

Waarom is een cirkel in 360 graden verdeeld? **Jan Hogendijk** neemt u mee op een zoektocht, door eeuwen en culturen, naar de oorsprong van deze verdeling. Het artikel is een bewerking van zijn plenaire voordracht op NWD2011.

De zonnecirkel

Inleiding

Op school leren we de eenheden van lengte, oppervlakte, volume en gewicht in het metrieke stelsel:

1 meter = 100 centimeter = 1000 millimeter,

1 hectare = 100 are = 10000 vierkante meter,

1 kubieke meter = 1000 liter,

1 kilogram = 1000 gram.

Het metrieke stelsel is een product van de Franse revolutie. Het werd na 1795 geleidelijk ingevoerd en kwam in de plaats van oudere systemen waarbij elke grote stad of provincie zijn eigen maten had. Zo gebruikte men in Leiden in de achttiende eeuw de Rijnlandse roede (3,767 meter), in Utrecht de Stichtse roede (3,756 meter), in Amsterdam de Amsterdamse roede (3,683 meter), enzovoort.

Op school leren we ook dat eenheden voor het meten van hoeken en tijden niet volgens het metrieke stelsel gaan: 1 rechte hoek = 90 graden, 1 graad = 60 minuten en 1 minuut = 60 seconden, en de hele cirkel is 360 graden. En 1 dag = 24 uur, 1 uur = 60 minuten en alweer 1 minuut = 60 seconden. In dit artikel gaan we op zoek naar de oorsprong van de verdeling van de rechte hoek en de cirkel.

Tijdens de Franse revolutie heeft men geprobeerd ook de hoek en de cirkel in het metrieke stelsel op te nemen. Het idee was de rechte hoek in 100 nieuwe graden te verdelen, en een cirkel in 400 nieuwe graden. De nieuwe graad heeft alleen ingang gevonden in de moderne landmeetkunde, en is op de rekenmachine onder de toets GRAD te vinden.

De mislukte decimale verdeling van de cirkel heeft wel invloed gehad op de meter. Die is oorspronkelijk gedefinieerd als $\frac{1}{10000000}$ van de lengte van de kwartcirkel op aarde van de Noordpool door Parijs naar de evenaar. Later was een preciezere definitie van de meter nodig, maar de lengte veranderde daardoor niet wezenlijk.

We gaan nu zoeken naar de oorsprong van de ‘gewone’ graden en minuten, op de rekenmachine onder de toets DEG. Onze eerste gok is dat deze verdeling wel bekend geweest zal zijn aan de oude Grieken, omdat die de grondleggers van de klassieke meetkunde waren. In de *Elementen* van Euclides (300 v. Chr) is de rechte hoek inderdaad de basis van de hoekmeting, maar we vinden nergens graden en minuten. Archimedes (ca. 225 v. Chr.) gebruikt ook geen graden en minuten, maar geeft hoeken aan zoals in het volgende voorbeeld uit *Cirkelmeting* propositie 3: “het 48^e deel van de rechte hoek.” Bij Apollonius (200 v. Chr) vinden we evenmin graden en minuten, en na hem houdt de bloeiperode van de klassieke Griekse meetkunde op.

Onze gok heeft nergens toe geleid, en daarom proberen we het op een andere manier. We gaan systematisch terugwerken in de geschiedenis van de wiskunde van voor de Franse revolutie, en we doen dat via een reeks boeken die op het internet staan. De url's en precieze gegevens staan in de literatuurlijst aan het eind van dit artikel. We beginnen met twee voorbeelden uit de rijke Nederlandstalige traditie in de wiskunde, waar ook mooie onderwerpen voor de wiskundeles en voor werkstukken in te vinden zijn.

Ons eerste voorbeeld is het overzichtswerk *De geheele Mathesis of Wiskonst herstelt in zyn natuurlyke gedaante* van de Amsterdamse rekenmeester Abraham de Graaf (1694, derde druk 1717). Dit werk is, net als de *Elementen* van Euclides, verdeeld in dertien ‘boeken’, die eigenlijk grote hoofdstukken zijn. Omdat het werk over de hele wiskunde gaat, verwachten we dat graden en minuten er wel ergens in zullen staan. Dit klopt inderdaad, maar we vinden ze niet in het derde boek over *de Beginzelen der Geometria, of Meetkonst*. Pas aan het begin van het vierde boek over *de Trigonometria ofte Drieboeks-meting* voert de auteur graden en minuten in, op het moment dat hij met sinus en cosinus begint te rekenen. De boeken daarna gaan over sterrenkunde,

landmeetkunde (met een bijvoegsel over het wijnroeien), zeevaart, vestingbouw, zonnewijzers, perspectief, optica, mechanica, en algebra. Wiskunst in 1694 was breder dan de tegenwoordige wiskunde.

