ohne einen wesentlichen Fehler zu begehen, können wir für die Tage unmittelbar vor und nach der Opposition eine gleich große Verschiebung des Mondes annehmen. Und da diese Verschiebungsbögen alle auf dem gleichen Teil der Ekliptika liegen, sind ihre Aufgangszeiten ungefähr auch gleich.

Wir fassen zusammen: Die Summe  $\check{S}\check{U} + NA$  kann interpretiert werden als die tägliche Abnahme von  $\check{S}\check{U}$  oder als die tägliche Zunahme von  $NA$ . Auch van der Waerden (1974, S. 110) versteht  $\check{S}\check{U} + NA$  als die tägliche Verspätung des Mondunterganges. Er machte schon 1951 darauf aufmerksam, daß die Babylonier diese Größe, also die tägliche Verspätung des Mondes, durch alle Epochen, von denen wir schriftliche astronomische Zeugnisse haben, behandelt und verschiedentlich angenähert haben. Genau diese Größe benötigen wir, um  $\check{S}\check{U}$  oder  $NA$  vorherzuberechnen.

Van der Waerden vertritt die Ansicht (1951, SS. 29–30), daß die Babylonier imstande waren, anhand von früher beobachteten Monddaten die zu erwartenden Zeitpunkte der Mondauf- und -untergänge zu berechnen. Vielleicht haben wir hier eine dieser babylonischen Methoden gefunden.

### Vorhersageregeln für die Berechnung der Lunar Four

Wie wir in Gleichung (14.3) gesehen haben, ist es möglich, den Wert von  $\check{S}\check{U}$  für irgend einen Monat  $i$  zu berechnen anhand von  $\check{S}\check{U}_{i-223}$  und  $(\check{S}\check{U} + NA)_{i-223}$ , Größen, die auf der relevanten Goal-Year-Tafel aufgezeichnet sind. Argumente, die komplett analog sind mit den oben verwendeten, werden im Falle der Größen  $NA$ ,  $ME$ , und  $GE$  zu Formeln führen, die ganz ähnlich sind wie die Gleichung (14.3). Deshalb können wir schließen: Wann immer wir eine Goal-Year-Tafel für ein Jahr  $Y$  vorliegen haben, sind wir imstande, alle Lunar Four für das Jahr  $Y$  zu berechnen und damit vorherzusagen. Die vier unten stehenden Gleichungen drücken dies mathematisch aus:

$$\check{S}\check{U}_i = \check{S}\check{U}_{i-223} + 1/3(\check{S}\check{U} + NA)_{i-223}, \quad (14.4)$$

$$NA_i = NA_{i-223} - 1/3(\check{S}\check{U} + NA)_{i-223}, \quad (14.5)$$

$$ME_i = ME_{i-223} + 1/3(ME + GE)_{i-223}, \quad (14.6)$$

$$GE_i = GE_{i-223} - 1/3(ME + GE)_{i-223}. \quad (14.7)$$

Diese Gleichungen sind aber nur korrekt, wenn der jeweilige Wert auf der rechten Seite bei (14.5) und (14.7) positiv, wenn er bei (14.4) nicht größer ist als  $\check{S}\check{U}+NA$  und bei (14.6) nicht größer als  $ME+GE$ . Sonst würden sie Phänomenen entsprechen, die um einen Tag zu früh (oder zu spät) beobachtet worden waren und deshalb korrigiert werden müßten.

Wenn z.B.  $\check{S}\check{U}_i$  nach Gleichung (14.4) größer wird als  $(\check{S}\check{U}+NA)_{i-223}=(\check{S}\check{U}+NA)_i$ , dann ergibt es den Wert von  $\check{S}\check{U}$ , der einen Tag zu früh beobachtet worden war. Am nächsten Morgen würde der Mond immer noch vor Sonnenaufgang untergehen. Das korrekte Zeitintervall erhält man dann durch Subtraktion von  $(\check{S}\check{U}+NA)_{i-223}$  von der rechten Seite von (14.4). Analoge Korrekturen für die anderen Relationen sind einleuchtend. In (Brack-Bernsen, 1994, Sect. 4b) habe ich erwähnt, daß es möglich ist,  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  auf diese Weise zu berechnen. Damals dachte ich aber, daß es wohl nie möglich werden würde herauszufinden, ob die Babylonier diese simplen Regeln auch entdeckt hatten. Außerdem hatte ich keine Vorstellung davon, wie die Werte von  $KUR$  und  $NA_N$  bestimmt werden können. In der Zwischenzeit hat Herr Professor H. Hunger mir eine Übersetzung des sehr schwierigen, aber wichtigen Textes TU 11 zukommen lassen, den wir im folgenden Kapitel besprechen. Passagen dieses Textes zeigen uns, daß die Babylonier tatsächlich diese Regeln kannten und verwendeten! Zudem enthalten andere Passagen Rechenvorschriften, um  $NA_N$  auf eine ganz einfache, aber, wie wir sehen werden, präzise Weise zu berechnen. Diese Rechenregeln sind so kurz gefaßt, daß es zweifelhaft ist, ob ich sie verstanden hätte, ohne die Regeln zu kennen, die in den Gleichungen (14.4)–(14.7) formuliert sind.



# Kapitel 15

## Bestätigung der Voraussagemethode durch den Uruktext TU 11

### 15.1 Die relevanten Abschnitte des Textes TU 11

Die Abschnitte des Textes TU 11, die für unsere Untersuchungen von Interesse sind, befinden sich in den Zeilen 29, 30 und 36 – 38 auf der Vorderseite der Tafel. In H. Hungers vorläufiger Übersetzung<sup>1</sup> können wir lesen:

29) *Wenn du Wenigersein und Vollsein sehen sollst: wenn in der 18(-Jahr-Periode), Monat I, der 1. (auf einem Monat von 30 Tage folgt), eine Hinzufügung ist mit ihm nicht hinzugefügt, Monat II, der nach ihm (kommt), ist voll; (wenn) ein Drittel*

30) *von ŠÚ+NA 6 ist: du ziehst dies von NA des 1. Tages des Monats II ab, und (wenn) es weniger ist als im Monat I, der davor ist, ist der Monat II deines neuen Jahres voll.*

.....

36) *Damit du die Entsprechung(?) des Mondes im Westen machst: Von Monat I der 36(-Jahr-Periode) kehrst du 6 Monate zurück, und 0;40 (d.h. zwei Drittel) von ŠÚ+NA des Monats VII nimmst(?) du, und von NA des 1. Tages*

37) *des Monats I der 36(-Jahr-Periode) ziehst du es ab, und wenn es weniger ist als 10 uš, fügst du ŠÚ+NA als Ganzes (?) dazu. ... 0;40 von ŠÚ+NA von NA in der Mitte des Monats*

38) *ziehst du ab. 0;40 von ME+GE ziehst du von GE ab.*

Diese Zeilen geben Regeln zur Berechnung von  $NA_N$  (explizit als “NA des 1. Tages“ bezeichnet), von NA (identifiziert als “NA in der Mitte des Monats“) und von GE an. Die Summen ŠÚ+NA and ME+GE werden benutzt, sowie auch eine Periode von 36 Jahren und ein Koeffizient von  $0;40 = 2/3$ . Der Saros ist an anderen Stellen in diesem Text, wie oft in den Keilschriftstexten, bloß als “18“ bezeichnet worden. Dies erlaubt die Lesart: “36 [Jahr Periode] als 2 Saroi = 446 synodische Monate“.

---

<sup>1</sup>H. Hunger, private Mitteilung.

