



HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN

Tijd en tijdsmeting

Kran De Schepper

Scriptie voorgedragen tot het behalen
van de graad van
Master in de Nautische Wetenschappen

Promotor: Prof. kapt. dr. Kris De Baere

Academiejaar: 2020 - 2021

Woord vooraf

Voor u ligt het eindwerk ‘Tijd en tijdsmeting’ waarin ik op zoek ga naar de betekenis van tijd en het belang van tijdsmeting in de maritieme navigatie. Dit eindwerk is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Master in de Nautische Wetenschappen aan de Hogere Zeevaartschool te Antwerpen.

Ik koos dit onderwerp omdat mijn interesse werd gewekt door de vele lessen aan de Hogere Zeevaartschool over de geschiedenis van navigatie op zee. Tijdens deze lessen viel het mij op dat er grote tijdsperiodes tussen de besproken instrumenten is. Daarom verdiepte ik mij verder in alternatieve instrumenten die werden gebruikt voor de scheepschronometer. Mijn kennis is dankzij het schrijven van dit eindwerk enorm vergroot en ik ben blij dat ik mij verdiept heb in dit onderwerp.

Bij dezen wil ik graag mijn promotor, Prof. Kapt. Dr. Kris De Baere, bedanken voor het aanreiken van dit onderwerp. Dankzij hem had ik meteen toegang tot betekenisvolle literatuur en hij heeft mij ten allen tijden ondersteund met zijn kennis over het onderwerp. Ten tweede zou ik graag mijn medestudenten en instructeurs bedanken die samen met mij een maand hebben verbleven op de ‘Horyzont II’ en mij hebben bijgestaan bij het nemen van observaties.

Ook zou ik meneer Potters, mevrouw Uten en kapitein Annaerts, leerkrachten aan de Hogere Zeevaartschool, willen bedanken voor de extra uitleg en literatuur dat ik via hun heb gekregen. Daarbij zou ik ook graag Luna en Lisa bedanken voor het nakijken van dit eindwerk.

Samenvatting

Het belang van tijd en tijdsmeting in de maritieme navigatie is vanzelfsprekend voor alle zeevarende. De betekenis van tijd is echter niet altijd duidelijk omdat er veel definities zijn. Bovendien is de geschiedenis van tijdsmeting zeer oud en zijn er vele methoden en instrumenten ontwikkeld om de tijd te meten.

Het doel van deze scriptie is het in kaart brengen van de juiste betekenis van tijd voor maritieme navigatie. De invalshoek van de scriptie is: Wat is tijd? En welke tijden worden er gebruikt aan boord om te navigeren? Daarbij is er ook een overzicht opgesteld van methodes en instrumenten die maritieme navigatie mogelijk hebben gemaakt. Of die maritieme navigatie in ieder geval verbeterden, van de prehistorische maankalender tot en met de scheepschronometer uitgevonden door John Harrison. Extra onderzoek ik gedaan naar het gebruik en de nauwkeurigheid van het nocturlabium.

Om een antwoord te kunnen geven op die vragen is er gebruik gemaakt van een literatuurstudie om verbanden te leggen tussen de verschillende onderwerpen. Daarbij is er door middel van kwantitatief onderzoek gezocht naar de nauwkeurigheid van het nocturlabium.

Op basis van deze studie is duidelijk dat tijd een ingewikkeld fenomeen is. En dat er vele soorten tijdsmeting mogelijk zijn aan boord. Ook blijkt dat een nauwkeurige tijdsmeting noodzakelijk is om de lengtegraad te bepalen.

Abstract

The importance of time and time measurement in maritime navigation is self-evident for all seafarers. But the meaning of time is not always clear. In addition, the history of time measurement is very old, and many methods and tools have been developed to measure time.

The aim of this thesis is to map out the correct meaning of time in maritime navigation. The following question is asked: What is time? and which definition of time is used on board to navigate. In addition, an overview has been drawn up of methods and instruments that have improved maritime navigation or have made trans ocean voyages possible up until John Harrison's marine chronometer. Furthermore, I have done research into the usage and accuracy of the nocturlabium.

In order to answer the previous questions, a literature study was used, and connections were made between the various subjects. Quantitative research was used to determine the accuracy of the nocturlabium.

Based on this study, time is a complex phenomenon. And that many types of time measurement are possible on board. It also appears that an accurate time measurement is necessary to navigate.

Inhoudstafel

WOORD VOORAF	I
SAMENVATTING	II
ABSTRACT	III
INHOUDSTAFEL	IV
LIJST VAN FIGUREN	VI
1 INLEIDING	1
2 HET CONCEPT TIJD	3
2.1 WAT IS TIJD?	3
2.2 DE SNELHEID VAN TIJD	5
2.3 HET CONCEPT TIJD IN DE MARITIEME NAVIGATIE	8
2.3.1 <i>Zonnetijd</i>	8
2.3.1.1 Ware zonnetijd of Local Apparent Time (LAT)	8
2.3.1.2 Gemiddelde of middelbare zonnetijd	9
2.3.1.3 De tijdsvereffening of tijdsequatie	9
2.3.2 <i>Synodische tijd of sterrentijd</i>	10
2.3.3 <i>Gecoördineerde universele tijd</i>	12
3 TIJDSMETING	13
3.1 KALENDERS	13
3.1.1 <i>Wat is een kalender?</i>	13
3.1.2 <i>Bouwstenen van kalenders</i>	14
3.1.3 <i>Soorten kalenders</i>	15
3.1.3.1 De prehistorische maankalender	15
3.1.3.2 De lunisolaire kalender	18
3.1.3.3 Juliaanse en Gregoriaanse kalender	20
3.2 DE ZONNEWIJZER	22
3.2.1 <i>Werking van een “moderne” zonnewijzer</i>	24
3.3 DE WATERKLOKKEN OF CLEPSYDRAS	26
3.4 DE ZANDLOPER	30
3.5 DE MECHANISCHE KLOKKEN	35
4 TIJDSMETING AAN BOORD	41
4.1 HET BELANG VAN TIJD VOOR PLAATSBEPALING.....	41
4.1.1 <i>Breedtegraad</i>	42
4.1.2 <i>Lengtegraad</i>	45

4.1.2.1	Het bepalen van de lengte vóór Harrison (chronometer)	46
4.1.2.1.1	Signalering volgens de methode van Whiston	46
4.1.2.1.2	Magnetisch aardveld	46
4.1.2.1.3	De manen van Jupiter	46
4.1.2.1.4	Lunar distances (maansafstanden)	47
4.2	ASTRONOMISCHE TIJDSMETING	49
4.2.1	<i>Hemelbewegingen</i>	50
4.2.1.1	Aardrotatie en aardrevolutie	50
4.2.1.2	Circumpolair	52
4.2.2	<i>Precessie en nutatie van de aardas</i>	54
4.2.2.1	Precessie beweging	54
4.2.2.2	Nutatie beweging	55
4.2.3	<i>Hemelcoördinaten</i>	56
4.2.3.1	De hemelsfeer	56
4.2.3.2	Declinatie	58
4.2.3.3	Rechte klimming	58
4.2.3.4	Uurhoek	58
4.2.3.5	Lentepunt	59
4.3	NOCTURLABIUM	60
4.3.1	<i>Ontwikkeling van het nocturlabium</i>	60
4.3.2	<i>Praktisch gebruik van het Nocturlabium</i>	63
4.3.3	<i>Principe van het Nocturlabium</i>	65
4.4	DE SCHEEPSCHRONOMETER	70
4.4.1	'Longitude Act'	70
4.4.2	John Harrison	70
4.4.3	<i>Ontwikkeling van de moderne chronometer</i>	77
5	ONDERZOEK	81
5.1	INLEIDING	81
5.2	ONDERZOEKSOPZET	81
5.3	METHODOLOGIE	81
5.4	RESULTATEN	86
5.5	CONCLUSIE	90
6	BESLUIT	93
7	BIBLIOGRAFIE	96
8	LIJST VAN BIJLAGEN	108
	BIJLAGE A MAAK ZELF UW NOCTURLABIUM	109
	BIJLAGE B TIJDSVEREFFENINGEN VOOR HET JAAR 2021	110
	BIJLAGE C CONVERSION OF ARC TO TIME	111

Lijst van figuren

FIGUUR 1	GRAFIEK DIE DE TIJDSVEREFFENING DOORHEEN HET JAAR AANGEEFT	10
FIGUUR 2	HET VERSCHIL TUSSEN STERRENTIJD EN ZONNETIJD OMDAT DE ZON GELIJKMATIG OVER DE ECLIPTICA BEWEEGT	11
FIGUUR 3	HET PLAN VAN DE WARREN FIELD PUTUITLIJNING EN DE SCHEMATISCHE OPSTELLING VAN DE PUTTEN. GROEN GEEFT AAN DAT ER LATERE AANPASSINGEN ZIJN GEBEURD EN GEEFT DE DELEN AAN MET EEN ONZEKER KARAKTER. DE ACHTERGROND IS OVERDREVEN VOOR WEERGAVEDOELEINDEN. (© GOOGLE EARTH, PLAN GEBASEERD OP MURRAY ET AL. 2009, FIG. 3)	17
FIGUUR 4	DUPICAAT VAN ZONNEWIJZER GEMAAKT DOOR IBN AL-SHATIR. HET ORIGINEEL IS IN 3 STUKKEN GEBROKEN EN WORDT BEWAARD IN HET NATIONAAL MUSEUM VAN SIRIË TE DAMASCUS	24
FIGUUR 5	HORIZONTALE ZONNEWIJZER. BESTAANDE UIT EEN WIJZERPLAAT EN EEN STYL OF GNOMON.....	25
FIGUUR 6	STIJL VAN EEN ZONNEWIJZER INGESTELD VOOR EEN BREEDTEGRAAD VAN 51° GRAAD. DEZE ZONNEWIJZER KAN GEBRUIKT WORDEN IN VLAANDEREN.....	25
FIGUUR 7	EQUATORIALE ZONNEWIJZER TE SINGAPORE, CHINA.....	26
FIGUUR 8	EEN SCHEMATISCH VOORBEELD VAN EEN WATERKLOK WAARBIJ DE DALENDE WATERSPIEGEL VAN HET UITSTROOMVAT WORDT GEMETEN	27
FIGUUR 9	WATERKLOK MET EXTRA RESERVOIR EN OVERLOOPSISTEEM DAT ZORGDE VOOR EEN BIJ BENADERINGR CONSTATE UITSTROOM.....	28
FIGUUR 10	WATERKLOK WAARBIJ DE UREN OP IN HET INSTROOMVAT ZIJN AANGEBRACHT EN EEN WATERKLOK WAAR EEN DRIJVER IN HET INSTROOMVAT IS GEPLAATS.....	28
FIGUUR 11	TOREN VAN DE WINDEN, ATHENE	29
FIGUUR 12	WATERKLOK –‘ECHAPPEMENT’ NAAR EL-GAZARI.	30
FIGUUR 13	FRESCO VAN AMBROGIO LORENZETTI, 1338. EERSTE BEKENDE AFBEELDING VAN DE ZANDLOPER	30
FIGUUR 14	HANDLOG MET ZANDLOPER.	33
FIGUUR 15	PENKOMPAS WAAROP DE CIRKELS VOOR DE VERSCHILLENDE GLAZEN IN HET ROOD ZIJN AANGEDUID	34
FIGUUR 16	PENKOMPAS WAARBIJ DE SNELHEID IN HET BLAUW IS AANGEDUID EN DE VERSCHILLENDE GLAZEN IN HET GROEN. ZO IS DE LINKER- EN RECHTERKANT DUIDELIJK ZICHTBAAR	35
FIGUUR 17	BASSISSTRUCTUUR VAN HET ECHAPPEMENT	36
FIGUUR 18	MIDDELEEUEWS UURWERK IN DE KATHEDRAAL VAN SALISBURY, STUURT DE KLOK IN DE TOREN AAN. VERMOEDELIJK DATEREND UIT CIRCA 1386, GERESTAUREERD IN 1956.	37
FIGUUR 19	SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN EEN SLINGERUURWERK.	38
FIGUUR 20	TWEEDE SLINGERUURWERK GEBOUWD IN 1763 DOOR CHRISTIAAN HUYGENS. DE SPILLEGANG IS AANGEDUID IN HET ROOD.....	39
FIGUUR 21	TEKENING VAN EEN ANKER ECHAPPEMENT OF ANKERGANG	40
FIGUUR 22	PLAATSBEPALING OP HET AARDOPPERVLAK	42
FIGUUR 23	GEBRUIK VAN DE KAMAL.....	43
FIGUUR 24	KWADRANT A) WAARNEMER B) HEMEOBJECT C) HORIZON D) GRADENSCHAAL E) VIZIEREN	44
FIGUUR 25	SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN DE MAANSAFSTAND.	49
FIGUUR 26	EERSTE WET VAN KEPLER	51

FIGUUR 27	TWEEDE WET VAN KEPLER.....	51
FIGUUR 28	CIRKELVORMIGE BANEN VAN DE STERREN ROND DE NOORDELIJKE HEMELPOOL	52
FIGUUR 29	CIRCUMPOLAIRE STERREN OP HET NOORDELIJK HALFROND	53
FIGUUR 30	DE TOLBEWEGING OF PRECESSIE BEWEGING VAN DE AARDE	54
FIGUUR 31	DE ROTATIE- (R) , PRECESSIE- (P) EM NUTATIEBEWEGING (N)	55
FIGUUR 32	DE ROTATIE AS DIE DE TWEE HEMELPOLEN VERBINDT	56
FIGUUR 33	DE HEMELSFEER MET HET EQUATORIALE COÖRDINATENSTELSEL	57
FIGUUR 34	NOCTURNAAL GEMAAKT DOOR HUMPHREY COLE CIRCA 1575, TE BEZICHTIGEN IN ‘THE BRITISH MUSEUM’ TE LONDEN	60
FIGUUR 35	HET INSTRUMENT VAN PACIFICUS WAARBIJ DE VIZIERBUIS DUIDELIJK IN AFGEBEELD.....	61
FIGUUR 36	HET NOCTURLABIUM DOOR PETER APIAN.....	62
FIGUUR 37	TEKENING VAN HET NOCTURLABIUM UIT 1537.....	63
FIGUUR 38	DE COMPONENTEN VAN EEN NOCTURLABIUM	64
FIGUUR 39	SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN HET GEBRUIK VAN DE NOCTURNAAL MET DE TWEE STERRENBEEDEN ‘URSA MAJOR’ EN ‘URSA MINOR’	65
FIGUUR 40	BEWEGING VAN DE GROTE BEER TEN OPZICHTE VAN DE POOLSTER.....	66
FIGUUR 41	DE VERDRAAIING VAN DE TIJDSCHIJF TEN OPZICHTE VAN DE DATUMSCHIJF.....	67
FIGUUR 42	RELATIE TUSSEN DE UURHOEK, RECHTE KLIMMING EN LST	68
FIGUUR 43	HARRISONS NR. 1	71
FIGUUR 44	DEZE DIAGRAM TOONT DE WERKING VAN EEN ‘GRIDIRON’ PENDULUM, UITGEVONDEN IN 1726 DOOR DE BRITSE KLOKKENMAKER JOHN HARRISON.....	72
FIGUUR 45	EEN ‘SPRINKHAAN’ ECHAPPEMENT.	73
FIGUUR 46	HARRISONS NR. 2	73
FIGUUR 47	EÉN VAN DE VIER TEKENINGEN VAN DE H2 DOOR THOMAS BRADLEY.....	74
FIGUUR 48	HARRISONS NR.3	74
FIGUUR 49	EEN BIMETAALSTRIP.	75
FIGUUR 50	HARRISONS NR.4, DE DIAMETER VAN DEZE SCHEEPSCHRONOMETER IS 132 MM	76
FIGUUR 51	ILLUSTRATIE UIT 1766 VAN LE ROYS VRIJSTAANDE ECHAPPEMENT BRON: BEWERKT VAN SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES	77
FIGUUR 52	ENKELE VAN DE BALANSEN WAARMEE JOHN ARNOLD EXPERIMENTEERDE.....	78
FIGUUR 53	VERGELIJKING TUSSEN EARNSHAW'S VEERECHAPPEMENT EN EEN MODERN CHRONOMETER ECHAPPEMENT BRON: BEWERKT VAN GOULD, 1923.....	79
FIGUUR 54	VERGELIJKING TUSSEN EARNSHAW'S COMPENSATIE BALANS EN EEN MODERNE COMPENSATIE BALANS.....	80
FIGUUR 55	BEIDE INSTRUMENTEN OP DE NULPOSITIE EN DE DATUMPOSITIE OP 10 MAART.....	83
FIGUUR 56	DE POSITIE VAN DE POOLSTER TEN OPZICHTE VAN DE STERREN MERAK EN DUBHE	83
FIGUUR 57	DE ALIDADE IN LIJN MET DE STERREN DUBHE EN MERAK.....	85
FIGUUR 58	EXCEL TABEL VAN DE OBSERVATIES MET DE TOEGEPASTE BEREKENINGEN	86
FIGUUR 59	TIJDSVERSCHIL (MINUTEN) VAN HET NOCTURLABIUM MET UTC PER DATUM VAN OBSERVATIE.....	89

FIGUUR 60	HET TIJDSVERSCHIL IN MINUTEN TUSSEN HET NOCTURLABIUM EN UTC VOOR ELKE OBSERVATIE	90
FIGUUR 61	TIJDSCHIJF NOCTURLABIUM GEBRUIKT VOOR DE OBSERVATIES.....	91
FIGUUR 62	TIJDSVERSCHIL (MINUTEN) TUSSEN HET NOCTURLABIUM EN UTC VAN DE OBSERVATIES AAN LAND	92

1 Inleiding

Tijd is een gegeven waar we dagelijks mee worden geconfronteerd. Ook in de opleiding ‘Nautische Wetenschappen’ aan de Hogere Zeevaartschool wordt studenten aangeleerd om tijd te gebruiken voor plaatsbepaling op zee. Tijdens deze lessen worden enkele instrumenten aangehaald die zijn ontwikkeld om de tijd te kunnen bepalen aan boord. Inzicht in het concept tijd en de ontwikkeling van deze instrumenten die tijd meten, brengt bij tot begrijpen van het belang van tijd in de maritieme navigatie.

Natuurkundigen definiëren tijd als de vooruitgang van gebeurtenissen van het verleden tot het heden en in de toekomst. Ze zien tijd ook als de vierde dimensie van de realiteit. Het wordt gebruikt om gebeurtenissen te beschrijven in de driedimensionale ruimte. We kunnen het niet zien, voelen of ruiken maar we kunnen het wel meten (Helmenstine, 2019). Toch is de ontwikkeling van de tijdsmeting zeer complex. Door de eeuwen heen zijn verschillende methodes en instrumenten ontwikkeld (Royal Museums Greenwich, 2014). Daarbij is gebleken dat tijdsmeting cruciaal is voor de maritieme navigatie. Om beter te begrijpen wat het belang van tijdsmeting is voor de maritieme navigatie, is het doel van dit eindwerk om te onderzoeken hoe de evolutie in de maritieme tijdsmeting bijgedragen heeft tot een accuratere navigatie.

Ten eerste moet er duidelijkheid worden gecreëerd over wat tijd is. Tijd is een gegeven waar we dagelijks mee worden geconfronteerd en het is voor iedereen duidelijk. Toch is een eenduidige definitie van tijd opstellen een opmerkelijk lastige taak. (Exactly what is time, 2019). Dus moet het concept tijd specifiek worden gedefiniëerd voor de maritieme navigatie. Zo kunnen we bepalen wat de snelheid van tijd is.

Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de tijdsmeting en zijn ontwikkelingen. Deze ontwikkelingen zijn de basis voor de tijdsmeting in de maritieme navigatie, maar bleken niet toereikend te zijn voor gebruik aan boord.

Het tweede luik van dit onderzoek bespreekt het belang van tijdsmeting aan boord en de invloed hiervan op de ontwikkeling van de tijdsmeting.

In de eerste helft van de 16^{de} eeuw werden transoceanreizen talrijker en namen de inherente gevaren toe. Om op open zee te kunnen navigeren moesten zeelieden regelmatig de positie, zijnde lengte- en breedtegraad, van het schip kunnen bepalen. (Vorstermans, 1984). Daarom werden in de 16^{de} eeuw verschillende methodes en instrumenten (verder) ontwikkeld. Zo is de scheepschronometer de gekendste door zijn nauwkeurigheid. Maar ook de methode van de maansafstanden en het nocturlabium werden gebruikt. In de literatuur wordt beweerd dat het nocturlabium tot vijftien minuten nauwkeurig is ten opzichte van de UTC.

Om antwoord te geven op deze vragen werd ten eerste gebruik gemaakt van een literatuurstudie. Deze bevindingen worden in de volgende drie hoofdstukken besproken. Tevens werd een kwantitatief onderzoek uitgevoerd om te onderzoeken of het nocturlabium inderdaad tot vijftien minuten correct is zoals in de literatuur wordt beweerd. Tot slot wordt in hoofdstuk zes de bevindingen van dit eindwerk gepresenteerd.

2 Het concept tijd

2.1 Wat is tijd?

Een uniforme definitie van tijd is moeilijk te op te stellen. Verschillende denkers bij de Grieken, Indische filosofen en wetenschappers waagden een poging om tijd te definiëren.

In de Griekse mythologie was Chronos de verpersoonlijking van tijd. (Exactly what is time, 2019). Chronos staat voor de universele, statische en kwantitatieve tijd, die noodzakelijk is om tijd in een lineair verband te plaatsen. Naast Chronos hadden de Grieken Kairos. Kairos staat voor subjectieve, dynamische en kwalitatieve momenten. Samen vormen ze de twee gezichten van de tijd, die niet los of onafhankelijk van elkaar beschouwd kunnen worden. (Hermsen, 2014) Kairos was tot en met de late middeleeuwen zo'n veelomvattend begrip dat het eigenlijk in geen enkele moderne taal nog met één woord is te vatten (Sipiora, 2002). Opvallend is dat de Griekse mythologie uitgaat van een lineaire, chronologische tijd, wat de basis is van veel tijdsconcepten doorheen de geschiedenis.

Indische filosofen daarentegen gingen uit van een tijdsyclus in plaats van een lineaire chronologische tijd. In oude teksten zoals de Vedas (2^e millennium v.Chr.) wordt beschreven dat het universum door een cyclus van creatie, vernietiging en hergeboorte gaat. Dat idee was in die tijd een logische conclusie omdat andere natuurlijke fenomenen zoals dag en nacht of de maancyclus ook een observeerbare herhaling hebben (Exactly what is time, 2019). Toch is er in dit geloof ook een lineaire ordening aanwezig. De cyclussen vinden namelijk plaats in een "hypertijd". Deze tijd is een overkoepelende en lineaire tijd. Ze maakt het onderscheid tussen de verschillende cyclussen mogelijk door een continue tijd te vormen waarin de cyclussen plaatsvinden (Exactly what is time, 2019).

De eerste Griekse filosofen (zesde eeuw v.Chr.) geloofde dat het universum en dus tijd eindeloos was, met geen begin en einde.

Tijdens de vijfde eeuw v.Chr. beweerde de filosoof Antiphon dat tijd geen realiteit was, maar een functie van het soort meting dat uitgevoerd werd. Aan de hand van de soort meting dat gebruikt werd, had tijd een andere definitie. Ook Parmenides, filosoof en tijdsgenoot van Antiphon, zag tijd niet als een realiteit, maar als niets meer dan een

illusie. Heraclitus, ook een tijdsgenoot, daarentegen was er zeker van dat de stroming van de tijd een realiteit was. Hij zag tijd zelfs als de essentie van de realiteit. (Exactly what is time, 2019)

In de 4^e eeuw v.Chr. leefde de gekende filosoof Plato. Ook hij had zijn eigen ideeën over tijd. Onder invloed van religie zegt Plato dat de Schepper het universum eeuwig had gemaakt. Maar omdat dit niet bevattelijk was voor de gewone mens besliste de Schepper om de hemelen te scheppen. Door het opvolgen (tellen en schikken op een continue tijdslijn) van de cyclische herhalingen van de hemelen kon de mens het idee van wat tijd is bevatten. De cyclische herhaling stopt nooit en toont de continuïteit aan. Daarbij is het interval tussen twee ruimtelijke gebeurtenissen soms even lang zoals de culminatie van de zon, zons- en maansverduisteringen, kometen, enz. Dat laat veronderstellen dat de tijd lineair is.

Volgens Aristoteles (384 v.Chr. – 322 v.Chr.), een student van Plato, heeft de opvolging van de cyclische herhalingen van de hemelen geen betekenis en is dat dus niet de definitie van tijd. Aristoteles ziet tijd als de hoeveelheid beweging op een continuüm van pre en post (voor en na) anders dan de beweging zelf. (Rassi, 2014) Hij wil weten hoeveel tijd er verstrijkt op een continue tijdslijn. Om deze hoeveelheid te kunnen bevatten kunnen we dus stellen dat tijd niet op zichzelf bestaat maar relatief is tegenover de beweging van dingen, tegenover verandering. (Exactly what is time, 2019). Dat idee zal lang na Aristoteles gestaafd kunnen worden door de relativiteitstheorie van Einstein.

Ook in de Middeleeuwen hadden filosofen en theologen een definitie van tijd. De theoloog St. Augustinus had twee opvattingen over tijd. Zijn eerste opvatting was dat tijd een creatie van God was. Dat idee heeft drie kenmerken. Ten eerste tijd is niet eeuwig, zo schreef Augustinus “U hebt tijd zelf gemaakt. En geen tijd is co-eeuwig met U,” (Augustine, 2006). Ten tweede, tijd is objectief want het wordt niet bepaald door het menselijk bewustzijn en ten laatste tijd is gerelateerd aan de beweging van de hemelen maar er niet afhankelijk van. Door de jaren heen veranderde zijn opvatting over tijd. Zijn tweede opvatting was dat tijd een fenomeen van het menselijk bewustzijn is (Hernandez, 2016). De filosofen Henry van Gent (1217 – 1293) en Giles van Rome (1243 – 1316) nuanceerden deze opvatting van St. Augustinus. Ze maakten het onderscheid tussen het

continuüm van tijd in de werkelijkheid en het geestafhankelijke continuüm. Maar ze wezen wel op het feit dat tijd alleen door de geest kan worden opgedeeld in vroeger en later (Exactly what is time, 2019).

Vanaf de zeventiende en achttiende eeuw veranderde de manier van denken. Men nam niet zomaar meer de ideeën van de grote Griekse denkers aan maar voerde zelf experimenten uit. Eén van de grootste denkers uit deze tijd was Isaac Newton. Hij legde de basis voor de nieuwe wis- en natuurkunde. (Dekkers, 2019) Newton stichtte de klassieke mechanica die vandaag de dag nog wordt gebruikt en onderwezen. Hij had de opvatting dat de ruimte verschilt van een lichaam of object en dat de tijd uniform verloopt, ongeacht of er iets in de wereld gebeurt. Om deze reden sprak hij over absolute ruimte en absolute tijd omdat deze niet veranderen als een variabele zoals een lichaam of object verandert van toestand. Zo kon hij deze entiteiten onderscheiden door middel van de verschillende manieren waarop we ze meten (Rynasiewicz, 2014). Newtons idee van tijd kan gezien worden als ons dagelijkse idee van tijd. Het is universeel en tikt overal even snel voorbij. Onze dagelijkse ervaringen wijzen er op dat dit het correcte idee is van tijd (World Science Festival, 2015).

2.2 De snelheid van tijd

Iedereen maakt het wel eens mee. Het wachten op de trein lijkt een eeuwigheid te duren, maar een gezellige avond onder vrienden vliegt voorbij. Einstein is diegene die aangetoond heeft dat de snelheid van tijd verschilt van persoon tot persoon. Niet omdat men het zo aanvoelt, maar door de relativiteit van tijd en ruimte. Zijn relativiteitstheorie is gebaseerd op het principe van relativiteit, een concept dat sinds de tijd van Galilei en Newton (de zeventiende eeuw) door natuurkundigen werd aanvaard. Met relativiteit wordt de snelheid van een lichaam of object in de ruimte tegenover een ander lichaam of object in diezelfde ruimte bedoeld. Natuurkundige wetten zijn alleen afhankelijk van deze relatieve snelheid en nooit van de ware of absolute snelheid. Einsteins principe toont aan dat een absolute tijd niet mogelijk is, maar dat de snelheid van tijd afhangt van de ruimte waarin men zich bevindt (NatGeoNL, 2020).

Einstein stelde zijn theorie op aan de hand van simpel gedachtenexperimenten. Hij vroeg zich ten eerst af of, indien hij even snel als het licht zou bewegen deze lichtstraal die hij volgt zou stil hangen in de lucht. Maar dat idee strookte niet met de 'Wetten van Maxwell'. Deze wiskundige vergelijking legde de tot dan toe gekende eigenschappen van elektriciteit, magnetisme en licht vast. De maxwellvergelijkingen waren erg strikt. Elke beweging in deze velden moet zich met de snelheid van het licht voortplanten en kan nooit stilstaan. Dus dat een lichtstraal stil naast een bewegende waarnemer hangt, kon volgens deze wetten niet. Einstein had uiteindelijk in 1905 de juiste oplossing gevonden om eventuele tegenstrijdigheid tussen de 'Wetten van Maxwell' en het idee van relativiteit weg te werken. Einstein beseftte dat waarnemers die zich ten opzichte van elkaar voortbewegen de tijd op verschillende manieren waarnemen. Ze hebben dus beide gelijk maar nemen een gebeurtenis op een andere manier waar (NatGeoNL, 2020).

Einstein illustreert dit idee met het volgende gedachtenexperiment. Stel je voor dat een waarnemer langs een spoorlijn staat terwijl er een trein voorbijraast. Op het moment dat het midden van de trein deze waarnemer passeert, wordt de trein aan beide uiteinden door een bliksemschicht getroffen. Omdat de bliksemschichten zich op dezelfde afstand van de waarnemer bevinden, bereikt hun licht zijn oog op hetzelfde moment. Dus meent hij terecht dat de bliksems op één en hetzelfde tijdstip insloegen.

Intussen zit een andere waarnemer in de trein, precies halverwege de rijdende wagons. Vanuit zijn gezichtspunt moet het licht van de beide bliksemschichten eveneens dezelfde afstand afleggen, en ook hij zal in beide richtingen dezelfde lichtsnelheid meten. Maar omdat de trein rijdt, moet het licht dat van het achterste deel van de trein komt, een grotere afstand afleggen om de trein in te halen en bereikt de waarnemer dus een fractie van een seconde later dan het licht dat van de voorkant komt. Omdat de lichtstralen de waarnemer op verschillende tijdstippen bereiken, kan hij slechts concluderen dat de blikseminslagen niet gelijktijdig plaatsvonden – dat de bliksem aan de voorkant van de trein iets eerder insloeg dan die aan de achterkant.

Kortom, Einstein realiseerde zich dat het de gelijktijdigheid is die relatief is. Als je dat eenmaal accepteert, worden alle vreemde effecten die we nu met 'relativiteit' associëren een kwestie van eenvoudige algebra (NatGeoNL, 2020).

De relativiteitstheorie is de basis voor vele moderne, wetenschappelijke inzichten zoals de 'Big Bang' theorie en kwantum mechanica. Maar het was ook belangrijk voor navigatie. Zo heeft de ware windsnelheid geen enkele betekenis voor koersbepaling als je de snelheid van het schip niet kent. Zonder relativiteitstheorie had men nooit het dopplereffect ontdekt dat steunt op de tijdsverschillen tussen zender en ontvanger (Viuf, 2019). Het Dopplereffect wordt gebruikt voor GPS-systemen waarbij de satelliet de zender en ontvanger is van stralen die naar de aarde worden gestuurd en teruggekaatst worden.

Maar in de klassieke natuurkunde zoals astronomie wordt er gebruik gemaakt van de absolute tijd of newtoniaanse tijd. Newton (4 januari 1643 – 31 maart 1727) beweerde dat de dagelijkse rotatie van de aarde uniform is en gebruikt dit als maatstaaf voor de tijd (Rynasiewicz, 2014) .

Einstein maakte het gebruik van moderne navigatiemethoden zoals GPS mogelijk. Maar voor de theorie van Einstein de wereld drastisch veranderde, werd er over zee genavigeerd aan de hand van astro-navigatie. Deze manier van navigeren maakt ook gebruik van tijd, namelijk absolute tijd.

Newtons ideeën inzake tijd zijn vandaag de dag nog steeds een zeer goede benadering van wat tijd is en hoe het zich verhoudt tegenover de wereld waarin we werkelijk leven en ervaren. Relatieve tijd verschilt enkel merkbaar van de absolute tijd bij reizen met snelheden die de snelheid van het licht benaderen of in omstandigheden met een extreem hoge zwaartekracht. Bij dagelijkse snelheden is de alledaagse logica van niet-relativistische fysica van toepassing. Toch maakt ook Newton gebruik van wat hij "relatieve, schijnbare en gewone tijd" noemde. Deze tijd kan worden waargenomen bij het meten van waarneembare objecten in beweging (zoals de maan of de zon) en het tikken van aardse klokken (de chronometer) en van waaruit we het dagelijkse tijdsverloop afleiden (Exactly what is time, 2020).

2.3 Het concept tijd in de maritieme navigatie

In de maritieme navigatie wordt tijd vooral praktisch gebruikt. Het is van belang voor de plaatsbepaling (zie 4.1). Tijd wordt gedefiniëerd in de maritieme navigatie als zonnetijd, sterrentijd en de gecoördineerde universele tijd.

2.3.1 Zonnetijd

2.3.1.1 Ware zonnetijd of Local Apparent Time (LAT)

Zonnetijd is de tijd die gemeten wordt door de rotatie van de aarde ten opzichte van de zon.

Als we ieder dag de ware zon observeren wanneer ze op haar hoogste punt staat kunnen we telkens het moment van de ware middag bepalen, zijnde LAT 12.00. De tijd tussen twee opeenvolgende ware middagen noemt men een ware zonnedaag. De zon is in die tijd overal ter wereld opgekomen en ondergegaan. Deze tijd tussen de twee ware middagen is echter niet exact 24 uur omdat de aardrevolutie, de beweging van de aarde rond de zon, ook een invloed heeft (De Baere & Uten, 2021). De ware zonnetijd kan worden waargenomen door middel van een zonnewijzer (zie 3.2).

In de loop van het jaar vertraagt en versnelt de ware beweging van de zon ten opzichte van de sterren. Hiervoor zijn twee redenen (Betts, Solar Time, 2008). Ten eerste zegt de eerste wet van Kepler dat de aarde zich rond de zon beweegt in een elliptische baan, met de zon als één van de brandpunten. En de tweede wet van Kepler zegt dat de omloopsnelheid van de aarde in haar omloopbaan verandert (zie 4.2.1.1) (Schreurs, Astronomie (beweging van de aarde), 2021). Een tweede reden is dat de as van de aarde een hoek maakt van 23.5° met het vlak waarin de aarde om de zon draait (Wenmackers, 2017). Hierdoor varieert de hoogte van de zon aan de hemel. Daarbij wordt afwisselend het noordelijk en zuidelijk halfrond meer beschinen door de zon, door de beweging van de aarde om de zon. Zo ontstaan de seizoenen (van der Sluys, 2020).

Het tropisch jaar is de tijd die verloopt tussen twee gelijke equinoxen, het moment waarop de zon recht boven de evenaar staat. Het is de tijd die nodig is voor de ware zon om een volledige baan rond de zon te maken. Het tropisch jaar duurt 365,24 dagen. De

gregoriaanse kalender (zie 3.1.3.3) is gebaseerd op het tropisch jaar. Deze kalender wordt algemeen gebruikt in de maritieme navigatie (van der Sluys, 2020).