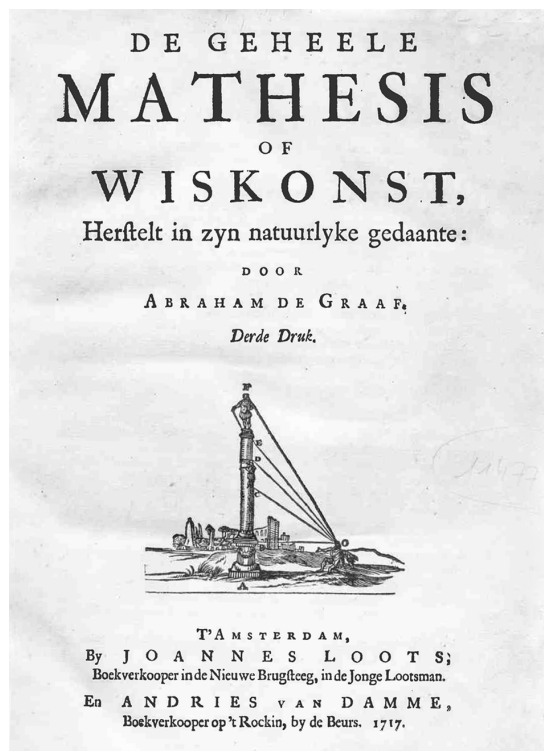


fig. 1 Titelpagina van de derde editie van 1717.

Sinus en cosinus werden in de zeventiende eeuw veel gebruikt bij het rekenen aan driehoeken in de landmeetkunde. Misschien kunnen we daar de oorsprong van graden en minuten vinden. Een van de oudste Nederlandstalige leerboeken over landmeetkunde was de *Practijck des Lanmetens* van Johan Sems en Jan Pieterszoon Dou, dat in 1600 in Leiden verscheen. Sems was één van de landmeters die in 1615 de kaarsrechte provinciegrens tussen Groningen en het noordoosten van Drente in het veld heeft vastgelegd. Inderdaad vinden we in dit boek graden en minuten, en ook geven de heren een sinustabel met vele landmeetkundige toepassingen.

Dit was rond 1600 een vernieuwing in de landmeetkunde, onder invloed van de Duits-Nederlandse wiskundige Ludolph van Ceulen (1540-1610). Daarvoor werd door de meeste landmeters niet met hoeken in graden en minuten gewerkt, en zeker niet met sinus en cosinus.

In moderne termen zou men kunnen zeggen dat het beroep landmeter omstreeks 1600 werd geprofessionaliseerd. De landmeter moest nu meer en moeilijkere wiskunde gaan leren, en het is begrijpelijk dat dit proces langzaam ging. Vermoedelijk wilden velen alles liever bij het oude houden. Voor 1600 zijn praktisch

geen Nederlandse boeken over landmeetkunde gedrukt maar een leuk Duits landmeetkundeboekje in oude stijl is *Von Feldmessen nach der Geometrei* (Leipzig 1591). De auteur Andreas Helmreich lost in dit boekje moeilijke landmeetkundige problemen op maar zonder hoeken en bogen in graden en minuten te verdelen, en hij doet niet aan sinus en cosinus.

In de zestiende eeuw en daarvoor vinden we graden, minuten en seconden bijna alleen in de sterrenkunde. De sterrenkundigen rekenden weinig met hoeken maar vooral met bogen; soms op de aardbol, maar meestal op de hemelbol. Dit concept vraagt enige toelichting. De hemelbol is de buitenste bol (eigenlijk boloppervlak) van het heelal van Ptolemaeus en de middeleeuwse astronomen. Deze bol is zo groot dat de hele aarde als een punt in het midden kon worden beschouwd. Volgens Ptolemaeus (150 na Christus) is de straal van de hemelbol ongeveer 120.000.000 km en de aardstraal ongeveer 6000 km, omgerekend in moderne eenheden. Voorlopig nemen we aan dat de vaste sterren vast in de hemelbol zitten. Ptolemaeus en zijn volgelingen namen aan dat deze reusachtige bol eens in de vierentwintig uur om de aarde draait. Deze draaiing zou de oorzaak zijn van het opgaan van de sterren in het oosten en het ondergaan in het westen.



fig. 2 Hemelbol van Abd al-Rahman al-Sufi. Gereconstrueerd op basis van tekeningen van de zoon van al-Sufi. Zie F. Sezgin, *Science and Technology in Islam, deel 2, p. 17*. Deze publicatie staat op het internet, zie de literatuurlijst.