Wir werden zuerst die Bemerkungen zu den Lunar Four betrachten. Nachdem der Text 2 Saroi erwähnt hat, fährt er fort und fordert im letzten Drittel von Zeile 37 und in Zeile 38 den Leser dazu auf, folgende Differenzen auszurechnen:

$$NA - 2/3(\check{S}\check{U} + NA) \quad \text{und} \quad GE - 2/3(ME + GE).$$

Der Text ist nicht klar. Er sagt nicht deutlich, von welchem Monat oder welcher Opposition die Werte von  $NA$  und  $GE$  zu nehmen sind. Doch diese Abschnitte ergeben dann einen Sinn, wenn wir sie folgendermaßen lesen: "Wenn du  $NA$  finden willst, muß du um 2 Saroi zurückgehen und  $\frac{2}{3}$  von  $\check{S}\check{U} + NA$  von  $NA$  abziehen" (diese beiden Größen stammen von der Lunation, die um zwei Saroi früher stattfand als diejenigen – sagen wir mit Nummer  $i$  – für die wir uns interessieren):

$$NA_i = NA_{i-446} - 2/3(\check{S}\check{U} + NA)_{i-446},$$

und analog für  $GE$ :

$$GE_i = GE_{i-446} - 2/3(ME + GE)_{i-446}.$$

Diese Formeln sind aber genau die Gleichungen (14.5) und (14.7), wenn man sie zweimal hintereinander, nämlich für zwei aufeinanderfolgende Saroi, benutzt.

Meiner Ansicht nach unterstützt dies unserer Lesart. Außerdem ist es eine klare Bestätigung dafür, daß die Babylonier tatsächlich die Formeln (14.5) und (14.7) kannten, und höchst wahrscheinlich auch (14.4) und (14.6).

Die beiden Zeilen 36 und 37 beschäftigen sich mit der Größe  $NA$  des ersten Tages, die wir  $NA_N$  nennen. Der Text, hier klarer formuliert als die oben erwähnten Abschnitte, gibt Anweisungen, wie  $NA_N$  für den ersten Monat (I) in einem Jahr  $Y$  zu berechnen (abzuschätzen) ist.

Ich verstehe den Text, der darauf zielt,  $(NA_N)_I$  zu finden, so: "Vom Monat  $I$  [deiner] 36 [Jahresperiode] (d.h. von Monat  $I-446$ ) mußt du noch 6 Monate zurückgehen (bis zum Monat  $I-452$ ) und 0;40 von  $\check{S}\check{U} + NA$  (d.h.  $2/3$  von  $(\check{S}\check{U} + NA)_{I-452}$ ) abziehen von  $NA$  des ersten Tages der 36 [Jahresperiode] (d.h. von  $(NA_N)_{I-446}$ ).<sup>2</sup>

Diese Mitteilung kann auch in Form einer Gleichung geschrieben werden:

$$(NA_N)_I = (NA_N)_{I-446} - 2/3(\check{S}\check{U} + NA)_{I-452}.$$

Diese Formel berechnet  $NA_N$  anhand von  $NA_N$ , das 2 Saroi früher gefunden worden war, und benutzt für die tägliche Änderung von  $NA_N$  (die wir als  $\Delta NA_N$  bezeichnen)

<sup>2</sup>Bemerkung: Die Indices  $i$ ,  $I$  und  $I-452$  bezeichnen die babylonischen Monate, die an den Abenden anfangen, als  $NA_N$  beobachtet wurde. Die Größe  $(NA_N)_{I-446}$  wurde am ersten Tag des Monats  $I-446$  gemessen, während  $(\check{S}\check{U} + NA)_{I-452}$  5 1/2 Monate früher gemessen wurde, nämlich in der Mitte des Monats  $I-452$ .

die Größe  $\check{S}\check{U}+NA$ , die von dem Vollmond stammt, der weitere 5 1/2 Monate früher stattfand. Die tägliche Änderung von  $NA_N$  kann nicht durch Beobachtung bestimmt werden, da ja der untergehende Mond vor der Konjunktion nicht sichtbar ist. Dies,  $\check{S}\check{U}+NA$  statt  $\Delta NA_N$  zu verwenden, ist eine sehr geschickte, und wie wir später sehen werden, auch sehr präzise Methode.

Der Text fährt fort: „... und wenn es weniger ist als 10  $u\check{s}$ , fügst du  $\check{S}\check{U}+NA$  als Ganzes dazu.“

Die Babylonier kannten und benutzten folgende Tatsache: Wenn das berechnete  $(NA_N)_I$  am ersten Abend nach der Konjunktion zu klein war, um beobachtbar zu sein, dann konnte man es am nächsten Abend bestimmen, aber mit einem um die sechs Monate früher beobachtete Summe  $\check{S}\check{U}+NA$  vergrößerten Wert. Wir wissen, und sie wußten es offenbar auch, daß der kleine Neumond nicht sichtbar ist, wenn er sich zu nahe an der Sonne befindet, d.h. wenn er z.B. nur 10  $u\check{s}$  = 40 Minuten nach Sonnenuntergang untergeht. In diesem Fall wird der Mond erst am nächsten Abend sichtbar werden und um  $\Delta NA_N$  später untergehen. Der Text sagt tatsächlich, daß wir die ganze Größe  $\check{S}\check{U}+NA$  addieren sollen. Es ist also offensichtlich, daß die Babylonier  $\check{S}\check{U}+NA$  als die tägliche Änderung von  $NA_N$  benutzten.

Die obenstehende Formel wurde hier für einen speziellen Fall hergeleitet: für den ersten Monat (I) eines Jahres, so wie er in dem Text TU 11 auftritt. Selbstverständlich wird dieses Rezept aber auch für einen beliebigen Monat im babylonischen Jahr gültig sein. Im folgenden werden wir deshalb den allgemeinen Index  $i$  für die Monatsnummer verwenden.

Wenn wir jetzt statt zwei nur einen Saros zurückgehen, dann wäre die Formel:

$$(NA_N)_i = (NA_N)_{i-223} - 1/3(\check{S}\check{U} + NA)_{i-229}. \quad (15.1)$$

Die entsprechende rekonstruierte Formel zur Berechnung von  $KUR$  lautet also:

$$KUR_i = KUR_{i-223} + 1/3(ME + GE)_{i-229}. \quad (15.2)$$

Die Zeilen 29 und 30 auf der Vorderseite von TU 11 bestätigen uns, daß das in Gleichung (15.1) formulierte Rezept wirklich von den Babyoniern benutzt wurde. Das Ziel dieser Zeilen ist es, herauszufinden, ob ein Monat 29 oder 30 Tage hat. An dieser Stelle interessiert uns aber nur die Berechnung von  $NA_N$ . Die 18-Jahresperiode (ein Saros) wird erwähnt sowie auch ein Monat II, und es wird gesagt, daß ein Drittel von  $\check{S}\check{U}+NA$  6 sei. In der Frühlingszeit (Monat II) ist  $\check{S}\check{U}+NA$  aber immer am kleinsten; sein Wert liegt zwischen 8 und 10  $u\check{s}$ . Aber hier wird indirekt gesagt, daß  $\check{S}\check{U}+NA$  gleich 18 sei. Deshalb wissen wir, daß dieser Wert von der Herbstzeit stammen muß, wo  $\check{S}\check{U}+NA$  seinen maximalen Wert annimmt. Der ganze Text ist in sich konsistent, und diese knappe Bemerkung ergibt einen Sinn, wenn wir sie folgendermaßen lesen: “Subtrahiere ein Drittel von  $\check{S}\check{U}+NA$  (sechs Monate vor II) von  $NA_N$  (des Monats II)“. Aber dies ist genau die in Gleichung (15.1) enthaltene Regel.

