

# DRIE TANDWIELSYSTEMEN VOOR EEN MAANKALENDER

ANNIE Th. LANTINK-FERGUSON\*

## *Inleiding*

Alvorens over te gaan tot de bespreking van de hierna beschreven tandwielssystemen voor maankalenders is het zinvol om eerst een overzicht te geven van de ontwikkelingen op dit gebied in de late Middeleeuwen.

Vanaf de dertiende tot en met de vijftiende eeuw vonden er veel nieuwe technische ontwikkelingen plaats. Onder de belangrijkste veranderingen waren de uitvinding van het buskruit en de ontdekking van het raderuurwerk. Deze beide stonden aan de wieg van het moderne Europa. Dit ging parallel en in wisselwerking met de opkomst van de steden. De meeste steden hadden hun eigen militie. Deze was bewapend met kruisbogen en blijdes, later aangevuld met de eerste 'donderbussen'. De rivaliteit van de steden wat hun prestige aanging, was een belangrijke factor in de snelle verbreiding van het stadsuurwerk. Het astronomisch stadsuurwerk ontstond uit de samensmelting van twee elementen; de lange traditie van de astronomische kalenders werd gekoppeld aan het nieuw uitgevonden raderuurwerk.

De astronomische kalenders gaan terug tot in de oudheid. Zij geven de maancycli aan ten opzichte van het zonnejaar en vaak ook de gang der planeten. Om deze instrumenten in de context van de contemporaine astronomische uurwerktraditie te kunnen plaatsen, is een kort overzicht van de ons bekende gegevens wenselijk, zowel wat betreft de artefacten als de teksten. De traditie van het astronomisch raderwerk blijkt ver in de tijd terug te reiken. Het eerste ons bekende instrument is het Antikythera-mechanisme, een uiterst vernuftig instrument uit 80 v.Chr., met een differentiële draaischijf.<sup>1</sup> Deze constructie, bestemd om de verhouding tussen de maanmaanden en de zonnejaren weer te geven, is pas in de zestiende eeuw geëvenaard. Het Antikythera-mechanisme werd in 1906 gevonden in een scheepswrak, maar pas in 1976 slaagde J.D. Price erin het mechanisme te reconstrueren. Deze ontdekking werpt een heel ander licht op het technische peil van de Griekse beschaving. Daarop volgt vijf tot zes eeuwen later de Byzantijnse maankalender,<sup>2</sup> mogelijk een schakel tussen het Antikythera-mechanisme en de latere maankalenders, maar hieromtrent tast men in het duister. Mogelijk heeft er een continue traditie op dit gebied bestaan, overgeleverd in de Islamitische en Byzantijnse cultuur. Maar enige zekerheid hieromtrent is niet te verkrijgen. Wel is er een aantal radersystemen in Islamitische astro-

\* Mijn dank voor de zeer gewaardeerde hulp van Mevr. Drs. E. Dekker; Mevr. Drs. C.C. de Glopper-Zuijderland; Mevr. Prof. R. Jansen-Sieben; Prof.Dr. J.D. North; Prof.Dr.Ir. Wegener Sleswyk; Mevr. Prof.Dr. J.M. van Winter.

1. Derek J. de Solla Price, 'Gears from the Greeks; The Antikythera mechanism – A calendar computer from ca. 80 B.C.', *Transactions of the American Philosophical Society, New Series* 64, pt 7 (1974) 1-70 (herdrukt New York 1975; Science History Publications)

2. J.V. Field and M.T. Wright, 'Gears from the Byzantines', *Annals of Science* 42 (1985) 87-163.

nomische instrumenten bekend. Omstreeks het jaar 1000 beschrijft Al-Biruni zijn astrolabium met een radersysteem voor de maankalender.<sup>3</sup> Uit ca. 1221 A.D. stamt het astrolabium met eveneens een radersysteem van Muhammed ibn Abi Bakr.<sup>4</sup> Een Frans astrolabium uit ca. 1250 bezit eveneens aan de achterzijde een maankalender.<sup>5</sup> Deze ons resterende instrumenten zijn echter zonder uitzondering onvolledig. Het samenstellen van een volledig systeem blijft giswerk en men kan alleen zoeken naar de beste benadering. Een tekst uit de dertiende eeuw, 'Opus quarundam rotarum mirabilium'<sup>6</sup> beschrijft een zeer nauwkeurig instrument, een soort planetarium. Of dit instrument ooit is uitgevoerd of dat het alleen een beschrijving betreft, is niet uit de tekst op te maken. In dit instrument wordt voor het eerst melding gemaakt van een wijzer om de uren aan te duiden.

Het raderuurwerk deed in het begin van de veertiende eeuw zijn intrede. Hiervan staan de astronomische uurwerken, vervaardigd en beschreven door Richard van Wallingford in ca. 1325<sup>7</sup> en Giovanni de'Dondi in ca. 1330,<sup>8</sup> op eenzame hoogte. Een andere bewaard gebleven tekst is het Almanus manuscript uit de tweede helft van de vijftiende eeuw. Dit handschrift bevat een beschrijving van omstreeks dertig Italiaanse tafeluurwerken.<sup>9</sup>

Het raderuurwerk maakte de overgang mogelijk van de temporale uren of ongelijke uren, die voordien gebruikelijk waren, naar de moderne gelijke uren. Eerder gebruikte men om de tijd te meten de clepsydra ofwel het wateruurwerk en sinds de oudheid ook verscheidene vormen van zonnewijzers. Men mat de tijd met deze 'temporale' of ongelijke uren. Hierbij werden dag en nacht beide in twaalf gelijke delen verdeeld. Door het jaar heen wisselden deze uren natuurlijk in lengte in overeenstemming met de verschillende lengtes van dag en nacht in zomer en winter. Hierdoor moesten de clepsidras geregeld worden bijgesteld. In de kloosters gebruikte men de 'kanonieke uren', afgestemd op de tijden van de liturgie. Er zijn echter zeer weinig gegevens uit die periode.

In de veertiende eeuw kwamen de stadsuurwerken in zwang. De ene na de andere stad kreeg haar uurwerk in de toren van kerk of raadhuis. De opkomst van de stadsuurwerken in de veertiende eeuw werd gestimuleerd door de rijke burgerij in de snel groeiende steden. Dit werd ook een prestigekwestie. In *Die Geschichte der Stunde* van Gerhard Dohrn-van Rossem wordt deze wisselwerking uitvoerig beschreven.<sup>10</sup> Met de komst van het raderuurwerk werden beide mechanismen, het raderuurwerk en de astronomische kalender, samengevoegd in de astronomische uurwerken. Deze werden vooral gebouwd in opdracht van stadsbesturen. Deze uurwerken gaven dus niet alleen de uren aan, maar ook de maanstanden. De kostbaarste uitvoeringen hadden ook wel een bewegend poppenspel bij het slaan van de hele uren. Dikwijls bevatte de wijzerplaat ook de afbeelding van het astrolabium. Voor de gehele technische en natuurwetenschappelijke ontwikkeling was de uitvinding van het raderuurwerk van groot belang. In plaats van een grove schatting kreeg men nu de precieze tijdsindeling, alhoewel deze natuurlijk uiterst langzaam in zwang kwam. Verder kreeg het uurwerk invloed op het maatschappelijk leven en de werktijden.

3. Zie Field (n. 2), 'Gears'.

4. *Idem*.

5. Henry C. King, *Geared to the stars* (Bristol 1978) 18.

6. J.D. North, 'Opus quarundam rotarum mirabilium', *Physica* 8 (1966) 337-371.

7. J.D. North, *Richard of Wallingford*, 3 dln. (Oxford 1976).

8. King (n. 5), *Geared to the stars*, 28-41.

9. J.H. Leopold, *The Almanus manuscript* (Londen 1971).

10. Gerhard Dohrn-van Rossem, *Die Geschichte der Stunde* (München 1992) 135-144.



### *Drie tandwielsystemen voor een maankalender*

De rol van de maankalenders was van groot belang in een tijd waarin men geen straatverlichting had en het leven zich richtte naar de maanstanden. Voor de kerk was de nauwkeurige kennis van de maancycli ten opzichte van het jaar noodzakelijk om de Paasdata te berekenen. De eerste raderuurwerken liepen echter verre van nauwkeurig. Voor het bijstellen waren nog lang zonnewijzers noodzakelijk. In het midden van de vijftiende eeuw kwam een nieuw soort zonnewijzer in gebruik, het eerst ontwikkeld in Erfurt, de equatoriale zonnewijzer, die veel nauwkeuriger was dan zijn voorgangers. Bij deze zonnewijzer staat de staaf evenwijdig aan de aardas. Deze zonnewijzers zijn dan ook voor een bepaalde breedtegraad gemaakt. Het moderne onderzoek op dit gebied betreft de ontwikkeling van de mechanismen om de tijd te meten, met name in verband met de oudste astronomische uurwerken. Pioniers op dit terrein zijn J.D. Price, Henry en David King (vader en zoon) en J.D. North.<sup>11</sup>

De drie hier besproken tandwielsystemen, die tot dusverre niet bekend waren, vormen een uitbreiding van het bronnenmateriaal betreffende de stand van de techniek der tijdmeting in het midden van de vijftiende eeuw. Het grote belang van het hier te behandelen manuscript is dat het een beschrijving geeft van drie, voor hun tijd zeer nauwkeurige instrumenten, en wel in een periode waarvoor de gegevens uiterst schaars zijn. Het toont aan dat exacte maankalenders geen uitzondering waren, aangezien er hier de keuze is gegeven uit drie systemen. Ook blijkt dat in de vijftiende eeuw de ontwikkeling van de astronomische instrumenten al aardig ver gevorderd was. En wat nauwkeurigheid aangaat, staan de te bespreken maankalenders veel dichterbij de astronomische uurwerken dan bij de maankalenders op de achterzijde van astrolabia.

Dat deze tekst in de volkstaal is, terwijl de rest van het manuscript bijna geheel in het Latijn is geschreven, is logisch. Deze constructie-beschrijvingen zijn bedoeld voor uurwerkmakers en zijn waarschijnlijk ook door een uurwerkmaker opgesteld. Uurwerkmakers zullen zoals de meeste ambachtslieden meestal het Latijn niet beheerst hebben. De Nederlandse taal zal impliciet gekozen zijn omdat de doelgroep in de Nederlanden lag. In de in het manuscript volgende beschrijving van equatoriale zonnewijzers wordt Utrecht geregeld genoemd, naast Rome en Jeruzalem en Erfurt. Ook wordt uitgegaan van de 52<sup>o</sup> breedtegraad, die van Nederland. In deze context blijkt Utrecht dus van belang te zijn. Bovendien staat op de Jacobikerk in Utrecht een equatoriale zonnewijzer uit 1463.

#### *Gegevens omtrent het manuscript, datering en plaatsbepaling*

De tekst en de illustraties voor de constructie van de hierna besproken drie tandwielsystemen voor maankalenders bevinden zich in het Ms. Salamanca 2621, dat uit Vlaanderen naar Spanje kwam. Ms. 2621 is een verzamelhandschrift dat rijk is aan astronomische teksten. Tot nu toe zijn de beschrijvingen voor deze drie radersystemen onopgemerkt gebleven. Zij vormen namelijk een onderdeel van een vijftiende-eeuwse Latijnse tekst op fols. 102-123 betreffende de constructie van een astrolabium, een tabel voor een maankalender en de constructiebeschrijving van verscheidene soorten zonnewijzers. In deze Latijnse tekst zijn Middelnederlandse passages tussengevoegd. In de catalogus van de Universiteitsbibliotheek van Salamanca worden echter alleen het astrolabium en de zuil-

11. De Solla Price (n. 1), 'Gears'; Dez., 'Clockwork before the clock', *Horological Journal*, januari 1956, 31-35; North (n. 6) 'Opus'; Dez., *Richard of Wallingford*; King (n. 5), *Geared to the stars*; David A. King, *A survey of the scientific manuscripts in the Egyptian National Library* (in English) (published by the American Research Center in Egypt with Undena Press); Dez., 'The origin of the astrolabe according to the Medieval Islamic Sources', *Journal for the History of Arabic Science* 5, nr. 1 & 2 (1981) 43-83.

tjes zonnewijzer (horologium chilindrum) uit deze tekst genoemd, en de aanwezigheid van passages in het Nederlands wordt slechts vermeld.<sup>12</sup> De tekst van deze drie tandrad-systemen is echter geheel in het Nederlands. Aangezien er weinig gegevens zijn overgebleven uit deze periode vormt deze tekst een belangrijke aanwinst voor onze kennis omtrent de stand van de ontwikkeling van de astronomische uurwerken in de vijftiende eeuw.