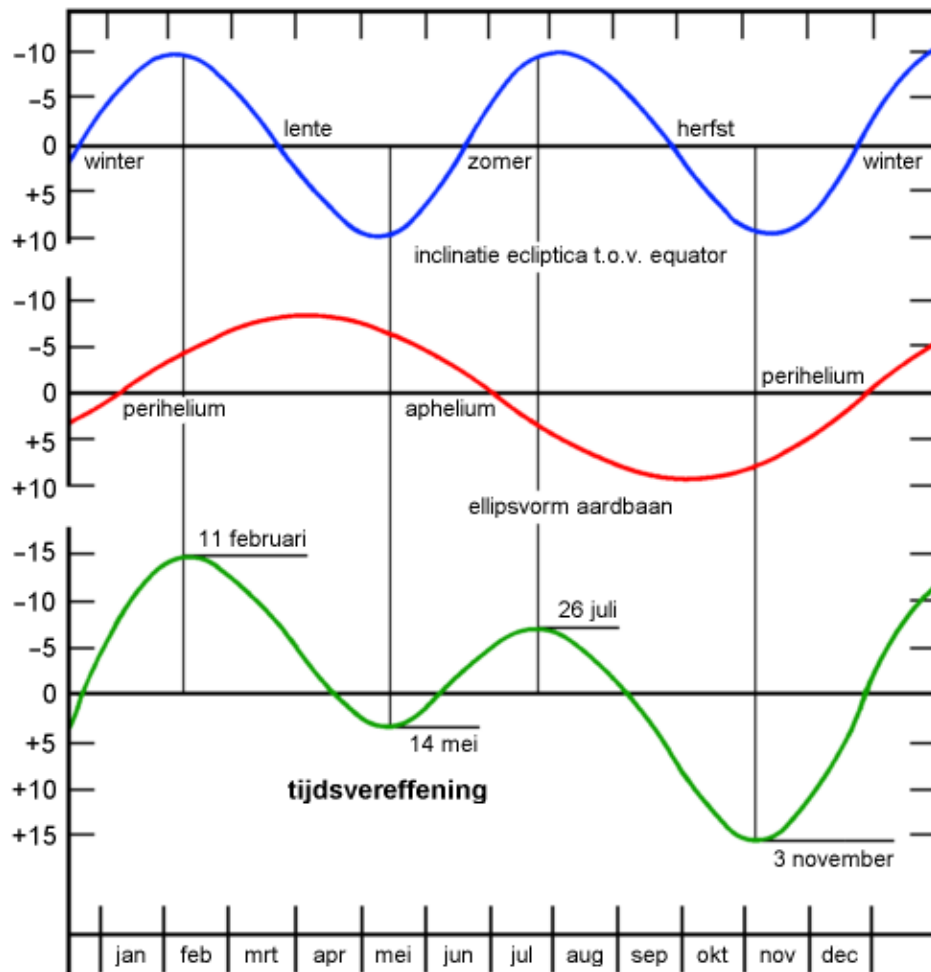
2.3.1.2 Gemiddelde of middelbare zonnetijd

De ware tijd is niet bruikbaar in de praktijk door haar onregelmatigheden. Klokken, die steeds dezelfde gang hebben, kunnen niet worden gesynchroniseerd met de ware zon die doorheen het jaar steeds verandert. Daarom werd in de achttiende eeuw een fictieve zon ingevoerd, die de gemiddelde of middelbare zon genoemd wordt (Volkssterrenwacht Urania, 2020).

De middelbare zon beweegt zich met een uniforme snelheid op een cirkelvormige baan, met de aarde als centrum. Een gemiddelde zonnedag duurt exact 24 uur, dat is de tijd die verloopt tussen twee achtereenvolgende keren dat de gemiddelde zon, op een bepaalde plaats, precies in het zuiden staat of culmineert (De zonnewijzerkring, 2021).

2.3.1.3 De tijdsvereffening of tijdsequatie

De tijdsvereffening is per definitie het verschil tussen de ware zonnetijd en de middelbare zonnetijd (Volkssterrenwacht Urania, 2020). Het heeft twee oorzaken zoals reeds besproken in 2.3.1.1, de ware zonnetijd. De totale tijdsvereffening is de som van de effecten van deze twee oorzaken. Het is mogelijk om dit grafisch voor te stellen. Op Figuur 1 geeft de blauwe lijn het effect aan van de aardas die niet loodrecht staat op het vlak waarin de aarde om de zon draait. De rode lijn geeft het effect van de eerste en tweede Wet van Kepler weer. En de groene lijn geeft de totale tijdsvereffening (Volkssterrenwacht Urania, 2020).



Figuur 1 Grafiek die de tijdsvereffening doorheen het jaar aangeeft

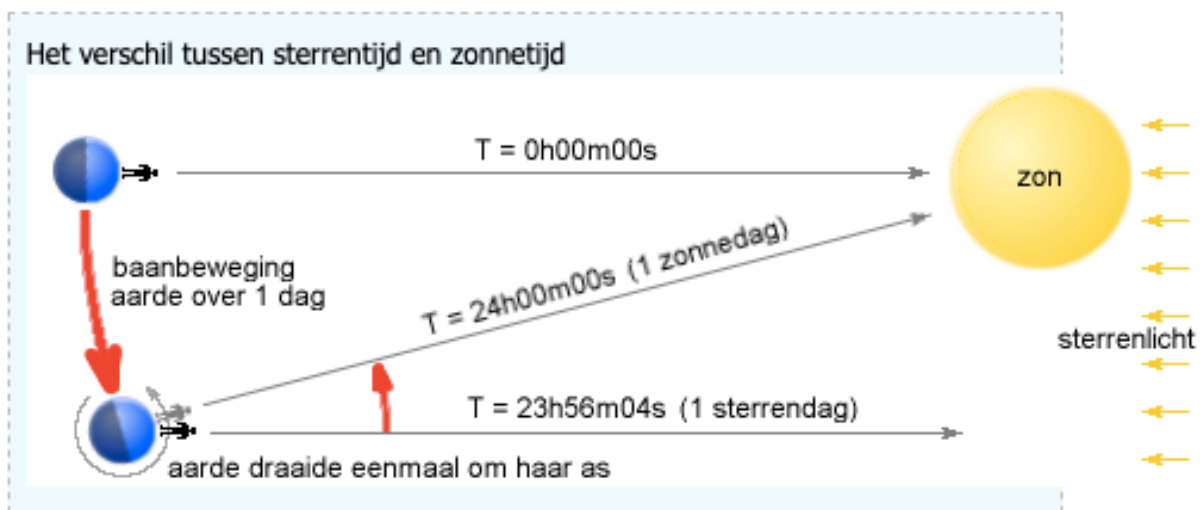
Bron : Volkssterrenwacht Urania, 2021

De tijdsvereffening is maximaal zestien minuten achter en veertien minuten voor de middelbare zon. Dat kan uitgedrukt worden in booggraden langs de zonnebaan, want de aarde draait vijftien graden per uur. Eén graad komt dus overeen met vier minuten kloktijd. De tijdsvereffening is daarmee maximaal vier graden langs de zonnebaan (De zonnewijzerkring, 2021)

2.3.2 Synodische tijd of sterrentijd

Een sterrendag of siderische dag, is de tijd die de aarde nodig heeft om rond haar eigen as te draaien van west naar oost (Volkssterrenwacht Urania, 2020). Als waarnemer is het

mogelijk deze te observeren door de tijd tussen twee opeenvolgende passages van eenzelfde ster door de lokale meridiaan te meten. Astronomen vertrouwen het meest op de sterrentijd omdat een bepaalde ster, het hele jaar door, dezelfde meridiaan op hetzelfde tijdstip zal passeren (The editors of Encyclopedia Britannica, 2018). De periode van deze rotatie bedraagt 23 uur 56 minuten en 4,09 seconden. De sterrendag is vier minuten korter dan de gemiddelde zonnedag van exact 24 uur. Omdat de aarde niet enkel rond zichzelf draait, maar ook op een baan rond de zon. Om te corrigeren voor de baanbeweging die de aarde heeft afgelegd om de zon, moet de aarde iets verder doordraaien (van der Sluys, 2020). Met andere woorden na 23 uur 56 minuten en 4,09 seconden is de aarde weer in de richting van dezelfde sterren gedraaid, maar nog niet opnieuw in de richting van de zon. Dat duurt nog ongeveer vier minuten langer.



Figuur 2 Het verschil tussen sterrentijd en zonnetijd omdat de zon gelijkmatig over de ecliptica beweegt

Bron : Volkssterrenwacht Urania (2020)

Ten gevolge van deze rotatie lijkt de hele hemelsfeer rondom ons te wentelen van oost naar west. De hemelsfeer is een denkbeeldige bol waarvan de aarde het middelpunt is en waarop alle hemellichamen zich lijken te bewegen (Schilling, 2020). Deze beweging wordt de schijnbare dagelijkse beweging genoemd, die is belangrijk voor de tijdrekening aan boord.

2.3.3 Gecoördineerde universele tijd

De tijd die wij op onze horloges gebruiken is afgeleid van de gecoördineerde universele tijd of Universal Time Coordinated (UTC) (Volkssterrenwacht Urania, 2020). De gecoördineerde universele tijd is een standaardtijd gebaseerd op de internationale atoomtijd. Hij wordt onderhouden door een groot aantal atoomklokken in laboratoria wereldwijd (Heylen, 2018). De internationale atoomtijd of International Atomic Time (TAI) werd ingevoerd in 1972. En sinds 1 januari 1999 geldt $UTC = TAI + 32 \text{ seconden}$ (Volkssterrenwacht Urania, 2020).

De gecoördineerde universele tijd is praktisch gelijk aan de middelbare zonnetijd op de referentiemeridiaan Greenwich. Maar er is een minieme afwijking. Om deze afwijking te compenseren, worden er schrikkelsecondes ingevoerd (Heylen, 2018). De schrikkelsecondes worden ingevoerd indien de UTC meer dan één seconden afwijkt van de GMT. Dus als het verschil groter is dan 0,9 seconden wordt een schrikkelsecond ingevoerd (Volkssterrenwacht Urania, 2020).

3 Tijdsmeting

Het meten van de tijd is door de eeuwen heen een cruciaal onderdeel van de wetenschap geweest. Niet vreemd, het geeft de mens het gevoel dat ze een controle heeft over hun leven en wordt gebruikt om onze samenleving te regelen. Politieke leiders wouden bijvoorbeeld weten wanneer ze belastingen konden innen of op welk tijdstip er een offer moest worden gebracht (Duncan, Inleiding, het web van de tijd, 1999).

We maken elke moment van ons leven gebruik van tijdsmeting in de vorm van een kalender of klok en kunnen stellen dat op het moment dat de mens het fenomeen tijd wilde begrijpen, ook de wetenschap werd geboren (Duncan, Inleiding, het web van de tijd, 1999).

3.1 Kalenders

3.1.1 *Wat is een kalender?*

Een kalender is een stelsel waarnaar de lengte van de jaren geregeld is (van Dale, 2020). Kalenders zijn van oudsher ontworpen voor sociale, religieuze, agrarische, commerciële of administratieve doeleinden of een combinatie van voorgaande. Een kalender kan ook worden uitgebreid naar de toekomst en gebruikt worden als planner om evenementen in de toekomst vast te leggen (Exactly what is time, 2020). De mens gebruikt al eeuwenlang kalenders in allerlei soorten en maten. We gebruiken ze om afspraken te maken, om astronomische waarnemingen te dateren en om periodieke gebeurtenissen terug te zien komen (Strous, Kalenders, 2020). De kleinste verdeling van een kalender is de dag. Een dag wordt nog in kleinere stukken onderverdeeld, die meestal niet als een deel van de kalender gezien worden. Kalenders en kleinere verdelingen van tijd worden samen wel tijdrekening genoemd (Strous, Kalenders, 2020).

Er zijn diverse soorten kalenders die gebaseerd zijn op verschillende perioden zoals een tropisch jaar, een synodische maand of een dag volgens de atoomklokken (zie 2.3). De correcte kalender bestaat niet want dat is afhankelijk van subjectief gegeven. Daarnaast zijn de verschillen tussen niet religieuze kalenders klein (Strous, Kalenders, 2020). Zo is het verschil tussen een tropisch jaar waar de gregoriaanse en juliaanse kalender zijn op

gebaseerd, ongeveer 0,014 dagen korter of ongeveer 20 minuten, dan een sterrenjaar (van der Sluys, 2020).

3.1.2 Bouwstenen van kalenders

Om kalenders volledig te definiëren voor alle tijden heb je enkele onderdelen nodig.

Ten eerste moet men de verdeling van tijdsperiodes op iets baseren. De meeste kalenders synchroniseren hun periodes met de cyclus van de maan, zon of beide.

Bovendien lijkt het erop dat sommige oude Egyptische kalenders zijn gesynchroniseerd met de beweging van de planeet Venus en/of de Hondster Sirius (Exactly what is time, 2020).

De zonnekalender probeert een zich herhalend verschijnsel van de zon te volgen (Strous, Kalenders, 2020). Deze kalender is dus in overeenstemming met de seizoenen (Exactly what is time, 2020) en is gekoppeld aan het tropische jaar dat gemiddeld 365,242190 dagen duurt (Strous, Kalenders, 2020).

Daarentegen probeert de maankalender de repetitieve cyclus van de maan te volgen en is gekoppeld aan de synodische maand die uit 29,530590 dagen bestaat (Strous, Kalenders, 2020). Omdat een maanmaand slechts een fractie van een tropisch jaar is, neigt een maankalender van de seizoenen af te wijken (Exactly what is time, 2020).

Daarnaast tracht een lunisolaire kalender de verschijnselen van zowel de zon als de maan te volgen (Strous, Kalenders, 2020). Hij bestaat meestal uit twaalf maanden maar om de twee à drie jaar wordt er een dertiende maand toegevoegd (Exactly what is time, 2020).

Ten slotte is er de UTC, de gecoördineerde wereldtijd, die gebaseerd is op de atoomtijd maar soms wordt aangepast door middel van een schrikkelseconden om samen te lopen met de astronomische tijd. Van deze tijd zijn de verschillende tijdzones afgeleid (EOS Wetenschap, 2015).

3.1.3 Soorten kalenders

3.1.3.1 De prehistorische maankalender

Het is zeer moeilijk om zeker te weten welke soort tijdsmeting de prehistorische mens gebruikte. Er zijn natuurlijk wel aanwijzingen op welke manier de prehistorische maatschappij de tijd interpreteerde maar uiteindelijk is het nog steeds onzeker of we de gevonden bronnen wel juist interpreteren (Gaffney, et al., 2013). De meeste wetenschappers gaan ervan uit dat de prehistorische mens gebruik maakte van de maan. Enkele bronnen die hierop wijzen zijn grotschilderingen, botten waarin de maancyclus gekerfd is en een maankalender die vanuit de lucht is ontdekt door de 'Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Scotland' (Historic Environment Scotland, 2021)

Er wordt vaak geopperd dat zowel de zon, maan als de sterren reeds in de prehistorie werden gebruikt om een kalender op te stellen (Gaffney, et al., 2013). Een kalender is een manier van tijdsmeting en zou inderdaad zeer handig zijn geweest voor de verzamelaar-jagers die toen leefde. Als zij de tijd konden meten, konden ze voorspellen wanneer bepaalde dieren beginnen trekken, wanneer hij bepaalde vruchten kon plukken, enz. Echter, als we logisch nadenken was het voor de prehistorische mens moeilijk om de sterren te gebruiken als tijdmeetinstrument. Aangezien de veranderingen die de sterren seizoensgebonden doormaken vanaf een vaste plek moeten worden bekeken (Gaffney, et al., 2013). De sterrenconstellaties zijn plaatsafhankelijk, dus zou de rondtrekkende mens geen vast patroon kunnen ontdekken. Daarom was het voor rondtrekkende volkeren moeilijk om een cyclus in de sterren te vinden.

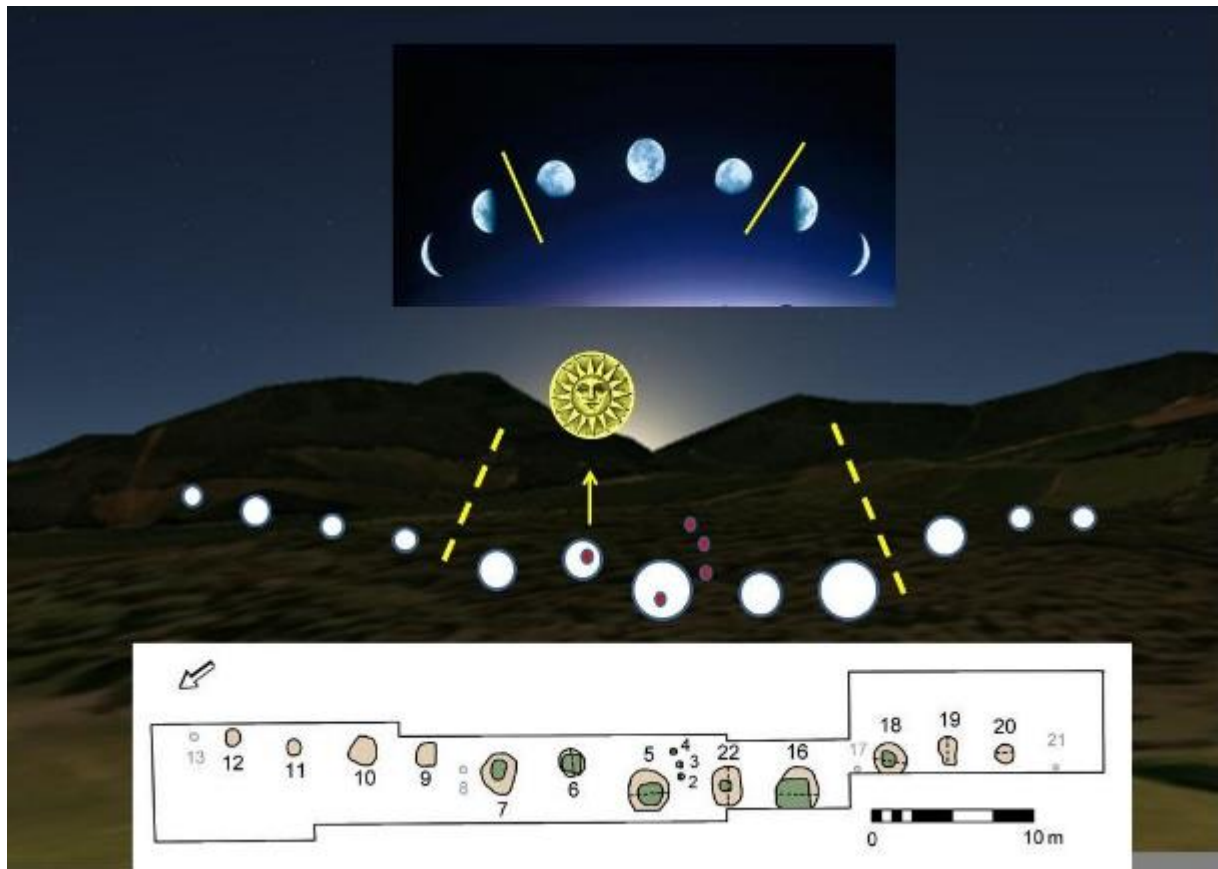
Het gebruik van de maancyclus als een eenvoudig, gemakkelijk waarneembaar middel voor het volgen van geschikte tijdsperioden (29 tot 30 dagen) werd duidelijk wel gewaardeerd door veel prehistorische samenlevingen (Gaffney, et al., 2013).

Een eerste bron die wordt gebruikt als bewijs dat de mens reeds in de prehistorie gebruik maakte van de maan als waarneembaar middel om tijdsperiodes te meten zijn de grotschilderingen en botten waarin inkepingen zijn aangebracht. Deze grotschilderingen

kunnen bezichtigd worden in La Placard, Frankrijk. Alexander Marshack (April 4, 1918 – December 20, 2004) publiceert baanbrekend onderzoek in zijn boek “The Roots of Civilization: The Cognitive Beginnings of Man's First Art, Symbol and Notation” dat de wiskundige en astronomische kennis in de prehistorische culturen van Europa documenteert. Marshack ontcijfert deze grotschilderingen en kerfjes die in botten waren aangebracht als weergave van de maancyclus. Maar de maanfasen die op de grotwanden of botten zijn afgebeeld, zijn onnauwkeurig. We kunnen ervan uitgaan dat het precies aanbrengen van de maancyclus onmogelijk was tenzij alle nachten volkomen helder waren, wat een onrealistische verwachting is (Soderman, 2020). Niet alle wetenschappers gaan akkoord met Marshacks onderzoek.

Een tweede bron, waarover alle wetenschappers het wel eens zijn, is gevonden in Schotland. De site in Warren Field, Crathes, Aberdeenshire bestaat uit twaalf kuilen die een flauwe boog vormen en werd in 2004 opgegraven door de organisatie National Trust for Scotland. Pas recent hebben onderzoekers deze ontdekking kunnen ontcijferen na analyse door speciaal ontwikkelde software. Met behulp van dit programma dat een interactieve verkenning van de relatie tussen de twaalf kuilen, de lokale topografie en de bewegingen van de maan en de zon uitvoert, kan men met zekerheid zeggen dat de site als maankalender werd gebruikt. (Keys, 2020). Door middel van deze software konden ze vaststellen dat elke kuil een maanmaand voorstelt. Eén van de putten komt ook overeen met de winterzonnewende, waardoor er jaarlijks een correctie uitgevoerd kon worden om de maankalender in lijn te houden met de seizoenen en het zonnejaar (Roy, 2013). Opmerkelijk genoeg was het monument ongeveer 4.000 jaar in gebruik: van rond 8.000 v.Chr. tot ongeveer 4.000 v.Chr. De kuilen werden periodiek opnieuw gegraven, waarschijnlijk tientallen keren, mogelijk zelfs honderden keren in deze periode van 4000 jaar. Variaties in de diepten van de putten suggereren echter dat de boog een complex ontwerp had - waarbij elke maanmaand potentieel verdeeld zou kunnen worden in drie ruwweg tien dagen 'weken' - die de wassende maan, de volle maan en de afnemende maan voorstellen (Keys, 2020). De analyse met speciale software werd uitgevoerd door een team van specialisten onder leiding van professor Vincent Gaffney van de Universiteit van Birmingham. Gaffney concludeert: “Het bewijs suggereert dat jager-verzamelaarsamenlevingen in Schotland zowel de behoefte als de kennis hadden om de tijd door de jaren heen te volgen en om te corrigeren voor de seizoenafwijkingen van het

maanjaar. Dat was bijna 5000 jaar voor de eerste gekende, formele kalenders in het Nabije Oosten. Hiermee illustreert het een belangrijke stap in de richting van de formele constructie van tijd en dus van de geschiedenis zelf.”



Figuur 3 Het plan van de Warren Field putuitlijning en de schematische opstelling van de putten. Groen geeft aan dat er latere aanpassingen zijn gebeurd en geeft de delen aan met een onzeker karakter. De achtergrond is overdreven voor weergavedoeleinden. (© Google Earth, Plan gebaseerd op Murray et al. 2009, fig. 3)

Bron: Internet Archaeol. 34, Gaffney et al. , figuur 10

Opvallend is dat deze bronnen veel ouder zijn dan de bronnen die in het Nabije Oosten teruggevonden zijn, namelijk de zonnewijzers. De reden waarom in het prehistorische Europa geen gebruik gemaakt werd van de zon en in het Nabije Oosten wel, is de meteorologische situatie. Daarbij was de zon alom tegenwoordig in hun religie. De zonnewijzers uit het Nabije Oosten waren nauwkeuriger. Daarom werden ze gebruikt om een dag op te delen in tegenstelling tot de maankalenders die slechts een jaar opdeelde.

In onze moderne tijd wordt nog steeds gebruik gemaakt van de maan. De maan is niet enkel een gigantisch horloge aan de hemel maar ook de oorzaak van vele

natuurverschijnselen zoals de getijden (Van Aelst, sd). De getijden worden veroorzaakt omdat de maan probeert om de watermassa van de aarde naar zich toe te trekken. Dat resulteert in een berg water die elke halve dag passeert door de beweging van de maan rond de aarde (Deboosere, 2021).

3.1.3.2 De lunisolaire kalender

De oudste geschreven bron inzake kalenders is de Soemerische kalender in de vorm van tabletten met spijkerschrift (Schmidt, et al., 2020). Deze bron gaat terug tot 3000 v.Chr. en toont ook aan de de Soemeriërs (5000 v.Chr. – 2000 v.Chr) gebruik maakten van een lunisolaire kalender (Exactly what is time, 2020). Ook veel andere beschavingen maakten gebruik van een lunisolaire kalender. Sommigen worden vandaag de dag nog steeds voor traditionele doeleinden gebruikt.

Een lunisolaire kalender is fundamenteel een maankalender die aangepast wordt aan het tropische jaar. Het tropische jaar regelt de seizoenen en kan dus worden gebruikt voor de landbouw. De Soemeriërs brachten de maankalender parallel met het tropische jaar door de toevoeging van een extra maand. Deze extra maand werd toegevoegd in overeenstemming met echte of ingebeelde behoeften, en elke Soemerische stad voegde maanden naar believen toe, wat voor onduidelijkheid zorgde (Schmidt, et al., 2020) .

De Babyloniërs (1800 v.Chr. – 539 v.Chr.) namen de meeste ideeën en kennis van de Soemeriërs over. Ze gebruikten een vergelijkbare lunisolaire kalender die bestond uit twaalf maanmaanden plus een extra maand indien nodig (Exactly what is time, 2020). Net als bij de Soemeriërs begon een nieuwe maand met de waarneming van de 'nieuwe maan'. Aanvankelijk bepaalde deze astrologische waarnemingen het begin van een nieuwe maand. Zij hadden dus vooraf geen idee van hoe de kalender exact zou verlopen (Van Gestel, 1995) . De Babyloniërs verbeterden deze methode en de nauwkeurigheid van hun kalender door twaalf jaar van twaalf maanden gevolgd door zeven jaar van dertien maanden in een cyclus van negentien jaar te gebruiken (Exactly what is time, 2020). De Hebreeuwse beschaving nam dit systeem over tijdens de Babylonische ballingschap (Schmidt, et al., 2020).

De Herbreeuwse kalender gebruikte oorspronkelijk de Babylonische kalender, maar stuurde deze geleidelijk aan bij. In 1178 n.Chr. was de berekening van een nieuwe kalendermaand volledig vervangen door de wiskundige benadering van het verschijnen van de halve maan in plaats van de werkelijke waarneming (Bikos, 2021). Deze kalender, die vandaag nog steeds in gebruik is, gaat uit van een gestandaardiseerde lengte van de maanden en voegt maanden toe (te vergelijken met een schrikkeljaar) in de loop van een negentienjarige cyclus, zodat de maankalender op het einde van de cyclus terug in de pas loopt met het tropische jaar (Malinsky, 2016).

De Egyptenaren waren ook afhankelijk van de seizoenen en hadden dus ook een kalender nodig die het tropische jaar kon weergeven. Ze hadden reeds een lunisolaire kalender, die bestond uit 354 dagen en waar een dertiende maand werd aan toegevoegd (Rijsdam, sd). De eerste dag van een nieuw jaar was gebaseerd op het opkomen van de ster Sirius, die net voor zonsopgang in de zomer aan de oostelijke horizon kon worden waargenomen. De timing van deze waarneming zou bepalen of het nieuwe jaar meteen van start ging of dat er een schrikkelmaand werd toegevoegd (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2021).

Maar daarbij voerden ze rond 3000 v.Chr. een kalender in die drie seizoenen telde van elk 4 maanden, die dan weer uit dertig dagen bestond. Uiteindelijk werden daar nog vijf dagen aan toegevoegd om tot een totaal van 365 dagen te komen (InfoNu, 2016). De eerste zonnekalender was een feit.

De grootste tekortkoming van deze kalender is dat hij nog steeds te kort was tegenover het tropische jaar die 365 dagen 5 uur en 49 minuten duurt. Een schrikkel dag was dus nodig. Het duurde echter lang voor deze fout werd ontdekt. Daarbij vormde het ook geen onoverkomelijk probleem voor de landbouwers aangezien zij zich vooral baseerden op de jaarlijks terugkerende overstroming van de Nijl (Van Aelst, sd). De Egyptische kalender werd in 46 v.Chr. aangepast door Julius Caesar (Duncan, Caesar omarmt de zon, 1999). Hij voegde een schrikkel dag toe eens in de vier jaar. Het aangepaste systeem vormt de basis van de westerse kalender die nog steeds in de moderne tijd wordt gebruikt (Britannica, sd).

3.1.3.3 Juliaanse en Gregoriaanse kalender

De Juliaanse kalender, ingevoerd door Julius Caesar vanaf 1 januari 45 v.Chr., is gebaseerd op de Egyptische zonnekalender en verving de Romeinse kalender. Het was een revolutionaire beslissing die Caesar nam om de lunisolaire Romeinse kalender te vervangen door een kalender gebaseerd op de zon.

Volgens de legende werd de Romeinse kalender opgesteld door Romulus, de stichter van Rome in 753 v.Chr. toen hij de stad Rome stichtte. Maar in de realiteit werd de kalender gebaseerd op de Griekse lunisolaire kalender die op zijn beurt was afgeleid van de Babylonische (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2011). De oorspronkelijke kalender bestond uit tien maanden van 30 of 31 dagen (Morse, 2014). Maar de Romeinen hadden net zoals andere oude culturen begrepen dat dit te weinig was. Daarom werd in 712 v.Chr. twee maanden toegevoegd (Morse, 2014). Het jaarlijks toevoegen van deze maanden bleek moeilijk te organiseren. Zo vergaten de Romeinse priesters de maanden soms toe te voegen of werd dit met opzet vergeten om de kalender te manipuleren (Duncan, Caesar omarmt de zon, 1999). Wie de kalender kon besturen had namelijk politieke macht. Zo werd de schrikkelmaand wel of niet toegevoegd om bevriende politici langer aan de macht te houden of tegenstanders in de weg te staan (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2011).

Caesar leerde de zonnekalender kennen in Egypte. In 46 v.Chr. liet hij de beste wiskundigen en filosofen naar Rome komen (Duncan, Caesar omarmt de zon, 1999). Eén van hen was de Alexandrijnse astronoom Sosigenes die hem adviseerde de maancyclus volledig af te schaffen en het zonnejaar te volgen. In de nieuwe Romeinse kalender, nu gekend als de juliaanse kalender, bestond een jaar uit 365,25 dagen. Caesar besliste ook dat er elke 4 jaar een dag moest worden toegevoegd aan februari zodat zijn kalender parallel zou lopen met de seizoenen (History.com Editors, 2010).

Caesar kon de nieuwe kalender niet zonder slag of stoot invoeren. De lentenachtevening was traditioneel vastgesteld op 25 maart. Om de kalender daarmee in overeenstemming te brengen, voegde Caesar in 46 v.Chr. twee extra maanden van 33 en 34 dagen toe, en wel tussen november en december (History.com Editors, 2010).

Caesar paste niet enkel de totale duur van het jaar aan, maar ook de duur van de maanden. De kalender telde twaalf maanden van afwisselend 30 en 31 dagen, februari

uitgezonderd. Februari telde 29 dagen in een gewoon jaar en 30 dagen in een schrikkeljaar. De namen van de maanden werden behouden. De grootste correctie die werd ingevoerd voor die tijd was dat januari als eerste maand kwam, in plaats van maart. Januari ligt dicht bij de zonnewende (Duncan, Caesar omarmt de zon, 1999). Caesars kalender bestond uit de maanden Ianuarius (31 dagen), Februarius (29/30 dagen), Martius (31 dagen), Aprilis (30 dagen), Maius (31 dagen), Iunius (30 dagen), Quintilis (31 dagen), Sextilis (30 dagen), September (31 dagen), Oktober (30 dagen), November (31 dagen) en December (30 dagen) (Morse, 2014).

De kalender van Julius Caesar was niet 100% correct. Er zat een afwijking in en de priesters bleven verantwoordelijk voor de tijdrekening en maakten daarbij enkele fouten. Caesar werd vermoord in 44 v.Chr. en kon zijn kalender niet verder opvolgen (Duncan, Caesar omarmt de zon, 1999).

Er wordt gedacht dat Caesar elke 4 jaar een schrikkeljaar wou toevoegen, maar de priesters deden dit elke 3 jaar (Morse, 2014). Deze fout werd in 8 v.Chr. ontdekt door keizer Augustus. Hij gaf de priesters de opdracht om 3 schrikkeljaren over te slaan. Hierdoor liep de kalender weer 'juist' in 8 n.Chr. (Duncan, Caesar omarmt de zon, 1999). Keizer Augustus hernoemde ook een maand naar Julius, om zijn voorganger te eren. Daarbij hernoemde hij een andere maand naar zichzelf, augustus. Maar deze maand had minder dagen dan die van Julius Caesar en daar kon hij niet mee leven. Dus voegde hij een dag toe aan augustus, waardoor het een maand van 31 dagen werd, net zoals Julius. En hij verwijderde een dag van februari. Maar aangezien september ook 31 dagen had, zouden er 3 opeenvolgende maanden van 31 dagen zijn. Dus verwisselde hij het aantal dagen in september en oktober, evenals het aantal dagen in november en december (Morse, 2014). Als resultaat hebben we de huidige duur van de maanden, namelijk Januari (31 dagen), Februari (28/29 dagen), Maart (31 dagen), April (30 dagen), Mei (31 dagen), Juni (30 dagen), Juli (31 dagen), Augustus (31 dagen), September (30 dagen), Oktober (31 dagen), November (30 dagen) en December (31 dagen).

Er zat ook een afwijking op Caesars kalender. Zijn jaar bestond uit 365,25 dagen, terwijl een tropisch jaar bestaat uit 365,2422 dagen. Dus een fout van elf minuten per jaar. Dit accumuleerde in zeven dagen tegen het jaar 1000 en tien dagen tegen het midden van de 15^e eeuw (History.com Editors, 2010). Deze afwijking werd in 1582 aangepast door Paus

Gregorius XIII. De gregoriaanse kalender is dus een verbeterde versie van de juliaanse kalender (Morse, 2014).

De kerk werd zich bewust van het probleem en in de jaren 1570 gaf paus Gregorius XIII de jezuïet-astronoom Christopher Clavius (1538-1612) de opdracht om een nieuwe kalender te bedenken (History.com Editors, 2010). Hij was het hoofd van de kalendercommissie, aangesteld om de nieuwe kalender te ontwerpen. Het belangrijkste doel van deze commissie was niet het passend krijgen van de zonnekalender, maar het corrigeren van de katholieke maankalender. Pasen moest namelijk op de 'juiste' dag vallen (Duncan, Caesar omarmt de zon, 1999). In 1582 werd de Gregoriaanse kalender geïmplementeerd, waarbij tien dagen voor dat jaar werden weggelaten (History.com Editors, 2010). En de nieuwe regel werd vastgesteld dat de eeuwjaren géén schrikkeljaar zouden zijn, behalve als zij deelbaar zijn door 400 (JongerenWerkgroep voor Sterrenkunde, 2021).

De Gregoriaanse kalender is de jaartelling die wereldwijd algemeen in gebruik is.

3.2 De zonnewijzer

De oudste zonnewijzers waren obeliskken (3500 v.Chr.) en schaduwklokken (1500 v. Chr.). Deze werden vervaardigd door Egyptische en Babylonische astronomen. Het is mogelijk dat mensen zelfs al eerder primitieve zonnewijzers maakten met behulp van houten stokken, maar hier is geen archeologisch bewijs voor (IsGeschiedenis, 2020). De zonnewijzer heeft bijgedragen aan de ontwikkeling van de dag indeling. Omstreeks 2100 v. Chr. verdeelden de Egyptenaren de nacht in twaalf delen. Elk deel is gebaseerd op één of meerdere sterren. Deze verdeling werd gebruikt voor religieuze doeleinden. Daarna verdeelden ze ook de dag in twaalf delen (Astrolabium, 2020). De duur van de dag veranderde weinig doorheen het jaar in Egypte omdat het zo dicht bij de evenaar ligt. Ze konden de dag dus verdelen in gelijke uren. Was deze soort tijdsmeting in Europa ontstaan, waar de dag in de zomer tweemaal langer is dan in de winter, dan hadden wetenschappers nooit van een zo variabele eenheid gebruik gemaakt (Rasquin, 1984). Het is ook in diezelfde periode dat de zonnewijzer opduikt. De Grieken nemen de zonnewijzer en deze verdeling over (Astrolabium, 2020).

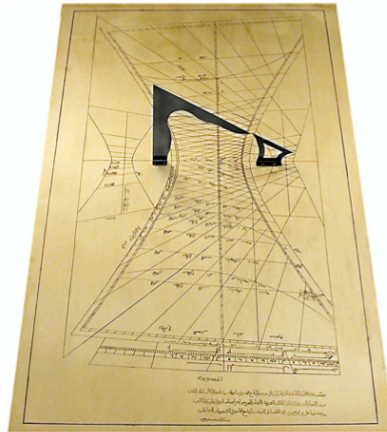
De oude Grieken namen de ontwerpen uit Egypte en Mesopotamië over en pasten nieuwe principes toe. Herodotus (485 v.Chr.-425/420 v.Chr.), de Griekse

geschiedschrijver, schrijft dat de zonnewijzers door Anaximander van Miletus rond 560 voor Christus werden meegebracht uit Babylonië. Omdat de Grieken beschikten over verregaande geometrische inzichten en ze de beweging van de zon nauwkeurig hadden bestudeerd, zouden ze een universele zonnewijze gebouwd hebben die overal op aarde te gebruiken was. De astronoom Theodosius van Bithynia zou deze zonnewijzer ontworpen hebben in de tweede eeuw voor Christus (IsGeschiedenis, 2020). Maar er is zeer weinig info over en er is nooit tastbaar bewijs gevonden (O'Connor & Robertson, 1999). De zonnewijzer werd gebruikt om de dag in te delen. Maar in de zomer stond de zon langer aan de hemel en dus was de verdeling anders per seizoen. De uren waren in de zomer langer dan in de winter.

De Romeinen namen op hun beurt de Griekse zonnewijzers weer over. Niet elke Romein was daar blij mee. Zo klaagde Plautus erover dat zijn dagen in stukjes werden gehakt door de zonnewijzers. Vitruvius beschreef in zijn boek *De Architectura* (ca. 25 v. Chr.) alle tot dan toe bekende typen van zonnewijzers (IsGeschiedenis, 2020).

Daarna namen Islamitische geleerden gedurende de middeleeuwen de zonnewijzers over van de Grieken en de Romeinen en werkten verder met de inzichten uit de oudheid.