Wir haben oben gesehen, daß sämtliche Daten, die zur Berechnung der Lunar Four für das ganze Jahr  $Y$  benötigt werden, auf der relevanten Goal-Year-Tafel festgehalten sind, nämlich in den Abschnitten der einzelnen Monate des Jahres  $Y-18$ . Doch diese Daten reichen nicht aus, um die Neumondphänomene  $NA_N$  und  $KUR$  für dieses Jahr  $Y$  zu berechnen. Um z.B.  $NA_N$  in Monat 1 des Jahres  $Y$  zu berechnen, benötigt man das  $NA_N$  von der Rubrik des Monats 1 auf den Goal-Year-Tafeln, aber auch die Summe  $\check{S}\check{U}+NA$  des Vollmondes sechs Monate früher. Aber diese Summe steht tatsächlich in der oberen linken Ecke der entsprechenden Goal-Year-Tafel geschrieben.

Zum ersten Mal ist hiermit verstanden und erklärt worden, weshalb am Anfang jeder Goal-Year-Tafel für das Jahr  $Y$  auch die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  der letzten 6 Monate des Jahres  $Y-19$  aufgeschrieben sind.

## 15.2 Die tägliche Änderung von $(NA_N)_i$ und ihr Verhältnis zu $(\check{S}\check{U}+NA)_{(i-6)}$

Der untergehende Mond ist nicht sichtbar in den Tagen vor der Konjunktion, und der aufgehende Mond ist in den Tagen nach der Konjunktion unsichtbar. Die tägliche Änderung von  $NA_N$  und  $KUR$ , die eigentlich in den Tagen unmittelbar um die Konjunktion herum zu messen sind, können deshalb nicht beobachtet werden. Wir können aber trotzdem diese Neumonddaten, die  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  entsprechen würden, berechnen. Unter Verwendung des Ephemeridenprogramms von Moshier (1995) haben wir (für die geographische Breite und Länge Babylons und für die Zeit kurz vor Christi Geburt)  $NA_N$  berechnet, sowie auch die Zeitdifferenz zwischen Sonnen- und Monduntergang am Abend vorher. Die Differenz zwischen diesen beiden gibt uns  $\Delta NA_N$ , die tägliche Änderung von  $NA_N$ . Auf diese Weise ist es möglich, den babylonischen Ansatz zu überprüfen, bei dem die Werte von  $(\check{S}\check{U}+NA)_{(i-6)}$  anstelle von  $\Delta(NA_N)_i$  verwendet werden. In Abbildung 15.1 haben wir die berechneten Werte von  $\Delta NA_N$  als Funktion der Lunationsnummer  $i$  als ausgezogene Linie eingezeichnet. Zum Vergleich haben wir in der gleichen Abbildung auch die berechneten Werte von  $\check{S}\check{U}+NA$ , die 5 1/2 Monate früher zu beobachten waren, als punktierte Linie eingezeichnet. Die beiden Kurven sind sozusagen identisch. Dies zeigt, daß die Verwendung von  $(\check{S}\check{U}+NA)_{(i-6)}$  anstelle von  $\Delta(NA_N)_i$  wirklich gerechtfertigt und sogar sehr genau ist.

Wir können auch erklären, warum diese babylonische Näherung so gut ist, indem wir die Abbildungen 10.4 und 11.1 nochmals anschauen. Um nicht mehr Figuren zeichnen zu müssen, argumentieren wir hier für die Größe  $KUR$  statt für  $NA_N$ . Die Abbildung 11.1 zeigt die Situation nahe dem östlichen Horizont beim *Sonnenaufgang* am Morgen 27 und 28 vor und am Morgen 29 nach der Konjunktion. Was wir  $\Delta KUR$  nennen würden (also was  $\Delta NA_N$  entspricht), ist die Aufgangszeit des Bogens ( $\mathfrak{D}_{KUR}$ ,  $\mathfrak{D}_{28}$ ). Einen halben Monat später, d.h. um die Opposition herum, ist die Situation am östlichen Horizont beim *Sonnenuntergang* ungefähr wie in Abbildung 10.4 zu sehen. Die

Sonne, die sich höchstens  $15^\circ$  entlang der Ekliptik bewegt hat, geht gerade unter; die Hälfte der Ekliptik, die sich in Abbildung 11.1 oberhalb des Horizonts befand, wird jetzt unter dem Horizont sein. (Bei dieser Argumentation spielt die kleine Verschiebung der Sonne entlang der Ekliptik keine Rolle.)

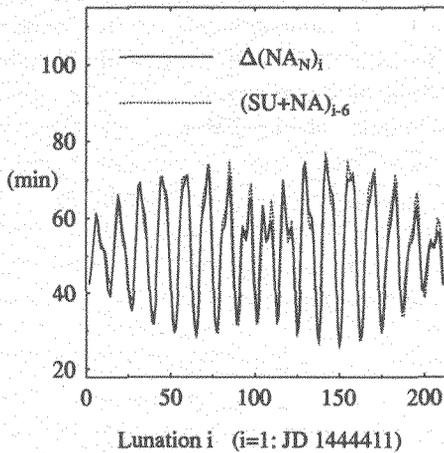


ABBILDUNG 15.1: Vergleich zwischen den berechneten Werten von  $\Delta(NA_N)_i$  (durchgezogene Linie) und dem um 6 Monate früher 'beobachteten'  $\check{S}\check{U}+NA$  (punktierte Linie). Beide sind als Funktionen der Lunationsnummer  $i$  gezeichnet, angefangen bei  $i=1$  am JD 1444411 = 1. August 759 v. Chr.

In unserem Beispiel in Abb. 11.1 befand sich die Sonne nahe des Frühlingspunkts ( $\gamma$ ), weshalb die Ekliptik beim Sonnenaufgang sehr flach lag. Beim Sonnenuntergang einen halben Monat später wird der Herbstpunkt ( $\omega$ ) nahe dem östlichen Horizont sein und die Ekliptik wird, wie die Figur zeigt, sehr steil stehen. Dies illustriert, wie die Parameter  $\lambda_\zeta$  sich von Abb. 11.1 bis 10.4 geändert haben. Die Mondgeschwindigkeit  $v_\zeta$  mag sich auch bedeutend verändert haben, und dieser Parameter ist auch wesentlich für die Größe von  $KUR$  und  $GE$ . Im Falle von  $KUR$  ist  $v_\zeta$  die Geschwindigkeit des Mondes bei Konjunktion; im Falle von  $ME$  und  $GE$  ist es die Geschwindigkeit bei Opposition einen halben Monat später. Jetzt ist aber ein halber synodischer Monat nur ungefähr um einen Tag länger als die Hälfte des anomalistischen Monats (d.h. der Periode der Mondgeschwindigkeit). Wenn also  $v_\zeta$  in Abb. 11.1 maximal ist, wird sie in Abb. 10.4 minimal sein, und vice versa. Mit anderen Worten: wenn der Bogen ( $\mathfrak{D}_{KUR}$ ,  $\mathfrak{D}_{28}$ ) lang ist, dann wird der Bogen ( $\mathfrak{D}_{ME}$ ,  $\mathfrak{D}_{GE}$ ) kurz sein, und umgekehrt.

Wir haben gesehen, daß die Situationen in den Abbildungen 11.1 und 10.4 sehr unterschiedlich sind. Es besteht keine Hoffnung,  $\Delta KUR$  von  $ME+GE$  zu bestimmen. Wenn wir aber von Abb. 10.4 um 6 Monate in der Zeit zurückgehen, werden wir sehen, daß die Bedingungen für  $ME+GE$  dann ungefähr gleich denen von  $KUR$  in Abb. 11.1 sein werden.