In de tekst staan enige gegevens betreffende de datering. Een belangrijke hulp echter bij de interpretatie en de datering van deze tekst is te vinden in de Codex 665 te Erlangen.<sup>13</sup> Deze tekst blijkt in grote delen identiek te zijn aan de Salamancatekst, maar bevat meer gegevens aangaande de oorsprong van beide teksten. Ook door vergelijking van de beide teksten is het een en ander op te maken. Deze twee teksten zijn duidelijk een kopie van eenzelfde origineel. Dit blijkt vooral uit de astrolabium-tekst en de schetsen van verscheidene zonnewijzers. Bij een nauwkeurige vergelijking van de twee astrolabium-teksten met de 'pseudo Messahallah' tekst (Ms. Cambridge University Library, li. 3. 3., A.D. 1276)<sup>14</sup> blijken beide handschriften van eenzelfde tussenliggende kopie af te stammen.<sup>15</sup> Dit blijkt uit het feit dat de schetsen in het Salamanca-manuscript en de Codex 665 Erlangen òf identiek zijn gemaakt, ofwel op dezelfde wijze onvolledig uitgevoerd of dat dezelfde schetsen, wel aanwezig in de 'pseudo Messahalla' tekst, in beide manuscripten ontbreken. In het laatste geval is dan in beide manuscripten een lege ruimte uitgespaard voor de ontbrekende schets, van welke de beschrijving wèl in de tekst voorkomt. De aanwezige schetsen vertonen een zodanige gelijkenis dat het soms wel fotokopieën lijken. De verregaande overeenkomst van het handschrift van beide teksten doet het vermoeden rijzen dat beide kopieën in hetzelfde scriptorium vervaardigd zijn. In beide teksten komt de datum 1441 voor in de maantabellen (Ms. Salamanca fol. 115r. en Codex 665 fols 26v. en 27r.). De beschreven equatoriale zonnewijzers zijn in het midden van de vijftiende eeuw voor het eerst in Erfurt ontwikkeld (ca. 1430)<sup>16</sup> en dit systeem is vervolgens over Europa verspreid. Deze accurate vorm van zonnewijzer was beter in staat om de nog zeer onnauwkeurig lopende uurwerken bij te stellen. Bij de beschrijving van de diverse zonnewijzers worden de namen Erfurt en Utrecht geregeld genoemd.

De Codex 665 te Erlangen blijkt gebonden te zijn in twee vellen perkament beschreven met een Nederlandse psalmtekst uit de veertiende eeuw. Op de achterzijde van de codex komt de naam Gaspar Laet voor. Deze was de zoon van de astronoom, astroloog en medicus Johannes Laet.<sup>17</sup> Mogelijk was deze laatste de opdrachtgever voor een eerdere versie, waarvan Salamanca en Erlangen de kopieën zijn. De watermerken van beide teksten, hoewel niet nauwkeurig te verifiëren, wijzen naar een datum van ca. 1460, en een vervaardiging in de Lage Landen.

12. Guy Beaujouan, *Manuscrits scientifiques de l'Université de Salamanca* (Bordeaux 1962).169: fol. 102-115. [notes en latin et en néerlandais sur l'astrolabe et le quadrant], en fol.117-123 [Notes en latin et en néerlandais sur la composition de l'horologium viatorum ou chilindrum]. Verdere verwijzingen slaan op het 'speculum astrorum' en verscheidene sterrentabellen. Deze hebben op dit onderwerp geen betrekking.

13. Hans Fischer, *Die lateinischen Papierhandschriften der Universitätsbibliothek Erlangen* (Erlangen 1936).

14. Robert T. Gunther, (ed. en vert.), *Chaucer and Messahalla on the astrolabe* (Oxford 1929); Dez., *Early science in Oxford* dl. 5 (herdrukt Londen 1968).

15. Een voorbeeld: het woord 'si' in beide teksten getranscribeerd als '81'. Wat de tekst natuurlijk onbegrijpelijk maakt.

16. Ernst Zinner, *Die ältesten Räderuhren und modernen Sonnenuhren*, 28. Bericht der Naturforschenden Gesellschaft (Bamberg 1939) 76,77.

17. *Ibid.*, 77. R. Jansen-Sieben, *Repertorium van de Middelnederlandse Artes-literatuur* (Utrecht 1989).



Het is belangrijk om de tekst uit Salamanca te vergelijken met die uit Erlangen. Niet alleen bevat de laatste meer gegevens, maar uit de keuzes die in beide handschriften worden gemaakt, kunnen bepaalde gevolgtrekkingen worden afgeleid. Zo begint de tekst in Erlangen met de volgende woorden: *'Incipit practica magistri Goswini custodis de Brug[is] de altrimetra'*, gevolgd door beschrijvingen hoe hoogten en afstanden te meten. Hierna volgt het 'speculum astrorum', een vrij onbekend instrument, waarvan de beschrijving bovendien onvolledig is. Waarschijnlijk gebruikt om de loop van de sterren af te lezen ten opzichte van de horizon op de twaalfdelige schijf van de windroos. De bijbehorende tabellen ontbreken. De begindatum is echter 1319. De breedtegraden worden gegeven voor Parijs, Londen en Brugge. Dit laatste wijst in de richting van voornoemde Goswinus als vervaardiger. Evenals in Erlangen Codex 665 staat deze tekst ook in het Salamanca-manuscript, vóór de tekst van het astrolabium. In Erlangen begint de astrolabium-tekst met de woorden: *'Incipit tractatus astrolabii messahallam'*. Hierna wordt in Erlangen de inleiding gegeven, dan de beschrijving van het dorsum en daarna die van de voorzijde. In Salamanca echter ontbreekt de gehele beschrijving van het dorsum en start de tekst over het astrolabium met de beschrijving van de voorzijde. Deze tekst begint op een nieuw folioblad, met een grote hoofdletter. Uit de bladspiegel alleen al is duidelijk op te maken dat de beschrijving van het dorsum welbewust is weggelaten. Bovendien ontbreekt in Salamanca de beschrijving van het gebruik van het astrolabium. Dat laatste wordt echter wel uitvoerig in het Erlangen-Ms. beschreven. De conclusie die hieruit te trekken valt, is dat men in Salamanca alleen de beschrijving van de voorzijde nodig achtte. Ook staat tussen de astrolabium-tekst en de beschrijving van de drie tandradssystemen een schets van een wijzerplaat met tweemaal twaalf uren en de verdeling van de dierenriem (fig 1. fol. 110v.) Deze komt alleen in de Salamanca-tekst voor en niet in de Erlangen-codex. Dit sluit aan bij de theorie, dat de drie radersystemen voor maankalenders in het Salamanca-Ms. (ontbrekend in Erlangen) eventueel waren bestemd voor astronomische uurwerken of een onderdeel van deze laatste, waarbij men de voorzijde van het astrolabium mede had gekopieerd om deze eventueel als wijzerplaat van een uurwerk te kunnen gebruiken, ofwel als een extra wijzerplaat, zoals bij veel astronomische uurwerken gebruikelijk was. De beschrijving van de drie radersystemen ontbreekt geheel in de Erlangen codex. Vreemd is echter dat een stuk tekst over het verdelen van tandraderen: *'Om die raden te delen'*, (fol. 114r. en v.), dat in Salamanca aansluit achter de drie maansystemen, in Erlangen ergens midden tussen de schetsen van zonnewijzers staat (fol. 31v.), waarmee het geen enkel verband houdt. In deze tekst over de verdeling van tandraderen worden de gegevens gebruikt van de raderen en omloopstijden voor de tweede maankalender. De aanwezigheid van dit deel van de tekst in de Codex 665 te Erlangen zou er op kunnen wijzen dat in het origineel dat is gebruikt voor beide kopieën, de maan systemen al aanwezig waren en dat per vergissing de passage over de verdeling van de raderen tussen de zonnewijzers terecht kwam. Hoe dan ook er moet enig verband bestaan, ofwel bij het transcriberen, ofwel doordat een vel van de radersystemen tussen de transcriptie van Erlangen kwam. Helemaal duidelijk zal de gang van zaken waarschijnlijk nooit worden.

#### *De drie tandwielmechanismen*

Twee van deze drie tandwielsystemem worden in de tekst aangeduid als 'spera lune'. Deze benaming lijkt enigszins vreemd, want spera betekent letterlijk bol. Maar het wordt duidelijk als men het contemporaine Almanus-manuscript vergelijkt. In deze Latijnse tekst



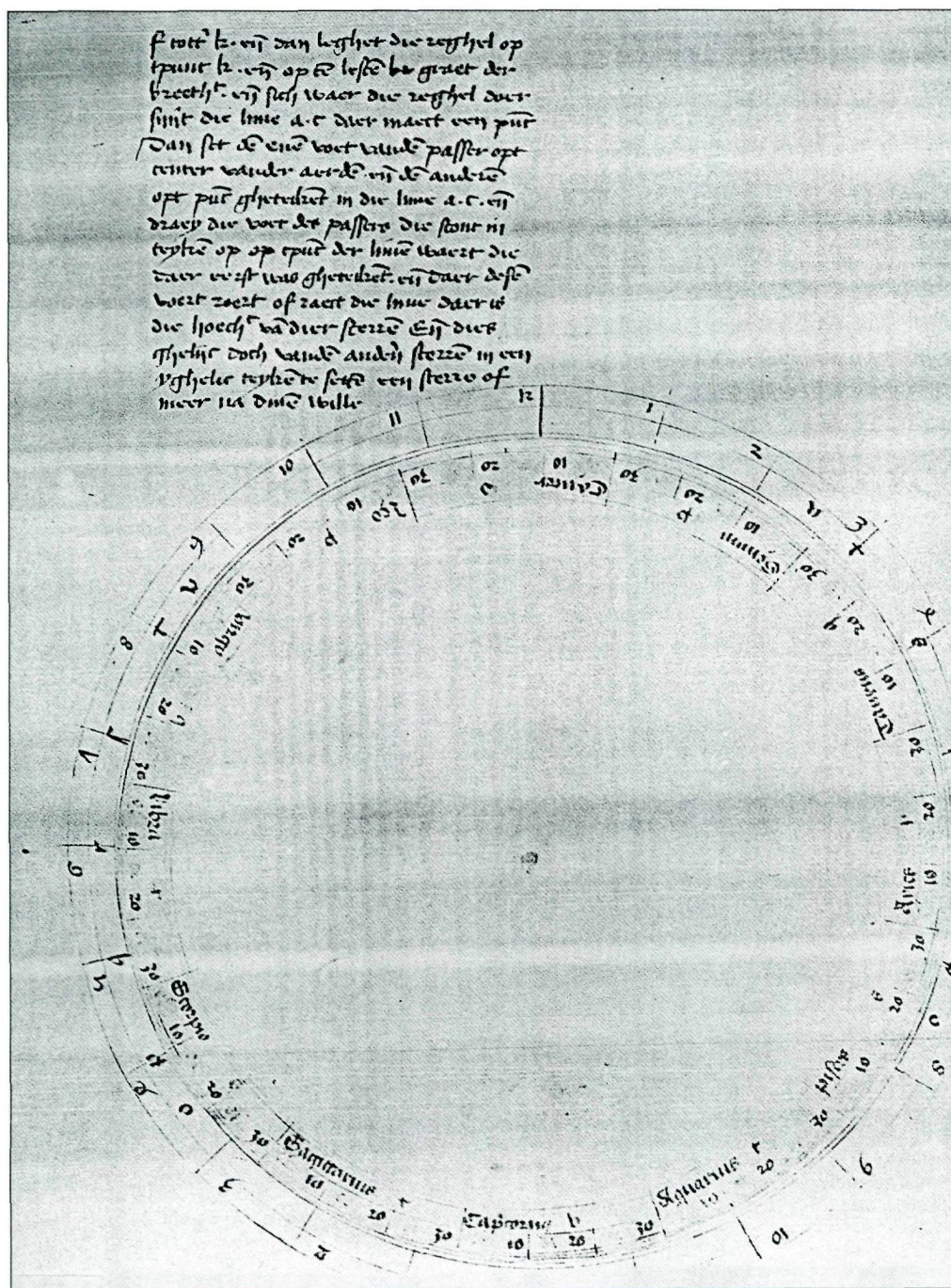


Fig. 1 Fol. 110v. Wijzerplaat met 2 x 12 uur en de tekens van de zodiac in de rand.



heeft 'spera' gewoon de betekenis van wijzerplaat en wordt daar in deze betekenis herhaaldelijk gebruikt.<sup>18</sup> Dit lijkt er op te wijzen dat het ook hier wijzerplaten betreft, en wel voor de maancycli. Mogelijk zijn zij bedoeld als extra wijzerplaat bij een astronomisch uurwerk. Alhoewel, North geeft voor het woord 'spera' ook de betekenis van disk, dus schijf, als mogelijkheid in zijn beschrijving van het 'Opus quarundam rotarum mirabilium'.<sup>19</sup> Het derde mechanisme wordt niet als *spera lune* aangeduid, maar dit systeem heeft bovendien een wijzer die de 24 uren aangeeft afgebeeld op de rand van het werk. Mogelijk is het bestemd als een wijzerplaat voor een geheel uurwerk.

De Middelnederlandse tekst behorende bij deze drie mechanismen is zeer beknopt. De beschrijving is weergegeven in enkele begeleidende regels bij de illustraties. Daarna volgt, ook in het Nederlands, een beschrijving hoe de diverse raderen met hun respectieve aantal tanden vervaardigd moeten worden. Het is van het grootste belang om zich zo nauwkeurig mogelijk aan de tekst te houden en deze voortdurend te vergelijken met de illustraties. Bij schijnbare inconsistenties is het nodig om eerst een logische oplossing te zoeken. De moeilijkheid is dat hier en daar zaken uit de tekst niet in de illustraties voorkomen en omgekeerd. Men moet zich realiseren dat deze drie mechanismen zijn ontworpen door een of meer uurwerkmakers en dat deze ontwerpen bestemd waren voor vakgenoten.

