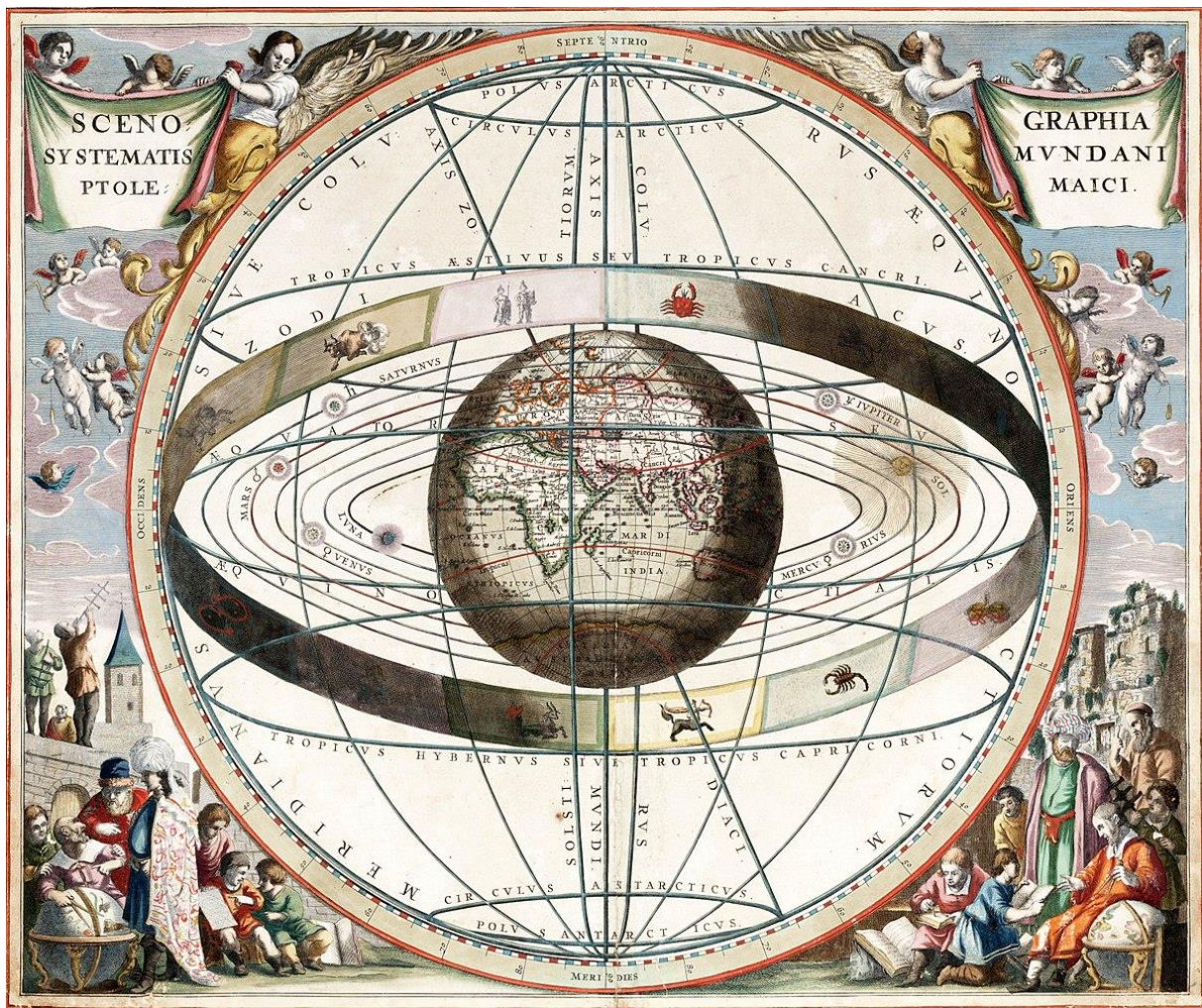


Een ster in navigeren?

Profielwerkstuk: Een onderzoek naar het navigeren zonder digitale systemen.



Figuur 1

Auteurs: A. J. F. Graafsma
S. T. M. Zwijnenberg
Opleiding: VWO 6
Datum: 01-03-2022

Studentnummer: 16000188
16000211
Onderwijsinstelling: Stedelijke SG Nijmegen
Eerste begeleider: René van de Veerdonk
Tweede begeleider: Karin van de Meeberg

Voorwoord

Beste lezer,

Wij zijn Aniek Graafsma en Sara Zwijnenberg uit zes VWO van de Stedelijke Scholengemeenschap Nijmegen. Om ons voor te bereiden op het wetenschappelijk onderwijs, doen we in onze laatste twee jaren van de middelbare school een onderzoek, naar een onderwerp waar onze persoonlijke interesses liggen en dat aansluit op ons gekozen vakkenpakket. Voor u ligt het verslag waarin wij de resultaten van ons profielwerkstuk hebben verwerkt.

Ons profielwerkstuk bestaat uit een theoretisch onderdeel en een experiment. Het afgelopen jaar waren er vanwege de lockdowns en het thuisonderwijs maar weinig mogelijkheden tot activiteiten. Desondanks hebben we geprobeerd zo goed en zo kwaad als het ging, een experiment uit te voeren. Voor de voorbereiding hiervan hebben we contact gezocht met experts van de Radboud Universiteit en bij Musea. Helaas verliep dat contact niet vloeiend, waardoor dit niet tot iets concreets heeft geleid. Vandaar dat we ons experiment hoofdzakelijk zelfstandig thuis hebben voorbereid. Hiervoor hebben we gebruik kunnen maken van de staalwerkplaats van Sara's vader.

Aanvankelijk hadden we nog maar weinig expertise over dit onderwerp, waardoor de hoeveelheid werk moeilijk te overzien was. Naarmate de tijd vorderde, kregen we echter steeds meer kennis over het onderwerp en waren de artikelen in onze bronnen beter te begrijpen. Gedurende de afgelopen anderhalf jaar hebben we geprobeerd regelmatig aan dit project te werken, waardoor we tijdens de profielwerkstukdagen minder moeite hadden in het onderwerp te komen. Dit had als voordeel dat we bij het inleveren van onze eerste versie al een groot gedeelte van onze theorie hebben kunnen bestuderen. Met ons experiment zijn we aan het begin van het huidige schooljaar pas concreet begonnen, waardoor het bouwproject nog niet voltooid was bij het inleveren van de eerste versie. Daarom hebben we het uitvoerende aspect van het experiment pas later kunnen uitvoeren.

Voor het schrijven van ons verslag en het onderzoeksproces hebben we veel hulp gehad van onze begeleiders, René van de Veerdonk en Karin van de Meeberg. Daarnaast heeft Evert Zwijnenberg ons, naast het ter beschikking stellen van zijn materialen, vooral begeleid in het proces van het bouwproject. Hierbij kwamen we er gaandeweg achter hoe we dit goed aan konden pakken. Of onze methode het beste is, kunnen we niet beoordelen, maar we zijn tevreden over het resultaat. We hopen u te kunnen vermaken met ons profielwerkstuk. Veel leesplezier!

Met vriendelijke groet,

Aniek Graafsma en Sara Zwijnenberg.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
1 Inleiding	7
1.1 Algemene inleiding.....	7
1.2 Inleiding doel van het onderzoek	7
2 Voorkennis astronavigatie	8
2.1 De hoek ten opzichte van de horizon	8
2.2 De geschiedenis van astronavigatie.....	9
2.2.1 Kwadrant	9
2.2.2 Astrolabium.....	10
2.2.3 Jakobsstaf	11
2.2.4 Octant.....	12
2.2.5 Sextant	12
2.2.6 Kompas	12
3 Tijdsbepaling	13
3.1 Datum en tijd	13
3.2 Tijdsbepaling door de jaren heen	13
3.2.1 Zonnewijzer	13
3.2.2 Waterklok	14
3.2.3 Zandloper	14
3.2.4 De mechanische klok	14
3.2.5 Nocturlabium	14
4 Astronavigatie overdag en 's nachts.	15
4.1 Licht	15
4.2 Datum	16
5 Sterrenbeelden	18
5.1 Wat zijn sterrenbeelden?	18
5.2 Geschiedenis van de sterrenbeelden.....	18
5.3 Sterrenbeelden bij astronavigatie.....	18
5.3.1 Helderheid van sterren	19
5.3.2 Het noordelijk halfrond.....	19
5.3.3 De Nautical Almanac voor het noordelijk halfrond	20
5.3.4 Het zuidelijk halfrond	20
5.3.5 De Nautical Almanac voor het zuidelijk halfrond.....	21

6 Planeten	22
6.1 Planeten in ons zonnestelsel	22
6.2 Manen en ringen	23
6.3 De Maan	24
6.4 De baan van planeten	24
6.5 Planeten bij astronavigatie	25
7 Nautical Almanac.....	26
7.1 De oorsprong van de Nautical Almanac.....	26
7.2 Tijdzones.....	26
7.3 Gegevens in de Nautical Almanac	28
7.3.1 Daily Pages	28
7.3.2 Table of Increments and Corrections.....	30
8 De sextant	31
8.1 Onderdelen van de sextant	31
8.2 Het principe van een sextant.....	33
8.3 Fouten in de afstelling van de sextant.....	34
8.3.1 Perpendicularity.....	35
8.3.2 Side error en Index error	35
8.4 Richten met een sextant	37
9 Van meting naar plaats.....	40
9.1 Correction for index error	40
9.2 Correction for dip.....	40
9.3 Correction for refraction, semi-diameter and parallax	40
9.4 Bij zonshoogte op middagbreedte.....	41
9.5 Bij avond- of ochtendmetingen.....	41
9.5.1 Gebruik van een hulppunt	42
9.5.2 (on)gelijknamigheid van declinatie en latitude	42
9.5.3 HO 249: Hc-, d- en Z-waarden	43
9.5.4 HO 249: tabel 5	44
9.5.5 Verschil in hoogte tussen het hulppunt en de meting	45
9.5.6 Azimut	45
9.5.7 Tekeningen.....	45
9.6 Lengtegraad	46
10 Experiment	47
10.1 Experimenteerplan	47

10.2	Bouwproject	47
10.3	Metten met de sextant.....	48
11	Resultaten	51
12	Conclusie.....	55
13	Discussie	56
13.1	Achtergrondinformatie.....	56
13.2	Productie van de sextant.....	56
13.3	Meting met de sextant.....	57
13.4	Verwerking van de metingen.....	58
13.5	Interpretatie van de resultaten	58
13.6	Vervolgonderzoek	58
14	Samenvatting.....	60
15	Bronnenlijst.....	61
16	Nawoord	65
17	Bijlagen.....	67
	Bijlage A: De sterrenbeelden van de Dierenriem	67
	Bijlage B: Chinese sterrenbeelden.....	68
	Bijlage C: GPS.....	69
	Bijlage D: One in sixty rule	70
	Bijlage E: Fotoverslag bouwproject.....	73
	E1: Weekend van zaterdag 9 en zondag 10 oktober:.....	73
	E2: Zaterdag 24 oktober:.....	74
	E3: Zondag 4 november:	75
	E4: Zaterdag 20 november:.....	76
	E5: Zondag 21 november:	77
	E6: Dinsdag 30 november:	77
	E7: Woensdag 1 december tot vrijdag 3 december:.....	77
	E8: Zaterdag 4 december:.....	78
	E9: Zondag 5 december:	80
	E10: Weekend van zaterdag 11 en zondag 12 december:.....	81
	E12: Zondag 19 december:	82
	Bijlage F: Locatie experiment bepalen	83
	Bijlage G: Meetgegevens en berekeningen	85
	G1: Meting 1 op 20 december 2021 overdag	85
	G2: Meting 2 op 20 december 2021 's avonds	88

G3: Meting 3 op 21 december 2021 overdag	91
G4: Meting 4 op 21 december 2021 bij zonsondergang	94
G5: Meting 5 op 21 december 2021 's avonds	94
Bijlage H: Tekeningen bij meetlocatie 1, 2 en 3	96

1 Inleiding

1.1 Algemene inleiding

Hoe bepaalden schippers duizenden jaren geleden hun route op open zee, zonder gebruik te kunnen maken van de geavanceerde navigatietechnieken die we vandaag de dag tot onze beschikking hebben? Dit vraagstuk was de aanleiding voor het in dit verslag beschreven onderzoek. Zonder digitaal systeem en niets dan water zichtbaar aan de oppervlakte, hadden zeelui geen andere optie dan gebruik te maken van de sterrenhemel. In dit profielwerkstuk wordt daarom onderzoek gedaan naar navigatie aan de hand van hemellichamen, kortom astronavigatie.

1.2 Inleiding doel van het onderzoek

Op dit moment wordt er door veel mensen gebruik gemaakt van een TomTom of Google Maps om van de ene locatie naar de andere te komen. Beide methodes kunnen in een wip de locatie van uw telefoon bepalen en zijn zeer gebruiksvriendelijk. Op zee wordt vooral gebruik gemaakt van het Global Positioning System (GPS), gebaseerd op satellieten. Door de komst van deze moderne technieken worden de sterren vandaag de dag niet meer als referentiepunt gezien voor het navigeren en wordt astronavigatie enkel nog als hobby toegepast. Deze stuurmanskunst is niet alleen overbodig geworden, maar het is ook minder gemakkelijk toe te passen dan vroeger, omdat omgevingsfactoren belemmerend werken. In dit onderzoek staat de vraag centraal of het mogelijk is een nauwkeurig resultaat te verkrijgen, door met behulp van primitieve middelen astronavigatie in Nederland toe te passen. Vanwege het feit dat er binnen astronavigatie sprake is van een grote verscheidenheid aan navigatie-instrumenten, wordt er hier specifiek ingegaan op het bepalen van de plaats aan de hand van een antiek, maar toch relatief geavanceerd meetinstrument: De sextant.

Om de hoofdvraag: "Is het mogelijk een nauwkeurig resultaat te verkrijgen door met behulp van een zelfgemaakt sextant astronavigatie in Nederland toe te passen?" minder gecompliceerd te maken, wordt er in dit onderzoek achtereenvolgens theoretisch ingegaan op de volgende onderzoeksvragen:

- 1. Welke methoden gebruikte men vroeger om de plaats te kunnen bepalen op zee?*
- 2. Welke sterrenbeelden kunnen van pas komen bij het bepalen van de plaats (of tijd) en hoe zijn ze te herkennen?*
- 3. Wat is de invloed van de tijdsbepaling op de plaatsbepaling, en andersom?*
- 4. Hoe werkt een sextant?*

Voor het beantwoorden van de hoofdvraag wordt er in dit onderzoek een proef uitgevoerd. Hierbij wordt getoetst of er met behulp van een zelfgemaakt sextant, een precieze klok en een Nautical Almanac een nauwkeurige benadering kan worden gegeven van de coördinaten op de locatie van de meting.

2 Voorkennis astronavigatie

De basis van Astronavigatie bestaat uit drie onderdelen:

1. Het bepalen van de positie van een hemellichaam aan de sterrenhemel.
2. Het bepalen van het tijdstip waarop dit hemellichaam deze positie inneemt.
3. Het relateren van de eerste twee onderdelen aan de hand van gegevens over de positie van deze hemellichamen¹.

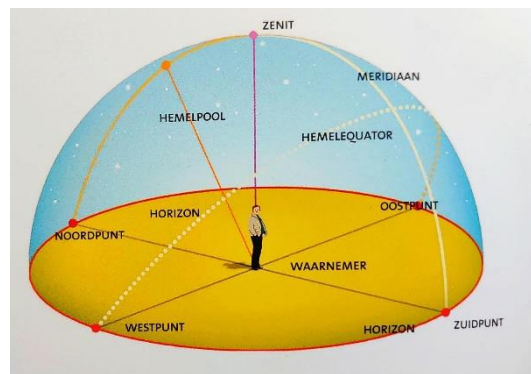
De theoretische inhoud van dit document is daarom opgebouwd uit deze drie elementen, waarbij ook in wordt gegaan op de ontwikkeling ervan door de jaren heen en de toepassing binnen dit onderzoek.

Om inzicht te geven in het belang van de verschillende aspecten, is het noodzakelijk achtergrondinformatie te geven alvorens in te gaan op de gestelde vragen.

2.1 De hoek ten opzichte van de horizon

De eerste stap is dus het bepalen van de positie van een hemellichaam aan het firmament. Dit wordt gedaan door de hoek van een hemellichaam ten opzichte van de horizon te bepalen. Hiermee wordt de hoek bedoeld die wordt gevormd door de denkbeeldige lijn van de horizon naar de waarnemer en de lijn van de waarnemer naar het hemelobject. Alle instrumenten voor astronavigatie zijn op dit principe gebaseerd. Maar waarom is het zo belangrijk om deze hoek te weten?

Om deze vraag te beantwoorden moeten we eerst wat verduidelijking geven over de oriëntatie aan de sterrenhemel. De sterrenhemel die je ziet als je op een heldere nacht de hemel bestudeert, welkt zich als een grote halve bol over je heen. Deze *denkbeeldige hemelbol*, waarvan de *waarnemer* op aarde het middelpunt vormt, wordt gebruikt om de zichtbare sterrenhemel te beschrijven. Vanaf de aarde zie je maar de helft van deze hemelbol: het gedeelte boven de horizon. Het *horizonvlak* is het platte vlak dat de complete hemelbol onderverdeelt in het gedeelte boven de horizon en het gedeelte eronder. De *horizon* is de grote cirkel die de snijlijn van de hemel met het horizonvlak vormt. Op de horizon liggen verschillende kompaspunten. Zo is het *noordpunt* het punt op de horizon dat exact in de richting van het noorden ligt.



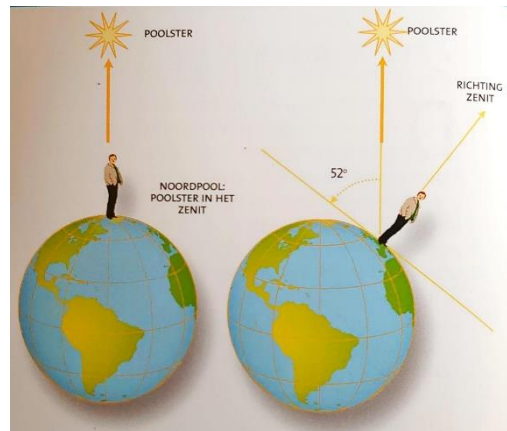
Figuur 2: Denkbeeldige bol; Als waarnemer vorm je het middelpunt van een denkbeeldige hemelbol.

Op dezelfde manier is er ook een *oostpunt*, een *zuidpunt* en een *westpunt*. Het *zenit* (toppunt) is het punt op de hemelbol dat zich recht boven de waarnemer bevindt. Recht tegenover het zenit, op de onderste helft van de hemelbol ligt het *nadir* (voetpunt). Dit punt bevindt zich dus recht onder je voeten. Haaks op de horizon is er een tweede grote cirkel te trekken, die de sterrenhemel in een oostelijke en een westelijke helft verdeelt. Dit is de *hemelmeridiaan* (middaglijn). Deze lijn verbindt het nadir, het zuidpunt, het zenit en het noordpunt met elkaar. De *hemelequator* is de denkbeeldige cirkellijn die de denkbeeldige hemelbol in een noordelijk en een zuidelijk halfrond verdeelt. Deze is dus niet afhankelijk van de waarnemer, zoals bij de hemelmeridiaan (die door het zenit gaat), maar vormt eigenlijk een wijdere cirkel om de evenaar die de aarde in een noordelijk en een zuidelijk halfrond verdeelt.

¹ Dit is mogelijk op twee manieren:

1. Aan de hand van data in de Nautical Almanac, dit wordt uitgebreid behandeld.
2. Aan de hand van kennis over sterren die in het zenit staan van bekende plaatsen op het moment van de meting. Dit wordt behandeld in bijlage D, maar is verder geen belangrijke methode in dit onderzoek, omdat deze niet wordt toegepast.

De sterren aan de sterrenhemel lijken zich (net als de zon) van oost naar west te verplaatsen. In werkelijkheid verplaatsen de sterren zich niet², maar wordt deze beweging door het draaien van de aarde veroorzaakt. Wanneer je op de noordpool staat, sta je als het ware boven op de ronddraaiende aarde. De schijnbare beweging van de sterren is dan evenwijdig aan het horizonvlak en het punt recht boven je hoofd, in het verlengde van de draaiingsas van de aarde, lijkt stil te staan, zodat alle sterren rond dat punt lijken te bewegen. Het snijpunt van de (verlengde) aardas met de hemelbol wordt de *noordelijke hemelpool* genoemd. De *poolster* is een vrij heldere ster die toevalligerwijs vlak bij de noordelijke hemelpool staat. Vanaf de noordpool gezien staat de poolster dus in het zenit. Op een andere plaats op aarde dan de noordpool of de zuidpool, zijn er geen sterren, behalve de poolster, die niet ten opzichte van de aarde lijken te bewegen. Hierdoor is het weten van de datum en de exacte tijd erg belangrijk voor het bepalen van je plaats op aarde met behulp van de sterren.



Figuur 3: Hoogte en Breedte; De hoogte van de poolster boven de horizon is gelijk aan de noorderbreedte van de waarnemingsplaats.

Vanzelfsprekend heb je er niets aan een ster te herkennen, als je geen kennis hebt van de positie aan de sterrenhemel waar de ster op dat exacte tijdstip zou moeten staan. Hiermee zijn we weer aangeland bij het bepalen van de positie van een ster aan de sterrenhemel.

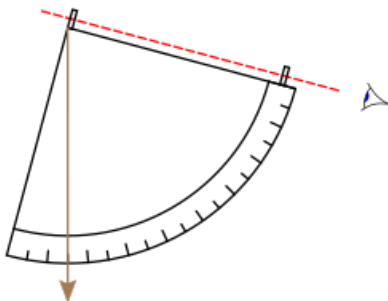
De positie van een hemellichaam aan de hemelbol wordt weergegeven met het *equatoriaal coördinatenstelsel*. Deze bestaan uit een lengtegraad, ook wel *rechte klimming* geheten en breedtegraad, ofwel *declinatie*. Dit coördinatenstelsel lijkt erg op het stelsel van de *geografische coördinaten* op aarde. Hier wordt meer over verteld in een later hoofdstuk.

2.2 De geschiedenis van astronavigatie

In de middeleeuwen waren er nog geen meetinstrumenten voor astronavigatie. Toen kon men de hemellichamen nog niet zo nauwkeuring gebruiken voor navigatie. Vandaar dat veel schippers de kust gebruikten als richtlijn en probeerden deze niet uit het oog te verliezen. In de vijftiende eeuw probeerden astronomen steeds meer manieren te bedenken om de hoek van de zon ten opzichte van de horizon te berekenen. In de loop van de geschiedenis zijn hier verschillende meetinstrumenten voor ontwikkeld, die hieronder worden toegelicht.

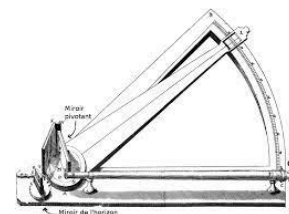
2.2.1 Kwadrant

Een van de eerste manieren van navigeren werd bedacht in de Antieke en Arabische wereld. Hierbij maakte men gebruik van een kwadrant. Dit meetinstrument heeft de vorm van een kwartcirkel, waarbij de cirkelboog van graden is voorzien.



Figuur 5: Het gebruik van een kwadrant

Om een hoek te bepalen, wordt het hemellichaam vanaf het middelpunt langs de bovengrens van het kwadrant in het vizier genomen, waarbij deze bovengrens parallel ligt aan de kijkrichting. Als een ster zich bijvoorbeeld schuin boven de waarnemer bevindt, wordt het kwadrant naar beneden gekanteld.



Figuur 4: Kwadrant

² In feite staan geen van de hemellichamen stil, maar dijt het hele heelal uit. Zo draaien alle sterren in ons Melkwegstelsel om een groot zwart gat, maar omdat deze verplaatsing zo 'langzaam' gaat in verhouding met de draaiing van de aarde om de zon en de draaiing van de aarde om zijn as, verwaarlozen we deze beweging in de astronavigatie.

Vanuit het middelpunt hangt er een schietlood naar beneden, die bij het kantelen van het kwadrant een hoek creëert met de loodrechte zijde. Deze kan vervolgens door een assistent vanaf de gradenboog worden afgelezen. Van de bepaalde hoek kan vervolgens de breedte- of hoogtegraad worden afgeleid.

Naast de toepassing voor navigeren werd een kwadrant ook gebruikt om de hoogte van bergen en gebouwen te berekenen. Andersom kon ook de afstand tot een object (bijvoorbeeld een vuurtoren) worden bepaald als de hoogte bekend was.

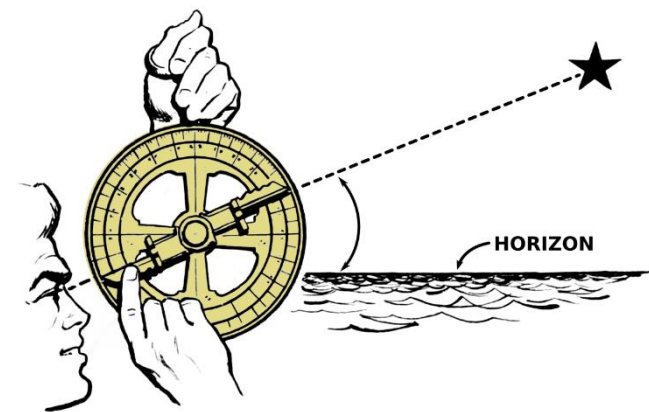
2.2.2 Astrolabium

Vanaf de vierde eeuw na Christus werd het Astrolabium 1200 jaar lang het voornaamste navigatie-instrument, totdat hij langzamerhand vervangen werd door de sextant.

Met het astrolabium kon, net als bij vele andere meetinstrumenten, de hoogte van hemellichamen ten opzichte van de horizon worden bepaald. Dit was echter niet de enige toepassing. Zo was het ook mogelijk om er allerlei berekeningen mee te doen omtrent de tijd en de positie van sterren en de zon. Naast een meetinstrument was het dus een handzame analoge sterrenkundige rekenmachine.

Van astrolabia bestaan verschillende modellen. De bekendste variant is een oud planisferisch astrolabium. Deze bestaat uit een massieve ronde grondplaat met een opstaande rand die de uurscirkel wordt genoemd. Hierop is een onderverdeling gemaakt van vierentwintig uren die met de klok mee toenemen. Aan de voorkant van de grondplaat, binnen de opstaande rand, bevinden zich één of meer ronde schijven, tympanen geheten, die niet kunnen draaien ten opzichte van de grondplaat. Op deze tympanen staat een stereografische projectie van de sterrenhemel ten noorden van de zuidelijke keerkring. Hierbij ligt het tympan dat voor de plaatselijke breedtegraad het meest toepasselijk is bovenop. Vanuit het midden van het astrolabium tot de uurscirkel reikt een indexwijzer die rond het midden kan draaien. Hierop is vaak de gradenschaal van de declinatie aangegeven.

Aan de achterkant van de grondplaat is een gradenboog beschreven, waarbinnen zich bogen bevinden met de maanden van het jaar, opgedeeld in dagen. Ook de tekens van de dierenriem staan aangegeven, onderverdeeld in graden. Hieruit kan de positie van de zon voor elke dag van het jaar afgeleid worden. Andere lijnen aan de achterzijde van het astrolabium maken het mogelijk om diverse berekeningen te doen. De hoekaanwijzer die ook aan de achterzijde bevestigd is, kan eveneens (net als de indexwijzer) rond het midden draaien. Vaak zit er aan beide uiteinden van



Figuur 7: Het gebruik van een astrolabium

deze wijzer een vizier, waarmee de hoogte van de hemellichamen nauwkeurig gemeten kan worden. Om het astrolabium waterpas te hangen zit er bovenaan een ring waar een ophanging aan bevestigd kan worden. Hiermee kan het astrolabium waterpas gehangen worden bij metingen.



Figuur 6: Astrolabium

Bij het astrolabium is het mogelijk om het tympaan te vervangen voor een ander tympaan, waardoor andere berekeningen mogelijk waren. Vandaar dat het astrolabium voor diverse doeleinden gebruikt kan worden:

1. De hoogte van de zon of een heldere ster boven de horizon kan gemeten worden. Hieruit kan de lokale zonnetijd worden afgeleid.
2. De hoogte en richting van de zon of een heldere ster kan voor een bepaalde datum en tijd worden bepaald, als je de equatoriale coördinaten weet.
3. De locatie van de zon tussen de sterren kan voor een bepaalde datum worden berekend.
4. De tijd van zonsopkomst of zonsondergang. Hiervoor kon een speciaal tympaan gebruikt worden.
5. Het begin of einde van de burgerlijke,³ nautische⁴ of astronomische⁵ schemering kan worden berekend.
6. Het omrekenen van gelijke naar ongelijke uren en andersom.
7. Het berekenen van de hoogte van een object, net als bij een kwadrant

Over de vraag wie de uitvinder van dit meetinstrument was, bestaat enige discussie. Waarschijnlijk is de Oost-Romeinse wiskundige, filosoof en astronome Hypatia van Alexandrië de bedenker, maar er zijn ook historici die de eer toekennen aan de Griekse astronoom, geograaf en wiskundige Hipparchus. Dit laatste zou betekenen dat het instrument een stuk ouder is dan algemeen wordt aangenomen.

2.2.3 Jakobsstaf

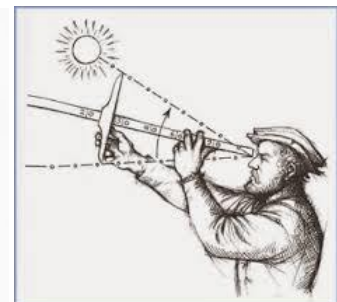
In de 14e eeuw werd de Jakobsstaf bedacht. Dit instrument bestaat uit een stok van om en nabij één meter lengte, waarop een schaalverdeling aangebracht is. Haaks op deze stok kan een tweede stok worden verschoven.

Bij het meten van de hoek van een hemelobject ten opzichte van de horizon houdt men het uiteinde van de Jakobsstaf en kijkt men beurtelings naar het hemelobject en de horizon, waarbij de kijkrichting precies langs het uiteinde van de dwarse geplaatste stok is (zie figuur 9). Om de stok exact tussen de horizon en het hemellichaam te laten passen, wordt de afstand tussen het uiteinde van de Jakobsstaf en de dwarsgeplaatste stok gewijzigd.

Vervolgens wordt de schaalverdeling, die een maat is voor de hoek, afgelezen. Op deze manier kan ook de hoek (boogafstand) tussen twee afzonderlijke hemellichamen worden gemeten in plaats van de hoek tussen het hemellichaam en de horizon. De Jakobsstaf werd in de 16e eeuw pas op zee gebruikt.



Figuur 8:
Jakobsstaf



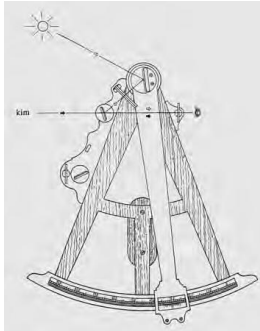
Figuur 9: Het gebruik van een
Jakobsstaf

³ Dit wordt in de volksmond bedoeld met het woord schemering: Bij zonsopkomst is dit wanneer de zon boven de horizon uit komt en bij zonsondergang, wanneer zij eronder verdwijnt.

⁴ De zon is al onder en bevindt zich tussen de 6 en 12 graden onder de horizon, maar aan de horizon zijn dingen nog steeds goed te onderscheiden.

⁵ Het is al helemaal donker: De zon bevindt zich tussen de 12 en 18 graden onder de horizon.