Romeinse en oudere zonnewijzers hadden geen constante uren vanwege de veranderingen van het seizoen. In de zomer duurden de uren langer, aangezien de zon meer tijd doorbracht aan de hemel. Het principe om een standaard voor alle uren vast te stellen is afkomstig van Abu'l-Hasan Ibn al-Shatir (1304-1375, Damascus) uit 1371. Hij ontdekte dat een verticale zuil die parallel aan de aardas wordt geplaatst, schaduwen produceert met gelijke uren voor elke dag van het jaar (IsGeschiedenis, 2020). Ibn al-Shatir bouwde een prachtige zonnewijzer voor de minaret van de Umayyad moskee te Damascus. Deze zonnewijzer gaf seizoensgebonden uren en de standaarduren aan. De fragmenten van deze zonnewijzer in een museum te Damascus, maken dit de oudste, nog bestaande zonnewijzer met poolstijl (Muslim Scientists and inventors, 2015). Deze verbetering uit de Arabische wereld werd rond 1445 overgenomen door West-Europese klokkenbouwers (IsGeschiedenis, 2020).



Figuur 4 Duplicaat van zonnewijzer gemaakt door Ibn al-Shatir. Het origineel is in 3 stukken gebroken en wordt bewaard in het Nationaal Museum van Sirië te Damascus

Bron : Catalogus van de collectie in het Institute for the History of Arabic-Islamic Science in Frankfurt am Main (Neubauer, Sezgin, & Neubauer, 2020)

3.2.1 Werking van een “moderne” zonnewijzer

De zonnewijzer bestaat uit twee aparte delen:

- De **wijzerplaat**: een vlak dat dient als drager voor het instrument waarop de verdeling is aangebracht, met name de verdeling van een dag in uren (24 delen/24 uren; de cirkel (360°) onderverdeeld in 24 geeft vijftien graden afstand aan tussen elk uur).
- Een harde stang genaamd de **gnomon** of **styl** (afgeleid van het Griekse woord ‘gnômôn’ dat regel betekent. In het latijn betekent gnomon ‘de naald van de zonnewijzer’). De term ‘styl’ is echter juister want het woord gnomon verwijst ook naar de zonnewijzer in zijn eenvoudigste samenstelling: een stok of zelfs de mens zelf die op verticale wijze op de grond wordt gezet. Hij dient om de schaduw te vormen die wordt overgebracht op de wijzerplaat om zo de tijd aan te duiden naargelang de onderverdeling die wordt gebruikt op de wijzerplaat of naargelang de lengte van de schaduw.

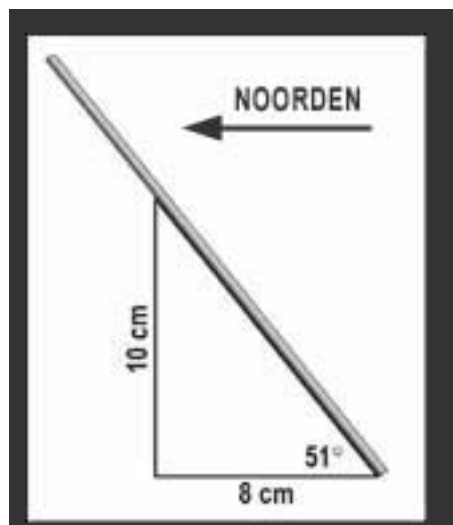


Figuur 5 Horizontale zonnewijzer. Bestaande uit een wijzerplaat en een styl of gnomon

Bron : Leenders (2020)

Ook de oriëntatie kan variëren:

- Wijzerplaat met poolstyl: gnomon parallel met de rotatieas van de aarde.



Figuur 6 Styl van een zonnewijzer ingesteld voor een breedtegraad van 51° graad. Deze zonnewijzer kan gebruikt worden in Vlaanderen.

Bron : Leenders (2020)

- Wijzerplaat met rechte styl: gnomon dat loodrecht staat op de wijzerplaat. Er wordt enkel rekening gehouden met het uiteinde om af te lezen.
- Equatoriale/equinoctiale wijzerplaat: plaat geplaatst op een vlak dat parallel is met dat van de aardevenaar. De styl blijft loodrecht op deze plaat en wordt gericht in het vlak van de lokale meridiaan. Het bijzondere is dat men eerst aan de

ene zijde moet aflezen en dan aan de andere zijde (equinox van lente tot herfst en omgekeerd) (Astrolabium, 2020). Er bestaan ook equatoriale wijzerplaten die in de vorm van een ringvormige band als een stuk hoepel rond de stijl zijn aangebracht. De stijl blijft ook hier loodrecht op het vlak van de hoepel en wordt gericht in het vlak van de lokale meridiaan. De uurlijnen op de band zijn evenwijdig met elkaar en staan op gelijke afstand (Leenders, 2020).



Figuur 7 Equatoriale zonnepijler te Singapore, China

Bron: Coghlan (2008)

3.3 De waterklokken of clepsydras

De waterklok of clepsydra is ontstaan als reactie op de tekortkomingen van de zonnepijler (Mintz, 2007). De zonnepijlers kunnen enkel gebruikt worden indien er zon is.

Waterklokken behoorden tot de eerste tijdsmeters die niet afhankelijk waren van de waarnemingen van hemellichamen (Bellis, 2020). Geschiedkundigen vermoeden dat ze rond 4000 v.Chr. (of zelfs vroeger) zijn uitgevonden. Het oudste bekende exemplaar werd

in Karnak (Egypte) gevonden en is vermoedelijk afkomstig uit 1400 v.Chr. Dat wil zeggen dat de klok circa 3400 jaar oud is (Verveen, 1997).

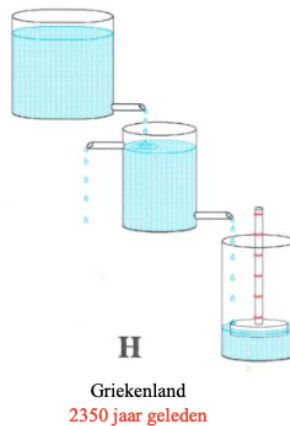
De eerste modellen waren eenvoudig en bestonden uit een vat met onderin een gat. Wetenschappers ontdekten al snel dat de uitstroom van het water afneemt als de waterspiegel daalt. Dit komt omdat de hydrostatische druk, uitgeoefend door de waterkolom, bepaald wordt door het hoogteverschil tussen de waterspiegel en de opening voor de uitstroom van het water. Dat vormde een probleem. Bovendien werden de uren aangegeven door middel van strepen. Die strepen lagen steeds dichterbij elkaar indien gelijke tijdseenheden werden weergegeven. Het aflezen werd bijgevolg steeds moeilijker en onnauwkeurig. Dit struikelblok werd opgelost door het vat naar onder toe te versmallen. Zo ontstond er een afgeknotte kegelvorm (Verveen, 1997).



Figuur 8 Een schematisch voorbeeld van een waterklok waarbij de dalende waterspiegel van het uitstroomvat wordt gemeten

Bron :Verveen (1997)

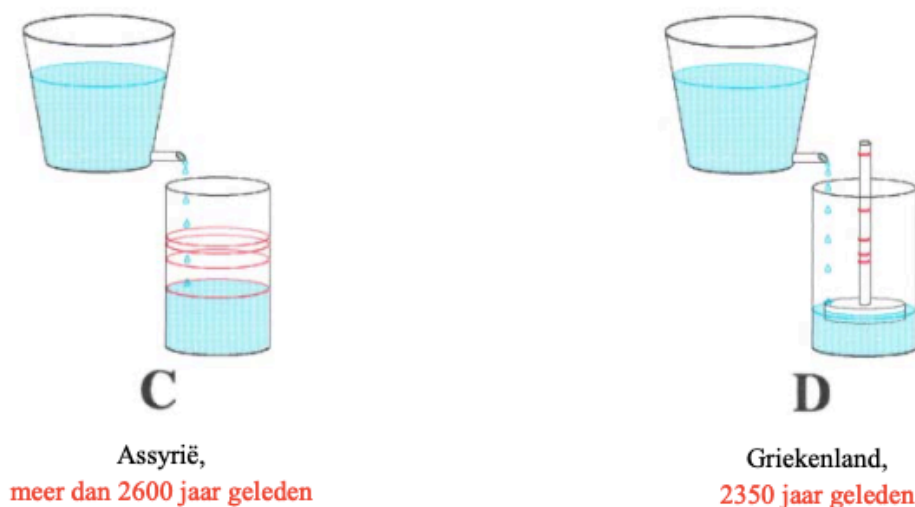
De volgende verbetering die werd aangebracht was het gebruik van een instroomvat. In plaats van de dalende waterspiegel te meten van het uitstroomvat, word de stijgende waterspiegel van het instroomvat gemeten. In dit vat wordt het water uit het uitstroom vat opgevangen. De snelheid van de uitstroom van het water word geregeld door middel van een extra reservoir. Vanuit dit reservoir wordt een overmaat aan water aan het uitstroomvat toegevoegd en wordt het uitstroomvat van een overloop voorzien. Zo kan de hoogte van de waterspiegel en bijgevolg ook de snelheid van de uitstroom bij benadering constant worden gehouden. Deze regeling werd in de 3^e eeuw v.Chr. in Griekenland door Ktesibios (285 v.Chr. - 222 v.Chr.) ontworpen (Verveen, 1997).



Figuur 9 Waterklok met extra reservoir en overloopsysteem dat zorgde voor een bij benadering constante uitstroom.

Bron: Verveen (1997)

Het was ook Ktesibios die de plaatsing van een drijver of vlotter in het instroomvat beschreef (Verveen, 1997). Een drijver of vlotter is een instrument dat op de waterspiegel drijft zodat aflezingen nauwkeuriger verlopen. Deze ontwikkeling zou in de toekomst belangrijk blijken voor het ontwerpen van mechanische klokken.



Figuur 10 Waterklok waarbij de uren op in het instroomvat zijn aangebracht en een waterklok waar een drijver in het instroomvat is geplaatst.

Bron : Verveen (1997)

Waterklokken werden tot ver in de 20^{ste} eeuw gebruikt over heel de wereld. Ze werden door de constante verbeteringen echte pareltjes op mechanisch vlak. Zo gebruikten de Griekse en Romeinse ingenieurs bijvoorbeeld een wijzerplaat en mechanische displays met bewegende deuren en beelden om het uur voor te stellen. Ook de Chinese

ingenieurs hadden hun eigen waterklokontwerpen. Ze bouwden wereldbepaalde waterkloktorens (Lamb, 2009). Deze torens werden onder andere door de Grieken en Romeinen overgenomen. Zo staat er in Athene de 'Toren van de winden', die vandaag de dag een toeristische trekpleister is. De toren bevatte ooit negen zonnewijzers en een grote waterklok. Deze zijn echter verdwenen. Deze toren werd gebouwd door de astronoom Andronikos rond het eind van de tweede eeuw v.Chr. en begin van de eerste eeuw v.Chr. (Cartwright, 2017).



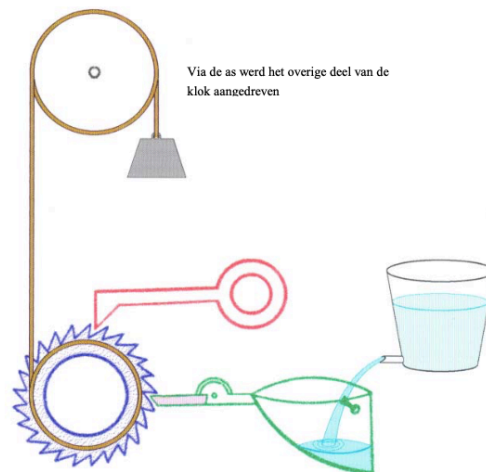
Figuur 11 Toren van de winden, Athene

Bron: Raddato (2017)

Omdat de waterklok eeuwenlang het betrouwbaarste alternatief was voor de zonnewijzers, hebben vele wetenschappers geprobeerd ze te perfectioneren. Dat streven naar perfectie zorgde er echter voor dat de constructie van een waterklok onbegrijpelijk werd: toen in de veertiende eeuw de waterklok in de Marokkaanse stad Fez plots stopte met werken, was niemand nog in staat ze te repareren. Vandaag werkt de waterklok nog steeds niet (Lamb, 2009).

Waterklokken werden dus steeds ingewikkelder. Bij de bouw ervan werden o.a. tandwielen en automaten gebruikt (Welcomme, 1984). Zo werden de voorlopers van de echappementen uitgevonden. Een echappement is het onderdeel dat de drijfkracht van de energiebron (veer of gewicht) in een klok, gedoseerd doorgeeft aan het tandwiel. In

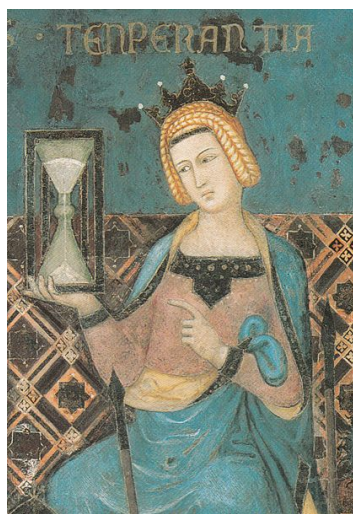
Figuur 12 is zo'n waterklok-'échappement' schematisch weergegeven. Het instroomvat duwt het tandwiel telkens één tand op (en kiept dan leeg). De pal, in Figuur 12 afgebeeld in het rood, verhindert het teruglopen van het tandwiel. Het effect van deze constructie is het creëren van een zaagtandoscillatie, waarbij de periode wordt bepaald door de vulsnelheid van het instroomvat en de weerstand van de bovenste trommel (Verveen, 1997).



Figuur 12 Waterklok –'échappement' naar el-Gazari.

Bron: Verveen (1997)

3.4 De zandloper



Figuur 13 Fresco van Ambrogio Lorenzetti, 1338. Eerste bekende afbeelding van de zandloper

Bron : The Yorck Project (2002)

De oorsprong van de zandloper is onduidelijk. Een fresco uit 1338 (zie Figuur 13) is de eerste bekende afbeelding van een zandloper. Het werk is van de hand van Ambrogio Lorenzetti (1290 – 1348), een Italiaanse kunstschilder, en bevat de personificatie van Temperance, ofwel soberheid.

Bij transoceaan navigatie werd tot eind achttiende eeuw de zandloper gebruikt. (Martínez-Hidalgo, 1992) (May, 1973). De zandloper was in die tijd het meest nauwkeurige instrument om aan boord te gebruiken. Zonnewijzers en waterklokken waren door de bewegingen van het schip onbruikbaar voor tijdsmeting op zee.

De zandloper lijkt zeer goed op zijn voorganger de waterklok (of clepsydra) die reeds in het Nabije Oosten werd gebruikt. Net als de waterklok maakt de zandloper gebruik van een constante stroom, hoewel die nu van zand is (Korotkov, 2008). Hoewel essentieel voor de maritieme navigatie was de zandloper ten opzichte van de waterklokken, geen nauwkeurig instrument. (May, 1973) (Martínez-Hidalgo, 1992)

Zoals reeds uitgelegd in het hoofdstuk over waterklokken is de uitstroom of debiet van het water afhankelijk van de hydrostatische druk. Bij water is het ook een constante stroom. Daarentegen, het debiet van korrelig materiaal wordt niet enkel door de hydrostatische druk bepaald. De grootte en vorm van de korrels ten opzichte van de verbindingsnek van een zandloper spelen ook een grote rol. Het is ook geen uniform debiet en kan, afhankelijk van de vorm en grootte van de korel, sneller of trager stromen (Hüwel, 2018). Daarbij heeft het ontwerp van het zandloperglas een invloed op de nauwkeurigheid. Het is ook afhankelijk van de slijtage van het zandloperglas.

Bovendien konden veel factoren aan boord het debiet van de zandstroom beïnvloeden. Het betreft onder andere de vochtigheid in het glas, de mogelijkheid om het glas in een perfect verticale positie te plaatsen en de versnelling of vertraging van de scheepsbewegingen. In tegenstelling tot de waterklokken was de zandloper ook niet geschikt om grote tijdperiodes te meten (May, 1973) (Martínez-Hidalgo, 1992).

Bij transoceaan navigatie werd vroeger een zandloper gebruikt om de tijd te meten. Het was een even belangrijk instrument aan boord als het kompas. Een maritieme zandloper is gevuld met de hoeveelheid zand die geschikt is voor het meten van 30 minuten (May, 1973) (Martínez-Hidalgo, 1992).

Ook al was de zandloper enkel nauwkeurig voor korte tijdsperiodes, toch werd het toestel algemeen gebruikt om langere periodes te meten. Ook toen de mechanisch klok aan land al in gebruik was. Dat had een duidelijke reden, de oorspronkelijke mechanische klokken werden namelijk zeer ernstig beïnvloed door de beweging van het schip en corrodeerden makkelijk (May, 1973) (Martínez-Hidalgo, 1992).

De zandloper werd niet enkel gebruikt voor navigatie maar ook om het wachstelsysteem en de tijd aan boord duidelijk te maken. Een geleegde zandloper wordt ook wel 'glas' genoemd. Acht glazen, acht keer 30 minuten, stelden een 'wacht' voor (May, 1973) (Martínez-Hidalgo, 1992). Per draai of glas van de zandloper werden een of meerdere slagen op de scheepsbel gegeven. Bij het verstrijken van een uur werden steeds één of meerdere dubbele slagen gegeven. Bij het volgende glas of halfuur werd daar nog een enkele slag aan toegevoegd (de VOCsite, 2020). Ter illustratie:

12:00 uur: 4 dubbele slagen

12:30 uur: 1 enkele slag

13:00 uur: 1 dubbele slag

13:30 uur: 1 dubbele slag en 1 enkele slag

14:00 uur: 2 dubbele slagen

14:30 uur: 2 dubbele slagen en 1 enkele slag

15:00 uur: 3 dubbele slagen

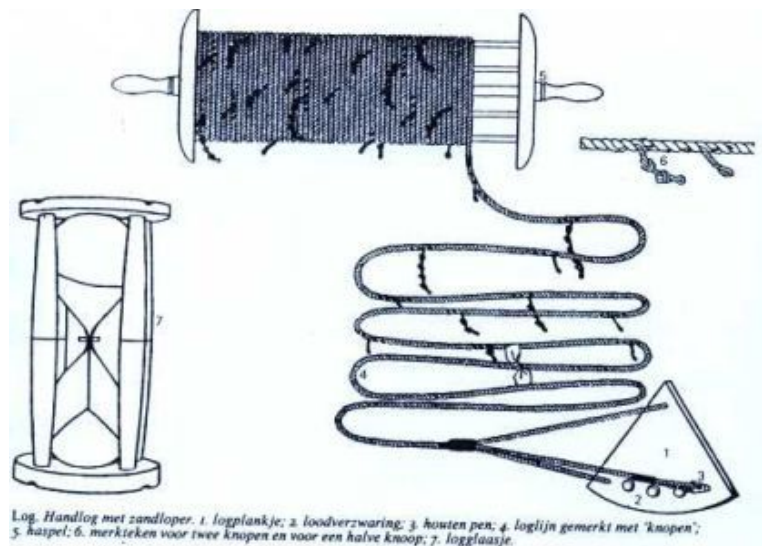
15:30 uur: 3 dubbele slagen en 1 enkele slag

16:00 uur: 4 dubbele slagen

De scheepsnavigator gebruikte zowel de zandlopertijden als zijn logboek (waarin de snelheid opgetekend stond, gemeten met een handlog) om zijn gegist bestek uit te zetten.

Dat handlog maakte ook gebruik van een zandloper. Deze kleinere zandloper, ook wel logglas genoemd, had een looptijd van oorspronkelijk vijftien of 30 seconden. Later werd dit aangepast tot veertien of 28 seconden. Het handlog bestaat uit een driehoekig houten plankje, langs onder aan de bolle zijde met lood verzwaaard, dat aan een lang touw, de loglijn, bevestigd wordt. De loglijn wordt op een haspel opgewonden en in gelijke delen verdeeld door middel van ingesplitste touwtjes, dat zijn touwjes die door het origineel

touw zijn geweven. Voor de ingespliste touwtjes is er een stuk voorloop touw, waar nog geen ingesplitste touwtjes zijn aangebracht. Zo is er wat meer tijd voordat de meting begint. In die ingesplitste touwtjes worden in opgaande orde een aantal knopen gelegd. Om de handlog uit te zetten zijn er drie mensen nodig. De eerste houdt de haspel in de hoogte. De tweede trekt vervolgens de loglijn een stuk uit en zet het logplankje overboord. Door de vaart van het schip begint de loglijn uit te lopen. Eenmaal de voorloop de derde persoon passeert, moet die het handglas, de zandloper, omdraaien. Wanneer de zandloper leeg is, stopt de tweede man de loglijn en leest hij het aantal knopen van het dichtstbijzijnde touwtje af. Zo kan de snelheid van het schip afgelezen worden aan de hand van het aantal knopen. Deze snelheid is echter een benaderde snelheid en relatief tegenover het water (Bogaert, 2020).



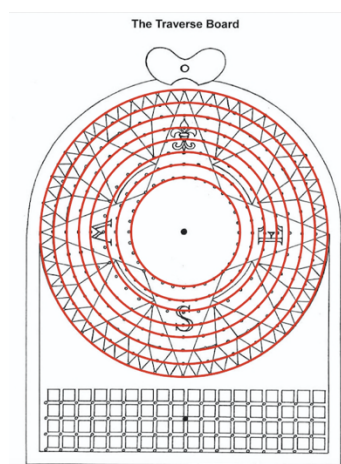
Figuur 14 Handlog met zandloper.

Bron : van Beylen (1985)

Door de snelheid van het schip te vermenigvuldigen met de tijd dat de koers was gehouden (gemeten met de zandloper), krijgt men de afgelegde afstand. Dat is een eenvoudige, algemene methode die 'dead reckoning' of 'gegist bestek', wordt genoemd (May, 1973) (Martínez-Hidalgo, 1992). Het is een methode die zich baseert op de vorige positie.

Een hulpmiddel om deze methode te gebruiken was een 'traverse board', ook wel het penkompas genoemd. Dit instrument was enkel bedoeld om metingen over een bepaalde periode (een wacht) vast te leggen en te onthouden. Uiteindelijk werd het gemiddelde gebruikt voor het bijhouden van het gegist bestek op kaart.

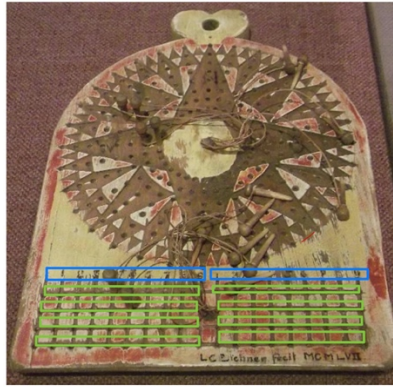
Het penkompas bestaat uit een houten plank waarop een kompasroos met 32 verschillende punten is bevestigd. Vanuit het midden strekken zich acht gaten uit naar elk kompaspunt. Zo zouden er zich acht cirkels met hetzelfde middelpunt moeten vormen. Elk van deze cirkels staat voor een tijdsframe van 30 minuten, samen de vier uur van een wacht. Elke 30 minuten (of glas, gemeten met de zandloper) wordt de koers van het schip gemeten met een kompas. Deze koers wordt vastgelegd door een kleine houten pin in het overeenkomstige gat op de kompasroos te plaatsen. Het eerste half uur wordt de pin in de eerste cirkel vanaf het middelpunt gestoken, het tweede half uur in de tweede cirkel, enz. (The Mariners' Museum and Park, 2020).



Figuur 15 Penkompas waarop de cirkels voor de verschillende glazen in het rood zijn aangeduid

Bron : bewerkt van Cline (1999)

Onderaan de Traverse Board bevinden zich vier horizontale rijen. Elke rij staat voor een half uur of glas. De rijen zijn verdeeld in twee delen, linker- en rechterkant, zodat er in totaal acht rijen zijn, ofwel een volledige wacht. De gaten zijn per kant ook verdeeld in verticale kolommen. Zij geven de snelheid aan. Zo kan men ook per halfuur een houten pin in het gat van de bijhorende snelheid plaatsen. Na de eerste twee uur is de linkerkant vol en gaat men naar de rechterkant of omgekeerd (The Mariners' Museum and Park, 2020).



Figuur 16 Penkompas waarbij de snelheid in het blauw is aangeduid en de verschillende glazen in het groen. Zo is de linker- en rechterkant duidelijk zichtbaar

Bron: The Mariners' Museum and Park (2020)

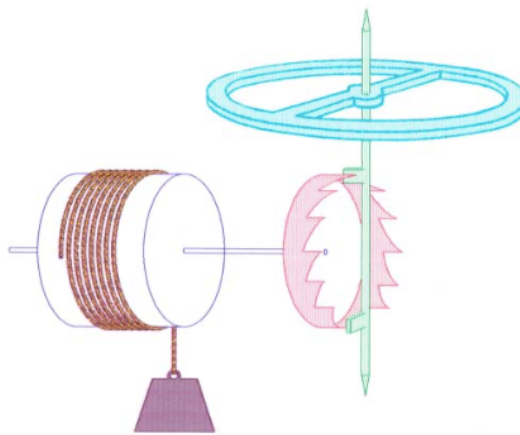
Na de wacht word het volledige bord leeggemaakt. Zo kan de volgende wacht met een leeg bord beginnen (The Mariners' Museum and Park, 2020).

De maritieme zandloper was van cruciaal belang voor de zeevaart tot de tweede helft van de negentiende eeuw.

3.5 De mechanische klokken

Aan het eind van de middeleeuwen deden mechanische klokken hun intrede, om alle voorgaande systemen voorgoed te vervangen (IsGeschiedenis, 2020). Het is niet exact geweten door wie en hoe de overgang van de waterklok naar de mechanische klok is verlopen. Volgens onze huidige kennis gebeurde dit in het begin van de dertiende eeuw (Welcomme, 1984). Er wordt over die overgang wel het volgende verondersteld: de beslissende stap van waterklok naar mechanische klok werd gezet toen de vlotter van de waterklok door een gewicht werd vervangen en een regelingssysteem aangebracht werd. Dat deze uitvinding door monniken ontwikkeld werd, zou verklaren waarom we niet weten wie verantwoordelijk is voor deze vernieuwing (Welcomme, 1984). De vlotter kon echter niet zomaar door een gewicht vervangen worden. Wanneer je een gewicht toevoegt, is de valsnelheid namelijk niet constant. Daarom was een regelingssysteem nodig, het echappement (Verveen, 1997). Het echappement (zie Figuur 17) bevat o.a. een spillegang (groen), ofwel twee tanden die elk op de tegenover elkaar staande tanden of lepels van het tandwiel (rood) inwerken. Dat tandwiel wordt aangedreven door het

gewicht. Het balanswiel (blauw) zorgt vervolgens voor het beurtelings aangrijpen van de lepels op het tandwiel. Per volledige oscillatie, heen en weer dus, loopt het tandwiel telkens één tand verder rond. Het gewicht dat met een koord om de trommel (paars) is gewonden, duwt beurtelings een lepel van de spillegang aan. Omdat daardoor de roterende beweging van het balanswiel eerst wordt afgeremd en vervolgens in een rotatie in tegengestelde richting verandert, wordt de val omlaag van het gewicht afgeremd en omgezet in een eenparige beweging omlaag. Het balanswiel slingert daardoor heen en weer (Verveen, 1997).

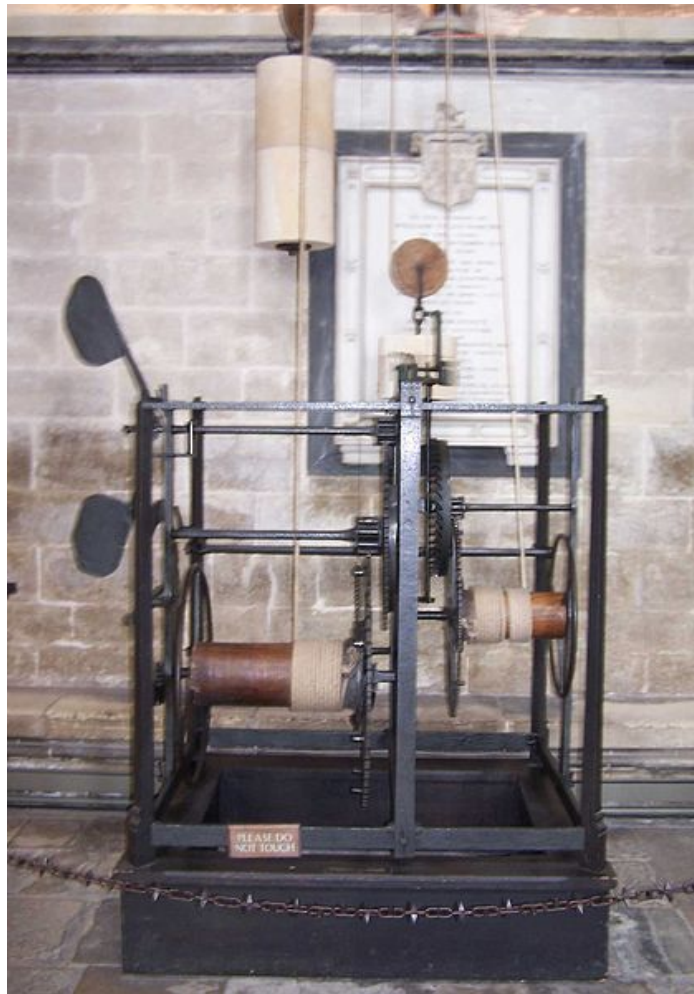


Figuur 17 Basisstructuur van het echappement

Bron: Verveen (1997)

De eerste klokken konden dus enkel de uren slaan, veroorzaakt door het heen en weer bewegen van het balanswiel. Ze waren echter onnauwkeurig. De reden daarvoor is niet ver te zoeken: de smid die de klokken maakte, moest alles met de hand uitvlijen en kon zo geen absolute nauwkeurigheid waarborgen (IsGeschiedenis, 2020). Het oudste nog werkende mechanische uurwerk ter wereld is in of voor 1386 gebouwd en hangt in de kathedraal van Salisbury (Verenigd Koninkrijk). Geschiedkundigen vermoeden dat dit uurwerk gebouwd is door drie horlogemakers uit Delft die naar Engeland zijn afgezakt. Zoals gebruikelijk in deze periode heeft het uurwerk geen wijzerplaat en is hij alleen ontworpen om de uren te slaan door een klok die in de toren hangt (Salisbury Cathedral, 2020). De mechanische klok verving aldus het draaien van de zandloper. Het was niet langer nodig om de glazen zelf te slaan, het uurwerk deed dit automatisch. De uurwerken

waren echter zo groot dat ze aan boord niet konden worden gebruikt, maar het principe (het slaan van de uren of glazen) bleef wel behouden.



Figuur 18 Middeleeuws uurwerk in de kathedraal van Salisbury, stuurt de klok in de toren aan. Vermoedelijk daterend uit circa 1386, gerestaureerd in 1956.

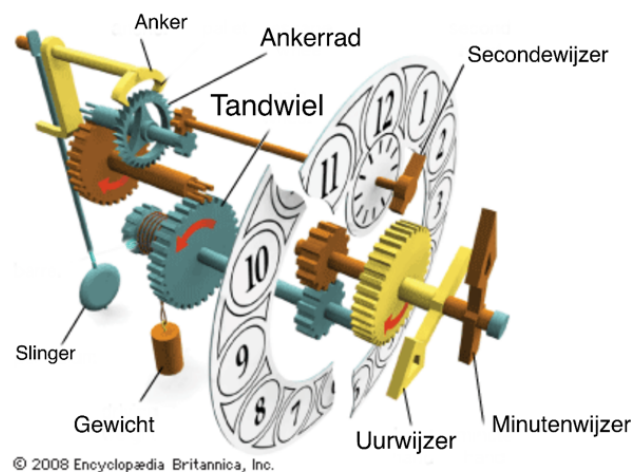
Bron : Hopwood(2005)

Door de jaren heen werden nog meer verbeteringen aangebracht aan het mechanische uurwerk. De klokken kregen bijvoorbeeld een wijzerplaat met maar één wijzer omdat ze niet nauwkeurig genoeg waren voor de toevoeging van een minutenwijzer. Ze werden ook kleiner waardoor ze verschenen in rijkere huishoudens in plaats van enkel in klokkentorens. De nieuwere klokken waren dus aanzienlijk kleiner dan hun voorgangers in klokkentorens maar duidelijk van betere kwaliteit. Ze werden nog steeds uit ijzer vervaardigd (Welcomme, 1984).

Een volgende stap in de evolutie is de vervanging van het gewicht in het uurwerk door het ontspannen van een elastische, in spiraal gerolde metalen veer. Hierdoor verkleinde het

volume en het gewicht van de klok. Daardoor werden de klokken draagbaar (Welcomme, 1984).

In de zeventiende eeuw bracht Christiaan Huygens (14 april 1629 – 8 juli 1695) een uiterst belangrijke mechanische verbetering aan. Vanaf 1657 gebruikt hij een slinger voor de regeling van het uurwerk, wat als gevolg heeft dat het heel wat nauwkeuriger wordt (Welcomme, 1984). Het slingeruurwerk is veel nauwkeuriger omdat het een zelfstandig oscillerend systeem is. De slingerbeweging wordt uitsluitend door de eigenschappen (lengte en gewicht) van de slinger bepaald en niet door water, een gewicht of een veer (Verveen, 1997). Het slingeruurwerk is één van Huygens' belangrijkste uitvindingen. Hoe de vernieuwing tot stand gekomen is? Voor de bestudering van de hemellichamen had Huygens een betrouwbare tijdwaarneming nodig. Hij besloot zelf een uurwerk te ontwerpen en baseerde zich hiervoor op het werk van Galilei (15 februari 1564 – 8 januari 1642). Die ontdekte dat de zwaaiperiode van een slinger vrijwel altijd gelijk is, ongeacht de hoek van de slinger. Door de wiegende slinger te verbinden met het uurwerk en het geheel te voorzien van een hangend gewicht (dat potentiële energie had door de vallende beweging) blijft het geheel op eigen kracht lopen. Het slingeruurwerk was voor lange tijd de meest nauwkeurige klok die er was (IsGeschiedenis, 2020).



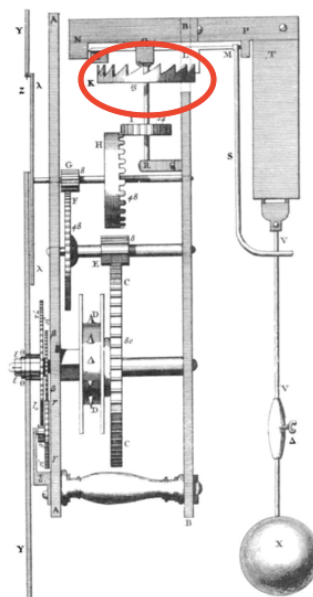
Figuur 19 Schematische voorstelling van een slingeruurwerk.

Bron: bewerkt van Encyclopedia Britannica (2008)

De werking van een slingerklok is best simpel. Een gewicht drijft de klok aan door geleidelijk naar beneden te vallen. Bij deze beweging wordt potentiële energie omgezet in kinetische energie. De klok moet regelmatig worden opgewonden om te blijven

werken; het gewicht wordt hierbij opnieuw naar boven gebracht waardoor de potentiële energie toeneemt. Het mechanisme van de klok gebruikt de kinetische energie van het vallende gewicht om de slinger de juiste frequentie te geven bij een constante amplitudo. De eenparig bewegende slinger wordt vervolgens gekoppeld aan de rest van het uurwerk via het echappement die de energie gedoseerd doorgeeft aan de klok. Doordat de slinger van de klok eenparig beweegt kan de tijd correct worden gemeten en weergegeven. De snelheid van de klok wordt bepaald door het slingergewicht en de lengte van de slinger (Koekoeksklok online, 2020).

De eerste slingerklokken hadden brede slingerschommelingen tot 100° vanwege het gebruik van de spillegang. Huygens toonde echter aan dat hoe breder de slingerschommelingen zijn, hoe onnauwkeuriger de klok is. Daardoor gingen klokkenmakers op zoek naar een manier om de slingerschommeling zo klein mogelijk te houden (The clock depot, 2010).



Figuur 20 Tweede slingeruurwerk gebouwd in 1763 door Christiaan Huygens. De spillengang is aangeduid in het rood.

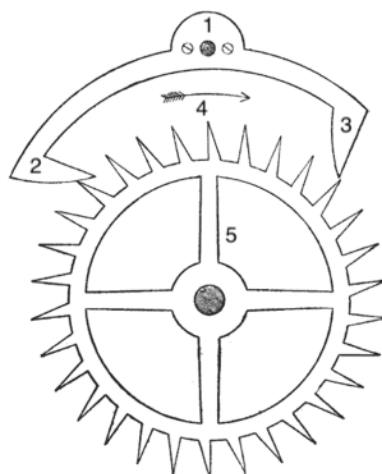
Bron: bewerkt uit Horologium Oscillatorium door Huygens in 1673

In 1670 werd de ankerang (zie Figuur 21) uitgevonden. Dit systeem verminderde de slingerschommeling van 100 graden tot vier à zes graden. Naast een grotere nauwkeurigheid zorgt dit er ook voor dat de kast waarin de klok hangt smaller wordt. Ook kunnen de kasten en slingers hierdoor langer gemaakt worden, waardoor de slinger

langzamer heen en weer beweegt. Omdat er minder energie nodig is om de slinger in beweging te houden, neemt de slijtage af (The clock depot, 2010).

