

MATHEMATISCHE ASTRONOMIE IN BABYLONIË

MATHIEU OSSENDRIJVER (Eberhard Karls Universität Tübingen)*

Een scène in de Rēš-tempel te Uruk

Rond het jaar 112 van de Seleucidische kalender (SE)¹ voert de jonge schrijver Anu-aba-utēr te Uruk berekeningen uit voor zijn vader en leermeester Anu-bēlšunu. Het doel daarvan is de data en posities tot in het jaar 135 SE te voorspellen waarop de eerste zichtbaarheid van Venus als avondster zal plaatsvinden (zie intermezzo 1). Anu-aba-utēr neemt een vers kleitablet en verdeelt de voorzijde in kolommen door met zijn rietpen enkele verticale lijnen te trekken. In de eerste kolom zal hij het jaar noteren, in de tweede maand en dag, in de derde “Venus, ondergang”, in de vierde de positie van Venus uitgedrukt in graden en een teken van de dierenriem, en in de vijfde “(eerste) zichtbaarheid”. Hij begint in regel 1 met het jaar 111, noteert in de tweede kolom dag 27;30 van maand V (voor een uitleg van het Babylonische getalsysteem zie intermezzo 2) en in de vierde 3° van het teken Weegschaal. Deze gegevens schrijft hij over van een andere tabel met berekeningen, of hij ontleent ze uit een astronomisch dagboek met waarnemingen. Om de volgende regels te vullen past hij formules toe die hij wellicht van zijn vader heeft geleerd, maar die hij ook kan naslaan op tabletten met astronomische rekeninstructies, zogenaamde procedureteksten. Hij kiest de eenvoudigste formule die hem ter beschikking staat: tel bij de datum 19 maanden plus 23;10 dagen op en bij de positie 7 tekens van de dierenriem plus 5;30°. Er rekening mee houdend dat de jaren 111 en 112 uit 12 maanden bestaan verkrijgt hij voor de volgende datum dag 20;40, maand I, jaar 113, en voor de volgende positie 8;30° van het teken Stier. In de eerste kolom schrijft hij „maand VI” om te markeren dat volgens de gangbare regel het jaar 113 een tweede maand VI zal bevatten en dus een schrikkeljaar met 13 maanden is. Op analoge wijze vult hij daarna de rest van de tabel tot dat hij in regel 16 op de achterzijde het jaar 135 bereikt. Onderaan vermeldt hij in de colofon zijn vader als bezitter en zichzelf als schrijver van het

* Dit artikel berust op onderzoek dat mogelijk is gemaakt door financiële ondersteuning van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) en de Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG).

¹ Het jaar 1 SE (Seleucid Era) valt in de jaren 311/310 v. Chr., 112 SE in 200/199 v. Chr.

tablet. Hij overhandigt het tablet ter controle aan zijn vader, die het na goedkeuring laat drogen en dan in de tempelbibliotheek opstelt.

A 3415 (ACT 400)

Voorzijde

1	111	V	27;30	Venus	ondergang	3	Weegschaal	(eerste) zichtbaarheid	
	113	VI	I 20;40	Venus	ondergang	8;30	Stier	(eerste) zichtbaarheid	
	114		VIII 13;50	Venus	ondergang	14	Boogschutter	(eerste) zichtbaarheid	
	116		III 7	Venus	ondergang	19;30	Kreeft	(eerste) zichtbaarheid	
5	117		X 30;10	Venus	ondergang	25	Waterman	(eerste) zichtbaarheid	
	119		V 2[3;2]0	Venus	ondergang	30;30	Maagd	(eerste) zichtbaarheid	
	121	XII	I 1[6;30]	Venus	ondergang	6]	Stier	(eerste) zichtbaarheid	
	[122]		VIII [9;40]	Venus	ondergang	11;30	Boogschutter	(eerste) zichtbaarheid	
	124		[III 2;50]	Venus	ondergang	17	Kreeft	(eerste) zichtbaarheid	
10	[1]25		[X 26	Venus	ondergang	22;30	Waterman	(eerste) zichtbaarheid	
	[127		V 19;10	Venus	ondergang	28	Maagd	(eerste) zichtbaarheid	
Achterzijde									
	[129	XII	I 12;20	Venus	ondergang	3;30	Stier	(eerste) zichtbaarheid	
	[130]		VIII 5;30	Ve[nus	ondergang	9	Boogschutter	(eerste) zichtbaarheid	
	132	VI	III 28;40	Venus	[ondergang	14;30	Kreeft	(eerste) zichtbaarheid	
15	133		X 21;50	Venus	ondergang	[20	Waterman	(eerste) zichtbaarheid	
	135		V 15	Venus	ondergang	25;30	Ma[agd]	(eerste) zichtbaarheid	