2.2.4 Octant



Figuur 10: Octant

In de 18e eeuw werd de octant uitgevonden. Dit meetinstrument bestaat uit een cirkeldeel van 45 graden. Op de cirkelboog staat echter een gradenverdeling van 90 graden weergegeven. Dit komt door het principe de dubbele reflectie⁶ van de twee spiegels die op de octant gemonteerd zijn. De octant is de voorloper van de sextant en gebaseerd op hetzelfde principe⁷. Net als alle voorgaande meetinstrumenten zijn een octant en sextant bedoeld om de positie van een hemellichaam te bepalen.

2.2.5 Sextant

Rond 1730 werd de sextant uitgevonden. Dit is een verbeterde versie van de octant, dat een stuk nauwkeuriger meetinstrument was dan zijn voorgangers. Het enige verschil met de octant is dat de sextant een hoek van 60 graden heeft terwijl de octant er een van 45 graden heeft. Ook bij de sextant speelt dubbele reflectie een belangrijke rol. Net als bij een octant staan op de gradenboog het dubbele aantal graden aangegeven dan dat de hoek van de sextant werkelijk bevat; dus 120. In een later hoofdstuk zullen we dieper ingaan op de werking van de sextant.



Figuur 11: Sextant

2.2.6 Kompas

Na de sextant werd er veel gebruik gemaakt van een kompas. Dit navigatie-instrument is niet te gebruiken om de hoogte van een hemellichaam te bepalen, maar is nog altijd een veelgebruikt middel. De wijzer van het kompas wijst altijd naar het magnetische noorden doordat hij een kleine magneet is die ronddraait op een asje. Doordat een noord- en zuidpool van een magneet elkaar aantrekken, wordt de noordpool van de magneet in een kompas door het magnetische zuiden van het magneetveld van de aarde aangetrokken. Bij het gebruik van een kompas is het belangrijk dat er geen sterke magneet in de buurt is, anders wordt de richting die het kompas aanwijst beïnvloed door het magneetveld van de magneet en wijst hij het noorden niet meer correct aan. Vaak werd er naast een kompas ook een kaart gebruikt om te bepalen in welke richting er gevaren moest worden. Bij het bepalen van een route of richting moet er rekening worden gehouden met het feit dat het magnetische zuiden langzaam verschuift, waardoor het inmiddels niet meer helemaal gelijk is aan het geografische noorden.



Figuur 12: Kompas

⁶ Toelichting over dubbele reflectie volgt in hoofdstuk 8.

⁷ Ook hier wordt dieper op ingegaan in hoofdstuk 8.

3 Tijdsbepaling

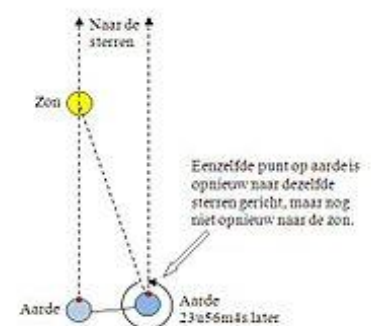
Zoals eerder vermeld, is de tijd eveneens een zeer belangrijk aspect voor astronavigatie. De hierboven genoemde meetinstrumenten zijn nutteloos zonder een nauwkeurige tijdsbepaling op het moment van de meting. Wanneer de tijd ook maar een beetje verkeerd wordt ingeschat, resulteert dit in een aanzienlijke afwijking in de berekening voor de plaats. Het verband tussen de positie van een hemellichaam en de tijd wordt hieronder opgehelderd.

3.1 Datum en tijd

Vanaf de aarde gezien, lijkt de zon zich overdag van het oosten naar het westen te verplaatsen. Dit wordt veroorzaakt door de draaiing van de aarde om zijn eigen as. Van boven af gezien, draait de aarde tegen de klok in om zijn as. Ten opzichte hiervan blijft de zon op een vaste plek staan, maar hierdoor lijkt de zon met de klok mee om de aarde heen te draaien. Hetzelfde geldt voor de sterren. Ook deze staan (relatief) op een vaste plaats aan de sterrenhemel, waardoor ze zich 's nachts van het oostelijk deel van de sterrenhemel naar het westelijk deel lijken te verplaatsen. Om dat de hemellichamen dus constant 'in beweging' zijn, is het bij astronavigatie van groot belang het tijdstip van de meting te weten. Immers, een paar minuten later is het hemelobject alweer van positie veranderd, waardoor de conclusie niet meer klopt als de meting van een paar minuten eerder voor je plaatsbepaling gebruikt wordt.

De siderische rotatie van de aarde, ook wel een sterrendag genoemd, duurt 23 uur en 56 minuten. Dit wil zeggen dat de sterren binnen die tijd weer op dezelfde plek aan de hemel staan. In het dagelijks leven wordt gebruikgemaakt van de zonnedag, ook wel 24 uur. De zonnedag duurt 3 minuten en 56 seconden langer dan de sterrendag, omdat de aarde zich nog een stukje verder in zijn baan om de zon verplaatst, waardoor de zon op weer precies dezelfde plaats staat. Omdat ons dagritme op aarde gebaseerd is op de 'verplaatsing' van de zon, duurt een dag op aarde dus 24 uur.

Het verschil in zonne- en sterrentijd heeft geen effect op de plaatsbepaling.



Figuur 13: Sterrendag

3.2 Tijdsbepaling door de jaren heen

Vandaag de dag baseren we onze tijdsbepaling op een horloge of klok, maar deze voorzieningen waren vroeger nog niet voorhanden. Hieronder zullen een aantal methoden worden beschreven waarmee vroeger de tijd werd bepaald.

3.2.1 Zonnewijzer

Een zonnewijzer is een instrument waarmee de tijd aan de hand van de schaduw van de zon wordt bepaald. Deze is vormgegeven als een schijf waar de uren in een boog staan aangegeven. Een



Figuur 14: Zonnewijzer

omhoog staande stift (stijl) veroorzaakt een schaduw op deze schijf, waarbij de stand van de zon de richting en lengte van deze schaduw bepaalt. Deze schaduw wijst dan aan hoe laat het is.

Naast een zonnewijzer werd er soms gebruik gemaakt van de schaduw van de mens zelf. Door bijvoorbeeld te kijken naar de stand van de zon op zijn hoogste punt, wist men wanneer het twaalf uur 's middags was en wanneer de richting van hun schaduw om twaalf uur 's middags naar het noorden wees, kon geconcludeerd worden dat men zich op het zuidelijk halfrond bevond.

3.2.2 Waterklok

Het nadeel van een zonnewijzer is, dat hij enkel op zonnige dagen te gebruiken is. Daarom werd er 's nachts en bij bewolkte dagen gebruik gemaakt van de waterklok. Ook wel het wateruurwerk genoemd. Dit instrument bestond uit een soort trechter bovenaan, waar water doorheen liep en in de kom terecht kwam. Daarin stonden lijntjes aangegeven voor tijdsintervallen zoals minuten. Wanneer het volgende streepje bereikt werd, wist men dat er een periode verlopen was. Wanneer de trechter leeg was, moest hij weer bijgevuld worden. Soms werd er juist gekeken naar de waterhoeveelheid die het gat in de trechter gepasseerd was waardoor ze bijvoorbeeld wisten dat er tien minuten verstreken waren als hij leeg was.



Figuur 15: Waterklok

3.2.3 Zandloper

Naast de waterklok werd er gebruik gemaakt van de zandloper. Dit is een soortgelijk instrument, waarbij ook gebruik werd gemaakt van de stroomsnelheid, maar dan met zand in plaats van water. Bij dit meetinstrument zijn er twee glazen bollen op elkaar gemonteerd met een gat in het midden, waardoor het zand van de ene bol in de andere kon lopen. Afhankelijk van de hoeveelheid zand en het formaat van het gat, ging er een bepaalde periode voorbij totdat de bovenste bol leeg was. Daarna werd de zandloper omgedraaid. Door te tellen hoe vaak de zandloper was omgedraaid, kon men erachter komen hoeveel tijd er verstreken was. Dit proces van omdraaien kon de hele dag door worden herhaald. Het aanbreken van een nieuwe dag werd bepaald aan de hand van het moment dat de zon het hoogste punt bereikt had.



Figuur 16: Zandloper

3.2.4 De mechanische klok

Het mechanische uurwerk was de eerste tamelijk nauwkeurige klok voor op zee. Deze nauwkeurigheid werd bereikt doordat er een onrust in zit. Dit is een wielletje dat invloed heeft op de snelheid van de mechanische klok. Doordat de klok zelf niet op basis van elektronica maar op basis van een mechanisch systeem werkt, was hij ook bruikbaar op zee. Later werd de mechanische klok ook in een horloge-achtige vorm gebruikt zodat het makkelijker meegenomen kon worden.



Figuur 17: Mechanische klok

3.2.5 Nocturlabium

Het nocturlabium is een instrument dat in de late middeleeuwen werd uitgevonden. Het dient om de tijd 's nachts vast te kunnen stellen aan de hand van de positie van een bepaalde ster. (Op het noordelijk halfrond kan dit gedaan worden aan de hand van de hoek tussen Polaris (de poolster) en een willekeurig andere ster. In combinatie met een kompas en een zonnewijzer kan het als universele tijdsmeter dienen. Vaak werd het nocturlabium gecombineerd met een astrolabium ten dienste van de navigatie.



Figuur 18: Nocturlabium

4 Astronavigatie overdag en 's nachts.

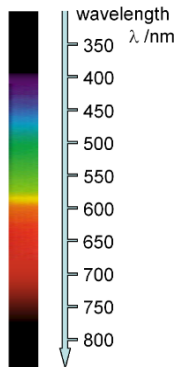
Overdag kunnen de meetinstrumenten die in hoofdstuk 2 zijn beschreven worden gebruikt om de positie van de zon te bepalen, maar 's nachts is dit niet mogelijk, omdat de zon dan de andere helft van de aardbol bestraalt. Daarom wordt er 's nachts gebruik gemaakt van de sterren.

4.1 Licht

Zoals de zon 's nachts niet te zien is, zo zijn sterren overdag niet zichtbaar. Dit komt doordat ze overstraald worden door het zonlicht. Ze zijn er echter wel. Om te verklaren waardoor de sterren overdag niet te zien zijn, moeten we het gedrag van het licht en de kleuren van de hemel overdag begrijpen.

Hiervoor moeten we wat dieper ingaan op het begrip van verstrooiing. Bij verstrooiing wordt zonlicht geabsorbeerd door moleculen en weer uitgestraald. Dit kan door de moleculen in de lucht gebeuren, maar ook door watermoleculen. Dit verklaart de kleur van wolken.

Wolken bestaan uit heel veel kleine waterdruppeltjes met een gemiddelde diameter van 20 micrometer. Een regenwolk bevat waarschijnlijk druppeltjes met een hogere gemiddelde diameter dan witte wolken. De golflengte van zichtbaar licht is tussen de 0.4 en 0.7 micrometer en deze heeft dus een vergelijkbaar formaat met de diameter van de waterdruppeltjes in een wolk. Met de *Mie-Theorie* kunnen we voorspellen hoeveel licht er door waterdruppeltjes wordt verstrooid. Omdat er een onzekerheid ligt in dit overgangsgebied, lijkt het alsof hier geen nauwkeurige metingen mee gedaan kunnen worden, maar bij verstrooiing met bolvormige objecten heeft de golflengte van het licht maar weinig invloed. Hierdoor worden alle golflengten licht op dezelfde manier verstrooid en zien wij het als wit licht. Deze Mie-Theorie geldt niet alleen voor bolvormige objecten waarbij het formaat vergelijkbaar is met de golflengte van het licht, maar ook voor grotere bolletjes.

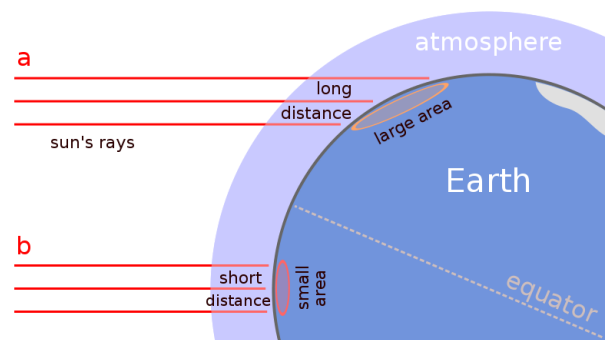


Figuur 19:
Golflengten van
licht

We kunnen de blauwe lucht verklaren door te kijken naar de gasen die zich in de lucht bevinden. Hierbij zijn de moleculen een stuk kleiner dan de typische golflengte van het zichtbare licht. De verstrooiing van het licht aan deze deeltjes werkt anders dan bij de Mie-verstrooiing bij wolken. De verstrooiing van het licht aan de gasen in de lucht wordt de *Rayleigh-verstrooiing* genoemd. Bij de Rayleigh-verstrooiing is er geen duidelijke voorkeursrichting; het licht wordt in alle richtingen verstrooid. Bovendien is deze manier van verstrooiing in tegenstelling tot de Mie-verstrooiing sterk van de golflengte van het licht afhankelijk. Wanneer je namelijk licht gebruikt met een twee keer zo grote golflengte, zal de verstrooiingsintensiteit met een factor van 16 afnemen, waardoor er bij een grotere golflengte minder licht wordt verstrooid. Omdat de golflengte van blauw licht een stuk lager is dan die van rood licht, wordt blauw licht meer verstrooid dan rood licht. Hierdoor tref je overal waar je kijkt eerder blauw licht dan rood licht aan. Dat het licht bij zonsopkomst en zonsondergang wel rood gekleurd is, kunnen we eveneens met de theorie van

Rayleigh verklaren.

Bij een zonsopkomst of zonsondergang legt het zonlicht een grotere afstand in de aardatmosfeer af voordat het het aardoppervlak bereikt, dan wanneer de zon op zijn hoogste punt staat. Dit is weergegeven in figuur 20, waar je situatie a met een zonsopkomst of zonsondergang kunt vergelijken en situatie b met een tijdstip midden op de dag. Door de lange afstand die het zonlicht aflegt bij opkomende zon, gaat het licht door veel meer lucht dan wanneer de zon bovenaan de hemel staat. Hierdoor zal het blauwe licht bij zonsopkomst veelal uit het licht verwijderd zijn bij het bereiken van het aardoppervlak en zal het overgebleven licht veel rood bevatten.



Figuur 20: Inkomende zonnestralen overdag en 's nachts

Het blauwe licht wordt echter minder efficiënt uit het zonlicht gefilterd wanneer de zon hoger aan de hemel komt te staan en dan is er een geleidelijke verschuiving van rood naar blauw licht te zien. Dit is exact het omgekeerde wanneer de zon weer daalt en vervolgens onder gaat.

Op grotere hoogte boven het aardoppervlak is de lucht ijler, waardoor er minder verstrooiing plaatsvindt en de lucht veel donkerder is. Buiten de dampkring vindt er helemaal geen verstrooiing plaats, omdat de ruimte daar luchtledig is. Vandaar dat de hemel daar helemaal zwart is en kun je buiten de dampkring op elk moment sterren zien.

's Nachts worden de sterren niet door het zonlicht overstraald, maar ook dan ze zijn niet altijd even duidelijk. Het moet namelijk goed donker zijn om sterren goed te kunnen zien en er zijn steeds minder



Figuur 22: Lichtvervuiling

plaatsen waar het 's nachts helemaal donker wordt. Zo zijn veel zwakke sterren niet goed te zien bij volle maan. Niet alleen het licht van andere hemellichamen kan een probleem vormen, ook de lichtvervuiling van de steden speelt een belangrijke rol. Wanneer je de hemel probeert te bekijken met sterke lichtbronnen in de buurt, zoals lantarenpalen, passen je ogen zich niet volledig aan het donker aan en komt er hinderlijk

'strooilicht' op je netvlies terecht. Je kunt heel wat meer sterren zien als je op een donkere plek in de stad gaat staan die niet direct door lichtbronnen beschenen wordt dan wanneer je in de buurt van een lantaren probeert de sterren te bestuderen. Het kunstlicht van de stad heeft echter altijd invloed op de helderheid van de hemel. Boven iedere stad hangt namelijk een geeloranje gloed waar de meeste sterren in verdrinken, waardoor je zicht op de sterrenhemel drastisch ingekaderd wordt. De invloed van die 'lichtkoepel' is zelfs kilometers van een stad nog merkbaar. Alleen in dunbevolkte gebieden op het platteland wordt het nog echt donker 's nachts. Omdat de steden een aantal eeuwen terug een stuk kleiner waren en een stuk minder lichtvervuiling veroorzaakten, was het toen makkelijker om de sterrenhemel te bestuderen dan vandaag de dag.

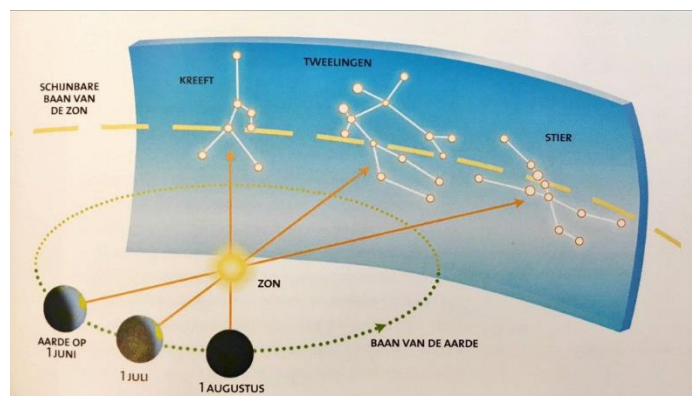
Naast strooilicht heeft de plaatsing op aarde ook invloed op de mate van donkerheid van de hemel. Zo is het op de Noord- en Zuidpool zowel 's nachts als overdag volledig licht in de zomer en volledig donker in de winter terwijl er rond de evenaar nauwelijks verschil is in daglengte gedurende de vier jaargetijden. In Nederland is er een duidelijk verschil in daglengte en hoewel het verschil in kleur in de hemel duidelijk zichtbaar is, wordt het er midden in de zomer ook niet volledig donker, waardoor er dan beduidend minder sterren zichtbaar zijn dan 's winters.



Figuur 21: Invloed van kunstlicht

4.2 Datum

Naast het feit dat de hemel in sommige periodes donkerder is dan in andere periodes, heeft de zon ook grote invloed op het gegeven welke hemellichamen (vooral sterren en sterrenbeelden) zichtbaar zijn. Dit komt doordat de aarde zich door het jaar heen op verschillende plaatsen ten opzichte van de zon en de sterren bevindt. Wanneer de zon tussen de aarde en het sterrenbeeld in staat, is het sterrenbeeld niet te zien.



Figuur 23: Veranderlijke zichtbaarheid van sterrenbeelden

Wanneer de zon vervolgens niet meer tussen het sterrenbeeld en de aarde in staat, is het sterrenbeeld weer zichtbaar. Op deze manier verklaart figuur 23 (op de vorige pagina) de sterrenbeelden van de Dierenriem⁸.

⁸ Meer informatie over de sterrenbeelden van de dierenriem is terug te vinden in bijlage A.

5 Sterrenbeelden

Iedereen heeft wel eens van sterrenbeelden gehoord. In het bovenstaande stukje kwamen ze al kort ter sprake. In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de oorsprong van sterrenbeelden en de toepassing ervan in astronavigatie.



Figuur 24

5.1 Wat zijn sterrenbeelden?

De miljoenen sterren die vanuit de hemel op ons neerkijken lijken kriskras door elkaar te staan, maar met veel fantasie zijn er vormen te zien door verschillende sterren door middel van lijnen met elkaar te verbinden. Dit zijn vooral groepen van sterren die opvallen, doordat er soms een aantal heldere sterren dicht bij elkaar staan. Deze sterren staan in werkelijkheid op verschillende afstanden en niet zo dicht bij elkaar, maar die derde dimensie is voor ons op aarde niet zichtbaar. De verschillende soorten sterren in een sterrenbeeld (formaat, helderheid, of sterkte) spelen geen rol voor het sterrenbeeld. Alleen de positie aan de hemel is belangrijk.



Figuur 25: Sterrenbeelden

5.2 Geschiedenis van de sterrenbeelden

Gedurende de geschiedenis zijn de sterren door verschillende volkeren bestudeerd. Vandaar dat veel sterrenbeelden in verschillende culturen verschillende benamingen hebben. In China werden de sterrenbeelden al veel eerder bestudeerd dan in het westen. We zien ook dat de sterrenbeelden daar op een andere manier worden toegepast dan dat bij ons het geval is.⁹

De theorie over de sterrenbeelden die we in het westen kennen is gebaseerd op de waarnemingen die duizenden jaren geleden in het Midden-Oosten werden gedaan. Door de mensen in Mesopotamië werden de hemellichamen nauwkeurig bestudeerd en opgetekend in de Babylonische dagboeken. De leeuw, krab, tweeling, weegschaal, schorpioen, enzovoorts zijn Babylonische benamingen die door de Grieken werden doorgegeven. In de klassieke oudheid verdeelde de Alexandrijnse astronoom Claudius Ptolemaeus (ca. 100-170 na Chr.) de sterren in zijn sterrencatalogus onder in 48 verschillende sterrenbeelden, die nog steeds in gebruik zijn. Slechts één ervan is vervallen en in vier sterrenbeelden opgedeeld, omdat het een onpraktisch groot deel van de hemel besloeg.

Vandaag de dag zijn er door de Internationale Astronomische Unie 88 sterrenbeelden officieel vastgelegd, die zowel een Latijnse als een Nederlandse benaming hebben.

5.3 Sterrenbeelden bij astronavigatie

Bij astronavigatie maak je gebruik van de hoek die sterren maken ten opzichte van de horizon. Hierbij vergelijk je de hoek die een ster maakt op jouw locatie met gegevens uit een tabellenboek. Voor het vinden en herkennen van sterren aan de hemel zijn sterrenbeelden een handig hulpmiddel. Welke sterrenbeelden van belang zijn voor het bepalen van je plaats, hangt af van de ster die je wilt gebruiken en in welk sterrenbeeld deze ster voor komt.

⁹ Meer informatie over de astronomie in China staat bijlage B vermeld.

Deze ster moet helder zijn en je moet informatie hebben over de hoeken van deze ster op bekende locaties (Het is dus praktisch een ster te kiezen die vermeld wordt in *the Nautical Almanac*). Doordat sterren op aarde overdag niet zichtbaar zijn, is een deel van de sterrenhemel nooit te zien op het halfrond met jou als middelpunt. Sommige sterrenbeelden zijn dus alleen maar zichtbaar op het noordelijk of juist op het zuidelijk halfrond, dus om van tevoren te bedenken welk sterrenbeeld bruikbaar is, moet er wel een globale inschatting gemaakt kunnen worden op welk deel van de aarde de meting wordt verricht.

5.3.1 Helderheid van sterren

In de Nautical Almanac staan niet alle sterren aan de sterrenhemel vermeld, maar alleen de helderste sterren, die dus het gemakkelijkst te herkennen zijn. Sterren worden in aflopende helderheid met een letter uit het Griekse Alfabet aangeduid, gevolgd door de genitief (bezitsvorm) van de Latijnse benaming van het sterrenbeeld waar de ster deel van uit maakt. Zo wordt de ster *Aldebaran* aangeduid met α *Tauri*, wat letterlijk 'alfa van de Stier' betekent. Deze manier van notatie wordt de Bayer-aanduiding genoemd.

A α	alpha	N ν	nu
B β	beta	ξ	ksi
Γ γ	gamma	O $\omicron$	omicron
Δ δ	delta	Π π	pi
E ϵ	epsilon	P ρ	rho
Z ζ	zeta	Σ σ	sigma
H η	eta	T τ	tau
Θ θ	theta	Y υ	upsilon
I ι	iota	Φ ϕ	phi
K κ	kappa	X χ	chi
Λ λ	lambda	Ψ ψ	psi
M μ	mu	Ω ω	omega

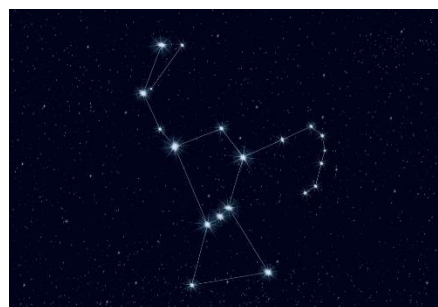
Figuur 26: Griekse alfabet

5.3.2 Het noordelijk halfrond

Op het noordelijk halfrond is de Grote Beer gemakkelijk te herkennen als het steelpannetje. Dit vormt echter maar een deel van het sterrenbeeld. Het steelpannetje vormt de staart van de Grote Beer. Door de lijn tussen de twee sterren die in de afbeelding met α en β zijn aangegeven, ongeveer vijf keer te verlengen, kom je uit bij de Poolster. De Poolster, zoals in het eerste hoofdstuk beschreven staat, is de ster die (bijna) recht boven de aardas staat en waar de hele sterrenhemel dus omheen lijkt te draaien. De poolster (in de afbeelding aangegeven met α) vormt het puntje van de staart van de kleine beer. Veel mensen denken dat de poolster een heel heldere ster is, maar dat is niet het geval. Hetzelfde geldt voor de rest van de sterren van de Kleine Beer. Deze zijn alleen te zien wanneer er geen maan is en geen lichtvervuiling vanuit steden.

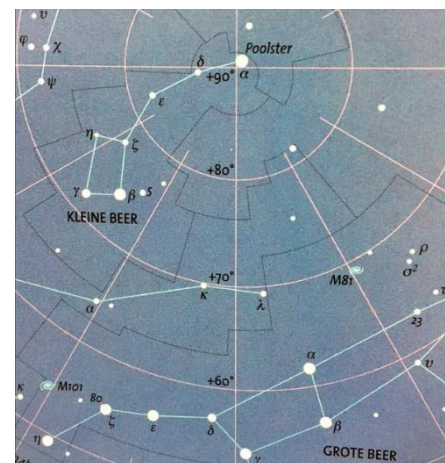
Orion is een stuk gemakkelijker te herkennen (ongeveer vergelijkbaar met de Grote Beer). Opvallend in dit sterrenbeeld is

een groepje van drie heldere sterren die min of meer op één lijn liggen. Vroeger herkende men hier de mythologische figuur Orion in, waaraan het

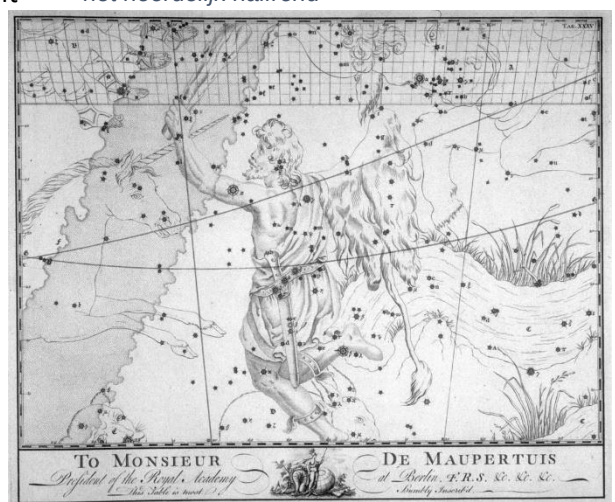


Figuur 28: Orion

sterrenbeeld zijn naam te danken heeft. Het groepje van drie sterren in het centrum van dit sterrenbeeld vormen het midden van dit mythologische figuur.



Figuur 27: Grote Beer en Kleine Beer op het noordelijk halfrond

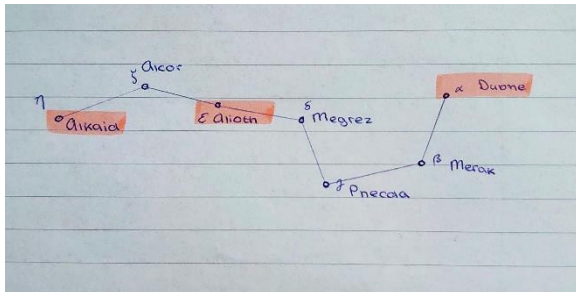


Figuur 29: Mythologisch figuur in Orion

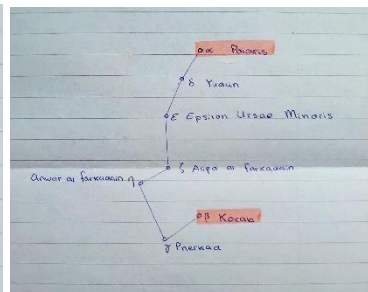
5.3.3 De Nautical Almanac voor het noordelijk halfmond

Van de drie bovengenoemde sterrenbeelden staan de helderste sterren in de Nautical Almanac vermeld. In de onderstaande afbeeldingen zijn deze sterren aangegeven. (α Polaris is de Poolster)

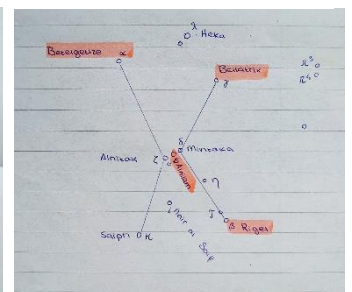
Grote Beer	Kleine Beer	Orion
α Dubhe	α Polaris	α Betelgeuse
ϵ Alioth	β Kocab	β Rigel
η Alkaid		γ Bellatrix
		ϵ Alnilam



Figuur 30: Grote Beer



Figuur 31: Kleine Beer



Figuur 32: Orion

5.3.4 Het zuidelijk halfmond

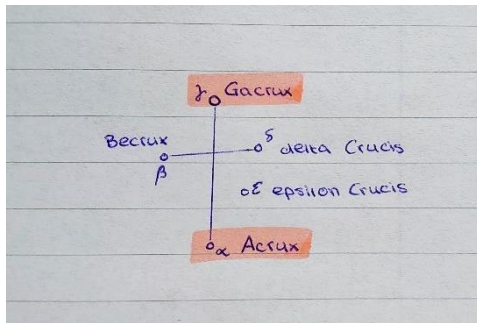
Op het zuidelijk halfmond zijn er ook sterren en sterrenbeelden. Voorbeelden hiervan zijn de Pauw, de Centaur en het Zuiderkruis. Deze sterrenbeelden zijn nooit te zien vanaf het noordelijk halfmond. De zuidelijke sterrenhemel heeft meer heldere sterren dan de noordelijke sterrenhemel. Zo is ook het zuidelijke deel van de Melkweg indrukwekkender en helderder dan het noordelijke deel. De zuidelijke hemelpool wordt niet met een opvallende ster gemarkeerd, zoals dat wel het geval is bij de poolster op het noordelijk halfmond. De richting van de zuidelijke hemelpool kan wel gevonden worden met behulp van het Zuiderkruis. Het Zuiderkruis is het bekendste sterrenbeeld aan de zuidelijke hemel. Het Zuiderkruis bestaat uit vier sterren die samen een kruis vormen. De lange as van dit kruis kan naar het zuiden worden doorgetrokken, waarna er een lijn ontstaat die de zuidelijke hemelpool min of meer snijdt. Om de exacte positie van de hemelpool te bepalen, neemt men de middelloodlijn op het lijnstuk dat door α en β Centauri wordt gevormd. Het snijpunt van de verlengde lange as van het Zuiderkruis en deze loodlijn zou aan moeten geven waar de zuidelijke hemelpool is.