De ankerang op Figuur 21 bestaat uit het ankerrad (5) en het anker (1) dat bevestigd is aan de horizontale ankeras. Aan het einde van de ankeras bevindt zich de drijver die de slinger aandrijft. De tanden van het ankerrad stuiten bij elke tik tegen één van de ankerbekken; op Figuur 21 is nummer 2 de ingangsbek en nummer 3 de uitgangsbek.

Door de vorm van de tanden en de ankerbekken duwt de tand de bek omhoog en brengt die hem zo in beweging. Dat wordt de heffing of impuls genoemd. Het gedeelte van de ankerbek dat daadwerkelijk de heffing veroorzaakt, heet het heffingsvlak of impulsvlak. De richting van het ankerrad wordt aangegeven door nummer 4. Net zoals bij de spillegang, veroorzaakte het doorslingeren van de slinger bij elke tik een terugwerking van het rad (Klokkenlexicon, 2017).



Figuur 21 Tekening van een anker echappement of ankerang

Bron: bewerkt uit Abbott's American Watchmaker and Jeweller, George Hazlitt & Co, 1898

De secondenslinger, ook wel de Royal slinger genoemd, is exact 39,37 inch, ongeveer één meter lang. Elke slingerschommeling duurt bijgevolg exact één seconde. Door deze ontdekking werden de klokken nog exacter en werd in 1690 de minutenwijzer toegevoegd (The clock depot, 2010).

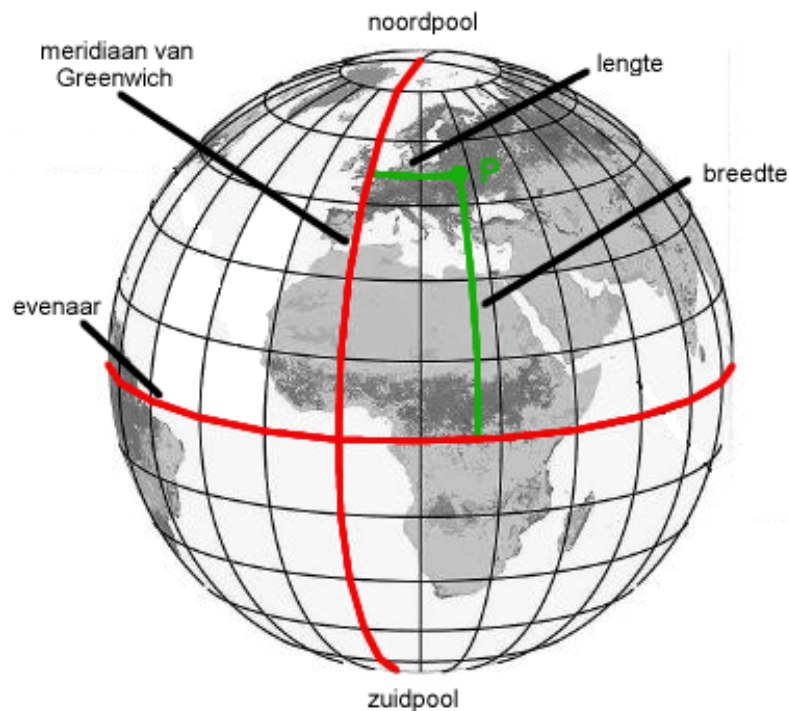
4 Tijdsmeting aan boord

4.1 Het belang van tijd voor plaatsbepaling

De eerste zeelieden waren kustpiloten die de kustlijn volgde om hun weg te vinden. Ze gebruikte kaarten en bekende oriëntatiepunten als navigatiehulpmiddelen. Daarbij gebruikten ze het loodlijn om dieptemetingen te verkrijgen. Bovendien hadden ze enkele eenvoudige hulpmiddelen om afstand te meten zodat ze veilig door binnen- en kustwateren konden navigeren (Weems & Plath, 2020). Indien dat onmogelijk was keken de eerste zeelieden naar sterrenbeelden om hun positie te markeren. Ze maakten gebruik van gekende en dus veilige routes die aangegeven waren door oriëntatiepunten of sterrenbeelden. Een Minoïsche beschaving, die van 3000 tot 1100 v.Chr. op het Midderraan eiland Kreta woonde, lieten bijvoorbeeld gegevens na over het gebruik van de sterren om te navigeren (Rutledge, et al., 2011).

Deze zeelieden beperkten zich tot het vinden van de juiste richting en het inschatten van de afgelegde route. Om ongeveer te kunnen inschatten waar het schip zich bevond, werd onder andere gebruik gemaakt van de ‘Dead Reckoning’ of ‘gegist bestek’ methode. Deze methode is gebaseerd op de vorige positie om de huidige positie te vinden. De methode maakt gebruik van de snelheid, tijd en koersrichting van het schip. Zeelieden konden deze methode toepassen met minder nauwkeurige instrumenten zoals de zandloper (zie 3.4). De methode houdt echter geen rekening met windsnelheden of zeestromen. Het enige referentiepunt voor de gegiste huidige positie is de vorige positie. Dat kan ervoor zorgen dat een fout te laat wordt opgemerkt. (Royal Museums Greenwich, 2020). Het is zeker geen goede methode voor lange reizen.

De schepen werden steeds veiliger wat de zeelieden toeliet om deze lange reizen over de oceanen wel te maken. Om lange reizen te maken werd het belang van exacte plaatsbepaling duidelijk, zowel voor de navigatie als het optekenen van nieuwe routes en gebieden werd plaatsbepaling van groot belang (Van Cleempoel, 2004).



Figuur 22 Plaatsbepaling op het aardoppervlak

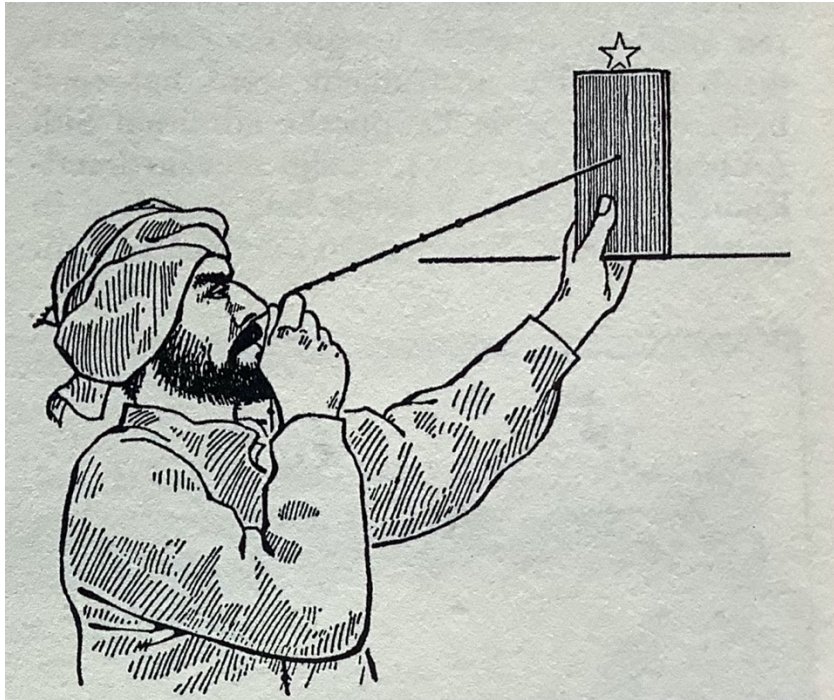
Bron : Volkssterrenwacht Urania, 2021

4.1.1 Breedtegraad

Vanouds werd de breedtegraad door zeelieden bepaald door de hoogte van hemellichamen te meten. De afstand in graden tot de evenaar, gemeten langs een meridiaan, is namelijk gelijk aan de hoek van de Poolster met de horizon (Scheurs, 2021). Voor het meten van de hoogte van hemellichamen werden instrumenten gebruikt die gebaseerd zijn op het principe van een gegradueerde cirkel waarboven men een liniaal of touw laat bewegen (Van Cleempoel, 2004).

Eén van de eerste instrumenten die werd gebruikt om de hoogte te meten is de kamal, een Arabisch instrument. De kamal bestaat uit één of meer plankjes met een doorboord middelpunt waardoor een koord is geregen. Met dit koord tussen de tanden geklemd of tegen het aangezicht gehouden peilt de waarnemer het hemelobject langs de bovenkant van het bordje en de horizon langs de onderkant. Het gebruikte plankje en de stand langs het koord zijn dan een maat voor de hoogte (Van Beylen, et al., 1971). Het instrument

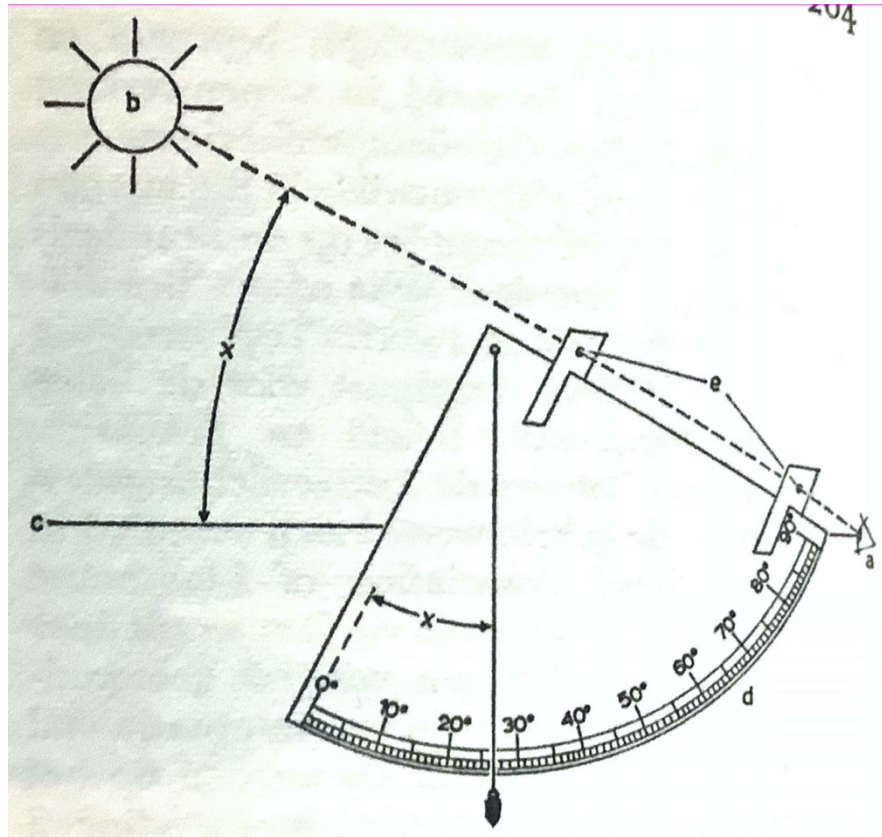
wordt vernoemd in de vroege zestiende-eeuwse Portugese nautische traktaten, maar was reeds lang voordien in gebruik in het Oosten (Van Cleempoel, 2004).



Figuur 23 Gebruik van de Kamal

Bron : uit de Maritieme Encyclopedie door Van Beylen, et al, 1971

Het kwadrant is gebaseerd op het principe van de kamal en werd gebruikt voor het meten van de hoogte van de Poolster ten opzichte van de horizon (Van Cleempoel, 2004). Het bestaat uit een cirkelboog van 90° . Van de hoek van het segment uit hangt een met lood verzwaarde draad die tot over de graadverdeling reikt. Bij het uitvoeren van een observatie geeft de draad de gemeten hoek aan (Van Beylen, et al., 1971).



Figuur 24 Kwadrant a) waarnemer b) hemelobject c) horizon d) gradenschaal e) vizieren

Bron : uit de Maritieme Encyclopedie door Van Beylen, et al, 1971

Met het kwadrant werd niet de breedtegraad berekend, maar de hoogte tegenover de horizon van hemellichamen. Deze methode bleek te willekeurig. Daarom werd een accuratere methode uitgewerkt. Tabellen werden opgesteld die bestonden uit twee metingen vanop een vaste plaats. De eerste meting was de hoogte van de Poolster doorheen het jaar en de tweede meting was de afstand in hoogte tussen de Poolster en de sterren in het sterrenbeeld Grote Beer. De tabellen diende als referentie voor de metingen die op zee werden uitgevoerd. Door de marge tussen de metingen op zee en op land, kon ongeveer ingeschat worden op welke hoogte de meting werd uitgevoerd (Van Cleempoel, 2004).

Dankzij deze methodes werden er veel metingen genomen van de Poolster en van de positie van de Poolster tegenover andere sterren, zoals bijvoorbeeld Merak en Dubhne. Deze twee sterren maken deel uit van het sterrenbeeld Grote Beer. Door deze metingen kon men op het einde van de vijftiende eeuw het nocturlabium (zie 4.3) verder ontwikkelen

4.1.2 Lengtegraad

Wie verder kon varen had grotere rijkdommen dus het vinden naar een oplossing om de lengtegraad op zee te kunnen bepalen, was voor vele naties belangrijk. Politieke en commerciële leiders waren dan ook bereid om grote rijkdommen te schenken aan de persoon die het probleem van de lengtegraad kon oplossen. Zodat de winst vergrootte en het verlies aan levens verminderde. (Royal Museums Greenwich, 2020)

Lengtegraad is de afstand Oost of West gemeten vanaf de meridiaan van Greenwich. Het loopt van 0° Oost/West tot 180° Oost/West aan de andere kant van de aardbol. Zolang er geen internationale overeenstemming over bestond, konden lengtes worden gemeten vanaf een zelfgekozen referentiemeridiaan of -punt. Verschillende kaarten gebruikten een ander referentiepunt zoals Londen of Parijs.

De mogelijkheid om naast de breedtegraad ook de lengtegraad te bepalen, zorgt ervoor dat te allen tijden de exacte positie kan bepaald worden. Dat betekent dat schepen sneller en rechtstreeks naar hun bestemming kunnen varen. Deze voordelen waren van commercieel en strategisch belang. Bovendien zorgde het in het verleden voor minder criminaliteit op zee omdat schepen niet meer de bekende en veilige routes moesten volgen waar vaak piraten aan het werk waren (Royal Museums Greenwich, 2020).

Er zijn verschillende oplossingen gevonden voor het vinden van de lengtegraad.

Tijdmeting was de eenvoudigste oplossing. Als je het tijdsverschil kunt bepalen tussen de lokale tijd op het observatiepunt en de lokale tijd op een referentiepunt, kan je bepalen hoe ver Oost of West je van dit referentiepunt bevindt. Omdat één uur tijdsverschil gelijk is aan 15°. De oplossing is dus een nauwkeurige klok aan boord plaatsen die de tijd op het referentiepunt (Greenwich) bijhoudt (Royal Museums Greenwich, 2014). Maar dit bleek makkelijker gezegd dan gedaan. Het principe om de lengtegraad te bepalen was er, maar de instrumenten waren niet nauwkeurig genoeg tot en met de scheepschronometer door Harrison ontwikkeld werd.

4.1.2.1 Het bepalen van de lengte vóór Harrison (chronometer)

4.1.2.1.1 Signalering volgens de methode van Whiston

Een methode die geen gebruik maakt van tijdsverschil is signalering. Deze methode werd voorgesteld door de wiskundige William Whiston (19 december 1667 – 22 augustus 1752). In theorie is het een simpele methode: lichtsignalen worden afgevuurd vanaf referentieschepen op vaste locaties in de oceanen. Zeelieden konden vervolgens hun afstand tot het referentieschip bepalen op basis van het verschil tussen licht- en geluidssnelheid. De richting kan bepaald worden met een kompas (Royal Museums Greenwich, 2014). In praktijk is deze methode onpraktisch want de referentieschepen zouden door duizenden zeelieden moeten bemand worden. Het is dan ook een dure methode en helemaal niet waterdicht.

4.1.2.1.2 Magnetisch aardveld

Edmond Halley (8 november 1656 - 25 januari 1742), dezelfde man die Harisson benaderde met de plannen voor zijn H1 (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**), suggereerde om gebruik te maken van het magnetische veld van de aarde. Hij stelde voor om de oost- of west-positie te bepalen door middel van de variaties van dat magnetische veld. Het verschil tussen het geografische noorden en het magnetische noorden varieert zodat een patroon over de hele wereld kan worden uitgezet. In theorie klinkt dit een aannemelijke methode maar onderzoek heeft aangetoond dat het magnetische veld van de aarde niet statisch is en verandert met de tijd. Dat maakt deze methode niet betrouwbaar en duurzaam. (Royal Museums Greenwich, 2014)

4.1.2.1.3 De manen van Jupiter

Deze methode werd voorgesteld door Galileo Galilei (15 februari 1564 – 8 januari 1642) nadat hij vier manen van Jupiter had ontdekt in 1610. Vandaag zijn er negen manen van Jupiter gekend, maar de vijf later ontdekte manen zijn veel kleiner en er is dus een sterkere telescoop nodig dan toen gekend was, om ze te kunnen waarnemen (Gould,

1923). Deze manen cirkelen rond Jupiter en worden daardoor frequent verduisterd door Jupiter. Ze bewegen ook op een voorspelbare manier waardoor de tijdstippen van de verduistering nauwkeurig en ver in de toekomst kunnen worden berekend (Royal Museums Greenwich, 2014). Er worden dus tabellen opgesteld voor bepaalde referentiepunten waarin de berekende tijd van de verduistering kan worden teruggevonden. Daarbij zijn de verduisteringen gelijktijdig waarneembaar ongeacht van de positie op aarde (Wepster, 2000).

Indien de verduistering van één van de manen van Jupiter wordt waargenomen en de lokale ware tijd is gekend, kan deze worden vergeleken met de berekende tijd van de verduistering voor een bepaalde referentie locatie, bijvoorbeeld Greenwich. Door het verschil tussen deze twee tijden te vermenigvuldigen met 360° en daarna te delen door 24 uur, kan de positie oost/west van de referentie locatie berekend worden (Gould, 1923).

Deze methode is echter niet geschikt voor gebruik op zee want er is een sterrenkijker (met een vergroting van ongeveer $50\times$) nodig om de manen te zien, en zo'n kijker heeft maar een smal blikveld, waardoor op het dek van een bewegend schip de waarneming onuitvoerbaar is (Wepster, 2000). Maar op land is dat geen probleem. Een tweede moeilijkheid is dat een verduistering geen onmiddellijke gebeurtenis is. Er gaan enkele seconden en zelf minuten over. Hierdoor heeft elke verandering in de atmosfeer invloed op de lokale ware tijd dat de verduistering zichtbaar is. Ten laatste is het moeilijk om Jupiter waar te nemen, omdat ze zich in de richting van de zon bevindt (Gould, 1923).

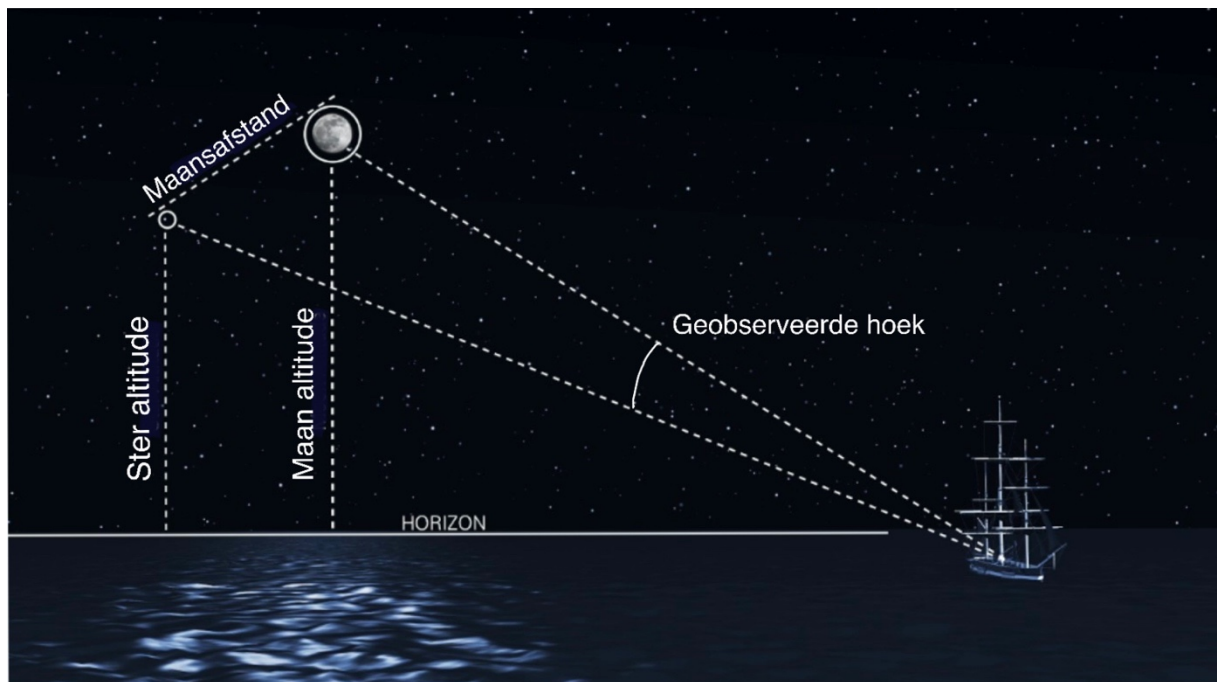
4.1.2.1.4 Lunar distances (maansafstanden)

Lengtegraad kan bepaald worden door middel van de maansafstanden methode. De lengtegraad wordt berekend op basis van de positie van de maan ten opzichte van een ander hemellichaam. De maan is ook een hemelklok, maar de beweging van de maan is gecompliceerd en volgt een patroon dat zich maar om de achttien jaar herhaalt. Daardoor zijn lange en moeilijke berekeningen nodig en moeten de waarnemingen extra nauwkeurig zijn. Daarbij is het ook nodig om meerdere waarnemingen uit te voeren (Royal Museums Greenwich, 2014). Het is een tijdrovende en mathematische moeilijke methode.

Al in de vijftiende eeuw had de Duitse astronoom Johannes Muller (6 juni 1436 – 6 juli 1476) het over de relatieve beweging van de maan ten opzichte van de sterren die in vaste positie blijven (de Wit, 1987). Maar in 1713 verklaarde Newton dat door middel van deze methode een positie tot twee of drie graden kon worden berekend. Deze nauwkeurigheid was op dat moment niet beter dan de nauwkeurigheid van de ‘gegist bestek’ methode. Pas in 1763 werd de ‘maansafstand’ methode algemeen in gebruik genomen nadat astronoom Maskelyne in zijn boek ‘The British Mariner’s Guide’ deze methode uitgebreid beschreef en de nodige tabellen voorzag (Gould, 1923).

De methode van de maansafstanden was helemaal niet slecht en met de tabellen van Maskelyne, nauwkeurig. Zo werd de methode van de maansafstanden getest op dezelfde reis in 1760 als Harrisons chronometer H4, deze bleek na een reis van 5000 nautisch mijl maar 10 mijl fout te zijn, terwijl de methode van de ‘maansafstanden’ een fout gaf van 30 mijl. Toch werd de methode van de maansafstanden tot ver in de negentiende eeuw gebruikt. Nochtans had Harrison al bewezen dat zijn scheepschronometer nauwkeuriger was (Umland, 2004). ‘The Board of Longitude’ was een voorstander van de gekende astronomische methodes omdat de scheepschronometer een nieuwe techniek was en dus nog volop moest getest worden (Royal Museums Greenwich, 2021). Daarbij was de scheepschronometer nog te duur om op elke reis te worden gebruikt (Umland, 2004). Tot 1906 werden in de Nautical Almanac tabellen gepubliceerd om de lengtegraad te vinden door middel van de methode van de ‘maansafstand’ (Umland, 2004). Na 1906 werden ze niet meer opgenomen in de Nautical Almanac, maar tot 1919 werd wel nog de methode om maansafstanden te bereken en correct te voorspellen in bijlage toegevoegd. Vandaag de dag worden de tabellen van de maansafstanden gepubliceerd door enkele geïnteresseerden, bestaande uit astronomen en gespecialiseerde instellingen (Brunner, 2005) (Stark, 2010) (Romelczyk, 2019).

Om deze methode toe te passen heb je twee zaken nodig: een sextant en de nodige tabellen van de berekende maansafstanden voor bekende intervallen van de Greenwich gemiddelde tijd (Brunner, 2005). Een sextant is een optisch instrument om een hoek (verticaal of horizontaal) te meten (De Deyne, 2017).



Figuur 25 Schematische voorstelling van de maansafstand.

Bron: Bewerkt van Science Museum (2018)

De methode is gebaseerd op het verschil in schijnbare beweging tussen de maan en de sterren (Umland, 2004). Het verschil zorgt ervoor dat de geobserveerde hoek tussen de maan en de hemellichamen, de hoekafstand, duidelijk verandert van het ene uur op het andere. De vergelijking van de gemeten hoekafstand met de berekende maansafstand uit de tabellen kan dus worden gebruikt om de Greenwich gemiddelde tijd op het moment van de waarneming vast te stellen. Deze tijd moet dan worden vergeleken met de lokale gemiddelde tijd op het moment van de waarneming (Raper, 1908).

Uiteindelijk zijn vandaag de dag de meeste methodes nog altijd gebaseerd op tijdsverschil om de lengtegraad te bepalen. Ook digitale methodes zijn nog steeds op dit principe gebaseerd.

4.2 Astronomische tijdsmeting

De tijd kan gemeten worden met behulp van astronomische observaties van zon, maan, planeten en sterren. Zoals reeds uitgelegd in 4.1.2 is tijdsmeting cruciaal voor het bepalen van de lengtegraad op zee. Als de tijd kan gemeten worden aan boord, kan de positie

worden bepaald.

Voordeel van astronomische observaties is, dat als ze zich ver genoeg van de aarde afspelen de observaties onafhankelijk worden van de beweging van de aarde op de ecliptica. De wetenschapper die baanbrekend werk verrichtte door jarenlang positie- en tijdsgegevens van de planeten bij te houden was de Deense astronoom Tycho Brahe (Eggen, Tycho Brahe, 2021)

Het bekendste instrument dat gebruik maakt van hemellichamen om tijd te meten is de zonnewijzer (zie 3.2). Twee andere belangrijke astronomische methodes voor tijdsbepaling daterend uit de zeventiende eeuw zijn enerzijds de methode gebaseerd op het waarnemen van verduistering van de manen van Jupiter (zie 4.1.2.1.3) en anderzijds de techniek van de maansafstanden (Lunar Distances) (zie 4.1.2.1.4) (Wepster, 2000).

Reeds in de vijftiende eeuw werd er gebruik gemaakt van het nachtelijke equivalent van een zonnewijzer, het nocturlabium (Egler, 2006).

4.2.1 Hemelbewegingen

4.2.1.1 Aardrotatie en aardrevolutie

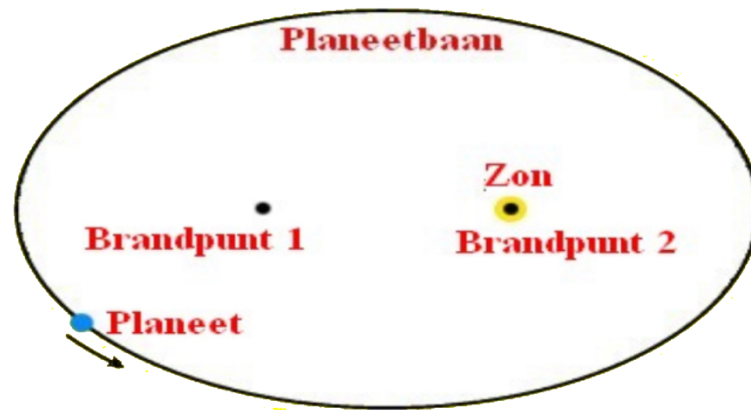
Copernicus ontdekte dat de aarde rond zichzelf draait en tegelijkertijd rond de zon draait op een ellipsvormige baan. De eerste beweging noemen we de aardrotatie en de tweede de aardrevolutie (De Baere & Uten, 2021).

De aardrotatie is voltooid na 24 uur. De zin van de beweging is van west naar oost (Schreurs, Astronomie (beweging van de aarde), 2021).

De aardrevolutie werd door Kepler beschreven aan de hand van drie wetten.

De eerste wet van Kepler zegt dat alle planeten zich rond de zon bewegen in elliptische banen, waarbij de zon zich in één van de brandpunten van de ellips bevindt. Uit de eigenschappen van een ellips volgt dat de som van de afstanden van de planeet naar beide brandpunten overal op de ellips gelijk is (Schreurs, Astronomie (beweging van de aarde), 2021).

Eerste wet

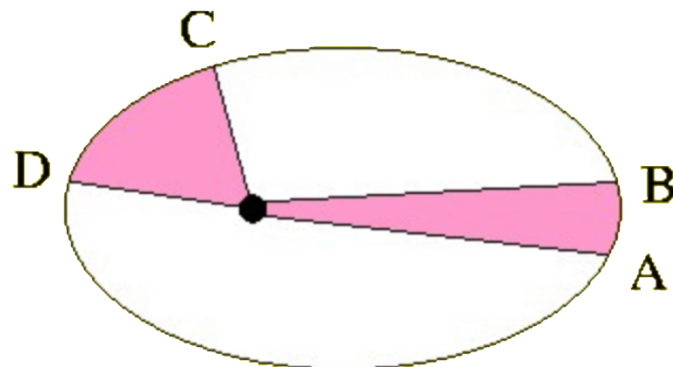


Figuur 26 Eerste wet van Kepler

Bron: bewerkt van Schreurs, 2021

De tweede wet bewijst de snelheidsverandering van de aarde afhankelijk van zijn plaats op de ellips. De snelheid van een planeet in haar omloopbaan verandert zodanig dat in gelijke tijdsintervallen de oppervlakte, bestreken door de rechte lijn (voerstraal) tussen de zon en de planeet, gelijk is. De voerstraal beschrijft dus in gelijke tijdsintervallen, gelijke oppervlakken. In Figuur 27 is de gemiddelde snelheid van de planeet in het interval AB dus kleiner dan in het interval CD. Dit toont eveneens aan dat de grootte van de omloopsnelheid van een planeet niet constant is (Schreurs, *Astronomie (beweging van de aarde)*, 2021).

Tweede wet



Figuur 27 Tweede wet van Kepler

Bron : bewerkt van Schreurs, 2021

De derde wet zegt dat het kwadraat van de omlooptijd (T) van een planeet evenredig is met de derde macht van haar gemiddelde afstand (r) tot de zon (Schreurs, Astronomie (beweging van de aarde), 2021).

4.2.1.2 Circumpolair

Omdat de aarde om haar as wentelt lijken alle sterren en sterrenbeelden cirkelvormige banen aan de hemel te beschrijven, net zoals de zon en de maan dat doen. Deze cirkelvormige beweging duurt even lang als een sterrendag (zie 2.3.2). De sterren komen in het oosten op en gaan onder in het westen.

Circumpolaire sterren zijn sterren die een volledige cirkelvormige baan beschrijven rond de hemelpolen (Schreurs, Astronomie (beweging van de aarde), 2021).



Figuur 28 Cirkelvormige banen van de sterren rond de noordelijke hemelpool

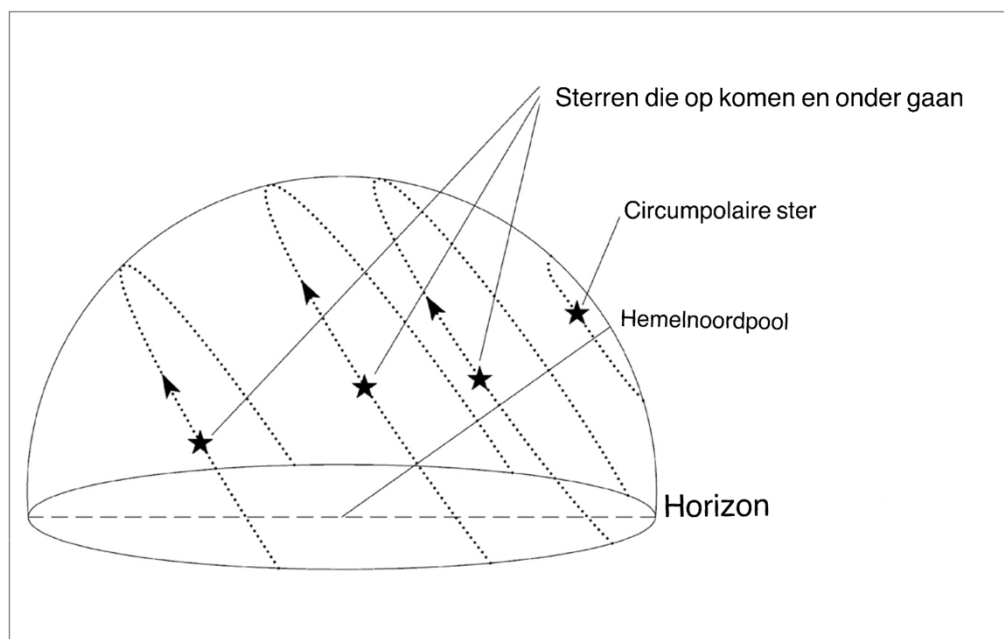
Bron :bewerkt uit Sky&Telescope, the Essential Magazine of Astronomie

Op het noordelijk halfrond is de aardas nagenoeg gericht op de Poolster, dus zullen de sterren die daar in de buurt staan nooit ondergaan of opkomen. Er zijn sterren die geen volledige cirkel beschrijven. Deze komen wel op en gaan onder (Schreurs, Sterrenbeelden (deel 2), 2021). Op het zuidelijk halfrond staat er geen herkenbare ster in de hemelpool,

maar ook daar heb je sterren die een gedeeltelijke of volledige cirkelvormige baan beschrijven rond de zuidelijke hemelpool (Kuuke, 2015).

Alle sterren die je vanaf de Noordpool en Zuidpool kan zien zijn circumpolair. Aan de evenaar is er geen enkele circumpolaire ster. Met andere woorden, op de evenaar gaan alle sterren onder en komen ze terug op (Kuuke, 2015). Of een ster circumpolair is voor een waarnemer hangt dus af van de waarnemer zijn positie op aarde.

Door middel van de breedtegraad waarop de waarnemer zicht bevindt en de declinatie van de ster kan berekend worden of een ster circumpolair is of niet voor die positie. Door de breedtegraad af te trekken van 90° komt men de gecomplementeerde hoek van de lengtegraad uit, de colatitude. Deze moet worden vergeleken met de declinatie van de ster. Indien de declinatie van de ster groter of gelijk is dan de colatitude, is de ster circumpolair (Schreurs, Sterrenbeelden (deel 2), 2021).



Figuur 29 Circumpolaire sterren op het noordelijk halfrond

Bron : bewerkt van Math Stack Exchange

De precessie beweging heeft ook invloed op de circumpolariteit van de sterren, omdat door de precessie de declinatie van de sterren verandert (Schreurs, Sterrenbeelden (deel 2), 2021).

4.2.2 Precessie en nutatie van de aardas

4.2.2.1 Precessie beweging

De aarde draait om haar eigen as, maar de richting waarnaar de aardas wijst is niet constant. De richting van de aardas zelf maakt in 26 000 jaar een cirkelbeweging van ongeveer $23,5^\circ$ rond de pool van de ecliptica, dat is het schijnbare pad van de zon aan de hemel. Deze cirkelbeweging wordt de precessie beweging genoemd (van der Sluys, 2020). Aangezien de evenaar loodrecht op de aardas staat, wordt deze ook beïnvloed door de precessie beweging. Daardoor verschuiven de hemelcoördinaten (zie 4.2.3), met de evenaar als referentie doorheen de eeuwen (van der Sluys, 2020). Ten gevolgen van deze beweging blijft de Poolster haar rol als hemelnoordpool niet eeuwig behouden. Hierdoor zal de aanblik van de gehele sterrenhemel in de toekomst veranderen (Volkssterrenwacht Urania, 2021).



Figuur 30 De tolbeweging of precessie beweging van de aarde

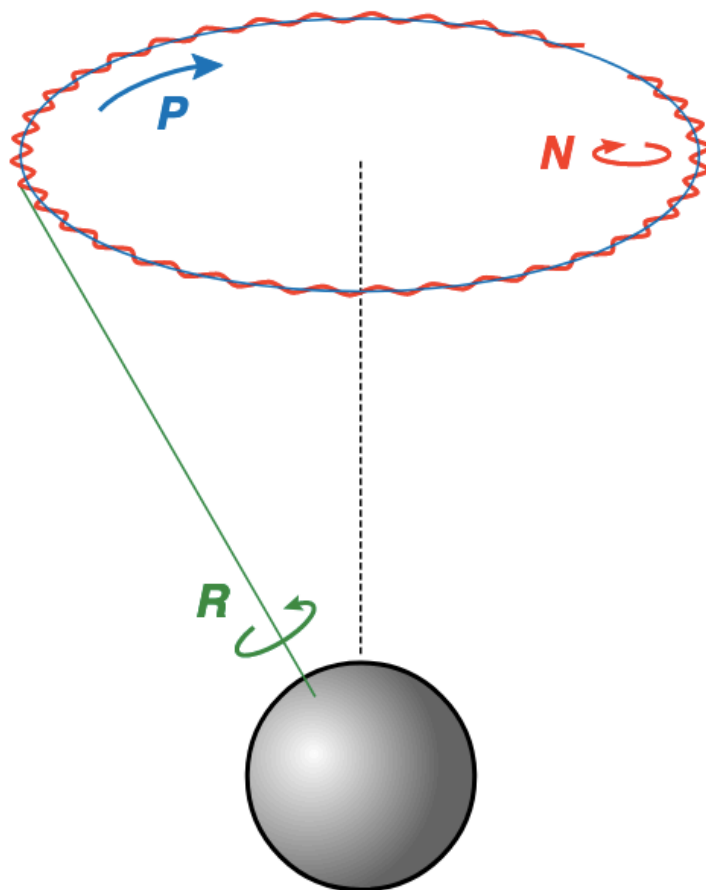
Bron: bewerkt van Bakker, 2015

4.2.2.2 Nutatie beweging

De nutatie is een (kleine) schommeling van de aardas rond zijn "gemiddelde" positie (gemiddelde positie die langzaam door de precessie verandert).