Wir betrachten jetzt die Opposition ( $O_{i-6}$ ), die um sechs Monate früher als diejenige von Abb. 10.4 ( $O_i$ ) stattfand, und überlegen, wie die Himmelsphäre wohl damals ausgesehen haben mag. Während sechs Monaten werden Sonne und Gegen Sonne sich ungefähr um  $180^\circ$  bewegt und damit ihre Plätze gewechselt haben. Deshalb muß die Position der Ekliptik bei *Aufgang der Gegen Sonne* bei der Opposition  $O_{i-6}$  ungefähr so gewesen sein, wie sie bei Sonnenaufgang 6 Monate später in Abb. 11.1 eingezeichnet ist. Die Gegen Sonne wird den Platz der Sonne eingenommen haben, und der Ekliptikbogen ( $\triangleright_{ME}$ ,  $\triangleright_{GE}$ ) wird irgendwie um  $\ominus$  plaziert sein. Es ist die Aufgangszeit von diesem Elongationsbogen, die die Babylonier als  $\Delta KUR$  verwendeten.

Jetzt können wir verstehen, warum dies eine gute Näherung ist: Die Aufgangszeit des Bogens ( $\triangleright_{ME}$ ,  $\triangleright_{GE}$ ) muß ungefähr gleich groß sein wie die Aufgangszeit des Bogens ( $\triangleright_{28}$ ,  $\triangleright_{29}$ ) in Abb. 11.1, denn der Winkel zwischen dem Horizont und der Ekliptik wird in beiden Fällen ungefähr der gleiche sein. Dasselbe gilt für die Längen der beiden Bögen. Diese Längen sind ja von der Mondgeschwindigkeit bestimmt, die in beiden Fällen in etwa gleich ist. Der Zeitunterschied von Opposition  $O_{i-6}$  bis Konjunktion  $K_i$  in Abbildung 11.1 beträgt  $5 \frac{1}{2}$  synodische Monate, die in der Tat auch ungefähr gleich 6 anomalistischen Monaten sind.

### 15.3 Überprüfung der babylonischen Vorhersageregeln

Auf ähnliche Art und Weise, wie wir oben numerisch nachgewiesen haben, daß  $\Delta(NA_N)_i$  und  $(\check{S}\check{U}+NA)_{i-6}$  in etwa gleich sind, werden wir jetzt einige der in den Abschnitten 14.1 und 15.1 diskutierten Faustregeln mit Hilfe moderner Computerberechnungen (Moshier, 1995) auf ihre Genauigkeit prüfen.

In den Abbildungen 15.2 und 15.3 zeigen wir durch die durchgezogenen Linien die Größen  $(NA_N)_i$  und  $\check{S}\check{U}_i$  für 50 aufeinanderfolgende Monate zwischen 236 und 232 v. Chr. Ihre auf früheren Daten basierenden und nach den Regeln der Gleichungen (15.1) und (14.4) berechneten Werte sind durch die punktierten Linien dargestellt. Wieder sehen wir, daß die Übereinstimmung hervorragend ist. Damit ist demonstriert worden, daß die babylonischen Rezepte zur Vorhersage von  $NA_N$  und  $\check{S}\check{U}$  nicht nur geschickt waren, sondern auch sehr genau.

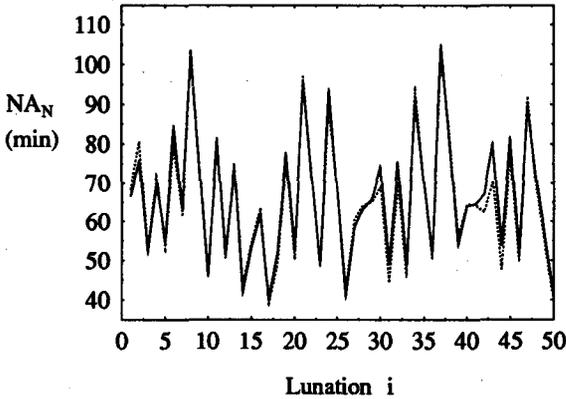


ABBILDUNG 15.2: Numerische Kontrollen der Vorhersageregeln für  $NA_N$  in Gleichung (15.1), für 50 aufeinanderfolgende Monate zwischen 236 und 232 v. Chr. Die Größe  $(NA_N)_i$ , die vorhergesagt werden soll, ist durch die durchgezogene Linie dargestellt; ihre Werte, die anhand von früheren Daten unter Verwendung der Regel (15.1) berechnet wurden, sind durch die punktierte Linie dargestellt.

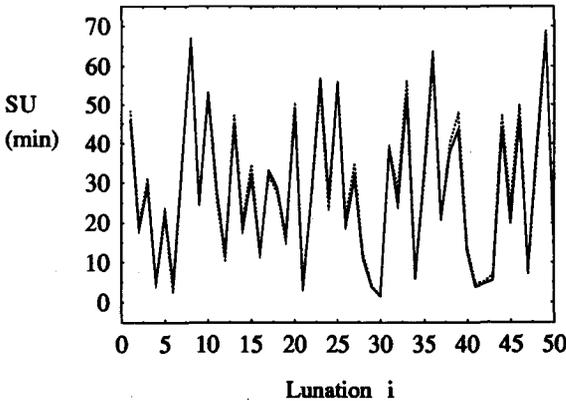


ABBILDUNG 15.3: Wie Abb. 15.2, aber für die nach der Faustregel (14.4) berechnete Größe  $\check{S}\check{U}$ .



## Kapitel 16

# Zusammenfassung, Schlußfolgerungen und offene Fragen

Der Ausgangspunkt dieses Projektes war meine Rekonstruktion von Kolonne  $\Phi$  durch babylonische Horizontbeobachtungen, die besagt, daß  $\Phi$  aus der Summe  $\Sigma$  der Lunar Four entstanden ist. Dieser Rekonstruktionsvorschlag brachte zum ersten Mal die komplizierten Lunar Four, die über Jahrhunderte beobachtet worden waren, zur Verwendung. Er stand aber im Gegensatz zu der allgemeinen Auffassung,  $\Phi$  könne durch Beobachtung von Mondfinsternissen konstruiert worden sein, messe sie doch die Saros-Dauer.

Die Diskussion einer Reihe offener Fragen führte zu folgenden Ergebnissen:

Die babylonischen Beobachtungen der Lunar Four waren genügend genau, um  $\Phi$  daraus zu konstruieren.

Die Babylonier haben das beobachtete Lunar-Four-Datenmaterial systematisch gesammelt und bearbeitet.

Die Babylonier haben tatsächlich die Summen  $\acute{S}\acute{U} + NA$  und  $ME + GE$  ausgerechnet, ihre Systematik entdeckt und zu Vorhersagen benutzt.

Diese (durch Beobachtung am Vollmond gefundenen) Summen, um sechs Monate verschoben, wurden sogar zur Vorhersage des Neumondphänomens  $NA_N$  benutzt.

Auch haben wir durch Kombination vieler verschiedener Texte gesehen, wie wenigstens ein Teil der babylonischen Astronomie wohl weitgehend aus der Empirie entstanden ist. Ich glaube, die Beziehung zwischen Beobachtung und mathematischer Astronomie ist viel enger als bisher angenommen. (Diese Ansicht wird auch von Britton, 1993, vertreten. Siehe auch die Diskussion hierüber bei Rochberg-Halton, 1991.)

Diese Erkenntnisse unterstützen meinen Rekonstruktionsvorschlag; doch daß  $\Phi$  tatsächlich so entstanden ist, habe ich nicht direkt beweisen können. Nirgends habe ich in den Quellen die Summe  $\Sigma$  der Lunar Four gefunden.