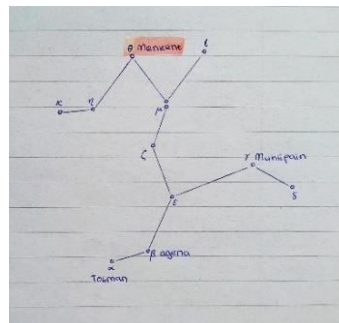
Figuur 33: Sterrenbeelden op het zuidelijk halfmond

5.3.5 De Nautical Almanac voor het zuidelijk halfrond

Van de drie bovengenoemde sterrenbeelden staan er van de Pauw geen heldere sterren in de Nautical Almanac vermeld. Van de andere twee sterrenbeelden staan er echter wel een paar:



Figuur 34: Het Zuiderkruis



Figuur 35: De Centaur

Zuiderkruis	Centaur
α Acrux	θ Menkent
γ Gacrux	

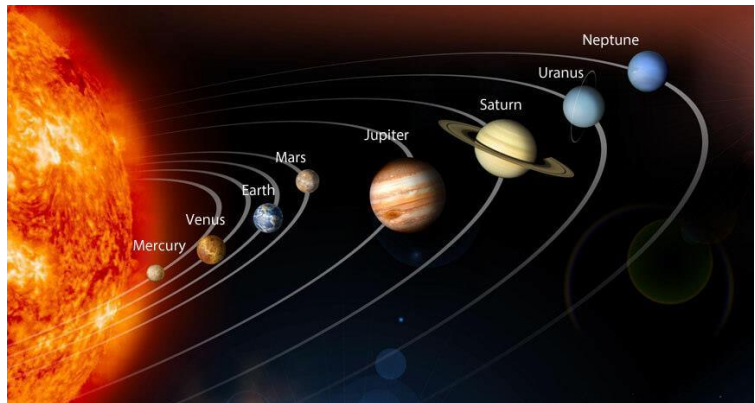
6 Planeten

Net als sterren zijn de planeten van ons zonnestelsel ook te gebruiken bij astronavigatie. Vanwege het feit dat zij – net als de Aarde – om de zon draaien en veel dicht bij de aarde staan dan de sterren, is hun beweging ten opzichte van de aarde niet te verwaarlozen. Dit maakt berekeningen aan planeten ingewikkelder dan berekeningen aan sterren. Om hier een beeld van te krijgen en inzicht te geven in de vraag welke planeten geschikt zijn bij astronavigatie, wordt er in dit hoofdstuk ingegaan op de planeten in ons zonnestelsel.

6.1 Planeten in ons zonnestelsel

Ons zonnestelsel bevat acht planeten; Mercurius, Venus, Aarde, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus, en één dwergplaneet, Pluto. Mercurius staat het dichtste bij de zon en Pluto het verste weg. Voor het definiëren van een planeet in ons zonnestelsel, moet een hemellichaam aan drie eisen voldoen:

- Het hemellichaam moet om de zon draaien.
- De massa van het hemellichaam moet groot genoeg zijn dat zijn eigen zwaartekracht hem min of meer bolvormig heeft gemaakt.
- Het hemellichaam moet alle andere objecten in zijn baan hebben 'opgeveegd', waardoor het het enige object is in zijn baan, of op zijn minst veel groter is dan de andere objecten die zich dicht op deze baan bevinden.



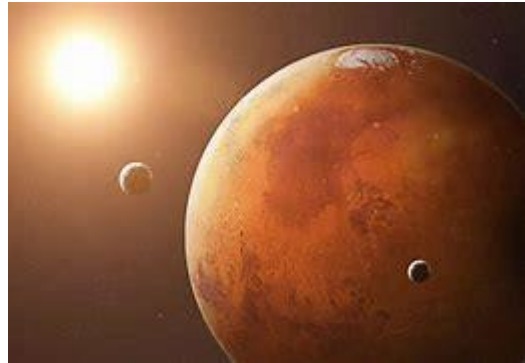
Figuur 36: Planeten van ons zonnestelsel

Een dwergplaneet voldoet alleen aan de eerste twee eisen. Zo is Pluto slechts één van de vele gelijksoortige objecten in de Kuipergordel, waardoor het niet (meer) als volwaardig planeet wordt gerekend.

De vier binnenste planeten in ons zonnestelsel, Mercurius, Venus, Aarde en Mars, verschillen sterk qua eigenschappen ten opzichte van de buitenste vier planeten, Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus. Zo is de temperatuur op het oppervlak van de binnenplaneten, doordat deze dicht bij de zon staan, aanzienlijk hoger dan bij de buitenplaneten. Ook zijn de binnenste vier planeten een stuk kleiner dan de buitenste, ze hebben geen of weinig manen en ze bestaan uit een vast oppervlak. De buitenste planeten hebben geen vast oppervlak, maar zijn gasbollen. Naast het oppervlak van de planeten, verschilt ook de samenstelling van de atmosfeer. Waar deze bij de buitenplaneten enkel uit waterstof en helium bestaan, kan deze bij de binnenplaneten ook stikstof en CO_2 bevatten (zoals op Aarde het geval is). De buitenplaneten roteren veel sneller om hun as dan de binnenplaneten en hebben veel ringen, satellieten en manen.

6.2 Manen en ringen

Zoals hierboven al is benoemd, hebben de binnenplaneten maar weinig manen. De twee binnenste planeten, Mercurius en Venus, hebben überhaupt geen manen. De aantrekkingskracht van de zon is hier groter dan bij verderaf gelegen planeten, waardoor de aantrekkingskracht van Mercurius en Venus te klein is om manen in een baan rond de planeet te houden. De Aarde heeft één maan, zoals wel bekend is. Mars heeft er twee. Dit waren eerst astroïden die door de ruimte zweefden, maar door de aantrekkingskracht van Mars in een baan rondom de planeet zijn gaan draaien. Deze zijn met een sterke amateurtelescoop te volgen. Bij de buitenplaneten is het aantal manen flink groter. Doordat deze planeten zelf een grotere massa hebben dan de binnenste planeten én verder van de zon staan, is de gravitatiekracht die door deze planeten wordt uitgeoefend groot genoeg om meerdere objecten in een baan rond de planeten te krijgen. Zo heeft Jupiter 14 manen, Uranus 27, Saturnus 61 en Neptunus 79. De manen van de verschillende planeten zijn ook op aarde te onderscheiden. Zo zijn de grootste vier manen van Jupiter al met een handverrekijker te zien. Van Saturnus zijn er vijf te onderscheiden met een telescoop met een brandpuntsafstand van 150 mm. Naast manen, hebben de planeten Saturnus en Uranus ook nog ringen.



Figuur 37: Mars



Figuur 38: Saturnus

Saturnus heeft 12 ringen die voornamelijk met letters uit het westerse alfabet aangeduid worden. Deze bestaan voor het overgrote deel uit waterijs en een heel klein beetje rotsachtig materiaal. De scheiding tussen de ringen wordt veroorzaakt door de manen van Saturnus, die door hun draaiing hun baan vrijmaken van ander materiaal en de banen uit elkaar trekken. Feitelijk is er sprake van meer dan duizend scheidingen, maar om dit overzichtelijk te maken, worden deze onderscheiden door het feit of ze vanaf de Aarde gezien kunnen worden, waardoor je uit komt op 12 ringen. Enkele van deze ringen zijn te onderscheiden met amateur telescopen, maar de meeste zijn hier niet helder genoeg voor. Uranus heeft 15 ringen die worden aangeduid met cijfers en letters uit het Griekse alfabet. Deze hebben een andere samenstelling dan de ringen van Saturnus en bestaan vooral uit rotsblokken en stofdeeltjes. Deze ringen bevinden zich om banen die verder van de planeet af liggen dan de manen. Door botsingen van manen in het binnenste deel van het manenstelsel, kunnen er manen verdwijnen, waarvan de brokstukken weer ringen kunnen vormen. Daarnaast worden er ook steeds weer opnieuw manen ontdekt. Op deze manier bestaat er een dynamisch systeem van ringen en manen rondom Uranus. Met een telescoop zijn vijf van de 27 manen van Uranus te zien. Hoewel Neptunus het grootste aantal manen heeft in ons zonnestelsel, zijn hiervan met een sterrenkijker maar twee te onderscheiden vanaf de Aarde. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat Neptunus de planeet is die het verst van de aarde verwijderd is.

6.3 De Maan

De maan van de Aarde is goed met het blote oog te onderscheiden. Vanaf de aarde gezien lijkt het alsof de Maan licht geeft, maar in feite is dit niet het geval. De Maan reflecteert het licht van de zon. We zien echter niet iedere avond hetzelfde. Dit komt door de draaiing van de Maan om de Aarde. Gedurende een maand draait de Maan één rondje om de Aarde. Hierdoor varieert de positie van de Maan ten opzichte van de zon en de Aarde. Dit zorgt ervoor dat niet de gehele reflectie zichtbaar is, behalve met volle maan. De



Figuur 39: Maan

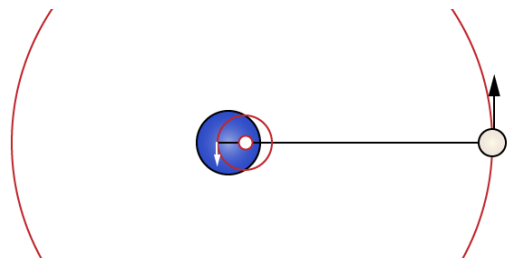


Figuur 40: Maancyclus

periode tussen twee volle manen wordt een *synodische maand* genoemd. Hierin doorloopt de Maan precies één keer alle schijngestalten. Deze periode bedraagt 29,53 dagen. De periode waarin de Maan ten opzichte van een vast punt aan de sterrenhemel een rondje om de Aarde draait is echter iets korter; deze telt namelijk 27,32 dagen. In deze periode, ook wel de *siderische maand*¹⁰ genoemd, draait de Maan ook precies één keer om haar eigen as. Doordat deze wenteling om haar as precies even lang duurt als een rondje om de Aarde, is altijd dezelfde kant van de Maan naar de Aarde toe gekeerd en kunnen wij op Aarde altijd maar één kant van de Maan zien. Dit

verschijnsel wordt *synchrone rotatie* genoemd. Dat de Maan zoveel langzamer draait dan de Aarde, wordt veroorzaakt doordat de massa van de Aarde bijna 81 keer groter is dan die van de Maan. Hierdoor is de invloed van de Aarde op de draaisnelheid van de maan véél groter dan andersom het geval is. Het effect van de massa van de Maan op de Aarde is merkbaar in het fenomeen van de getijden.

Hoewel de massa's van de Aarde en de Maan met een factor 81 verschillen, is onze maan groot in vergelijking met de manen van andere planeten in ons zonnestelsel¹¹. Eigenlijk draaien de Aarde en de Maan om een gemeenschappelijk zwaartepunt, dat 81 keer dichterbij de Aarde ligt dan de Maan, maar omdat dit punt in de massa van de Aarde ligt, wordt in de volksmond gezegd dat de Maan om de Aarde draait.



Figuur 41: Baan van de Maan en de Aarde om het gemeenschappelijk zwaartepunt

6.4 De baan van planeten

Vanuit de ruimte gezien, kan er worden opgemerkt dat er een bepaalde mate van orde te herkennen is in de beweging van de acht planeten om de zon. Zo liggen de banen van de acht planeten vrijwel in hetzelfde vlak en zijn ze vrijwel cirkelvormig. Ook draaien de planeten allemaal in dezelfde richting: Vanaf het noorden gezien tegen de wijzers van de klok in (dit is dezelfde richting als de rotatierichting van de zon). Ook de planeten draaien tegen de wijzers van de klok in om hun as, behalve Venus, die bijna niet draait. Ten slotte staat bij alle planeten, behalve Uranus, de rotatie-as van de planeet min of meer loodrecht op het vlak van zijn omloopbaan. De omlooptijd van hun baan om de zon is bij deze planeten echter verschillend.

¹⁰ Deze is al eerder genoemd in hoofdstuk 3.

¹¹ Alléén bij de dwergplaneet Pluto en zijn maan is de verhouding nog groter (namelijk 1:8).

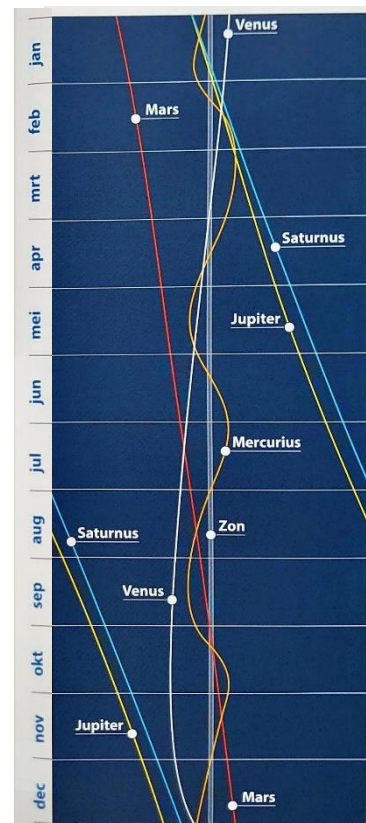
Hemellichaam ¹²	Rotatieperiode om hun as	Omlooperperiode om de zon In dagen	Omlooperperiode om de zon In jaren
Zon	25 ^d , 9 ^u , 7 ^m , 11,6 ^s	0	0
Mercurius	58 ^d , 15 ^u , 30 ^m , 30 ^s	88	0,2411
Venus	243 ^d , 0 ^u , 26 ^m	224,65	0,6702
Aarde	0 ^d , 23 ^u , 56 ^m , 4,100 ^s	365,25	1
Mars	1 ^d , 0 ^u , 37 ^m , 22,663 ^s	686,971	1,88
Jupiter	0 ^d , 9 ^u , 50 ^m , 30 ^s	4.332,71	11,86
Saturnus	0 ^d , 10 ^u , 14 ^m	10.759,22	29,46
Uranus	0 ^d , 17 ^u , 14 ^m , 24 ^s	30.687,15	84,02
Neptunus	0 ^d , 16 ^u , 6 ^m , 36 ^s	60.227,72	164,89

Zoals in de bovenstaande tabel te zien is, loopt de omlooptijd op naar mate de afstand tot de zon groter wordt. Dit is logisch te volgen, aangezien de lengte van de baan ook toeneemt als de afstand tot de zon groter wordt. Hierdoor is de omlooptijd van Neptunus zó groot, dat hij er langer dan een mensenleven over doet om zijn baan om de zon te voltooien.

6.5 Planeten bij astronavigatie

Om bij astronavigatie gebruik te maken van planeten, moet je ze ten eerste kunnen herkennen aan de sterrenhemel. Hiervoor moet er voorafgaand aan de meting enig onderzoek gedaan zijn naar de plaats van de beoogde planeten aan de sterrenhemel. Doordat planeten hun eigen baan maken om de zon en zich dus significant verplaatsen ten opzichte van de aarde, is dit een stuk moeilijker bij planeten dan bij sterren. Bij sterren mogen we hun beweging ten opzichte van de Aarde immers verwaarlozen en zijn er jaarlijks vaste cycli van de sterren(beelden) aan de hemel. Bij planeten zijn hun banen niet gekoppeld aan de tijdsperiode van één jaar op aarde. Hierdoor is er van tevoren onderzoek nodig naar de (voorspelde) positie van sterren aan de sterrenhemel, die per jaargetijde verschilt. Daarnaast is het belangrijk dat er gegevens over deze planeten bekend zijn in een Nautical Almanac¹³ (of een soortgelijk geschrift). In de Nautical Almanac zijn gegevens over Venus, Mars, Jupiter en Saturnus te vinden, dus voor praktische toepassing bij astronavigatie, zijn alleen deze vier planeten geschikt. De berekeningen¹⁴ die aan de hand van metingen en deze data gedaan kunnen worden, zijn iets gecompliceerder dan de berekeningen die met de zon of met sterren gedaan kunnen worden.

Om nog even terug te komen op het vinden van planeten, staan hiernaast de posities van de planeten, Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus ten opzichte van die van de zon uitgezet, per maand in 2021 (De horizontale lijnen geven iedere eerste dag van de maand weer.) Deze zijn zichtbaar met het blote oog.



Figuur 42: Zichtbaarheid van planeten

¹² Oplopend in afstand tot de zon.

¹³ Zie het volgende hoofdstuk voor meer informatie over de Nautical Almanac.

¹⁴ Meer hierover in de paragraaf over 'Het gebruik van de Nautical Almanac'.

7 Nautical Almanac

Het belang van het bepalen van de positie van een hemellichaam en een goede tijdsbepaling is nu verklaard, maar op het principe hoe uit deze gegevens vervolgens de coördinaten van de plaats op aarde kan worden bepaald, is nog niet ingegaan. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van de tabellen in de Nautical Almanac die informatie verschaffen over de posities van hemellichamen in het bijzonder de zon. In het komende hoofdstuk zal er worden ingaan op de oorsprong van dit werk en hoe het te gebruiken is.

7.1 De oorsprong van de Nautical Almanac

Het grondbeginsel van de Nautical Almanac ontstond in de vijftiende eeuw. Bekende astronomen uit deze periode zijn Abraham Zacuto (1452-1515) en Johannes Regiomontanus (1436-1476). Zacuto schreef het boek *Almanach Perpetuum* en Regiomontanus was belangrijk vanwege zijn *tafels*. Met een tafel wordt een tabel aangeduid waarin het verloop van de getijden op bepaalde plaatsen wordt aangegeven voor de tijdsduur van een jaar. Hiermee kon de positie van een hemelobject ten opzichte van de hemelevenaar worden berekend, wat *declinatie*¹⁵ wordt genoemd. Deze tafels werden door Columbus gebruikt tijdens zijn tochten. Omdat het berekenen van declinaties uit deze tafels veel tijd in beslag neemt, werden er declinatie tafels gemaakt waarbij de declinatie al berekend was. Met behulp van deze ontwikkeling werden er in de zestiende eeuw vierjarige declinatie tafels gemaakt. Er werd voor vier jaar gekozen, omdat er om de vier jaar één schrikkeljaar is en de declinaties zich na die vier jaar weer herhalen met een kleine verandering van ongeveer driekwart dag per eeuw.

In eerste instantie waren er enkel declinatietafels in het Portugees, gebaseerd op de voorschriften van Zacuto uit zijn almanak. Pas in de tweede helft van de zestiende eeuw verschenen er tafels in het Engels en het Nederlands. Deze tabellen zijn jarenlang gebruikt, waarbij er telkens nieuwere versies van werden uitgebracht met nauwkeurigere metingen. Het boek dat vandaag de dag wordt gebruikt is 'the Nautical Almanac'. Hierin zijn de stand van de zon en een aantal verschillende sterren op de tweede precies terug te lezen. Ieder jaar wordt er van de Nautical Almanac een nieuwe versie uitgebracht met de data van het betreffende jaar.



Figuur 43: Nautical Almanac

7.2 Tijdzones

Bij landen die zich op grote afstand van elkaar bevinden zijn er verschillen in tijd. Zo is het in Australië bijvoorbeeld al acht uur 's avonds terwijl het in Nederland pas twaalf uur 's middags is. Vanwege dit fenomeen heeft de tijd invloed op de plaats. Om hier rekening mee te houden bij het gebruik van een Nautical Almanac is het belangrijk om dit systeem te begrijpen.

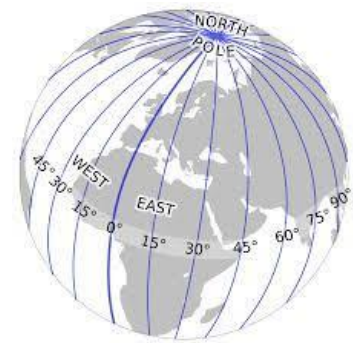
Het systeem van de verschillende tijdzones op aarde is gebaseerd op de denkbeeldige lijnen die de aarde in vakjes verdelen en samen de *geografische aanduiding* vormen. Dit zijn de *lengte* en *breedtegraad*. De breedtegraadlijnen lopen parallel aan de evenaar van oost naar west op 111 kilometer afstand van elkaar¹⁶. De lengtegraadlijnen, ook wel *meridianen* genoemd, zijn verticale lijnen tussen de noord- en zuidpool.

¹⁵ De Engelse term *declination* wordt ook veel in het Nederlands gebruikt. In de volgende paragraaf wordt het coördinatenstelsel verder uitgelegd.

¹⁶ Eén graad kan worden opgedeeld in 60 minuten of mijl, want minuten en mijl staan gelijk aan elkaar. Om $1/60^e$ van een graad te berekenen doet men $111:60 = 1852 \text{ meter} = 1 \text{ minuut} = 1 \text{ mijl}$, dus een plek kan de breedtelegging hebben van bijvoorbeeld 42 graden en 25 minuten/mijl, wat wil zeggen dat het op 4708,3 kilometer (42 keer 111 keer 1000 = 4662000 meter en 25 keer 1852 = 46300 => 4662000+46300=4708300 meter = 4708,3 kilometer) ligt ten opzichte van de evenaar.

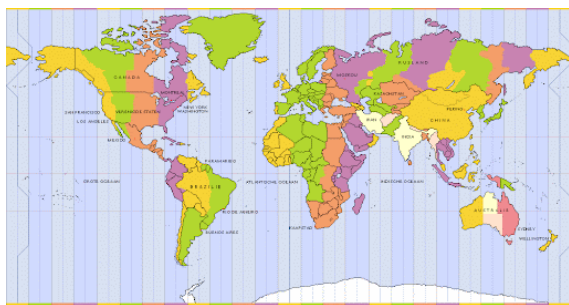
Zij verdelen de aarde in vierentwintig gelijke stroken met een hoek van 15 graden¹⁷. Deze lijnen lopen dus niet parallel, zoals de breedtegraadlijnen, maar naar boven en beneden taps toe. Op het breedste punt liggen deze lijnen zo'n 110 tot 111 kilometer uit elkaar. Dit komt dus overeen met de breedtegraadlijnen.

De verschillende tijdzones zijn gebaseerd op deze lengtegraad meridianen. Omdat de werelddol rond is, beschijnt de zon maar één kant van de aarde. Hierdoor is het aan de ene kant nacht en aan de andere kant dag. Door de draaiing van de aarde om zijn as verschuiven dag en nacht regelmatig over de aarde in de lengtegraadrichting. Doordat de aarde in vierentwintig uur om zijn as draait, doet de zon er precies één uur over om de afstand tussen twee meridianen te passeren. Vandaar dat de tijdzones zó zijn ingedeeld dat de tijd per lengtegraadlijn één uur verschilt. Hierbij wordt de nulmeridiaan als uitgangspunt genomen. Wanneer je verder naar rechts gaat ten opzichte van de nulmeridiaan wordt het tijdstip één uur later en wanneer je verder naar links gaat, wordt het tijdstip één uur eerder.



Figuur 44:
Lengtegraadmeridianen

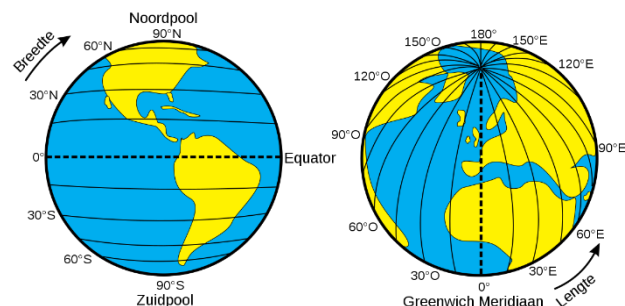
Omdat het hierbij onpraktisch kan zijn als er binnen één land sprake is van verschillende tijdzones, kunnen landen deze grenzen een beetje aanpassen. Ook kunnen er verschillen zijn in het gebruik van zomer- en wintertijd. Tegenwoordig is de aarde in 37 tijdzones verdeeld. Dit is echter niet altijd zo geweest. Vroeger was er geen universele tijdsbepaling. Dat was ook niet nodig, omdat de reistijd tussen de verschillende landen erg groot was en er nauwelijks communicatie mogelijk was op grote afstand. Pas aan het einde van de 18^e eeuw ontstond het idee van de *Local solar time*. Hierbij



Figuur 45: Wereldkaart

bepaalde men de tijd op hun eigen locatie met behulp van de zon. In de praktijk bleek dit erg onpraktisch, omdat de tijd op deze manier in twee aangrenzende steden kon verschillen. Vooral toen in de 19^e eeuw de industrialisatie op gang kwam. Vanaf dat moment raakten steden namelijk meer met elkaar verbonden waarbij de opkomst van spoorwegen onder andere een rol speelde. Daarom werd het systeem veranderd naar het systeem dat vandaag de dag wordt toegepast.

Om de geografische breedtegraad te bepalen op het noordelijk halfrond, zou men de hoek tussen de poolster en de horizon kunnen meten of die van de zon ten opzichte van de horizon. Doordat de poolster ongeveer boven de noordpool staat, is de hoek die gevormd wordt gelijk aan de breedtegraad¹⁸. Deze kan gemeten worden met behulp van een van de meetinstrumenten die eerder zijn beschreven, zoals de sextant. Wanneer de sextant bijvoorbeeld een hoek van 20 graden zou aangeven, bevindt het schip zich op een breedtegraad van $90 - 20 = 70$ graden. Op het zuidelijk halfrond kan gebruik worden gemaakt van het Zuiderkruis. Dit sterrenbeeld staat niet exact op de zuidelijke hemelpool, maar dat is niet schadelijk. Hierbij kan met een sextant de hoek op dezelfde manier berekend worden als bij de breedtegraad.



Figuur 46: Breedte en lengtegraadmeridianen

¹⁷De aarde is onderverdeeld in 3650 graden en hij draait in 24 uur om zijn eigen as. 365 gedeeld door 24 is ongeveer 15 graden, dus 15 graden geeft een uur verschil.

¹⁸ Het principe dat in het experiment wordt gebruikt komt hierop neer. Dit wordt uitgelegd in hoofdstuk 9.

De geografische lengtegraad kan berekend worden met behulp van de *nulmeridiaan*¹⁹. Die onderscheidt de aardbol in twee halve bollen van 180 graden, het oostelijk en het westelijk halfrond. De hoek tussen de nulmeridiaan en de plek waar men zich bevindt is de lengtegraad. De lengte kan berekend worden door te kijken wanneer de zon op zijn hoogste punt staat. Wanneer dit bijvoorbeeld een uur later is dan dat de zon op zijn hoogste punt stond op de nulmeridiaan, bevind je je op 15 graden naar het westen ten opzichte van de nulmeridiaan. Wanneer die juist een uur eerder op zijn hoogste punt zou staan zit je op 15 graden naar het oosten. Door lengte en breedtegraad te combineren kunnen uiteindelijk de coördinaten bepaald worden. De lengtegraad kan dus aan de hand van de verschillende tijdzones worden berekend.

Voor hemellichamen kan de locatie ook met behulp van de lengte- en breedtegraad worden uitgedrukt, waarbij de coördinaten de plaats op de denkbeeldige hemelbol aanduiden. De lengtegraad (in het Engels *longitude*) op de denkbeeldige hemelbol wordt altijd uitgedrukt in het aantal graden *ten westen* van de nulmeridiaan op de denkbeeldige hemelbol en wordt *GHA* (*Greenwich Hour Angle*) genoemd en de breedtegraad (in het Engels *latitude*) wordt *declination* genoemd. Door de draaiing van de aarde en de beweging van sommige hemellichamen (zoals planeten) zijn zowel deze lengtegraad als de breedtegraad tijdgebonden. Hierdoor bestaat er een exacte bepaling van de plaats van een hemellichaam aan de denkbeeldige hemelbol voor een exact tijdstip (jaar, dag, uur, minuut en seconden). Aan de hand van deze locatie ten opzichte van iemand op aarde kunnen zijn coördinaten worden bepaald. In de *Nautical Almanac* staat de informatie over hemellichamen die nodig is voor het bepalen van de plaats.

7.3 Gegevens in de *Nautical Almanac*

In *the Nautical Almanac* staan waanzinnig veel tabellen met een duizelingwekkende hoeveelheid getallen. Om deze wat duidelijker te maken zal in deze paragraaf worden toegelicht welke stappen er gevolgd moeten worden een meting (een hoek in graden) om te zetten in een locatie (coördinaten).

7.3.1 Daily Pages

Op de daily pages in de *Nautical Almanac* staat data weergegeven over de locatie van hemellichamen aan de hemelbol voor iedere dag van het jaar. Omdat dit een internationaal naslagwerk is, staan de termen in het Engels. Zo zijn de breedtegraden aangegeven met Dec. (Declination) en lengtegraden met GHA (Greenwich Hour Angle). Zoals in de vorige paragraaf werd benoemd, wordt met de laatste standaard het aantal graden ten westen van de nulmeridiaan aangeduid.

De daily pages bevatten per twee bladzijdes informatie voor drie verschillende dagen, waarbij verscheidene hemellichamen worden toegelicht. Zo is er een kolom voor de planeten, de zon en de maan, waarbij zowel de GHA als de Declination per uur zijn aangegeven. Ook is er een lijst met 55 sterren, maar hierbij worden de SHA (Sidereal Hour Angle) en de Declination niet per uur aangegeven, maar in het algemeen, omdat ze met dezelfde snelheid van positie veranderen als de zon en er daarom met de gegevens van de zon op dezelfde manier verder gerekend kan worden. Verder staan van de planeten Venus, Mars, Jupiter en Saturnus (zoals in het vorige hoofdstuk al kort is benoemd) wel kolommen met gegevens per uur aangegeven, omdat deze onafhankelijk van de aarde bewegen en hun bewegingen niet samenhangen met die van een ander hemellichaam. Daarnaast wordt er ook nog informatie gegeven over de opkomst en ondergang van de zon en de maan op deze drie dagen. Om hiervan een voorstelling te geven, staat op de volgende pagina de Daily Page van (de willekeurige datum) 17 augustus weergegeven.

¹⁹ Deze bevindt zich ter hoogte van Greenwich in Engeland.

August 17, 18, 19 (Tue., Wed., Thu.)