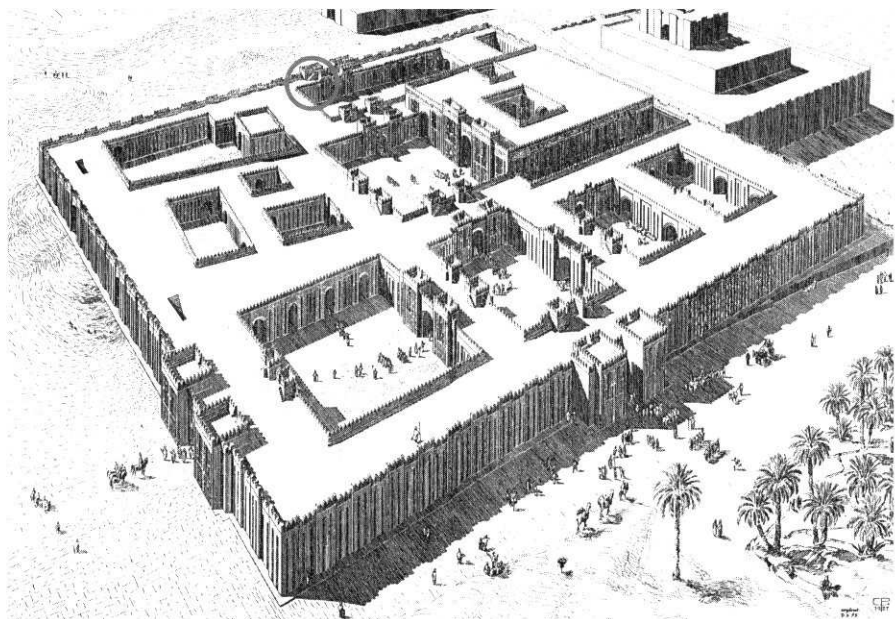
Tablet van Anu-bēlšunu, klagpriester van Anu, zoon van Nidinti-Anu, nakomeling van Šin-lēqi-unninni. Hand van Anu-aba-utēr, zijn zoon.

Archeologische en archiefcontext

Dit tablet bevindt zich momenteel in het Oriental Institute te Chicago. Al voor 1912, toen de Duitse opgravingen te Uruk onder leiding van J. Jordan begonnen, hebben lokale bewoners talrijke Seleucidische tabletten opgegraven die via de antiquiteitenhandel hun weg hebben gevonden naar Europese en Amerikaanse musea, waaronder het Oriental Institute. Tijdens de opgravingscampagne van 1912/13, maar vooral tijdens die van 1959/60 onder leiding van H.J. Lenzen, werd door nieuwe tekstvondsten duidelijk dat tenminste een deel daarvan uit de omgeving van de zuidoostelijke poort van de Rēš-tempel moet stammen (afb. 1). Deze aan de hemelgod Anu en diens gemalin Antu gewijde tempel was het belangrijkste heiligdom van Uruk in de Seleucidische tijd en één van de grootste tempels die ooit in Mesopotamië is gebouwd. In een ruimte naast de poort vonden de opgravers in 1959/60 een archief bestaande uit 158 merendeels geleerde tabletten, waaronder velen met een astronomische inhoud, tempelrituelen (Linssen 2004), omina, mythologische teksten, maar ook administratieve en juridische documenten en

brieven. Het archief bevat tabletten uit de jaren 15-150 SE van Anu-abu-utēr, diens vader Anu-bēlšunu, en andere aan de Rēš-tempel verbonden individuen.

Net als het aan Bēl (Marduk) en Bēltija gewijde Esagila te Babylon was het Rēš een centrum van wetenschappelijke activiteit. Het getuigt van de economische en culturele vitaliteit van Babylonië in de Seleucidische tijd, kort voordat het spijkerschrift in onbruik raakte, dat middelen konden worden vrijgemaakt om de bouw en instandhouding van zulke tempels te realiseren. Hierin vond een groep geleerde specialisten een duurzame en vruchtbare werkomgeving die hen in staat stelde zich met een ingewikkeld onderwerp als mathematische astronomie bezig te houden.



Afb. 1. Reconstructie van de Rēš-tempel zoals deze eruit zag rond 200 v. Chr. (Bron: Kose 1998). De cirkel geeft de locatie aan van het archief met astronomische teksten.

Geschiedenis van het onderzoek

Vóór de ontcijfering van het spijkerschrift was van de Babylonische astronomie niet meer bekend dan het weinige dat bijbelse en klassieke bronnen

hierover berichten. Van de Chaldeeën, een antieke benaming voor de bewoners van Babylonië, wordt gezegd dat zij bedreven waren in de astrologie, maar van enige vertrouwdheid met hun rekenmethodes blijkt zeer weinig. Voor de profeet Jesaja is de leer dat de goden via tekenen aan de hemel met de mens zouden communiceren een kenmerk van de valsheid van de Babylonische religie (Jes. 47:13-14). Misschien bevat het Nieuwtestamentische verhaal over de magiërs uit het oosten die de ster van Betlehem volgen (Matt. 2:7-12), waarvan er één later de Babylonische naam Balthasar kreeg, een gunstigere herinnering aan de Babylonische astronomie. De Griekse astronoom Ptolemaios (2^e eeuw n. Chr.) noemt weliswaar Babylon als bron van waarnemingen waarop zijn theorieën zijn gebaseerd, maar gaat niet in op de Babylonische rekentechnieken. De geograaf Strabo (63 v. Chr. – 23 n. Chr.) weet echter te vertellen dat er in Babylonië meerdere astronomische scholen zijn, waaronder één van Naburianos en één van Kidenas. Dit zijn waarschijnlijk vergriekste vormen van twee namen die ook genoemd worden in het bijschrift “tabel (Akk. *tērsītu*) van Nabû-rēmāni/Kidinnu” op sommige kleitabletten met tabellen voor de Maan van respectievelijk systeem A en B (uitleg volgt). Kennelijk hebben zij deze rekenschema’s bedacht, maar van henzelf zijn geen tabletten bekend.