In de middeleeuwen werden voor didactische doelen metalen modellen van de hemelbol gemaakt met sterrenbeelden en al, zoals ze van de buitenkant gezien zouden kunnen worden (hetgeen natuurlijk onmogelijk is, want wie zou die sterren zo kunnen zien?). Figuur 2 is een reconstructie van zo'n model-hemelbol van de tiende-eeuwse Iraanse sterrenkundige Abd al-Rahman al-Sufi.

De andere hemellichamen (maan, zon en de vijf zichtbare planeten) kunnen vanuit het middelpunt van de

aarde worden geprojecteerd en krijgen zo ook hun (variabele) plek op de hemelbol. Tegenwoordig gebruiken we het begrip hemelbol nog steeds maar nu is het een denkbeeldige bol met een onbepaalde maar zeer grote straal, zo groot dat de aarde een punt in het midden is. De draaiing van de hemelbol is volgens moderne inzichten slechts schijn en wordt veroorzaakt door de rotatie van de aarde om zijn as. De wiskundige berekeningen gaan op de moderne hemelbol net zo als op de oude.

Ptolemaeus verdeelde elke cirkel op de hemelbol in 360 delen (Grieks: *moira*), elk deel in 60 eerste zestigsten (*prota exèkosta*) en elke eerste zestigste in 60 tweede zestigsten (*deutera exèkosta*). Deze verdeling werd ook gebruikt in de sterrenkundige tabellenboeken van de opvolgers van Ptolemaeus, in de late oudheid, de middeleeuws-Islamitische cultuur, middeleeuws Europa en de Renaissance. De termen *moira* en *prota exèkosta* werden in het Arabisch meestal weergegeven als *darajāt* (stappen, treden) en *daqā'iq* (kleintjes), en deze werden in het Latijn *gradus* en *minuta*, en in het Nederlands graden en minuten. De *deutera exèkosta* werden via de Arabische *thawāni* (tweeden) tot de Latijnse *secunda*, en onze *seconden*.

Samengevat heeft ons onderzoek nu het volgende opgeleverd. De verdeling van de cirkel in 360 delen was een standaardmaat die werd meegeleverd bij de sterrenkunde van Ptolemaeus, en de termen graden en minuten herinneren aan het middeleeuwse Arabische stadium van deze sterrenkunde. In onze zoektocht zijn we nu inderdaad bij de oude Grieken aangekomen, maar in een periode vier eeuwen na Euclides en Archimedes. En we zijn er nog niet.

Er was één cirkel aan de hemelbol waarbij Ptolemaeus de verdeling op een andere manier aangaf dan bij alle andere cirkels. In één jaar draait de zon (gezien vanaf de aarde) eenmaal rond aan de hemelbol, dat wil zeggen tegen de achtergrond van de vaste sterren. Deze baan van het middelpunt van de zon op de hemelbol heet *ecliptica*. Ook de maan en de planeten staan altijd in de buurt van de *ecliptica*, en als de maan op of vlakbij de *ecliptica* staat is bij volle maan een maansverduistering mogelijk en bij nieuwe maan een zonsverduistering. Het woord *eclips* heeft te maken met de naam *ecliptica*. Helaas is de zeventiende-eeuwse Nederlandse term 'duisteraar' in onbruik geraakt. Ptolemaeus verdeelde de *ecliptica* in twaalf even lange bogen van dertig graden. Elke boog heet 'teken van de dierenriem' en werd genoemd naar een sterrengroep die in de buurt stond: Ram, Stier, Tweelingen, Kreeft, Leeuw, Maagd, Weegschaal, Schorpioen, Boogschutter, Steenbok, Waterman en Vissen. Iedereen kent deze tekens wel uit de horoscoop in de

krant, maar niet iedereen beseft dat de tekens uiteindelijk te maken hebben met de vier seizoenen. Wanneer de zon in het lentepunt staat, dat aan het begin van het teken Ram ligt, zijn dag en nacht even lang, en begint de lente. In het zomerpunt, op de grens van de tekens Tweelingen en Kreeft, staat de zon in Nederland het hoogst aan de hemel, begint de zomer en is de daglichtperiode het langst. De dag is weer even lang als de nacht wanneer de zon in het herfstpunt staat, aan het begin van het teken Weegschaal. Als de zon het winterpunt op de grens tussen de tekens Boogschutter en Steenbok passeert, is in Nederland – en ook in Griekenland – de kortste dag en begint de winter. Op het zuidelijk halfrond op aarde is de situatie omgekeerd. De zon doet ongeveer een maand over elk teken en beweegt ongeveer een graad per dag. De *ecliptica* is de *zonnecirkel* uit de titel van dit artikel.