De rotatieperioden van de drie systemen zijn eenvoudig te realiseren, ook geven zij vrij nauwkeurige waarden aan. De constructie van de mechanismen geeft echter wel problemen. Met name vergt de realisatie van het tweede systeem wel een praktische kunstgreep, die echter ongetwijfeld binnen het bereik van de uurwerkmaker in die tijd lag.

### *Eerste systeem*

#### Transcriptie

fol. iiii.

Dit minste rat sel vast staen ant zodiacus ende tmeeste sel syn der sonnen rat ende sel hebben 55<sup>20</sup> tanden.

fol. iiii.

Item in dit *spera lune* sel die mane stille staen ende dat zodiacus daer die 12 signa an staen, dat sel om gaen in 30 daghen ende soe sel die 12 teyken doer gaen binnen 365 daghen.

Item dat rat dat vast staet ant zodiacus sel hebben 40 tanden ende dat rat dat dat zodiacus rat om drijft. Ende is dat rat daer dat A.b.c. op staet sel hebben 41 tanden ende daer sellen op staen 28 letteren.

Item der sonnen rat sel hebben 58 tanden. Ende dat rat dat der sonnen rat om drijft sel hebben 55 tanden. Item dat A.b.c. rat dattet zodiacus om drijft Ende dat rat van 55 tanden sellen vast op malcander ghemaect sijn.

#### Vertaling

Het kleinste rad moet vast bevestigd zijn aan de zodiak, het grootste moet het zonnerad zijn en dit moet 55 tanden hebben. In dit '*spera lune*' moet de maan stil staan. En de zodiak, waarop de twaalf tekens staan, gaat in 30 dagen rond en dus zullen de twaalf tekens passeren in 365 dagen. En het rad dat bevestigd is aan de zodiac moet 40 tanden hebben. En het rad dat de zodiak rond drijft en dat is het rad waar A.b.c. op staat moet 41 tanden hebben en hierop moeten 28 letters staan. En het rad van de zon moet 58 tanden hebben.

18. Leopold (n. 9), *The Almanus manuscript*, 293.

19. North (n. 6), 'Opus', 343.

20. Hier blijkt duidelijk een verschrijving te zijn, hier moet 58 in plaats van 55 staan.

En het rad dat het zonnerad aandrijft moet 55 tanden hebben. En het a.b.c.rad dat de zodiak aandrijft en het rad met 55 tanden moeten stevig op elkaar bevestigd zijn.

Commentaar bij 'spera lune' I

De naam die aan dit systeem wordt gegeven is 'Spera lune' (zie boven); dit niet te verwarren met de maan. Op fol. 111r. en v. (fig. 2 en fig. 3) worden de constructieschetsen gegeven voor het mechanisme. Op fol. 111r. zijn de vier raderen afgebeeld met het aantal van hun tanden daarbij geschreven. De bovengeschreven tekstregel verwijst naar deze raderen: het kleinste rad, dat van 40 tanden is vast bevestigd aan de zodiak. Het grootste rad van 58 tanden is het zonnerad. In de tekst wordt vermeld dat de maan stilstaat, wat ook duidelijk blijkt uit de illustratie. De zodiak moet in 30 dagen rond gaan en de tekens moeten in 365 dagen 'passeren' (dit is een grove schatting zoals verderop uit de berekeningen zal blijken). Het betreft hier dus de weergave van de jaarlijkse weg van de zon langs de dierenriem en bovendien wordt de maancyclus hier weergegeven. De precieze omloopstijd van de raderen wordt echter niet gegeven. Maar het letterrad, waar a.b.c. op staat, heeft 41 tanden en bevat 28 letters. Een vergelijk met het tweede systeem maakt duidelijk dat hier 28 dagen worden bedoeld. In het tweede systeem bevat het letterrad 21 letters en gaat in 21 dagen rond. Dit past trouwens geheel in de middeleeuwse kalendertraditie, welke de dagen van de week aanduidt met de eerste zeven letters van het alfabet. Als het systeem niet per dag een letter, namelijk die van de betreffende dag van de week, zou vertonen, zou het aanbrengen van letters volkomen zinloos zijn. Daar rad 55 vast verbonden is met het letterrad zal dit rad ook in 28 dagen rondgaan. Zo komt men dus tot de volgende omloopstijden: rad 55 drijft het zonnerad, het zonnerad roteert dus in  $58/55 \times 28 = 29,5272$  dagen. Rad 41 drijft het zodiakrad 40, wat resulteert in een omloopstijd van de zodiak van  $40/41 \times 28 = 27,3170$  dagen. Dit uitgeschreven is:

$$\begin{array}{r} 29,527d. \quad 55 \quad 40 \\ \hline 58 \quad 41 \quad 27,317d. \end{array}$$

Aan het zonnerad is een wijzer met een klein zonnetje bevestigd. Zo is te zien dat de zon in één jaar tijds de gehele zodiak doorloopt. In elke cyclus blijft de zon ca. twee dagen achter bij de zodiak en schuift zo in een jaar langs de gehele dierenriem en wel tegen de klok in. Bovendien geeft het zonnetje ook de synodische omloopstijd van de maan aan. Deze zal dan waarschijnlijk afgelezen worden vanaf het bovenste kleine maansikkeltje.

Opvallend is de economie van de tandwieltrein, met slechts vier raderen wordt een zeer nauwkeurige benadering van de omloopstijden gegeven. Bij dit mechanisme staat evenwel niet hoe het aangedreven wordt. Gemakkelijk zou dit gedaan kunnen worden door het letterrad iedere dag een letter te verschuiven. Bovendien verkrijgt men op deze manier dat de letters niet langzaam verschuiven achter het venster maar iedere dag meteen in het beeld springen. Men zou dit stelsel ook kunnen verbinden met een uurwerk, met een simpele constructie zou dit mogelijk zijn. Daar het hier een maankalender betreft, gaat deze mogelijk terug naar de Islamitische traditie.

Alhoewel er in de tekst geen beschrijving wordt gegeven voor een constructie om de schijngestalten van de maan te tonen is er in de tekening wel een afbeelding te zien van een dergelijke constructie. Normaliter is dit een verzilverde schijf met twee zwarte rondjes er op, deze schijf roteert dan in 2 maal de synodische omloopstijd van de maan en is geplaatst achter een rond venster dat zo de maanfasen, het 'wassen en wanen' laat zien (zie fig. 4).



## Drie tandwielsystemen voor een maankalender

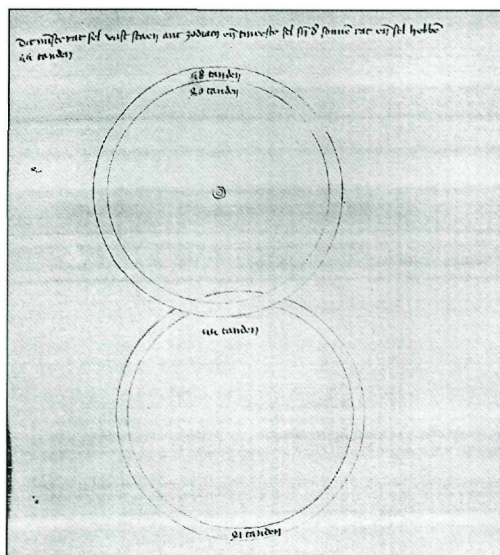


Fig. 2. Fol. 111r. Schets van de tandraden van systeem 1.

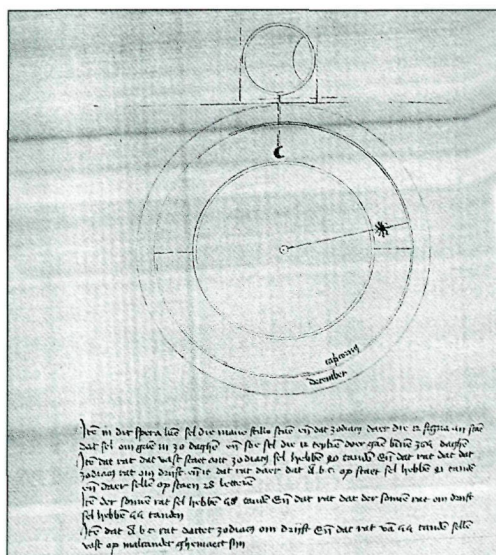


Fig. 3. Fol. 111v. Vooraanzicht van systeem 1.

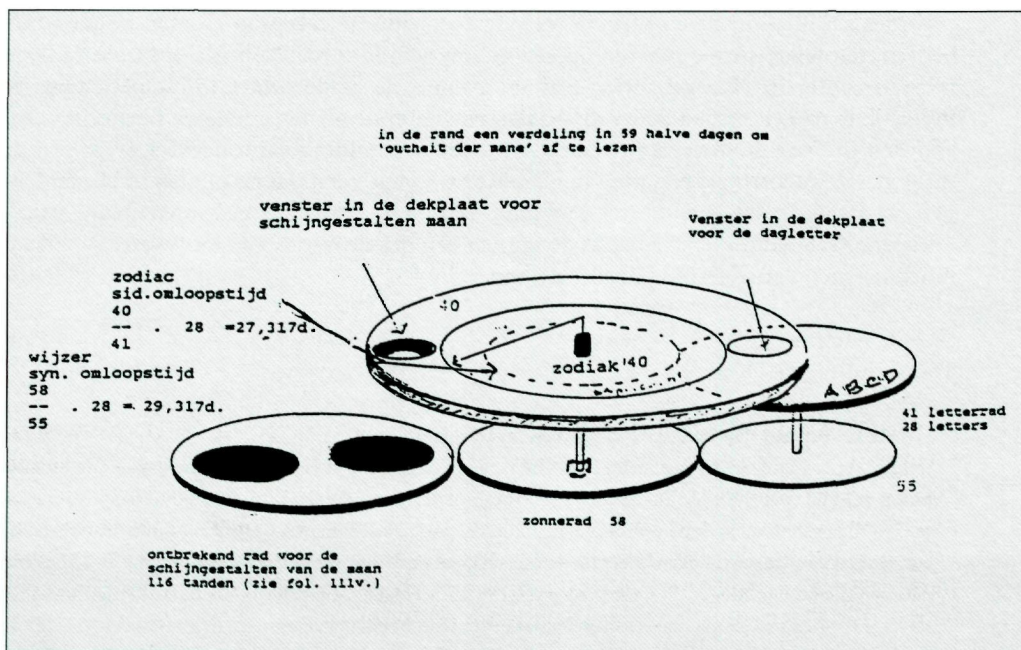


Fig. 4. Een constructieschets van systeem 1. Globaal overzicht wat betreft de onderlinge ligging en de werking van de raderen. In deze schets een rad toegevoegd om de maanfasen af te lezen. Een dergelijk rad roteert in de tijd van tweemaal de volledige maancyclus. Op het oppervlak zijn hier de twee zwarte schijven aangebracht op een meestal zilverkleurig veld. Door de opening in de dekplaat is dan per rondgang van dit maanrad tweemaal de cyclus 'wassen en wanen' te zien.

Deze constructie is echter gemakkelijk te verwezenlijken door aan zonnerad 58 een rad met 116 tanden te koppelen. Dit rad heeft dan de omloopstijd van tweemaal de synodische maancyclus en kan dus achter een venster de maanfasen vertonen.

Het stippelijntje van het kleine maantje zou er op kunnen duiden dat het hangt en het instrument verticaal is geplaatst, ofwel duidt het op een verbinding van het centrale instrument met een aangebrachte constructie voor het vertonen van de maanfasen.

Verder kan men vaststellen dat de zon in precies een jaar rondgaat langs de zodiak. Het aantal omwentelingen van de zodiak in 365 dagen:

$$\begin{array}{r} 365 \quad 41 \\ - \quad x \quad - = 13,361607 \\ 28 \quad 40 \end{array}$$

Het aantal omwentelingen van de zon in 365 dagen:

$$\begin{array}{r} 365 \quad 55 \\ - \quad x \quad - = 12,361453 \\ 28 \quad 58 \end{array}$$

Het verschil is 1,00054 omwenteling in 365 dagen of 1 omwenteling in 364,943799 dagen. De fout is klein ten opzichte van de benadering van het jaar door 365 dagen. Dus na verloop van een jaar is de zon weer ten naasten bij op dezelfde plaats in de zodiak.

Aan de voorzijde van dit mechanisme moet dus, naar wij aannemen in de dekplaat of de wijzerplaat, een lettervenster zijn om de letter van de weekdag te tonen en een ronde uitsparing om de maanfasen zichtbaar te maken, welke laatste op de schets is te zien.

Verder zal men bij de constructie van dit mechanisme rekening moeten houden met het feit, dat telkens twee raderen op één as zijn gemonteerd. De beide bovenste raderen moeten echter in elkaar kunnen grijpen evenals de beide onderste raderen. Om dit mogelijk te maken, zullen de tandmodulen van de onderste twee raderen kleiner moeten zijn dan die van de bovenste twee raderen, een verhouding van ongeveer 8 : 11. Bij de maat van de raderen zal rekening moeten worden gehouden dat de tanden in elkaar grijpen, zodat de halve diepte van een tand extra moet worden genomen in de straal. Eveneens vermeldt de schrijver dat de tanden van het drijvende rad iets wijder uit elkaar moeten liggen dan die van het gedreven rad.