De Babylonische astronomie werd herontdekt toen aan het einde van de 19^e eeuw talrijke Seleucidische astronomische tabletten via de antiquiteitenhandel vanuit Babylon in het British Museum belandden. De meesten daarvan zijn astronomische dagboeken en verwante tabletten met waarnemingen, maar een klein deel bevat mathematische astronomie. De Jezuïeten J. Epping (1835-1894), J.N. Strassmaier (1846-1920) en F.X. Kugler (1862-1929) slaagden erin deze deels te ontcijferen, een prestatie die niet overschat kan worden, vooral wanneer men beseft dat de tabellen geen bijschriften bevatten die aanduiden wat er in de kolommen staat. Dit werk werd voortgezet door met name O.N. Neugebauer (1899-1990), hetgeen culmineerde in de standaardeditie *Astronomical Cuneiform Texts* (Neugebauer 1955 = *ACT*), met transliteraties, vertalingen en commentaren van het toen bekende corpus, en *A History of Ancient Mathematical Astronomy* (Neugebauer 1975), met een uitleg van de rekenschema’s uit Babylonië en andere antieke culturen. Ook A. Aaboe (1922-2007), de Nederlanders A. Pannekoek (1873-1960) en B.L. van der Waerden (1903-1996) en anderen hebben belangrijke bijdragen geleverd aan het onderzoek naar de Babylonische mathematische astronomie.²

² Zie de bibliografie voor enkele algemene werken van deze auteurs.

Hoofdlijnen van de Babylonische mathematische astronomie

De ontstaansgeschiedenis van de tabel voor Venus waarmee dit artikel is begonnen biedt gelegenheid om de hoofdlijnen van de Babylonische mathematische astronomie uiteen te zetten zonder in te gaan op de gecompliceerdere tabellen voor de Maan. Het tekstcorpus omvat enkele honderden veelal fragmentarische tabletten verdeeld over drie hoofdgroepen: synodische tabellen (Akk. *tērsītu*), ook bekend als ephemeriden,³ procedureteksten (Akk. *epūšu*) met de bijbehorende rekeninstructies, en hulptabellen. De meeste tabletten dateren uit 320-50 v. Chr. (de Seleucidische en Arsacidische perioden), enkelen uit 400-330 v. Chr. (de Achaemenidische tijd). Daarmee bevatten zij de vroegst bekende vorm van mathematische astronomie uit de antieke wereld.

De synodische tabellen bevatten berekende grootheden voor de Maan en de planeten behorende bij een synodisch fenomeen — in dit geval de eerste zichtbaarheid van Venus in het westen (zie intermezzo 1). Voor de Maan worden naast datum en positie van Volle of Nieuwe Maan nog maximaal 11 andere grootheden getabelleerd. Synodische fenomenen behoren tot de hemelverschijnselen die door astrologen al sinds de Oudbabylonische tijd (1800-1600 v. Chr.) als tekens van de goden in omenreeksen werden verzameld en geïnterpreteerd.⁴ Dankzij de vondst van de bibliotheek van de Assyrische koning Assurbanipal (669-627 v. Chr.) te Niniveh zijn we over deze praktijk met name goed geïnformeerd voor de Nieuwassyrische tijd (850-611 v. Chr.). Naast exemplaren van de astrologische omenreeks *Enūma Anu Enlil* (“Toen Anu en Enlil”) bevat zijn bibliotheek namelijk ook correspondentie van de astrologen met het hof.

De fenomenen die in de mathematische astronomie berekend worden zijn ook grotendeels dezelfde die vanaf de Nieuwbabylonische tijd (750-540 v. Chr.) systematisch werden waargenomen en opgetekend in astronomische dagboeken (Akk. *našāru ša ginē* “regelmatige waarneming”) en verwante teksten.⁵ Zoals vanouds ging de meeste aandacht van de waarnemers uit naar de Maan (posities, maanfasen en de zogenaamde Lunar Six intervallen, zes tijdsverschillen tussen de opkomst of ondergang van de Maan en die van de Zon rond Volle Maan en Nieuwe Maan), maar de dagboeken vermelden ook de synodische fenomenen van Mercurius, Venus, Mars,

³ Deze term is strikt genomen alleen correct voor tabellen met dagelijkse posities, waarvan een klein aantal bekend is.

⁴ Voor de vroegste stadia van de Babylonische astronomie zie W. van Soldt 1989.

⁵ Voor edities van deze teksten zie A.J. Sachs en H. Hunger 1988-1996; H. Hunger en A.J. Sachs 2001.

Jupiter en Saturnus, hun conjuncties met sterren danwel posities in de dierenriem, het verschijnen van kometen, het weer, het peil van de Eufraat, bijzondere lokale gebeurtenissen (Boiy 2003), en tenslotte de prijs in zilver van een vaste reeks goederen.

Hoewel geen Babylonische tekst bekend is waarin het doel van dit waarnemingsprogramma wordt uiteengezet, vermoedt men dat het stoelt op de gedachte dat alle natuurverschijnselen periodiek zijn, inclusief het weer en de marktprijzen, en dat deze periodiciteiten zich openbaren door langdurige waarneming. Maar in tegenstelling tot de onregelmatigheid van de aardse verschijnselen leent de gemakkelijk herkenbare regelmatigheid van de hemelverschijnselen zich bij uitstek voor mathematisering. Hierin ligt de bijzondere betekenis van de Babylonische astronomie voor de wetenschapsgeschiedenis.

Wellicht al in de Nieuwbabylonische tijd pasten de astronomen de periodes voor de Maan en de planeten die zij aldus hadden ontdekt toe om voorspellingen te doen middels de zogenaamde doeljaarmethode. Een synodisch fenomeen of de samenstand van een planeet met een ster gebeurt namelijk in een toekomstig jaar, het zogenaamde “doeljaar”, op ongeveer dezelfde positie en kalenderdatum als in een bepaald verleden jaar. Dit verkrijgt men door vanuit het doeljaar één bij de planeet horende periode terug te gaan in de tijd. Door aldus voor een gegeven doeljaar waarnemingen van de Maan en de planeten uit verschillende jaren op één tablet te compileren ontstaat een zogenaamde doeljaartekst.⁶

Eén van de vroegst bekende periodes is de 8-jarige van Venus waarin de synodische cyclus 5 maal optreedt. Deze komt al voor in de Venusdata op tablet 63 van de astrologische omenreeks *Enūma Anu Enlil*, die door sommigen worden gedateerd in de tijd van de Oudbabylonische koning Ammišaduqa (1646-1626 v. Chr.). Anderen hebben deze datering in twijfel getrokken, zodat niet met zekerheid kan worden gezegd of de 8-jarige Venusperiode al in de Oudbabylonische tijd bekend was. Ook in de doeljaarteksten wordt deze periode gebruikt, met dien verstande dat kleine correcties op de aldus verkregen kalenderdata en posities werden aangebracht.