We kunnen nu de definitie van de hemelbol preciezer maken. De vaste punten op de hemelbol zijn volgens Ptolemaeus de vier seizoenspunten lentepunt, zomerpunt, herfstpunt en winterpunt, en de hemelnoordpool en hemelzuidpool, dat wil zeggen de snijpunten van de hemelbol met de as door de noorpool en zuidpool op de aarde. De 'vaste sterren' zitten volgens Ptolemaeus niet vast in de hemelbol, maar ze zitten op een andere bol die een heel langzame beweging maakt evenwijdig aan de *ecliptica* ter grootte van 1 graad per eeuw.

Door de Islamitische sterrenkundigen in de negende eeuw is deze waarde verbeterd tot 1 graad per 72 jaar. Volgens moderne inzichten staan de vaste sterren stil en bewegen de vier seizoenspunten 1 graad per 72 jaar, door een heel langzame beweging van de aardas. Deze verschuiving van de seizoenspunten heet *precessie* van de equinoxen.

Ptolemaeus was voor de sterrenkunde wat Euclides was voor de wiskunde: hun werken waren zo succesvol dat ze bijna alle oudere literatuur op dat gebied hebben weggevaagd. Daarom is bijna niets over van het werk van Hipparchus, misschien de belangrijkste Griekse astronoom uit de oudheid, die 300 jaar eerder dan Ptolemaeus leefde. Hipparchus was de ontdekker van de veranderende posities van de vaste sterren ten opzichte van de seizoenspunten. Gelukkig hebben we van hem nog wel een commentaar op een nog ouder gedicht over sterrenbeelden (zie literatuurlijst voor een internetversie), en hierin kunnen we zien hoe hij de cirkel verdeelt. Hipparchus gebruikt de *ecliptica* met de twaalf tekens. Hij verdeelt ook een paar andere cirkels op de hemelbol in twaalf tekens van dertig graden, maar op weer andere plaatsen geeft hij bogen weer in graden (bijvoorbeeld 71 graden) zonder verwijzing naar tekens. Hij geeft ergens zo'n boog aan als $27\frac{1}{3}$

van zulke delen *moira*) waarvan de cirkel 360 bevat,' en hiermee suggereert hij dat de verdeling van de cirkel in 360 graden in zijn tijd nog niet standaard was.

De sterrenkunde van Hipparchus was beïnvloed door de Babyloniërs in het tegenwoordige Irak, en dit geldt ook voor de verdeling van de ecliptica. Sterrenkunde had een belangrijke rol in de Babylonische cultuur omdat men geloofde dat de sterren goddelijk waren. De priesters hadden als opdracht de wil van de goden af te lezen uit de hemelverschijnselen en door te geven aan de koning.

Vanaf 750 v.C. deden de Babyloniërs systematische waarnemingen van hemelverschijnselen. Zij noteerden deze in spijkerschrift op kleitabletten die in archieven in de tempels bewaard werden. Na 500 v.C. hebben geniale Babyloniërs door studie van deze archieven wiskundige algoritmes afgeleid waarmee de verschijnselen voorspeld konden worden.

De meeste voor de Babyloniërs interessante hemelverschijnselen vonden plaats in de buurt van de baan van de zon ten opzichte van de vaste sterren. De Babyloniërs hebben de fundamentele waarde van de ecliptica ingezien, en een systeem ontwikkeld om plaatsen in de ecliptica met getallen aan te geven. Ze verdeelden de ecliptica in twaalf tekens van gelijke grootte, die ze noemden naar een sterrenbeeld in de buurt, en verder verdeelden ze elk teken weer in dertig gelijke delen. Dit is een knap staaltje van wiskundige begripsvorming. Bij hen komt het begin van het teken Ram nog niet precies overeen met het begin van de lente. Voor afstanden van de maan tot de ecliptica gebruikten ze andere eenheden. Er zijn geen aanwijzingen dat zij met de hemelbol gewerkt hebben, ook al is dit voor ons misschien een natuurlijke manier om de sterrenhemel wiskundig te beschrijven. Voor hen was een band aan de hemel rond de ecliptica waarschijnlijk voldoende.

Waarom hebben de Babyloniërs een verdeling in twaalf tekens van dertig gelijke delen gekozen? Omdat de verdeelde cirkel de ecliptica is, heeft het antwoord vermoedelijk met de zon te maken. Een jaar is iets meer dan 365 dagen, en door de keuze van twaalf maal dertig delen beweegt de zon ongeveer 1 graad per dag. De Babyloniërs wisten dat de snelheid van de zon varieerde door het jaar heen, en in sommige van hun berekeningen gebruiken zij dat de beweging in een deel van het jaar (onder andere de winter) precies 1 graad per dag is en in de rest van het jaar iets minder ($15/16$ graad per dag).