Aries			Venus			Mars			Jupiter			Saturn		
Tue	GHA	Dec	GHA	Dec		GHA	Dec		GHA	Dec		GHA	Dec	
0	325°35.6	144°26.4	N00°14.1	162°19.7	N08°11.9	355°21.8	S13°24.2	13°49.8	S18°44.8					
1	340°38.0	159°26.2	12.9	177°20.7	11.2	10°24.6	24.3	28°52.4	44.8					
2	355°40.5	174°26.0	11.6	192°21.7	10.6	25°27.4	24.5	43°55.1	44.9					
3	10°42.9	189°25.8	10.3	207°22.7	10.0	40°30.2	24.6	58°57.7	44.9					
4	25°45.4	204°25.7	09.0	222°23.7	09.4	55°32.9	24.7	74°00.4	45.0					
5	40°47.9	219°25.5	07.7	237°24.6	08.8	70°35.7	24.8	89°03.0	45.0					
6	55°50.3	234°25.3	N00°06.4	252°25.6	N08°08.2	85°38.5	S13°24.9	104°05.6	S18°45.1					
7	70°52.8	249°25.1	05.1	267°26.6	07.5	100°41.3	25.0	119°08.3	45.1					
8	85°55.3	264°24.9	03.8	282°27.6	06.9	115°44.1	25.2	134°10.9	45.2					
9	100°57.7	279°24.7	02.6	297°28.6	06.3	130°46.8	25.3	149°13.6	45.2					
10	116°00.2	294°24.5	N00°01.3	312°29.6	05.7	145°49.6	25.4	164°16.2	45.2					
11	131°02.7	309°24.3	S00°00.0	327°30.6	05.1	160°52.4	25.5	179°18.8	45.3					
12	146°05.1	324°24.1	S00°01.3	342°31.6	N08°04.4	175°55.2	S13°25.6	194°21.5	S18°45.3					
13	161°07.6	339°23.9	02.6	357°32.6	03.8	190°57.9	25.7	209°24.1	45.4					
14	176°10.1	354°23.7	03.9	12°33.6	03.2	206°00.7	25.9	224°26.8	45.4					
15	191°12.5	9°23.5	05.2	27°34.6	02.6	221°03.5	26.0	239°29.4	45.5					
16	206°15.0	24°23.3	06.5	42°35.5	02.0	236°06.3	26.1	254°32.1	45.5					
17	221°17.4	39°23.1	07.8	57°36.5	01.4	251°09.1	26.2	269°34.7	45.6					
18	236°19.9	54°22.9	S00°09.0	72°37.5	N08°00.7	266°11.8	S13°26.3	284°37.3	S18°45.6					
19	251°22.4	69°22.7	10.3	87°38.5	08°00.1	281°14.6	26.4	299°40.0	45.7					
20	266°24.8	84°22.5	11.6	102°39.5	07°59.5	296°17.4	26.6	314°42.6	45.7					
21	281°27.3	99°22.3	12.9	117°40.5	58.9	311°20.2	26.7	329°45.3	45.8					
22	296°29.8	114°22.1	14.2	132°41.5	58.3	326°22.9	26.8	344°47.9	45.8					
23	311°32.2	129°21.9	15.5	147°42.5	57.6	341°25.7	26.9	359°50.5	45.9					
Mer.pass.:02:17			v-0.2 d-1.3 m-3.9			v1.0 d-0.6 m1.8			v2.8 d-0.1 m-2.7			v2.6 d-0.0 m0.2		

Tabel 1: Linkerbladzijde daily page Nautical Almanac

2021 August 17 to Aug. 19

Sun							Moon							
Tue	GHA	Dec	GHA	ν	Dec	d	HP	Lat.	Twilight		Sunrise	Sunset	Twilight	
									Naut.	Civil			Civil	Naut.
0	178°58.0	N13°24.8	74°51.4	5.8°	S22°40.4	-7.7°	59.4°	N 72°	☐	☐	02:45	21:17	☐	☐
1	193°58.1	24.0	89°16.2	5.7°	22°48.1	-7.6°	59.4°	N 70°	☐	01:15	03:12	20:51	22:42	☐
2	208°58.2	23.2	103°40.9	5.7°	22°55.6	-7.5°	59.4°	N 68°	☐	02:06	03:33	20:32	21:56	☐
3	223°58.4	22.4	118°05.5	5.6°	23°03.0	-7.3°	59.4°	66°	☐	02:37	03:49	20:16	21:27	☐
4	238°58.5	21.6	132°30.1	5.5°	23°10.2	-7.2°	59.4°	64°	01:06	03:00	04:02	20:04	21:05	22:52
5	253°58.6	20.8	146°54.6	5.5°	23°17.3	-7.0°	59.4°	62°	01:52	03:17	04:13	19:53	20:48	22:11
6	268°58.8	N13°20.0	161°19.0	5.4°	S23°24.2	-6.9°	59.4°	60°	02:20	03:32	04:22	19:44	20:34	21:44
7	283°58.9	19.2	175°43.4	5.3°	23°31.0	-6.7°	59.4°	N 58°	02:41	03:44	04:30	19:36	20:22	21:24
8	298°59.0	18.4	190°07.7	5.3°	23°37.6	-6.5°	59.4°	N 56°	02:58	03:54	04:37	19:29	20:11	21:07
9	313°59.2	17.6	204°31.9	5.2°	23°44.1	-6.4°	59.4°	54°	03:12	04:04	04:43	19:23	20:03	20:54
10	328°59.3	16.8	218°56.0	5.1°	23°50.4	-6.2°	59.4°	52°	03:24	04:12	04:49	19:17	19:55	20:42
11	343°59.4	16.0	233°20.1	5.1°	23°56.6	-6.1°	59.4°	50°	03:34	04:19	04:54	19:12	19:48	20:32
12	358°59.6	N13°15.2	247°44.2	5.0°	S24°02.5	-5.9°	59.4°	48°	03:55	04:34	05:05	19:01	19:33	20:11
13	13°59.7	14.4	262°08.2	4.9°	24°08.4	-5.7°	59.4°	N 40°	04:11	04:46	05:15	18:52	19:21	19:56
14	28°59.9	13.6	276°32.1	4.9°	24°14.0	-5.6°	59.4°	38°	04:24	04:56	05:22	18:45	19:11	19:43
15	44°00.0	12.8	290°55.9	4.8°	24°19.5	-5.4°	59.4°	36°	04:35	05:04	05:29	18:38	19:03	19:32
16	59°00.1	12.0	305°19.7	4.8°	24°24.9	-5.3°	59.4°	34°	04:51	05:18	05:41	18:26	18:49	19:16
17	74°00.3	11.2	319°43.5	4.7°	24°30.1	-5.1°	59.4°	N 20°	05:04	05:29	05:51	18:16	18:38	19:03
18	89°00.4	N13°10.4	334°07.2	4.7°	S24°35.1	-4.9°	59.4°	0°	05:15	05:39	06:00	18:07	18:28	18:53
19	104°00.5	09.5	348°30.8	4.6°	24°39.9	-4.8°	59.4°	S 10°	05:23	05:48	06:10	17:58	18:19	18:44
20	119°00.7	08.7	2°54.4	4.6°	24°44.6	-4.6°	59.4°	20°	05:31	05:57	06:20	17:48	18:11	18:37
21	134°00.8	07.9	17°18.0	4.5°	24°49.1	-4.4°	59.4°	30°	05:38	06:06	06:31	17:37	18:02	18:30
22	149°01.0	07.1	31°41.5	4.5°	24°53.5	-4.3°	59.4°	35°	05:41	06:11	06:37	17:31	17:57	18:27
23	164°01.1	06.3	46°04.9	4.4°	24°57.7	-4.1°	59.4°	40°	05:44	06:16	06:44	17:24	17:52	18:24
SD.=15.8 d=-0.8							S.D.=16.2	45°	05:48	06:22	06:52	17:16	17:46	18:21
Wed	GHA	Dec	GHA	ν	Dec	d	HP	Lat.	Moonrise			Moonset		
									Tue	Wed	Thu	Tue	Wed	Thu
0	179°01.2	N13°05.5	60°28.4	4.4°	S25°01.7	-3.9°	59.4°	S 50°	05:51	06:29	07:02	17:06	17:40	18:17
1	194°01.4	04.7	74°51.7	4.4°	25°05.5	-3.8°	59.4°	52°	05:52	06:32	07:07	17:02	17:37	18:16
2	209°01.5	03.9	89°15.1	4.3°	25°09.2	-3.6°	59.4°	54°	05:54	06:35	07:12	16:57	17:33	18:15
3	224°01.7	03.1	103°38.4	4.3°	25°12.7	-3.4°	59.4°	56°	05:55	06:38	07:17	16:51	17:30	18:14
4	239°01.8	02.3	118°01.6	4.2°	25°16.0	-3.2°	59.4°	58°	05:56	06:42	07:24	16:45	17:26	18:12
5	254°01.9	01.5	132°24.9	4.2°	25°19.1	-3.1°	59.4°	S 60°	05:58	06:47	07:31	16:38	17:22	18:11
6	269°02.1	N13°00.7	146°48.1	4.2°	S25°22.1	-2.9°	59.4°							
7	284°02.2	12°59.9	161°11.2	4.2°	25°24.9	-2.7°	59.4°							
8	299°02.4	59.1	175°34.4	4.1°	25°27.5	-2.5°	59.4°							
9	314°02.5	58.2	189°57.5	4.1°	25°30.0	-2.4°	59.3°							

Tabel 2: Rechterbladzijde daily page Nautical Almanac

Ter illustratie volgt een concreet voorbeeld van een willekeurig tijdstip op 17 augustus 2021: 19:23:46. In dit geval wordt de positie van de zon bepaald op basis van het tijdstip.

Zoals in de meest linker tabel op de rechterbladzijde te zien is, bevindt de zon zich om 19.00 uur op een lengtegraad van $104^{\circ} 00' 5$ ten westen van de nulmeridiaan en op een hoogte van $13^{\circ} 09' 5$ boven de evenaar. Het tijdstip is echter niet 19.00 uur, maar 23 minuten en 46 seconden later. Om de afstand die de zon gedurende deze 23 minuten heeft afgelegd te bepalen, moet voor het bepalen van de declination eerst worden gekeken naar het verschil in positie van de zon tussen 19.00 uur en 20.00 uur. In dit voorbeeld geldt dat dit verschil ($13^{\circ} 08.' 7 - 13^{\circ} 09.' 5 = -0^{\circ} 0' 8$ ²⁰) is. Deze waarde heet de constante d en deze wordt ook per drie dagen onderaan de pagina gegeven. Voor de GHA hoeft dit verschil niet te worden berekend. Vervolgens moet de *Table of Increments and Corrections* worden gebruikt.

7.3.2 Table of Increments and Corrections

De Table of Increments and Corrections staat achterin de Nautical Almanac en bestaat uit 30 pagina's die samen gegevens bevatten over de beweging van de zon in één uur. Op iedere bladzijde worden twee minuten beschreven waarin afgelezen kan worden hoeveel de zon in die tijd is verplaatst, afhankelijk van het aantal seconden dat verstreken is, in het geval van de GHA, of wat de constante d is die bij de betreffende datum hoort, in het geval van de Declination.

Hiernaast staat de Table of Increments and Corrections voor 23 minuten weergegeven.

Voor het bepalen van de GHA om 19:23:46 wordt er gekeken naar de waarde in de kolom van 'Sun Planet' na 46 seconden. In dit geval is dit $5^{\circ} 56' 5$. Deze moet bij de GHA van 19.00 uur worden opgeteld, waaruit volgt: $GHA = 104^{\circ} 00' 5 + 5^{\circ} 56' 5 = 109^{\circ} 56' 10$. Dit wil zeggen dat de zon zich op dat moment op een lengtegraad van $109^{\circ} 56' 10$ ten westen van de nulmeridiaan bevindt.

Voor het bepalen van de declination wordt er gekeken naar de v and d correction in de meest rechter kolom. Omdat er in dit voorbeeld sprake is van een d van $0.' 8$, is er hier sprake van een verschil van $0.' 3$. Omdat de zon op dit tijdstip van de dag daalt, moet dit verschil van de waarde van 19.00 uur worden afgeteld, wat resulteert in een declination van $13^{\circ} 09' 5 - 0' 3 = 13^{\circ} 09' 2$. Dit betekent dat de zon zich op dat moment op een hoogte van $13^{\circ} 09' 2$ noorderbreedte bevindt.

Bij sterren, de maan en planeten geldt een soortgelijke berekening²¹. Op deze manier kan de exacte plaatsing van een hemellichaam aan de denkbeeldige hemelbol worden bepaald, maar is nog niet de bepaling van de locatie van een persoon op aarde gedaan. Hiervoor is er eerst een meting met een sextant (of soortgelijk meetinstrument) nodig.

m	Sun	Aries	Moon	v and d corr		
23	Plan.					
0	5°45.0	5°45.9	5°29.3	0.0 - 0.0	6.0 - 2.4	12.0 - 4.7
1	5°45.2	5°46.2	5°29.5	0.1 - 0.0	6.1 - 2.4	12.1 - 4.7
2	5°45.5	5°46.4	5°29.8	0.2 - 0.1	6.2 - 2.4	12.2 - 4.8
3	5°45.8	5°46.7	5°30.0	0.3 - 0.1	6.3 - 2.5	12.3 - 4.8
4	5°46.0	5°46.9	5°30.2	0.4 - 0.2	6.4 - 2.5	12.4 - 4.9
5	5°46.2	5°47.2	5°30.5	0.5 - 0.2	6.5 - 2.5	12.5 - 4.9
6	5°46.5	5°47.4	5°30.7	0.6 - 0.2	6.6 - 2.6	12.6 - 4.9
7	5°46.8	5°47.7	5°31.0	0.7 - 0.3	6.7 - 2.6	12.7 - 5.0
8	5°47.0	5°47.9	5°31.2	0.8 - 0.3	6.8 - 2.7	12.8 - 5.0
9	5°47.2	5°48.2	5°31.4	0.9 - 0.4	6.9 - 2.7	12.9 - 5.1
10	5°47.5	5°48.4	5°31.7	1.0 - 0.4	7.0 - 2.7	13.0 - 5.1
11	5°47.8	5°48.7	5°31.9	1.1 - 0.4	7.1 - 2.8	13.1 - 5.1
12	5°48.0	5°49.0	5°32.1	1.2 - 0.5	7.2 - 2.8	13.2 - 5.2
13	5°48.2	5°49.2	5°32.4	1.3 - 0.5	7.3 - 2.9	13.3 - 5.2
14	5°48.5	5°49.5	5°32.6	1.4 - 0.5	7.4 - 2.9	13.4 - 5.2
15	5°48.8	5°49.7	5°32.9	1.5 - 0.6	7.5 - 2.9	13.5 - 5.3
16	5°49.0	5°50.0	5°33.1	1.6 - 0.6	7.6 - 3.0	13.6 - 5.3
17	5°49.3	5°50.2	5°33.3	1.7 - 0.7	7.7 - 3.0	13.7 - 5.4
18	5°49.5	5°50.5	5°33.6	1.8 - 0.7	7.8 - 3.1	13.8 - 5.4
19	5°49.8	5°50.7	5°33.8	1.9 - 0.7	7.9 - 3.1	13.9 - 5.4
20	5°50.0	5°51.0	5°34.1	2.0 - 0.8	8.0 - 3.1	14.0 - 5.5
21	5°50.3	5°51.2	5°34.3	2.1 - 0.8	8.1 - 3.2	14.1 - 5.5
22	5°50.5	5°51.5	5°34.5	2.2 - 0.9	8.2 - 3.2	14.2 - 5.6
23	5°50.7	5°51.7	5°34.8	2.3 - 0.9	8.3 - 3.3	14.3 - 5.6
24	5°51.0	5°52.0	5°35.0	2.4 - 0.9	8.4 - 3.3	14.4 - 5.6
25	5°51.3	5°52.2	5°35.2	2.5 - 1.0	8.5 - 3.3	14.5 - 5.7
26	5°51.5	5°52.5	5°35.5	2.6 - 1.0	8.6 - 3.4	14.6 - 5.7
27	5°51.7	5°52.7	5°35.7	2.7 - 1.1	8.7 - 3.4	14.7 - 5.8
28	5°52.0	5°53.0	5°36.0	2.8 - 1.1	8.8 - 3.4	14.8 - 5.8
29	5°52.3	5°53.2	5°36.2	2.9 - 1.1	8.9 - 3.5	14.9 - 5.8
30	5°52.5	5°53.5	5°36.4	3.0 - 1.2	9.0 - 3.5	15.0 - 5.9
31	5°52.7	5°53.7	5°36.7	3.1 - 1.2	9.1 - 3.6	15.1 - 5.9
32	5°53.0	5°54.0	5°36.9	3.2 - 1.3	9.2 - 3.6	15.2 - 6.0
33	5°53.3	5°54.2	5°37.2	3.3 - 1.3	9.3 - 3.6	15.3 - 6.0
34	5°53.5	5°54.5	5°37.4	3.4 - 1.3	9.4 - 3.7	15.4 - 6.0
35	5°53.7	5°54.7	5°37.6	3.5 - 1.4	9.5 - 3.7	15.5 - 6.1
36	5°54.0	5°55.0	5°37.9	3.6 - 1.4	9.6 - 3.8	15.6 - 6.1
37	5°54.3	5°55.2	5°38.1	3.7 - 1.4	9.7 - 3.8	15.7 - 6.1
38	5°54.5	5°55.5	5°38.4	3.8 - 1.5	9.8 - 3.8	15.8 - 6.2
39	5°54.7	5°55.7	5°38.6	3.9 - 1.5	9.9 - 3.9	15.9 - 6.2
40	5°55.0	5°56.0	5°38.8	4.0 - 1.6	10.0 - 3.9	16.0 - 6.3
41	5°55.3	5°56.2	5°39.1	4.1 - 1.6	10.1 - 4.0	16.1 - 6.3
42	5°55.5	5°56.5	5°39.3	4.2 - 1.6	10.2 - 4.0	16.2 - 6.3
43	5°55.7	5°56.7	5°39.5	4.3 - 1.7	10.3 - 4.0	16.3 - 6.4
44	5°56.0	5°57.0	5°39.8	4.4 - 1.7	10.4 - 4.1	16.4 - 6.4
45	5°56.3	5°57.2	5°40.0	4.5 - 1.8	10.5 - 4.1	16.5 - 6.5
46	5°56.5	5°57.5	5°40.3	4.6 - 1.8	10.6 - 4.2	16.6 - 6.5
47	5°56.8	5°57.7	5°40.5	4.7 - 1.8	10.7 - 4.2	16.7 - 6.5
48	5°57.0	5°58.0	5°40.7	4.8 - 1.9	10.8 - 4.2	16.8 - 6.6
49	5°57.3	5°58.2	5°41.0	4.9 - 1.9	10.9 - 4.3	16.9 - 6.6
50	5°57.5	5°58.5	5°41.2	5.0 - 2.0	11.0 - 4.3	17.0 - 6.7
51	5°57.8	5°58.7	5°41.5	5.1 - 2.0	11.1 - 4.3	17.1 - 6.7
52	5°58.0	5°59.0	5°41.7	5.2 - 2.0	11.2 - 4.4	17.2 - 6.7
53	5°58.2	5°59.2	5°41.9	5.3 - 2.1	11.3 - 4.4	17.3 - 6.8
54	5°58.5	5°59.5	5°42.2	5.4 - 2.1	11.4 - 4.5	17.4 - 6.8
55	5°58.8	5°59.7	5°42.4	5.5 - 2.2	11.5 - 4.5	17.5 - 6.9
56	5°59.0	6°00.0	5°42.6	5.6 - 2.2	11.6 - 4.5	17.6 - 6.9
57	5°59.2	6°00.2	5°42.9	5.7 - 2.2	11.7 - 4.6	17.7 - 6.9
58	5°59.5	6°00.5	5°43.1	5.8 - 2.3	11.8 - 4.6	17.8 - 7.0
59	5°59.8	6°00.7	5°43.4	5.9 - 2.3	11.9 - 4.7	17.9 - 7.0

Tabel 3: Table of increments and corrections Nautical Almanac

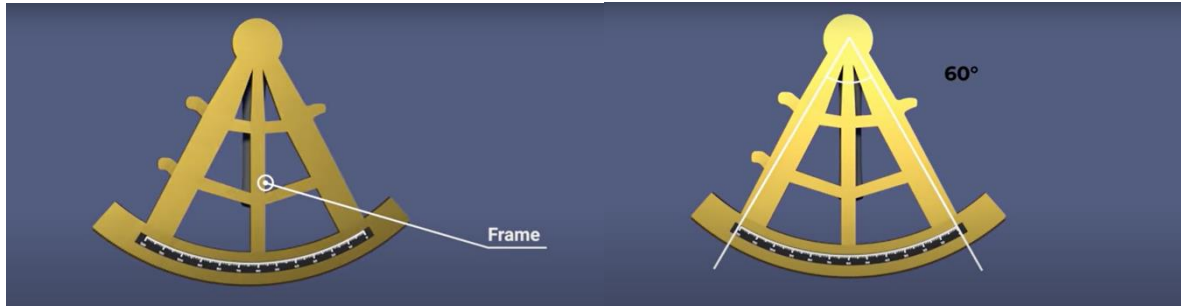
²⁰ Deze is negatief, omdat de zon op dit tijdstip daalt.

²¹ In bijlage G staat hiervan een voorbeeld verwerkt.

8 De sextant

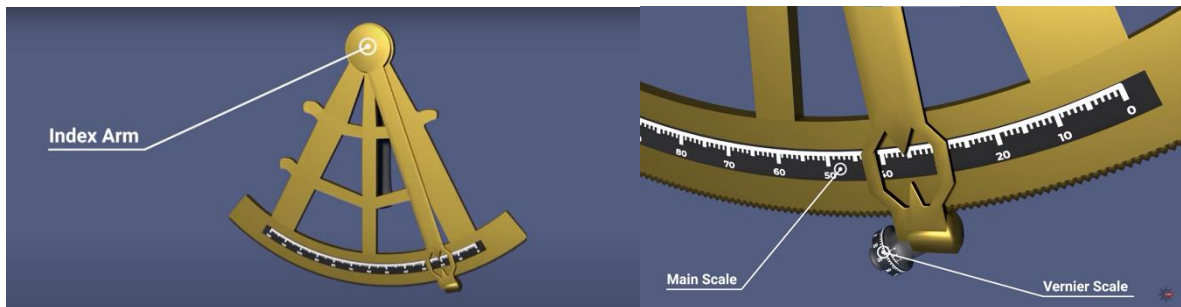
8.1 Onderdelen van de sextant

De sextant heeft zijn naam te danken aan zijn vorm. Het is één zesde deel van een cirkel. Het frame vormt de basis van de sextant. Het kan gemaakt worden van metaal of plastic. Het belangrijkste is dat het frame solide is. Dat zorgt ervoor dat het instrument zo precies mogelijk is.



Figuur 47: Frame van de sextant

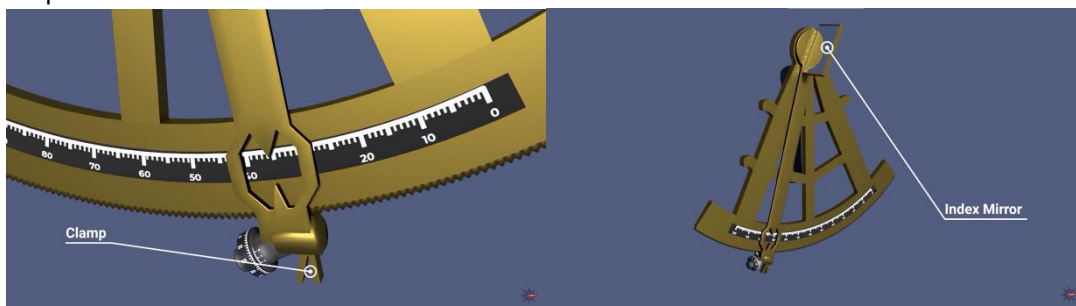
Ondanks dat de sextant zelf een hoek van zestig graden heeft, telt zijn *schaalverdeling* een indeling van 0 tot 120°. Dat is vanwege de dubbele reflectie (dit principe wordt in paragraaf 8.2 toegelicht). Aan het frame zit de *index arm*²² bevestigd. Dit is het belangrijkste bewegende bestanddeel van de sextant. Deze wordt gebruikt om de hoek af te lezen met het onderste gedeelte van de arm. Dit deel bevat een fijne schroef aan de onderkant met een *noniusschaal*, die in combinatie met de hoofdschaal gebruikt kan worden om een heel precieze meting te doen.



Figuur 48: Wijzer van de sextant

Figuur 49: Schaalverdeling van de sextant

Aan het uiteinde van de index arm zit een *klemmetje* waarmee de index arm losgemaakt kan worden van de hoofdschaalverdeling, waardoor de arm vrij kan bewegen of gefixeerd kan worden. Aan de index arm zit de *indexspiegel* bevestigd. Deze beweegt met de index arm mee wanneer deze verplaatst wordt.

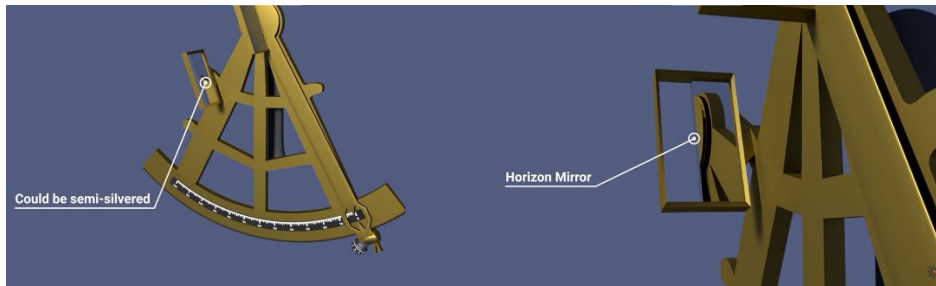


Figuur 50: Klemmetje op de wijzer van de sextant

Figuur 51: Index spiegeltje van de sextant

²² Of: wijzer

De tweede spiegel is de *horizonspiegel*. Deze spiegel is deels spiegel en deels doorzichtig, zodat het beeld dat door de horizonspiegel gevormd wordt uit twee delen bestaat: de horizon door het



doorkijkgedeelte en de reflectie van de hemellichamen die worden bestudeerd. In sommige gevallen is het spiegelende gedeelte half verzilverd.

Figuur 52: Horizon spiegel op de sextant; half spiegelend, half doorzichtig

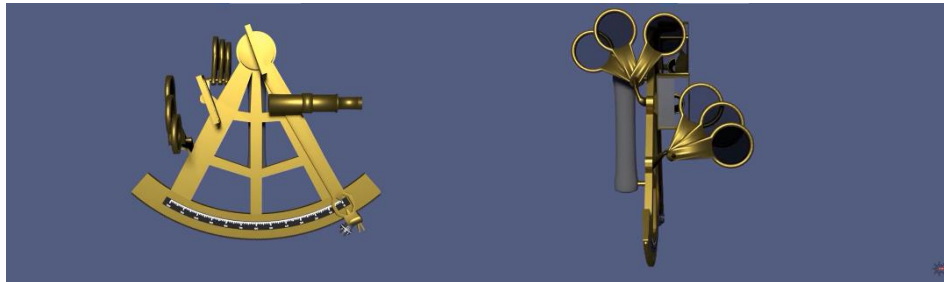
Tegenover de horizonspiegel zit de *telescoop*²³. Deze is zó geplaatst dat beide beelden van de horizon spiegel zichtbaar zijn als er door de telescoop wordt gekeken en omdat de index spiegel boven de horizon spiegel



staat, wordt het beeld van de index spiegel in het spiegelende deel van de horizon spiegel gereflecteerd.

Figuur 53: Kijker van de sextant

Achter beide spiegels zitten zonneglaasjes die ervoor geschoven kunnen worden om de ogen van de gebruiker te beschermen tegen het licht van de zon.

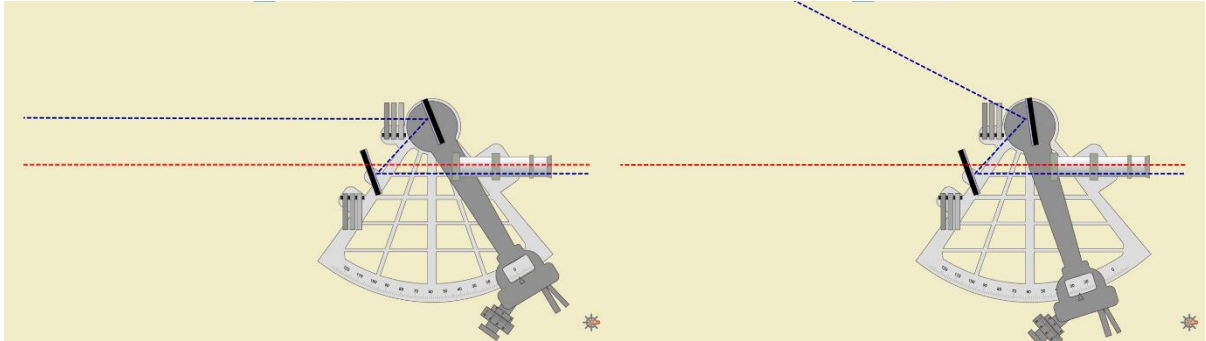


Figuur 54: Verdonkeringsglaasjes van de sextant

²³ Ofwel: *Kijker*

8.2 Het principe van een sextant

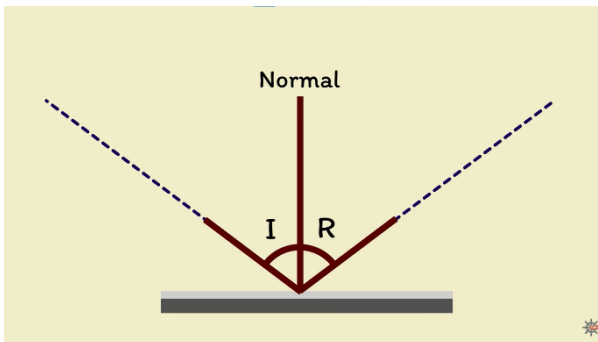
Wanneer de horizon spiegel en de index spiegel parallel staan, dit is het geval wanneer de index arm 0° aanwijst, zijn beide helften van de horizon spiegel in dezelfde richting gericht en wordt er door deze helften naast elkaar een aanvullend beeld van de horizon gevormd. Dit verandert wanneer de stand van de index arm wordt veranderd.



Figuur 55: Hoeken van de weerspiegeling van de sextant

Dubbele reflectie:

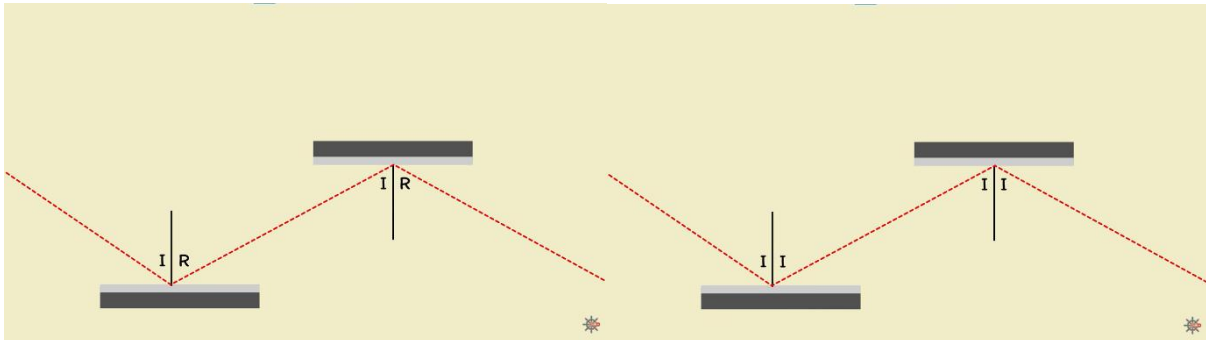
De invalshoek van een spiegel is de hoek tussen het invallende licht en de normaal van de spiegel.



Figuur 56: Inkomende licht en reflecterende licht in een spiegel

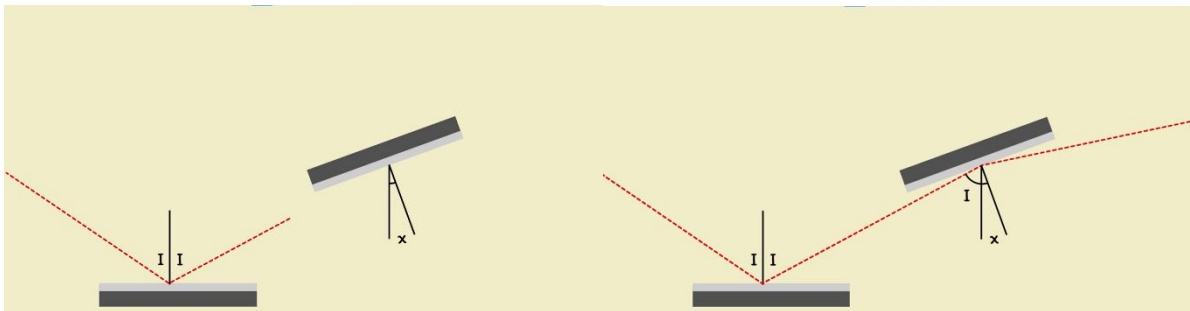
Deze wordt aangegeven met de letter I. De hoek van het reflecterende licht wordt weergegeven met de letter R.

Wanneer twee spiegels parallel staan, is de uiteindelijke hoek van het licht gelijk aan de invallende hoek. Omdat de hoek van het inkomende licht gelijk is aan de hoek van het reflecterende licht ($I = R$), kunnen we beide hoeken I noemen om het overzichtelijk te houden. De totale hoek van het invallende licht en het reflecterende licht is dus $I + I$.