### *Tweede systeem*

Transcriptie

fol. 112 r.

[In de tekening] Mit dese scive drayt men dit werc om.

Item die spera lune sel so vast staen ende die 12 signa sellen in een jaer eens omme gaen ende lune sel horen middel loep houden in teyken. Item die moeder daer dit werc an gaet selmen op een cirkel maken die selmen in 29 ende een derdendeel om die outhet der manen op te sien. Ende om dit zodiacus selmen een rat vast maken daert mede om sel gaen ende sal wat minre wesen dan dat zodiacus om dat men die tanden niet en siet. Ende op dat letter rat sel staen 3 a.b.c. ter h. toe dats 21 letteren dat rat sel in 21 daghen om gaen ende elc rat sel also veel tanden hebben als men daer in ghescreven vint. Ende dat ronsel dat middel int werc staet van 12 tanden dat die mane doet wassen ende wanen dat sal vast staen in dat bort daert werc an gaet ende die pinne daer die mane mede omme gaet sel doer dat ronsel ende doer dat bort gaen.

fol. 112 v.

Dat binnenste rat van 14 tanden sel staen onder vast ant rat van 32 tanden.



Vertaling

fol.112r.

[In de tekening. Met deze schijf laat men dit systeem draaien.]

En de 'spera luna' moet vast staan en de twaalf tekens moeten eenmaal rondgaan in één jaar en de maan zal haar ononderbroken rondgang<sup>21</sup> hebben te midden van de tekens. En de mater waartoe dit mechanisme behoort moet men op een cirkel maken, die men in 29  $\frac{1}{3}$  parten moet verdelen om de oudheid van de maan (dat is de tijd verstreken sinds nieuwe maan) af te lezen. En om deze zodiak moet men een rad bevestigen, waar het mee in het rond zal gaan, en dat moet wat kleiner zijn dan de zodiak opdat men de tanden niet ziet. En op het letterrad zal tot drie maal toe a.b.c. tot aan h. toe staan. Dit zijn 21 letters en dit rad zal in 21 dagen rond gaan. En elk rad zal zoveel tanden hebben als men er in geschreven vindt. En het rondsel van 12 tanden dat in het midden van het mechanisme staat, en dat de maan doet toenemen en afnemen, zal vast staan op de plaat waartoe dit mechanisme behoort en de pin waarmee de maan rondgaat moet door dat rondsel en door de plaat gaan.

fol.112v.

Het binnenste rad van 14 tanden moet vast bevestigd zijn onderaan het rad van 32 tanden.

Commentaar bij 'spera lune' II

Op fol. 112r. en v. (fig. 5 en fig. 6) volgt een tweede variant van een maansysteem of 'spera lune'. Fol. 112r. toont een schets van het instrument. Op fol. 112v. is een deel van de raderconstructie te zien. In de tekening op fol. 112r is het kleine rondsel afgebeeld waarmee het mechanisme wordt aangedreven, namelijk door de zodiak aan te drijven. Verder is het zonembleem, het lettervenster en nog een niet nader aangeduid rad, rechts onderaan, te zien. In de tekst wordt gezegd dat deze 'spera lune' vast staat, het mechanisme is dus kennelijk ergens aan bevestigd, of wat logischer is, dat er hier wordt bedoeld dat de wijzerplaat als geheel stil staat (dikwijls draaide bij de eerste uurwerken de wijzerplaat rond in plaats van de wijzer), en dat de zodiakschijf hier omheen ronddraait. De zodiak met zijn twaalf tekens zal rondgaan in één jaar. De loop van de maan zal in het midden van de tekens zijn. De mater waarop dit mechanisme is gemaakt moet op een cirkel gemaakt worden, die in 29  $\frac{1}{3}$  parten verdeeld moet worden om de tijd af te lezen die verstreken is vanaf de nieuwe maan. Deze tijd zal wel gemeten worden vanaf het zonembleem bovenaan de tekening, wat logisch is omdat bij nieuwe maan de zon en de maan in elkaars verlengde staan. Deze 29  $\frac{1}{3}$  is echter geen nauwkeurige verdeling. Het instrument zelf geeft een omlooptijd aan van 29,5325 dagen aan. Voor de werking van het instrument heeft deze onnauwkeurige verdeling van de maanrondgang, aangegeven in de rand, geen betekenis. alleen het aflezen is wat onnauwkeuriger. De maanwijzer zelf gaat echter in de juiste tijdsperiode rond. Deze 29  $\frac{1}{3}$  zal mogelijk op een transcriptiefout in een eerdere versie zijn geweest (van 29  $\frac{1}{2}$  of van 29  $\frac{17}{31}$ ). Men moet echter de rand verdelen in 59 halve dagen.

De zodiak is op een rad van 73 tanden geplaatst, dat iets kleiner is opdat de tanden niet zichtbaar zullen zijn. Het letterrad heeft 21 letters, 3 x a.b.c.d.e.f.g. en roteert in 21 dagen.

De gegevens aangaande het aantal tanden van de respectieve raderen zijn terug te vinden zowel in de tekst als in de schetsen. Het is nodig beide goed te vergelijken. Het zodiakrad bevat 73 tanden en roteert in 365 dagen. Het aandrijfrad van het mechanisme

21. Vertaling volgens Prof. Dr. R. Jansen-Sieben, Brussel.

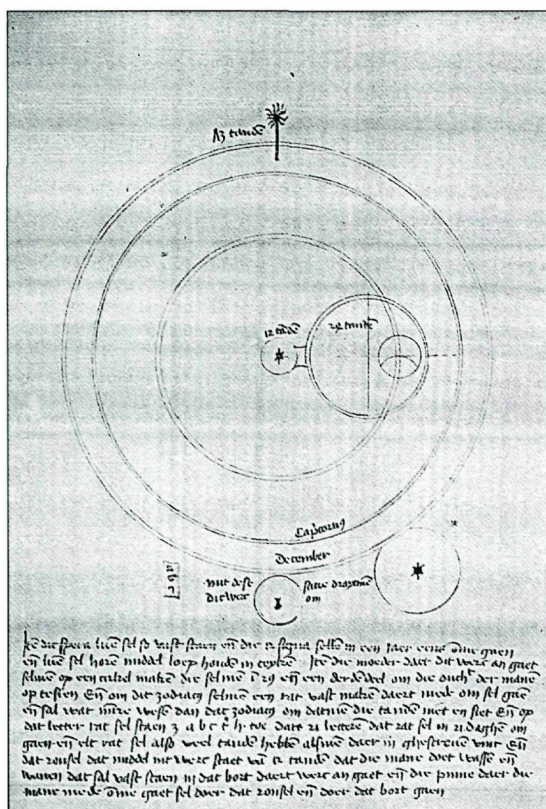


Fig. 5. Fol. 112r. Vooraanzicht van systeem 2.

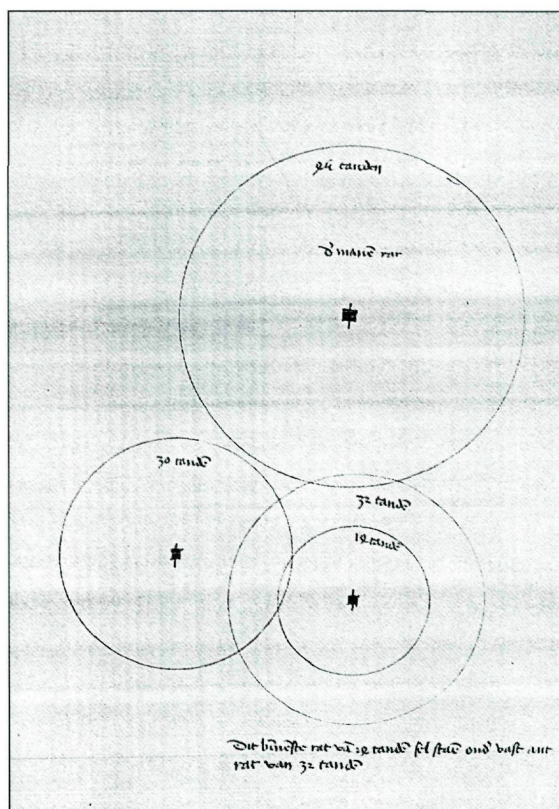


Fig. 6. Fol. 112v. Schets van de tandraderen van systeem 2.

moet dus eens in de 5 dagen het zodiakraad een tand verplaatsen. Dit kan makkelijk zowel met de hand worden gedaan dan wel door middel van een uurwerk. Op fol. 112v. (fig. 6) is een stel tandraderen te zien, met het aantal van de tanden er op aangegeven. Het maanrad heeft 45 tanden. De as van het maanrad moet centraal in het werk staan, wat blijkt uit de illustratie op fol. 112r. (fig. 5) Het wordt aangedreven door rad 32, waaronder rad 14 is bevestigd. Rad 14 wordt gedreven door rad 30. Nu is de kwestie uit te vinden welk van deze raderen het letterrad is, dat roteert in 21 dagen. Het is logisch, dat het maanrad een rotatieperiode zal hebben die de synodische omloopstijd van de maan zal benaderen. Nu kan men uitproberen met welk rad men deze omloopstijd verkrijgt. Als men rad 32 als het letterrad neemt dan krijgt men het volgende resultaat:  $45/32 \times 21 = 29,5325$  voor het maanrad 45, dit komt overeen met de synodische omloopstijd van de maan. Hierdoor kunnen we zeker aannemen dat rad 32 het letterrad is. Dit wordt bovendien bevestigd door de beschrijving van deze raderen 32 en 45 en hun rotatiesnelheden in het stuk 'Om die raden te delen' op fol. 114r. daar wordt uitvoerig uitgelegd hoe men deze berekening moet maken.<sup>22</sup> Rad 14 zit vast onderaan rad 32 en heeft dus ook een omloops-

22. Fol. 114r. kolom 2 regel 10-42.



## Drie tandwielsystemen voor een maankalender

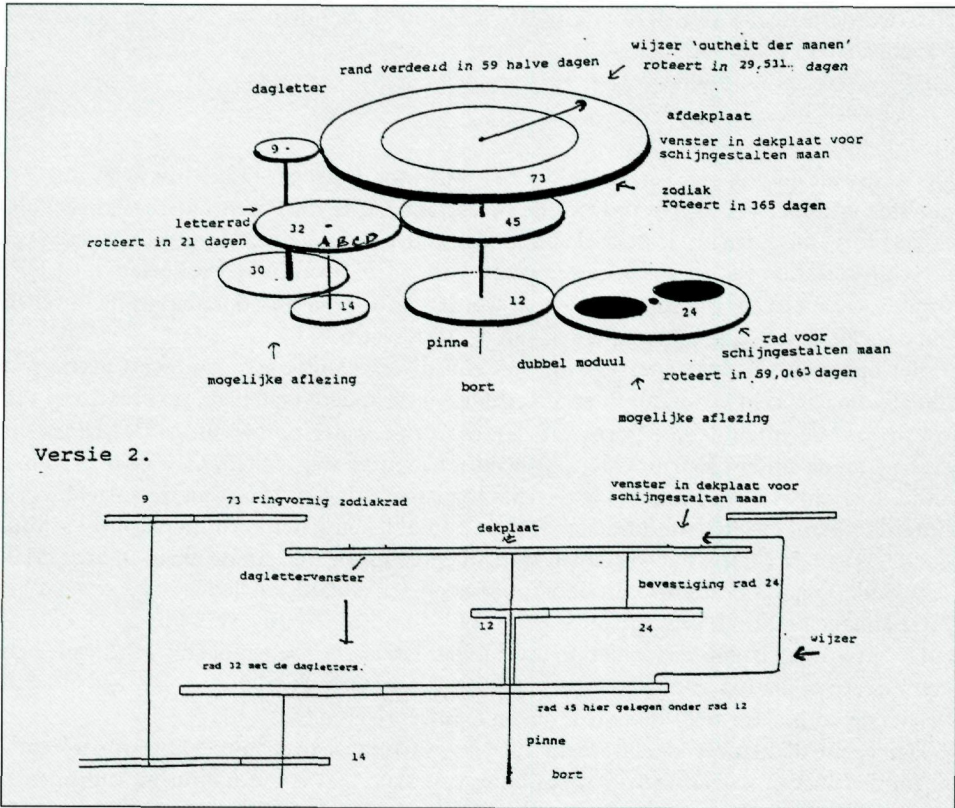


Fig. 7. Constructieschetsen voor systeem 2 met een globale weergave van de ligging van de raderen.  
*Versie 1.* De tanden van de raderen 12 en 24 hebben hier een dubbel moduul opdat de maanfasen afgelezen kunnen worden buiten de zodiak. Rad 45 ligt boven de raderen 12 en 24, omdat rad 24 gefixeerd moet worden aan het bord om te kunnen functioneren t.o.v. rad 12. De centrale 'pinne', welke door het 'bort' (de vaste onderzijde van het instrument) gaat, is hier nodig om de verscheidene centrale assen te verankeren.  
*Versie 2.* Hier is het zodiakrad ringvormig, liggend boven een dekplaat welke met de 'pinne' is vastgezet. In deze dekplaat zijn de vensters aangebracht voor de dagletter en de maanfase. rad 24 is hier verankerd in de dekplaat. de wijzer voor de maancycli is bevestigd aan rad 45, dat hier onder rad 12 en 24 ligt. deze wijzer is omgebogen en komt tussen de dekplaat en de zodiakring.

tijd van 21. Dan heeft rad 30, dat rad 14 drijft een omloopstijd van  $30/14 \times 21 = 45$ . Nu komen wij aan de andere zijde op fol.112r. waar het zodiakrad 73 een omloopstijd heeft van 365 dagen. Maar  $30/73 \times 365 = 150$ . Dit is dus niet juist. Als we rad 73 met een omloopstijd 365 nemen en dat dit rad een ander rad drijft met een omloopstijd van 45 dan komen wij op  $X \times 73 \times 45 = 365$ . Dan blijkt  $X = 9$ . Dus het kleine rad rechts onderaan fol.112r. moet 9 tanden hebben en vast staan op rad 30. Zo komt men tot een logische oplossing voor de tandwieltrain:

365 .	9	14	45	24	_____
73	30	32	12	59,063d.(output)	_____
		(21d. input)			

Het tweede gedeelte van deze tandradtrein vormt de aandrijving voor het wassen en wanen van de maan:

29,55      24

---

12      59,065d.