Het aantal van twaalf tekens heeft vermoedelijk te maken met het aantal maanden per jaar, waarbij de

maanden bepaald werden door de fasen van de maan. De nieuwe maand begon in de Babylonische kalender een of twee dagen na nieuwe maan. Oorspronkelijk kozen zij het moment wanneer aan de westelijke horizon vlak na zonsopgang een heel dunne maansikkel zichtbaar was, maar daardoor is de definitie van de maand erg grillig. Men ging snel over op een schematische maand, maar zorgde er daarbij voor dat de maanden over langere periodes wel met de maanfasen in de pas bleven lopen. De meeste zonnejaren bestonden uit twaalf maanmaanden maar omdat men het jaar (ook vanwege de landbouw) altijd in het voorjaar liet beginnen, werd af en toe een dertiende maand toegevoegd.

De twaalf tekens van dertig graden hebben dus vermoedelijk te maken met het benaderde aantal maanden per jaar en het benaderde aantal dagen per maand. De Babyloniërs rekenden al sinds 2000 v.C. met breuken in het zestigtallig stelsel en dus lag het voor hen voor de hand om de 360 delen van de ecliptica zestigtallig onder te verdelen. We hebben nu het eind van onze zoektocht bereikt en zijn via de Grieken in een Oosterse cultuur terecht gekomen.

Om een idee te geven van de Babylonische sterrenkunde, die de oorsprong is van onze graden, minuten en seconden, voegen we aan het eind van dit artikel een tekening en een transcriptie toe van een Babylonisch sterrenkundig kleitablet uit de tweede eeuw v.C. (geschreven toen Hipparchus een kleine jongen was). Op deze tablet, die nu in het British Museum in Londen wordt bewaard, staan bijna alleen maar getallen in het zestigtallig stelsel. Wie de Babylonische manier om getallen te schrijven nog niet kent, kan deze gemakkelijk uit deze tablet afleiden.

De afmetingen van het tablet zijn ongeveer 23 bij 13 centimeter en alleen de voorkant is afgebeeld. Op deze tablet worden maansverduisteringen voorspeld; niet alleen tijdstip en positie, maar ook of de verduistering totaal of partieel is, en de grootte van het verduisterde gedeelte. De tabel bevat alle maansverduisteringen in de periode van het jaar $2 \times 60 + 17$ tot en met het jaar $2 \times 60 + 29$ in de Seleucidische jaartelling, overeenkomend met april 175 v.C tot maart 162 v.C. Ook de maansverduisteringen zijn berekend die in Babylon overdag plaatsvonden en dus niet waargenomen konden worden. Met moderne theorieën is aangetoond dat de voorspellingen op deze tablet tamelijk precies zijn.

In de derde kolom staan posities van de volle maan in de ecliptica in graden, minuten, seconden en tekens van de ecliptica, en in de zevende kolom staat de dagelijkse beweging van de maan in graden en minuten. Het

is duidelijk dat de Babyloniërs hun graden, minuten en seconden niet voor niets uitgevonden hadden. In de transcriptie zijn de tekens van de dierenriem afgekort en de maanden van het Babylonisch jaar vervangen door moderne maanden die in de buurt liggen, waarbij de eerste maand van het Babylonisch jaar altijd ‘april’ heet, en de dertiende maand maart met index 2. Maansverduisteringen kunnen eenmaal in de zes maanden voorkomen, soms eenmaal per vijf maanden.

Zonder verder in details te treden, zal alleen het kijken naar deze duizelingwekkende hoeveelheid getallen al voldoende zijn om een idee te geven van het niveau van de Babylonische sterrenkunde. Het zal ook duidelijk zijn dat deze sterrenkunde niet alleen met waarnemingen te maken had, maar vooral ook met wiskundige berekeningen en voorspellingen. Voor meer uitleg verwijzen we naar O. Neugebauer's *Astronomical Cuneiform Texts*.