Wir wissen aber jetzt, daß die Babylonier die Werte der Lunar-Four-Zeitintervalle, an einem Vollmond gemessen, mit solchen verglichen, die beim Vollmond einen Saros

später gemessen wurden. Denn man hat erkannt, daß, obwohl nicht einzelne der Lunar Four, so doch die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  sich nach einem Saros wiederholen. Von dort ist es nur ein kleiner Schritt, auch die Summe  $\Sigma$  aller Lunar Four auszurechnen, um feststellen zu können, daß erstens auch ihr Wert sich sehr genau nach einem Saros wiederholt, und zweitens  $\Sigma$  nicht im Takt mit  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  schwingt, sondern im Takt mit der Mondgeschwindigkeit  $v_{\zeta}$ . Ich glaube, die Babylonier haben diesen Schritt vollzogen. Vergleicht man aber den Wert von  $\Sigma$  bei Vollmonden, die 1, 2, 3, ... Saroi auseinanderliegen, wird man bemerken, daß er sich (so wie auch die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$ ) langsam verändert. Nach 9 Saroi ist die Veränderung von  $\Sigma$  so groß, daß sein Wert nicht demjenigen gleicht, der um 9 Saroi früher gemessen wurde, sondern demjenigen, der 9 Saroi + 1 Monat früher gemessen worden war. Dies haben die Babylonier leicht anhand ihrer eigenen Methoden bemerken können. Es waren Beobachtungen von genau dieser Art, die ich benutzte, um zu demonstrieren (Brack-Bernsen, 1990), wie die lineare Zickzack-Funktion  $\hat{\Sigma}$  aus der Summe  $\Sigma$  der Lunar Four konstruiert werden kann.<sup>1</sup>

Warum aber  $\Phi$  um  $100^\circ$  größer ist als  $\hat{\Sigma}$ , kann ich nicht erklären. Vermutlich hängt es mit dem Saros zusammen oder damit, wie Kolonne G von Kolonne  $\Phi$  abgeleitet wurde. Ob und wie beobachtete Mondfinsternisse bei der Entstehung von Kolonne  $\Phi$  mit im Spiel waren, kann ich auch nicht sagen. Eines sehe ich aber als bewiesen an, nämlich daß es möglich ist, alleine unter Benutzung von Lunar-Four-Beobachtungen und babylonischen Methoden eine lineare Zickzack-Funktion  $\hat{\Sigma}$  zu konstruieren, die die gleiche Periode, Amplitude und Phase hat wie die babylonische Funktion  $\Phi$ . Und damit ist zum ersten Mal gezeigt worden, wie die Babylonier aus recht einfachen Beobachtungen imstande waren, die Periode  $P_{\zeta}$  der Mondgeschwindigkeit zu bestimmen. Auch haben wir gesehen, welch leichte und elegante, aber auch sehr genaue Methode zur Vorhersage der komplizierten Lunar Six die Babylonier entwickelt haben.

---

<sup>1</sup>Einige wenige gut ausgewählten Daten ergeben durch simple Division die Periodenrelation, die Kolonne  $\Phi$  zugrundeliegt. Die so gefundene lineare Zickzack-Funktion erwies sich als sehr gut und brauchbar und wurde nicht mehr durch Beobachtungen justiert oder geändert. Doch vorausgegangen war eine lange Zeit der Beobachtung und Verarbeitung von Daten; empirische Gesetzmäßigkeiten sind gefunden worden, und die Astronomen haben soviel Einsicht gewonnen, daß sie imstande waren, passende Beobachtungen auszuwählen und zur Bestimmung von Parametern zu verwenden. Aus ihrer Erfahrung wußten sie, daß  $\Sigma$  eine periodisch schwingende Funktion war, die im Takt mit  $v_{\zeta}$  schwingt und sich nach einem Saros fast genau wiederholt. Neugebauer skizziert in HAMA auf Seite 366, wie das Schema zur Berechnung von Äquinoktien und Solstitien aus wenigen gezielt ausgewählten Beobachtungen gefunden werden kann. („One quiet evening’s work could have settled the whole affair“, schreibt Neugebauer.) Ein Schema, das sich danach nicht mehr justieren ließ. Ich denke, daß auch hier ein längeres Suchen vorausgegangen war. Das Schema war genügend genau; hätte es sich als unzureichend erwiesen, dann hätten die Babylonier wohl ein genaueres Schema aus Beobachtungen konstruiert.

Ich denke, wir haben hierdurch ein wenig Einsicht erhalten, wieso die Babylonier imstande waren, die verschiedenen Variablen, welche die Mondbewegung bestimmen, aus den Beobachtungen herauszufiltern und korrekt in den rein numerisch berechneten Ephemeriden zu kombinieren – eine Leistung, die O. Neugebauer mit Recht als eine der bedeutendsten der Antike ansieht. Durch geschickte Kombination von Beobachtungen und durch Vergleiche mit früheren Werten haben sie solche astronomischen Größen gefunden, die sich periodisch wiederholen, und die sie deshalb vorhersagen konnten.

Die Babylonier haben die Sarosperiode gefunden und gesehen, daß sich die Summen  $\check{S}\check{U}+NA$  und  $ME+GE$  nach dieser Periode wiederholen. Wir wissen, daß zwei Variable durch die Addition von  $\check{S}\check{U}$  und  $NA$  (oder  $ME$  und  $GE$  respektive) eliminiert werden, weshalb die Summen viel „einfacher“ sind als jede einzelne der Lunar Four. Die Babylonier haben wohl bloß bemerkt, daß die Summen sich regelmäßig wiederholen, und diese Regelmäßigkeit ausgenutzt, um ihre sehr elegante Methode zur Vorhersage der Lunar Six zu entwickeln. Diese genaue und einfache Methode verdient unsere höchste Bewunderung.

Ist meine Vermutung richtig, daß  $\Phi$  aus der Summe  $\Sigma$  abgeleitet worden ist, dann haben die Babylonier alle Lunar Four addiert und dadurch eine meßbare Größe erhalten, die groß ist, wenn der Mond die Gegen Sonne schnell überholt, und die klein ist, wenn die Mondgeschwindigkeit klein ist. *Sie haben also die (von uns  $\Sigma$  genannte) meßbare Größe gefunden, die mit der gleichen Periode und Phase schwingt wie die variable Mondgeschwindigkeit.* Deshalb haben sie aus den beobachteten Werten von  $\Sigma$  die lineare Zickzack-Funktion  $\hat{\Sigma}$  konstruieren können, die im Takt mit der variierenden Mondgeschwindigkeit schwingt, was sie sicherlich gewußt haben.



# Kapitel 17

## Bibliographie

Aaboe, A.

- 1955: „On the Babylonian Origin of some Hipparchian Parameters“, *Centaurus*, 4, SS. 122–125.
- 1964: „On Period Relations in Babylonian Astronomy“, *Centaurus*, 10, SS. 213–231.
- 1968: „Some Lunar Auxiliary Tables and Related Texts from the Late Babylonian Period.“, *Kgl. Danske Vidensk. Selskab. Mat.-fys. Medd.* 36, 12.
- 1969: „A Computed List of New Moons for 319 B.C. to 316 B.C. from Babylon: B.M. 40094.“, *Kgl. Danske Vidensk. Selskab. Mat.-fys. Medd.* 37, 3.
- 1971: „Lunar and Solar Velocities and the Length of Lunation Intervals in Babylonian Astronomy.“ *Kgl. Danske Vidensk. Selskab. Mat.-fys. Medd.* 38, 6.
- 1980: „Observation and Theory in Babylonian Astronomy“, *Centaurus*, 24, SS. 14–35.
- 1991: „Babylonian Mathematics, Astrology, and Astronomy“, in: *The Cambridge Ancient History*, 2nd ed., vol. III, 2, SS. 276–292.

Aaboe, A., and Henderson, J.A.