Op de as van het maanrad staat, ook in het centrum, de as van rad 12, dit heeft dus ook dezelfde synodische omloopstijd van de maan. Dit rad 12 drijft een rad 24, dat als volgt roteert in 59,0650 dagen, de dubbele omloopstijd. Deze dubbele omloopstijd is nodig om de schijn gestalten van de maan te vertonen. Het rad 24 heeft in een verzilverd veld twee ronde zwarte cirkels, die rondgaan en zo worden door de ronde opening in de bovenste onbeweeglijke schijf de schijn gestalten van de maan vertoond.

Het oplossen van het radersysteem met zijn diverse omloopstijden levert geen grote moeilijkheden. Hier vormen echter, meer dan bij de andere systemen, de praktische uitvoering en de uiteindelijke vorm van het instrument het probleem. In de schets zijn evenals bij de andere instrumenten, bepaalde elementen weggelaten. Ook is de tekst niet altijd duidelijk. De moeilijkheid is hier het inpassen in het systeem van de volgende drie functies. Namelijk het ronddraaien van de zodiaktekens, het vertonen van de schijn gestalten van de maan: 'het wassen en wanen', en de rondgang van de maan in haar cyclische omloop langs de zodiak. En deze functies op een zodanige wijze in te passen dat het mechanisme praktisch uitvoerbaar is en werkt.

Het probleem is dat verschillende interpretaties van de tekst mogelijk zijn, welke elk een andere oplossing voor de constructie noodzakelijk maken. Het is van het grootste belang de korte tekst zorgvuldig te lezen en te interpreteren.

Het eerste kalendersysteem wordt met 'spera lune' aangeduid. Hier wordt echter begonnen met te zeggen dat de 'spera lune' vast staat. Nu is het natuurlijk vanzelfsprekend dat het hele instrument vast staat en zich niet beweegt. De term 'spera' betekent echter schijf of wijzerplaat. Dus wordt hier naar alle waarschijnlijkheid bedoeld dat de wijzerplaat stil staat en niet draait. Dat dit speciaal genoemd wordt is niet zo vreemd, daar er vaak een draaiende wijzerplaat was bij de vroegste raderuurwerken en astronomische uurwerken.<sup>25</sup> Hieruit valt op te maken dat er een dekplaat aanwezig moet zijn, die niet meedraait in het mechanisme en waaromheen de zodiaktekens ronddraaien.

Het struikelblok vormt de volgende zin: '*dat ronsel dat middel int werc staet van 12 tanden dat die mane doet wassen ende wanen dat sal vast staen in dat bort daert werc an gaet ende die pinne daer die mane mede omme gaet sel doer dat ronsel ende doer dat bort gaen*'. Dat ronsel 12 centraal in het werk is geplaatst spreekt vanzelf. Bij de '*pinne daer die mane mee ommegaet*' zou men in eerste instantie denken aan de maanwijzer die de rondgang van de maan aangeeft. De 'pinne' gaat echter door het 'bort', de bodem van het instrument. Logisch blijkt dat de 'pinne' de verscheidene assen, die er boven liggen, vast verankert. Dit omdat dit hier moeilijk te realiseren is met lagere assen. Centraal liggen dus de assen van rad 12, daarboven rad 45 en daarboven de zodiak. Nu moeten van rad 24 de maanfasen af te lezen zijn. Deze vallen bij deze constructie onder het zodiakrad. Een oplossing hiervoor is om de tanden van rad 12 en rad 24 beide een dubbel moduul te geven. Hierdoor steekt rad 24 uit onder de zodiakconstructie en zodoende zijn de maanfasen door een ronde opening in de dekplaat af te lezen. Bij een verticale stand van het instru-

23. Vertaling volgens Prof. R. Jansen-Sieben, Brussel.

24. Fol. 114r. kolom 2 regel 10-42.

25. Leopold (n. 9), *The Almanus manuscript*, 28, 33.



### *Drie tandwielsystemen voor een maankalender*

ment zouden de maanfasen zowel als de dagletter ook aan de achterzijde kunnen worden afgelezen. De maanwijzer, die dezelfde rotatieperiode heeft als rad 12 en rad 45 moet uitkomen boven het zodiakrad. Dit is noodzakelijk omdat de wijzer anders in conflict komt met de verbindingsas van rad 9 en rad 30.

#### *Derde systeem*

Transcriptie

fol. 113 r.

Item an dese uterste linie daer A op staet, daer salmen al dit werc mede op driven, binnen 24 uren sullen dese 12 signa eens omme gaen ende die scive sal sonder tanden sijn, ende dit limbus daer dit werc an sel gaen, dat salmen in laten dattet die scive daer A op staet ghelike hoghe is. Ende op dat limbus selmen een cirkel scriven die salmen delen in 24 ghelike delen, daer selmen tghetal vanden uren scriven Daer na dat die sonne setten sel// Item die scive daer die 12 signa op staen die sellen hebben 145 tanden. Of men mach daer een rat onder an vast maken een luttel minre daer men die tanden an maken mach so datmense niet en siet// Item die scive van die A selmen delen in 29 ende een derden deel beghinnende vander sonnen om die outheit vander manen te sien. Ende al die raden selmen so clein maken datse onder dat rat a bedect staen ende sellen vast staen in dat rat A. Item dat ronsel daer dit werc an gaet sel vast staen int limbus of bort daer dat werc an gaet. Ende elc rat groot ende clein sal so veel tanden hebben als daer op gheteykent staen. Item alst aldus ghemaect is so sel die sonne die 12 signa om gaen in 365 daghen 5 uren 34 minuten 11 scrupula secunda, 20 scrupula tertia. Ende dat rat van 29 tanden dattet Zodiacus mitten 12 signa om drijft sel om gaen in 30 daghen 5 uren 25 minuten 35 scrupula secunda, 17 scrupula tertia, 38 scrupula quarta, 49 scrupula quinta etc.

fol. 113 v.

Item dat rat sonder tanden daer A op staet, deelt den halven dyiameter in 24 ghelike delen ende set den passer in middel van den rade int center ende maect dat hi bevanghe derderdalf deel ende daer mede maect een cirkel ende so wijt sel sijn dat ronsel van 6 tanden daer A op staet; dan telt voert 20 delen ende drie vierendeel van een deel, daer set den passer ende maect so enen cirkel ende sal sijn trat tot anden ronsel. Ende in dat middel van den ronsel A tot ant punt b deelt in 15 delen ende set den passer int punt b. ende doet dat hi vier delen wyt sij ende maect een cirkel ende sel sijn den ronsel van 16 tanden b. so bliver noch 11 delen ende set den passer inden ronsel A van 6 tanden ende maect een ronde den halven dyiameter, houden 11 deelen ende is trat van 45 tanden ende is der manen rat. Die ander raden als van 29 tanden, 27 ende 17, die sal men also groot ende also cleyn maken naden tanden. Want een rat dat een ander rat om drijft dat moet een luttel wider ghetant wesen dan dat rat datter om ghedreven wert.

#### Vertaling

fol. 113r.

En aan deze buitenste lijn waar A. op staat daar moet men dit mechanisme mee aandrijven. In 24 uur zullen de tekens éénmaal rondgaan en deze schijf zal zonder tanden zijn. En de limbus<sup>26</sup> waarin dit mechanisme geplaatst moet worden moet zo diep gemaakt worden dat de schijf waar A. op staat van gelijke hoogte is. En op de limbus moet men een cirkel tekenen, die in 24 gelijke parten moet worden verdeeld en daarin moet het getal van de uren worden geschreven volgens welke de zon zich zal plaatsen. En de schijf waarop de twaalf tekens staan moet 145 tanden hebben. Ofwel, men kan hieronder een rad bevestigen dat iets kleiner is waaraan men de tanden maakt, zodat men ze niet kan zien. En de schijf A. moet men in  $29 \frac{1}{3}$  parten verdelen, beginnend vanaf de zon, om de

26. Limbus kan behalve rand ook een bladschijf betekenen, waarschijnlijk is hier de mater bedoeld.

tijd te kunnen aflezen die sinds nieuwe maan verstreken is. En alle raderen moeten zo klein zijn, dat zij bedekt worden door rad a. En het rondsel, waar dit mechanisme toe behoort, moet vast staan in de limbus of de plaat waartoe dit mechanisme behoort. En elk rad, groot of klein, zal zoveel tanden hebben als er op geschreven staat. En als het zo wordt gemaakt moet de zon in 365 dagen, 5 uren, 34 minuten, 11 scrupula secunda, 20 scrupula tertia rond de tekens gaan. En het rad, van 29 tanden, dat de zodiak met de twaalf tekens aandrijft zal rond gaan in 30 dagen, 5 uren, 25 minuten, 35 scrupula secunda, 17 scrupula tertia, 38 scrupula quartia, 49 scrupula quinta etcetera.  
fol. 113v.

En van het rad zonder tanden waar A. op staat moet de halve diameter in 24 gelijke parten worden verdeeld en men plaatst de passer in het midden van het rad in het centrum en maakt hem  $2 \frac{1}{2}$  part wijd en trekt daarmee een cirkel en dit zal de grootte zijn van het rondsel van 6 tanden, waar A. op staat. En tel dan verder 20 delen en  $\frac{3}{4}$  deel van een deel, plaats de passer weer en trek een cirkel en dat zal het rad zijn tot het andere rondsel. En in het midden van rondsel A. tot aan het punt b. deel dit in 15 parten en zet de passer in punt b. en maak hem 4 delen wijd en trek dan een cirkel en dat zal het rondsel van 16 tanden zijn. Dus blijven er nog 11 delen over en dit is het rad van 45 tanden en dit is het rad van de maan. De andere raderen en wel die van 29, 27 en 17 tanden die moet men zo groot of klein maken in verhouding tot hun tanden. Want een rad, dat een ander drijft moet een beetje wijder zijn getand dan het rad dat aangedreven wordt.

#### *Commentaar bij mechanisme III*

Ook van dit instrument is zowel een schets van het uiterlijk van dit mechanisme gegeven op fol. 113r. (fig. 8) als een compositie schets van de raderen met het aantal van hun tanden er bij geschreven op fol. 113v. (fig. 9). Dit mechanisme wordt niet aangegeven als een 'spera lune'. Bij nadere beschouwing lijkt dit ook logisch. Uit de verdere beschrijving is op te maken waarom. Hier is een wijzerplaat met 24 uren. Ook draait de zon rond in 24 uur. Dit is dus een uurwerkwijzerplaat waarop ook de jaarlijkse rondgang van de zon langs de zodiak en de synodische omloop van de maan worden weergegeven. Er is ook een weergave van de schijn gestalten in het kleine draaiende maantje op de schets, maar in deze vorm is dit niet praktisch uitvoerbaar. Op de mater, ofwel de ondergrond waarop dit mechanisme is geconstrueerd moet een rand, de limbus gemaakt worden, die van gelijke hoogte is als de grote zodiakschijf.