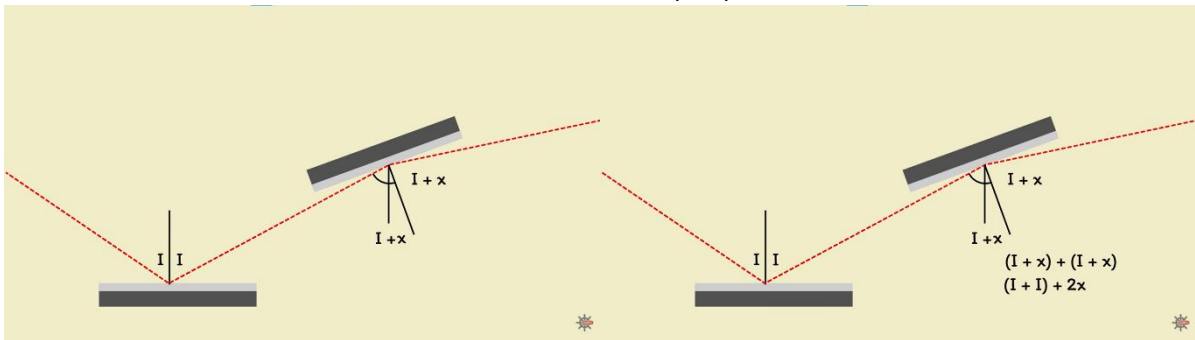
Figuur 57: De richting van het reflecterende licht bij twee parallelle spiegels verandert niet

Deze situatie verandert als de invalshoek van de tweede spiegel verandert, door de (index) spiegel met een hoek x te draaien.



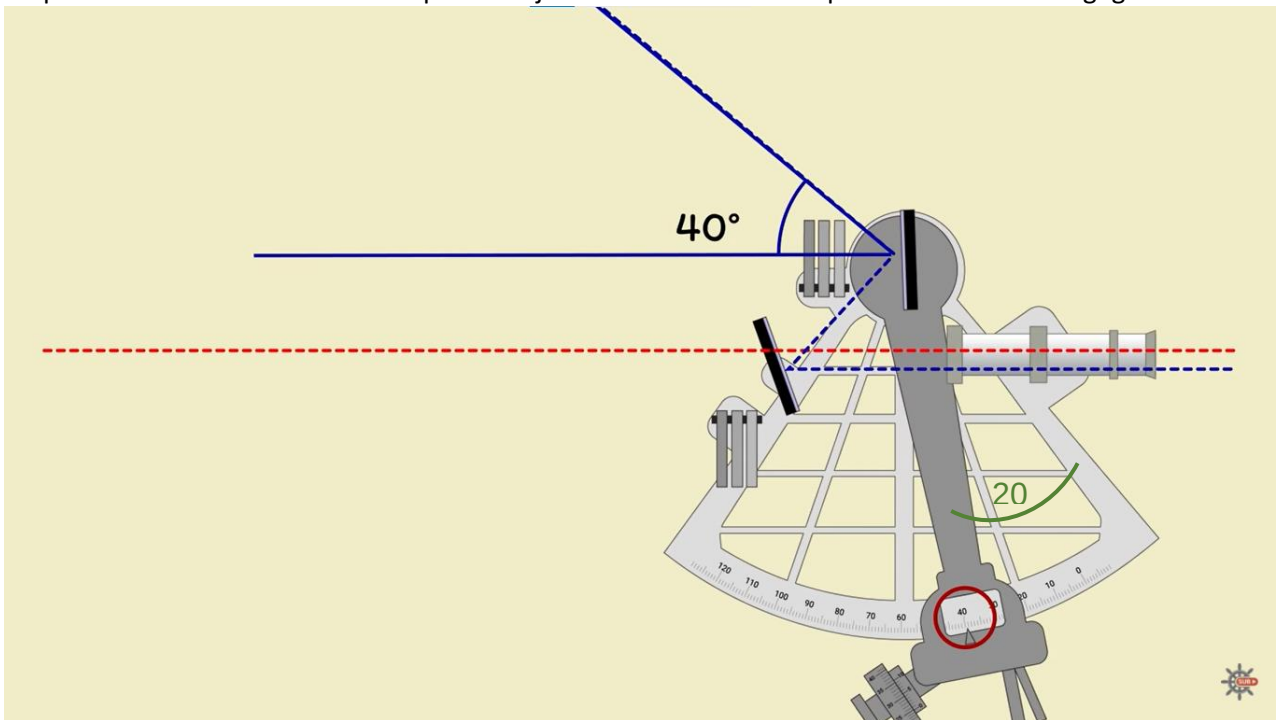
Figuur 58: Richting van het reflecterende licht bij twee spiegels met een verschillende hoek

De hoek van het invallende licht is nu $I + x$, net als de hoek van het reflecterende licht. De totale hoek van het invallende licht en het reflecterende licht is dus $(I + I) = 2x$.



Figuur 59: Dubbele reflectie bij twee spiegels

Als deze situaties nu met elkaar worden vergeleken valt op dat, wanneer twee spiegels achter elkaar worden geplaatst, het verschil van de totale hoek, van het invallende licht en het reflecterende licht ($2x$), twee keer zo groot is als het verschil in hoek tussen de twee spiegels (x). Om deze reden is de schaalverdeling op het frame ook twee keer zo groot als de hoek die de index arm werkelijk verplaatst. Het verschil in beeld klopt namelijk wel met de hoek die op het frame staat aangegeven.



Figuur 60: Verdubbelde hoek op de schaal ten opzichte van de werkelijkheid door dubbele reflectie

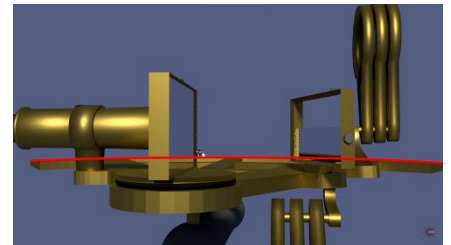
8.3 Fouten in de afstelling van de sextant

Voordat er een meting wordt verricht met een sextant moeten eerst alle onderdelen van de sextant correct zijn afgesteld. Bij een sextant bestaan er verschillende afwijkingen, waarvan sommige te herstellen zijn en andere niet.

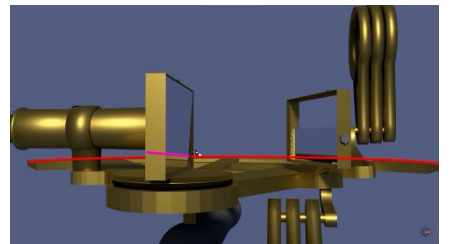
Zo zijn centering error²⁴, prismatic error²⁵, graduation error²⁶, worm and wrack error²⁷ en collimation error²⁸ bij de meeste sextanten niet te herstellen. Perpendicularity error, side error en index error wel. Daarom wordt er in de komende paragrafen ingegaan op de laatste drie afwijkingen en hoe deze te herstellen zijn.

8.3.1 Perpendicularity

Dit is een onnauwkeurigheid in de afstelling van de sextant, waarbij de index spiegel niet loodrecht staat op de wijzer. Deze moet gecorrigeerd worden vóórdat de meting wordt uitgevoerd. Om erachter te komen of er sprake is van deze afwijking, moet de sextant eerst een kwartslag gedraaid worden alvorens van bovenaf door de index spiegel te kijken in de richting van de '0°' op de schaalverdeling. Hierbij is de weerspiegeling van de rand van de sextant en de rand zelf te zien²⁹. Als de spiegel loodrecht op de wijzer staat, moeten deze één vloeiende lijn vormen (zoals in figuur 61). Als dit niet het geval is (zoals in figuur 62), staat de spiegel niet loodrecht op de wijzer. Dit kan opgelost worden door het schroefje op de index spiegel te stellen, totdat de twee schalen (één spiegelend, één direct door), vloeiend in elkaar overlopen. In deze positie (dus als de sextant op zijn zijkant ligt), bevindt dit schroefje zich aan de bovenzijde van de index spiegel.



Figuur 61: Index spiegel staat loodrecht op het frame



Figuur 62: Index spiegel met perpendicularity error

8.3.2 Side error en Index error

Side error is een onnauwkeurigheid die optreedt als de horizon spiegel niet perfect loodrecht staat op het frame van de sextant. Om erachter te komen of hier sprake van is, moet de wijzer op 0° worden afgesteld, waarna er door de kijker naar een object in de verte aan de horizon wordt gekeken. Hierbij moet het object precies op de grens van het spiegelende deel en het doorkijkbare deel worden geplaatst. Als er een gedeelte van het object ontbreekt, of het object dubbel in beeld is, is er sprake van side error.



Figuur 63: Side error

Index error is een onnauwkeurigheid die optreedt als het oppervlak van de index spiegel niet parallel is aan het spiegeloppervlak van de horizon spiegel, wanneer de wijzer van de sextant afgesteld is op 0°. Dit resulteert in een verspringing van de horizon in verticale richting wanneer de sextant gericht is. Om deze te meten hoeft er geen hemellichaam in het vizier genomen te worden.



Figuur 64: Index error

²⁴ Als het draaipunt van de wijzer niet in het midden van de sextant zit.

²⁵ Wanneer de twee spiegeloppervlakken niet parallel aan elkaar staan (shade error als dit het geval is bij de verdonkeringsglaasjes).

²⁶ Onnauwkeurigheden op de schaalverdeling van de sextant.

²⁷ Slijtage van de tandwielen die de fijne beweging van de index arm regelen.

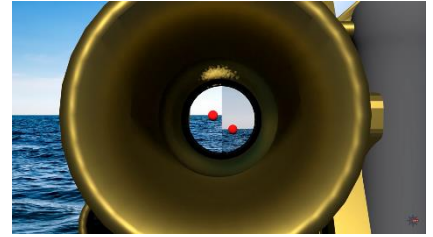
²⁸ Als de telescoop niet perfect loodrecht staat op het frame van de sextant (deze was vroeger wel herstelbaar, maar tegenwoordig meestal niet meer, omdat de telescoop dan gefixeerd zit aan het frame).

²⁹ Soms is het handig om de telescoop van de sextant te verwijderen, maar dit is niet altijd noodzakelijk.

Side error en index error moeten tegelijkertijd gecorrigeerd worden. Dit kan door middel van de stelschroefjes op de horizon spiegel. Hiervan bevindt zich er één bovenop de spiegel (hiermee wordt index error gecorrigeerd) en één aan de linkerzijde van de spiegel (hiermee wordt side error gecorrigeerd).

De eenvoudigste manier om dit op te lossen is door de horizon te gebruiken. Wanneer de sextant op de horizon wordt gericht, en vervolgens ongeveer 45° gekanteld³⁰, wordt de side error zichtbaar. Vervolgens moet er net zolang aan het stelschroefje aan de linkerkant van de horizon spiegel gesteld worden, totdat de (gekantelde) horizon weer één doorlopende lijn is in beide gedeelten van de spiegel. Vervolgens moet de sextant weer in zijn normale positie worden gedraaid en moet de index error (indien daar sprake van is) met het stelschroefje bovenop de horizon spiegel worden gecorrigeerd. Als de sextant vervolgens weer gekanteld wordt, is het mogelijk dat er weer sprake is van side error (maar minder dan in het begin). Dan moet deze weer op dezelfde manier worden hersteld als hierboven beschreven. Deze twee stappen moeten net zolang achter elkaar worden uitgevoerd, totdat zowel de index error als de side error verdwenen zijn.

Mocht dit niet slagen, is het mogelijk om de index error te herstellen door de wijzer een klein stukje van 0° te verschuiven. Hierbij is het wel belangrijk dat er al zoveel mogelijk index error en het liefst alle side error hersteld is. Deze manier van correctie resulteert dan wel in een afwijking in de gemeten hoek wanneer de sextant gebruikt gaat worden. Deze moet dan meegenomen worden in de berekeningen. Wanneer de wijzer een stukje vóór de 0° wordt verplaatst, is er sprake van een index error 'off the arc' en moet deze uiteindelijk bij de gemeten hoek worden opgeteld. Wanneer de wijzer een stukje na de 0° wordt verplaatst is er sprake van een index error 'on the arc' en moet deze uiteindelijk van de gemeten hoek worden afgeteld.



Figuur 65: Zowel side error als index error

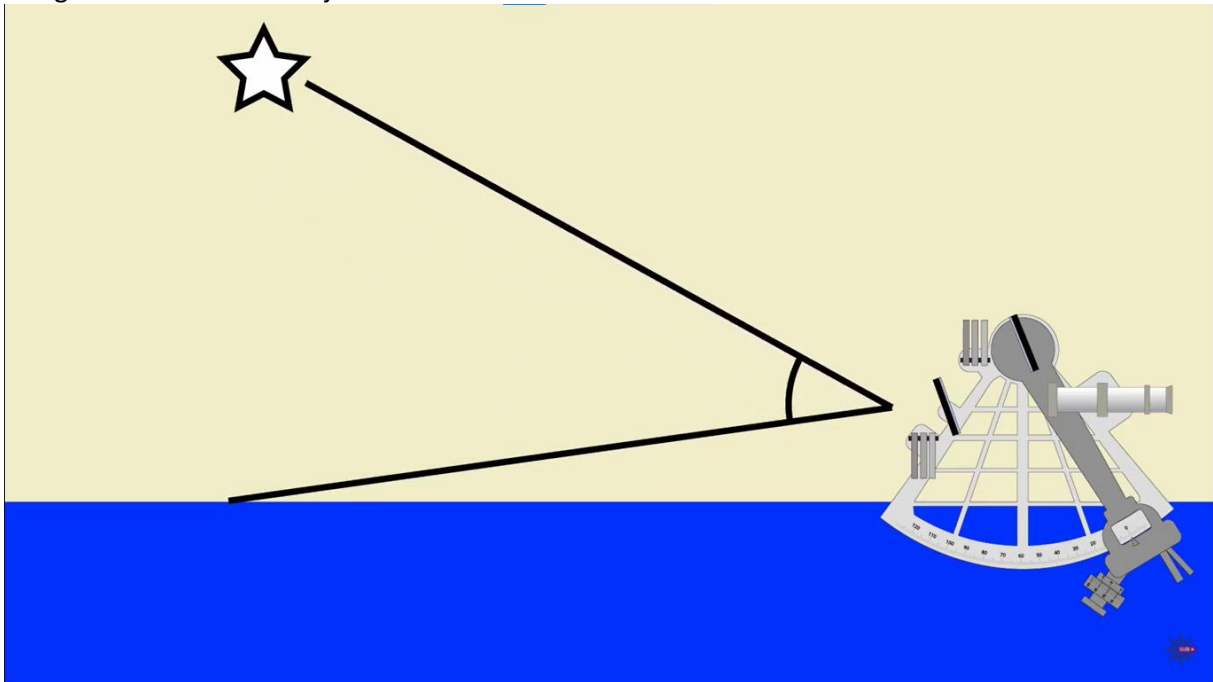


Figuur 66: Side error wordt zichtbaar door de sextant te kantelen

³⁰ Als er sprake is van heel veel index error, moet de sextant 90° worden gedraaid, maar in de meeste gevallen is dit niet nodig.

8.4 Richten met een sextant

Hoogte van het rode balletje berekenen.



Figuur 67: Richting van een sextant ten opzichte van een hemellichaam en de horizon

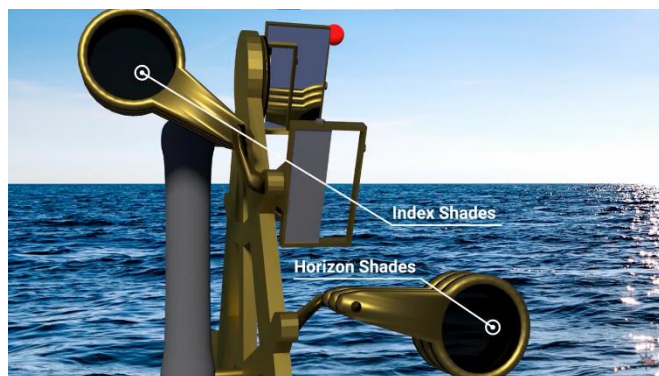
Vorbereiding:

Index arm op 0° zetten.

Mogelijk staat de index arm niet op 0° , door het corrigeren van de index error. Dit geeft niet, want deze afwijking wordt dan aan het einde gecorrigeerd. Het is wel belangrijk de grootte van deze afwijking te weten.



Figuur 68: Sextant afgesteld op 0°



Figuur 69: Schaduwglasjes

Gebruik van de schaduwglasjes.

Wanneer er door de telescoop naar een fel schijnend object wordt gekeken, kan de helft van het beeld verduisterd worden door één schaduwglasje te gebruiken of het hele beeld, door beide glasjes te gebruiken:



Figuur 70: Bij het gebruiken van het horizon glaasje



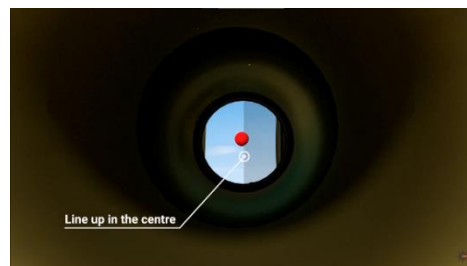
Figuur 71: Bij het gebruiken van het index glaasje



Figuur 72: Bij het gebruiken van zowel het horizon glaasje als het index glaasje

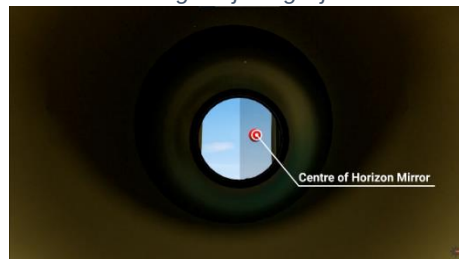
Voor beide spiegels is het het veiligst om te beginnen met het plaatsen van alle drie de schaduwglasjes. Vervolgens kun je ze één voor één weghalen totdat je een duidelijk beeld krijgt.

Stap 1. Richt de telescoop op het hemellichaam, zodat het hemellichaam voor de helft door het open deel van de horizon spiegel te zien is en voor de helft in het spiegelende deel van de horizonspiegel, dat de reflectie van het beeld van je index spiegel weergeeft.



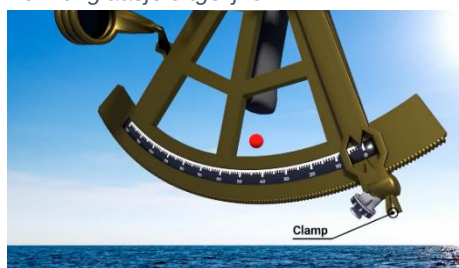
Figuur 73: Hemellichaam in het centrum van het horizonspiegeltje uitgelijnd

Uiteindelijk moet dit beeld worden vasthouden, maar in het begin is het gemakkelijker om het hemellichaam in het midden van het spiegelende deel te plaatsen, vooral als het hemellichaam moeilijk te zien is. Later kan het dan terug worden verplaatst naar het centrum.



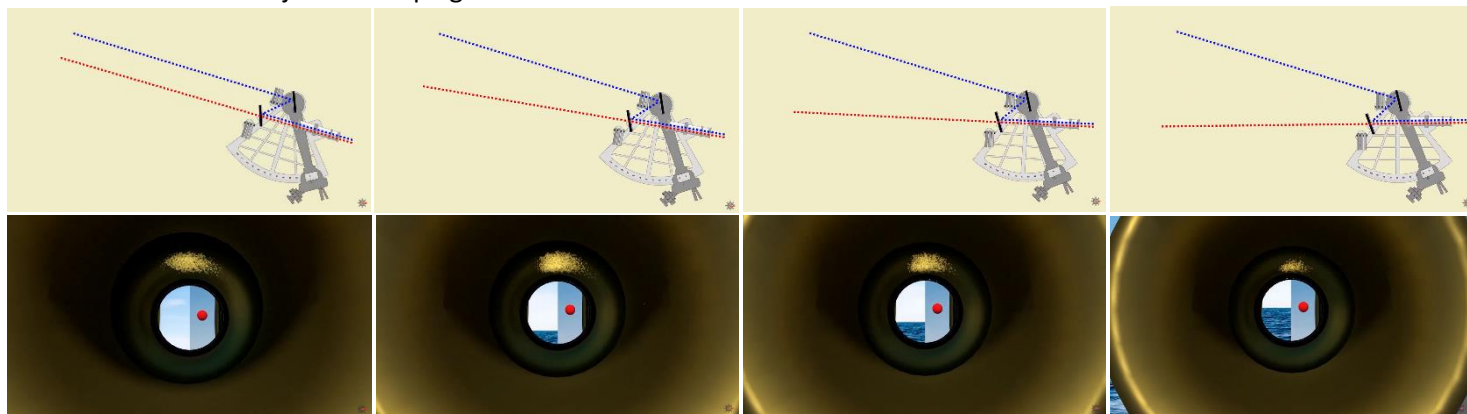
Figuur 74: Hemellichaam in het centrum van het spiegelende deel van het horizonspiegeltje uitgelijnd

Stap 2. Verwijder de klem van de index arm, zodat deze vrij kan bewegen. Het kan handig zijn om de index arm even te bewegen, zodat te zien is hoe het hemellichaam door het beeld beweegt, waardoor er meer controle wordt gekregen.



Figuur 75: Wijzer kan vrij bewegen

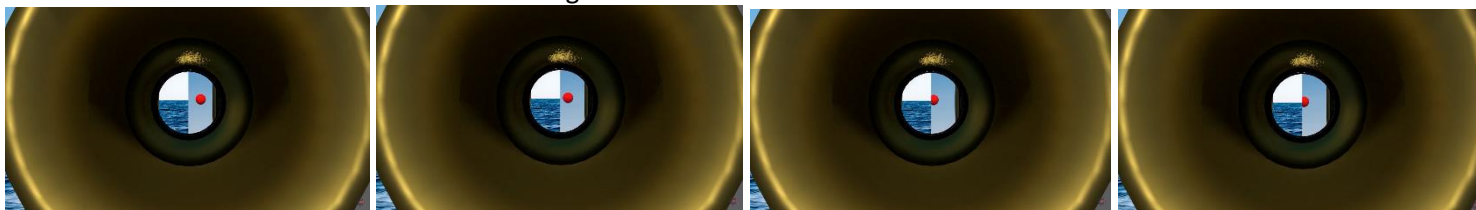
Stap 3. Beweeg de index arm zó dat de telescoop op de horizon gericht is, maar de weerspiegeling van de index spiegel nog het hemellichaam weergeeft. Zorg ervoor dat je hemellichaam nog in het midden van je horizonspiegel te zien is.



Figuur 76: Verschuiving van het hemellichaam tot op de horizon

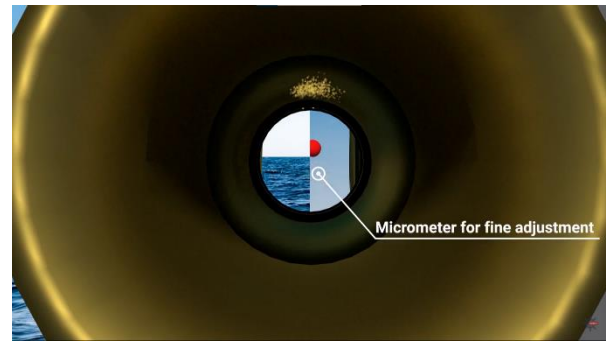
Stap 4. Beweeg het hemellichaam naar het centrum van het beeld in de kijker.

Vaak treedt hier een optisch verschijnsel op en mixen je hersenen deze beelden, waardoor de vorm van het hele hemellichaam wordt afgemaakt en het ook door de horizon heen te zien is.



Figuur 77: Verschuiving van het hemellichaam naar het midden van het horizon glaasje

Stap 5. Gebruik de micro-fijn-steller op de index arm om de onderrand van het hemellichaam op één lijn met de horizon te brengen, zodat het als het ware 'op de horizon ligt'. Soms is het handig om de horizon dekglasjes hiervoor uit het beeld te verwijderen, zodat de horizon beter zichtbaar is.



Figuur 78: Hemellichaam 'ligt' op de horizon

Stap 6. Beweeg de sextant heen en weer van links naar rechts. Het hemellichaam lijkt dan een pad te volgen in het beeld. Hiermee wordt gecontroleerd of de sextant perfect verticaal is gehouden bij het richten. Als dit het geval is, 'kust' het hemellichaam de horizon op het laagste punt van zijn schommelpad.

Als dit niet het geval is, zakt het hemellichaam iets onder de horizon. Dan moet de nonius opnieuw worden gebruikt om het laagste punt op te zoeken, zodat het hemellichaam de horizon 'kust'.



Figuur 79: Sextant wordt heen en weer gewiegd, hemellichaam 'kust' de horizon op het laagste punt

Stap 7. Lees de hoek af die de index arm aanwijst op de schaalverdeling. Als je aan het begin een afwijking had bij de index arm (index error), moet je deze afwijking nog van je meting aftrekken (error on the arc) of optellen (error off the arc) .

Bijvoorbeeld: Je hoogte is $12^{\circ} 25,2'$

Je index error is $1,5'$ van het nulpunt (off the arc) +

Je hoogte is $12^{\circ} 26,7'$

9 Van meting naar plaats

Om aan de hand van een gemeten hoek de locatie te bepalen, moet er met een aantal dingen rekening gehouden worden. Voordat er met de gemeten hoek kan worden gerekend, moet de rol van een aantal factoren meegenomen worden, waaronder de onnauwkeurigheden van het meetinstrument en de positionering van de waarnemer ten opzichte van de horizon. In dit hoofdstuk wordt er dieper ingegaan op de verwerking van deze factoren.

9.1 Correction for index error

Zoals hierboven al is benoemd, moet een index error, indien deze hersteld is door de wijzer te verplaatsen, worden gecorrigeerd in de uiteindelijke meting, waarbij een afwijking 'off the arc' bij de oorspronkelijke meting moet worden opgeteld en een afwijking 'on the arc' van de oorspronkelijke meting moet worden afgeteld. Dit is ook zichtbaar in het voorbeeld van paragraaf 8.4.

9.2 Correction for dip

Wanneer er een meting wordt gedaan, moet er rekening gehouden worden met het feit dat de waarnemer zich niet ter hoogte van de horizon bevindt. Dit kan doordat de meting op een vaartuig wordt uitgevoerd, dan is de afwijking de afstand van de sextant tot het wateroppervlak, maar ook op het strand, dan is de afwijking afhankelijk van de lichaamslengte³¹. Hierdoor is de zichtlijn in de richting van de horizon zeer licht naar beneden gericht. De correctie die moet worden toegepast voor het verschil in afstand tot de horizon wordt de *correction for dip* genoemd en is te vinden in de *Altitude Correction Tables 10°-90° - Sun, Stars, Planets* die helemaal voor in de Nautical Almanac staat (zie tabel 4).

Omdat deze afwijking altijd resulteert in een grotere hoek, moet deze van de gemeten waarde worden afgeteld.

DIP always subtracted from Hs					
Ht. of Eye	Corr	Ht. of Eye	Ht. of Eye	Corr	
feet		feet	meters		
2.4	-2.8	8.0	1.0	-1.8	
2.6	-2.9	8.6	1.5	-2.2	
2.8	-3.0	9.2	2.0	-2.5	
3.0	-3.1	9.8	2.5	-2.8	
3.2	-3.2	10.5	3.0	-3.0	
3.4	-3.3	11.2			
3.6	-3.3	11.9			See table
3.8	-3.4	12.6			←
4.0	-3.5	13.3			
4.3	-3.6	14.1	20	-7.9	
4.5	-3.7	14.9	22	-8.3	
4.7	-3.8	15.7	24	-8.6	
5.0	-3.9	16.5	26	-9.0	
5.2	-4.0	17.4	28	-9.3	
5.5	-4.1	18.3			
5.8	-4.2	19.1	30	-9.6	

Tabel 4: Correction for Dip

9.3 Correction for refraction, semi-diameter and parallax

De *Correction for refraction*, *semi-diameter* and *parallax* zijn drie afwijkingen, die erg klein zijn en samen gecorrigeerd worden. *Refraction* is een afwijking tussen de nul en zes minuten, die door de breking (afbuiging) van de zonnestrallen wordt veroorzaakt wanneer zij door de atmosfeer gaan. *Semi-diameter* is een fout die wordt veroorzaakt door het meten van de hoogte van de onderkant van de zon, in plaats van het midden ervan. Deze bedraagt ongeveer 16' en is afhankelijk van de tijd van het jaar (welke maand) en de gemeten hoogte (*apparent altitude*). Ten slotte is er nog *parallax*. Deze fout is in feite verwaarloosbaar (hij bedraagt een afwijking tussen de nul en twaalf seconden) en wordt veroorzaakt door het feit dat de zon zich niet werkelijk op het binnen oppervlak van een

SUN October - March			SUN April - September			Stars & Planets		Additional Altitude Correction for Mars & Venus
App. Alt.	Lower Limb	Upper Limb	App. Alt.	Lower Limb	Upper Limb	App. Alt.	Corr	
9 33	+10.8	-21.5	9 39	+10.6	-21.2	9 55	-5.3	A small additional altitude correction for Mars & Venus can be obtained in the Daily Pages of The Nautical Almanac for the day of the observation.
9 45	+10.9	-21.4	9 50	+10.7	-21.1	10 07	-5.2	Find the correction in the block labeled Horizontal parallax.
9 56	+11.0	-21.3	10 02	+10.8	-21.0	10 20	-5.1	
10 08	+11.1	-21.2	10 14	+10.9	-20.9	10 32	-5.0	
10 20	+11.2	-21.1	10 27	+11.0	-20.8	10 46	-4.9	
10 33	+11.3	-21.0	10 40	+11.1	-20.7	10 59	-4.8	
10 46	+11.4	-20.9	10 53	+11.2	-20.6	11 14	-4.7	
11 00	+11.5	-20.8	11 07	+11.3	-20.5	11 29	-4.6	
11 15	+11.6	-20.7	11 22	+11.4	-20.4	11 44	-4.5	
11 30	+11.7	-20.6	11 37	+11.5	-20.3	12 00	-4.4	
11 45	+11.8	-20.5	11 53	+11.6	-20.2	12 17	-4.3	
12 01	+11.9	-20.4	12 10	+11.7	-20.1	12 35	-4.2	

Tabel 5: Correction for refraction, SD en parallax

oneindig ver verwijderde hemelbol bevindt.

De correctie voor deze drie afwijkingen kan op dezelfde pagina als de *correction for dip* worden gevonden, aan het begin van de Nautical Almanac.

De *semi-diameter* (SD) voor sterren en planeten verschilt van dit van de zon, en heeft daarom een eigen kolom.

De hoogte van de zon na alle correcties wordt de *true altitude* genoemd.

³¹ In feite de hoogte waarop de sextant wordt vastgehouden.

9.4 Bij zonshoogte op middagbreedte

Wanneer de zon op zijn hoogste punt staat, geldt dat de hoogte van de zon als uitgangspositie genomen kan worden voor het bepalen van de breedtegraad van de locatie van de waarnemer, omdat de zon (op het noordelijk halfrond) dan pal op het zuiden staat en zijn *azimut*³² dan 180° graden is. Hierdoor loopt de hoogtelijn³³ loodrecht op het azimut precies in de richting van oost naar west en is de breedtegraad van de waarnemer af te leiden uit de declinatie van de zon. Hieronder zijn de berekeningen beschreven die uitgevoerd moeten worden bij een middagmeting.

Met de kennis over de hoogte van de zon boven de horizon zijn de breedtegraadcoördinaten van de plaats van de waarnemer op aarde (*latitude*) nog niet bekend. De berekeningen die met de metingen worden gedaan, zijn afhankelijk van de tijd van het jaar. Hiervoor moet als eerste de *Zenith Distance* berekend worden. Dit houdt in dat de afstand van het zenit op de positie van de waarnemer (in graden) wordt berekend. Omdat de lijn vanaf de locatie tot het zenit loodrecht staat op de horizon, kan de zenith distance (ZD) worden berekend, door de true altitude (van de meting) van 90° af te tellen: **Zenith Distance = 90 – Altitude**.

De stappen die vervolgens ondernomen moeten worden, zijn situatie-afhankelijk:

Gedurende de zomermaanden, wanneer de waarnemer en de zon zich aan dezelfde kant van de evenaar bevinden, geldt:

Latitude = Zenith Distance + Declination (zie bovenste afbeelding) .