De oorzaak van de nutatie beweging is dat de samenstelling van het voorwerp niet homogeen is of dat de vorm van het voorwerp ten opzichte van de omwentelingsas asymmetrisch is. Het wordt dus niet veroorzaakt door een externe kracht, zoals bij de precessie beweging (Meeus, 1998).

Door de nutatie "wiebelt" het equatorvlak of evenaar vlak van de aardbol (Schreurs, Astronomie (beweging van de aarde), 2021).

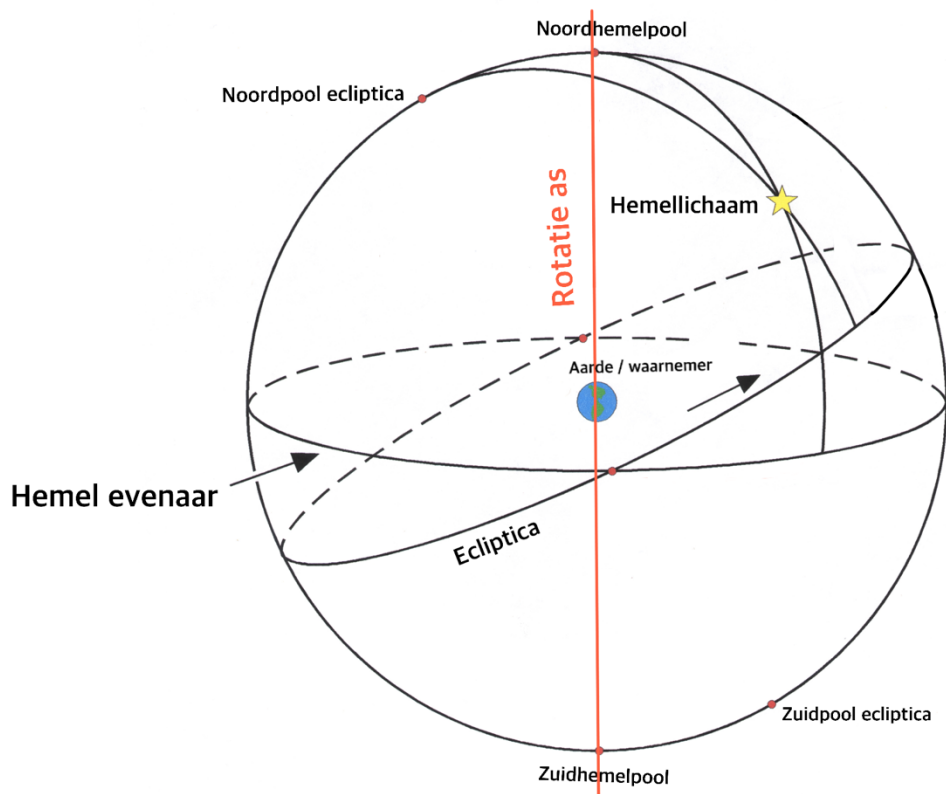


Figuur 31 De rotatie- (R) , precessie- (P) en nutatiebeweging (N)

Bron: Dr. H. Sulzer, 2004

4.2.3 Hemelcoördinaten

4.2.3.1 De hemelsfeer



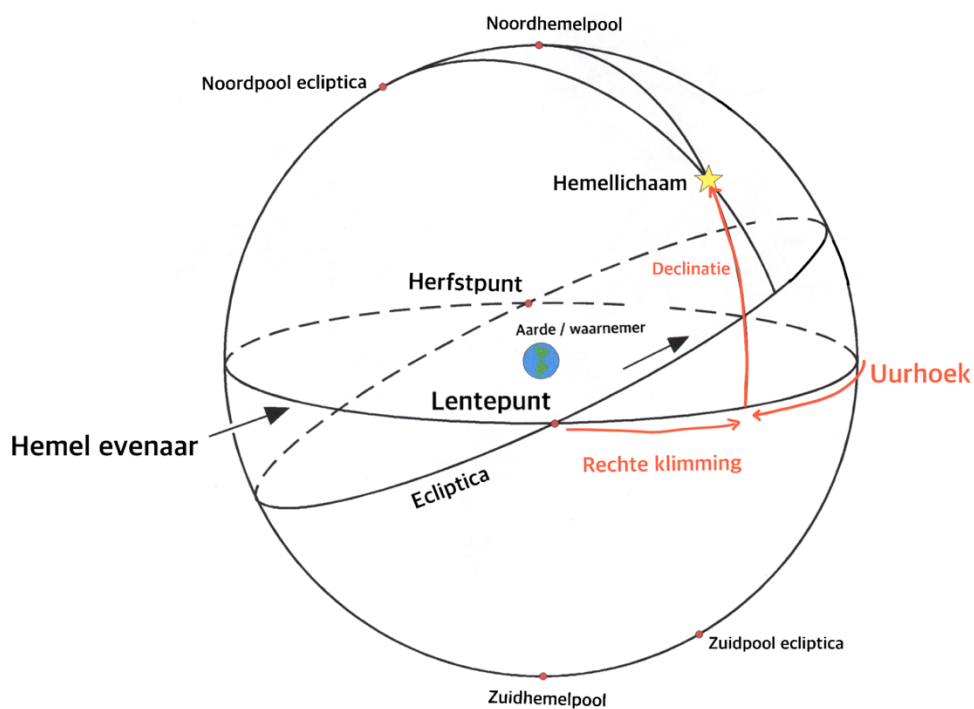
Figuur 32 De rotatie as die de twee hemelpolen verbindt

Bron : bewerkt van Mosley, 1999

Om de positie van een ster aan de hemel vast te leggen, zal de afstand tussen de waarnemer en de ster geen rol spelen. Alleen de kijkrichting aan de hemel is hier van belang. Daarom kunnen we, in theorie, alle hemelobjecten projecteren op een bol met de waarnemer als middelpunt en met een oneindig grote straal. Deze denkbeeldige bol noemen we de hemelsfeer of hemelbol (Volkssterrenwacht Urania, 2021). Aangezien vanuit het perspectief van de waarnemer in het middelpunt, de hemel eens in de vierentwintig uur rond de aarde lijkt te draaien, wordt aangenomen dat de hemelsfeer deze specifieke beweging bezit. De rotatie as eindigt in de noord- en zuid hemelpolen; op gelijke afstand tussen de polen, wordt de bol omringd door de hemelevenaar. Onder de

vaste hoek van $23,5^\circ$ met de evenaar bevindt zich nog een grote cirkel van de hemelbol, de ecliptica. De ecliptica is de schijnbare jaarlijkse baan van de zon ten opzichte van de sterren aan de hemelbol (Mosley, 1999). Het snijpunt tussen de ecliptica en de hemelevenaar is het lentepunt (van der Sluys, 2020).

Deze hemelsfeer wordt gebruikt om aan hemellichamen coördinaten te geven. Een dergelijk coördinatenstelsel vergt een referentiecirkel (voor het aardoppervlak is dat de evenaar) en een referentiepunt (voor het aardoppervlak is dat het snijpunt van de evenaar met de meridiaan van Greenwich) (Volkssterrenwacht Urania, 2021). Het coördinatenstelsel dat wordt gebruikt om een positie (lengte- en breedtegraad) te geven aan hemellichamen op de hemelbol is het equatoriale coördinatenstelsel. De referentiecirkel is de evenaar van de aarde en het referentiepunt is het lentepunt. De coördinaten in dit stelsel zijn de rechte klimming (lengtegraad) en declinatie (breedtegraad) (van der Sluys, 2020).



Figuur 33 De hemelsfeer met het equatoriale coördinatenstelsel

Bron: bewerkt van Mosley, 1999

4.2.3.2 Declinatie

Declinatie is de hoekafstand, uitgedrukt in graden, ten noorden of zuiden van de evenaar, gemeten langs een grootcirkel die door het punt in kwestie en de twee hemelpolen loopt (Mosley, 1999). Het reikt van -90 graden aan de zuidelijke hemelpool tot $+90$ graden aan de noordelijke hemelpool, en is nul graden aan de hemel evenaar.

De bijbehorende hemelcoördinaat is de rechte klimming (Strous, Astronomisch woordenboek, 2020).

4.2.3.3 Rechte klimming

De Rechte Klimming of Right Ascension (RA) vormt samen met de declinatie de hemelcoördinaten van een hemellichaam.

De rechte klimming (RA) van een hemelobject is de hoekafstand die wordt gemeten op de hemelevenaar en uitgedrukt wordt in uren, minuten en seconden. De referentiecirkel is de evenaar en het referentiepunt is het lentepunt (Volkssterrenwacht Urania, 2021).

Met andere woorden, het is de hoek gevormd, in rechtsdraaiende zin, vanaf het lentepunt langs de hemelevenaar tot het snijpunt van de hemelmeridiaan die door het hemelobject gaat (zie Figuur 33). (Volkssterrenwacht Urania, 2021)

De Rechte Klimming wordt maar in één richting gemeten, vanaf de nullijn tegen de wijzers van de klok in. Ook werken we niet met graden. De Rechte Klimming wordt in uren, minuten en seconden uitgedrukt. We kunnen een cirkel namelijk ook in 24 uur verdelen in plaats van in 360 graden. Eén uur telt dan 15 graden. Eén zo'n uur wordt weer verdeeld in 60 (boog)minuten en één minuut weer in 60 (boog)seconden.

4.2.3.4 Uurhoek

De uurhoek is een coördinaat vergelijkbaar met de rechte klimming en wordt ook samen met de declinatie gebruikt om de positie van een hemelobject aan te geven. Hij verschilt van de rechte klimming omdat de uurhoek het zuidpunt van de hemelevenaar als

referentiepunt heeft.

Het verschil tussen de uurhoek en de rechte klimming is de lokale sterrentijd. De lokale sterrentijd is de relatie tussen het lentepunt en de positie van de waarnemer. Zo kunnen we de lokale coördinaten van een hemellichaam verbinden met hun hemelcoördinaten, de rechte klimming en de declinatie. Het is ook een hoek die uitgedrukt wordt in tijdseenheden.

De sterrentijd is dus nodig om de uurhoek van een object uit te rekenen. De uurhoek wordt steeds in westelijke richting gemeten en uitgedrukt in uren, minuten en seconden. De lokale uurhoek of LHA (Local Hour Angle) drukt uit hoeveel tijd is verstreken sinds het object de lokale meridiaan is gepasseerd. De GHA (Greenwich Hour Angle) of Greenwich uurhoek is de LHA voor de Greenwich-meridiaan, de nulmeridiaan. Het drukt uit hoeveel tijd is verstreken sinds het object de Greenwich-meridiaan is gepasseerd.

Een uurhoek tussen nul en twaalf uur geeft aan dat het object de meridiaan al gepasseerd is, een uurhoek tussen twaalf en 24 uur (of – twaalf en nul uur) betekent dat het object de meridiaan nog moet passeren (van der Sluys, 2020).

4.2.3.5 Lentepunt

De hemelevenaar en ecliptica snijden elkaar in twee punten. De zon, die op de ecliptica beweegt, passeert eenmaal per jaar door elk van die twee punten. Het punt waardoor de zon overgaat van het zuidelijk naar het noordelijk halfrond, noemen we het lentepunt. Het lentepunt ligt dus niet alleen op de hemelevenaar, maar ook op de ecliptica (zie Figuur 33). Per definitie begint de lente wanneer (het middelpunt van) de zon door het lentepunt passeert.

Het lentepunt wordt gebruikt als referentiepunt voor de rechte klimming. Ten gevolge van de precessie verplaatst het lentepunt zich met een snelheid van 50,29 boogseconden per jaar westwaars over de ecliptica (Volkssterrenwacht Urania, 2021).

4.3 Nocturlabium

Een nocturnaal of nocturlabium wordt de eerste maal vernoemd in geschreven teksten aan het eind van de dertiende eeuw. Het instrument werd verbeterd in de zestiende eeuw en werd gebruikt tot in het begin van de negentiende eeuw (Aaron Charles promotion LLC, 2020). Het is het nachtelijke equivalent van een zonnewijzer en wordt gebruikt om de tijd na zonsondergang aan te geven (Egler, 2006).



Figuur 34 Nocturnaal gemaakt door Humphrey Cole circa 1575, te bezichtigen in 'The British Museum' te Londen

Bron: The Trustees of the British Museum

4.3.1 Ontwikkeling van het nocturlabium

Over de ontwikkeling van het nocturlabium is niet zo veel gekend. Het is niet gekend wanneer het werd ontworpen en door wie (Le Berre, 2008).

Geschreven bronnen over het nocturlabium zijn schaars en het is dus moeilijk vast te stellen door wie en waar het voor het eerst werd gebruikt. Het is wel opmerkelijk dat er geen oosterse voorbeelden van dit soort instrument gekend zijn. Daarom is het plausibel dat het ontwerp van het nocturlabium van Europese afkomst is (Oestmann, 2001).

In het begin van de negende eeuw werd een voorloper van het nocturlabium ontwikkeld in Italië. Pacificus (c.776 – 844), aartsdiaken van Verona, beweerde de uitvinder te zijn van het instrument. Het instrument bestond uit een schijf met een vizierbuis (zie Figuur 35). Hij beschreef zijn 'horologium nocturnum' ook in een gedicht (Wiesenbach, 1993). In het jaar 1000 lag de Poolster niet het dichtste bij de hemelpool door de precessie beweging van de aarde. De ster, die wel het dichtste lag, was echter niet helder genoeg

om te kunnen worden waargenomen met het blote oog. Daarom is het aannemelijk dat Pacificus wel de Poolster gebruikte voor zijn observaties.

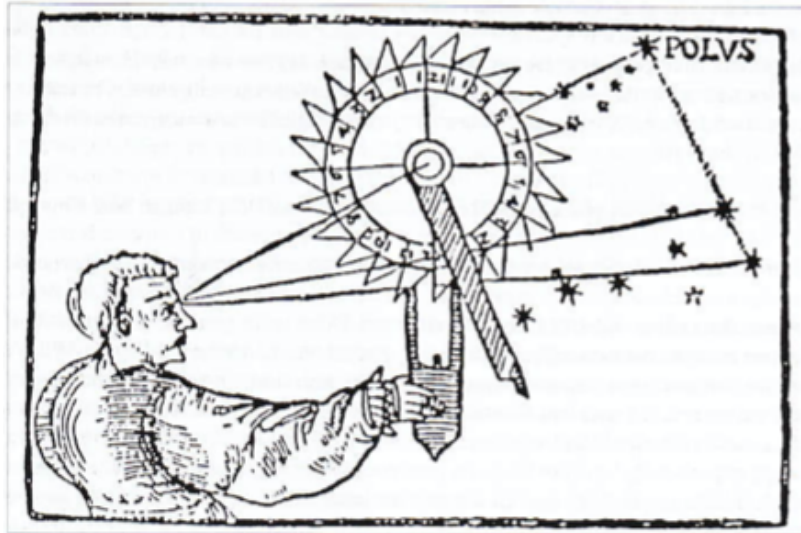
Zijn instrument werd meerdere malen afgebeeld in de literatuur tussen de elfde en twaalfde eeuw. Deze afbeelding zorgde voor verwarring bij onderzoekers in de negentiende eeuw omdat het op een telescoop leek (Oestmann, 2001).



Figuur 35 Het instrument van Pacificus waarbij de vizierbuis duidelijk in afgebeeld

Bron: uit het manuscript Lat. VIII 22 van de Biblioteca Nazionale Marciana in Venetië

In 997 werd opnieuw geschreven over een instrument dat de Poolster observeerde. Thietmar van Merseburg (25 juli 975 – 1 december 1018), een bisschop, schreef in zijn kroniek dat Gerbert van Aurillac (946 – 12 mei 1003), die tot paus Silvester II werd verkozen, een vizierbuis had ontworpen waarmee hij de Poolster observeerde (Wiesenbach, 1993). Ook aan het einde van de dertiende eeuw beschreef Raimundus Lullus (1232 – 1316); schrijver, filosoof, dichter en theoloog het instrument en hij noemde het 'Astrolabium nocturnum' (Oestmann, 2001).

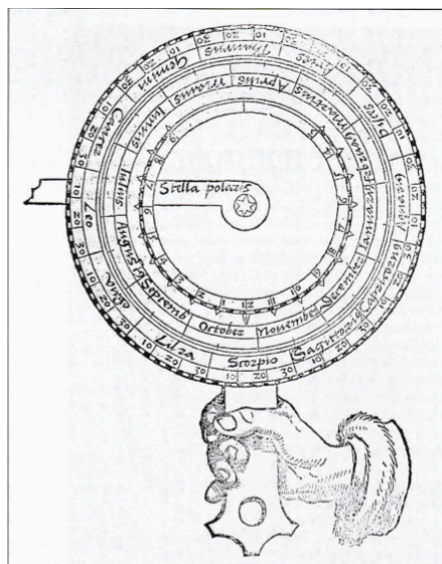


Figuur 36 Het nocturlabium door Peter Apian

Bron : uit Cosmographicus liber door Peter Apian, 1533

De eerste beschrijving van het modern nocturlabium is terug te vinden in het werk 'Cosmographicus liber' van Peter Apian in 1524 (zie Figuur 36). Dit werk is uitgebracht in 30 edities en werd in meerdere talen vertaald tot 1609. Het populaire werk was een grote bijdrage in de verspreiding van de kennis van het instrument. Hij beschrijft het nocturlabium ook in zijn instrumentenboek (1533), waarin hij het combineerde met een zonnewijzer op de achterkant. Hierin werd ook vermeld dat het instrument vaak in hout werd gemaakt als substituut voor de duurdere metalen versies.

In 1531 bracht de cartograaf en kosmograaf Sebastian Münster (1488-1552) zijn werk 'Horologographia' uit. Een werk over het construeren van zonnewijzers. Hierin beschrijft hij voor het eerst het gebruik en de constructie van het nocturlabium. Een andere beschrijving van het nocturnaal werd gepubliceerd in het werk 'Das Noctural Oder die nachtuhr' (1535). Het werd gepubliceerd door Johannes Dryander (1500 -1560), een Duitse arts, wiskundige en astronoom. Hij publiceerde in dit werk de onvoltooide verhandeling van Johann Köbel van Oppenheim (c. 1462 – 1533), een Duitse drukker en wiskundige. Slechts twee complete kopieën van dit werk zijn bewaard gebleven. De eerste Engelstalige teksten over het nocturlabium werden pas in 1593 uitgebracht (Oestmann, 2001).



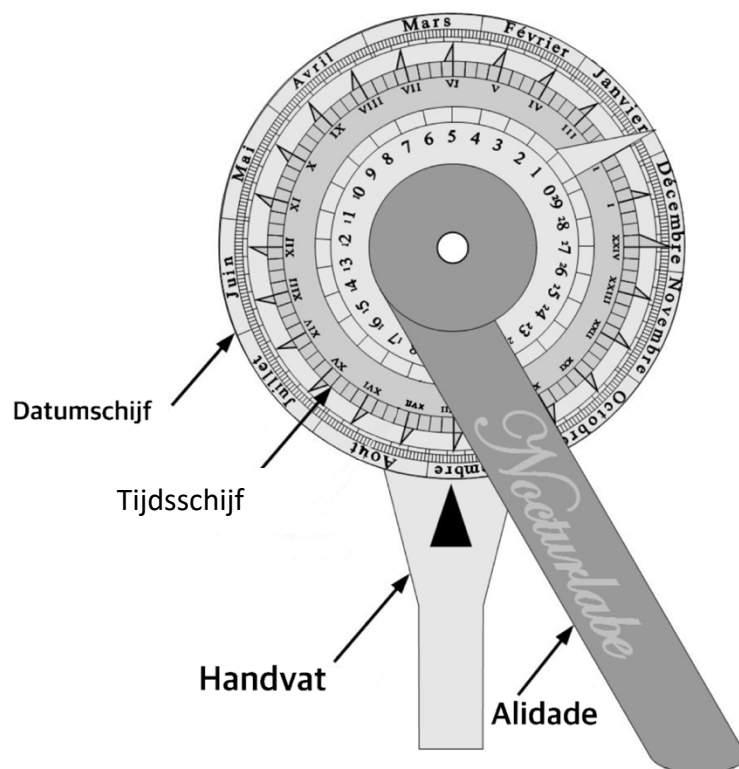
Figuur 37 Tekening van het nocturlabium uit 1537

Bron: uit *Fürmalung vnd künstlich beschreibung der Horologien* door Sebastian Münster, 1537

In de zeventiende eeuw geven alle nautische leerboeken een beschrijving van het nocturlabium (Wright, 1610) (Seller, 1680). Maar in tegenstelling tot het wijdverspreide gebruik van het nocturlabium, verdween de methode uit de leerboeken aan het einde van de zeventiende eeuw. Toch werd het nocturlabium tot in het begin van de negentiende eeuw gebruikt. Dat is duidelijk door de vele originele instrumenten uit die tijd die er vandaag nog zijn. De oorzaak ligt in het onderscheid tussen de gewone gebruiker die een simpel instrument zonder te veel berekening verkoos, en de geleerde auteurs die de neiging hadden om de nadruk te leggen op methodes die wiskundig te verantwoorden waren (Oestmann, 2001).

4.3.2 Praktisch gebruik van het Nocturlabium

Het nocturlabium heeft een datumschijf met een jaarkalender, een tijdschijf met een verdeling van 24 uur en een alidade of lange arm, om het uur af te lezen. (La Commission des Cadran Solaires, 2020).

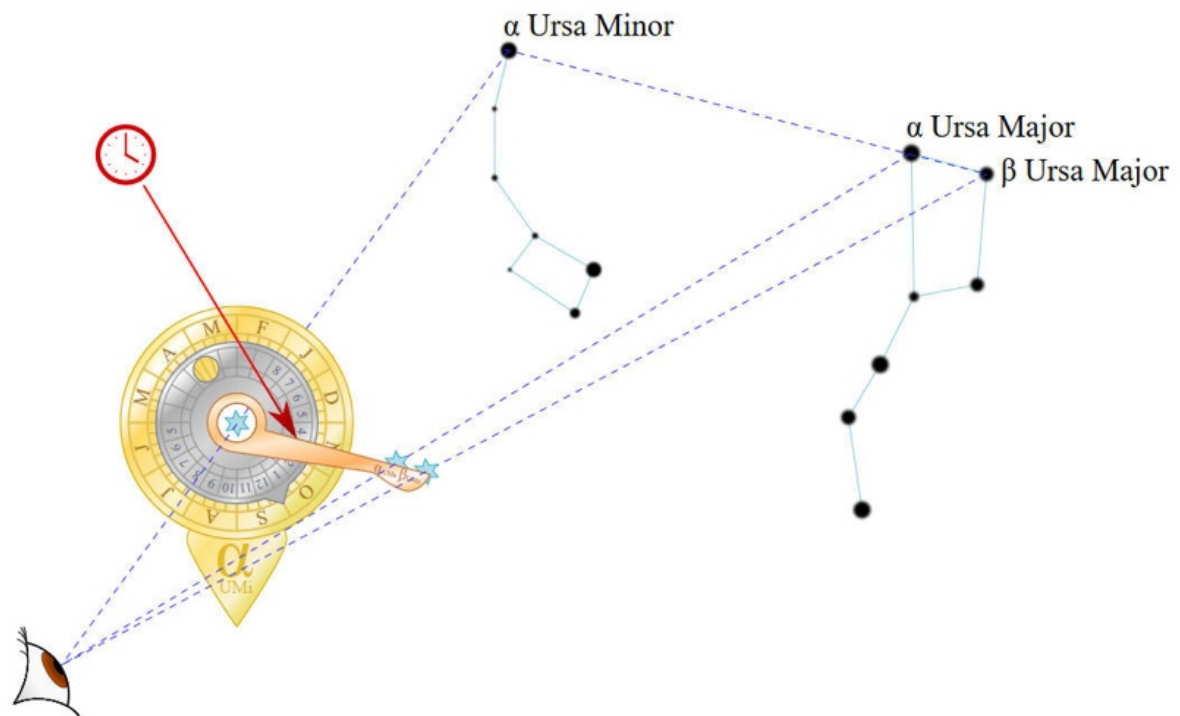


Figuur 38 De componenten van een nocturlabium

Bron : bewerkt van Bernard Badoux, 2020

Deze schijven zijn aan elkaar bevestigd in het midden en kunnen ten opzichte van elkaar draaien. (BBC, 2020). Er is in het midden ook een opening die als een kijkgat wordt gebruikt (Cline, 1999).

Om een nocturnaal te kunnen gebruiken moet Polaris, de Poolster, zichtbaar zijn. Deze ster is het vaste referentiepunt. Daarnaast moet ook een bepaald sterrenbeeld te zien zijn. Dit sterrenbeeld is afhankelijk van het soort nocturnaal. De meeste nocturnalen maken gebruik van Ursa minor of Ursa major, ook wel bekend als de Kleine en Grote beer, omdat deze sterrenbeelden dichtbij Polaris liggen. Er zijn ook nocturnalen die voor beide sterrenbeelden kunnen worden gebruikt. Ten slotte moet ook de datum gekend zijn om een nocturnaal te kunnen gebruiken (De Zonnewijzerkring, 2020).



Figuur 39 Schematische voorstelling van het gebruik van de nocturnaal met de twee sterrenbeelden 'Ursa major' en 'Ursa minor'

Bron : De Zonnewijzerkring (2020)

Om een nocturnaal te gebruiken zijn twee dingen nodig: het sterrenbeeld waarmee de nocturnaal werkt, en de Poolster. Eenmaal deze sterren gevonden zijn, moet de buitenste wijzerplaat op de juiste datum geplaatst worden. Vervolgens is het de bedoeling om door het kijkgat Polaris te zoeken. Eenmaal dat gelukt is, moet de alidade in lijn met de helderste ster of sterren van het sterrenbeeld geplaatst worden. Wanneer de lange arm in lijn staat met de helderste ster(ren) kan men op de centrale wijzerplaat de ware lokale tijd aflezen (Cline, 1999). In Figuur 39 is schematisch voorgesteld hoe men de nocturnaal moet houden voor de sterrenbeelden Ursa Minor en Ursa Major. Het sterrenbeeld Ursa Major wordt vaak gebruikt omdat de twee helderste sterren een lijn vormen en gemakkelijk zichtbaar zijn. Daarbij liggen ze dichtbij Polaris (Cline, 1999).

4.3.3 Principe van het Nocturlabium

Zoals reeds eerder besproken wijst de aardas naar de hemelpolen. De Poolster staat zeer dicht bij de hemelnoordpool. Daardoor zijn de andere sterren circumpolair tegenover de

Poolster. Het nocturlabium maakt gebruik van de Poolster en de sterren die in een baan rond de Poolster lijken te bewegen. Als we een lijn tussen de Poolster en een andere ster trekken, lijkt dit op de wijzer van een klok. Deze wijzer draait rond de Poolster in tegenwijzerzin, van oost naar west (zie Figuur 40) (Ory, Maak zelf uw nocturlabium (deel 1), 2012). Het nocturlabium kan enkel op het noordelijk halfrond worden gebruikt omdat de aardas naar de noordelijke hemelpool, de Poolster, wijst. Voor het zuidelijk halfrond kan een nocturlabium niet gebruikt worden omdat er geen heldere ster dicht genoeg bij de hemelzuidpool staat (Ory, Het nocturlabium (deel 2), 2012).

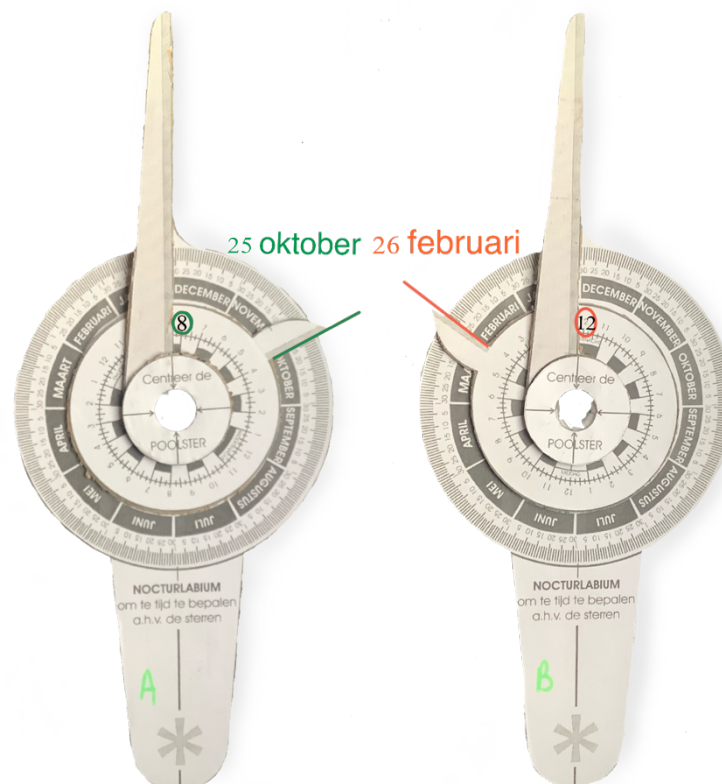


Figuur 40 Beweging van de Grote Beer ten opzichte van de Poolster

Bron : bewerkt van Ontario Parks, 2021

De schijnbare dagelijkse beweging zorgt ervoor dat de sterren een hemelklok vormen. Een sterrendag is de tijd nodig voor een bepaalde ster om een volledige rotatie te maken ten opzichte van de waarnemer, zo kunnen we deze rotatie gebruiken als een uurwerk (Ory, Maak zelf uw nocturlabium (deel 1), 2012). De lokale sterrentijd is te berekenen met het verschil tussen de rechte klimming van de ster en de uurhoek (van der Sluys, 2020). Maar de sterrentijd wordt niet praktisch gebruikt voor tijdrekening. Daarvoor wordt de

middelbare zonnetijd gebruikt. Deze is af te leiden van de ware zonnetijd. Het verschil tussen een ware zonnedag en een sterrendag is vier minuten. Het nocturlabium leest dus de sterrentijd af en corrigeert deze dan naar de ware zonnetijd door het verdraaien van de tijdschijf ten opzichte van de datumschijf (zie Figuur 41). Want na een volledige wenteling van de aarde rond de zon, komt de ware zonnetijd en sterrentijd terug overeen (Ory, Maak zelf uw nocturlabium (deel 1), 2012).



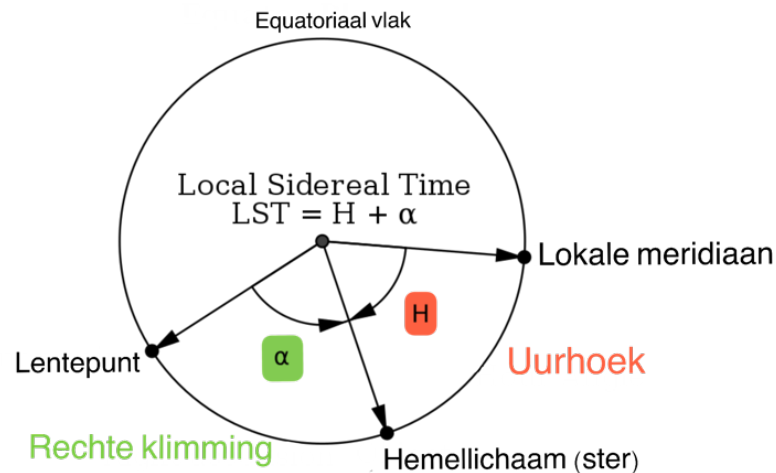
Figuur 41 De verdraaiing van de tijdschijf ten opzichte van de datumschijf

Bron : eigen werk

De lokale sterrentijd (LST of Local Siderale Time) is de tijd die verstreken is sinds de culminatie van het Lentepunt of punt Aries. Aries is gelegen in het sterrenbeeld Vis op het equatoriaal vlak. De culminatie van een hemellichaam gebeurt wanneer het de meridiaan passeert.

De uurhoek is de tijd die verstreken is sinds het hemellichaam de lokale meridiaan is gepasseerd. Uurhoeken worden steeds in westelijke richting gemeten en uitgedrukt in uren, minuten en seconden.

Om de lokale sterrentijd te bepalen gebruiken we niet Aries maar een willekeurige ster. De positie van deze willekeurige ster aan de hemelsfeer ten opzichte van Aries wordt uitgedrukt door de rechte klimming. De rechte klimming wordt in oostelijke richting gemeten en wordt ook uitgedrukt in uren, minuten en seconden.



Figuur 42 Relatie tussen de uurhoek, rechte klimming en LST

Bron : bewerkt van Wikimedia Commons

We weten dat de lokale sterrentijd het verschil is tussen de uurhoek (P^*) en de rechte (a^*) klimming van een hemellichaam (zie Figuur 42). Daardoor kunnen we de werking van het nocturlabium mathematisch voorstellen met volgende formules en gegevens:

$$P^* = S - a^* \Leftrightarrow S = P^* + a^* \quad (1)$$

waarbij:

P^* uurhoek van een ster [uur, minuten, tijd]

S siderale tijd [uur, minuten, tijd]

a^* rechte klimming ster [uur, minuten, tijd]

We kunnen de sterrentijd ook bepalen met behulp van de zon. En komen dus tot formule (2)

$$P_0 = S - a_0 \Leftrightarrow S = P_0 + a_0$$

(2)

waarbij:

a_0 rechte klimming zon [uur, minuten, tijd]

P_0 uurhoek zon [uur, minuten, tijd]

Aangezien de sterrentijd universeel is kunnen we formules (1) en (2) aan elkaar gelijk te stellen krijgen we

$$\begin{aligned} P^* + a^* &= P_0 + a_0 \\ \Leftrightarrow P_0 &= P^* + a^* - a_0 \end{aligned}$$

(3)

Met andere woorden: de lokale uurhoek van de zon is gelijk aan de lokale uurhoek van de geobserveerde ster plus hun verschil in rechte klimming. Deze formule (3) is de basis van het nocturlabium.

Op een bepaalde datum hebben de ster en de zon dezelfde rechte klimming en geeft hun uurhoek dus dezelfde tijd aan want:

$$a^* = a_0 \Rightarrow P_0 = P^*$$

(4)

Op een ander observatiedatum wordt de datum ingesteld en corrigeert het nocturlabium, door verdraaiing van de uur schijf ten opzichte van de datumschijf, de rechte klimming van de zon aan. Hierdoor is het mogelijk de lokale ware zonnetijd af te lezen (Vinck, 2014).

Het zicht van de waarnemer op de Poolster is onderhevig aan de precessiebeweging van de aarde. Daardoor verander de rechte klimming van de sterren met ongeveer 1,4 graden per eeuw. Hierdoor zijn originele nocturlabia uit vorige eeuwen of exacte replica's, vandaag niet meer bruikbaar. Daarbij gebruiken veel oude instrumenten nog de Juliaanse kalender in plaats van de hedendaagse Gregoriaanse kalender (Vinck, 2014).

4.4 De scheepschronometer

4.4.1 'Longitude Act'

Na de reizen van de grote zeevaarders zoals Columbus (1451 – 20 mei 1506), Vasco da Gama (1469 – 24 december 1524) en Magellaan (3 februari 1480 – 27 april 1521) in de eerste helft van de zestiende eeuw werden transoceanreizen talrijker en namen de inherente gevaren toe. Om op open zee te kunnen navigeren moesten zeelieden regelmatig de positie, zijnde lengte- en breedtegraad, van het schip kunnen bepalen. (Vorstermans, 1984).