Als men de tekst begint te lezen kan men beginnen met verkeerde conclusies te trekken. Letterlijk staat er dat aan de buitenste lijn waar A op staat dit mechanisme wordt gedreven. En dat in 12 uur de tekens rondgaan. Hier komen wij later op terug. Dan wordt de limbus genoemd, dit betekent letterlijk rand. Toch zal hier wel de gehele basis van het instrument worden bedoeld, waarschijnlijk de mater. Er staat: 'de limbus of bort daer het werc an gaet', dat is waar het werk toe behoort. Vervolgens moet men de limbus 'inlaten' zodat de schijf waar A op staat van gelijke hoogte is. Dat wil zoveel zeggen dat de limbus zoveel wordt uitgediept, dat de schijf A er in past en het oppervlak van A op gelijke hoogte is als de rand van het limbus. Op deze limbus moet een cirkel gemaakt waarop de 24 uren (naar de schets op fol. 110v. fig. 1 dus  $2 \times 12$  uren) die de stand van de zon aanwijzen, dus de uren van dag en nacht. Verder moet op schijf A een verdeling gemaakt worden in 29 en eenderde parten om de tijd te kunnen bepalen vanaf nieuwe maan (uitgaande van de zon). Er moet dus ook een vast zonembleem worden toegevoegd, zowel om de 'outheit'



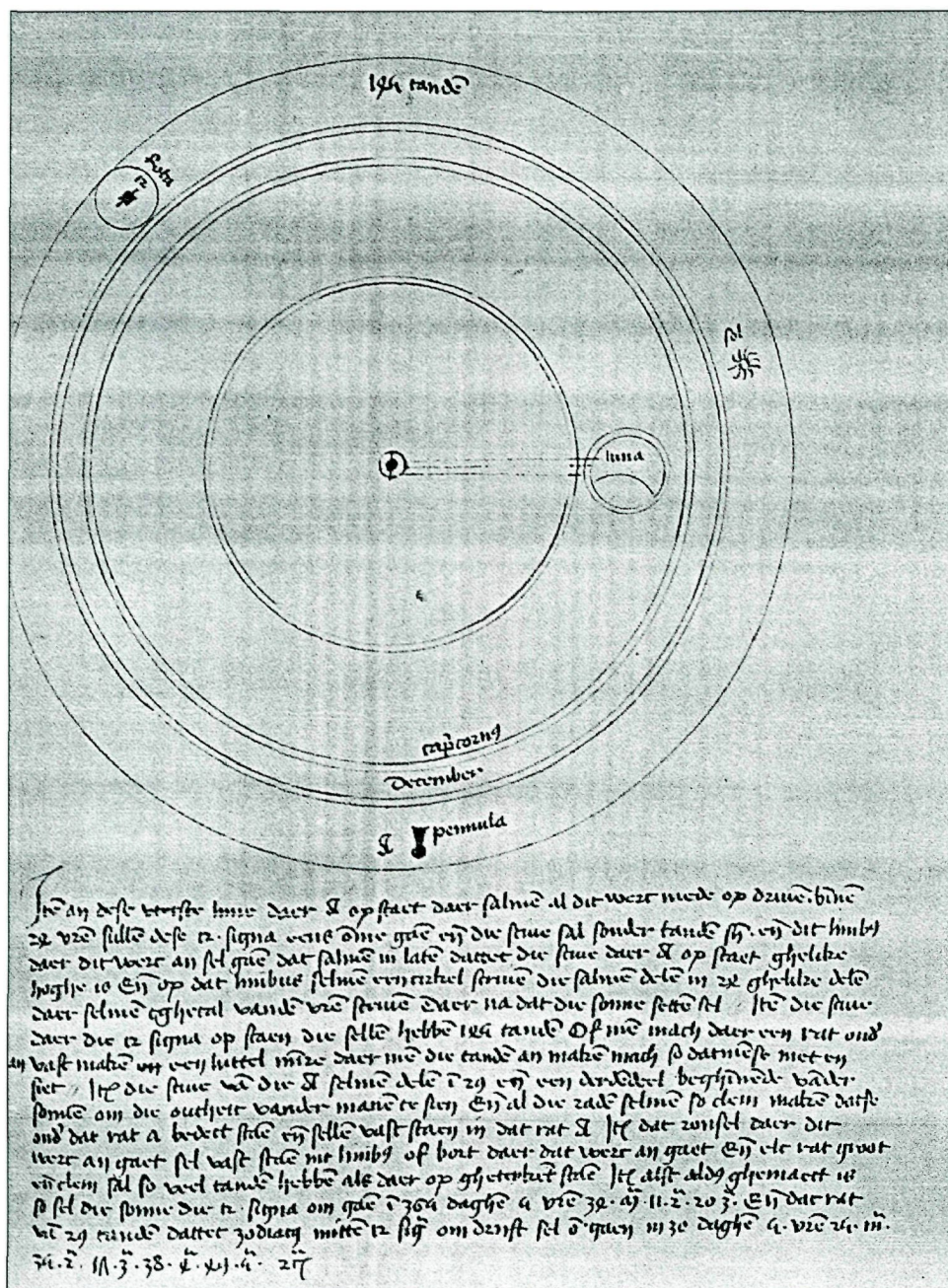


Fig. 8. Fol. 113r. Derde systeem. Schets vooranzicht.



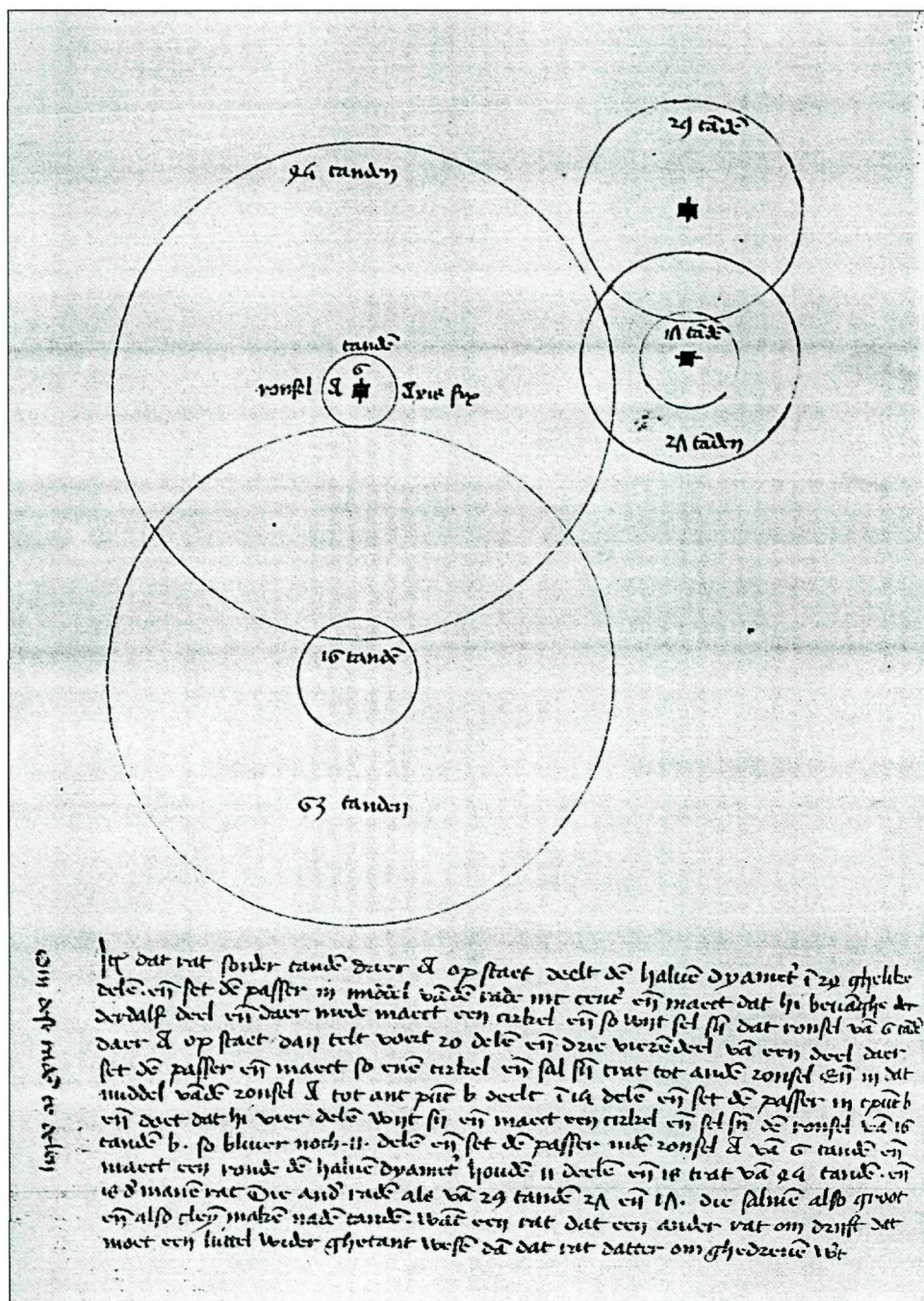


Fig. 9. Fol. 113v. Schets tandradere van systeem 3.



## Drie tandwielssystemen voor een maankalender

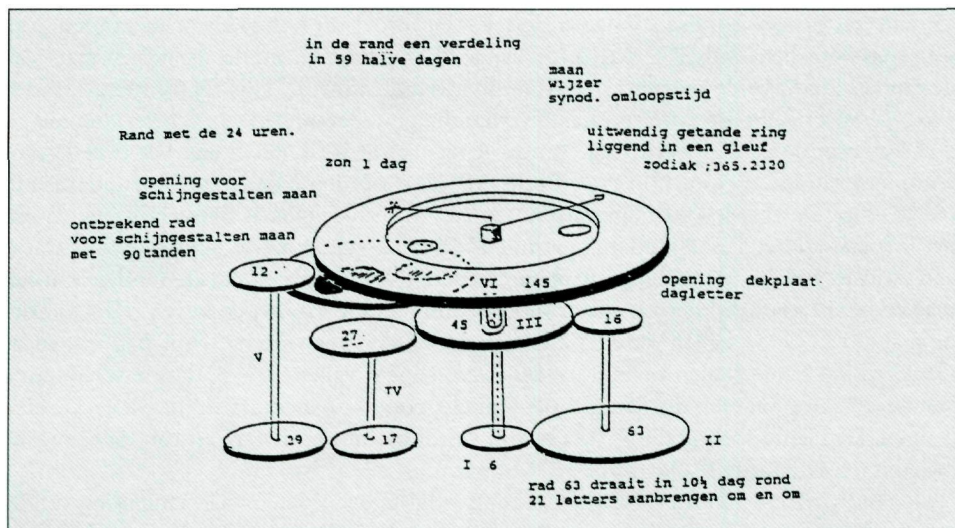


Fig. 10. Constructieschets van systeem 3. De rand moet evenals in systeem 2 in 59 halve dagen worden verdeeld om de 'outheit der mane' af te kunnen lezen. Ook moeten de 24 uren in de rand worden aangegeven. Het in de tekst ontbrekende rad voor de schijn-gestalten van de maan, een rad van 90 tanden roterend door rad 45 is hier geschetst.

van de maan te bepalen, evenals om de plaats aan te duiden waar de zon in de dierenriem staat. Verwarrend is dat er staat dat de zon door de signa omgaat, terwijl juist het rad met de tekens rondgaat. Maar in werkelijkheid gaat de zon natuurlijk in het jaar door de signa, vandaar vermoed ik dat het zo beschreven is.

De vaste gegevens die genoemd worden zijn de omlooptijd van de zodiak: 365 dagen, 5 uur, 34 min. 11 seconden, 20 scrupula tertia, ofwel : 365,2320 dagen en van het rad 29 dat het zodiakrad drijft: 30 dagen, 5 uren, 25 min., 35 sec., 17 scrupula tertia, 38 scrupula quarta, 49 scrupula quinta, ofwel 30,2261 dagen. Verder is het rondsel van 6 tanden dat het werk drijft bevestigd in het limbus ofwel de plaat waarop het werk is gemaakt.

De tekst en de tekening zijn soms enigszins verwarrend. Men zou kunnen denken, dat het aandrijf-rad aan de rand van het werk zou zijn, 'in die uterste linie waar A op staat', en verderop 'dit rondsel gaat door de limbus of mater waar het werk aan gaat'. Het eerste slaat echter volgens mij op rad 12 wat het zodiakrad aandrijft. Voor aandrijving van het hele mechanisme is dit echter niet mogelijk, daar de omlooptijd van rad 12 (30,2251 dag) dit praktisch onuitvoerbaar maakt. Logisch is echter dat het rondsel van 6 tanden, centraal gelegen en op de 'zonneas' het geheel aandrijft. Aangezien de zon in 24 uur rond moet gaan is de omlooptijd van rad 6 een dag. Aan dit rondsel moet een wijzer bevestigd worden met mogelijk een klein zonnetje er aan, dat de uren aanwijst. De zodiak, of wel het rad dat er onder aan bevestigd is, heeft 145 tanden.

Een verdeling van de raderen naar hun grootte wordt aangegeven. Om te beginnen wordt gezegd dat alle raderen onder de schijf A moeten vallen. Dat bepaalt reeds enigszins hun maat. Nu wordt voor de constructie de volgende werkwijze gevolgd; de diameter van het rad zonder tanden A wordt in  $2 \times 24$  delen verdeeld. Dan neemt men vanuit het centrum  $21/2$  deel en beschrijft een cirkel vanuit het midden. Dit is het rondsel A van 6 tanden. Dan neemt men  $20 \frac{3}{4}$  deel en zet de passer en maakt een cirkel, dat is het rad

tot aan het andere rondsel. Volgens de tekening moet dit het rad van 63 tanden zijn, gedreven door het rondsel A. Wel is hier enige discrepantie tussen de afstand en maat van de tanden tussen beide raderen. De verhouding van de afmetingen is 10: 83, van de tanden 6: 63. Meestal heeft echter een rondsel in verhouding minder tanden dan een gewoon rad.