Hoewel de doeljaarmethode een precieze en eenvoudige voorspellingsmethode is, ontstond daarnaast ook de mathematische astronomie. Dit zou ondenkbaar zijn geweest zonder een geschikt coördinatensysteem waarmee de posities van hemellichamen kunnen worden vastgelegd. Omstreeks 425 v. Chr. introduceerden de Babyloniërs de ecliptica, de hemelcirkel waarlangs de Zon zich voortbeweegt, die zij in 12 segmenten van 30°

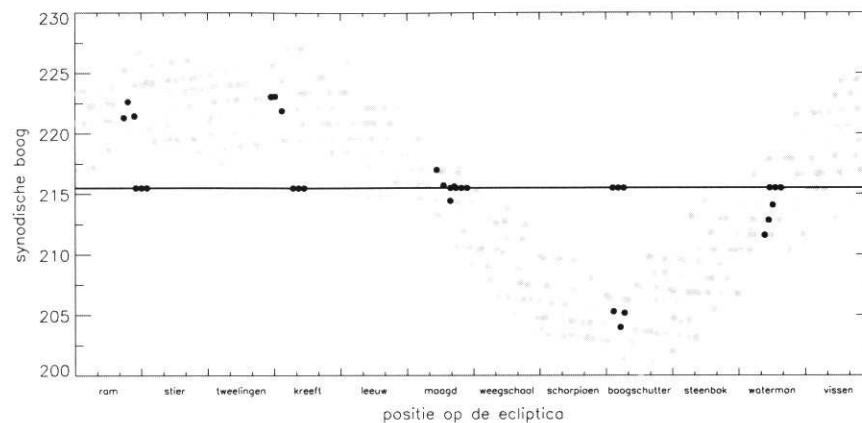
⁶ Voor een editie van de doeljaarteksten zie Hunger 2006.

verdeelden, bekend als de tekens van de dierenriem. Posities konden nu worden uitgedrukt in graden evenwijdig aan en loodrecht op de ecliptica. Hoewel de planeten zich op enige afstand van de ecliptica kunnen bevinden, wordt deze tweede coördinaat alleen voor de Maan altijd berekend, maar voor de planeten wordt hij meestal net als in het voorbeeld buiten beschouwing gelaten.

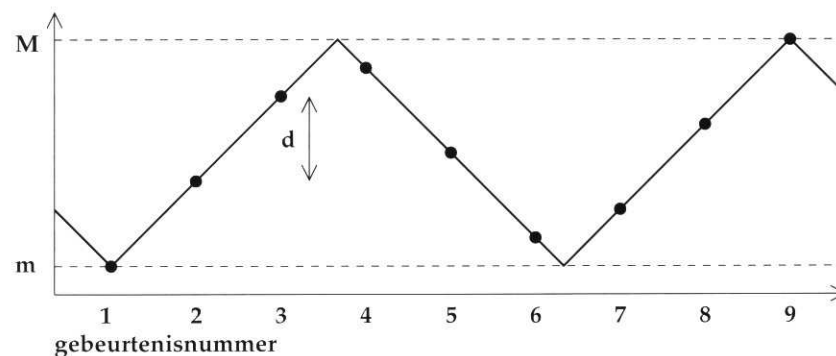
De meeste rekenschema's behoren tot twee families genaamd systeem A en B. Voor zowel de planeten als de Maan zijn er tabellen en procedu- reteksten van beide systemen, en in de tabletten van Anu-aba-utēr zijn ze allebei geattesteerd. Kenmerkend voor systeem A, waartoe het door Anu-aba-utēr gebruikte rekenschema A_0 voor Venus behoort, is dat de ecliptica in een aantal zones is verdeeld. In elk daarvan heeft de synodische boog, de verplaatsing van een synodisch fenomeen langs de ecliptica, een constante waarde, hetgeen er in een grafische weergave uit ziet als een stap- functie (afb. 2). Systeem A_0 voor Venus is gebaseerd op de eenvoudigst denkbare stapfunctie bestaande uit een enkele zone, zodat de synodische boog op de gehele ecliptica hetzelfde is (7 tekens van de dierenriem plus $5;30^\circ$ ofwel 215.5° in decimale notatie). In systeem B wordt deze beschreven door een zigzagfunctie van het gebeurtenisnummer (afb. 3).

Merk op dat de data in kolom 2 berekend zijn alsof elke maand hier 30 dagen heeft, terwijl dit er in werkelijkheid 29 of 30 zijn, aangezien in Mesopotamië een maankalender werd gebruikt. De verklaring hiervoor is dat de gebruikte tijdseenheid niet precies de dag is, maar $1/30$ van de gemiddelde synodische maand⁷ van 29.53 dagen, een rekeneenheid die in de Indiase astronomie *tithi* wordt genoemd. Door deze truc is het mogelijk een datum te berekenen zonder dat de lengtes van de maanden tussen het moment van berekening en de gezochte datum bekend zijn. De datum in *tithis* komt dan weliswaar niet precies overeen met een kalenderdag, maar is daar ook nooit meer dan ongeveer 1 dag van verwijderd.