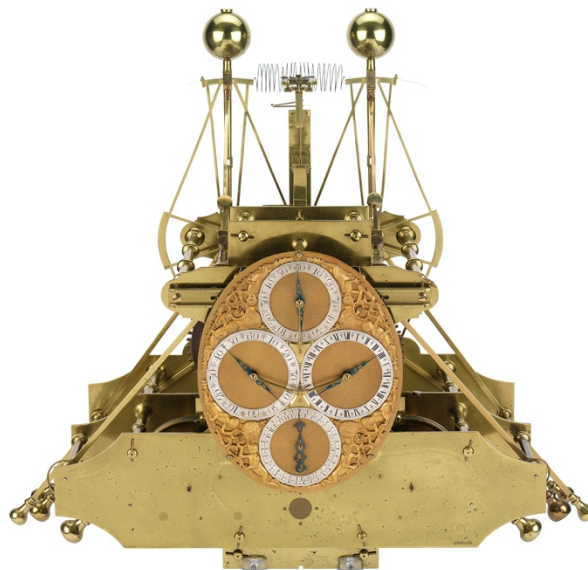
Kennis van de lengte was een belangrijke economische parameter en zou de lucratieve reizen naar het verre Oosten en Westen bevorderen. De 'Longitude Act' werd goedgekeurd op 9 juli 1714 (Royal Museums Greenwich, 2016). Deze wet stond toe een aanzienlijke geldprijs (£20,000) uit te reiken aan diegene die een methode vond om de lengtegraad op zee te bepalen met een nauwkeurigheid tot op een halve graad. Dat cijfer is gelijk aan een tijdsverschil van twee minuten, en dit na een reis van zes weken naar West-Indië. Er waren ook kleinere beloningen voor methoden die minder nauwkeurig waren (Royal Museums Greenwich, 2016). Om deze geldprijs goed te verdelen werd een commissie, "*The board of longitude*", opgesteld. Zij moesten beslissen welke ideeën gefinancierd zouden worden en welke methoden verworpen werden (Baker, 2020).

4.4.2 John Harrison

Het was deze aanzienlijke geldprijs die John Harrison deed afzakken naar Londen. Hij hoopte steun en een beloning te krijgen dankzij de 'Longitude Act' (Royal Museums Greenwich, 2020). John Harrison (3 april 1693 – 24 maart 1776) was een timmerman die door zelfstudie ook klokmaker was geworden. In de jaren 1720 ontwierp hij een reeks van staande klokken die opmerkelijk preciezer waren dan andere klokken in die tijd. Ze hadden namelijk een precisie van één seconde per maand. Harrison wou een draagbare scheepsklok maken om het probleem van de lengtegraad op te lossen (Royal Museums Greenwich, 2020).

Harrison begon te werken aan zijn scheepsklok in Londen, in samenwerking met Edmond Halley (8 november 1656 – 14 januari 1742). Halley was een astronoom, hoogleraar aan de universiteit van Oxford, directeur van de sterrenwacht van Greenwich en één van de individuen aangesteld door de 'Longitude Act' (Eggen, Edmond Halley - Halley's significance, 2020). Halley voelde zich echter niet in staat om Harrison zijn werk te beoordelen en stuurde hem naar de klokkenmaker George Graham (circa 1674 – 20 november 1751). Graham werkte als klok- en instrumentenmaker, samen met Halley, voor de sterrenwacht van Greenwich (Betts, George Graham, 2019).

De jaren die volgden werkte Harrison aan zijn eerst maritieme tijdsmeter, nu bekend als de H1. In 1735 bracht hij de chronometer naar Londen. Hij had het instrument wel al getest op de rivier Humber. H1 werd tentoongesteld in de werkplaats van Graham zodat verschillende wetenschappers de klok konden komen bekijken. Het zag ernaar uit dat H1 eindelijk het instrument was dat kon worden gebruikt om de lengtegraad op zee te bepalen (Royal Museums Greenwich, 2020).

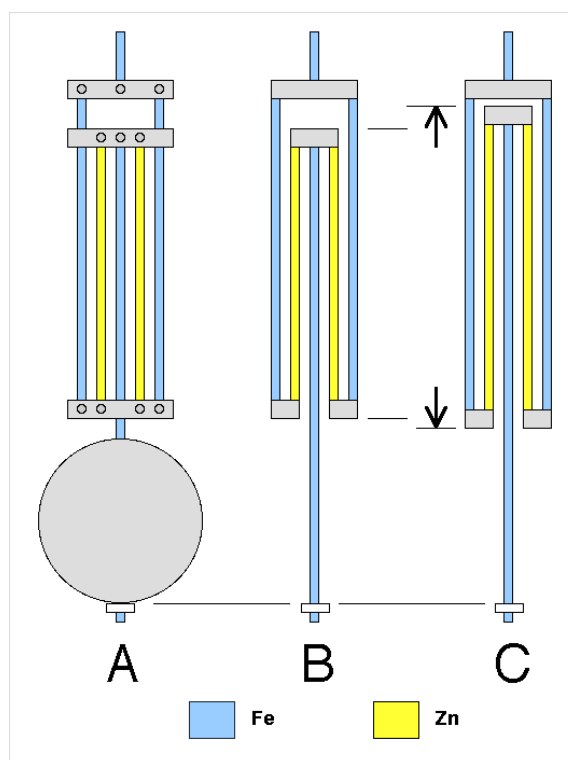


Figuur 43 Harrisons Nr. 1

Bron : Royal observatory, Greenwich

H1 overwon drie problemen van de mechanische klokken uit die tijd. Het eerste probleem was het effect dat de beweging van een schip had op de werking van een klok. Harrison loste dit op door middel van een cardanus-ophanging, een systeem dat bestaat uit twee onderling verbonden zwaaiende balansen. Om het effect van vochtigheid en temperatuur

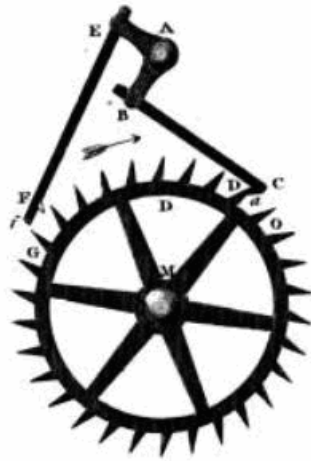
te overkomen ontwierp hij een gridiron pendulum (Barrett, 2020). Deze pendulum bevat een bimetaal, ofwel twee verschillende soorten metaal met elkaar verbonden. Één staaf was zink, een metaal met een hoge thermische uitzetting, in Figuur 44 afgebeeld in het geel. De andere staaf was ijzer, een metaal met een lage thermische uitzetting, afgebeeld in het blauw. Deze combinatie compenseerde elkaar zodat de lengte van de totale slinger niet veranderde bij temperatuurschommelingen. Zo bleven de slingerperiode en dus de snelheid van de klok constant. In Figuur 44 stelt figuur A de algemene pendulum voor. Figuur B stelt de pendulum schematisch voor bij normale temperatuur en figuur C bij een hogere temperatuur (Leonard, 2008).



Figuur 44 Deze diagram toont de werking van een 'gridiron' pendulum, uitgevonden in 1726 door de Britse klokkenmaker John Harrison.

Bron : Leonard (2008)

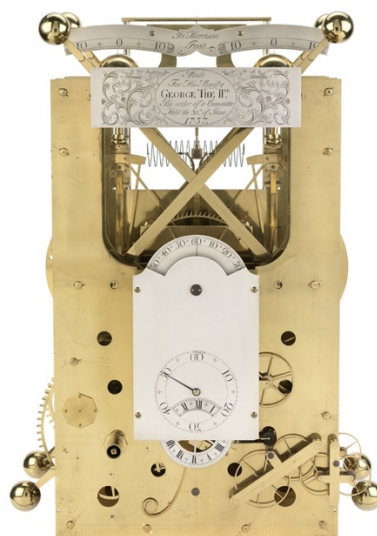
Ten slotte werd de frictie weggewerkt door middel van een 'sprinkhaan'-echappement (Barrett, 2020). Het 'sprinkhaan'-echappement maakt gebruik van een scharnier. Dat zorgt voor minder wrijving dan het schuifcontact bij een conventioneel echappement. Zo moet het niet gesmeerd worden en kan het zelfs uit hout worden gemaakt (Wikipedia, the free encyclopedia, 2020).



Figuur 45 Een 'sprinkhaan' echappement.

Bron: Rees (1820)

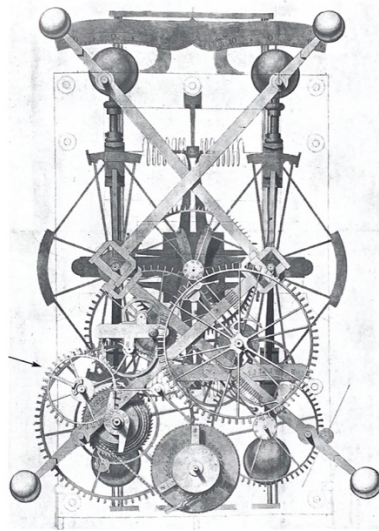
H1 moest dus getest worden. Een officiële proef werd uitgevoerd in mei 1736. Harrison en H1 gingen aan boord het schip HMS Centurion dat naar Lissabon zou zeilen vanuit Spithead (Fish, 2015). De reis startte slecht voor zowel Harrison als de H1 door het slechte weer (Fish, 2015). Bij aankomst in Lissabon liep het instrument beter. Voor de terugtocht werden ze overgeplaatst naar een ander schip, de HMS Orford. De H1 was op de terugreis betrouwbaarder dan op de heenreis. Toen ze Engeland naderden, kondigde Harrison aan dat een landtong, waarvan officieren dachten dat het de Start was, in feite de Hagedis was. Hij bleek gelijk te hebben. Dat betekende dat ze 60 mijl naast de verwachte koers zaten en in gevaar waren (Royal Museums Greenwich, 2020).



Figuur 46 Harrisons Nr. 2

Bron: Royal observatory, Greenwich

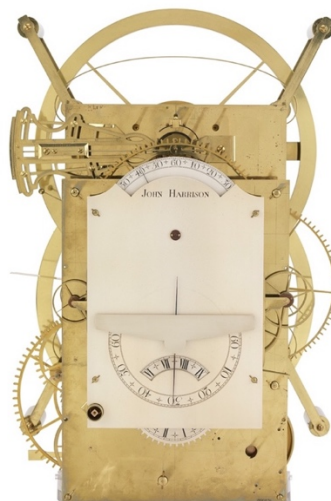
Door dit succes kreeg Harrison financiële steun om zijn instrument te verbeteren. Hij beloofde dit binnen de twee jaar te doen. Hij verhuisde naar Londen om verder te werken aan zijn instrument. Binnen de twee jaar stelde hij H2 voor. H2 werd echter nooit getest omdat Harrison een fundamentele fout in de balansstaven ontdekte (Royal Museums Greenwich, 2020).



Figuur 47 Een van de vier tekeningen van de H2 door Thomas Bradley

Bron : Royal Observatory, Greenwich

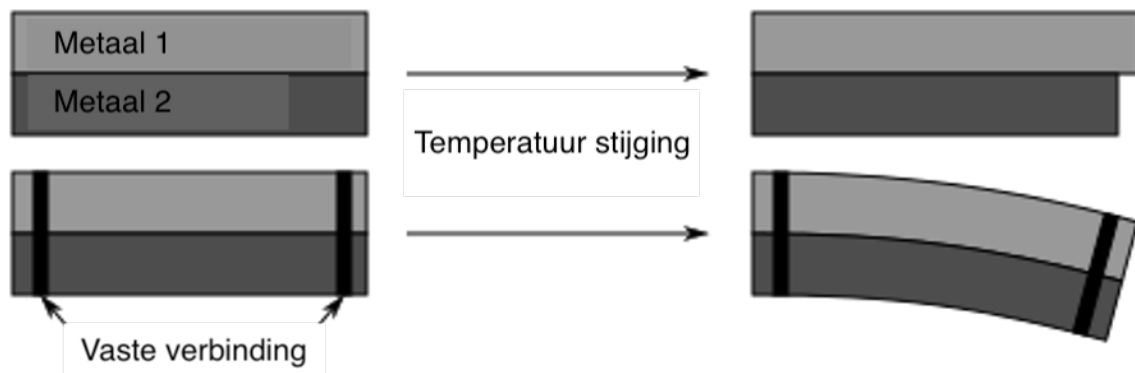
In 1740 begon Harrison daarom te werken aan zijn derde poging. De H3 werkte en werd getest binnen de vijf jaar, maar het was ook meteen duidelijk dat het instrument moeite had om de gewenste nauwkeurigheid te behouden. Harrison moest vele veranderingen aanbrengen.



Figuur 48 Harrisons Nr.3

Bron: Royal Observatory, Greenwich

Één van deze veranderingen was het toevoegen van een bimetaalstrip om de veranderingen in de balansveer, veroorzaakt door temperatuurschommelingen, te compenseren. Harrisons vroegste voorbeelden waren twee afzonderlijke metalen strips verbonden door klinknagels. Hij vond later de techniek uit om gesmolten messing direct op een stalen ondergrond te solderen. Deze strip werd ook in zijn laatste instrument, H4, gebruikt (Dava & Sobel, 1995). Bij temperatuurstijging krimpt de ene kant van de strip meer dan de ander kant van de strip. Hierdoor buigt de strip in een bepaalde richting (Geertsma, 2020)



Figuur 49 Een bimetaalstrip.

Bron : bewerkt van Wikimedia Commons (2013)

Uiteindelijk, in de jaren 1760, kwam Harrison tot een bevredigende oplossing door te sleutelen aan zijn eigen zakhorloge (Barrett, 2020). Zo ontwikkelde hij H4 die gebruikt een heel andere type van tijdsmeting met een grotere balans en een hogere frequentie. De H4 tikt vijf keer per seconde (Royal Museums Greenwich, 2020) . H4 werd met William Harrison, John Harrisons zoon, mee op proef gestuurd naar Jamaica in 1761. De individuen aangesteld door de 'Longitude act', ondertussen samengekomen en uitgegroeid tot een echt bestuur, vonden de test echter niet voldoende.



Figuur 50 Harrisons Nr.4, de diameter van deze scheepschronometer is 132 mm

Bron : Royal Observatory, Greenwich

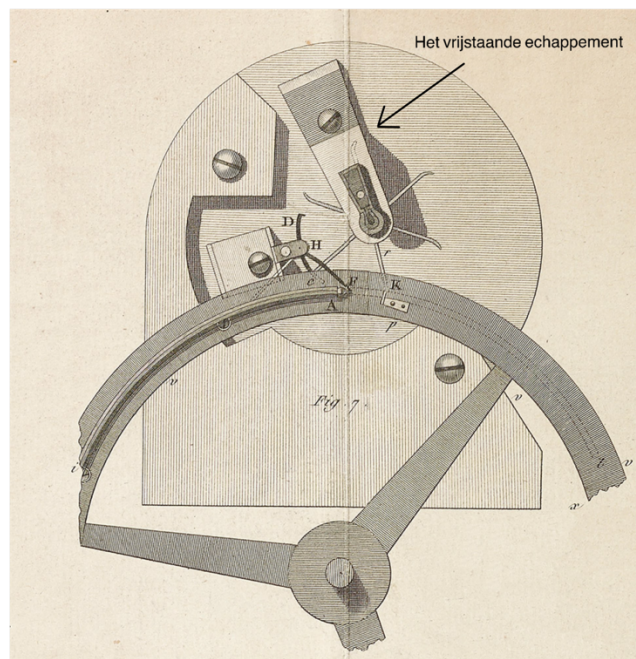
Daarenboven waren in 1760 ook andere methoden uitgewerkt en op punt gezet. Het betrof o.a. de maansafstanden (zie 4.1.2.1.4) en de manen van Jupiter (zie 4.1.2.1.3). Hoewel John Harrison twintig jaar lang de enige serieuze kanshebber was om de geldprijs te krijgen, zouden deze twee methoden hier een stokje voor steken. In 1764 werden de drie kanshebbers op de proef gesteld in Barbados. Eenmaal op Barbados moest Harrison de lengtegraad van het eiland bepalen. Zo werden de drie methoden op hetzelfde moment op de proef gesteld. In februari 1765 werd beslist dat van de drie methoden, H4 het meest nauwkeurig was (Royal Museums Greenwich, 2020). Nu de beslissing genomen was, werd er bekeken hoe de chronometer praktisch kon worden gemaakt zodat het aan boord kon worden gebruikt, want H4 was niet geschikt om op grote schaal na te maken (Barrett, 2020).

De Board of Longitude' wou dat Harrison zijn klok demonteerde in het bijzijn van drie leden van de Board en drie klokkenmakers. Harrison is hier eerst tegen, maar moet dan toch toegeven omdat hem reeds een voorschot werd uitbetaald. De Board geeft één van de drie klokkenmakers, Larcum Kendall de opdracht om de H4 na te bouwen en eventueel te produceren. Zijn chronometer is de perfecte kopie van de H4, maar hij weigert de chronometer te produceren. Daarbij beweert hij zelf een betere chronometer te kunnen maken, maar faalt (Gude & Meis, 2020).

4.4.3 Ontwikkeling van de moderne chronometer

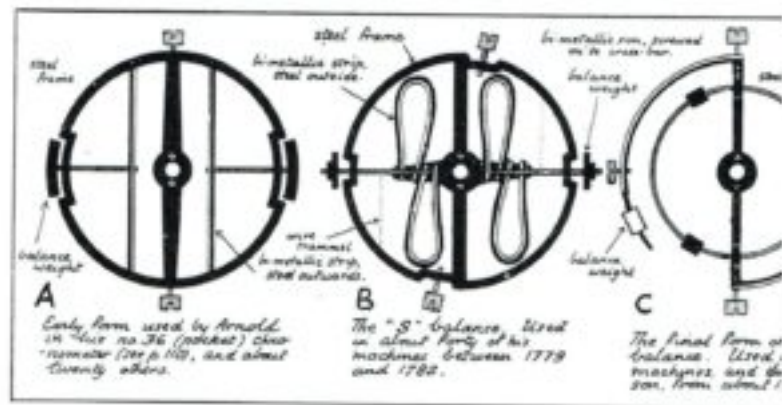
Harrisons chronometer is de basis van alle volgende chronometerontwikkelingen (Barrett, 2020). Deze ontwikkelingen waren vooral gericht op het standaardiseren van de chronometer zodat deze op grote schaal kon worden gemaakt. De belangrijkste namen in deze ontwikkelingen zijn de Fransmannen Julien LeRoy en Ferdinand Berthoud en de Engelsmannen John Arnold en Thomas Earnshaw. Het is uiteindelijk het werk van de twee Engelsmannen die tot de meest gestandaardiseerde chronometer leiden (Gude & Meis, 2020).

Harrison had zelf de opmerking: "... how less the Wheels have to do with the Balance, the better.", gemaakt. Met andere woorden, elke externe oorzaak zoals wrijving die verhindert dat de balans vrij kan slingeren, moet worden vermeden (Gould, 1923). In 1748 introduceert Julien LeRoy als eerste een vrijstaand echappement (The Seiko Museum Ginza, 2021). Een vrijstaand echappement is een echappement die, behalve op het moment van het ontvangen van een impuls en het activeren van het echappement, de balans met bijna volledige vrijheid laat slingeren. Het echappement is zodanig gemonteerd dat het ankerpunt volledig is losgekoppeld van de balans (Gould, 1923).



Figuur 51 Illustratie uit 1766 van LeRoys vrijstaande echappement
Bron: Bewerkt van Smithsonian Institution Libraries

Ferdinand Berthoud (1729- 1807) was zelf een klokkenmaker, maar de enige verbetering die hij kon toevoegen aan Harrisons chronometer was de automatische rem die de balans laat stoppen. Hiermee was het mogelijk de balans te fixeren voor transport zonder de balans uit evenwicht te brengen (Gould, 1923).



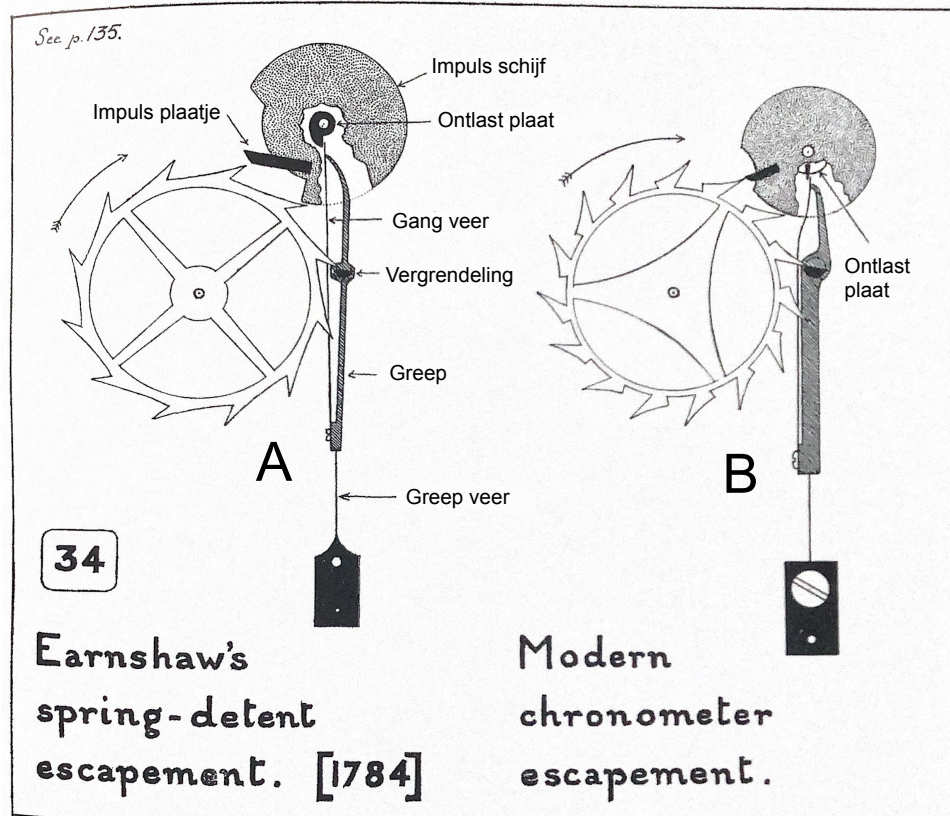
Figuur 52 Enkele van de balansen waarmee John Arnold experimenteerde

Bron : Gude & Meise, 2020

John Arnold (1736-1799) was een klokkenmaker die verder ging op de vindingen van Harrison, LeRoy en Berthoud. Hij is de eerste die de temperatuurcompensatie meteen op de balans toepast in plaats van aan de balansveer. In Figuur 52 zijn de bimetalen elementen duidelijk zichtbaar. Deze buigen de tegengestelde richting op als dat de balans uitzet of krimpt waardoor het zwaartepunt gelijk blijft. Dat werd de standaard voor latere chronometers.

John Arnold patenteerde in 1782 het '(pivoted) detent echappement'. Het eigenlijke idee kwam van Thomas Earnshaw die echter niet rijk genoeg was om onder eigen naam te werken. Het is één van zijn opdrachtgevers die het idee doorvertelt aan Arnold.

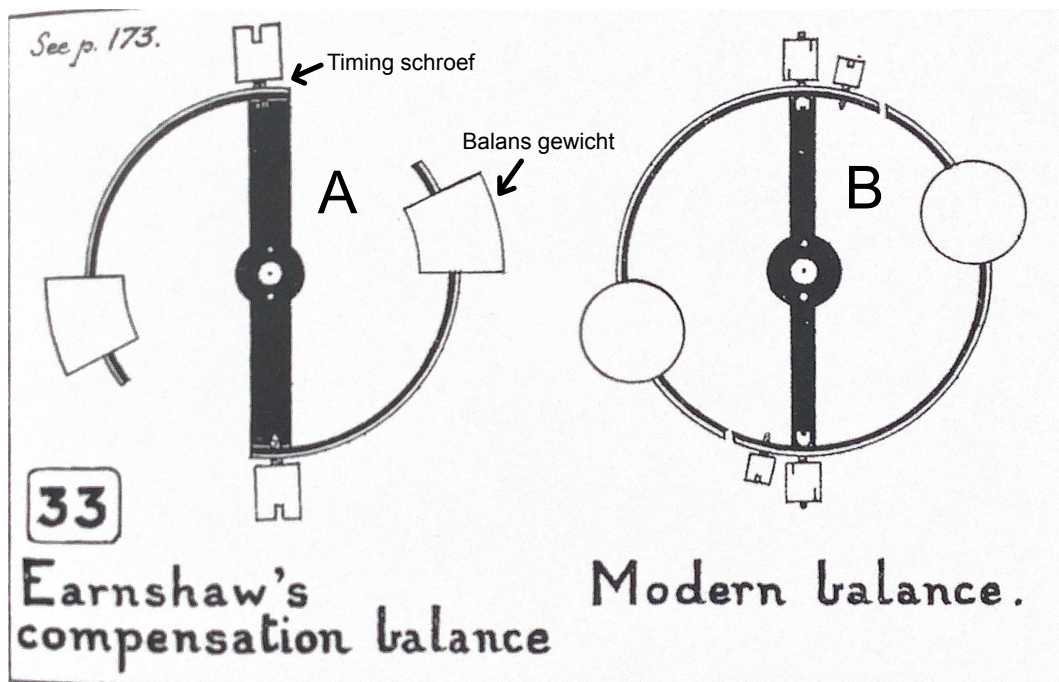
Dit echappement verenigt een aantal zaken die belangrijk zijn voor de precisie van de chronometer. Het gebruikt principe van het vrijstaand echappement van LeRoy zodat de balans vrij kan bewegen zonder wrijving van andere delen. Bovendien wordt de balans dicht bij het centrum van het draaipunt aangedreven. Als het aandrijfpunt voorbij de aandrijving is, krijgt de balans een tik mee. De detent wordt geblokkeerd door onderdelen die draaien op een as (pivot). Het werkt goed maar is afhankelijk van olie en kon makkelijk blokkeren (Gude & Meis, 2020).



A : Earnshaws veer echappement
B : Moderne chronometer echappement

Figuur 53 Vergelijking tussen Earnshaws veerechappement en een modern chronometer echappement
Bron: bewerkt van Gould, 1923

Thomas Earnshaw (1479 – 1829) ontwikkelde het 'detent escapement', in tegenstelling tot Arnold maakt Earnshaw in plaats van draaiende delen gebruik van veren (Gould, 1923). Hierdoor waren er minder onderdelen en konden ze ook minder snel vastlopen. Daarbij introduceerde hij de moderne methode voor het maken van compensatie balansen waarbij de aandrijving op de balansas moet werken (Gude & Meis, 2020). Het 'spring detent escapement' of veer echappement (zie Figuur 53) is ook een vrijstaand echappement waardoor het wiel vrij kan draaien zonder wrijving, behalve tijdens de korte impulsperiode. Het veer echappement gebruikt een dunne bladveer met een ontlast plaat of 'discharging pallet' om het impuls plaatje op zijn plaats te houden. Wanneer de impulschijf tegen de klok in beweegt, tilt de ontlast plaat de veer op terwijl het impuls plaatje contact maakt met tandrad. Hierdoor roteert het tandrad naar voor. Het tandrad wordt dan weer vergrendeld omdat de veer terug op zijn plaats valt (Time and Watches, 2021).



A : Earnshaws compensatie balans
B : Moderne chronometer balans

Figuur 54 Vergelijking tussen Earnshaws compensatie balans en een moderne compensatie balans

Bron: bewerkt van Gould, 1923

Door de hoge precisie, werden chronometers met veer echappementen gebruikt tot in de jaren 1970, toen werden de kwartsklokken de norm (The Seiko Museum Ginza, 2021). Kwartsklokken maken gebruik van kwarts kristallen. Omdat kwarts kristallen altijd trillen met dezelfde frequentie kan je hiermee zeer precies de tijd weergeven. Aangezien de frequentie overal op aarde gelijk is, zijn kwarts chronometers over een lange periode, nauwkeuriger dan mechanische chronometers die door slijtage kunnen afwijken. Kwarts chronometers zijn ook goedkoper in aanschaf en productie dan de mechanische klokken (Hoekstra, 2020)

5 Onderzoek

5.1 Inleiding

Tijdens de voorbereiding op mijn eindwerk, werd ik mij ervan bewust hoe weinig ik weet over de nautische instrumenten die gebruikt werden om aan boord de tijd te bepalen voordat de scheepschronometer door Harrison (1735) werd ontwikkeld. Mijn interesse werd vooral gewekt door het nocturlabium dat in de literatuur wordt voorgesteld als een simpele hemelklok en dat zou tot op vijftien minuten per dag nauwkeurig zijn (Vinck, 2014). Mijn onderzoek heeft tot doel te onderzoeken of dit instrument nauwkeurig genoeg is om aan plaatsbepaling te doen aan boord.

5.2 Onderzoeksopzet

Om de nauwkeurigheid van het nocturlabium te controleren voerde ik kwantitatief onderzoek uit. Hiervoor maakte ik gebruik van observaties die ik deed aan boord van het trainings- en onderzoeksschip 'Horyzont II' tijdens de stage van de Hogere Zeevaartschool te Antwerpen. Deze stage vond plaats van 20/03/2021 tot 16/04/2021. Daarbij beoordeel ik het gebruik van het instrument aan boord op basis van mijn eigen ervaring. De waarnemers van het onderzoek waren studenten van de opleiding Nautische Wetenschappen en drie instructeurs van wie twee kapiteins. Tot slot analyseerde ik de gegevens statistisch in Excel.

5.3 Methodologie

Mijn onderzoeksonderwerp, het nocturlabium, gaf mij de mogelijkheid om dit eeuwenoude instrument te testen. Door middel van literatuuronderzoek was het duidelijk dat een origineel nocturlabium of een exacte replica uit de vijftiende, zestiende of zeventiende eeuw niet meer bruikbaar is. In een tijdschrift 'Zonnetijdingen' uitgegeven door Zonnewijzerkring Vlaanderen vzw, vond ik de plannen voor een aangepaste en vereenvoudigde versie. Het nocturlabium in kwestie was aangepast voor het jaar 2012 en

was voorzien van duidelijke instructie voor de bouw en het gebruik van het instrument (zie Bijlage A).

Bij een eerste poging tot het bouwen van dit nocturlabium, werden de originele instructie en grootte gebruikt. Deze versie was echter niet gepast voor gebruik op zee omdat het niet stevig genoeg was. Daarnaast was het aan de kleine kant voor makkelijk gebruik.

Bij de tweede poging werd er gebruikgemaakt van dun karton en werd de grootte aangepast tot 130%. Door het gebruik van stevig materiaal leek het instrument bestand tegen eventuele beweging van het schip en van wind. Het was echter niet bestand tegen de regen, maar dat is niet van toepassing aangezien er in dat geval ook bewolking is en het instrument dan sowieso niet bruikbaar is.

Van de tweede en finale poging werden twee versies van het instrument gemaakt die gebruikt zijn voor het onderzoek.

Als de twee instrumenten dezelfde resultaten geven, zal dit het gebruiksgemak aan boord vergroten. Het zal dan mogelijk zijn om de twee instrumenten door elkaar te gebruiken, wat meer vrijheid geeft aan de studenten.

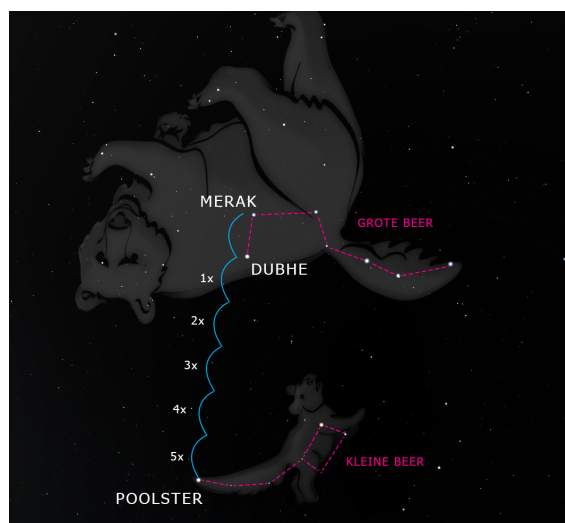
Om er zeker van te zijn dat beide instrumenten gelijk zijn, werd een 'Student t-toets' uitgevoerd. Deze statistische berekening wordt gebruikt om te bepalen of het waarschijnlijk is dat twee steekproeven behoren tot dezelfde twee onderliggende populaties met hetzelfde gemiddelde (Microsoft Support, 2021). Met andere woorden, het geeft aan hoe significant de verschillen tussen de twee instrumenten zijn. Het laat je weten of die verschillen (gemeten in gemiddelden) toevallig zijn kunnen ontstaan (Glen, 2021). Als p-waarde gebruikte ik 5% of 0,05. Deze p-waarde is de kans dat de resultaten van de steekproefgegevens toevallig zijn ontstaan. In de meeste gevallen geeft een p-waarde van 0,05 aan dat de gegevens geldig zijn (Glen, 2021). Om deze t-toets uit te voeren, is er een steekproef uitgevoerd. Op dezelfde datum zijn er twintig observaties na elkaar gebeurd met elk instrument. Tussen elke observatie is het instrument terug in zijn nulpositie geplaatst (zie Figuur 55). De datumalidade bleef steeds op dezelfde datum staan. Zo kon door onnauwkeurigheid geen afwijking ontstaan.



Figuur 55 Beide instrumenten op de nulpositie en de datumpositie op 10 maart

Bron : eigen werk

Voor de observaties aan boord volgde ik de instructie uit het tijdschrift 'Zonnetijding'. Ten eerste werd datum aangegeven door de tijdsschijf (B) te draaien. Dat bleek niet makkelijk te zijn door de duisternis. Bovendien werd deze schijf soms ook verdraaid tijdens de observatie. Toch is dat geen probleem, want het verdraaien van de tijdsschijf naar de juiste datum na de observatie, heeft geen invloed op de nauwkeurigheid van de observatie zelf (Ory, Maak zelf uw nocturlabium (deel 1), 2012).



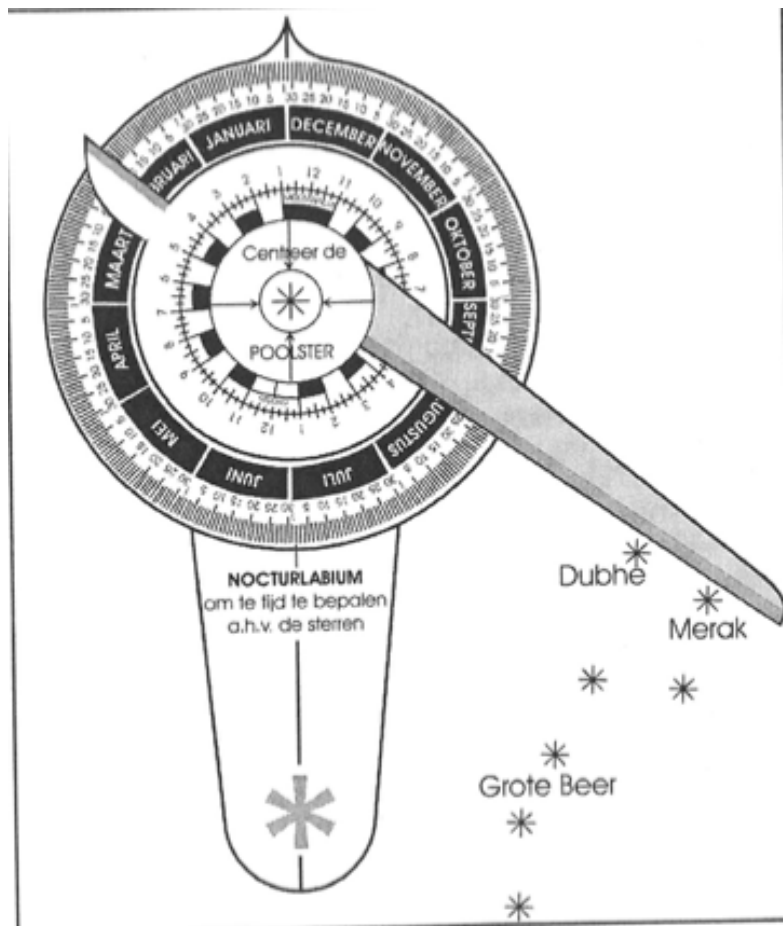
Figuur 56 De positie van de Poolster ten opzichte van de sterren Merak en Dubhe

Bron: Agemans, 2016

Ten tweede moet het instrument juist gepositioneerd worden ten opzichte van de waarnemer. Het nocturlabium moet met gestrekte arm frontaal naar de waarnemer gekeerd gehouden worden. De Poolster moet zichtbaar zijn door de opening en hierin gecentreerd staan. De Poolster is te vinden door de afstand tussen de sterren Merak en Dubhne, in het sterrenbeeld 'Grote Beer', vijf maal af te passen op de lijn door Merak en Dubhne. Zo kom je altijd uit bij de Poolster, tenzij deze niet zichtbaar is (Agemans, 2017). De waarnemer moet het nocturlabium zodanig gepositioneerd hebben dat het in een vlak loodrecht op de zichtlijn oog-Poolster wordt gehouden, en dat de lijn op het handvat samenvalt met het verticale vlak gevormd door de zichtlijn (Ory, Maak zelf uw nocturlabium (deel 1), 2012).

Daarna moet de grootste alidade gedraaid worden zodat de onderkant (donkergrijs) samenvalt met de sterren Dubhe en Merak. Als de alidade juist gepositioneerd staat ten opzichte van de sterren Dubhe en Merak (zie Figuur 57) kan men op de tijdsschijf de lokale ware tijd aflezen (Ory, Maak zelf uw nocturlabium (deel 1), 2012).

Deze observaties werden niet enkel door mijzelf uitgevoerd, maar ook door mijn medestudent. Om hun de juiste kennis bij te brengen heb ik het nocturlabium eerst zelf gebruikt terwijl het schip ten anker was. Zo was het mogelijk om de variabele beweging tot het minimum te houden. Verder lagen we ten anker voor Cádiz (Spanje) wat voor een heldere nacht zorgde. Na deze observatie groeide mijn geloof in het instrument, zo kon ik mijn medestudenten overtuigen om ook de tijd waar te nemen met het nocturlabium. Zo hebben alle studenten aan boord, tijdens hun brugwacht en als het weer het toeliet, het nocturlabium gebruikt.