Dan volgt de verdere verdeling. Vanuit A naar punt b (ik neem aan het tweede centrum, dat van rad 63, wordt in 15 verdeeld. Vanuit b worden 4 delen genomen, dat is rad 16, de volgende 11 delen vormen dan rad 45, het maanrad. Hier is de verhouding tussen het formaat en het aantal tanden logisch. De afmeting van 4 : 11, de tanden 16 : 45. Dat is een tand te veel bij het rad van 45, maar verderop wordt gezegd dat de tanden van het drijvende rad ietwat wijder uit elkaar moeten zijn dan die van het gedreven rad. Doordat de maten van beide stellen raderen zijn uitgezet op de straal van de schijf A wordt gega-randeerd dat beide stellen raderen onder deze schijf A vallen en ook dat de verhouding van beide paren raderen dusdanig is dat zij ieder rond hun as draaiend in elkaar kunnen grijpen. De kleine speling die er lijkt te zijn wordt benut om de tanden van de drijvende raderen ietwat ruimer te plaatsen.

De tandwieltrain van dit mechanisme is als volgt te beoordelen naar aanleiding van de schets op fol. 113v. Het rondsel 6 drijft rad 63. Op dit laatste is rad 16 bevestigd. Dit op zijn beurt drijft rad 45. Rad 45 is het maanrad, hierop moet een asje bevestigd worden met een maanwijzer. De omloopstijd hiervan is dus  $63/6 \times 45/16 = 29,5312$  dagen, de synodische omloopsperiode van de maan. Dit laatste rad 45 drijft rad 27, hieraan is rad 17 bevestigd, dit op zijn beurt drijft rad 29, waarvan de omloopstijd 30,2261 is gegeven, deze omloopstijd ( $6 - 63 + 16 - 45 + 45 - 27 + 17 - 29 = 30, 2261$ ) komt precies uit op de in de tekst gegeven omloopstijd van 30,2261. Dit rad 29 kan echter niet direct de zodiak drijven, de uitkomst zou dan zijn:  $145/29 \times 30,2260 = 151,1305$ . Op fol.113v. is het rad 12 niet te zien, maar wel afgebeeld op fol. 113r. Als men nu neemt  $145/x \times 30,2261 = 365,2320$  dan is  $x = 12$ . Rad 12 moet bevestigd zijn aan rad 29,aangezien zij dezelfde omloopstijd moeten hebben. Rad 12 drijft dan het zodiak rad. Waarschijnlijk slaat de opmerking aan het begin op dit rad als aandrijving van de zodiak. Dientengevolge heeft de zodiak de volgende omloopstijd:

1 d.	63	45	27	29	145
6	16	45	17	12	365,232d.

In de tekst wordt verwezen naar de verdeling van de rand in  $29 \frac{1}{3}$  parten, om de tijd te tonen die verstreken is sinds nieuwe maan. Ook draait de zodiak rond in een jaar. Logisch is dat deze beide rotaties, van de synodische maanomloop en de jaarlijkse van de zodiak vanuit een vast punt kunnen worden afgelezen. Daarom moet in de rand nog een klein zonembleem (gelijk aan dat in het tweede systeem) worden aangebracht om het tijdstip van nieuwe maan aan te geven evenals de plaats van de zon in de zodiak. De vraag blijft waarom 29 en eenderde parten en niet  $29 \frac{1}{2}$  parten, zie hiervoor systeem 2. Logisch is dus de verdeling van de rand in 59 halve dagen.

Evenals in het eerste systeem mist men hier de beschrijving van een constructie voor het toenemen en afnemen van de maan, echter in de schets van het kleine maantje lijkt dit wel de bedoeling te zijn geweest. ook hier is het inpassen van de maanfasen eenvoudig te realiseren. Aan rad 45 wordt een rad met 90 tanden gekoppeld. Dit rad heeft dan weer de dubbele omloopstijd van de maancyclus, hierop zijn dan op een zilverkleurig veld weer de donkere cirkels aangebracht en kan men door een ronde opening erboven de



fasen aflezen. Bij deze constructies moet men echter wel rekening houden dat de fasen in de juiste volgorde worden vertoond: nieuwe maan, eerste kwartier, volle maan en laatste kwartier.

Verder heeft rad 63 een omloopstijd van  $10\frac{1}{2}$  dag. Door hierop 21 letters aan te brengen en deze om en om te plaatsen kan men bij een handige verdeling (bijvoorbeeld iedere dag van de drie weken in een andere kleur letter) ook de dagletter aflezen.

Door de Romeinse cijfers in de tekening is de draairichting van de raderen aangegeven, de oneven raderen met de klok mee, de even genoemde raderen tegen de klok in. Rad 6 moet met de klok meedraaien (clockwise) om de zonnwijzer de uren te laten aangeven. De maanwijzer (rad 45, rad III, draait ook met de klok mee. De zodiak (rad 145, rad VI) draait dus tegen de klok in. Maar in werkelijkheid zien we de zodiak zich ook in omgekeerde richting van de dagelijkse zonnebeweging verplaatsen, dus hoeft er geen tussenrad te komen. De raderen voor de dagletters en de maanfasen (rad 90 en rad 63) draaien echter ook tegen de klok in. Hier hoeven ook geen tussenraderen. De dagletters kunnen in elke volgorde geplaatst worden, en bij de maanfasen hangt de volgorde waarin de fasen verschijnen af van de plaatsing van het maanvenster.

Niet duidelijk is wat de functie is van de kleine 'pinnula' onderaan op schijf A. Zou hiermee soms het mechanisme gelijkgezet kunnen worden? Als aandrijfmechanisme lijkt het wat de plaats betreft niet te kunnen dienen, wel heeft deze 'pinnula' dezelfde vorm als het centrum van het aandrijftrad van het tweede mechanisme, onderaan fol. 112r. Beide hebben de vorm van een sleutelgat en zijn waarschijnlijk een soort hendel.

#### *De vergelijking van deze instrumenten ten opzichte van elkaar*

Om deze instrumenten onderling te vergelijken, is ten eerste de nauwkeurigheid van belang, maar ook moet de bruikbaarheid van een systeem worden bekeken. De aandrijving van het tweede en derde systeem is enigszins aangeduid. In het derde systeem, dat ook het meest geavanceerde is, is dit het zonnerad, dat 1 x per 24 uur ronddraait. Dit maakt dat het instrument gemakkelijk op een uurwerk zou kunnen worden aangesloten, wat ook wel de bedoeling kan zijn geweest, en wel als mogelijke wijzerplaat in een astronomisch uurwerk. Het tweede systeem wordt aangedreven via de zodiak of dierenriem met 73 tanden. Ook hier geeft de aansluiting aan een bestaand uurwerk geen grote problemen. Een tand van de zodiak moet in 5 dagen een plaats opschuiven. Deze rotatie is dus makkelijk te realiseren met het 'ronsel', dat op de schets wordt aangegeven als het drijvende mechanisme. Hierdoor kan het verbonden zijn met een uurwerk. Bij het eerste systeem wordt echter geen drijvend rad genoemd. Om een rotatie van 28 dagen te verkrijgen van de raderen met 41 of 55 tanden zou echter geen ingewikkeld radersysteem nodig zijn. Het lijkt logisch om in dit systeem een rondsel met 28 tanden vast te verbinden aan de as van het letterrad. Dit laatste zou dan elke dag een letter verspringen. Dit kan zowel met de hand als door de verbinding met een uurwerk bewerkstelligd worden. Het voordeel zou dan ook zijn, dat een letter dagelijks verspringt en niet langzaam over het venster verschoven wordt, wat onduidelijkheid in het aflezen zou geven.

Hieronder volgen de uitkomsten door de respectieve instrumenten bereikt. Eerst worden de getallen vermeld zoals zij werden aangenomen door Ptolemeus en in de tabellen van Toledo en Alfonso voorkomen evenals de huidige geaccepteerde waarden. De oude tabellen zijn omgezet in het decimale stelsel vanuit de oorspronkelijke waarden, gegeven in dagen en delen van dagen of het sexagesimale stelsel.

Annie Th. Lantink-Ferguson

	synodische maand	tropisch jaar	quotiënt
Ptolemeus	29,530594	365,246667	12,368416
Toledo <sup>29,530594</sup>	365,256525	12,368749	
Alfonso	29,530591	365,242546	12,368273
Modern	29,530588	365,242194	12,368266
Antikythera mechanisme ratio = 235/19	29,5	365,00	12,368421
Byzantijnse kalender	29,50	365,18	
Al Biruni	29,50	366,42	12,4210
Abi Bakr	29,50	354	13,0000
Frans astrolabium			
Volgens North	29,219926	365,25	12,5000
Volgens Field	29,219925	365,25	12,5000
Volgens Sleswyk	29	365	12,333
Opus Q.	29,5306	365,2565	12,3686
Richard v. Wallingford	29,530644	365,241379	12,3682
De'Dondi	29,5365	365	
Maansyst. I	29,5272	365,2431	12,3697
Maansyst. II	29,53	365	12,360
Maansyst. III	29,5313	365,232697	12,367762
Praagse uurwerk	28,977975	365,242546	12,6041
Bourges uurwerk	29,530592	365,242222	12,368266

*Conclusie*

Deze drie systemen vormen een welkome uitbreiding van de bestaande gegevens uit deze periode. Vooral de aanwezigheid van drie systemen in één tekst geeft te denken. Waarschijnlijk was er een veel ruimere keus aan constructieve handleidingen dan uit de weinig ons bekende artefacten blijkt. Men bleek de keus te hebben uit verschillende oplossingen. Als men deze systemen met de andere ons bekende vergelijkt, vallen onze drie systemen op door hun nauwkeurigheid. Alleen het werk van Richard van Wallingford, het Opus Q. en het uurwerk van de kathedraal van Bourges vallen in dezelfde categorie. Volgens Sleswyk stamt het eerste maansysteem uit een vroegere periode, waarschijnlijk uit de tijd van de Toledoanse tabellen, of mogelijk nog een oudere Romeinse traditie, misschien via een kerkelijke traditie.



## SUMMARY

### *Three systems for the generation of lunar motion*

The Ms. 2621 Salamanca contains the sketches and the short descriptions for the construction of three geared systems for lunar motion. They present a much better approximation and are much nearer to the exact periods of the moon than is the case in the known moonboxes. This is realized by very economical gear-trains.

In the first system the zodiac disc rotates in the sidereal period, a small sun on a pointer rotates in the synodal moon-period. Consequently the sun moves in 1 year around the zodiac. The letter-wheel with 28 letters rotates in 28 days. The day of the week is shown thorough a window. The drawing hints at a window showing the waxing and waning of the moon. Although not in the description this would be easy to realize by an extra wheel.

In the second system the zodiac wheel rotates in 365 days. Here is a letter-wheel with 21 letters rotating in three weeks. A pointer fastened on wheel 45 rotates in the synodic period of the moon. A small wheel on the same axis drives a wheel with a double module, the latter shows the 'waxing and waning' of the moon through an aperture.

In the third system the prime mover is a small wheel with 6 teeth rotating in 24 hours. On its axis a pointer is attached passing along the 24 hourmarkings on the limbus. The zodiac rotates in 365.20 days. The moon-pointer rotates in the synodic period of the moon. This system can easily be completed with a letter-wheel showing the weekdays and a wheel which shows the 'waxing and waning' of the moon.

These three systems are placed in the Ms. between a description of the construction of an astrolabe and the descriptions and sketches of several kinds of sundials. It is possible that these mechanisms were meant as an extra dial in monumental astronomical clock-works.

## APPENDIX

De beschrijving van hoe de raden te maken.

Deze tekst is in Ms. 2621 in Salamanca achter de drie maankalenders gevoegd en verwijst ook duidelijk naar deze drie systemen. Dit Nederlandse tekst gedeelte is echter ook aanwezig in de Codex 665 te Erlangen. Daar is dat gedeelte echter geplaatst midden tussen de beschrijving en schetsen van verscheidene zonnewijzers waar het in geen enkel verband mee staat In Erlangen is dan nog een klein stukje tekst toegevoegd (zie onder).

fol.114 r. kolom 1

Om die raden te delen

Item wilmen maken drie raden teen van 9 ende tander van 11 tanden ende dat derde 16 tanden. So addiert dese drie ghetalen te samen die maken 36. So deelt tusschen den twee centren in 36 ghelike delen. So telt van den enen center vijftalf deel ende maect een ronde den halven dyiameter houdende als vijftalf ende dat is trat van 9 tanden. Nu deelt voort sestalf dat is den halven dyiameter van den wiele van 11 tanden. Nu bliver noch 16 delen, deel die in die helft ende set daer uwen passer, ende dat is den halven dyiameter van tviel van 16 tanden. Item wilmen hebben een wiel van 9 tanden opden enen center ende dat wiel van 11 tanden op den ander center ende twiel van 16 tanden tusschen beiden ende si elck int ander souden gaen. So sel twiel van 9 tanden ende twiel van 11 tanden sal elc hebben enen halven dyiameter tusschen twee centeren. Ende twiel van 16 tanden heeft enen helen dyiameter tusschen twee centeren. Want dat welke dat heeft enen helen dyiameter moet hebben dubbel ghetal. Ende die heeft enen halven dyiameter die moet hebben half ghetal, want dander helft coemt buten den center. Dit soude sijn alst waer vergadert 52 in so veel moest sijn ghedeelt tusschen twee centeren. Item telt vanden center 9 delen ende is den halven dyame-

ter vanden wiel van 9 tanden. Nu telt tot den ander center 11 delen ende dat is den halven dyiameter van 11 delen.