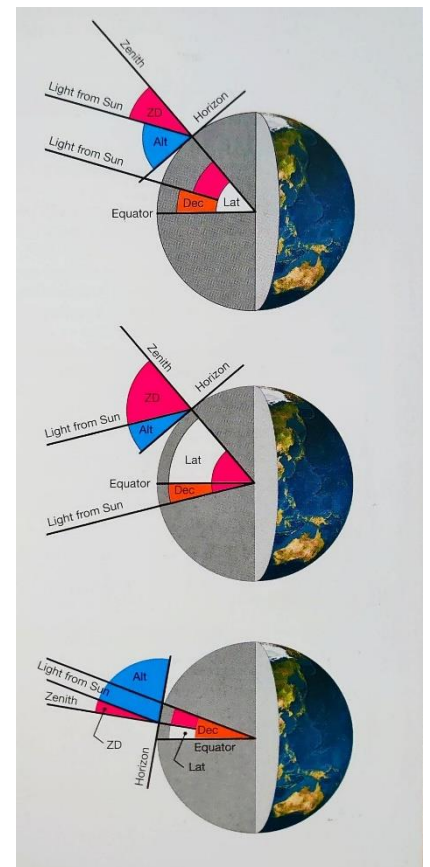
Waarbij de declination bepaald is aan de hand van de positie van de zon afhankelijk van het exacte tijdstip (zoals beschreven in paragraaf 7.3).

Gedurende de wintermaanden bevinden de waarnemer en de zon zich niet aan dezelfde kant van de evenaar. In dat geval geldt:

Latitude = Zenith Distance – Declination (zie middelste afbeelding).

In het geval van een tropische zomer is er sprake van een beetje een rare situatie, waarbij de hoogte van de waarnemer op aarde kleiner kan zijn dan de hoogte van de zon (declination). Dan geldt er:

Latitude = Declination – Zenith Distance (zie onderste afbeelding).



Figuur 80: Zenith distance berekenen in de zomer (boven), in de winter (midden) en in een tropisch klimaat (onder)

9.5 Bij avond- of ochtendmetingen

Bij metingen waarbij de zon niet op zijn hoogste punt staat, dus vóór en ná twaalf uur 's middags, staat de zon niet pal op het zuiden, waardoor diens azimut onbekend is. Dit maakt de berekeningen ingewikkelder en hiervoor zijn naast de gegevens uit de Nautical Almanac ook tabellen nodig van tafel HO 249. Om hierbij op één gedefinieerd punt van de ware locatie uit te komen, zijn er meerdere metingen nodig, waarbij van belang is dat de azimut van het gebruikte hemelobject verschilt. Dit kan door zowel een meting vóór twaalf uur 's middags als een meting ná twaalf uur 's middags te verrichten, maar ook door twee verschillende hemellichamen te gebruiken die aan een verschillende kant van de sterrenhemel staan. Omdat de berekeningen bij avond- en ochtendmetingen behoorlijk lang en ingewikkeld zijn, wordt er voor het gebruik van een sextant op zee meestal gekozen voor het verrichten van metingen met de zon wanneer deze op zijn hoogste punt staat. Voor de volledigheid³⁴ worden de berekeningen bij avond- en ochtendmetingen hieronder stap voor stap uitgewerkt.

³² De azimut weergeeft de hoek van de zon ten opzichte van het noorden weer. Deze is dus 0° als de zon op het noorden staat (dat kan alleen op het zuidelijk halfrond), 90° als de zon op het oosten staat, 180° als de zon op het zuiden staat en 270° als de zon op het westen staat.

³³ Het belang van deze hoogtelijn wordt later duidelijk.

³⁴ Tevens vanwege het feit dat deze berekeningen later in dit onderzoek bij het experiment worden toegepast.

9.5.1 Gebruik van een hulppunt

Bij avond- en ochtendmetingen moet er gebruik worden gemaakt van een hulppunt dat op basis van een schatting van de locatie wordt gekozen. De breedte van het hulppunt wordt gekozen als het geheel aantal graden dat het dichtste ligt bij de geschatte locatie. Als voorbeeld nemen we het land Luxemburg. Hierbij ligt de breedtegraadmeridiaan van $50^{\circ} 00.' 00$ het dichtste bij, dus deze wordt gekozen als breedtegraad coördinaat van het hulppunt. Voor de keuze van de lengtegraad ligt de keuze wat ingewikkelder. Hiervoor moet eerst het begrip LHA duidelijk zijn. De LHA, *local hour angle*, is het verschil in lengtegraden tussen een bepaald punt – in dit geval het hulppunt, maar dit kan ook de ware locatie betreffen – en de GHA van het gebruikte hemellichaam. Om deze te berekenen, is het belangrijk te weten of de lengte van het punt waarvan de LHA berekend moet worden ten westen of ten oosten van de nulmeridiaan ligt. De GHA wordt altijd gemeten als de lengte ten westen van de nulmeridiaan, dus wanneer het gebruikte punt eveneens ten westen van de nulmeridiaan ligt, kan de LHA berekend worden door de lengte van het punt van de GHA af te tellen als de waarde van deze lengte kleiner is dan de GHA. Als deze waarde groter is dan de GHA, wordt de LHA verkregen door de GHA van de lengte af te trekken. Als de lengte ten oosten van de nulmeridiaan ligt, is dit andersom: Daar wordt de LHA berekend door de GHA bij de lengte van het gekozen punt op te tellen. Voor de duidelijkheid staat dit hieronder op een rijtje:

Bij WL geldt: **LHA = GHA – lengte** (als GHA > lengte)
LHA = lengte – GHA (als GHA < lengte)

Bij OL geldt: **LHA = GHA + lengte**

Bij het kiezen van de lengte van het hulppunt, wordt deze zó genomen dat de LHA een geheel aantal graden bedraagt. Tevens moet deze zo dicht mogelijk bij de dichtst bij zijnde lengtegraadmeridiaan liggen. Hiervoor is het dus van belang dat het hulppunt gekozen wordt nadat de GHA voor het genomen tijdstip bepaald is. Wanneer dit wordt gedaan bij meerdere metingen die na elkaar op dezelfde locatie met hetzelfde hemellichaam verricht zijn, komen hier dus meerdere hulppunten op verschillende lengtegraden uit.

In het eerder gebruikte voorbeeld, waar de GHA van de zon $109^{\circ} 56.' 10^{35}$ is en de dichtst bij zijnde lengtegraad meridiaan (in Luxemburg) op $06^{\circ} 00.' 00$ OL ligt, zou het volgende hulppunt worden genomen:

GHA	$109^{\circ} 56.' 10$
LHA hulppunt (moet een geheel aantal bedragen)	$115^{\circ} 00.' 00$
Lengte hulppunt	$05^{\circ} 03.' 90$ OL
Breedte hulppunt	$50^{\circ} 00.' 00$

9.5.2 (on)gelijknamigheid van declinatie en latitude

Wanneer de declinatie van het gekozen hemelobject aan de andere kant van de evenaar ligt dan het breedtegraadcoördinaat, ofwel hoogte (latitude), van het gekozen hulppunt, wordt de declinatie (declination) *ongelijknamig* aan de latitude genoemd. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de zon in de winter. Op het noordelijk halfrond is de declinatie dan ongelijknamig aan de latitude, omdat de declinatie van de zon dan op het zuidelijk halfrond is.

³⁵ Deze waarde werd in paragraaf 7.3.2 bepaald voor 17 augustus 2021 om 19:23:46.

Wanneer de declinatie van het gekozen hemelobject aan dezelfde kant van de evenaar ligt dan de breedtegraadcoördinaat van het gekozen punt, wordt de declinatie *gelijknamig* aan de latitude genoemd. Deze gelijknamigheid of ongelijknamigheid speelt een belangrijke rol in de tafel HO 249.

9.5.3 HO 249: Hc-, d- en Z-waarden

Wanneer de coördinaten van het hulppunt bepaald zijn, moet de tafel HO 249 geraadpleegd worden. In de tabellen in deze tafel kan de hoogte van het hulppunt worden afgelezen die hoort bij het gekozen hulppunt op het tijdstip van de meting. Dit is dan de waarde die in theorie gemeten zou moeten worden met de sextant wanneer de meting op het hulppunt was uitgevoerd. Vervolgens kan het verschil in hoogte worden bepaald, die overeen komt met de afstand die de ware locatie van het hulppunt af ligt.

Voor het aflezen van deze tabellen moet de gekozen breedtegraad van het hulppunt worden gebruikt. In deze tafel zijn verschillende tabellen voor de verschillende breedtegraden³⁶. Voor iedere breedtegraad zijn tabellen in het geval de declinatie gelijknamig is aan de latitude en als de declinatie ongelijknamig is aan de latitude. In het geval van het gebruik van de zon als hemellichaam in Luxemburg in de zomer, moet dan de tabel van 50° worden genomen, waarbij de declinatie gelijknamig is aan de hoogte (deze tabel staat hieronder weergegeven).

f L.H.A. greater than 180° ... 2m-2
N. Lat. { L.H.A. less than 180° ... 2m-180°-2

DECLINATION (0° - 14°) SAME NAME AS LATITUDE

LHA	Hc	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	LHA
70	12 42	af 106	13 29	af 108	14 16	af 104	15 03	af 102	15 50	af 100	16 37	af 98	17 24	af 96	18 11	af 94	18 98
71	12 48	af 106	13 35	af 108	14 22	af 104	15 09	af 102	15 56	af 100	16 43	af 98	17 30	af 96	18 17	af 94	19 04
72	12 54	af 106	13 41	af 108	14 28	af 104	15 15	af 102	16 02	af 100	16 49	af 98	17 36	af 96	18 23	af 94	19 10
73	13 00	af 106	13 47	af 108	14 34	af 104	15 21	af 102	16 08	af 100	16 55	af 98	17 42	af 96	18 29	af 94	19 16
74	13 06	af 106	13 53	af 108	14 40	af 104	15 27	af 102	16 14	af 100	17 01	af 98	17 48	af 96	18 35	af 94	19 22
75	13 12	af 106	13 59	af 108	14 46	af 104	15 33	af 102	16 20	af 100	17 07	af 98	17 54	af 96	18 41	af 94	19 28
76	13 18	af 106	14 05	af 108	14 55	af 104	15 43	af 102	16 28	af 100	17 15	af 98	18 02	af 96	18 49	af 94	19 34
77	13 24	af 106	14 11	af 108	15 01	af 104	15 49	af 102	16 34	af 100	17 21	af 98	18 08	af 96	18 55	af 94	19 40
78	13 30	af 106	14 17	af 108	15 07	af 104	15 55	af 102	16 40	af 100	17 27	af 98	18 14	af 96	19 01	af 94	19 46
79	13 36	af 106	14 23	af 108	15 13	af 104	16 01	af 102	16 46	af 100	17 33	af 98	18 20	af 96	19 07	af 94	19 52
80	13 42	af 106	14 29	af 108	15 19	af 104	16 07	af 102	16 52	af 100	17 39	af 98	18 26	af 96	19 13	af 94	19 58
81	13 48	af 106	14 35	af 108	15 25	af 104	16 13	af 102	16 58	af 100	17 45	af 98	18 32	af 96	19 19	af 94	20 04
82	13 54	af 106	14 41	af 108	15 31	af 104	16 19	af 102	17 04	af 100	17 51	af 98	18 38	af 96	19 25	af 94	20 10
83	14 00	af 106	14 47	af 108	15 37	af 104	16 25	af 102	17 10	af 100	17 57	af 98	18 44	af 96	19 31	af 94	20 16
84	14 06	af 106	14 53	af 108	15 43	af 104	16 31	af 102	17 16	af 100	18 03	af 98	18 50	af 96	19 37	af 94	20 22
85	14 12	af 106	14 59	af 108	15 49	af 104	16 37	af 102	17 22	af 100	18 09	af 98	18 56	af 96	19 43	af 94	20 28
86	14 18	af 106	15 05	af 108	15 55	af 104	16 43	af 102	17 28	af 100	18 15	af 98	19 02	af 96	19 49	af 94	20 34
87	14 24	af 106	15 11	af 108	16 01	af 104	16 49	af 102	17 34	af 100	18 21	af 98	19 08	af 96	19 55	af 94	20 40
88	14 30	af 106	15 17	af 108	16 07	af 104	16 55	af 102	17 40	af 100	18 27	af 98	19 14	af 96	20 01	af 94	20 46
89	14 36	af 106	15 23	af 108	16 13	af 104	17 01	af 102	17 46	af 100	18 33	af 98	19 20	af 96	20 07	af 94	20 52
90	14 42	af 106	15 29	af 108	16 19	af 104	17 07	af 102	17 52	af 100	18 39	af 98	19 26	af 96	20 13	af 94	20 58
91	14 48	af 106	15 35	af 108	16 25	af 104	17 13	af 102	17 58	af 100	18 45	af 98	19 32	af 96	20 19	af 94	21 04
92	14 54	af 106	15 41	af 108	16 31	af 104	17 19	af 102	18 04	af 100	18 51	af 98	19 38	af 96	20 25	af 94	21 10
93	15 00	af 106	15 47	af 108	16 37	af 104	17 25	af 102	18 10	af 100	18 57	af 98	19 44	af 96	20 31	af 94	21 16
94	15 06	af 106	15 53	af 108	16 43	af 104	17 31	af 102	18 16	af 100	19 03	af 98	19 50	af 96	20 37	af 94	21 22
95	15 12	af 106	15 59	af 108	16 49	af 104	17 37	af 102	18 22	af 100	19 09	af 98	19 56	af 96	20 43	af 94	21 28
96	15 18	af 106	16 05	af 108	16 55	af 104	17 43	af 102	18 28	af 100	19 15	af 98	20 02	af 96	20 49	af 94	21 34
97	15 24	af 106	16 11	af 108	17 01	af 104	17 49	af 102	18 34	af 100	19 21	af 98	20 08	af 96	20 55	af 94	21 40
98	15 30	af 106	16 17	af 108	17 07	af 104	17 55	af 102	18 40	af 100	19 27	af 98	20 14	af 96	21 01	af 94	21 46
99	15 36	af 106	16 23	af 108	17 13	af 104	18 01	af 102	18 46	af 100	19 33	af 98	20 20	af 96	21 07	af 94	21 52
100	15 42	af 106	16 29	af 108	17 19	af 104	18 07	af 102	18 52	af 100	19 39	af 98	20 26	af 96	21 13	af 94	21 58
101	15 48	af 106	16 35	af 108	17 25	af 104	18 13	af 102	18 58	af 100	19 45	af 98	20 32	af 96	21 19	af 94	22 04
102	15 54	af 106	16 41	af 108	17 31	af 104	18 19	af 102	19 04	af 100	19 51	af 98	20 38	af 96	21 25	af 94	22 10
103	16 00	af 106	16 47	af 108	17 37	af 104	18 25	af 102	19 10	af 100	19 57	af 98	20 44	af 96	21 31	af 94	22 16
104	16 06	af 106	16 53	af 108	17 43	af 104	18 31	af 102	19 16	af 100	20 03	af 98	20 50	af 96	21 37	af 94	22 22
105	16 12	af 106	16 59	af 108	17 49	af 104	18 37	af 102	19 22	af 100	20 09	af 98	20 56	af 96	21 43	af 94	22 28
106	16 18	af 106	17 05	af 108	17 55	af 104	18 43	af 102	19 28	af 100	20 15	af 98	21 02	af 96	21 49	af 94	22 34
107	16 24	af 106	17 11	af 108	18 01	af 104	18 49	af 102	19 34	af 100	20 21	af 98	21 08	af 96	21 55	af 94	22 40
108	16 30	af 106	17 17	af 108	18 07	af 104	18 55	af 102	19 40	af 100	20 27	af 98	21 14	af 96	22 01	af 94	22 46
109	16 36	af 106	17 23	af 108	18 13	af 104	19 01	af 102	19 46	af 100	20 33	af 98	21 20	af 96	22 07	af 94	22 52
110	16 42	af 106	17 29	af 108	18 19	af 104	19 07	af 102	19 52	af 100	20 39	af 98	21 26	af 96	22 13	af 94	22 58
111	16 48	af 106	17 35	af 108	18 25	af 104	19 13	af 102	19 58	af 100	20 45	af 98	21 32	af 96	22 19	af 94	23 04
112	16 54	af 106	17 41	af 108	18 31	af 104	19 19	af 102	20 04	af 100	20 51	af 98	21 38	af 96	22 25	af 94	23 10
113	17 00	af 106	17 47	af 108	18 37	af 104	19 25	af 102	20 10	af 100	20 57	af 98	21 44	af 96	22 31	af 94	23 16
114	17 06	af 106	17 53	af 108	18 43	af 104	19 31	af 102	20 16	af 100	21 03	af 98	21 50	af 96	22 37	af 94	23 22
115	17 12	af 106	17 59	af 108	18 49	af 104	19 37	af 102	20 22	af 100	21 09	af 98	21 56	af 96	22 43	af 94	23 28
116	17 18	af 106	18 05	af 108	18 55	af 104	19 43	af 102	20 28	af 100	21 15	af 98	22 02	af 96	22 49	af 94	23 34
117	17 24	af 106	18 11	af 108	19 01	af 104	19 49	af 102	20 34	af 100	21 21	af 98	22 08	af 96	22 55	af 94	23 40
118	17 30	af 106	18 17	af 108	19 07	af 104	19 55	af 102	20 40	af 100	21 27	af 98	22 14	af 96	23 01	af 94	23 46
119	17 36	af 106	18 23	af 108	19 13	af 104	20 01	af 102	20 46	af 100	21 33	af 98	22 20	af 96	23 07	af 94	23 52
120	17 42	af 106	18 29	af 108	19 19	af 104	20 07	af 102	20 52	af 100	21 39	af 98	22 26	af 96	23 13	af 94	23 58
121	17 48	af 106	18 35	af 108	19 25	af 104	20 13	af 102	20 58	af 100	21 45	af 98	22 32	af 96	23 19	af 94	24 04
122	17 54	af 106	18 41	af 108	19 31	af 104	20 19	af 102	21 04	af 100	21 51	af 98	22 38	af 96	23 25	af 94	24 10
123	18 00	af 106	18 47	af 108	19 37	af 104	20 25	af 102	21 10	af 100	21 57	af 98	22 44	af 96	23 31	af 94	24 16
124	18 06	af 106	18 53	af 108	19 43	af 104	20 31	af 102	21 16	af 100	22 03	af 98	22 50	af 96	23 37	af 94	24 22
125	18 12	af 106	18 59	af 108	19 49	af 104	20 37	af 102	21 22	af 100	22 09	af 98	22 56	af 96	23 43	af 94	24 28
126	18 18	af 106	19 05	af 108	19 55	af 104	20 43	af 102	21 28	af 100	22 15	af 98	23 02	af 96	23 49	af 94	24 34
127	18 24	af 106	19 11	af 108	20 01	af 104	20 49	af 102	21 34	af 100	22 21	af 98	23 08	af 96	23 55	af 94	24 40
128	18 30	af 106	19 17	af 108	20 07	af 104	20 55	af 102	21 40	af 100	22 27	af 98	23 14	af 96	24 01	af 94	24 46
129	18 36	af 106	19 23	af 108	20 13	af 104	21 01	af 102	21 46	af 100	22 33	af 98	23 20	af 96	24 07	af 94	24 52
130	18 42	af 106	19 29	af 108	20 19	af 104	21 07	af 102	21 52	af 100	22 39	af 98	23 26	af 96	24 13	af 94	24 58
131	18 48	af 106	19 35	af 108	20 25	af 104	21 13	af 102	21 58	af 100	22 45	af 98	23 32	af 96	24 19	af 94	25 04
132	18 54	af 106	19 41	af 108	20 31	af 104	21 19	af 102	22 04	af 100	22 51	af 98	23 38	af 96	24 25	af 94	25 10
133	19 00	af 106	19 47	af 108	20 37	af 104	21 25	af 102	22 10	af 100	22 57	af 98	23 44	af 96	24 31	af 94	25 16
134	19 06	af 106	19 53	af 108	20 43	af 104	21 31	af 102	22 16								

48	67	-3	47	48	66	-2	59	48	66	-2	11	48	65	249
49	66	-4	22	48	65	-3	34	48	65	-2	46	48	64	248
49	65	-4	57	48	65	-4	09	48	64	-3	21	49	63	247
114		-5	32	48	64	-4	44	49	63	-3	55	48	63	246
115		-6	07	49	63	-5	18	49	62	-4	29	48	62	245
				116		-5	52	49	62	-5	03	49	61	244
								117		-5	37	49	60	243

Tabel 7: Ingezoomd stukje van tabel 6, bij declination = 13° en LHA = 115°

Zoals hierboven beschreven is de Hc enkel de hoogte van het hulppunt bij het aantal gehele graden van de declinatie van de zon. Om een correctie toe te passen voor het aantal minuten van de declinatie, moet tabel 5 van tabel HO 249 worden gebruikt. Deze tabel staat hieronder weergegeven:

id	name	age	gender	height	weight	blood pressure	heart rate	respiratory rate	oxygen saturation	temperature	humidity	air quality	noise level	light level	sound level	temperature	humidity	air quality	noise level	light level	sound level
1	John Doe	35	Male	175	75	120/80	72	18	98	37.5	65	15	45	100	100	25	60	10	30	100	100
2	Jane Smith	28	Female	165	60	110/70	68	16	97	37.2	60	12	40	95	95	20	55	8	25	95	95
3	Michael Johnson	42	Male	180	85	130/90	75	20	96	37.8	70	18	50	100	100	30	65	12	35	100	100
4	Sarah Brown	30	Female	170	70	125/85	70	19	97	37.6	68	16	48	98	98	25	60	10	30	98	98
5	David Wilson	45	Male	185	90	135/95	78	22	95	37.9	72	20	55	100	100	35	70	15	40	100	100
6	Emily Davis	25	Female	160	55	115/75	65	15	98	37.3	58	11	38	92	92	18	50	7	22	92	92
7	Robert Miller	50	Male	190	100	140/100	80	25	94	38.0	75	25	60	100	100	40	75	20	45	100	100
8	Lisa Anderson	33	Female	172	72	128/88	71	18	97	37.7	69	17	49	99	99	26	61	11	31	99	99
9	Christopher Lee	40	Male	182	88	132/92	74	21	96	37.8	71	19	52	100	100	32	68	13	38	100	100
10	Amanda White	27	Female	168	62	118/78	69	16	98	37.4	61	12	41	96	96	21	56	9	26	96	96
11	Matthew Green	48	Male	188	95	138/98	77	23	95	37.9	73	21	58	100	100	38	72	16	42	100	100
12	Olivia Black	31	Female	171	71	126/86	70	17	97	37.6	67	15	46	97	97	24	59	10	29	97	97
13	Benjamin Clark	43	Male	183	89	133/93	75	22	96	37.8	72	20	54	100	100	33	69	14	39	100	100
14	Sophia Evans	26	Female	167	61	117/77	68	15	98	37.3	60	11	39	94	94	19	51	8	23	94	94
15	William Harris	49	Male	187	94	137/97	76	24	95	37.9	74	22	59	100	100	39	73	17	43	100	100
16	Isabella King	32	Female	173	73	129/89	71	19	97	37.7	70	18	50	99	99	27	62	12	32	99	99
17	James Scott	41	Male	184	91	134/94	76	23	96	37.8	73	21	57	100	100	34	71	15	41	100	100
18	Mia Taylor	29	Female	169	63	119/79	69	16	98	37.4	62	13	42	97	97	22	57	10	27	97	97
19	Lucas Adams	46	Male	186	93	136/96	77	24	95	37.9	74	22	58	100	100	37	72	16	42	100	100
20	Charlotte Baker	34	Female	174	74	130/90	72	20	97	37.7	71	19	51	99	99	28	63	13	33	99	99
21	Henry Carter	44	Male	185	92	135/95	77	25	96	37.8	75	23	60	100	100	40	74	17	44	100	100
22	Amelia Fisher	28	Female	166	60	116/76	68	15	98	37.3	59	11	37	93	93	18	50	7	21	93	93
23	Sebastian Hall	47	Male	189	96	139/99	79	26	95	38.0	76	24	61	100	100	42	76	18	46	100	100
24	Harper King	35	Female	175	75	131/91	73	21	97	37.7	7										

Zoals in de bovenstaande figuur te zien is, is boven de kolommen de waarde van d (die in de vorige paragraaf uit de tabel is afgelezen) weergegeven en is links en rechts van de kolommen, aan het begin en einde van de rijen, staat het aantal minuten van de declinatie. Door in de kolom van de waarde van d te kijken en in de rij van het aantal minuten van de declinatie, wordt er een waarde voor het aantal minuten verkregen dat bij de Hc uit de vorige paragraaf moet worden opgeteld of afgeteld³⁹.

³⁹ Of deze waarde moet worden opgeteld of afgeteld, hangt af van het teken voor de constante van d in de tabel uit paragraaf 9.5.3. Als deze geen teken bevat, moet de waarde worden opgeteld en als deze een minteken bevat, moet de waarde worden afgeteld.

Dit kan weer worden toegepast in het eerder gebruikte voorbeeld. Voor de d geldt een waarde van 49 en omdat de declinatie $13^{\circ} 09' 2$ NB bedraagt, moet er bij 9 minuten worden afgelezen in tabel 5.

49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	d
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7
7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8
7	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9
8	8	8	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10

Tabel 9: Ingezoomd stukje van tabel 8, bij declination = $09'$ en $d = 49$

Hieruit volgt een hoek van $00^{\circ} 07' 0$ minuten die moet worden opgeteld bij de H_c van $-05^{\circ} 18' 0$ (de d -waarde is positief).

correctie uit tabel 5 voor het aantal minuten van de declinatie (gevonden met d , en de minuten van de declinatie van het hulppunt)	$00^{\circ} 07.' 0$
$H_c \pm$ bovenstaande correctie (afhankelijk van het teken vóór de d)	$-05^{\circ} 18.' 0$
	$+00^{\circ} 07.' 0$
	$=$
	$-05^{\circ} 11.' 0$

Dit betekent dat de hoogte die met een sextant gemeten zou worden vanaf het hulppunt $-04^{\circ} 56' 0$ zou moeten zijn.

9.5.5 Verschil in hoogte tussen het hulppunt en de meting

Nu deze hoek bekend is, kan ook het verschil tussen de werkelijke waargenomen hoogte met de sextant (true altitude) en de hoogte die vanaf het hulppunt waargenomen zou moeten zijn berekend worden. Het verschil in hoek dat hier uit komt, is gelijk aan het hoogteverschil in mijl die de werkelijke locatie van het hulppunt af ligt⁴⁰. Deze wordt berekend door de hoogte van het hulppunt af te tellen van de true altitude. Op deze manier is er al meer duidelijkheid over de locatie. Om de plaats van de ware locatie te vinden, moet deze lengte gebruikt worden bij het tekenen van de situatie in een assenstelsel⁴¹. Bij professionele metingen op zee is men tevreden als deze afstand rondom de tien mijl ligt.

9.5.6 Azimut

In de tabel die in 9.5.3 geraadpleegd is, staat ook een waarde voor Z . Zoals al eerder benoemd is, hangt deze samen met de azimut. In het geval dat de LHA kleiner is dan 180° , moet de waarde van Z nog van 360° worden afgeteld om het azimut te krijgen. In het geval de LHA groter is dan 180° is de waarde van Z gelijk aan het azimut.

9.5.7 Tekeningen

Voor het uittekenen van de gemeten en berekende situatie moeten een aantal stappen worden genomen. Omdat er in het bovengenoemde voorbeeld geen sprake is van een kloppende combinatie van de waardes in de (willekeurig) gekozen data, is het niet mogelijk deze stappen bij dit voorbeeld in een tekening te maken. Bij de verwerking van de meetresultaten uit het experiment, wordt dit wel gedaan. Dit staan weergegeven in Bijlage H.

⁴⁰ Dit wordt verklaard door de one-in-sixty rule, die in Bijlage D uitgelegd is.

⁴¹ Meer hierover volgt in paragraaf 9.5.7.

Stap 1: In een assenstelsel wordt op de y-as de breedtegraad weergegeven en op de x-as de lengtegraad. Dit stelt een abstrahering van het coördinatenstelsel van de aarde voor. Omdat het aardoppervlak bolvormig is, is de schaalverdeling van beide assen verschillend. Om in Nederland een geschikte verhouding te verkrijgen, kan de volgende verhouding genomen worden:

- Eén graad in de breedte (op de y-as) wordt met een verschil van 15 centimeter op papier weer gegeven. Vanwege de one-in-sixty rule⁴² geldt dat deze graad een afstand van zestig mijl voorstelt. Omdat één graad in zestig minuten te verdelen is, komt één minuut dus overeen met één mijl. Op deze manier geldt dat één mijl in werkelijkheid correspondeert met 0,25 centimeter in y-richting in het assenstelsel.
- Eén graad in de lengte (op de x-as) wordt met een verschil van 9 centimeter op papier weer gegeven. Hierbij kan op dezelfde manier als bij de y-as (met de one-in-sixty rule) worden verklaard dat één mijl in werkelijkheid correspondeert met 0,15 centimeter in x-richting in het assenstelsel.

Stap 2: Voor de x-as wordt de breedtegraad (meridiaan) genomen die hoort bij de gekozen hoogte van de hulppunten. Voor de y-as wordt de lengtegraad genomen die het dichtst bij de gekozen lengte van de hulppunten ligt. Hierbij is het het meest praktisch als de lengtes van deze hulppunten allemaal aan de rechterkant van de y-as liggen.

Stap 3: De verschillende hulppunten kunnen nu op de x-as worden weergegeven (want de hoogte is waarschijnlijk voor alle hulppunten gelijk en de lengte verschilt). Voor ieder van deze hulppunten moeten de hierna volgende stappen individueel uitgevoerd worden.

Stap 4: Er wordt een lijn voor het azimut door het hulppunt getrokken die de hoek van het azimut maakt met de y-as (wanneer deze hoek groter is dan 180° , moet er eerst 180° vanaf worden af geteld).

Stap 5: Het verschil in hoogte tussen de gemeten true altitude op de meetlocatie en de berekende altitude van het hulppunt (uit de vorige paragraaf) wordt vanaf de x-as afgemeten:

- Wanneer het berekende hoogteverschil negatief is, wordt deze vanaf de x-as naar boven toe afgemeten, want in dat geval moet de afstand tot de zon groter worden.
- Wanneer het berekende hoogteverschil positief is, wordt deze vanaf de x-as naar beneden toe afgemeten.

Stap 6: Loodrecht op de lijn van het azimut, door het punt waar de hoogte (y-coördinaat) gelijk is aan het hoogteverschil wordt een lijn getrokken. Dit wordt de hoogtelijn genoemd.

Stap 7: Als het goed is, zijn er meerdere metingen verricht, waarbij er een groot verschil is in de azimut. Hierdoor is er ook een groot verschil in de hoogtelijnen. Het punt waar deze verschillende hoogtelijnen elkaar snijden, weergeeft de exacte locatie.

9.6 Lengtegraad

Om het lengtegraadcoördinaat te berekenen is het van belang het tijdstip (universal time) te meten waarop zonshoogte op middagbreedte is. Dit is het moment dat het op de plaats van de waarnemer 12 uur is. Door het verschil te berekenen tussen 12 uur lokale tijd en 12 uur universal time, kan de lengte van de locatie berekend worden. Zoals al eerder in paragraaf 7.2 genoemd is, komt één uur verschil overeen met een lengte van 15° . Wanneer de lokale tijd één uur later is dan de universal time, is de locatie 15° ten westen van de nulmeridiaan en wanneer de lokale tijd één uur eerder is dan de universal time, is de locatie 15° ten oosten van de nulmeridiaan.

⁴² Deze wordt uitgelegd in Bijlage D.