Figuur 57 De alidade in lijn met de sterren Dubhe en Merak

Bron : uit Zonnetijding 62 door W. Ory, 2012

Eenmaal terug aan land werden de observaties in Excel geplaatst om de juiste berekeningen toe te passen. Deze berekening gebeurde in twee delen. Eerst moesten de observaties worden omgezet naar de juiste tijdseenheden zodat ze statistisch konden worden vergeleken.

Zoals reeds eerder besproken is tijdsmeting cruciaal voor de plaatsbepaling op zee. Maar sinds de invoering van het GPS-systeem is dit niet meer van toepassing en kunnen we rechtstreeks onze positie bepalen. Daarom is de nauwkeurigheid van het nocturlabium controleerbaar door middel van de tijd en positie die wordt afgelezen van de GPS.

De tijd die wordt afgelezen op de GPS is de UTC. Maar de tijd die afgelezen wordt op het nocturlabium is de lokale ware tijd. Om deze tijden te vergelijken moet de lokale ware tijd (LAT) worden omgezet naar de schijnbare tijd van een gekozen nulmeridiaan. In dit geval de Greenwich-meridiaan. LAT moet dus worden omgezet naar Greenwich Mean Time (GMT).

GMT kan niet rechtstreeks worden berekend als LAT gegeven is. LAT moet eerst worden omgezet naar LMT, de lokale schijnbare tijd. Door middel van de tijdsvereffening wordt LMT berekend, want dat is het verschil tussen de ware tijd en de schijnbare tijd. De tijdsvereffening is te vinden in tabellen of de Nautical Almanac. Die laatste moet worden gebruikt voor de juiste datum, en die wordt opgeteld of afgetrokken van LAT.

Dan kan GMT berekend worden door middel van LMT en de lengtegraad. Lengtegraden kunnen worden omgezet in tijd door middel van de tabel 'Conversion of arc to time' uit de Nautical Almanac (zie bijlage). Deze lengtegraadtijd moet worden opgeteld bij of afgetrokken van de LMT. Indien men west is van de nulmeridiaan wordt deze tijd opgeteld, en afgetrokken indien men oost zit van de nulmeridiaan.

Om de gegevens te kunnen interpreteren maakte ik gebruik van enkele formule functies in Excel, namelijk gemiddelde, standaardfout, mediaan, modus, steekproefvariantie, kurtosis, bereik, minimum, maximum, aantal, betrouwbaarheidsniveau en de standaarddeviatie. Deze gegevens werden in een grafiek geplaatst zodat ze visueel duidelijkheid kunnen scheppen. Alle observaties die een groter verschil hadden dan 120 minuten werden niet opgenomen in de eindconclusie.

Date	WT	GMT	LAT	EoT	LMT	g(t)	E/W	GMT nocturlabium	Time difference	Time difference (minuten)
1/04/2021	23:35	1/04/2021 21:35	1/04/2021 20:00	00:03:46	1/04/2021 19:56	00:25:44	W	1/04/2021 20:21	01:13:02	73,03
1/04/2021	23:23	1/04/2021 21:23	1/04/2021 20:40	00:03:46	1/04/2021 20:36	00:25:20	W	1/04/2021 21:01	00:21:26	21,43
3/04/2021	23:43	3/04/2021 21:43	3/04/2021 20:40	00:03:11	3/04/2021 20:36	00:25:20	W	3/04/2021 21:02	00:40:51	40,85
4/04/2021	21:47	4/04/2021 19:47	4/04/2021 17:20	00:02:54	4/04/2021 17:17	00:25:20	W	4/04/2021 17:42	02:04:34	124,57

Figuur 58 Excel tabel van de observaties met de toegepaste berekeningen

Bron : eigen werk

5.4 Resultaten

In dit onderzoek is gezocht naar de nauwkeurigheid van het nocturlabium. Hiervoor is gekeken naar het gebruiksgemak aan boord en het verschil in minuten tussen de tijd afgelezen op het nocturlabium en de UTC, de tijd afgelezen van de GPS. Er is gebruikgemaakt van twee nocturlabia aan boord van de 'Horyzont II'.

Om de twee instrumenten door elkaar te mogen gebruiken werden per instrument twintig observaties uitgevoerd. Op deze steekproefgegevens werd een 'Student t-toets' uitgevoerd. De p-waarde voor deze test was 5% of 0,05. De t-waarde die werd berekend, is bij beide instrumenten < 1,86. Daarom kunnen we ervan uitgaan dat beide

instrumenten gelijk zijn. Ze mogen dus door elkaar gebruikt worden.

Het gebruiksgemak van het instrument bleek zeer positief aangezien alle studenten na een korte uitleg het instrument juist positioneerden. Ze begrepen ook meteen het nut en de mogelijkheden van het instrument voor plaatsbepaling op zee in tijden voor het gebruik van de chronometer. De studenten hebben meerdere observaties uitgevoerd en dit met en zonder toezicht. Daarbij bleek het vinden van de sterren Merak en Dubhne zeer makkelijk te zijn. Het sterrenbeeld Grote Beer is zeer gekend en was steeds duidelijk zichtbaar (indien er geen bewolking was). De moeilijkheid bleek vooral te zitten in het vinden van de Poolster tussen alle ander sterren. De Poolster bleek namelijk minder helder dan de sterren Merak en Dubhne, en ging vaak verloren tussen alle andere sterren. Vooral tijdens zeer heldere nachten was het bijna onmogelijk op de Poolster te onderscheiden.

Ook het waarnemen op een bewegend schip bleek makkelijker dan verwacht. Door het grote gat was het zeer doenbaar om de Poolster in zicht te houden en te centreren. Overigens is het instrument zeer eenvoudig opgesteld waardoor alles makkelijk terug te vinden was.

In de historische literatuur wordt beweerd dat het nocturlabium nauwkeurig is tot op vijftien minuten per dag. Om deze hypothese te kunnen verifiëren of falsifiëren, werden verschillende observaties uitgevoerd aan boord en werden deze daarna door middel van het programma Excel geïnterpreteerd.

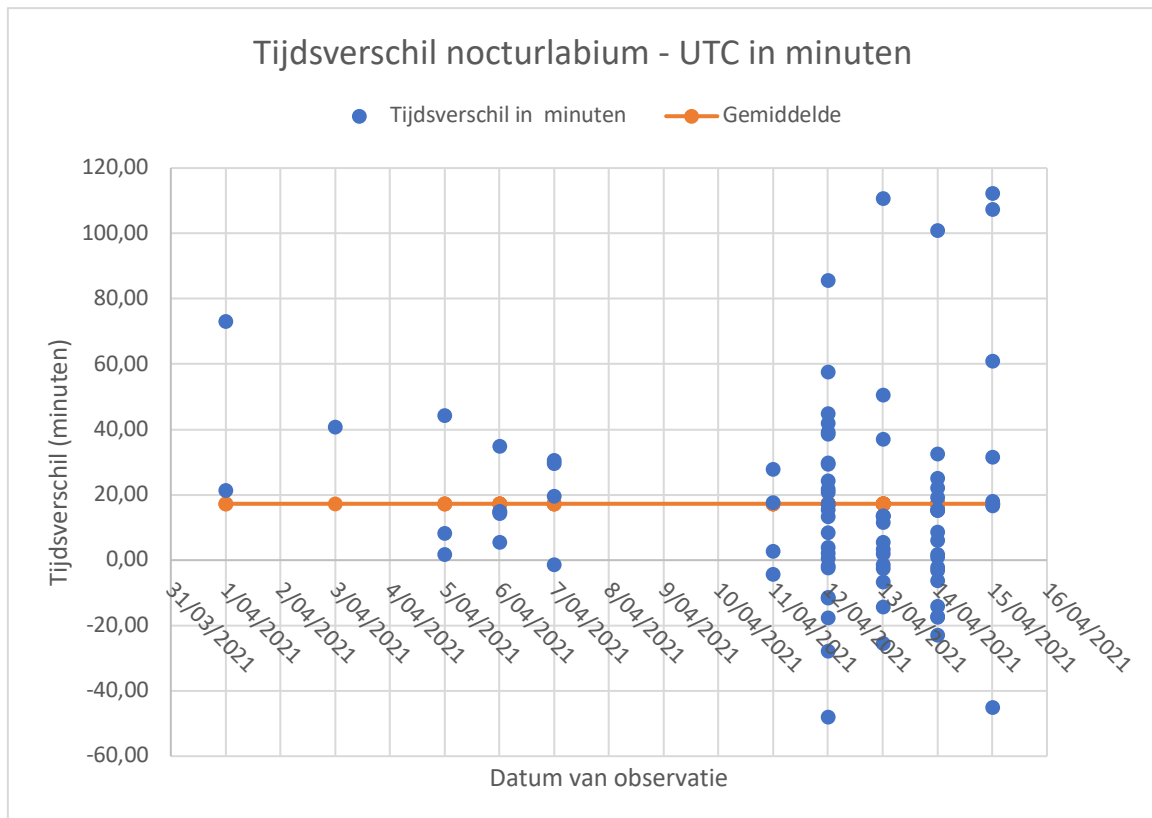
De steekproef bestaat uit 85 observaties. De minimumwaarde van deze 85 observaties is een tijdsverschil van 48 minuten vroeger op het nocturlabium dan de UTC op het moment van deze observatie. De maximumwaarde is 112 minuten later op het nocturlabium dan de UTC.

Tabel 1 Statistische gegevens

Bron : eigen werk

Gemiddelde	17,25
Standaardfout	3,27407956
Mediaan	14,25
Modus	14,9833333
Kurtosis	2,23228126
Scheefheid	1,13817439
Bereik	1
Minimum	-48,03
Maximum	112,37
Aantal	85
Betrouwbaarheidsniveau (95%)	6,51503905
Standaarddeviatie	30,6463244

De steekproef heeft een positieve scheve verdeling, dat betekent dat de het gemiddelde niet exact in het midden ligt. Het gemiddelde ligt meer aan de positieve kant. De scheefheid heeft een waarde van 1,14. Als vuistregel wordt er algemeen van uitgegaan dat waarden tussen -1 en +1 redelijk goede normale verdelingen zijn. Deze verdeeldheid is groter dan +1 wat een indicatie is dat er geen normale verdeling zal zijn (van der Zee, 2017). Als we in de tabel kijken, wordt deze positieve verdeling duidelijk. Het gemiddelde ligt duidelijk aan de positieve kant.



Figuur 59 Tijdsverschil (minuten) van het nocturlabium met UTC per datum van observatie

Bron : eigen werk

De standaarddeviatie is een rekenkundige maat voor de spreiding van de getallen rondom het gemiddelde. De standaarddeviatie is best groot in dit onderzoek (zie Tabel 1). Dit wil zeggen dat de spreiding van de observaties ver uiteen ligt. Hierdoor kunnen we concluderen dat de precisie van de gegevens klein is.

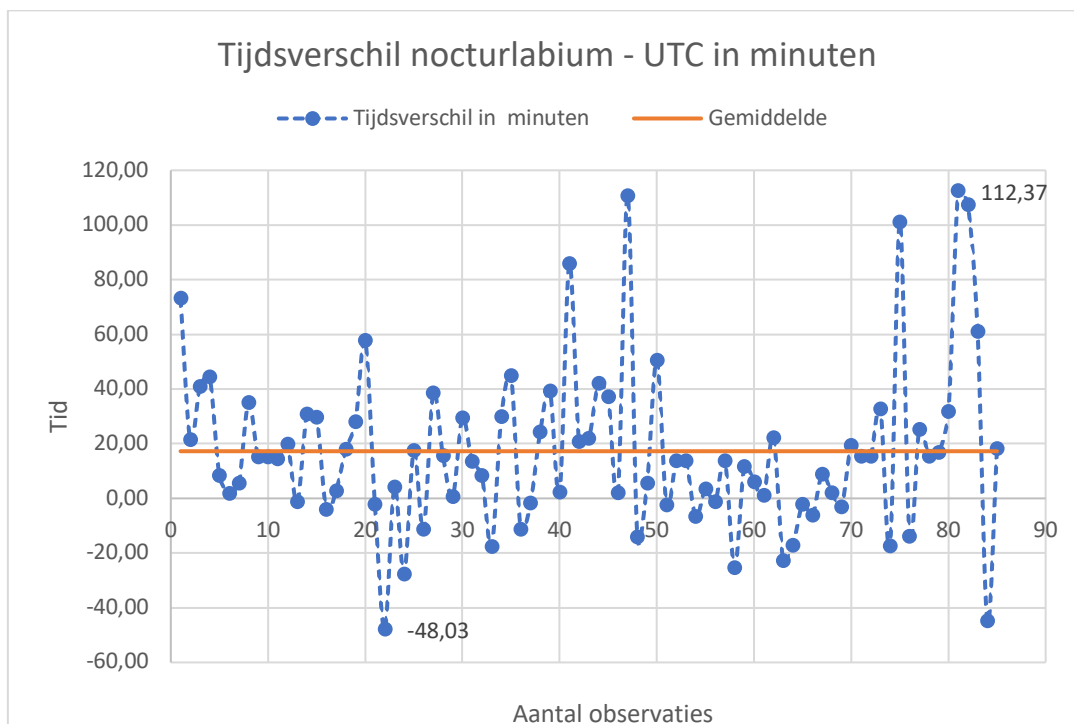
De standaarddeviatie is ook een goede maat om de gegevens die een zeer grote afwijking hebben, aan te duiden. Aan de hand van de standaarddeviatie zijn alle gegevens die groter of kleiner waren dan vier of vijfmaal de standaarddeviatie plus of min het gemiddelde, niet opgenomen. Het gaat dus over de tijdsverschillen die groter of kleiner zijn dan 120 minuten.

De steekproef heeft een gemiddelde van zeventien minuten. Dat is groter dan de vijftien minuten die in de hypothese worden aangehaald. Daarbij is er een standaardfout van +/- drie minuten.

5.5 Conclusie

Uit de resultaten naar het tijdsverschil tussen het nocturlabium en UTC blijkt dat het nocturlabium een gemiddelde afwijking heeft van zeventien minuten ten opzichte van de UTC. Daarbij is er een standaardfout van +/- drie minuten. Dat betekent dat het nocturlabium wel accuraat is, maar niet precies.

We kunnen dus zeggen dat de hypothese van vijftien minuten nauwkeurigheid moet worden gefalsifieerd.



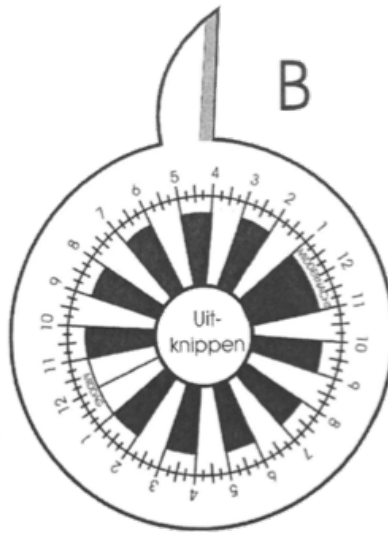
Figuur 60 Het tijdsverschil in minuten tussen het nocturlabium en UTC voor elke observatie

Bron : eigen werk

Toch is deze afwijking van zeventien minuten geen slecht resultaat. In de vijftiende, zestiende en zeventiende eeuw waren er weinig instrumenten zo nauwkeurig. Het nocturlabium was en is nog steeds bruikbaar aan boord de tijd te meten. Daarbij moet rekening worden gehouden met het feit dat er is gebruikgemaakt van een vereenvoudigde versie van het nocturlabium.

De tijdsschijf van het nocturlabium dat gebruikt werd voor de observaties heeft een verdeling van vijftien minuten. Het is dan ook moeilijk om nauwkeurig de tijd af te lezen.

Daarbij is het een kartonnen versie van een instrument dat origineel in hout of koper werd gemaakt. Dat vermindert de nauwkeurigheid.



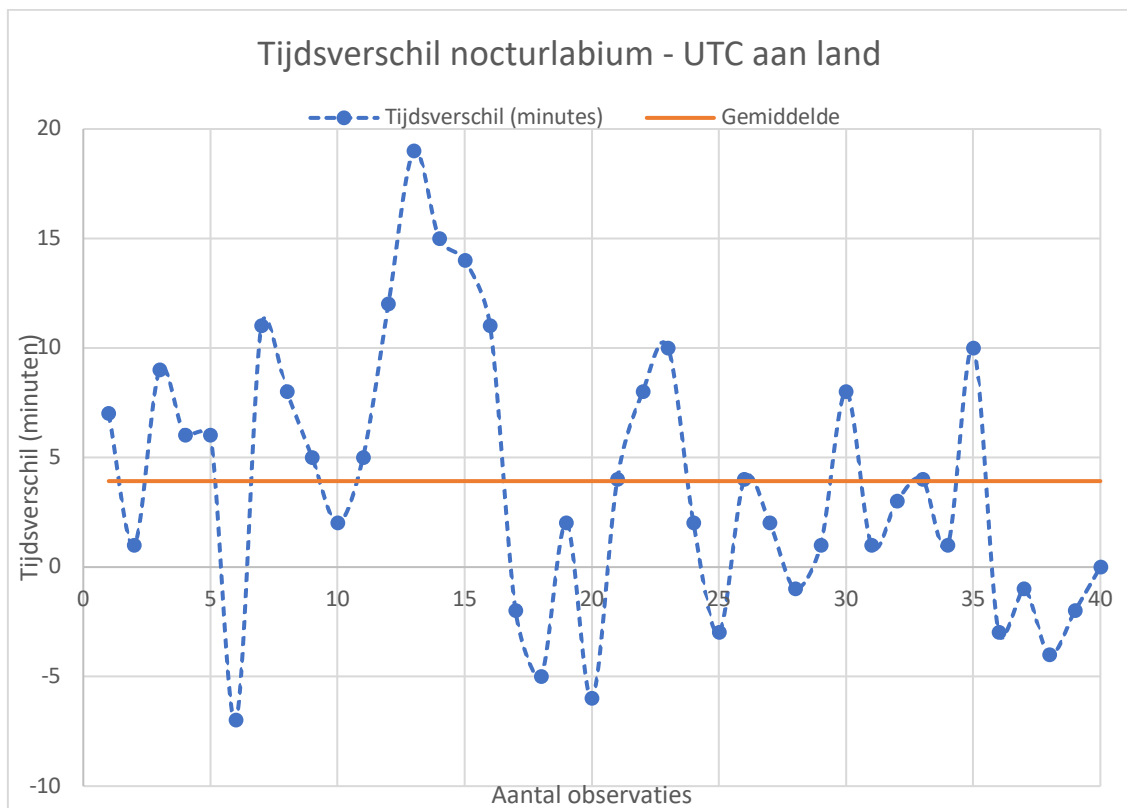
Figuur 61 Tijdsschijf nocturlabium gebruikt voor de observaties

Bron: uit het tijdschrift Zonnetijding 62, 2012

Er is wel een opvallende verschuiving van het gemiddelde naar de positieve kant. Dat wil zeggen dat er meer observaties later dan de UTC waren dan vroeger. Er kan dus een systematische fout naar de positieve kant worden vastgesteld. Vanwaar deze fout komt is niet gekend. Door dit onderzoek te vergelijken met de informatie uit de historische literatuur, kunnen we ervan uitgaan dat deze fout er altijd is geweest. Als men in het verleden ook niet nauwkeuriger dan vijftien minuten kon waarnemen, is het zeer waarschijnlijk dat dit een systematische fout is.

Het zou dus zeker interessant zijn om uit te zoeken of deze fout aan het ontwerp van het nocturlabium ligt. Een mogelijk reden voor deze afwijking is de ooghoogte. De initiële 40 observaties die werden gemaakt aan land (om beide instrumenten aan elkaar gelijk te stellen) gaven een veel kleiner gemiddelde en een kleinere standaardfout. Met andere woorden: aan land waren de instrumenten veel accurater en preciezer. Een opvallend verschil met de observaties aan boord is de ooghoogte van de waarnemer, die aan boord hoger ligt dan aan land door de hoogte van het schip dit verschil is niet verder onderzocht.

Ook de bewegingen van het schip zouden een reden kunnen zijn voor de grotere afwijking, of misschien zit er wel een fout in het nocturlabium die nog niet werd onderzocht. Zo lijkt het erop dat er in het verleden geen rekening gehouden werd met het feit dat de Poolster niet exact in de hemelpool staat (Ory, Het nocturlabium (deel 2), 2012).



Figuur 62 Tijdsverschil (minuten) tussen het nocturlabium en UTC van de observaties aan land

Bron : eigen werk

6 Besluit

Het doel van dit eindewerk was om te onderzoeken hoe de evolutie in de maritieme tijdsmeting bijgedragen heeft tot een accuratere navigatie. Hiervoor is een literatuurstudie uitgevoerd naar het concept tijd en het belang van tijdsmeting in de maritieme navigatie. Daarbij is door middel van kwantitatief onderzoek de vermoedelijke nauwkeurigheid van vijftien minuter tijdsverschil met de UTC van het nocturlabium onderzocht.

Uit de zoektocht naar de vraag: Wat is tijd?, bleek dat de meeste definities van tijd het erover eens zijn dat tijd continu is en niet teruggedraaid kan worden. Maar kunst, filosofie, religie en de wetenschappen definiëren tijd daarnaast allemaal anders. Daarom werd er gezocht naar de definitie van het concept tijd in de maritieme navigatie.

In de maritieme navigatie maken we gebruik van de Newtoniaans of absolute tijd. Newton had de opvatting dat de tijd uniform verloopt, ongeacht of er iets in de wereld gebeurt. Het is een universele tijd die overal even snel voorbij tikt. De dagelijkse rotatie van de aarde is de norm voor het unifome verloop van de absolute tijd.

Aan boord wordt gebruik gemaakt van astronomische tijdsmeting. Deze tijdsmeting maakt gebruik van de schijnbaar dagelijkse beweging, de ware zonnetijd en de gemiddelde zonnetijd. Vandaag de dag wordt ook gebruik gemaakt van de gecoördineerd universele tijd, maar deze wordt nog steeds gesynchroniseerd met de gemiddelde zonnetijd door middel van het invoeren van een schrikkelseconden.

Tijdsmeting is ontstaan in de prehistorie toen er enkel gebruik werd gemaakt van de beweging van de maan. Daarna werd de ware zonnetijd gemeten door middel van de zonnewijzer. Met de ontwikkeling van de waterklok, werd het eerste alleenstaand systeem ingevoerd. Hierop werd de zandloper en de mechanische klokken gebaseerd. Deze laatste waren de aanzet tot de scheepschronometer. Alle vorige instrumenten van tijdsmeting zijn niet toereikend voor het gebruik aan boord, maar hebben wel de basis gelegd voor de tijdsmeting aan boord. Want tijdsmeting is cruciaal voor de maritieme navigatie.

Tijdsmeting is cruciaal voor de bepaling van lengtegraad, die berekend wordt aan de hand van een tijdsverschil. Dus de ontwikkeling van tijdsmeting was cruciaal voor de scheepvaart, maar de scheepvaart was ook cruciaal voor de ontwikkeling van tijdsmeting omdat ze wetenschappers aanspoorden een oplossing te vinden voor nauwkeurige tijdsmeting.

Voor de scheepschronometer van Harrison was het nocturlabium algemeen in gebruik aan boord. Het werd waarschijnlijk in de 9^e eeuw voor het eerst ontwikkeld maar kwam pas algemeen in gebruik in de vijftiende eeuw. In tegenstelling tot het wijdverspreid gebruik is er zeer weinig over terug te vinden in de literatuur. De eenvoudigheid van het instrument was de oorzaak van het algemeen gebruik aan boord. Er waren geen lange en moeilijke berekeningen nodig zoals bij de methode van de maansafstanden. De lokale ware zonnetijd kon gewoon worden afgelezen. Dat verminderde de kans om fouten te maken en compenseert de relatieve onnauwkeurigheid van het instrument zelf.

Toch is het principe van het nocturlabium niet zo simpel als het gebruik. Ten eerste is een goed begrip van de hemelbewegingen cruciaal. Bovendien zijn de gebruikte gegevens onderhevig aan veranderingen doorheen de tijd onder invloed van de precessiebeweging van de aarde. Hierdoor zijn de nocturlabia uit de vijftiende eeuw vandaag niet meer bruikbaar. Ten tweede moeten de nodige berekeningen worden uitgevoerd om het tijdsverschil met de referentiemeridiaan te Greenwich te kunnen vaststellen. Door het tijdsverschil kan de lengtegraad worden bepaald.

Het kwantitatief onderzoek heeft de nauwkeurigheid van het nocturlabium wel aangetoond. Voor niet geoefende waarnemers op een bewegend schip is het mogelijk om de tijd met een gemiddelde fout van seventien minuten ten opzichte van de UTC af te lezen. Maar het nocturlabium is wel opvallend onprecies. Vanwaar deze fout komt is niet verder onderzocht maar er zijn wel mogelijke oorzaken zoals de ooghoogte van de waarnemer, de Poolster die niet exact in de hemelnoordpool staat of een fout in het ontwerp.

Het nocturlabium was dus zeker bruikbaar voor de scheepvaart, die de kust wou verlaten. Door de eenvoudigheid en een relatieve nauwkeurigheid van seventien minuten was het gedurende drie eeuwen wijdverspreid in gebruik.

Het was uiteindelijk de scheepschronometer van Harrison die alle vorige methodes overtrof. Deze scheepschronometer is zeer nauwkeurig en is bruikbaar aan boord. Het enige probleem was de productie van het instrument. Het waren John Arnold en Thomas Earnshaw die de chronometer standaardiseerden.

Tijdsmeting aan boord is sinds de uitvinding van de scheepschronometer verder geëvolueerd, maar het principe dat de lengtegraad bepaald wordt door meting van een tijdsverschil tussen de waarnemer en een referentiemeridiaan blijft tot vandaag de dag overeind.

7 Bibliografie

- Aaron Charles promotion LLC. (2020, mei 11). *Nocturnal Geocoin™*. Opgehaald van Compassrosegeocoin.com: <http://www.compassrosegeocoin.com/nocturnal.php>
- Agemans, M. (2017, juni 6). *Hoe goed ken jij de Poolster?* Opgehaald van Volkssterrenwacht Urania: <https://www.uranias.be/observatie/nieuws/hoe-goed-ken-jij-de-poolster>
- Astrolabium. (2020, April 16). *Zonnewijzer*. Opgehaald van Hemel en aarde meten, de wetenschap begrijpen dankzij Kunst en Geschiedenis: <http://www.astrolabium.be/mesurercielletterre/Cadran-solaire?lang=nl>
- Augustine. (2006). The confessions. In M. Foley (Red.), *The confessions* (F. Sheed, Vert., 2 ed., p. 384). Indianapolis: Hackett Publishing Company.
- Baker, A. (2020). *Commissioners of Longitude - essay*. Opgehaald van University of Cambridge: <http://cudl.lib.cam.ac.uk/view/ES-LON-00004/1>
- Barrett, K. (2020). *H1, H2, H3 and H4*. Opgehaald van Cambridge Digital Library: <http://cudl.lib.cam.ac.uk/view/ES-LON-00010>
- BBC. (2020). *BBC - A History of the World - Object : Nocturnal or Nightdial*. Opgehaald van BBC: <http://www.bbc.co.uk/ahistoryoftheworld/objects/J3rt8WMATAqjIPYlpvzJVw>
- Bellis, M. (2020, februari 11). *History of the first clocks*. Opgehaald van ThoughtCo: <https://www.thoughtco.com/history-of-sun-clocks-4078627>
- Betts, J. (2008, november 26). *Solar Time*. Opgehaald van Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/solar-time#ref144522>
- Betts, J. (2019, november 16). *George Graham*. Opgehaald van Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/biography/George-Graham>
- Bikos, K. (2021, januari 25). *The Jewish Calendar*. Opgehaald van timeanddate.com: <https://www.timeanddate.com/calendar/jewish-calendar.html>
- Bogaert, R. (2020). *Navigeren in de 19de eeuw*. Opgehaald van Vlaams instituut voor de zee: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=11&ved=2ahUKEwjQ4ef25bjpAhWwM->

- wKHZGrBWkQFjAKegQIAhAB&url=http%3A%2F%2Fwww.vliz.be%2Fimisdocs%2Fpublications%2F240326.pdf&usg=AOvVaw3euuw1OqqZsrm4ZFoW4Px
- Britannica, T. (sd). *Egyptian Calendar*. Opgehaald van Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/Egyptian-calendar#ref1248450>
- Brunner, W. (2005, maart 21). Opgehaald van Starpath: www.starpath.com
- Cartwright, M. (2017, maart 31). *Tower of the Winds*. Opgehaald van Ancient History encyclopedia: <https://www.ancient.eu/article/1044/tower-of-the-winds/>
- Cline, D. (1999, Oktober 7). *Navigation: The Nocturnal*. Opgehaald van The Pilgrims & Plymouth Colony:1620: <http://sites.rootsweb.com/~mosmd/noctrnl.htm>
- Dava, S., & Sobel, D. (1995). In *Longitude: The true story of a Lone Genius Who Solved the greatest scientific problem of his time* (p. 191). Londen: Fourth Estate.
- De Baere, K., & Uten, M. (2021). Het bepalen van de lengtegraad op zee voor Harrison (1735).
- De Deyne, S. (2017, oktober 19). *De sextant*. Opgehaald van Volkssterrenwacht Urania: <https://www.urania.be/community/bestanden/de-sextant-19102017>
- de VOCsite. (2020). *Navigatie in de 17e en 18e eeuw*. Opgehaald van Vocsite.nl: <https://www.vocsite.nl/geschiedenis/navigatie.html>
- de Wit, G. (1987). Astrologisch Woordenboekje. In G. de Wit, *Astrologisch Woordenboekje*. Amsterdam: Schors.
- De Zonnewijzerkring. (2020, Mei 9). *Zonnewijzertypen*. Opgehaald van De Zonnewijzerkring: <https://www.dezonnewijzerkring.nl/pages/nl/zonnewijzerkunde/types/types-21.php>
- De zonnewijzerkring. (2021). *Zon en klok*. Opgehaald van De Zonnewijzerkring: <https://www.dezonnewijzerkring.nl/pages/nl/zonnewijzerkunde/zon-en-klok/zonklok-01.php>
- Deboosere, F. (2021). *Wat is het verschil tussen springtij en doodtij?* Opgehaald van Frank Deboosere: <https://www.frankdeboosere.be/vragen/vraag6.php>
- Dekkers, G. (2019, December 08). *Isaac Newton en de natuurkunde*. Opgehaald van Historisch nieuwsblad: <https://www.historischnieuwsblad.nl/nl/artikel/45182/isaac-newton-en-de-natuurkunde.html>

- Duncan, D. (1999). Caesar omarmt de zon. In D. Duncan, *De kalender. Op zoek naar de tijd* (pp. 20-36). Uitgeverij BZZTôH .
- Duncan, D. (1999). Inleiding, het web van de tijd. In D. Duncan, *De kalender, op zoek naar de tijd* (p. 234). Nederland: Uitgeverij BZZTôH bv.
- Eggen, O. (2020, januari 10). *Edmond Halley - Halley's significance*. Opgehaald van Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/biography/Edmond-Halley/Halleys-significance>
- Eggen, O. (2021, januari 28). *Tycho Brahe*. Opgehaald van Britannica: <https://www.britannica.com/biography/Tycho-Brahe-Danish-astronomer>
- Egler, R. (2006). Measuring the Heavens: Astronomical Instruments before the Telescope. *JRASC*, 4.
- EOS Wetenschap. (2015, juni 25). 30 juni mogen we weer een seconde langer slapen. *EOS Wetenschap*. Opgehaald van EOS Wetenschap: <https://www.eoswetenschap.eu/technologie/30-juni-mogen-we-weer-een-seconde-langer-slapen>
- Exactly what is time. (2019). *Ancient philosophy*. Opgeroepen op November 16, 2019, van <http://www.exactlywhatistime.com/philosophy-of-time/ancient-philosophy/>
- Exactly what is time. (2019). *Definition of Time*. Retrieved from Exactly what is time: <https://www.exactlywhatistime.com/definition-of-time/>
- Exactly what is time. (2020, februari 16). *Absolute Time*. Opgehaald van Exactly what is time: <https://www.exactlywhatistime.com/physics-of-time/absolute-time/>
- Exactly what is time. (2020, oktober 10). *Kalenders*. Opgehaald van Exactly what is time: <https://www.exactlywhatistime.com/measurement-of-time/calendars/>
- Fish, S. (2015). 1734 to 1736 Channel Fleet Duties in England - First foreign Voyage to Lisbon with John Harrison tot Test his Marine clock H1. In S. Fish, *HMS Centurion 1733-1769 an Historic Biographical-Travelogue of one of Britain's Most Famous Warships and the Capture of the Nuestra Senora De Covadonga Treasure Galleon*. Bloomington, USA: AuthorHouse UK.
- Gaffney, V., Fitch, S., Ramsey, E., Yorston, R., Ch'ng, E., Baldwin, E., . . . Hopla, E. (2013, juli 12). *Time and a Place: A luni-solar 'time-reckoner' from 8th millennium BC Scotland*. Opgehaald van Internet Archaeology: <https://intarch.ac.uk/journal/issue34/1/toc.html>

- Geertsma, P. (2020). *Wat is een bimetaal en wat is het verschil tussen bimetaal en een metallegering?* Opgehaald van Technisch Werken:
<https://www.technischwerken.nl/kennisbank/techniek-kennis/wat-is-een-bimetaal-en-wat-is-het-verschil-tussen-bimetaal-en-een-metaallegering/>
- Glen, S. (2021). *T-Test (Student's T-Test): Definition and examples*. Opgehaald van StatisticsHowTo.com: <https://www.statisticshowto.com/probability-and-statistics/t-test/>
- Gould, R. (1923). The problem of finding longitude at sea. In Goul, & R. Gould, *The marine chronometer It's history and development* (pp. 1-18). Londen: J.D. Potter.
- Gude & Meis. (2020, mei 9). *Een korte geschiedenis van de ontwikkeling van de scheepsschronometer*. Opgehaald van Gude & Meis: <https://gudemeis.com/een-korte-geschiedenis-van-de-ontwikkeling-van-de-scheepsschronometer/>
- Hüwel, L. (2018). Deep time or getting old. In L. Hüwel , *Of Clocks and Time* (pp. 5.5 - 5.6). USA: Morgan & Claypool Publishers.
- Helmenstine, A. (2019, September 25). *What is Time? A simple explanation*. Retrieved from ThoughtCo.: <https://www.thoughtco.com/what-is-time-4156799>
- Hermesen, J. J. (2014). Kairos. Een nieuwe bevolgenheid. In J. Hermesen, *Kairos. Een nieuwe bevolgenheid* (p. 270). Uitgeverij Arbeiderspers.
- Hernandez, W. (2016). St. Augustine on time. *International Journal of Humanities and Social Science*, 37-39.
- Heylen, K. (2018, mei 3). *Tijdzones, GMT, UTC, hoe zit dat in elkaar?* Opgehaald van VRT NWS: <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2018/05/03/tijdzones--gmt--utc--hoe-zit-dat-in-elkaar-/>
- Historic Environment Scotland. (2021). *Revealed form the air*. Opgehaald van Historic Environment Scotland: <https://www.historicenvironment.scot/archives-and-research/online-exhibitions/scotland-from-the-sky/revealed-from-the-air/>
- History.com Editors. (2010, juli 21). *The Julian calendar takes effect for the first time on New Year's Day*. Opgehaald van HISTORY: <https://www.history.com/this-day-in-history/new-years-day>
- Hoekstra, M. (2020, juni 4). *Quartz of automaat? De verschillen bekeken*. Opgehaald van geklokt.nl: <https://www.geklokt.nl/2020/06/04/quartz-of-automaat-de-verschillen-nader-bekeken/>

InfoNu. (2016, maart 29). *Van Egyptische jaartelling naar gregoriaanse kalender*.
 Opgehaald van InfoNu: <https://mens-en-samenleving.infonu.nl/regelingen/153934-van-egyptische-jaartelling-naar-gregoriaanse-kalender.html>

IsGeschiedenis. (2020, mei 1). *Christiaan Huygens – Uitvinder van het slingeruurwerk*.
 Opgehaald van IsGeschiedenis: <https://historiek.net/christiaan-huygens-1629-1695/2706/>

IsGeschiedenis. (2020, April 16). *De geschiedenis van tijdmeting*. Opgehaald van IsGeschiedenis: <https://isgeschiedenis.nl/nieuws/de-geschiedenis-van-tijdmeting>

IsGeschiedenis. (2020, April 16). *Van waterklok tot pulsar: de geschiedenis van tijdmeting*.
 Opgehaald van IsGeschiedenis: <https://isgeschiedenis.nl/reportage/van-waterklok-tot-pulsar-de-geschiedenis-van-tijdmeting>

JongerenWerkgroep voor Sterrenkunde. (2021). *Kalender*. Opgehaald van Sterrenkunde in Nederland: <https://www.sterrenkunde.nl/index/encyclopedie/kalender.html>

Jongerenwerkgroep voor Sterrenkunde. (2021). *Rechte klimming en declinatie*. Opgehaald van Sterrenkunde in Nederland: <https://www.sterrenkunde.nl/index/encyclopedie/rechteklimming.html>

Keys, D. (2020, April 3). Found after 10,000 years: the world's first calendar. *Independent*.