Ook de rekenschema's van de mathematische astronomie zijn gebaseerd op perioderelaties. Het aantal synodische bogen dat past op de ecliptica is in systeem A_0 voor Venus gelijk aan $360^\circ/215.5^\circ$, ofwel $720/431$, hetgeen uitdrukt dat 720 synodische bogen de ecliptica 431 maal omcirkelen (afb. 4b). Maar elke cyclus bevat 1 extra omcirkeling van de Zon en Venus, zodat 720 cycli overeenkomen met $431 + 720 = 1151$ omcirkelingen, waarvoor evenvele jaren nodig zijn. Deze 1151-jarige periode kan in principe worden afgeleid uit empirische correcties op de 8-jarige periode, want Venus



Afb. 2. De synodische boog van Venus voor eerste zichtbaarheid in het westen als functie van de positie langs de ecliptica. Systeem A_0 is weergegeven door de getrokken lijn; de punten daarop zijn de posities uit A 3415. De andere punten zijn moderne berekeningen: in zwart voor dezelfde data als in A 3415; in grijs voor het interval 500 vC – 0. De duidelijk herkenbare variatie langs de ecliptica wordt in systeem A_0 niet gemodelleerd, waardoor de berekende positie max. 10° kan afwijken van de werkelijke positie.



Afb. 3. Zigzagfunctie (systeem B). De synodische boog tussen opeenvolgende gebeurtenissen van hetzelfde synodische fenomeen varieert met een constante differentie d tussen een minimum m en een maximum M .

⁷ De synodische maand is de tijdsduur tussen twee opeenvolgende conjuncties van Zon en Maan (Nieuwe Maan).

blijkt na 8 jaar niet precies naar dezelfde positie terug te keren, maar verschijnt ongeveer 2.5° eerder. Door deze correctie te verdelen over de 5 synodische bogen van 216° behorende bij de 8-jarige cyclus⁸ verkrijgt men $216^\circ - 0.5^\circ = 215.5^\circ$.

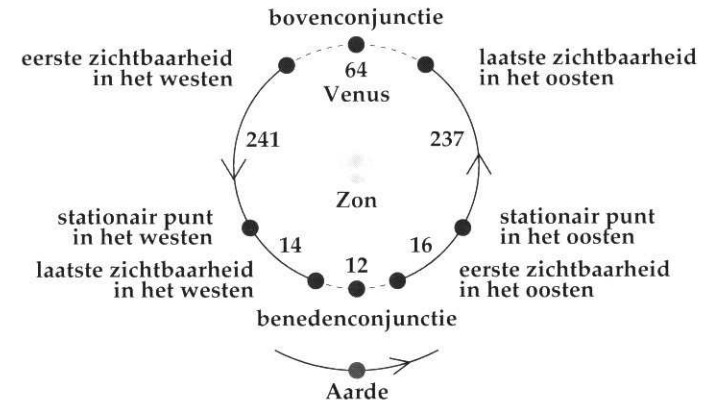
De Maan is een ingewikkelder geval omdat twee periodieke componenten tijd en positie van Volle en Nieuwe Maan bepalen, en nog een derde zijn afstand tot de ecliptica. In de rekenschema's worden deze bijdragen apart gemodelleerd en correct gecombineerd. Hoe het de astronomen gelukt is om met name de eerste twee uit empirische waarnemingen te ontrafelen is nog onzeker. Bijna alle teksten zijn Seleucidisch of later en tonen alleen het eindstadium van deze ontwikkeling, die in 450-350 v. Chr. (de Achae-menidische periode) moet hebben plaatsgevonden.

Intermezzo 1: Synodische fenomenen

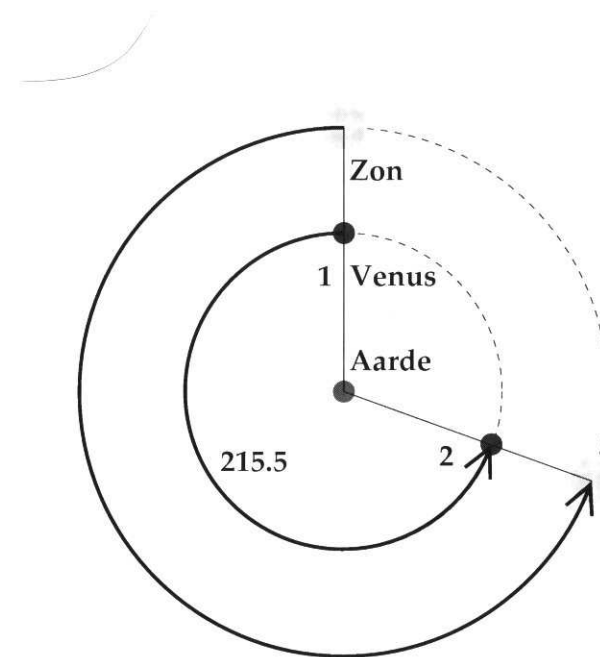
Babylonische astronomen hadden voornamelijk interesse voor de synodische fenomenen van de Maan en de planeten. Voor een aardse waarnemer gaat elke planeet door een cyclus van fenomenen die zich voordoen tijdens bepaalde samenstanden met de Zon. In afb. 4a zijn deze geïllustreerd voor Venus. Tijdens de bovenconjunctie is Venus onzichtbaar vanwege de nabijheid van de Zon. Na 30 dagen is de afstand tot de Zon voldoende om kort na zonsondergang, voordat ze zelf ondergaat, als avondster weer aan de westelijke hemel te verschijnen. 241 dagen later komt ze schijnbaar tot stilstand, nadert dan in teruglopende richting de Zon en is na 14 dagen voor het laatst aan de avondhemel te zien. Gedurende 12 dagen rond de benedenconjunctie is ze onzichtbaar, waarna ze kort voor zonsopgang aan de oostelijke hemel als morgenster verschijnt. Na 16 dagen bereikt ze het stationaire punt in het oosten, vervolgt haar baan in voortgaande richting en is na 237 dagen voor het laatst 's morgens zichtbaar. 34 dagen later is er weer een bovenconjunctie. Na één cyclus van 584 dagen, ofwel 19 maanden en 23 dagen ($23;10$ *tithis* in systeem A_0) hebben Venus en de Zon langs de ecliptica één ronde van 360° plus een afstand van 215.5° (zo ook in systeem A_0), de zogenaamde synodische boog, afgelegd (afb. 4b). Alle genoemde getallen zijn gemiddelden.