Deze kleitablet was een van de eerste documenten uit de Babylonische sterrenkunde die tussen 1880 en 1900 ontcijferd werden door de pater Jezuïet Joseph Epping, wiskundeleraar in Maria Laach, later in Quito, Ecuador, en daarna in Valkenburg, Zuid-Limburg. De eerste resultaten verschenen in 1881 in het katholieke theologische tijdschrift *Stimmen aus Maria Laach*, en werden pas langzamerhand in bredere kring bekend. Babylonische sterrenkunde is fascinerend, maar zonder wiskunde moeilijk toegankelijk, en daardoor onbekend bij vele wetenschapshistorici en filosofen. Nog steeds laat men de exacte natuurwetenschap meestal bij de oude Grieken beginnen. De Grieken in de tijd van Euclides en Archimedes waren meer geïnteresseerd in redeneringen en in meetkunde dan in waarnemingen en numerieke voorspellingen. Pas in de tijd van Hipparchus hebben de Grieken de Babylonische berekeningen goed leren kennen. Hipparchus heeft de Babylonische verdeling van de ecliptica in dertig graden van twaalf tekens overgenomen, waarbij hij het begin van het teken Ram met het begin van de lente liet samenvallen. Hij (of zijn tijdgenoten) hebben de verdeling in $30 \times 12 = 360$ graden geleidelijk op alle andere cirkels op de hemelbol toegepast. Daardoor zijn uiteindelijk alle cirkels zo verdeeld, ook buiten de sterrenkunde. De verdeling van alle cirkels in 360 graden is ontstaan uit een synthese van ideeën uit Oost en West.

Jan Hogendijk
Universiteit Utrecht,
Faculteit Betawetenschappen, departement Wiskunde

Literatuur

Graaf, Abraham de (1694). *De geheele mathesis of wiskonst, herstelt in zyn natuurlyke gedaante*. Amsterdam: gedrukt by Jacobus de Veer voor Jan ten Hoorn,

<http://books.google.nl/books?id=ff9JAAAAAAAJ>,

<http://books.google.nl/books?id=UEw-AAAAcAAJ>

Derde druk: Amsterdam, Johannes Loots en Andries van Damme, 1717,

<http://books.google.nl/books?id=4RVKAAAAMAAJ>.

Opm.: De figuren zijn niet altijd goed meegescand. Wie een figuur echt nodig heeft, kan een mailtje sturen naar de auteur van dit artikel.

Helmreich, Andreas (1591). *Von Feldmessen nach der Geometrei*, Leipzig.

De url is zeer gecompliceerd, het beste kan men gaan naar <http://www.slub-dresden.de/sammlungen/digitale-sammlungen/> en dan zoeken met Helmreich.

(Hipparchus). *Hipparchi in Arati et Eudoxi Phaenomena Commentariorum Libri Tres*, ed. C. Manitius, Leipzig 1894, digitale versie op www.wilbourhall.org, naar beneden scrollen onder het menu Hipparchus. Het citaat in de tekst staat op pp. 148-149.

Neugebauer, O. (1955). *Astronomical Cuneiform Texts*, Princeton, 3 vols.

Neugebauer, O. (1975). *A History of Ancient Mathematical Astronomy*. New York: Springer, 3 vols.

Ptolemaeus, *Almagest*, vertaald door G.J. Toomer. London: Duckworth, 1984.

Pannekoek, A. (1951). *De groei van ons wereldbeeld*. Een geschiedenis van de sterrenkunde. Amsterdam-Antwerpen. Nog steeds een goede inleiding in de geschiedenis van de sterrenkunde.

(Pinches) *Late Babylonian Astronomical and Related Texts*, (1955), copied by T.G. Pinches and J.N. Strassmair, prepared for publication by A. Sachs. Providence: Brown University Press. De tekening staat op p. 11.

Johan Sems & Jan Pietersz. Dou (1600). *Practijck des Lantmetens: Leerende alle rechte ende kromzydige Landen / Bosschen / Boomgaerden / ende andere velden meten / so wel met behulp des Quadrants / als sonder het selve. Mitsgaders alle Landen deelen in gelijcke ende ongelijcke deelen op verscheyden manieren, met eenige nieuwe gecalculeerde Tafelen daer toe dienende*. Leiden.

Latere, ongedateerde editie (ca. 1620) op het internet, zie <http://www.library.tudelft.nl/digitresor/?bookname=Landmeten>, dan op een van de titels in het linkermenu klikken; ook <http://books.google.nl/books?id=NaJBAAAACAAJ>, <http://books.google.nl/books?id=Ojo-PAAAAQAAJ>.

Sezgin, Fuat (in press). *Science and Technology in Islam*, Frankfurt, 5 delen. Nog niet in druk verschenen maar wel op het internet toegankelijk op www.ibttm.org, via de menus English en daarna Publications.