10 Experiment

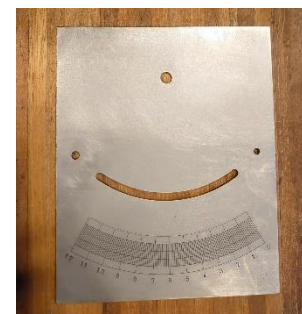
10.1 Experimenteerplan

Het experiment in dit onderzoek bestaat uit een bouwproject en een praktisch aspect. Tijdens het bouwproject wordt er geprobeerd zelfstandig een werkend sextant van metaal te bouwen en tijdens het praktische deel wordt deze sextant uitgeprobeerd en wordt er onderzocht in hoeverre er met deze sextant een benadering kan worden geven van de plaats met behulp van de sextant, een klok, een Nautical Almanac en de open lucht. Het praktische gedeelte wordt zowel overdag, aan de hand van de zon, als 's nachts aan de hand van nachtelijke hemellichamen uitgevoerd.

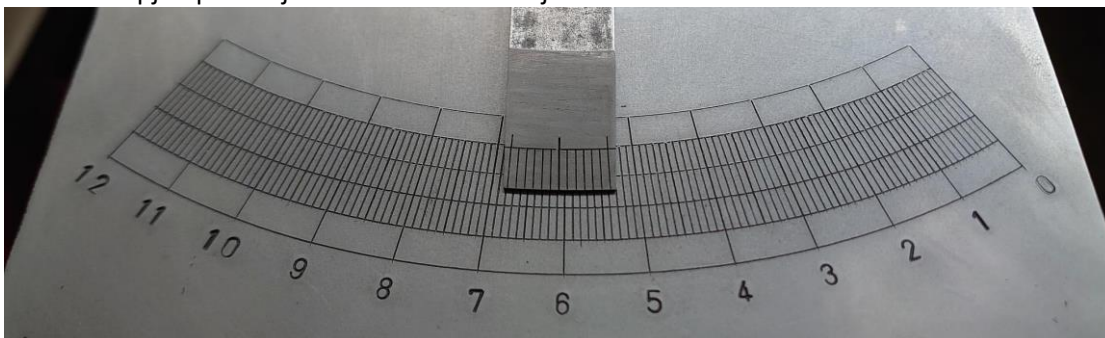
Hierbij wordt er niet verwacht een perfect meetresultaat te bereiken, omdat er veel onzekerheden een rol spelen in de resultaten en zich opstapelen⁴³, maar het zou wel leuk zijn een aardige benadering te verkrijgen.

10.2 Bouwproject

De zelfgemaakte sextant voor dit werkstuk differentieert zich qua uiterlijk van een gangbaar sextant. Ten eerste is er gekozen voor staal als materiaal in plaats van messing. Daarnaast is er geen sprake van een frame met een hoek van zestig graden, maar is de sextant gemaakt uit een drie millimeter dikke staalplaat wat resulteert in een rechthoekig uiterlijk. In het centrum hiervan zit een gat, waar de wijzer omheen draait en op een grotere afstand van het asgat, parallel aan de sleuf, zit de schaalverdeling. Ook in het klemsysteem zijn verschillen te zien. Zo loopt de wijzer niet door tot de ondergrens van de sextant, waar hij bij een gangbaar sextant vastgezet kan worden met de klem. Deze sextant wordt gefixeerd door een sleuf waardoor de wijzer met een pinnetje en een schroefje geklemd kan worden. Ten slotte zijn er nog grote verschillen te zien in de methode voor de fijne schaalverdeling. In plaats van gebruik te maken van een fijn stelschroefje, wordt er gebruik gemaakt van het principe van een schuifmaat. Net zoals bij een doorsnee sextant staan er op de schaalverdeling 120 graden uitgezet over een hoek die in werkelijkheid zestig graden beslaat (dit komt door het principe van de dubbele reflectie), waardoor de streepjes, die een verschil van 1 graad aangeven, in werkelijkheid een halve graad van elkaar verwijderd zijn. Op de wijzer is één lange middenstreep zichtbaar die de precieze hoek aanwijst, met aan weerszijden zes kortere streepjes. Deze zijstreepjes zijn te gebruiken om de hoek op tienden graden nauwkeurig af te lezen: De afstand tussen deze zijstreepjes bedraagt in werkelijkheid namelijk 0,5 graden en 5 minuten, waardoor deze op de schaalverdeling 1 graad en 10 minuten aanwijst. Door (net als bij een schuifmaat) te kijken welke van deze streepjes precies in het verlengde ligt van een streepje op de schaalverdeling op de plaat, is er te bepalen hoe vaak er 10 graden moet worden opgeteld of afgeteld bij of van de hoek die het streepje aanwijst, waarbij het hoofdstreepje op de wijzer zich het dichtst bij bevindt.



Figuur 81: Stalen frameplaat met as, gleuf, schaalverdeling en montagegaatjes voor de horizonspiegel en het kijktje



Figuur 82: Schaalverdeling

⁴³ Nadere toelichting volgt in de discussie.

Verder is bij de telescoop nadere toelichting vereist. Deze was in eerste instantie gemaakt, door een verrekijker te demonteren en één van de twee kijkers te gebruiken. Toen de sextant echter voltooid was, bleek het erg moeilijk om met deze kijker een goed beeld te krijgen door de horizonspiegel, waarbij de grens tussen het doorkijk gedeelte en het spiegelende gedeelte goed te onderscheiden is. Dit verschijnsel kon moeilijk verklaard worden, maar mogelijk werd het veroorzaakt door de vergroting in de kijker. Daarom is er voor gekozen toch een andere kijker te gebruiken, die bestaat uit een buisje met twee draadkruizen. Deze bevat geen vergroting. Het is niet duidelijk of de vergroting de oorzaak is voor het vermoeilijkte beeld door de kijker van de verrekijker of dat deze oorzaak ergens anders ligt, maar de nieuwe kijker gaf een goed beeld (hoewel niet vergroot), dus daar zijn de uiteindelijke metingen mee verricht.



Figuur 84: Kijkertje met vergroting



Figuur 85: Kijkertje zonder vergroting



Figuur 83: Resultaat (met verrekijkertelescoop)



Figuur 86: Draadkruis in het kijkertje

De bewerkingen voor het maken van deze sextant zijn hoofdzakelijk met machines in een staalwerkplaats gedaan in de weekenden tussen 9 oktober en 12 december 2021⁴⁴. Na het afstellen van de sextant, was hij op 19 december klaar voor gebruik.

10.3 Meten met de sextant

Binnen de astronavigatie is het nodig om een open plek te hebben zoals een weiland of de zee om de horizon goed te kunnen zien. Ook de hoogte vanaf de grond speelt hierbij een rol: Hoe hoger iemand zich van de grond bevindt, des te verder er te kijken is.

Op 18 december 2021 is er onderzoek gedaan naar een goede plek in de omstreken van Nijmegen voor het verrichten van metingen voor het experiment. Dit bleek erg moeilijk, omdat er maar weinig open plekken zijn, waar een vrije horizon te zien is (en het zicht niet wordt belemmerd door bomen). Hiervoor zijn een aantal locaties bekeken, waaruit geconcludeerd werd dat de laatste twee locaties van de onderstaande afbeeldingen het meest geschikt waren (zie bijlage F voor een uitgebreide toelichting).



Figuur 87: Aan het einde van de dijk van de Loonse Waard



Figuur 88: Kraaijenbergse plassen bij Linde (in de richting van Grave)

⁴⁴ Zie bijlage E voor een uitgebreid verslag van de bouw van de sextant.



Figuur 89: Steiger bij de Loonse waard, ter hoogte van Hotel Hoogeerd



Figuur 90: Kraaijenbergse plassen (verderop)

Wat bij deze locaties opvalt, is dat de horizon het best te onderscheiden is, wanneer hij door een watergrens getekend wordt.

Helaas kon er op deze datum zelf geen meting worden verricht, vanwege het bewolkte weer.

Op 20 december bleek zich onverwacht een goede gelegenheid voor te doen om een meting te verrichten. Het was helder weer en de zon scheen. Dit was niet op één van de geplande plekken, maar op een afrit van de snelweg in Friesland. Omdat de weilanden in deze streken veel uitgestrekter zijn dan rondom Nijmegen, was de mogelijkheid om hier een meting te doen met een weiland als horizon wel aanwezig, in tegenstelling tot een aantal van de locaties die op de 18^e waren bekeken.

Hier werd toen de eerste meting met de zelfgemaakte sextant verricht aan de hand van de zon. Hoewel de horizon op deze locatie veel beter te onderscheiden was dan bij



Figuur 92: Weiland in Friesland

weilanden in Nijmegen, was het hierbij eveneens moeilijk om hem duidelijk in beeld te krijgen, wat resulteert in een mogelijke afwijking, of op zijn minst een onnauwkeurigheid in de meting.



Figuur 91: Proefmeting bij een tankstation

Op de avond van 20 december was de hemel nog steeds erg helder. Vandaar dat het mogelijk was om tevens een meting in het donker uit te voeren. Omdat het op deze datum volle maan⁴⁵ was, was het geen optie om een meting te doen met een ster, omdat



Figuur 93: Meting 's nachts op het dak van de auto

het maanlicht het sterrenlicht overscheen. Daarom zijn deze metingen aan de hand van de maan gedaan, die dus wel erg goed zichtbaar was. Gebaseerd op het onderzoek van 18 december, is de meting gedaan bij de Kraaijenbergse plassen, waar de horizon het breedst was en het beste te onderscheiden. Helaas was deze 's nachts juist moeilijk te onderscheiden, omdat de schaduw van de bomen en de weerspiegeling van deze schaduw

in het water de scheiding tussen water en oever slecht zichtbaar maakte. Dit maakt dat de meting van deze avond niet erg nauwkeurig geweest kan zijn, omdat de horizon enkel benaderd kon worden door het midden van het schaduwoppervlak te nemen. Dit effect is dus vergelijkbaar met het weiland overdag, hoewel de oorzaak een beetje afwijkt.



Figuur 94: Volle maan op 20 december

⁴⁵ Voor de volledigheid: Het was één dag na volle maan; 19 december was de maan helemaal vol.



Figuur 95: Meting met de zon

waarna het tijdstip van zonsondergang gemeten werd voor het bepalen van de lengtegraad. Vervolgens was het bij het invallen van de duisternis mogelijk een meting te verrichten met een planeet. Deze was namelijk beter zichtbaar dan de sterren, omdat hij veel helderder aan de hemel stond en bovendien eerder te onderscheiden was dan sterren.

Vanwege het feit dat 21 december de kortste dag van het jaar is, ging de zon relatief vroeg onder. Hierdoor werden de metingen niet belemmerd door de maan, omdat deze tijd nodig heeft om te klimmen aan de hemel. Tijdens het verrichten van de metingen was de maan nog niet zichtbaar, wat goed uit kwam.

Omdat de maan de voorgaande avond zo goed zichtbaar was, was de meting met een planeet niet gepland (Er was namelijk vanuit gegaan dat de meting opnieuw met de (bijna) volle maan gedaan kon worden). Om deze reden was er van te voren geen uitgebreid onderzoek gedaan naar de vraag welke planeten op deze dag aan de

hemel zouden staan. Op dat moment was het echter duidelijk dat de heldere lichten aan de hemel planeten waren, en geen sterren. Ook was bekend dat Venus die dag vroeg aan de hemel zou verschijnen (wáár was niet bekend). Daarom werd erop gegokt dat één van de drie zichtbare planeten Venus zou zijn en zijn er metingen verricht met de helderste planeet, rechtsonder. Om hier later onderzoek naar te doen, is er een foto gemaakt van de situatie (zie figuur 97).

Na afloop bleek dat dit juist was ingeschat: In het boekje *Sterren & Planeten 2021, de sterrenhemel van maand tot maand* stond namelijk de volgende afbeelding bij de maand december (zie figuur 98).

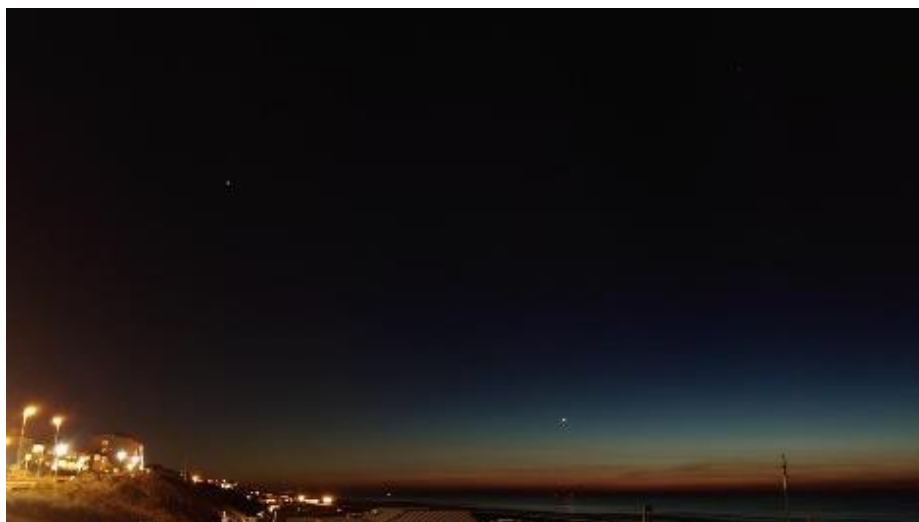
Bij ieder van deze metingen was het van belang zowel de universal time te noteren, als de schaalverdeling van de sextant juist af te lezen en te noteren. In het volgende hoofdstuk staan de resultaten van deze metingen weergegeven.

Vanwege het feit dat de metingen van 20 december sowieso een afwijking zouden bevatten, is er besloten op 21 december, toen het weer eveneens helder was, een extra meting te verrichten aan zee in Zandvoort. Hierbij zou er namelijk meer zekerheid zijn over een goed te onderscheiden horizon.

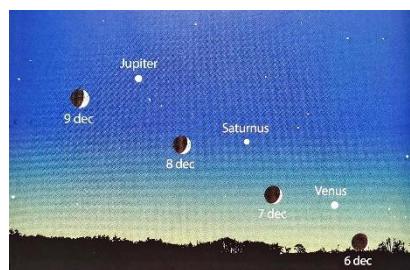
Overdag zijn hierbij metingen verricht aan de hand van de zon,



Figuur 96: Zonsondergang



Figuur 97: Drie planeten op een rij; Jupiter (linksboven), Saturnus (in het midden) en Venus (rechtsonder).



Figuur 98: Positie van planeten aan de sterrenhemel in december

11 Resultaten

Voor het verwerken van de metingen die gedaan zijn met de zelfgemaakte sextant, is er hulp aangeboden door een ervaren zeiler, die ervaring had met deze berekeningen. Hij heeft hierbij uitleg gegeven bij de verschillende stappen die ondernomen moeten worden. In Bijlage G staan deze berekeningen uitgebreid verwerkt. In onderstaande tabellen staat per meting een beknopt overzicht van de belangrijkste gegevens.

Omdat er bij de metingen in dit onderzoek geen gebruik gemaakt kan worden van de bepaling van een exacte locatie (door het ontbreken van verschillende metingen met een groot verschil in azimut op dezelfde locatie), is er gekozen de afwijking in de plaats ten opzichte van de werkelijke locatie te bepalen door de afstand te meten tussen de hoogtelijn loodrecht op de lijn van het azimut en de ware locatie. De onzekerheid zou in theorie moeten liggen tussen deze afstand en het dubbele ervan, aangezien de hoogtelijn een cirkel vormt.

Meting 1 op 20 december 2021 (met de zon):

	20-12-2021	Meting 1	Meting 2	meting 3
Sextant Altitude		9° 45'	8° 35'	7° 50'
True altitude		9° 42.' 5	8° 32.' 5	7° 47.' 5
Universal Time		13.35.57	13.45.57	13.58.54
GHA of the sun		24° 18.' 9	27° 03.' 9	30° 18.' 1
Declination of the sun		23° 26.' 0	23° 26.' 0	23° 26.' 0
Lengte hulppunt		05° 41.' 1 OL	05° 56.' 1 OL	05° 41.' 9 OL
Breedte hulppunt		53° 00' NB	53° 00' NB	53° 00' NB
LHA hulppunt		30° 00.' 0	33° 00.' 0	36° 00.' 0
Vershil in hoogte tussen de true altitude op de meetlocatie en de berekende hoogte bij het hulppunt, uitgedrukt in mijl.		27.5 mijl	10.5 mijl	22.5 mijl
Lengte werkelijke locatie		05° 59.' 818	05° 59.' 818	05° 59.' 818
Breedte werkelijke locatie		52° 53.' 693	52° 53.' 693	52° 53.' 693
Azimuth		208°	210°	213°
Minimale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)		31.2 mijl	8 mijl	27.8 mijl
Maximale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)		62.4 mijl	16 mijl	55.6 mijl

Voor het bepalen van de minimale en de maximale afwijking van de sextant ten opzichte van de werkelijke locatie zijn tekeningen gemaakt die in Bijlage H zijn weergegeven.

Meting 2 op 20 december 2021 (met de maan):

	20-12-2021	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4
Sextant Altitude		33° 0'	35° 50'	35° 20'	36° 30'
True altitude		32° 57.' 5	35° 47.' 5	35° 17.' 5	36° 27.' 5
Universal Time		20.21.36	20.32.32	20.41.11	20.47.36
GHA of the sun		285° 48.' 2	288° 24.' 8	290° 28.' 6	292° 00.' 5
Declination of the moon		N26° 03.' 7	N26° 04.' 1	N26° 04.' 4	N26° 04.' 6
Lengte hulppunt		05° 11.' 8 OL	05° 35.' 2 OL	05° 31.' 4 OL	05° 59.' 5 OL
Breedte hulppunt		52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB
LHA hulppunt		291° 00.' 0	294° 00.' 0	296° 00.' 0	298° 00.' 0
Verskil in hoogte tussen de true altitude op de meetlocatie en de berekende hoogte bij het hulppunt, uitgedrukt in mijl.		3.5 mijl	57.5 mijl	- 46.5 mijl	- 50.5 mijl
Lengte werkelijke locatie		05° 49.' 275	05° 49.' 275	05° 49.' 275	05° 49.' 275
Breedte werkelijke locatie		51° 43.' 712	51° 43.' 712	51° 43.' 712	51° 43.' 712
Azimuth		89°	91°	93°	95°
Minimale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)		155.76 mijl	X	X	X
Maximale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)		311.52 mijl	X	X	X

Vanwege het feit dat het verschil tussen de true altitude op de meetlocatie en de berekende hoogte bij het hulppunt bij deze locatie erg groot is, is het niet mogelijk om bij bovenstaande metingen overzichtelijk in een assenstelsel te verwerken. Hiertoe is wel een poging gedaan (zie Bijlage H), maar door het feit dat de afstanden erg groot zijn, worden de resultaten onnauwkeuriger. Dit komt doordat mogelijke onnauwkeurigheden in de geodriehoek bij grotere lengtes tevens een grotere afwijking veroorzaken. Bij drie van de vier metingen stond paste de hoogtelijn niet op het papier, waardoor er maar één waarde is gevonden. Hierdoor kan uit deze meting geen conclusie over de nauwkeurigheid van de sextant worden getrokken.

Meting 3 op 21 december 2021 (met de zon):

	21-12-2021	Meting 1*	Meting 2*	Meting 3	Meting 4*	Meting 5	Meting 6*	Meting 7
Sextant Altitude		5° 50'	7° 45'	4° 50'	5° 0'	3° 50'	4° 0'	3° 0'
True altitude		6° 00.' 25	7° 55.' 25	5° 00.' 25	5° 10.' 25	4° 00.' 25	4° 10.' 25	3° 10.' 25
Universal Time		14.28.42	14.35.06	14.38.27	14.42.14	14.47.23	14.50.43	14.55.32
GHA of the sun		37° 37.' 4	39° 13.' 4	40° 03.' 7	41° 00.' 4	42° 17.' 7	43° 07.' 7	44° 19.' 9
Declination of the sun		23° 27' 2	23° 27' 2	23° 27' 2	23° 27' 2	23° 27' 2	23° 27' 2	23° 27' 2
Lengte hulppunt		04° 22.' 6 OL	04° 46.' 6 OL	04° 56.' 3 OL	04° 59.' 6 OL	04° 42.' 3 OL	04° 52.' 3 OL	04° 40.' 1 OL
Breedte hulppunt		52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB
LHA hulppunt		42° 00.' 0	44° 00.' 0	45° 00.' 0	46° 00.' 0	47° 00.' 0	48° 00.' 0	49° 00.' 0
Vershil in hoogte tussen de true altitude op de meetlocatie en de berekende hoogte bij het hulppunt, uitgedrukt in mijl.		- 5.35 mijl	156.25 mijl	4.25 mijl	39.25 mijl	- 5.75 mijl	29.25 mijl	- 5.75 mijl
Lengte werkelijke locatie		04° 31.' 486	04° 31.' 486	04° 31.' 486	04° 31.' 486	04° 31.' 486	04° 31.' 486	04° 31.' 486
Breedte werkelijke locatie		52° 22.' 375	52° 22.' 375	52° 22.' 375	52° 22.' 375	52° 22.' 375	52° 22.' 375	52° 22.' 375
Azimuth		218°	220°	221°	222°	222°	223°	224°
Minimale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)		14 mijl	X	12.4 mijl	X	4.8 mijl	X	3.88 mijl
Maximale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)		28 mijl	X	24.8 mijl	X	9.6 mijl	X	7.76 mijl

*Weergeeft de metingen waarbij er tijdens het meten al onzekerheid was over de geschiktheid ervan.

Bij de metingen op de bovenstaande locatie waren meting 1,3, 5 en 7 geschikt om in een assenstelsel uit te tekenen en anderen waren minder geschikt, doordat hier net als bij de tweede locatie het verschil in hoogte tussen de true altitude op de meetlocatie en de berekende hoogte bij het hulppunt te groot was (net zoals bij meting 2,3 en 4 op meetlocatie 2). Vandaar dat enkel de metingen op meetlocatie 3 waarbij het hoogteverschil klein genoeg was, zijn verwerkt in de tekeningen (zie Bijlage H). Opmerkelijk hierbij is dat de er tijdens het meten al vermoed werd dat deze metingen minder nauwkeurig zouden zijn (zie de markering met een sterretje)⁴⁶.

⁴⁶ Van meting 1 werd ingeschat dat de zon mogelijk ietsje te hoog in het vizier genomen was (dit bleek niet terug te zien in het resultaat).

Van meting 2 werd ingeschat dat de zon mogelijk een stuk te laag in het vizier genomen was.

Van meting 4 werd ingeschat dat de zon mogelijk een stukje te laag in het vizier genomen was.

Van meting 6 werd ingeschat dat de zon mogelijk een stukje te laag in het vizier genomen was.

Bij meting 2, 4 en 6 komen deze inschattingen zeer goed overeen met de relevantie van de meting die bleek uit het resultaat van de berekeningen.

Meting 4 op 21 december 2021 (met de zonsondergang):

Plaatsing van de zon	Zon 'raakt' de horizon	Zon is halverwege de horizon	Zon is onder de horizon
Universal time	15.27.08	15.29.05	15.30.39

De meting van het tijdstip van de ondergang van de zon is niet gebruikt voor het bepalen van de lengtegraad, omdat hiervoor daglengte tabellen nodig zijn en deze niet voorhanden waren. Het was eenvoudiger geweest om het tijdstip van de middagbreedte te meten, maar dit was nog niet bekend bij het uitvoeren van de metingen, waardoor deze meting helaas niet dienstbaar zijn bij dit onderzoek.

Meting 5 op 21 december 2021 (met Venus):

	21-12-2021	Meting 1	Meting 2	Meting 3
Sextant Altitude		4° 30'	3° 35'	3° 30'
True altitude		4° 13.' 7	3° 16.' 7	3° 11' 5
Universal Time		16.53.12	16.58.15	17.01.46
GHA of the sun		45° 24.' 3	46° 40.' 1	47° 35.' 6
Declination of the sun		S20° 34.' 5	S20° 34.' 4	S20° 34.' 4
Lengte hulppunt		04° 35.' 7 OL	04° 19.' 9 OL	04° 24.' 4 OL
Breedte hulppunt		52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB
LHA hulppunt		50° 00.' 0	51° 00.' 0	52° 00.' 0
Verschil in hoogte tussen de true altitude op de meetlocatie en de berekende hoogte bij het hulppunt, uitgedrukt in mijl.		- 69.3 mijl	- 99.3 mijl	- 77.5 mijl
Lengte werkelijke locatie		04° 31.' 486	04° 31.' 486	04° 31.' 486
Breedte werkelijke locatie		52° 22.' 375	52° 22.' 375	52° 22.' 375
Azimuth		226°	227°	228°
Minimale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)		X	X	X
Maximale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)		X	X	X

Wederom vanwege het feit dat verschil in hoogte tussen de true altitude op de meetlocatie en de berekende hoogte bij het hulppunt van deze metingen veel te groot was, zijn deze resultaten niet geschikt voor de verwerking in een assenstelsel (voor deze locatie is daarom ook geen poging gedaan dit toch voor elkaar te krijgen). Dit enorme verschil veroorzaakt zelfs twijfel over het feit of dit hemellichaam werkelijk Venus was, ondanks de aanwijzing door de afbeelding in *Sterren & Planeten 2021, de sterrenhemel van maand tot maand*.

12 Conclusie

Uit de resultaten van deze metingen is helaas geen absolute conclusie te trekken over een specifieke locatie, omdat er niet meerdere metingen zijn op dezelfde locatie zijn verricht waarbij er een groot verschil is in het azimut. Uit de afstand die de bekende locatie van de hoogtelijn af ligt is echter wel iets te zeggen over de onzekerheid die er is in de plaats: Hoe groter de afstand tussen de werkelijke locatie en de hoogtelijn, des te groter is de straal (en dus de diameter) van de cirkel waarop de berekende locatie zich kan bevinden en des te groter is ook de onzekerheid. De minimale onzekerheid zou in theorie dus de afstand van de werkelijke locatie tot de hoogtelijn moeten zijn en de maximale onzekerheid het dubbele daarvan. Hieruit blijkt dat er in het experiment van dit onderzoek een minimale onzekerheid, ofwel een maximale nauwkeurigheid met een afwijking van 3,88 mijl bereikt is. Aangezien men bij een professioneel gebruik van een sextant tevreden is met een afwijking van tien mijl, kan hieruit geconcludeerd worden dat het gelukt is een nauwkeurig resultaat te verkrijgen door Astronavigatie met behulp van een zelfgemaakt sextant in Nederland toe te passen.

13 Discussie

Ondanks de uitgebreide voorbereiding en toewijding aan dit onderzoek, zijn er veel punten waar er op onnauwkeurigheden is gestuit en die de betrouwbaarheid van de conclusie van dit onderzoek in twijfel trekken. Om hiervan een beeld te geven worden deze kwesties in het onderstaande hoofdstuk belicht en worden er mogelijkheden voorgesteld om in eventueel vervolgonderzoek uitsluitel te geven over het optreden van deze fouten.

13.1 Achtergrondinformatie

In dit onderzoek is van tevoren uitgebreid onderzoek gedaan naar astronavigatie in het verleden, waarbij vooral gekeken is naar de verschillende soorten meetinstrumenten die men toentertijd gebruikte. Er is echter geen onderzoek gedaan naar de nauwkeurigheid van de tijds- en plaatsbepaling in het verleden. De precisie van de zelfgemaakte sextant is hier dus niet mee vergeleken, waardoor de invloed van de factor die het zelf bouwen heeft, niet is meegenomen. Hierdoor is de conclusie over de nauwkeurigheid enkel gebaseerd op de verhouding met de werkelijke locatie volgens de GPS (en de visie van een zeiler) en niet op basis van wat de maximaal te verwachte nauwkeurigheid was van de sextant ten opzichte van vroegere sextanten.

13.2 Productie van de sextant

Bij de productie van de sextant zijn een aantal imperfecties ingeslopen, wat betekent dat het productieproces verschillende kleine onnauwkeurigheden heeft ondervonden. Deze stapelen zich op en hebben gezamenlijk een invloed gehad op de metingen die met de sextant verricht zijn en veroorzaken daardoor ook een afwijking in de resultaten. Hoe groot de afwijking van de individuele fouten is, is niet te beoordelen. Hieronder worden de onnauwkeurigheden die zijn opgemerkt beschreven. Hierbij moet wel gezegd worden dat er hoogstwaarschijnlijk meer onnauwkeurigheden hebben plaatsgevonden dan dat er staan beschreven.

Over het gehele productieproces genomen wordt er een onzekerheid veroorzaakt door het opnieuw in- en uitspannen van onderdeeljes tussen verschillende bewerkingen in. Daardoor ontstaat er een miniem (theoretisch) verschil in de manier waarop een onderdeelje op de verschillende momenten is ingespannen. Ook de afwijkingen van de metaalbewerkingsmachines veroorzaken afwijkingen in het hele proces.

Een afwijking die specifieker aan te duiden is, is aanwezig in de schaalverdeling. Doordat de lijntjes van de schaalverdeling zelf ook een dikte hebben, moet de exacte plaats van het midden van deze lijntjes worden geschat bij het aflezen van de fijne schaalverdeling. Dit verhoogt het risico op menselijke fouten in de resultaten. Vanwege deze dikte is ook de fijne schaalverdeling niet op minuten nauwkeurig gemaakt⁴⁷, maar op tientallen minuten, waardoor de hoek met minder nauwkeurigheid te bepalen is dan bij professionele sextanten.

In de spiegeltjes is ook een afwijking aanwezig. De lijm dikte onder het spiegeltje in de framepjes zorgt er namelijk voor dat het spiegeloppervlak (aan de achterzijde van de spiegel) niet precies op het midden van het asje van de spiegel zit. Dit is een zeer kleine afwijking, maar voor de volledigheid is het belangrijk dat deze wordt vermeld.

Ten slotte zijn er nog onzekerheden in beide opties voor de kijker. Bij de kijker die bestaat uit de helft van een gedemonteerde verrekijker zijn de lenzen mogelijk niet in het centrum van de kijker gefixeerd. Dit is voor een normale verrekijker geen probleem, maar in dit geval is het klemsysteem gebaseerd op het centrum van het buisje. Als de lenzen niet perfect gecentreerd zijn, is de kijkrichting van de kijker niet precies uitgelijnd met het klemsysteem van de kijker en dus ook niet met het centrum van de spiegels. Of deze afwijking in de kijker aanwezig is, is echter niet te identificeren.

⁴⁷ Dit was wel mogelijk geweest met de apparatuur, maar door deze dikte zouden het aantal seconden dat afgelezen zou worden onmogelijk significant kunnen zijn.

In de kijker die door het holle buisje gevormd wordt, zijn de draadkruizen eveneens niet perfect gecentreerd. Dit wordt veroorzaakt doordat deze draadkruizen gevormd worden door eindjes ijzerdraad die in gaatjes in het buisje gesoldeerd zijn. De diameter van dit ijzerdraad is echter net iets kleiner dan de diameter van de gaatjes, waardoor ze hoogstwaarschijnlijk niet exact in het midden van de gaatjes vast zitten. Het is niet realistisch de afwijking van de grootte van de individuele afwijkingen te kwantificeren. We weten echter wel dat hun cumulatieve afwijking een rol moet spelen in het eindresultaat.

13.3 Meting met de sextant

Bij de metingen die in het experiment met de zelfgebouwde sextant zijn verricht, spelen meerdere onzekerheden een rol. Zoals al eerder genoemd is, was de horizon bij de metingen van 20 december zeer slecht te onderscheiden, waardoor er aan de hand van schaduwvlakken gegist moest worden naar de precieze plaats ervan. Een andere onzekerheid in het bepalen van de horizon bij de twee locaties op 20 december werd veroorzaakt door het gebruik van de grens van een weiland als horizon en er dus geen sprake was van een 'oneindig verre' horizon, zoals aan zee wel het geval is. Daarnaast bevatte de kijker van de gebruikte sextant geen vergroting, waardoor het beeld dat werd gezien mogelijk minder precies was dan bij normale sextanten.