Voor een buitenplaneet (Mars, Jupiter, Saturnus) ziet een synodische cyclus er iets anders uit. Voor de Maan zijn de belangrijkste synodische

⁸ In de 8-jarige cyclus is het aantal synodische bogen op de ecliptica $360^\circ/216^\circ=5/3$, hetgeen uitdrukt dat 5 synodische bogen de ecliptica 3 maal omcirkelen, waarvoor $5+3=8$ jaren nodig zijn.



Afb. 4a. De synodische cyclus van Venus. De figuur toont de relatieve beweging van Venus ten opzichte van de Zon. De getallen zijn gemiddelde tijdsduren in dagen tussen de synodische fenomenen.



Afb. 4b. De synodische boog is de hoek tussen twee opeenvolgende gebeurtenissen van hetzelfde synodische fenomeen, in dit geval de benedenconjunctie van Venus. Deze bedraagt gemiddeld 215.5° , maar bedenk dat in de daarvoor benodigde tijd van gemiddeld 584 dagen Venus en de Zon nog éénmaal 360° rondgaan.

fenomenen Volle Maan (oppositie met de Zon) en Nieuwe Maan (conjunctie met de Zon); de tijdsduur van Nieuwe Maan tot Nieuwe Maan heet synodische maand.

Intermezzo 2: Het sexagesimale positionele getalsysteem

In de Babylonische astronomie wordt een sexagesimaal positioneel getalsysteem gebruikt. Toepassing van dit in de Ur-III tijd (2100-2000 v. Chr.) ontwikkelde systeem is vrijwel beperkt tot de wiskundige en astronomische geleerde literatuur. Sexagesimaal betekent op basis van 60, en positioneel betekent dat de absolute waarde van de cijfers afhangt van hun positie in het getal. In het decimale stelsel staat bv. 600.1 voor $6 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 0 \cdot 10^0 + 1 \cdot 10^{-1}$. Dit getal kan ook worden ontbonden als $10 \cdot 60^1 + 0 \cdot 60^0 + 6 \cdot 60^{-1}$, hetgeen genoteerd wordt als 10,0;6. De cijfers van zo'n sexagesimaal getal worden conventioneel door komma's van elkaar gescheiden, behalve degenen die horen bij 60^0 en 60^{-1} , waar een puntkomma wordt gebruikt, vergelijkbaar met de decimale punt in 600.1. Er is echter geen spijkerschriftteken dat correspondeert met de (punt)komma. In transliteraties vanuit het spijkerschrift worden daarom alle cijfers door punten van elkaar gescheiden, zoals in 10.0.6. De absolute waarde daarvan moet uit de context blijken, want 10,0;6 is slechts één mogelijke interpretatie, naast 10;0,6 of 0;10,0,6 etc. Pas vanaf de Laatbabylonische tijd is er een teken om een lege sexagesimale plaats aan te duiden. Dit wordt met 0 getransliteraerd, zoals in 10.0.6, maar het wordt niet gebruikt om het getal 0 uit te drukken.

De drie enige rekenoperaties in de Babylonische astronomie zijn optelling (bv. $9,59;59 + 0;7 = 10,0;6$), aftrekking (bv. $10,0;6 - 0;6 = 10,0$) en vermenigvuldiging (bv. $10,0;6 \cdot 6 = 1,0,0;36$). Delingen komen niet expliciet voor maar worden omgevormd tot vermenigvuldigingen, bv. $1/3 = 0;20$. Het basisgetal 60 is hiervoor bijzonder geschikt daar het veel delers heeft (2,3,4,5,6,10,12,15,20 en 30).

Het sexagesimale positionele systeem heeft nog enkele voordelen die hebben bijgedragen aan de hoge ontwikkeling van de Babylonische wiskunde en astronomie. Ten eerste volstaat in dit systeem één set van tekens voor de cijfers 0 tot 59 om een willekeurig getal te noteren, in tegenstelling tot een systeem waarin elk basisgetal een absolute waarde heeft en door een apart teken wordt gerepresenteerd (bv. Sumerische of Romeinse cijfers). Ten tweede verlopen berekeningen efficiënter en met een kleinere kans op fouten omdat alle cijfers van een getal op identieke wijze worden behandeld, in tegenstelling tot bv. Romeinse getallen, waar een vermenigvuldiging als

$V \cdot C = D$ ($5 \cdot 100 = 500$) in notationeel opzicht een andere operatie is dan $V \cdot X = L$ ($5 \cdot 10 = 50$).

Wiskundige representatie

Tot voor kort lag de nadruk van het onderzoek op het publiceren en vertalen van de teksten en het vinden van de juiste astronomische interpretatie van de rekenschema's. Later is men de vraag gaan stellen hoe de rekenschema's uit empirische waarnemingen zijn ontstaan, en hoe zij samenhangen met de andere astronomische activiteiten van de Babyloniërs. Hoewel deze vragen nog niet definitief beantwoord zijn, dient zich een derde verschuiving aan die samenhangt met recente ontwikkelingen in het onderzoek naar de Oudbabylonische wiskunde en in de wetenschapsgeschiedenis in het algemeen.