Item wiltu vinden die grote van elken cirkel datmen hiet area, dat die ommeganc van enen cirkel, so deelt die diameter in 7 delen ende drievoudicht die, so ist 21. So doet daer toe noch eens een 7 deel dat is 22.7 delen waer hi uut gherect. Item als ghi den dyiameter hebt ghedeelt in 7 so deelt een 7 deel in 3. ende maect den dyiameter een 3 deel van die delen langher ende deelt die

fol.114 r. kolom 2

diameter in also veel ghi twiel wilt hebben ende 3 van dien delen is een deel int wiel als area uut ghezet waer

//Item om te weten hoe diep die tanden in malkander sullen gaen, merct hoe wijt elken tant vallen sal, so neemt die helft van enen tant die wijde daer of, ende so diep sel elc int ander gaen. Ende so veel salmen elc rat meerre maken, so blijft elc in sijn center. Item twee wielen ghinghen in malcander, teen hadde 32 tanden ende ghinghen om in 21 daghen, ende tander hadde 45 tanden ende ghi wout weten in hoe vele tijts soude om gaen, so multipliciert die tanden vanden onderste wiel mit den daghen van den overste wiel, ende dan deelt die somme biden tanden vanden oversten wiel ende maect 29, ende wat daer over coemt dat multipliciert mit der fractien van enen daghen dat sijn 24 uren ende deelt die biden tanden van den overste wiele ende maect 12. datter dan over blijft multipliciert mit der fractien van eenre uren. Ende deelt weder biden tanden voerseit ende dat maect 45. So soude dat rat om gaen in 29 daghen ende 12 uren ende 45 minuten, dus machmen doen mit allen wercken. Item of 2 wielen van 45 tanden gheen tanden en hadde ende ghijt om wout hebben gaende tot 29 daghen ende 12 uren ende 45 minuten. Om te weten hoe vele tanden het soude hebben, brenc die daghen ende uren al min. Ende so deelt die opperste biden onderst. Ende datter of coemt dat vermeerret biden onderste tanden ende dat worden die oppersten tanden// Nu moet men weten hoe veel uren ende minuten dat ghebuert elken tant vanden onderste wiel, ende dan moet men datter overbleven is bi dat buert een vanden onderste tanden, ende datter of coemt addiert tot dat ghi vermeerret hebt biden onderste tanden ende tsel comen 45. Item om een wiel te delen in 17, so deelt in 6 ende elc seste deel deelt in 3. Deelt

enen tant in 6, ende dat rat<sup>27</sup> maect een

fol. 114 v.

sesten deel vanden wiel. Een sesten deel van een tant wider ende dan deelt in 3. En deel van die 3 delen is dan enen tant. Dus machmen alle manieren van raden delen die oneffen tanden hebben elc na sijn oneffenheit. Item dyiameter is die rechte linie van een ronde, center is die rechte middel van die lynie.

Het volgende stuk tekst bevindt zich in Ms.665 Erlangen onder het stuk over de raderen te delen, maar het behoort kennelijk tot de oorspronkelijke versie.

[Erlangen Ms. 665, fol. 31v. onderaan:

'Nota om een cirkel te delen in 9 delen ghelijc, deelt eerst den cirkel in 4 ghelike delen, dan deelt elc deel voort in 2 deelen, so is die cirkel ghedeelt in 8ten, dan deelt een achtendeel in 8 delen. Dan neemt die wite mit enen passer van een achtendeel vanden helen cirkel, een achtendeel min van een achtendeel, dan deelt den cirkel so den passer staende, so sellen daer 9 ghelike delen wt comen ende neemdi dat achtendeel van een achtendeel meer, so comen daer wt 7 delen.

Of ghi enen cirkel hebt ende ghi maken wilt die half so veel hout, so deelt den diameter in 7 ghelike delen ende set den passer mit den enen voet int center ende mit den anderen voet so dat hi doer snijt dien twee verste delen vanden 7 delen ende maect so enen cirkel, so hout die die [sic] cirkel half so veel als die cirkel die ghi in 7 ghedeelt hebt.'

Vertaling

De manier om de raderen te verdelen.

En als men drie raderen wil maken, het eerste van 9, het tweede van 11 en het derde van 16 tanden, dan telt men dus deze drie getallen samen op, dat is 36. En men verdeelt tussen de twee centra 36 gelijke

27. Uit de vergelijking met de tekst in Ms. Erlangen 665 blijkt het woord 'rat' hier een verschrijving te zijn, die niet in deze tekst hoort. Hierdoor wordt de tekst ook duidelijker.



### *Drie tandwielsystemen voor een maankalender*

delen. En men telt vanaf het ene centrum  $4\frac{1}{2}$  deel en maakt een cirkel met dit  $4\frac{1}{2}$  deel als straal en dat is het rad van 9 tanden. Nu neemt men vervolgens  $5\frac{1}{2}$  deel, en dat is de straal van het rad van 11 tanden. Nu zijn er nog 16 delen over, deel deze door midden en zet daar de passer en dat is de straal van het rad met 16 tanden. En men wil een rad van 9 tanden hebben op het ene centrum en het rad van 11 tanden op het andere centrum, en het rad van 16 tussen beiden en zij moeten allen in elkaar grijpen. En dus moeten het rad van 9 tanden en het rad van 11 tanden elk een straal hebben tussen de twee centra. En het rad van 16 tanden een hele diameter. Want dat wat een hele diameter heeft moet een dubbel aantal hebben. En datgene wat een halve diameter heeft moet een half aantal hebben, want de andere helft valt buiten het centrum. Dit zou het geval zijn wanneer men 52 neemt en dit in zoveel moet worden verdeeld tussen twee centra. En telt van het centrum af 9 delen en dat is de halve diameter van het rad van 9 tanden. Nu telt men vanuit het andere centrum 11 delen en dat is de straal van 11 delen. [ $9 + 11 = 20$ .  $52 - 20 = 32$ , dat is  $2 \times 16$ ] En wilt U nu de grootte van elke cirkel vinden, wat area wordt genoemd, dat is de omtrek van een cirkel, dan deelt men dus de diameter in 7 delen en vermenigvuldigt die met 3, dat is 21. Dan voegt men nog  $\frac{1}{7}$  deel toe, dat maakt 22 zevende delen wanneer hij is uitgestrekt in de lengte (de formule  $2pr$  voor de omtrek). En als men de diameter in 7 heeft verdeeld, dan deelt men nog een zevende deel in drieën en maakt de diameter een derde deel van die delen langer en dan verdeelt men het rad in zoveel als men het rad wil hebben, en 3 van die delen is een deel in het rad als het als area is uitgezet. [Hier wordt dus de formule  $2pr$  toegepast op de lengte van de diameter. Deze lengte kan dan in tanden verdeeld worden. Drie van deze maten vormen samen de omtrek. Mogelijk is voor deze handelwijze gekozen omdat het gemakkelijker is een kleinere lengte gelijkmatig te verdelen in het aantal benodigde tanden en het makkelijker gevonden werd eerst de diameter in de juiste verhouding te hebben, dan te verdelen en dan pas met 3 te vermenigvuldigen]. En om te weten hoe diep de tanden in elkaar moeten grijpen neemt men de breedte van de helft van een tand en zo diep zal elke tand in de andere gaan. En zoveel groter moet men elk rad maken, op deze wijze blijft elk rad in zijn centrum. En twee raderen drijven elkaar aan, het ene heeft 32 tanden en gaat rond in 21 dagen en het andere heeft 45 tanden en men wil weten in hoeveel tijd dat laatste rond zal gaan dan vermenigvuldigt men de tanden van het onderste rad met de dagen van het bovenste rad en dan deelt men die uitkomst door de tanden van het bovenste rad<sup>28</sup> en dat geeft 29, en wat de rest is vermenigvuldigt men met de dagdelen, dat zijn 24 uren en dit deelt men door de tanden van het bovenste rad en dat geeft 12. En datgene wat er overblijft dat vermenigvuldigt men met de delen van een uur. En deelt weer door de voornoemde tanden en dat geeft 45. [Berekening:  $45/32 \times 21 = 945 : 32$ , rest = 17.  $17 \times 24 = 408$ .  $408 : 32 = 12$ . Rest = 24.  $24 \times 60 = 1440$ .  $1440 : 32 = 45$ .] Dus zou het rad rondgaan in 29 dagen en 12 uren en 45 minuten, en zo kan men doen met alle mechanismen. En wanneer van 2 raderen dat van 45 tanden geen tanden had en men het wil laten roteren 29 dagen, 12 uren en 45 minuten. Om te weten hoeveel tanden het zou hebben, breng de dagen en de uren in minuten. En zo deelt men de bovenste door de onderste. En de uitkomst vermeerderdert men met de onderste tanden en dat worden de bovenste tanden. Nu moet men weten hoeveel uren en minuten elke tand van het onderste wiel ten deel valt, dan moet men dat wat is overgebleven bij dat wat ten deel valt aan een van de onderste tanden, en datgene wat hier uitkomt telt men op en de uitkomst zal 45 zijn.

[Deze passage wordt duidelijk als men even doordenkt wat hier bedoeld wordt. Het voorafgaande voorbeeld wordt hier aangehaald. 'Als van twee wielen van 45 tanden geen tanden had' wil zeggen, dat als van bovengenoemde raderen dat van 45 geen tanden had en men het aantal tanden dat nodig zou zijn om een rotatie te krijgen van 29 dagen, 12 uur en 45 minuten, wilde berekenen en het getal 45 niet bekend was. Hier wordt verklaard hoe men aan de juiste oplossing komt en het juiste aantal tanden van het tweede wiel berekent. Dit rad moet roteren in 29 dagen, 12 uur en 45 minuten. Het drijvende rad heeft 32 tanden en roteert in 21 dagen. Neem nu het aantal tanden op het tweede rad als  $x$ . breng de dagen en uren over in minuten, dat is 42525 minuten voor 29 dagen, 12 uur en 45 minuten. 21 dagen zijn 30240 minuten. Nu is  $x/32 \times 30240 = 42525$ .

Dus  $x = 32 \times (42525:30240) = 45$ .]

28. Het bovenste rad is het drijvende rad, het onderste rad is het gedreven rad.

En om een rad te delen in 17 deelt men het dus in 6 en dan elk zesde deel weer in drieën. Deelt dan een tand in 6 en dat maakt een zesde deel van een rad een zesde tand groter en deelt dat in drieën. Een van deze drie delen is dan een tand. [Hier wordt dus de achttiende overgebleven tand in zessen verdeeld en over de delen van het rad verdeeld. Dezelfde werkwijze gebruikte ook De'Dondi in zijn systeem.]

Op deze wijze kan men alle raden delen die een oneven aantal tanden hebben, ieder volgens zijn eigen onevenheid. En de diameter is de rechte lijn van een cirkel, het centrum is het midden van deze lijn.

Vertaling Ms. Erlangen 665 fol. 31v. onderaan.

Merk op, om een cirkel in 9 gelijke delen te verdelen deelt men eerst de cirkel in 4 gelijke delen, dan deelt men elk deel verder in twee delen, op deze manier is de cirkel in achtsten verdeeld. Dan verdeelt men een achtste deel weer in acht delen. Dan neemt men de wijfde met een passer en achtste deel van de cirkel en wel een achtste deel min een achtste deel hiervan. En dan verdeelt men de cirkel met de passer in die stand en zo zullen er 9 gelijke delen uitkomen. En neemt men een achtste deel van een achtste deel meer, dan komen er 7 gelijke delen uit.

Of als u een cirkel heeft en U wilt er een maken die half zoveel inhoudt, dan deelt U de diameter in 7 gelijke delen en zet de passer met de enen voet in het centrum en met de andere voet zo, dat hij de de twee verste delen van de 7 delen doorsnijdt en maakt zo een cirkel. En zo houdt deze cirkel half zo veel als de cirkel, die U in 7 gedeeld heeft.

[Hier is kennelijk bedoeld wordt dat de passer de twee buitenste delen afsnijdt, men dan 5 delen over. Dus een verhouding 7 ; 5. Men krijgt dan:

$5/7 \times 22/7 = 110/49$  in plaats van  $154/49$  wat de omtrek aangaat. Dus een verhouding van 110 : 154.

Neemt men de inhoud, dan is de verhouding:

$22/7 \times 49 : 22/7 \times 25 = 154 : 78,57$ .

Het waarschijnlijkst is dus, dat men hier de inhoud bedoeld en gemeten door het afsnijden van de twee buitenste delen. Want de verhouding 154 : 78,57 benadert de verhouding 2 : 1 het meeste. Waarschijnlijk was men nog niet in staat een exacte benadering te maken.]

### *Commentaar*

In deze tekst wordt uitgelegd hoe men het aantal tanden aan een rad moet verdelen, eerst door de verhouding tussen de diameters van de verschillende raderen uit te zetten op een rechte lijn. Dan via de formule 2pr op een enigszins ingewikkelde manier de omtrek van de diverse raderen berekend. Dan volgt hoe men een rad van een oneven en slecht deelbaar aantal tanden moet voorzien. De oneven raderen vormden altijd een probleem. Eerst verdeelde men het rad in het dichtstbij het vereiste liggende aantal tanden. Daarna kwam men aan het vereiste aantal door een tand bij een eenvoudige deling te verdelen over andere tanden.

Belangrijk is dat in deze losse tekst de raderen van het tweede systeem worden behandeld; hierdoor weet men dat deze pagina's behoren bij de radersystemen.