Klokkenlexicon. (2017, juni 27). *Anker gan - de betekenis volgens klokkenlexicon*.
 Opgehaald van Ensie.nl: <https://www.ensie.nl/klokkenlexicon/ankergang>

Koekoeksklok online. (2020). *Hoe werkt een Slingeruurwerk? [Visuele weergave]*.
 Opgehaald van Koekoeksklokonline.nl: <https://www.koekoeksklokonline.nl/blogs/hulpmiddelen/hoe-werkt-een-slingeruurwerk-visuele-weergave>

Korotkov, K. (2008). *Hourglass history*. Opgehaald van My hourglass collection: <https://www.myhourglasscollection.com/hourglass-history/>

Kuuke. (2015, februari 8). *Wat zijn circumpolaire sterren?* Opgehaald van Kuuke's sterrenbeelden: <https://www.kuuke.nl/wat-zijn-circumpolaire-sterren/>

La Commission des Cadrans Solaires. (2020). *Les nocturlabes*. Opgehaald van La Commission des Cadrans Solaires: <https://commission-cadrans-solaires.fr/la-gnomonique/les-nocturlabes/>

- Lamb, R. (2009, november 30). *How Water-powered Clocks Work*. Opgehaald van How stuff works: <https://science.howstuffworks.com/environmental/green-tech/sustainable/water-powered-clock1.htm>
- Le Berre, M. (2008, juli 22). *The nocturnal, or the unsung angel of the night*. Opgehaald van FHH Journal: <https://journal.hautehorlogerie.org/en/the-nocturnal-or-the-unsung-angel-of-the-night/>
- Leenders, W. (2020). *Hoe werkt een zonnewijzer*. Opgehaald van Wijzerweb: <http://www.wijzerweb.be/werkingzonnewijzer.html>
- Leonard, G. (2008, januari 26). *Gridiron pendulum*. Opgehaald van Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BanjoPendulum.png>
- Malinsky, A. (2016, mei 21). Hoe het komt dat onze feestdagen van jaar tot jaar anders zijn op een niet-joodse kalender. *Knack*.
- Martínez-Hidalgo, J. (1992). Enciclopedia general del mar. In J. Martínez-Hidalgo, *Enciclopedia general del mar*. Ediciones Garriga.
- May, W. (1973). A history of marine navigation. In W. May, *A history of marine navigation* (pp. 108-110). New York: Norton.
- Meeus, J. (1998). In *Astronomical Algorithms*.
- Microsoft Support. (2021). *T.TOETS functie*. Opgehaald van Microsoft Support: <https://support.microsoft.com/nl-nl/office/t-toets-functie-1696ffc1-4811-40fd-9d13-a0eaad83c7ae>
- Mintz, D. (2007, april). *Time keeping in the ancient world: Water clocks*. Opgehaald van School of Mathematics and Statistics University of St Andrews, Scotland university crest: http://mathshistory.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Water_clocks.html
- Morse, S. (2014). The Julian Calendar and why we need to know about it. *Association of Professional Genealogists Quarterly*.
- Mosley, A. (1999). *Mathematical Techniques: The Celestial Sphere*. Opgehaald van Starry messenger: <http://www.sites.hps.cam.ac.uk/starry/armillmaths.html>
- Muslim Scientists and inventors. (2015, februari 11). *Ibn al-Shatir, The "Father" of Copernicus' Theory*. Opgehaald van jenkinsmuslimscientistsandinventors.blogspot.com: <http://jenkinsmuslimscientistsandinventors.blogspot.com/2015/02/ibn-al-shatir-astronomer-mathematician.html>

- NatGeoNL. (2020, januari 29). *Einsteins relativiteitstheorie in vier eenvoudige stappen*.
Opgehaald van National Geographic:
<https://www.nationalgeographic.nl/wetenschap/2017/05/einsteins-relativiteitstheorie-vier-eenvoudige-stappen>
- Neubauer, E., Sezgin, F., & Neubauer, E. (2020). *Catalogue*. Opgehaald van Istanbul Museum of the History of Science and Technology in Islam:
<http://www.ibttm.org/ENG/index.html>
- O'Connor, J., & Robertson, E. (1999, april). *Theodosius (about 160 BC - about 90 BC)*.
Opgehaald van Mathshistory.st-andrews.ac.uk: <http://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Theodosius.html>
- Oestmann, G. (2001). On The History of the Nocturnal. *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, 5-9.
- Ory, W. (2012). Het nocturlabium (deel 2). *Zonnetijdingen* 63, 6-10.
- Ory, W. (2012). Maak zelf uw nocturlabium (deel 1). *Zonnetijdingen* 62, 9-11.
- Raper, H. (1908). In *The Practice of Navigation and Nautical Astronomy*. J.D. Potter.
- Rasquin, V. (1984). Indeling van de tijd. In G. Baptiste, J. De Graeve, V. Rasquin, R. Vorsteman, & J. Welcomme, *De tijdmeting in Belgische verzamelingen* (p. 317). België: J. Verbrugge.
- Rassi, F. (2014). Time from the Aristotle's perspective. *World Scientific News*, 7.
- Rijsdam, J. (sd). *Kalenders in het oude Egypte*. Opgehaald van Kemet, het oude Egypte uitgelegd: <https://www.kemet.nl/kalenders-in-het-oude-egypte/>
- Romelczyk, E. (2019). GMT and Longitude by Lunar Distance : Two Methods Compared From a Practitioner's Point of View. *Journal of Navigation*, 1660-1664.
- Roy, L. D. (2013, juli 15). De oudste kalender ter wereld in een Schots veld. *VRT Nieuws*.
- Royal Museums Greenwich. (2014, september 18). *Longitude solutions*. Opgehaald van Royal Museums Greenwich: <https://www.rmg.co.uk/discover/behind-the-scenes/blog/longitude-solutions>
- Royal Museums Greenwich. (2016, juli 9). *Anniversary of the Longitude Act - what was it*. Opgehaald van Royal Museums Greenwich:
<https://www.rmg.co.uk/discover/behind-the-scenes/blog/anniversary-longitude-act-what-was-it>

- Royal Museums Greenwich. (2020). *Longitude found - the story of Harrison's Clocks*.
Opgehaald van Royal Museums Greenwich:
<https://www.rmg.co.uk/discover/explore/longitude-found-john-harrison>
- Royal Museums Greenwich. (2020). *What is Longitude?* Opgehaald van Royal Museums Greenwich: <https://www.rmg.co.uk/explore/what-longitude>
- Royal Museums Greenwich. (2020). *What made the search for longitude so important?*
Opgehaald van Royal Museums Greenwich:
<https://www.rmg.co.uk/explore/what-made-search-longitude-so-important>
- Royal Museums Greenwich. (2021). *Longitude found: Nevil Maskelyne and the lunar method*. Opgehaald van Royal Museums Greenwich:
<https://www.rmg.co.uk/stories/topics/longitude-found-nevil-maskelyne-lunar-method>
- Rutledge, K., Ramroop, T., Boudreau, D., McDaniel, M., Teng, S., Sprout, E., . . . Hunt, J. (2011, januari 21). *Navigation*. Opgehaald van National Geographic:
<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/navigation/>
- Rynasiewicz, R. (2014). Newton's Views on Space, Time, and Motion. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- Salisbury Cathedral. (2020, april 22). *World's oldest clock*. Opgehaald van Salisbury Cathedral: <https://www.salisburycathedral.org.uk/visit-what-see/worlds-oldest-clock>
- Scheurs, J. (2021). *Astronomie (begrippen)*. Opgehaald van Kosmografie:
<https://jpschreurs.classy.be/kosmografie/astronomie3.html>
- Schilling, G. (2020). *De hemelbol*. Opgehaald van allesoversterrenkunde.nl:
https://www.allesoversterrenkunde.nl/!sterrenkunde/stoomcursus/_detail/gli/de-hemelbol/
- Schmidt, J., Ziadeh, N., Ronan, C., Bickerman, E., Lin, C., Proskouriakoff, T., . . . van Buitenen, J. (2020, november 6). *Calendar*. Opgehaald van Encyclopædia Britannica: <https://www.britannica.com/science/calendar>
- Schreurs, J. (2021). *Astronomie (beweging van de aarde)*. Opgehaald van Kosmografie:
<https://jpschreurs.classy.be/kosmografie/astronomie4.html>
- Schreurs, J. (2021). *Sterrenbeelden (deel 2)*. Opgehaald van Kosmografie:
<https://jpschreurs.classy.be/kosmografie/kosmografie30.html>

- Science Museum. (2018, December 6). *Where in the world? The mathematics of navigation*. Opgehaald van Science museum:
<https://www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories/where-world-mathematics-navigation#taking-a-lunar-distance>
- Seller, J. (1680). In *Practical Navigation; or, An Introduction the whole Art* (pp. 173-178). Londen.
- Sipiora, P. (2002). Rhetoric and Kairos: Essays in History, Theory and Praxis. In P. Sipiora, & J. S. Baumlin, *Rhetoric and Kairos : Essays in History, Theory and Praxis* (p. 272). V.S: State University of New York Press.
- Soderman. (2020, April 3). *The oldest lunar calendars*. Opgehaald van SERVI - Solar system exploration research: <https://sservi.nasa.gov/articles/oldest-lunar-calendars/>
- Stark, B. (2010). In *Stark Tables for Clearing the Lunar Distances and Finding Universal Time by Sextant Observations*. Seattle WA: Starpath Publications.
- Strous, L. (2020, juli 18). *Astronomisch woordenboek*. Opgehaald van AstronomieAntwoorden:
<https://www.aa.quae.nl/nl/woordenboek.html#declinatie>
- Strous, L. (2020, juli 18). *Kalenders*. Opgehaald van Anatomie Antwoorden:
<https://aa.quae.nl/nl/antwoorden/kalenders.html#kalender>
- The clock depot. (2010, juli 15). *History of the pendulum clock*. Opgehaald van The clock depot: <https://www.theclockdepot.com/clocks-blog/history-of-the-pendulum-clock/>
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2011, april 26). *Roman republican calendar*. Opgehaald van Encyclopedia Britannica:
<https://www.britannica.com/science/Roman-republican-calendar>
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2021). *Egyptian calendar*. Opgehaald van Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/Egyptian-calendar>
- The editors of Encyclopedia Britannica. (2018, januari 9). *Sidereal time*. Opgehaald van Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/sidereal-time>
- The Mariners' Museum and Park. (2020). *Traverse Board*. Opgehaald van The Mariners' museum and park: <https://exploration.marinersmuseum.org/object/traverse-board/>

The Seiko Museum Ginza. (2021). *Escapement for the Marine Chronometer*. Opgehaald van The Seiko Museum Ginz: <https://museum.seiko.co.jp/en/knowledge/MechanicalTimepieces05/>

Time and Watches. (2021). *The detent escapement: from marine chronometers to wristwatches*. Opgehaald van Time and Watches: <https://www.timeandwatches.com/p/the-detent-escapement-from-marine.html>

UK Hydrographic Office. (2020). *The Nautical Almanac*. Opgehaald van Admiralty.co.uk: <https://www.admiralty.co.uk/publications/astronomical-publications/the-nautical-almanac>

Umland, H. (2004). Opgehaald van Titulos nauticos: <http://www.titulosnauticos.net/>

Van Aelst, H. (sd). *Kalenders en uurroosters*. Opgehaald van Onder de gouden zon van Kemet 2007: <https://www.hugova.be/KEMET/pg4-STERRENKUNDE/S041-KalendersUurroosters.html>

Van Beylen, J., De Groote, P., Van Kampen, A., Kramer, J., Von Münching, L., Spruit, W., & De Vos, A. (1971). Kamal. In *Maritieme encyclopedie in zes delen* (pp. 23-24). Antwerpen: Uitgeverij G. De Boer Jr. Bussum.

Van Cleempoel, K. (2004). Een overzicht van de belangrijkste navigatie-instrumenten tot aan de chronometer. *Wetenschap op zee. Collectanea Maritima* 7, 9-23.

van Dale. (2020). *Kalender*. Opgehaald van van Dale: <https://www.vandale.nl/gratis-woordenboek/nederlands/betekenis/kalender#.YCuIzOB75QI>

van der Sluys, M. (2020). *Verklarende woordenlijst*. Opgehaald van hemel.waarnemen.com: <http://hemel.waarnemen.com/verklaar.html#u>

van der Zee, F. (2017). *Scheefheid*. Opgehaald van Hulpbijonderzoek: <https://hulpbijonderzoek.nl/online-woordenboek/begrippen/scheefheid/>

Van Gestel, J. (1995). In J. Van Gestel, *Mesopotamië: de machtige vorsten*. Amsterdam.

Verveen, A. (1997). *Geschiedenis van het meten van tijd*. Opgehaald van Verveen: <http://www.verveen.eu/History.html>

Vinck, R. (2014). Het nocturlabium. *Zonnetijdingen* 72, 12-14.

Viuf, B. (2019, december 13). *Albert Einstein en de relativiteitstheorie voor beginners*. Opgehaald van wibnet.nl: <https://wibnet.nl/natuurkunde/relativiteitstheorie/albert-einstein-en-de-relativiteitstheorie-voor-beginners>

Volkssterrenwacht Urania. (2020). *Tijdrekening*. Opgehaald van Volkssterrenwacht

Urania:

<https://www.urania.be/astronomie/sterrenkunde/hemelmechanica/tijdrekening>

Volkssterrenwacht Urania. (2021). *Astronomisch woordenboek*. Opgehaald van

Volkssterrenwacht Urania:

<https://www.urania.be/astronomie/sterrenkunde/astronomisch-woordenboek#M>

Volkssterrenwacht Urania. (2021). *Bewegingen*. Opgehaald van Volkssterrenwacht

Urania:

<https://www.urania.be/astronomie/sterrenkunde/hemelmechanica/bewegingen>

Volkssterrenwacht Urania. (2021). *Coördinaten*. Opgehaald van Volkssterrenwacht

Urania:

<https://www.urania.be/astronomie/sterrenkunde/hemelmechanica/coordinaten>

Vorstermans, R. (1984). De scheepschronometer. In G. Baptiste, J. De Graeve, V. Rasquin,

R. Vorstermans, & J. Welcomme, *De tijdmeting in Belgische verzamelingen* (p. 319). Brussel: J. Verbrugge.

Weems & Plath. (2020). *History of Navigation*. Opgehaald van Weems-plath.com:

<http://www.weems-plath.com/About/History-of-Navigation.html>

Welcomme, J. (1984). De mechanische instrumenten. In J. Welcomme, J. De Graeve, V.

Rasquin, G. Baptiste, & R. Vorstermans, *De tijdmeting in Belgische verzamelingen* (p. 311). Brussel: J. Verbrugge.

Wenmackers, S. (2017). Alle tijd van de wereld. *EOS Wetenschap*.

Wepster, S. (2000). Een kwestie van tijd, De ontwikkeling van de

maansafstandenmethode voor lengtebepaling op zee. Utrecht: Universiteit Utrecht.

Wiesenbach, J. (1993). Pacificus von Verona als Erfinder einer Sternenuhr. In P. Butzer, &

D. Lohrmann, *Science in Western and Eastern civilization in Carolingian times* (pp. 229-250). Birkhauser.

Wikipedia, the free encyclopedia. (2020, januari 2). *Grasshopper escapement*. Opgehaald

van Wikipedia, the free encyclopedia:

https://en.wikipedia.org/wiki/Grasshopper_escapement

World Science Festival. (2015, augustus 4). Einstein Vs. Newton on Space and Time

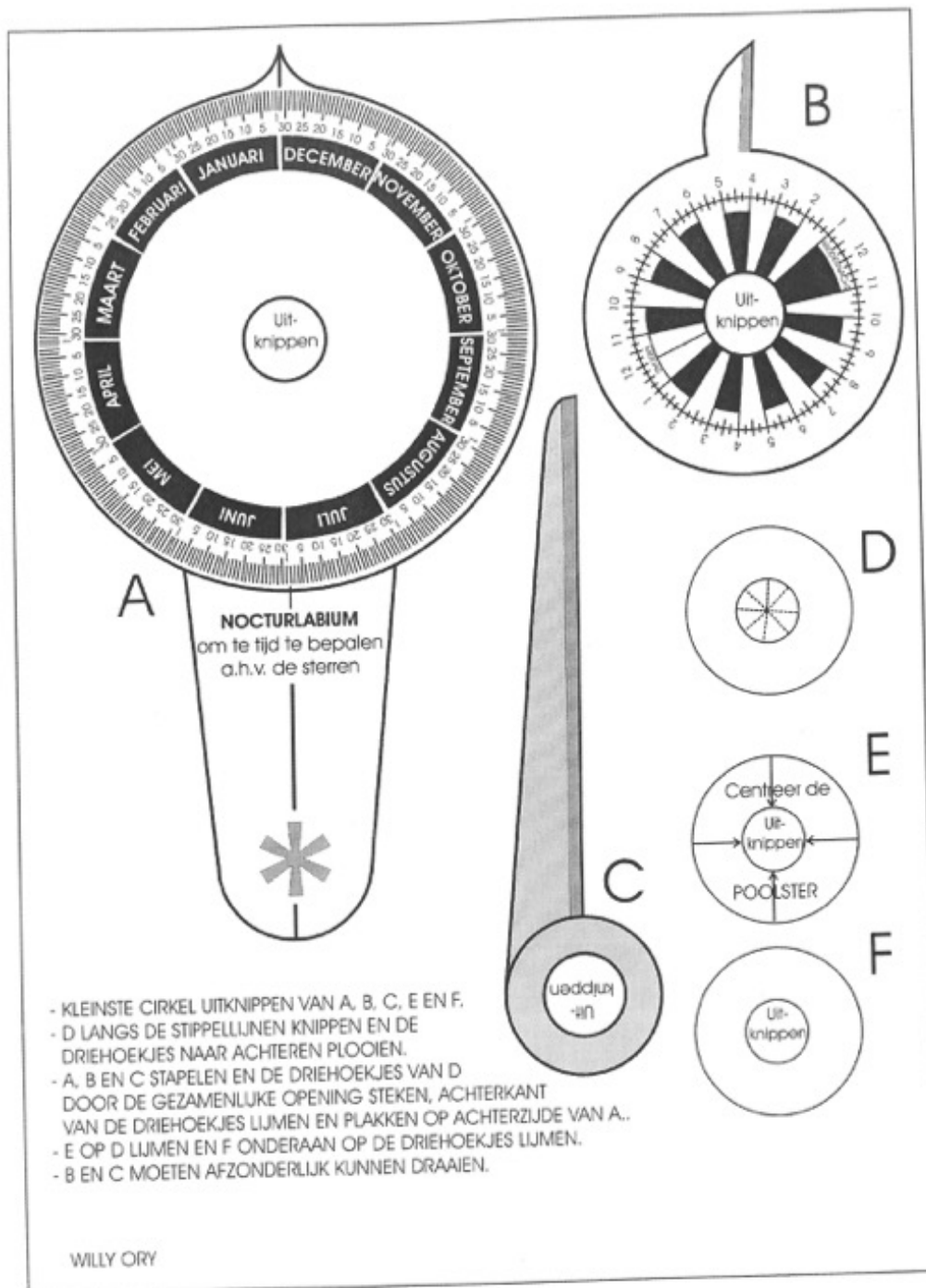
[Video].

Wright, E. (1610). In *Certain Errors in Navigation* (p. 210 e.v.). London.

8 Lijst van bijlagen

- A. Maak zelf uw nocturlabium
- B. Tijdsvereffeningen voor het jaar 2021
- C. Conversion of arc to time

Bijlage A Maak zelf uw nocturlabium



Bijlage B Tijdsvereffeningen voor het jaar 2021

EoT 2021		Mar 01	-12m 16s	May 06	3m 24s	Jul 11	-5m 34s	Sep 15	4m 51s	Nov 20	14m 21s
[Negative EoT		Mar 02	-12m 4s	May 07	3m 27s	Jul 12	-5m 42s	Sep 16	5m 13s	Nov 21	14m 6s
values indicate		Mar 03	-11m 52s	May 08	3m 31s	Jul 13	-5m 49s	Sep 17	5m 34s	Nov 22	13m 50s
Dial Slow		Mar 04	-11m 38s	May 09	3m 34s	Jul 14	-5m 56s	Sep 18	5m 55s	Nov 23	13m 33s
		Mar 05	-11m 25s	May 10	3m 36s	Jul 15	-6m 2s	Sep 19	6m 17s	Nov 24	13m 16s
		Mar 06	-11m 11s	May 11	3m 37s	Jul 16	-6m 7s	Sep 20	6m 38s	Nov 25	12m 57s
Jan 01	-3m 41s	Mar 07	-10m 56s	May 12	3m 38s	Jul 17	-6m 12s	Sep 21	6m 59s	Nov 26	12m 38s
Jan 02	-4m 9s	Mar 08	-10m 42s	May 13	3m 39s	Jul 18	-6m 17s	Sep 22	7m 21s	Nov 27	12m 19s
Jan 03	-4m 37s	Mar 09	-10m 27s	May 14	3m 39s	Jul 19	-6m 21s	Sep 23	7m 42s	Nov 28	11m 58s
Jan 04	-5m 3s	Mar 10	-10m 11s	May 15	3m 38s	Jul 20	-6m 25s	Sep 24	8m 3s	Nov 29	11m 37s
Jan 05	-5m 30s	Mar 11	-9m 55s	May 16	3m 37s	Jul 21	-6m 27s	Sep 25	8m 23s	Nov 30	11m 15s
Jan 06	-5m 57s	Mar 12	-9m 39s	May 17	3m 35s	Jul 22	-6m 30s	Sep 26	8m 44s	Dec 01	10m 53s
Jan 07	-6m 23s	Mar 13	-9m 23s	May 18	3m 33s	Jul 23	-6m 31s	Sep 27	9m 5s	Dec 02	10m 30s
Jan 08	-6m 48s	Mar 14	-9m 6s	May 19	3m 30s	Jul 24	-6m 33s	Sep 28	9m 25s	Dec 03	10m 6s
Jan 09	-7m 13s	Mar 15	-8m 49s	May 20	3m 26s	Jul 25	-6m 33s	Sep 29	9m 45s	Dec 04	9m 42s
Jan 10	-7m 37s	Mar 16	-8m 32s	May 21	3m 22s	Jul 26	-6m 33s	Sep 30	10m 5s	Dec 05	9m 17s
Jan 11	-8m 1s	Mar 17	-8m 15s	May 22	3m 18s	Jul 27	-6m 33s	Oct 01	10m 24s	Dec 06	8m 52s
Jan 12	-8m 24s	Mar 18	-7m 58s	May 23	3m 13s	Jul 28	-6m 31s	Oct 02	10m 43s	Dec 07	8m 26s
Jan 13	-8m 47s	Mar 19	-7m 40s	May 24	3m 7s	Jul 29	-6m 30s	Oct 03	11m 2s	Dec 08	7m 60s
Jan 14	-9m 8s	Mar 20	-7m 22s	May 25	3m 1s	Jul 30	-6m 27s	Oct 04	11m 21s	Dec 09	7m 33s
Jan 15	-9m 30s	Mar 21	-7m 4s	May 26	2m 55s	Jul 31	-6m 24s	Oct 05	11m 39s	Dec 10	7m 6s
Jan 16	-9m 50s	Mar 22	-6m 46s	May 27	2m 48s	Aug 01	-6m 20s	Oct 06	11m 57s	Dec 11	6m 38s
Jan 17	-10m 10s	Mar 23	-6m 28s	May 28	2m 40s	Aug 02	-6m 16s	Oct 07	12m 15s	Dec 12	6m 10s
Jan 18	-10m 29s	Mar 24	-6m 10s	May 29	2m 33s	Aug 03	-6m 11s	Oct 08	12m 32s	Dec 13	5m 42s
Jan 19	-10m 48s	Mar 25	-5m 52s	May 30	2m 24s	Aug 04	-6m 6s	Oct 09	12m 48s	Dec 14	5m 13s
Jan 20	-11m 5s	Mar 26	-5m 34s	May 31	2m 16s	Aug 05	-5m 60s	Oct 10	13m 4s	Dec 15	4m 45s
Jan 21	-11m 23s	Mar 27	-5m 16s	Jun 01	2m 6s	Aug 06	-5m 53s	Oct 11	13m 20s	Dec 16	4m 16s
Jan 22	-11m 39s	Mar 28	-4m 58s	Jun 02	1m 57s	Aug 07	-5m 46s	Oct 12	13m 35s	Dec 17	3m 46s
Jan 23	-11m 54s	Mar 29	-4m 40s	Jun 03	1m 47s	Aug 08	-5m 38s	Oct 13	13m 50s	Dec 18	3m 17s
Jan 24	-12m 9s	Mar 30	-4m 22s	Jun 04	1m 37s	Aug 09	-5m 29s	Oct 14	14m 4s	Dec 19	2m 47s
Jan 25	-12m 23s	Mar 31	-4m 4s	Jun 05	1m 26s	Aug 10	-5m 20s	Oct 15	14m 18s	Dec 20	2m 18s
Jan 26	-12m 36s	Apr 01	-3m 46s	Jun 06	1m 15s	Aug 11	-5m 11s	Oct 16	14m 31s	Dec 21	1m 48s
Jan 27	-12m 48s	Apr 02	-3m 28s	Jun 07	1m 4s	Aug 12	-5m 1s	Oct 17	14m 43s	Dec 22	1m 18s
Jan 28	-12m 59s	Apr 03	-3m 11s	Jun 08	0m 53s	Aug 13	-4m 50s	Oct 18	14m 55s	Dec 23	0m 49s
Jan 29	-13m 10s	Apr 04	-2m 54s	Jun 09	0m 41s	Aug 14	-4m 39s	Oct 19	15m 6s	Dec 24	0m 19s
Jan 30	-13m 20s	Apr 05	-2m 36s	Jun 10	0m 29s	Aug 15	-4m 27s	Oct 20	15m 17s	Dec 25	-0m 11s
Jan 31	-13m 29s	Apr 06	-2m 19s	Jun 11	0m 17s	Aug 16	-4m 15s	Oct 21	15m 27s	Dec 26	-0m 40s
Feb 01	-13m 37s	Apr 07	-2m 3s	Jun 12	0m 4s	Aug 17	-4m 2s	Oct 22	15m 36s	Dec 27	-1m 10s
Feb 02	-13m 44s	Apr 08	-1m 46s	Jun 13	-0m 8s	Aug 18	-3m 49s	Oct 23	15m 45s	Dec 28	-1m 39s
Feb 03	-13m 51s	Apr 09	-1m 30s	Jun 14	-0m 21s	Aug 19	-3m 35s	Oct 24	15m 53s	Dec 29	-2m 8s
Feb 04	-13m 57s	Apr 10	-1m 14s	Jun 15	-0m 34s	Aug 20	-3m 20s	Oct 25	15m 60s	Dec 30	-2m 37s
Feb 05	-14m 2s	Apr 11	-0m 58s	Jun 16	-0m 47s	Aug 21	-3m 6s	Oct 26	16m 6s	Dec 31	-3m 6s
Feb 06	-14m 6s	Apr 12	-0m 43s	Jun 17	-0m 60s	Aug 22	-2m 51s	Oct 27	16m 12s		
Feb 07	-14m 9s	Apr 13	-0m 27s	Jun 18	-1m 13s	Aug 23	-2m 35s	Oct 28	16m 17s		
Feb 08	-14m 11s	Apr 14	-0m 13s	Jun 19	-1m 26s	Aug 24	-2m 19s	Oct 29	16m 21s		
Feb 09	-14m 13s	Apr 15	0m 2s	Jun 20	-1m 39s	Aug 25	-2m 2s	Oct 30	16m 24s		
Feb 10	-14m 14s	Apr 16	0m 16s	Jun 21	-1m 52s	Aug 26	-1m 45s	Oct 31	16m 27s		
Feb 11	-14m 14s	Apr 17	0m 30s	Jun 22	-2m 5s	Aug 27	-1m 28s	Nov 01	16m 28s		
Feb 12	-14m 13s	Apr 18	0m 43s	Jun 23	-2m 18s	Aug 28	-1m 11s	Nov 02	16m 29s		
Feb 13	-14m 12s	Apr 19	0m 56s	Jun 24	-2m 31s	Aug 29	-0m 53s	Nov 03	16m 29s		
Feb 14	-14m 10s	Apr 20	1m 9s	Jun 25	-2m 43s	Aug 30	-0m 34s	Nov 04	16m 29s		
Feb 15	-14m 7s	Apr 21	1m 21s	Jun 26	-2m 56s	Aug 31	-0m 16s	Nov 05	16m 27s		
Feb 16	-14m 3s	Apr 22	1m 32s	Jun 27	-3m 8s	Sep 01	0m 3s	Nov 06	16m 25s		
Feb 17	-13m 59s	Apr 23	1m 44s	Jun 28	-3m 21s	Sep 02	0m 23s	Nov 07	16m 21s		
Feb 18	-13m 54s	Apr 24	1m 54s	Jun 29	-3m 33s	Sep 03	0m 42s	Nov 08	16m 17s		
Feb 19	-13m 48s	Apr 25	2m 5s	Jun 30	-3m 45s	Sep 04	1m 2s	Nov 09	16m 12s		
Feb 20	-13m 42s	Apr 26	2m 14s	Jul 01	-3m 56s	Sep 05	1m 22s	Nov 10	16m 6s		
Feb 21	-13m 35s	Apr 27	2m 24s	Jul 02	-4m 8s	Sep 06	1m 42s	Nov 11	15m 60s		
Feb 22	-13m 27s	Apr 28	2m 32s	Jul 03	-4m 19s	Sep 07	2m 3s	Nov 12	15m 52s		
Feb 23	-13m 19s	Apr 29	2m 41s	Jul 04	-4m 29s	Sep 08	2m 23s	Nov 13	15m 44s		
Feb 24	-13m 10s	Apr 30	2m 48s	Jul 05	-4m 40s	Sep 09	2m 44s	Nov 14	15m 34s		
Feb 25	-13m 0s	May 01	2m 56s	Jul 06	-4m 50s	Sep 10	3m 5s	Nov 15	15m 24s		
Feb 26	-12m 50s	May 02	3m 2s	Jul 07	-4m 60s	Sep 11	3m 26s	Nov 16	15m 13s		
Feb 27	-12m 39s	May 03	3m 8s	Jul 08	-5m 9s	Sep 12	3m 47s	Nov 17	15m 1s		
Feb 28	-12m 28s	May 04	3m 14s	Jul 09	-5m 18s	Sep 13	4m 8s	Nov 18	14m 49s		
Feb 29	-12m 16s	May 05	3m 19s	Jul 10	-5m 26s	Sep 14	4m 30s	Nov 19	14m 35s		

A166

CONVERSION OF ARC TO TIME

0	0 00	60	4 00	120	8 00	180	12 00	240	16 00	300	20 00	0	0 00
1	0 04	61	4 04	121	8 04	181	12 04	241	16 04	301	20 04	1	0 04
2	0 08	62	4 08	122	8 08	182	12 08	242	16 08	302	20 08	2	0 08
3	0 12	63	4 12	123	8 12	183	12 12	243	16 12	303	20 12	3	0 12
4	0 16	64	4 16	124	8 16	184	12 16	244	16 16	304	20 16	4	0 16
5	0 20	65	4 20	125	8 20	185	12 20	245	16 20	305	20 20	5	0 20
6	0 24	66	4 24	126	8 24	186	12 24	246	16 24	306	20 24	6	0 24
7	0 28	67	4 28	127	8 28	187	12 28	247	16 28	307	20 28	7	0 28
8	0 32	68	4 32	128	8 32	188	12 32	248	16 32	308	20 32	8	0 32
9	0 36	69	4 36	129	8 36	189	12 36	249	16 36	309	20 36	9	0 36
10	0 40	70	4 40	130	8 40	190	12 40	250	16 40	310	20 40	10	0 40
11	0 44	71	4 44	131	8 44	191	12 44	251	16 44	311	20 44	11	0 44
12	0 48	72	4 48	132	8 48	192	12 48	252	16 48	312	20 48	12	0 48
13	0 52	73	4 52	133	8 52	193	12 52	253	16 52	313	20 52	13	0 52
14	0 56	74	4 56	134	8 56	194	12 56	254	16 56	314	20 56	14	0 56
15	1 00	75	5 00	135	9 00	195	13 00	255	17 00	315	21 00	15	1 00
16	1 04	76	5 04	136	9 04	196	13 04	256	17 04	316	21 04	16	1 04
17	1 08	77	5 08	137	9 08	197	13 08	257	17 08	317	21 08	17	1 08
18	1 12	78	5 12	138	9 12	198	13 12	258	17 12	318	21 12	18	1 12
19	1 16	79	5 16	139	9 16	199	13 16	259	17 16	319	21 16	19	1 16
20	1 20	80	5 20	140	9 20	200	13 20	260	17 20	320	21 20	20	1 20
21	1 24	81	5 24	141	9 24	201	13 24	261	17 24	321	21 24	21	1 24
22	1 28	82	5 28	142	9 28	202	13 28	262	17 28	322	21 28	22	1 28
23	1 32	83	5 32	143	9 32	203	13 32	263	17 32	323	21 32	23	1 32
24	1 36	84	5 36	144	9 36	204	13 36	264	17 36	324	21 36	24	1 36
25	1 40	85	5 40	145	9 40	205	13 40	265	17 40	325	21 40	25	1 40
26	1 44	86	5 44	146	9 44	206	13 44	266	17 44	326	21 44	26	1 44
27	1 48	87	5 48	147	9 48	207	13 48	267	17 48	327	21 48	27	1 48
28	1 52	88	5 52	148	9 52	208	13 52	268	17 52	328	21 52	28	1 52
29	1 56	89	5 56	149	9 56	209	13 56	269	17 56	329	21 56	29	1 56
30	2 00	90	6 00	150	10 00	210	14 00	270	18 00	330	22 00	30	2 00
31	2 04	91	6 04	151	10 04	211	14 04	271	18 04	331	22 04	31	2 04
32	2 08	92	6 08	152	10 08	212	14 08	272	18 08	332	22 08	32	2 08
33	2 12	93	6 12	153	10 12	213	14 12	273	18 12	333	22 12	33	2 12
34	2 16	94	6 16	154	10 16	214	14 16	274	18 16	334	22 16	34	2 16
35	2 20	95	6 20	155	10 20	215	14 20	275	18 20	335	22 20	35	2 20
36	2 24	96	6 24	156	10 24	216	14 24	276	18 24	336	22 24	36	2 24
37	2 28	97	6 28	157	10 28	217	14 28	277	18 28	337	22 28	37	2 28
38	2 32	98	6 32	158	10 32	218	14 32	278	18 32	338	22 32	38	2 32
39	2 36	99	6 36	159	10 36	219	14 36	279	18 36	339	22 36	39	2 36
40	2 40	100	6 40	160	10 40	220	14 40	280	18 40	340	22 40	40	2 40
41	2 44	101	6 44	161	10 44	221	14 44	281	18 44	341	22 44	41	2 44
42	2 48	102	6 48	162	10 48	222	14 48	282	18 48	342	22 48	42	2 48
43	2 52	103	6 52	163	10 52	223	14 52	283	18 52	343	22 52	43	2 52
44	2 56	104	6 56	164	10 56	224	14 56	284	18 56	344	22 56	44	2 56
45	3 00	105	7 00	165	11 00	225	15 00	285	19 00	345	23 00	45	3 00
46	3 04	106	7 04	166	11 04	226	15 04	286	19 04	346	23 04	46	3 04
47	3 08	107	7 08	167	11 08	227	15 08	287	19 08	347	23 08	47	3 08
48	3 12	108	7 12	168	11 12	228	15 12	288	19 12	348	23 12	48	3 12
49	3 16	109	7 16	169	11 16	229	15 16	289	19 16	349	23 16	49	3 16
50	3 20	110	7 20	170	11 20	230	15 20	290	19 20	350	23 20	50	3 20
51	3 24	111	7 24	171	11 24	231	15 24	291	19 24	351	23 24	51	3 24
52	3 28	112	7 28	172	11 28	232	15 28	292	19 28	352	23 28	52	3 28
53	3 32	113	7 32	173	11 32	233	15 32	293	19 32	353	23 32	53	3 32
54	3 36	114	7 36	174	11 36	234	15 36	294	19 36	354	23 36	54	3 36
55	3 40	115	7 40	175	11 40	235	15 40	295	19 40	355	23 40	55	3 40
56	3 44	116	7 44	176	11 44	236	15 44	296	19 44	356	23 44	56	3 44
57	3 48	117	7 48	177	11 48	237	15 48	297	19 48	357	23 48	57	3 48
58	3 52	118	7 52	178	11 52	238	15 52	298	19 52	358	23 52	58	3 52
59	3 56	119	7 56	179	11 56	239	15 56	299	19 56	359	23 56	59	3 56

The above table is for converting expressions in arc to their equivalent in time; its main use in this Almanac is for the conversion of longitude for application to L.M.T. (*added if west, subtracted if east*) to give G.M.T., or vice versa, particularly in the case of sunrise, sunset, etc.