- 1975: „The Babylonian Theory of Lunar Latitude and Eclipses According to System A“, *Arch. Int. d'Hist. des Sci.* Vol. 25, No. 97, SS. 181–222.

Aaboe, A., Britton, J.P., Henderson, J.A., Neugebauer, O., and Sachs, A.J.

- 1991: „Saros Cycle Dates and Related Babylonian Astronomical Texts“ *Transactions of the American Philosophical Society* Volume 81, Part 6, SS. 1–75.

Aaboe, A., and Sachs, A.J.

- 1969: „Two lunar texts of the Achaemenid Period from Babylon“, *Centaurus*, 14, SS. 1–22.

ACT: s. Neugebauer (1955).

Al-Rawi, F. N. H. and George, A. R.

1991: *Enuma Anu Enlil XIV and other early astronomical tables*, Archiv für Orientforschung, Beiheft 37.

Bernsen, L. (Brack-Bernsen, L).

1969: „On the Construction of Column B in System A of the Astronomical Cuneiform Texts“, *Centaurus*, 14, No.1 SS. 23–28.

Brack-Bernsen, L.

1980: „Some Investigations on the Ephemerides of the Babylonian Moon Texts. System A“, *Centaurus*, 24, SS. 36–50.

1990: „On the Babylonian Lunar Theory: A Construction of Column  $\Phi$  from Horizontal Observations“, *Centaurus*, 33, SS. 39–56.

1993: „Babylonische Mondtexte: Beobachtung und Theorie“, in: *Grazer Morgenländische Studien. Band 3: Die Rolle der Astronomie in den Kulturen Mesopotamiens*, edited by H. D. Galter, Graz, rm-Verlag, SS. 331–358.

1994: „Konsistenz zwischen Kolonne  $\Phi$  und Babylonischen Aufzeichnungen der 'Lunar Four'“ in: *AD RADICES, Festband zum fünfzigjährigen Bestehen des Instituts für Geschichte der Naturwissenschaften der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main*, Hrsg. Anton von Gotstedter, Stuttgart, Steiner Verlag, SS. 45–64.

1996: „Goal-Year Tablets: Lunar Data and Predictions“ Wird erscheinen in 'Ancient Astronomy and Celestial Devination', Publications of the Dibner Institute for the History of Science and Technology Vol.I, University of Chicago Press.

1996b: „Empirie contra Theorie: Zur Entwicklung und Deutung der babylonischen Astronomie“ in 'Antike Naturwissenschaft und ihre Rezeption' WVT, Wissenschaftlicher Verlag Trier, SS. 7–16.

Brack-Bernsen, L., and Schmidt, O.

1994: „On the foundations of the Babylonian column  $\Phi$ : Astronomical significance of partial sums of the Lunar Four“, *Centaurus*, 37, SS. 183–209.

Britton, J.P.

- 1987: „The Structure and Parameters of Column  $\Phi$ “, in: *From Ancient Omens to Statistical Mechanics: Essays on the Exact Sciences Presented to Asger Aaboe*, ed. by J.L.Berggren and B.R.Goldstein (Acta historica scientiarum naturalium et medicinalium, 39).
- 1989: „An Early Function for Eclipse Magnitudes in Babylonian Astronomy“, *Centaurus*, 32, 1-52.
- 1993: „Scientific Astronomy in Pre-Selucid Babylon“, in: *Grazer Morgenländische Studien. Band 3: Die Rolle der Astronomie in den Kulturen Mesopotamiens*, edited by H. D. Galter, Graz, rm-Verlag, SS. 61-76.

Diaries: s. Sachs and Hunger (1988).

Epping, J.

- 1890: „Sachliche Erklärung des Tablets No. 400 der Cambyses-Inschriften“, *Zeitschrift für Assyriologie V*, SS. 281-288.

Epping, J. – Strassmaier, J.N.

- 1881: „Zur Entzifferung der astronomischen Tafeln der Chaldäer“, *Stimmen aus Maria Laach. Ergänzungsheft 44*, Freiburg i.B. SS. 277-292.

Goldstine. H.H.

- 1973: „*New and Full Moons 1001 B.C. to A.D. 1651*“, *Memoirs of the American Philosophical Society*. Vol. 94.

HAMA: s. Neugebauer (1975).

Huber, P.J.

- 1982: „*Astronomical dating of Babylon I and Ur III*“, *Occasional Papers on the Near East 1/4*, Undena Publications, Malibu.
- 1987: „Dating by lunar eclipse omnia, with speculations on the birth of omen astrology“, in *From Ancient Omens to Statistic Mechanics: Essays on the Exact Sciences presented to Asger Aaboe*, Hrsg. J.L. Berggren und B.R. Goldstein, (Copenhagen), SS. 3-13.

Hunger, H.

- 1992: *Astrological Reports to Assyrian Kings*, State Archives of Assyria. Vol. XII. Helsinki University Press.

Hunger, H. and Pingree, D.

1989: *MUL.APIN, an astronomical compendium in cuneiform*, Archiv für Orientforschung, Beiheft 24.

Jones, A.

1991: „The Adaptation of Babylonian Methods in Greek Numerical Astronomy“ *ISIS* 82, 441–453.

1993: „Evidence for Babylonian Arithmetical Schemes in Greek Astronomy“, in: *Grazer Morgenländische Studien. Band 3: Die Rolle der Astronomie in den Kulturen Mesopotamiens*, edited by H. D. Galter, Graz, rm-Verlag, SS. 77–94.

Kugler, F. X.

1906 -1935: *Sternkunde und Sterndienst in Babel I - III (SSB I-III)*, Münster in Westfalen, Aschendorffsche Verlagsbuchhandlung.

Langdon, S. H., Fotheringham, J.K. und Schoch, C.

1928: *The Venus tablets of Ammizaduga*. Oxford University Press.

LBAT: s. Pinches, T.G., Strassmaier, J.N., and Sachs, A.J.(1955)

Maeyama, Y.

1978: „On the Babylonian Lunar Theory“, *Arch. Int. d'Hist. des Sci.* Vol. 28, No. 102, SS. 21–35.

1979: „The Length of the Synodic Months“, *Arch. Int. d'Hist. des Sci.* Vol. 29, No. 104, SS. 68–94.

1981: „The Basic Problems of the Babylonian Lunar Theory“, *Arch. Int. d'Hist. des Sci.* Vol. 31, No. 107, SS. 253–372.

1994: „Synodische Perioden“, in: *AD RADICES, Festband zum fünfzigjährigen Bestehen des Instituts für Geschichte der Naturwissenschaften der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main*, Hrsg. Anton von Gotstedter, Stuttgart, Steiner Verlag, SS. 125–142.

Moesgaard, K.P.

1980: „The Full Moon Serpent. A Foundation Stone of Ancient Astronomy?“, *Centaurus* 24, 51–96.

Moshier, S. S.

- 1995: Computerprogramm "AA" zur Berechnung von Ephemeriden für das Sonnensystem (1987, 1992; neuste Version 5.3: 1995; public domain). Es werden vorwiegend Algorithmen verwendet, die im "Astronomical Almanach" (AA) vom U.S. Government Printing Office publiziert wurden. Für den Mond wurde speziell verwendet: M. Chapront-Touzé und J. Chapront, "ELP2000-85: a semi-analytical lunar ephemeris adequate for historical times", *Astronomy and Astrophysics* 190 (1988) 342-352.

Neugebauer, O.