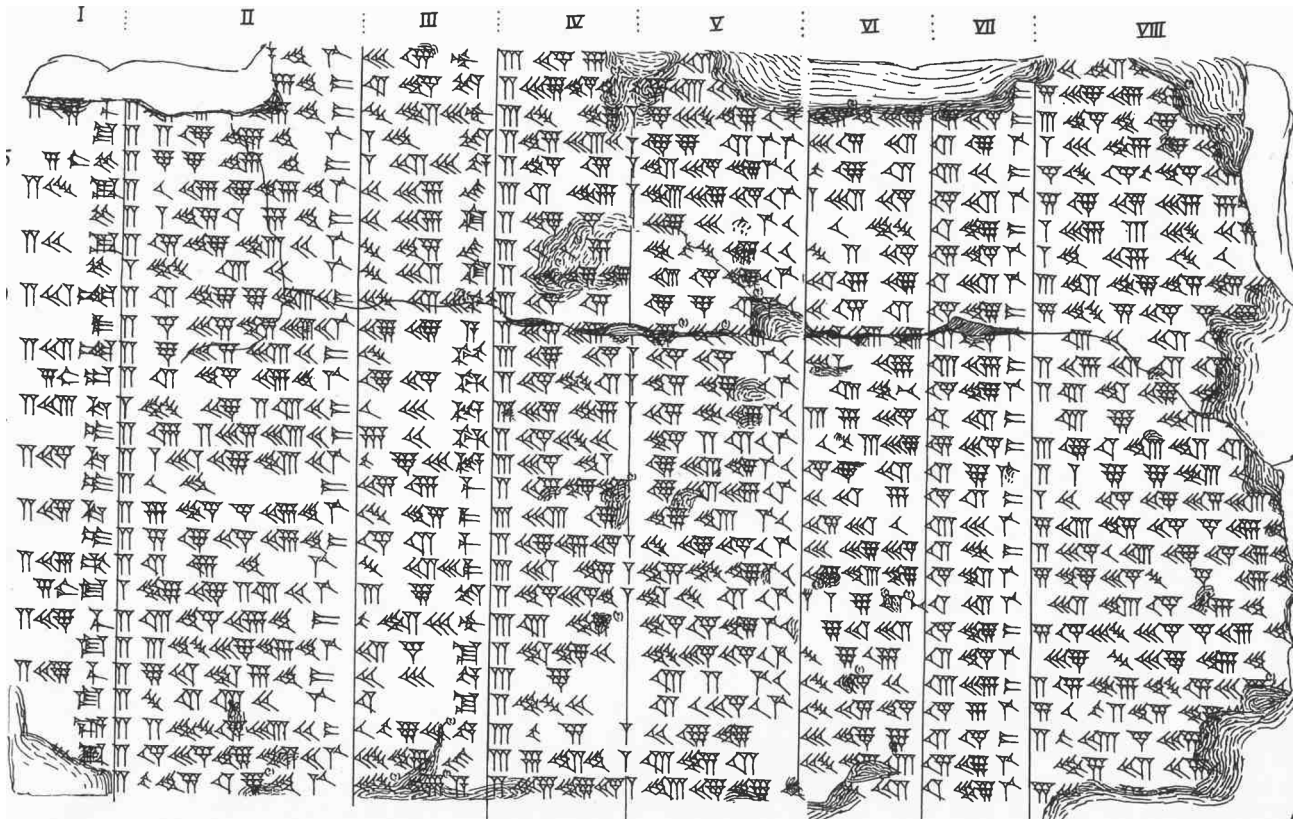


fig. 3 Tekening van T.G. Pinches van de voorzijde van een Babylonisch sterrenkundig kleitablet in het British Museum.

Een Babylonisch kleitablet over mogelijke maansverduisteringen (175-162 v.C)