Nauwkeurig semantisch onderzoek heeft aangetoond dat de oplossingsprocedures in wiskundige probleemteksten vaak als geometrische operaties zijn geformuleerd, die echter in vertalingen werden vervangen door een niet-geometrische terminologie (Høyrup 1996, 2002). Op grond daarvan zijn vergaande conclusies getrokken die nu in bepaalde opzichten anachronistisch blijken te zijn. Deze vertaalmethodische kritiek was aanleiding om ook de wiskundige representatie in astronomische procedureteksten nader te onderzoeken.

De terminologie voor de rekenoperaties en de wijze waarop wiskundige verbanden worden uitgedrukt zijn sterk veranderd ten opzichte van de Oudbabylonische wiskunde. De rekenbegrippen zijn grotendeels vervangen door nieuwe termen, waarvan sommigen uit een Nieuwbabylonische administratieve context komen. Van de geometrische formulering is geen spoor meer te vinden. Terwijl in de Oudbabylonische wiskunde oplossingsprocedures altijd werden gepresenteerd in de vorm van een numeriek voorbeeld, worden in astronomische procedureteksten voor het eerst algemene formuleringen met benoemde variabelen gebruikt, zoals bijvoorbeeld: "tel de verplaatsing op bij de positie van de Maan". De voordelen van deze wetenschapshistorisch interessante stap in de ontwikkeling van een abstracte notatie zijn duidelijk, want een astronoom die de tekst wil gebruiken hoeft niet meer uit een numeriek voorbeeld een algemene regel af te leiden, waardoor de kans kleiner is dat hij deze verkeerd interpreteert.

Een andere observatie luidt dat negatieve getallen niet zijn toegestaan, want aftrekkingen waarvan het resultaat negatief zou zijn worden vermeden. In synodische tabellen komen wel zogenaamde subtractieve getallen voor die

van andere getallen moeten worden afgetrokken en daartoe gevolgd worden door het logogram **lal** (Akk. een vorm van *muttû* of *nahāsu* “aftrekken”). De afwezigheid van negatieve getallen is van belang voor een goed begrip van het coördinatensysteem van de mathematische astronomie. De afstand van een planeet of de Maan tot de ecliptica, in de moderne astronomie breedte genoemd, wordt uitgedrukt door het woordenpaar hoogte (Akk. *šūqu*) en diepte (*šuplu*), respectievelijk de afstand boven en beneden de ecliptica. Conventioneel werden deze vertaald als „positieve breedte” en „negatieve breedte”, hoewel beiden strikt positief zijn. Het spreekt voor zich dat dit voor verwarring kan zorgen: wanneer namelijk een instructie luidt „tel dit op bij de diepte”, dan neemt de „diepte” door deze operatie toe en niet af, zoals zou worden gesuggereerd door een vertaling „tel dit op bij de negatieve breedte”.

Mathematische astronomie in context

Anu-aba-utēr, zijn vader Anu-bēlšunu en andere astronomen worden ook genoemd in de colofons van niet-astronomische geleerde tabletten, in documenten van de tempeladministratie, in juridische en administratieve aktes en in brieven. Hierdoor is het mogelijk de institutionele, economische, sociale en religieuze context waarin de Babylonische mathematische astronomie funktioneerde te schetsen. Eerder heeft F. Rochberg (2004) laten zien hoe met zo’n moderne wetenschapshistorische aanpak het verschijnsel astrologie in Mesopotamië beter kan worden begrepen. Van dit brede onderwerp kunnen hier slechts enkele punten worden aangehaald.

Anu-aba-utēr was een nazaat van Sîn-lēqi-unninni, één van de voornaamste clans uit Uruk, waarvan velen de titel “klaagpriester (*kalû*) van Anu en Antu” droegen. Daarnaast was hij “schrijver van Toen Anu en Enlil”, hetgeen zoveel betekent als astroloog-astronoom. Uit documenten van de Esagila-tempel te Babylon blijkt dat de observationele (dagboeken en verwante teksten) en de mathematische astronomie (synodische tabellen) door dezelfde individuen werd beoefend. Zij genoten voor hun werk een inkomen van de tempel, en deze tempelposities waren erfelijk; dit zal in Uruk niet anders zijn geweest. Een onlangs gepubliceerde tekst uit het 6^e jaar van Artaxerxes III (353/2 v. Chr.) bewijst dat in deze tijd maar liefst 14 astronomen werkzaam waren in het Esagila (Beaulieu 2006). Dit is slechts één van de markante verschillen met de Nieuwassyrische periode, toen de astrologen niet in de tempels werkzaam waren, maar vanuit diverse locaties hun waarnemingen en interpretaties aan de koning te Niniveh stuurden, van wie zij financieel afhankelijk waren.

Waar de astronomen hun observaties deden is niet bekend. Om de opkomst en ondergang van sterren en planeten waar te kunnen nemen moet het in elk geval een locatie zijn geweest met een onbelemmerd zicht op de horizon. Omdat de astronomen aan de tempel waren verbonden, ligt de gedachte voor de hand dat zij de naast de tempel gelegen *ziqqurat* (tempeltoren) daarvoor mochten gebruiken.⁹

Het spectrum van Anu-aba-utēr’s geleerde activiteiten reikt van astronomie, wiskunde, astrologische teksten met tekeningen van constellaties, tot omina, bouwrituelen en mythologie. Maar de astronomen hielden zich niet alleen bezig met wetenschap: zij traden ook op als notaris of getuige van juridische transacties en waren actief in het economische leven van de stad. Zo is van Anu-bēlšunu gedocumenteerd dat hij betrokken was bij de verkoop van onroerend goed en tempelprebedes.