- 1947: „Studies in ancient astronomy VIII. The water clock in Babylonian astronomy“, *Isis* Vol. 37/1-2, nos. 107-108, SS. 37-43.
- 1955: *Astronomical Cuneiform Texts. (ACT)* Lund Humphries, London, Vols. I-III.
- 1957: *The Exact Sciences in Antiquity*. 2nd ed. Providence, Brown University Press (auch im Dover-Verlag, 1969).
- 1957a: „Saros“ and Lunar Velocity in Babylonian Astronomy“ *Kgl. Danske Vidensk. Selskab. Mat.-fys. Medd.* 31, 4.
- 1975: *A History of Ancient Mathematical Astronomy. (HAMA)* Springer Verlag, New York, Vols. I-III.

Parker, R.A. und Dubberstein, W.H.

- 1956: „Babylonian Chronology“ *Brown University Studies XIX*. Providence, Brown University Press.

Parpola, S.

- 1970: *Letters from Assyrian Scholars to the Kings Esarhaddon and Assurbanipal (LAS I)*. (Neue revidierte und erweiterte Ausgabe: s. (1993a).)
- 1983: *Letters from Assyrian Scholars to the Kings Esarhaddon and Assurbanipal (LAS II)*.
- 1993: „Mesopotamian Astrology and Astronomy as Domains of the Mesopotamian 'Wisdom'“, in: *Grazer Morgenländische Studien. Band 9: Die Rolle der Astronomie in den Kulturen Mesopotamiens*, edited by H. D. Galter, Graz, rm-Verlag, SS. 47-59.

- 1993a: *Letters from Assyrian and Babylonian Scholars*, State Archives of Assyria, Vol. X, Helsinki University Press (LABS, neue revidierte und erweiterte Ausgabe von LAS I).
- Pinches, T.G., Strassmaier, J.N., and Sachs, A.J.
- 1955: *Late Babylonian Astronomical and Related Texts. (LBAT)*, Providence, Brown University Press.
- Pingree, D.
- 1992: „Hellenophilia versus the History of Science“ in: *Isis*, Volume 83, Number 4, SS. 554–563.
- Reiner, E. und Pingree, D.
- 1975: *Babylonian Planetary Omens, Part one it Enuma Anu Enlil, Tablet 63: The Venus Tablet of Ammisaduqa*, Bibliotheca Mesopotamica 2/1, Malibu.
- 1981: *Babylonian Planetary Omens, Part two it Enuma Anu Enlil, Tablets 50-51*, Bibliotheca Mesopotamica 2/2, Malibu.
- Rochberg-Halton, F.
- 1988: „*Aspects of Babylonian celestial divination: the lunar eclipse tablets of Enuma Anu Enlil*“, Archiv für Orientforschung, Beiheft 22.
- 1991: „Between Observation and Theory in Babylonian Astronomical Texts“, in: *Journal of Near Eastern Studies* 50, no.2, SS. 107–120.
- 1992: „The Cultures of Ancient Science: Some Historical Reflections: Introduction“ in: *Isis*, Volume 83, Number 4, SS. 547–553.
- 1993: „The Cultural Locus of Astronomy in Late Babylonia“, in: *Grazer Morgenländische Studien. Band 3: Die Rolle der Astronomie in den Kulturen Mesopotamiens*, edited by H. D. Galter, Graz, rm-Verlag, SS. 31–45.
- Sachs, A.
- 1948: „A classification of the Babylonian astronomical tablets of the Seleucid period“, *Journal of Cuneiform Studies* 2, SS. 271–290.

Sachs, A.J., and Hunger, H.

1988: *Astronomical diaries and related text from Babylonia. Volume I (1988), II (1989) and III (1996): Diaries from 652 B.C. to 61 B.C.*, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien.

Schmidt, O.

1969: „A Mean Value Principle in Babylonian Planetary Theory“, *Centaurus* 14, no.1: SS. 267–286.

1987: „The Veloccity Function Belonging to a Linear Zig-zagg Funktion in Babylonian Astronomy“, in: *From Ancient Omens to Statistic Mechanics: Essays on the Exact Sciences presented to Asger Aaboe*, Hrsg. J.L. Berggren und B.R. Goldstein, (Copenhagen), SS. 15–21.

1996: „Studies on Ancient Spherical Astronomy“. Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in the Department of Mathematics at Brown University. May 1943. Diese Arbeit wird veröffentlicht vom Institute for Research in Classical Philosophy and Science, Princeton, N.J., U.S.A.

SSB: s. Kugler (1906–1935).

Stephenson, F. R.

1974: „Late Babylonian observations of 'lunar six'es“, in *The Place of Astronomy in the Ancient World*, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* A 276, SS. 118–121.

Stephenson, F. R., and Fatoohi, L.J.

1993: „Lunar Eclipse Times recorded in Babylonian History“, in *Journal for the History of Astronomy* 24, SS. 255–267.

Swerdlow, N. M.

1995: „*The Babylonian Theory of the Planets and the Derivation of Its Parameters from Dates of Phenomena*“, Part 1–3, Preprint von Department of Astronomy & Astrophysics, the University of Chicago.

Thureau-Dangin, Fr.

1922: „Tablettes d’Uruk“, Musée du Louvre, *Textes cuneiformes* 6, Paris.

Toomer, G. J.

1984: „Ptolemy’s Almagest“, Springer-Verlag, New York.

van der Waerden, B.L.

1949: „Dauer der Nacht und Zeit des Monduntergangs in den Tafeln des Nabû-zuqup-GI.NA.“, *Zeitschrift für Assyriologie* 49, S. 307 ff.

1951: „Babylonian Astronomy.III. The earliest astronomical Computations“, *Journal of Near Eastern Studies* 10, SS. 20–34.

1968: *Erwachende Wissenschaft, Band 2: Die Anfänge der Astronomie*. Birkhäuser Verlag, Basel.

1974: *Science Awakening II: The Birth of Astronomy*. Oxford University Press, New York, SS. 108–110.

Walker, C.B.F.

1993: „Bibliography of Babylonian Astronomy and Astrology.“, in: *Grazer Morgenländische Studien. Band 3: Die Rolle der Astronomie in den Kulturen Mesopotamiens*, edited by H. D. Galter, Graz, rm-Verlag, SS. 407–49.

## BOETHIUS

Texte und Abhandlungen zur Geschichte der Naturwissenschaften  
Herausgegeben von Menso Folkerts