jaar	maand	hulpgetal (Saros)	positie volle maan	lengte dag(licht)	afstand maan tot ecliptica	grootte eclips	maan snelheid	lengte maand
...	...	...	40 ↓ 20 15	scho 3 24 6	23	...	...	20 52 5...
		...	6 40 ↑ 12 44	sti 2 38 54 ...	15 23 2...	...	...	5 37 26 47 ...
2 18	apr	2 ... 46 40	↑ 9 52 30	scho 3 19 55	1 7 39 48	+ ↑	28 40 38	15 24 ↑ 3 54 50 17 6 ...
	oct	2 2 17 46 40	↓ 1 40	sti 2 45 33 20	1 17 8 12	- ↓	30 15 22	12 18 ↓ 1 30 56 17 ...
5mnd	mar	2 7 7 46 40	↑ 1 22 30	wee 2 54 15	1 42 34 48	- ↑	0 18 12	13 20 ↑ 4 19 14 0 44 26 ...
2 19	sep	2 10 26 17 46 40	↓ 20 36	vis 3 12 56	1 53 38 24	+ ↓	1 32 24	14 22 ↓ 5 17 25 36 6 ...
	mar	2 1 45 11 6 40	↑ 20 36	maa 2 47 4	38 30	- ↑	10 59	11 48 ↑ 1 36 3 39 2...
2 20	sep	2 15 48 53 20	↓ 9 45	vis 3 20 6	50 9 36	+ ↑	9 2 24	15 44 ↓ 1 40 26 19 10 ...
	mar	1 59 13 20	↓ 9 32	maa 2 39 48 48	23 14 48	+ ↓	21 16 28	11 32 ↓ 3 42 58 45 55 20 ...
2 21	aug	2 12 58 8 53 20	↑ 29 22 30	wate 3 24 15	17 7 12	- ↑	20 15 12	14 48 ↑ 5 49 5 24 4 26 ...
	feb	2 4 35 55 33 20	↓ 28 28	leeu 2 35 23...	1 24 59 3...	...	31 33 56	12 ..4 ↓ 13 20 22 1...
2 22	aug	2 7 35 33 20	↑ 19	wate 3 28 24	1 24 24	- ↑	31 28	13 26 ↑ 2 26 22 12 24 ...
5mnd	jan	2 12 44 26 40	↓ 17 24	kree 2 24 59 12	1 45 47	+ ↓	13 50nee	14 38 ↓ 2 13 41 28 4...
2 23	jun	1 59 27 2 13 20	↑ 10 30	stee 3 35 56	1 25 50 38	- ↑	3 6 34	11 22 ↑ 13 8 53 ...
	dec	2 16 2 35 33 20	↑ 6 20	kree 2 24 29 20	54 2 12	+ ↓	10 3 38	15 34 ↑ 3 18 11 43 42 13 ...
2 24	jun	2 1 31 28 53 20	↓ 0 7 30	stee 3 34 41	18 33 48	- ↑	14 18 22	12 8 ↓ 2 1 8 8 53 20 ...
	dec	2 10 40	↑ 25 16	twee 2 25 57 52	17 42 36	+ ↓	20 21 6	14 12 ↑ 1 20 24 27 35 33 ...
2 25	jun	2 6 54 4 26 40	↓ 19 45	schu 3 33 18	48 43	- ↑	25 31 10	13 30 ↓ 5 23 45 24 4 26 40
	dec	2 5 17 24 26 40	↑ 14 12	twee 2 27 26 24	1 19 27 24	+ ↓	30 38 34	12 50 ↑ 2 34 10 23 27 24 26 40
2 26	mei	2 12 16 40	↓ 9 22 30	schu 3 31 45	1 55 59 48	- ↑	36 43 58	14 52 ↓ 5 47 34 9 4 26 40
5mnd	oct	1 58 27 2 13 20	↓ 3 8	stie 2 44 34 40	1 51 19 12	+ ↓	1 8 12nee	11 22 ↓ 32 43 15 26 40 ...
2 27	apr	2 13 44 26 40	↑ 0 52 30	scho 3 13 55	54 14 48	- ↑	8 21 32	14 58 ↑ 5 14 39 34 4 26 40
	oct	2 3 49 37 46 40	↓ 22 4	ram 2 51 57 20	49 34 24	+ ↓	9 8 16	12 44 ↓ 37 9 37 46 40 ...
2 28	apr	2 8 21 51 6 40	↑ 20 30	wee 3 7	13 2	- ↑	19 34 20	13 36 ↑ 2 15 56 49 15 33 20
	oct	2 9 12 13 20	↓ 11	ram 2 59 20	12 10 24	+ ↓	19 25 44	14 6 ↓ 5 10 0 2 45 46 40
	mar ₂	2 2 59 15 33 20	↑ 10 7 30	wee 3 0 5	1 20 18 48	...	30 47 8	12 14 ↑ 2 0 23 4 35 ...
...	sep	2 14 34 48 53 20	↓ 29 56	vis 3 6 42 40	1 13 55 12	...	29 43 13	15 28 ↓ 55 22 25 ...
...	...	2 0 45 11 6 40	↓ 29 56	leeu 2 35 58 24	1 43 27 48	...	9 22	11 58 ↓ 5 ...

fig. 4 Transcriptie van dit kleitablet met mogelijke maansverduisteringen tussen 175 en 162 v.C. Voor verdere toelichting zie O. Neugebauer, *Astronomical Cuneiform Texts*, vol. 1, pp. 106-109 (tablet no. 60), vol. 3, plate 35. Getallen waarin Neugebauer afwijkt van de tekening van Pinches zijn cursief gezet.