Doel van de mathematische astronomie

Tenslotte dringt zich de vraag op waarom de synodische tabellen werden berekend. Wanneer men de verschillende mogelijkheden onder de loep neemt blijft er, merkwaardig genoeg, weinig tastbaars over. De tabellen voor de planeten of Volle Maan zijn niet relevant voor de kalender, maar zelfs die voor Nieuwe Maan, waarvan de laatste kolom voorspellingen bevat voor de lengte van de maand, blijken in de praktijk niet te zijn gebruikt om de kalender vast te leggen. En wanneer door slecht weer een verwacht fenomeen niet kon worden waargenomen noteerde men in de astronomische dagboeken weliswaar ter vervanging een theoretische waarde, maar die werd vrijwel zeker met de doeljaarmethode afgeleid.

De meest waarschijnlijke hypothese luidt dat de tabellen dienden om horoscopen op te stellen. Deze nieuwe vorm van astrologie ontstond in Babylonië ongeveer gelijktijdig met de mathematische astronomie.¹⁰ Misschien vormt A 3405, een unieke synodische tabel uit het jaar 121 SE die net als A 3415 door Anu-aba-utēr is geschreven voor zijn vader Anu-bēlšunu, de *missing link* voor deze hypothese (Steele 2000). Hierop zijn voor meerdere planeten voor de jaren 60-70 SE berekeningen verzameld op een manier die suggereert dat zij als bron voor horoscopen dienen.

⁹ De tempeltoren van het Esagila te Babylon werd echter in de 4^e eeuw v. Chr. in opdracht van Alexander de Grote afgebroken. Over de toestand van de tempeltoren te Uruk in de Hellenistische periode is weinig bekend.

¹⁰ Voor een editie van de Babylonische horoscopen zie Rochberg 1998.

De uiteenzetting zou hier kunnen eindigen, maar men vraagt zich af waarom Anu-aba-utēr fenomenen berekent die zo'n 60 jaar in het verleden liggen, hetgeen ongebruikelijk is voor synodische tabellen. Het toeval wil dat uit Uruk een horoscoop bekend is voor een individu met de naam Anu-bēlšunu, geboren op 2 X 63 SE (Beaulieu & Rochberg 1996). Datum en schrijver van het tabletje zijn niet bekend, en de naam Anu-bēlšunu was wijdverbreid in Seleucidisch Uruk, maar de geboortedatum is consistent met de levensloop van de gelijknamige astronoom. Heeft Anu-aba-utēr rond 121 SE op basis van A 3405 een horoscoop gemaakt voor zijn vader, die toen zo'n 58 jaar oud moet zijn geweest? En is het een toeval dat deze na 121 SE niet meer is geattesteerd? Het antwoord op deze vragen zullen we wellicht altijd schuldig blijven.

Literatuur

- AABOE, A. 2001, *Episodes from the Early History of Astronomy*. Springer.
- BEAULIEU, P.-A. en F. Rochberg 1996, The horoscope of Anu-bēlšunu, *JCS* 48, 89-94.
- BEAULIEU, P.-A. 2006, The Astronomers of the Esagil Temple in the Fourth Century BC, in: A.K. Guinan (ed.), *If a Man Builds a Joyful House. Fs. Leichty*, Leiden, 5-22.
- BOY, T. 2003, Astronomische dagboeken en Babylonische geschiedenis, *Phoenix* 43, 112-126.
- HØYRUP, J. 1996, Changing trends in the historiography of Mesopotamian mathematics: an insider's view, *History of Science* 34, 1-32.
- 2002, *Lengths, Widths, Surfaces. A Portrait of Old Babylonian Algebra and its Kin*. Springer.
- HUNGER, H. en D. Pingree 1999, *Astral Sciences in Mesopotamia*. Leiden.
- HUNGER, H. en A.J. Sachs 2001, *Astronomical Diaries and Related Texts from Babylonia V. Lunar and Planetary Texts*. Wenen.
- HUNGER, H. 2006, *Astronomical Diaries and Related Texts from Babylonia VI. Goal-Year Texts*. Wenen.
- KOSE, A. 1998, *Uruk. Architektur IV* (Ausgrabungen Uruk-Warka 17) Mainz.
- LINSSSEN, M. 2004, Tempelcultus in Hellenistisch Babylonie, *Phoenix* 50, 132-146.
- NEUGEBAUER, O. 1955, *Astronomical Cuneiform Texts* (Londen); herdruk 1983. Springer.
- 1975, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*. Springer.
- PANNEKOEK, A. 1961, *A History of Astronomy*. New York.
- ROCHBERG, F. 1998, *Babylonian Horoscopes*. Philadelphia.
- 2004, *The Heavenly Writing. Divination, Horoscopy, and Astronomy in Mesopotamian Culture*. Cambridge.
- SACHS, A.J. en H. Hunger 1988-1996, *Astronomical Diaries and Related Texts from Babylonia I-III. Diaries*. Wenen.

- VAN SOLDT, W. 1989, De Babylonische astronomie, het begin van een wetenschap, *Phoenix* 35, 39-56.
- STEELE, J. 2000, A 3405: An Unusual Astronomical Text from Uruk, *Archive for the History of the Exact Sciences* 55, 103-135.
- VAN DER WAERDEN, B.L. 1965, *Erwachende Wissenschaft II. Die Anfänge der Astronomie. Groningen*. In 1974 in het Engels verschenen als *Science Awakening II. The Birth of Astronomy*. Dordrecht.