1. **Matthias Schramm: Ibn Al-Haythams Weg zur Physik.** 1963. X, 348 S. m. 1 Faks. u. 5 Abb., kt. ISBN 3-515-00457-2  
Ln. **0458-0**
2. **Joseph E. Hofmann: Frans van Schooten der Jüngere.** 1962. VIII, 54 S., 28 Abb., 4 Taf., kt. **0459-9**
3. **Ernst Zinner: Alte Sonnenuhren an europäischen Gebäuden.** 1964. VIII, 233 S., 24 Taf., kt. **0460-2**
4. **Martin Plessner: Vorsokratische Philosophie und griechische Alchemie in arabisch-lateinischer Überlieferung.** Studien zu Text u. Inhalt der „Turba Philosophorum“. Nach dem Manuskript ediert von Felix Klein-Franke. 1975. XII, 143 S., 2 Taf., kt. **1972-3**
5. **Klaus Michael Meyer-Abich: Korrespondenz, Individualität und Komplementarität.** Eine Studie zur Geistesgeschichte der Quantentheorie i.d. Beiträgen Niels Bohrs. 1965. XI, 211 S., kt. **0462-9**  
Ln. **0463-7**
6. **Christoph J. Scriba: Studien zur Mathematik des John Wallis (1616–1703).** 1966. XII, 144 S., 4 Taf., 6 Abb., 17 Fig., kt. **0464-5**
7. **Hans Kangro: Joachim Jungius' Experimente und Gedanken zur Begründung der Chemie als Wissenschaft.** Ein Beitrag zur Geistesgeschichte des 17. Jhs. 1968. XXIV, 479 S., 117 Abb., kt. **0465-3**
8. **Gregor Maurach: Coelum Empyreum.** Versuch einer Begriffsgeschichte. 1968. VIII, 102 S., kt. **0466-1**  
Ln. **0467-X**
9. **Menso Folkerts: 'Boethius' Geometrie II.** Ein mathematisches Lehrbuch des Mittelalters. Untersuchung der Quellen und Edition. 1970. XIV, 253 S., 21 Taf., kt. **0469-6**
10. **Fritz Kraftt: Dynamische und statische Betrachtungsweise in der antiken Mechanik.** 1970. XVIII, 182 S. m. 23 Abb., kt. **0471-8**
11. **Hans Kangro: Vorgeschichte des Planckschen Strahlungsgesetzes.** Messungen und Theorien der spektralen Energieverteilung bis zur Begründung der Quantenhypothese. 1970. XVI, 271 S. m. 35 Fig., 2 Taf., kt. **0472-6**
12. **Menso Folkerts / Uta Lindgren, Hrsg.: Mathemata.** Festschrift für Helmuth Gericke. 1985. X, 742 S., kt. **4324-1**
13. **Renatus Ziegler: Die Geschichte der geometrischen Mechanik im 19. Jahrhundert.** Eine historisch-systematische Untersuchung von Möbius und Plücker bis zu Klein und Lindemann. 1985. XII, 260 S., kt. **4544-9**
14. **Barnabas B. Hughes: Robert of Chester's Latin Translation of al-Khwārizmī's al-Jabr.** A New Critical Edition. 1989. 76 S. m. 6 Taf., kt. **4589-9**
15. **H. L. L. Busard: The Mediaeval Latin Translation of Euclid's Elements made directly from the Greek.** 1987. V, 411 S., kt. **4628-3**
16. **Joachim Fischer: Napoleon und die Naturwissenschaften.** 1988. XIV, 390 S. m. zahlr. Abb., kt. **4798-0**
17. **Jürgen Teichmann: Zur Geschichte der Festkörperphysik.** Farbzentrenforschung bis 1940. 1988. 162 S. m. 18 Abb., kt. **4836-7**
18. **George Molland: Thomas Bradwardine, Geometria speculativa.** Latin Text and English Translation with an Introduction and a Commentary. 1989. 176 S. m. 41 Abb., kt. **5020-5**
19. **Albert Radl: Der Magnetstein in der Antike.** Quellen und Zusammenhänge. 1988. XI, 238 S., kt. **5232-1**
- 20.1 + 2 **Kurt Vogel: Kleinere Schriften zur Geschichte der Mathematik.** Hrsg. von Menso Folkerts. 1988. 2 Bde.: XLVIII, 413 u. VII, 471 S., zahlr. Abb., 1 Frontispiz, kt. **5258-5**
21. **Armin Gerl: Trigonometrisch-astronomisches Rechnen kurz vor Copernicus.** Der Briefwechsel Regiomontanus-Bianchini. 1989. X, 357 S., kt. **5373-5**
- 22.1 + 2. **H.L.L. Busard: Jordanus de Nemore, de elementis arithmetice artis.** A medieval Treatise on Number Theory. 1991. 2 Bde.: 372 u. 188 S., zahlr. Fig., kt. **5214-3**
23. **Richard L. Kremer, ed.: Letters of Hermann von Helmholtz to his Wife 1847-1859.** 1990. XLII, 210 S. m. 11 Abb. dav. 1 fbg., kt. **5583-5**
24. **Gert Schubring, Hrsg.: „Einsamkeit und Freiheit“ neu besichtigt.**

- Universitätsreformen und Disziplinenbildung in Preussen als Modell für Wissenschaftspolitik im Europa des 19. Jahrhunderts. Proceedings of the Symposium of the XVIIIth International Congress of History of Science at Hamburg-Munich, 1-9 August 1989. 1991. 334 S., kt. **5675-0**
25. **Bernhard Fritscher: Vulkanismusstreit und Geochemie.** Die Bedeutung der Chemie und des Experiments in der Vulkanismus-Neptunismus-Kontroverse. 1991. VIII, 346 S., kt. **5865-6**
26. **Friedrich Steinle: Newtons Entwurf, „Über die Gravitation...“.** Ein Stück Entwicklungsgeschichte seiner Mechanik. 1991. 192 S., kt. **5715-3**
27. **Astrid Schürmann: Griechische Mechanik und antike Gesellschaft.** Studien zur staatlichen Förderung einer technischen Wissenschaft. 1991. X, 348 S., kt. **5853-2**
28. **Dieter Heribert: Die Entstehung des Tensorkalküls.** Von den Anfängen in der Elastizitätstheorie bis zur Verwendung in der Baustatik. 1991. IV, 318 S. m. 3 Faltktn., kt. **6019-7**
29. **Volker Bialas, Hrsg.: Naturgesetzlichkeit und Kosmologie in der Geschichte.** Festschrift für Ulrich Grigull. 1992. 116 S., kt. **6080-4**
30. **Freddy Litten: Astronomie in Bayern 1914-1945.** 1992. XII, 329 S., kt. **6092-8**
31. **David Cahan, Ed.: Letters of Hermann von Helmholtz to his Parents.** The Medical Education of a German Scientist 1837-1846. 1993. X, 133 S. u. 15 Taf., kt. **6225-4**
32. **Detlef Haberland, Hrsg.: Engelbert Kaempfer. Werk und Wirkung.** Vorträge der Symposien in Lemgo (19.-22. 9.1990) und in Tokyo (15.-18.12.1990). Hrsg. im Auftr. d. Engelbert-Kämpfer-Ges. (Lemgo) u. d. Deutschen Inst. f. Japanstudien. 1993. 472 S. m. 114 Abb., kt. **5995-4**
33. **Ellen Jahn: Die Cholera in Medizin und Pharmazie.** Im Zeitalter des Hygienikers Max von Pettenkofer. 1994. 222 S., kt. **6532-6**
34. **Bettina Meitzner: Die Gerätschaft der chymischen Kunst.** Der Traktat „De scueastica artis“ des Andreas Libavius von 1606. Übersetzung, Kommentierung und Wiederabdruck. 1995. XVIII, 419 S., kt. **6672-1**
35. **Kai Torsten Kanz, Hrsg.: Philosophie des Organischen in der Goethezeit.** Studien zu Werk und Wirkung des Naturforschers Carl Friedrich Kiehmeyer (1765-1844). 1994. 281 S. m. 11 Abb. **6550-4**
36. **Christel Ketelsen: Die Gödel'schen Unvollständigkeitssätze.** Zur Geschichte ihrer Entstehung und Rezeption. 1994. X, 161 S., kt. **6535-0**
37. **Walter Hauser: Die Wurzeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung.** Die Verbindung von Glückspieltheorie und statistischer Praxis vor Laplace. 1997. 236 S., kt. **7052-4**
38. **Claus Priesner: Bayerisches Messing.** Franz Matthias Ellmayrs „Mößing-Werkh ao. 1780“. Studien zur Geschichte, Technologie und zum sozialen Umfeld der Messingerzeugung im vorindustriellen Bayern. 1997. 322 S., 16 Taf., kt. **6925-9**
39. **Kai Torsten Kanz: Nationalismus und internationale Zusammenarbeit in den Naturwissenschaften.** Die deutsch-französischen Wissenschaftsbeziehungen zwischen Revolution und Restauration, 1789-1832. Mit einer Bibliographie der Übersetzungen naturwissenschaftlicher Werke. 1997. 352 S., kt. **7079-6**
40. **Lis Brack-Bernsen: Zur Entstehung der babylonischen Mondtheorie.** Beobachtung und theoretische Berechnung von Mondphasen. 1997. VIII, 142 S., kt. **7089-3**