Een andere kwestie is het feit dat het hemellichaam bij de eerste twee metingen (op 20 december) als het ware halverwege de horizon werd geplaatst (zie figuur 99) in plaats van erop (zie figuur 100). Hierdoor moest de inschatting wat het midden van het hemellichaam was, zelf worden gemaakt, in plaats van dat deze met behulp van correcties werd meegenomen (zoals eigenlijk de bedoeling is)⁴⁸.

In al deze gevallen geldt dat de metingen ook nog door twee verschillende mensen is uitgevoerd, met verschillende percepties, waardoor er mogelijk ook verschillende menselijke fouten in de metingen aanwezig zijn. Hier komt nog bij dat de metingen niet door deskundigen verricht zijn, maar door personen zonder ervaring, die zichzelf de techniek hebben aangeleerd. Deze techniek, die uiteengezet staat in hoofdstuk 8, is bijvoorbeeld niet volledig correct uitgevoerd. Tijdens de metingen stond de sextant namelijk in een klem, zodat hij gemakkelijker stil te houden was. Hierdoor is de controle aan het einde van de meting, waarbij de sextant heen en weer gewiegd wordt, niet uitgevoerd. Deze controle wordt gebruikt om te controleren of de sextant wel recht gehouden is tijdens de meting. Omdat de sextant in het experiment in een klem stond, is de kans groot dat dit toch aardig gelukt is, maar hierbij is de mate waarin de reling, waarop de sextant stond, waterpas was buiten beschouwing gelaten. Als deze niet helemaal waterpas was, is het mogelijk dat de sextant niet perfect recht gehouden is, waardoor mogelijk nog onnauwkeurigheden zijn ontstaan.



Figuur 99: Hemellichaam halverwege de horizon



Figuur 100: Hemellichaam op de horizon

⁴⁸ Om deze fout te corrigeren, is er op 21 december een meting verricht om het verschil in hoek te meten tussen de zon die op de horizon ligt en de zon die halverwege de horizon ligt (deze zijn te zien in bijlage G waar alle meetresultaten zijn weergegeven). Dit resulteerde in een verschil van 1 graad en 30 minuten.

Deze correctie is uiteindelijk niet meer gebruikt, omdat er normaalgesproken juist een correctie wordt uitgevoerd om het hemellichaam halverwege de horizon te krijgen in plaats van erop. Het is wel de bedoeling om de meting te doen met het hemellichaam op de horizon, omdat de waarnemer dan niet het centrum van het hemellichaam hoeft in te schatten. Omdat deze fout in het experiment toch al was opgetreden, zou de meting waarschijnlijk alleen maar onnauwkeuriger worden als de hoek van 1,5 graden er eerst nog bij op zou worden geteld en er daarna de standaardcorrectie zou worden toegepast. Vandaar dat de oorspronkelijke meting als uitgangspunt is genomen.

Ten slotte moet er nog op de belangrijkste meetfout worden ingegaan. Doordat er voorafgaand aan het uitvoeren van het experiment nog te weinig bekend was over de berekeningen aan de hand van de metingen, zijn er niet meerdere metingen uitgevoerd, waarbij het azimut bij de verschillende metingen sterk verschilt, terwijl dit wel nodig is bij voor het combineren van meerdere metingen tot één eindlocatie bij middag- en avondmetingen. Als er van tevoren meer bekend was geweest over deze berekeningen, had hier rekening mee gehouden kunnen worden. Zo hadden er, zoals hierboven beschreven, meerder metingen met een verschil in azimut gedaan kunnen worden.

Een andere optie was geweest om metingen te doen op het moment dat de zon op zijn hoogste punt stond, waardoor de berekeningen een stuk eenvoudiger geweest waren. Ook had het tijdstip waarop de zon zich op het hoogste punt bevindt gemeten kunnen worden, in plaats van het tijdstip van zonsondergang.

13.4 Verwerking van de metingen

Onzekerheden in het verwerken van de metingen zijn aan meerdere aspecten te wijten. Ten eerste waren er gegevens over de hoogte van de waarnemer boven de horizon niet gemeten, waardoor deze naderhand moest worden ingeschat voor de correcties die hierbij horen. Hierdoor bevat de true altitude per definitie een onzekerheid, wat een rol speelt bij de rest van de berekeningen. Daar komt bij dat er geen definitieve zekerheid was over het feit of de meting met Venus op meetlocatie 4 wel werkelijk met Venus is gedaan. Deze twijfel wordt bevestigd door de resultaten van de berekeningen met deze metingen.

Ten tweede werd de notatie van $19^{\circ} 17' 3''$ (om maar een voorbeeld te noemen) in eerste instantie geïnterpreteerd als een hoek van 19 graden, 17 minuten en 3 seconden, in plaats van een hoek van 19 graden en 17,3 minuten. Hierdoor moest deze fout in alle berekeningen hersteld worden, waarbij de kans op slordigheidsfouten werd vergroot.

Ook is niet uit te sluiten dat er waarden verkeerd zijn overgenomen uit de Nautical Almanac, aangezien er een gigantisch aantal waarden in vernoemd is, en er mogelijk een afleesfout is opgetreden. Bovendien vonden de helft van de metingen plaats op 21 december, wat astronomisch gezien de eerste dag van de winter is. Wellicht had hiermee rekening gehouden moeten worden bij de berekeningen aan de metingen (dat is niet gebeurd). Ten slotte bestaat er de mogelijkheid dat er stappen in de berekeningen over het hoofd zijn gezien, hoewel de kans van het optreden van deze fout aanzienlijk is verkleind, doordat er een ervaren zeiler geholpen heeft bij het uitvoeren van deze metingen.

13.5 Interpretatie van de resultaten

Een verkeerde interpretatie van de resultaten kan onder andere het gevolg zijn van gebrek aan vergelijkingsmateriaal, waardoor de nauwkeurigheid van de sextant mogelijk niet op de juiste waarde geschat kan worden. Bovendien is de getrokken conclusie maar op weinig meetresultaten gebaseerd, omdat veel metingen een te grote afwijking bevatten voor de verwerking in tekeningen. Verder kan er een onjuiste balans zijn in de inschatting van de relevantie van de ene dataset (van de ene meting) ten opzichte van de andere dataset. Vanwege het grote verschil in de uitkomsten bij de verschillende metingen is het optreden van deze fout niet uit te sluiten. Hierdoor kan ten onrechte de conclusie zijn getrokken dat de resultaten nauwkeurig zijn, terwijl de dataset die dit bevestigt mogelijk niet de betrouwbaarste dataset is.

13.6 Vervolgonderzoek

Om in eventueel vervolgonderzoek betrouwbaardere resultaten te verkrijgen, is het belangrijk opnieuw metingen te verrichten. Deze moeten correct worden uitgevoerd, waarbij de kennis die bij dit onderzoek duidelijk is geworden over het uitvoeren van de metingen wordt meegenomen. Hierbij is het belangrijk dat er een grotere hoeveelheid geschikte metingen ter beschikking is, zodat met zekerheid gesteld kan worden dat de getrokken conclusie niet op toeval gebaseerd is.

Door op de juiste manier metingen te doen, kunnen de resultaten van meerdere metingen gecombineerd worden en kan er een specifieke locatie als uitkomst worden verkregen. Daarnaast kan het goed zijn om het tijdstip te meten waarop de zon op zijn hoogste punt staat, waardoor tevens zekerheid verkregen wordt over de lengte van de locatie. Op deze manier kan de nauwkeurigheid van de zelfgemaakte sextant preciezer aan de realiteit getoetst worden. Ook zouden er in vervolgonderzoek minder variabelen een rol moeten spelen. Zo zou het de moeite waard kunnen zijn om de zelfgemaakte sextant door een professional te laten testen in plaats van door amateurs, waardoor de onzekerheden in het uitvoeren van de metingen en het doorrekenen ervan geen prominente rol spelen in de uitslag, maar puur deze sextant met een normaal sextant vergeleken kan worden.

Als dit niet mogelijk is, kan er gekozen worden een professioneel sextant te lenen of te huren en hiermee zelf ook metingen te verrichten, zodat de onzekerheden in het uitvoeren van de metingen zowel in de metingen met een normaal sextant als in de metingen met de zelfgemaakte sextant voorkomen worden, waardoor ze alsnog goed vergeleken kunnen worden. Daarnaast neemt de kans op toevallige fouten af door het experiment meerdere keren uit te voeren. Hierbij is het praktisch als het moment van uitvoeren minder twijfelachtig is dan de seizoensgrens van 21 december. Bij het uitvoeren van deze metingen is het van belang dat de fouten die in het experiment zijn opgetreden geen rol spelen. Zo moet het hemellichaam consequent op de horizon worden gelegd, waarna de juiste correctie toegepast kan worden. Ook is het praktisch als alle metingen aan zee worden gedaan, zodat de onzekerheid in het onderscheiden van de horizon bij geen van de metingen aanwezig is. Verder is het misschien mogelijk om het probleem met de vergrotende kijker op te lossen, waardoor deze alsnog te gebruiken is, wat een verbetering zou zijn aan het meetinstrument. De onzekerheden in de sextant zelf, die door het productieproces veroorzaakt zijn, zijn echter niet weg te filteren en deze zijn dan terug te zien in de resultaten, waaruit de nauwkeurigheid van het instrument te concluderen is.

14 Samenvatting

Om de vraag te beantwoorden of het mogelijk is om een nauwkeurig resultaat te verkrijgen door astronavigatie met behulp van een zelfgemaakt sextant in Nederland toe te passen, is er in dit profielwerkstuk op een aantal deelvragen ingegaan:

1. Welke methoden gebruikte men vroeger om de plaats te kunnen bepalen op zee?
2. Welke sterrenbeelden kunnen van pas komen bij het bepalen van de plaats (of tijd) en hoe zijn ze te herkennen?
3. Wat is de invloed van de tijdsbepaling op de plaatsbepaling, en andersom?
4. Hoe werkt een sextant?

De theorie in dit verslag reikt echter verder dan deze onderzoeksvragen. Ze zijn wel het uitgangspunt geweest voor de rest van het theoretische onderzoek. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste punten nog een keer benoemd en zal er antwoord worden gegeven op de hoofdvraag.

Om astronavigatie toe te passen voor het bepalen van de plaats, moeten er drie stappen worden ondernomen. Ten eerste moet de positie van een hemellichaam ten opzichte van de horizon worden gemeten. Deze wordt uitgedrukt in de hoek tussen het einde van de horizon, de waarnemer en het hemellichaam. Gedurende de geschiedenis zijn er verschillende meetinstrumenten ontwikkeld om deze hoek te kunnen meten, waaronder de kwadrant, de astrolabium, de Jakobsstaf, de octant en de sextant. In dit onderzoek is vooral gefocust op het gebruik van de sextant. Naast deze hoek is ook het tijdstip van de meting van groot belang, omdat de positie van hemellichamen aan de sterrenhemel veranderlijk is en afhangt van de tijd. Het is daarom erg belangrijk een zeer nauwkeurige bepaling van de tijd te hebben om met behulp van hemellichamen de plaats op aarde te kunnen bepalen. Om meer inzicht te krijgen in astronavigatie in het verleden, is er in dit onderzoek ook ingegaan op de manieren waarop men vroeger de tijd bepaalde, hoewel de instrumenten waarmee dit toen werd gedaan, niet zijn toegepast in het experiment (dit zou zorgen voor te veel variabelen). Ten slotte moet er gebruik worden gemaakt van de bekende positie van het hemellichaam, waarvan de positie wordt bepaald, op het tijdstip van de meting. Deze gegevens staan weergegeven in de Nautical Almanac van het jaar waarin de meting is verricht. Door in de Nautical Almanac de positie van het hemellichaam aan de hemel op het exacte tijdstip van de meting op te zoeken, en deze te combineren met de gemeten hoek, is de locatie te berekenen.

Voor het tweedelige experiment is er eerst zelf een sextant gebouwd, die vervolgens op meerdere locaties is getest, waarbij de bovenstaande stappen zijn ondernomen. De coördinaten die volgden uit berekeningen met de meetresultaten, liepen erg uiteen en verschilden behoorlijk van de werkelijke locatie waarop de meting werd uitgevoerd. De resultaten op de breedtegraad liepen uiteen van 11 graden verschil tot 31 graden verschil met de werkelijke locatie, waardoor het moeilijk te concluderen is hoeveel afwijking de sextant nu precies heeft.

Om terug te komen op de hoofdvraag, kan er geconcludeerd worden dat het mogelijk is astronavigatie met een zelfgemaakt sextant in Nederland toe te passen, maar dat dit onderzoek er niet in geslaagd is een nauwkeurig resultaat te verkrijgen. Er is niet te stellen dat de mogelijkheid om een nauwkeurig resultaat te verkrijgen niet bestaat, alleen dat het in dit profielwerkstuk niet gelukt is.

15 Bronnenlijst

- Admin. (20-12-2011). Geraadpleegd op 30-01-2022. Hoe ver ligt de horizon?
<http://www.fagt.nl/vraag-en-antwoord/hoe-ver-ligt-de-horizon/>
- van Ballegoij, E. Echternach, E. Keeris, R. Mathlener, E. (2021). Geraadpleegd op 29-01-2022. Sterren & planeten 2021, de sterrenhemel van maand tot maand, pagina 9
- Bartlet, M. (2009). Geraadpleegd op 21-07-2021. Astronavigation handbook, P.6
- Blog Over De Aard Van De Ecologie, En De Diergezondheid. (2019). Geraadpleegd op 30-12-2021. Binnen- en buitenplaneten van het zonnestelsel: kenmerken en verschillen.
<https://nl.milanospettacoli.com/binnen-en-buitenplaneten-van-het-zonnestelsel-kenmerken-en-v>
- L. te Brinke, G. de Jong, J. Verbeek, T. van der Broeck, S. Buil, D. Hoekzema, P. Zuurbier (2015). Geraadpleegd op 30-12-2021. Pulsar 3^e editie natuurkunde, 6 VWO, pagina 55
- Buckle, A. (1995-2021). Geraadpleegd op 14-22-2021. Why do we have time zones?
<https://www.timeanddate.com/time/time-zones-history.html>
- Casual navigation- Tips & Reviews. (29-07-2019). Geraadpleegd op 29-7-2021. Sextant tutorial: The principle of the Sextant (video). Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=00ZEIzsl5xk>
- Casual navigation- Tips & Reviews. (29-07-2019). Geraadpleegd op 29-7-2021. Sextant tutorial: The principle of the Sextant (video). Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=00ZEIzsl5xk>
- Casual navigation- Tips & Reviews. (31-07-2019). Geraadpleegd op 29-7-2021. Sextant tutorial: taking sights with a sextant. <https://www.youtube.com/watch?v=7wKhsOQImCY>
- flight-club. (10-09-2014). Geraadpleegd op 29-07-2021. 1 in 60 rule.
<https://www.youtube.com/watch?v=WiXU2OrDeNo>
- Fazekas, A. (9-11-2017). Geraadpleegd op 30-12-2021. Vier spectaculaire kometen scheuren nu langs de aarde – en hoe je ze kunt spotten.
<https://www.nationalgeographic.nl/video/tv/hoeveel-manen-heeft-elke-planeet>
- Georg, S. Geraadpleegd op 6-02-2022. Afstand van avail.pulping.rebounder naar spin.decades.manageable
<https://nl.distance.to/63.1855556,4.8951674999999994/52.372920,%204.524766>
- GeoTV. (29-09-2017). Geraadpleegd op 28-10-2021. Geografische coördinaten (video). Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=trTuBRZWepM>.
- Gronne, J. (10-06-2019). Geraadpleegd op 30-12-2021. Ontdek Jupiter en zijn vier grootste manen. <https://wibnet.nl/heelal/sterren/ontdek-jupiter-en-zijn-vier-grootste-manen>
- Holland, D. (2019). Geraadpleegd op 14-11-2021. Hoe gebruik je de sextant.
<https://dexholland-zeenavigatie.nl/uncategorized/hoe-gebruik-je-een-sextant/>
- JongerenWerkGroep voor Sterrenkunde. Geraadpleegd op 10-11-2021. Astrolabium. Sterrenkunde in Nederland.
<https://www.sterrenkunde.nl/index/encyclopedie/astrolabium.html>.
- Kuuke. (14-05-2020). Geraadpleegd op 11-11-2020. Geschiedenis van de sterrenkunde in China. <https://www.kuuke.nl/geschiedenis-van-de-sterrenkunde-in-china/>
- Leenders, W. (2014). Geraadpleegd op 1-09-2021. Hoe werkt een zonnewijzer.
<http://www.wijzerweb.be/werkingzonnewijzer.html>.
- Marine navigation department. Geraadpleegd op 25-02-2022.
<file:///C:/Users/sara/OneDrive%20-%20Stedelijke%20Scholengemeenschap%20Nijmegen/overig/school/klas%205/pws/The%20Nautical%20Almanac/HO%20249.pdf>
- Onbekend. (22-09-2012). Geraadpleegd op 1-09-2021. Waarmee navigeerde men voor de uitvinding van het kompas op zee?. <https://www.startpagina.nl/v/kunst-cultuur/geschiedenis/vraag/372371>

- Onbekend. (2021). Geraadpleegd op 14-11-2021. Het astrolabium: hoe je er een maakt en het gebruik ervan begrijpt. <https://nl.fusedlearning.com/astrolabe-how-make-one>.
- Onbekend. (2021). Geraadpleegd op 29-04-2021. Octant in kist. https://www.zuiderzeecollectie.nl/object/collect/Zuiderzee_museum-15955.
- Onbekend. (20-10-2011). Geraadpleegd op 1-09-2021. Hoe werkt een waterklok. <https://www.startpagina.nl/v/computers-internet/internet/vraag/254779/waterklok/>.
- Onbekend. (2022). Geraadpleegd op 30-12-2021. Ringen van Uranis. <https://www.reuzenplaneten.nl/uranus/ringen.html>
- Onbekend. (2022). Geraadpleegd op 30-12-2021. Saturnus ringen. <https://www.reuzenplaneten.nl/saturnus/ringen.html>
- Onbekend. (2022). Geraadpleegd op 30-12-2021. Uranus manen. <https://www.reuzenplaneten.nl/uranus/manen.html#:~:text=Uranus%0AManen.%20Uranus%20heeft%2C%20voor%20zover%20bekend%2C%20nu%20in,Oberon%20en%20Titania%20%28ontdekt%20tussen%201787%20en%201948%29>
- Onbekend. (2022). Geraadpleegd op 30-12-2021. Neptunus manen. <https://www.reuzenplaneten.nl/neptunus/manen.html>
- Onbekend. (11-04-2020). Geraadpleegd op 10-11-2021. Tijdsverschil. <https://www.dewereldklok.nl/artikel/tijdsverschil/>
- Onbekend. (2022). Geraadpleegd op 6-02-2022. GPS Coördinaten. <https://www.gps-coordinaten.nl/>
- Onbekend. (2008-2022). Geraadpleegd op 25-02-2022. Coördinaten omrekenen. <https://www.javawa.nl/coords.html>
- Onbekend. Geraadpleegd op 26-02-2022. Komt de zon winter en zomer altijd op op dezelfde plaats aan de horizon?. <https://www.frankdeboosere.be/vragen/vraag100.php#:~:text=De%20zon%20komt%20>
- Onbekend. Geraadpleegd op 1-09-2021. Hoe werkt gps en wat is gps?. <https://www.gps-wijzer.nl/gps-informatie-garmin/wat-is-gps-en-hoe-werkt-gps/>
- Onbekend. (2022). Geraadpleegd op 1-09-2021. Van waterklok tot pulsar: De geschiedenis van tijdmeting. <https://isgeschiedenis.nl/reportage/van-waterklok-tot-pulsar-de-geschiedenis-van-tijdmeting>
- Redaktionen. (3-04-2018). Geraadpleegd op 30-12-2021. Zie de ringen en manen van Saturnus. <https://wibnet.nl/heelal/zonnestelsel/zie-de-ringen-en-manen-van-saturnus>
- De Ro, J. (2003-2021). Geraadpleegd op 10-11-2020. Het bepalen van de zuidelijke hemelpool. Spacepage.be ontdek het heelal. <https://www.spacepage.be/artikelen/sterrenkunde/theoretische-en-toegepaste-sterrenkunde/het-bepalen-van-de-zuidelijke-hemelpool>.
- Schilling, G (Bos, J., Bril, H., Dekker, B., Fontijn, M., Van Gijn, A., Hooijen, E., Vreeling, J.). (2003). Geraadpleegd op 14-11-2021. Handboek sterrenkunde (10e herziende druk).
- Scoutpedia. (13-06-2021). Geraadpleegd op 10-11-2021. _Tijdzone. <https://nl.scoutwiki.org/Tijdzone>
- Scoutpedia.(15-02-2021). Geraadpleegd op 28-10-2021. Lengte- en breedtegraad. <https://nl.scoutwiki.org/Lengte- en breedtegraad#Oorsprong>.
- van der Sluys, M. (2020). Geraadpleegd op 14-11-2021. <http://hemel.waarnemen.com/verklaar.html#e/waarmee-navigeerde-uitvinding-kompas-zee/>.
- van der Sluys, M. (16-01-2021). Geraadpleegd op 29-01-2022. Het sterrenbeeld Pauw (Pav). <http://hemel.waarnemen.com/sterrenbeelden/Pav.html>
- Vaarbewijsexpert.nl. (23-12-2016). Geraadpleegd op 28-10-2021. Vaarbewijs navigeren coördinaten de basis (video). Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=zCltoXiYU6Y>.

- Vonk, M. (23-04-2016). Geraadpleegd op 29-04-2021. Waarom zijn wolken wit? Natuurkunde voor iedereen. <https://www.quantumuniverse.nl/waarom-zijn-wolken-wit>.
- Vonk, M. (24-04-2016). Geraadpleegd op 29-04-2021. Waarom is de lucht blauw en de ochtend rood? Natuurkunde voor iedereen. <https://www.quantumuniverse.nl/waarom-is-de-lucht-blauw-en-de-ochtend-rood>.
- Waelkens, C. (26-03-2014) geraadpleegd op 29-12-2021. Aan welke regelsmoet een planeet zich houden? <https://www.ikhebeenvraag.be/vraag/33940/Aan-welke-regels-moet-een-planeet-zich-houden>
- van der Werf, S. (2016). Geraadpleegd op 28-10-2021. ASTRONAVIGATIE van Columbus tot Willem Barentsz voor de moderne zeiler
- Wikikids. (10-10-2021). Geraadpleegd op 1-09-2021, 14-11-2021. Kompas. <https://wikikids.nl/Kompas>.
- Wikikids. (30-10-2017). Geraadpleegd op 28-10-2021. Koers bepalen op zee. https://wikikids.nl/Koers_bepalen_op_zee
- Wikipedia. (8-11-2021). Geraadpleegd op 13-11-2021. Kwadrant (meetinstrument). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Kwadrant_\(meetinstrument\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Kwadrant_(meetinstrument)).
- Wikipedia. (14-09-2021). Geraadpleegd op 14-11-2021. Astrolabium. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Astrolabium>.
- Wikipedia. (4-08-2021). Geraadpleegd op 14-11-2021. Jakobsstaf. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Jakobsstaf>.
- Wikipedia. (5-08-2021). Geraadpleegd op 14-11-2021. Octant (instrument). [https://en.wikipedia.org/wiki/Octant_\(instrument\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Octant_(instrument)).
- Wikipedia. (13-07-2021). Geraadpleegd op 11-11-2021. Sextant (navigatie). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Sextant_\(navigatie\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Sextant_(navigatie)).
- Wikipedia. (12-09-2020). Geraadpleegd op 1-09-2021. Wateruurwerk. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Wateruurwerk>.
- Wikipedia. (20-04-2021). Geraadpleegd op 10-11-2021. Tijdzone. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Tijdzone>
- Wikipedia. (23-09-2021). Geraadpleegd op 29-04-2021. Zandloper. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Zandloper>.
- Wikipedia. (20-01-2019). Geraadpleegd op 1-09-2021. Onrust (uurwerk). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Onrust_\(uurwerk\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Onrust_(uurwerk)).
- Wikipedia. (19-10-2020). Geraadpleegd op 1-09-2021, 14-11-2021. Nocturlabium. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Nocturlabium>
- Wikipedia. (20-10-2020). Geraadpleegd op 10-11-2020. Sterrenbeeld. <https://nl.wikipedia/wiki/Sterrenbeeld>
- Wikipedia. (15-06-2016). Geraadpleegd op 29-01-2022. Bayer aanduiding. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Bayer-aanduiding>
- Wikipedia. (12-11-2021). Geraadpleegd op 29-01-2022. Johannes Bayer. https://nl.wikipedia.org/wiki/Johannes_B
- Wikipedia. (10-01-2021). Geraadpleegd op 20-12-2021. Orion (sterrenbeeld). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Orion_\(sterrenbeeld\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Orion_(sterrenbeeld))
- Wikipedia. (22-11-2021). Geraadpleegd op 20-12-2021. Kleine Beer (sterrenbeeld). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Kleine_Beer_\(sterrenbeeld\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Kleine_Beer_(sterrenbeeld))
- Wikipedia. (2-09-2021). Geraadpleegd op 20-12-2021. Grote Beer. https://nl.wikipedia.org/wiki/Grote_Beer
- Wikipedia. (9-12-2021). Geraadpleegd op 29-01-2022. Theta Centauri. https://en.wikipedia.org/wiki/Theta_Centauri

- Wikipedia. (13-08-2021). Geraadpleegd op 29-01-2022. Zuiderkruis (sterrenbeeld). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Zuiderkruis_\(sterrenbeeld\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Zuiderkruis_(sterrenbeeld))
- Wikipedia. (4-07-2021). Geraadpleegd op 29-01-2022. Centaur (sterrenbeeld). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Centaur_\(sterrenbeeld\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Centaur_(sterrenbeeld))
- Wikipedia. (22-09-2020). Geraadpleegd op 10-11-2020. Astronavigatie. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Astronavigatie>.
- Wikipedia. (20-10-2020). Geraadpleegd op 11-11-2020. Sterrenbeeld. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Sterrenbeeld>
- Wikipedia. (1-11-2021). Geraadpleegd op 29-12-2021. Zonnestelsel. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Zonnestelsel>
- Wikipedia. (24-12-2021). Geraadpleegd op 29-12-2021. Planeet. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Planeet>
- Wikipedia. (2-01-2022). Geraadpleegd op 30-12-2021. Mars (planeet). https://nl.wikipedia.org/wiki/Mars_%28planeet%29
- Wikipedia. (8-01-2022). Geraadpleegd op 17-01-2022. Maan. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Maan>
- Wikipedia. (17-01-2020). Geraadpleegd op 30-12-2021. Rotatieperiode. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Rotatieperiode>
- Wikipedia. (20-11-2021). Geraadpleegd op 30-12-2021. Mercurius (planeet). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Mercurius_\(planeet\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Mercurius_(planeet))
- Wikipedia. (23-11-2021). Geraadpleegd op 30-12-2021. Venus (planeet). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Venus_\(planeet\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Venus_(planeet))
- Wikipedia. (26-01-2022). Geraadpleegd op 30-12-2021. Aarde (planeet). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Aarde_\(planeet\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Aarde_(planeet))
- Wikipedia. (2-01-2022). Geraadpleegd op 30-12-2021. Mars (planeet). https://nl.wikipedia.org/wiki/Mars_%28planeet%29 (30-12-2021)
- Wikipedia. (15-01-2022). Geraadpleegd op 30-12-2021. Jupiter (planeet). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Jupiter_\(planeet\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Jupiter_(planeet))
- Wikipedia. (14-12-2021). Geraadpleegd op 30-12-2021. Saturnus (planeet). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Saturnus_\(planeet\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Saturnus_(planeet))
- Wikipedia. (20-11-2021). Geraadpleegd op 30-12-2021. Uranus (planeet). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Uranus_\(planeet\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Uranus_(planeet))
- Wikipedia. (7-11-2020). Geraadpleegd op 30-12-2021. Omlooptijd (astronavigatie). [https://nl.wikipedia.org/wiki/Omlooptijd_\(astronomie\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Omlooptijd_(astronomie))
- Wikipedia. (11-07-2021). Geraadpleegd op 28-10-2021. Plaatsbepaling. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Plaatsbepaling>

16 Nawoord

Een profielwerkstuk maken vonden wij een heel bijzonder proces. Het verschilt erg van eerdere schoolopdrachten door het feit dat je onderzoek doet naar een zelfgekozen onderwerp, waar je helemaal zelf over beslist en het kunt sturen in de gewenste richting. Bij ons hield dit in dat we niet kozen voor een doorsnee opbouw van het onderzoek, waarbij er een hypothese wordt getoetst, maar dat er meer sprake was van een bouwproject. Op deze manier deden we toch iets nieuws ten opzichte van opdrachten waarbij we eerder een (klein) onderzoekje hadden moeten doen. Een ander verschil met eerdere projecten was dat we hiermee zeker anderhalf jaar zoet zijn geweest, waardoor het profielwerkstuk het enige project is dat over de zomervakantie heen liep.

Toen we aan het profielwerkstuk begonnen wisten we nog nauwelijks wat van astronavigatie af.

Hierdoor was het moeilijk om te bepalen waar we moesten beginnen. Gelukkig ging het steeds beter in de loop van de tijd en lukte het om structuur aan te brengen. We merkten dat we het onderwerp steeds interessanter gingen vinden naarmate we er meer vanaf wisten en het steeds leuker werd om aan het profielwerkstuk te werken. Gedurende het proces hebben we veel geleerd over het concept astronavigatie in heden en verleden, de sterrenhemel en planeten, maar ook van het bouwproject hebben we veel geleerd. Doordat ieder afzonderlijk onderdeelje speciaal gemaakt moet worden en precies moet passen om de sextant te laten werken, ga je veel meer bewondering koesteren voor techniek. Denk je maar in hoe wonderlijk is dat een machine het doet als hij al niet werkt als er maar één onderdeelje niet past. Daarnaast was het erg spannend om de zelfgemaakte sextant ook zelf te testen en erachter te komen dat het instrument er niet alleen leuk uit ziet, maar ook nog eens functioneert!

(In theorie weten dat de sextant moet werken is één ding, maar ook daadwerkelijk zién dat hij werkt is een ander verhaal)



Figuur 101

Helaas liepen we in eerste instantie vast bij het verwerken van de meetresultaten, waardoor we maar bij enkele metingen een uitkomst kregen, die erg onwaarschijnlijk leek. Gelukkig kregen we hierbij uiteindelijk hulp van Theo Remmerswaal, die ervaring heeft met de berekeningen, waardoor we een stuk beter resultaat verkregen. We zijn hem hier erg dankbaar voor. We beseffen wel dat in ons onderzoek zóveel factoren een rol spelen, dat het te mooi zou zijn om waar te zijn als het resultaat perfect uit zou komen, maar we zijn tevreden met de resultaten die we verkregen hebben. We zijn heel blij dat we het proces hebben mogen meemaken en dat het ondanks de coronamaatregelen mogelijk was om een experiment uit te voeren.

Het was een hele reis, maar na veel overleggen, typen, wissen, verplaatsen en controleren is het gelukt een profielwerkstuk op papier te zetten. Hierin konden we elkaar aanvullen en hebben we elkaar goed kunnen ondersteunen. De samenwerking verliep erg goed en daar zijn we blij om. We zijn ook onze dank verschuldigd aan Evert, die het bouwproject samen met ons heeft uitgevoerd en natuurlijk onze profielwerkstukbegeleiders René en Karin, die tijd voor ons vrij hebben gemaakt en ons hebben bijgestaan als we vastliepen.

Het profielwerkstuk was zeer de moeite waard om te doen. We zijn erachter gekomen dat astronavigatie heel wat meer is dan een blik op de hemel werpen en zien hoe de sterren staan. Bovendien hebben we er naast een mooie ervaring ook een instrument aan over gehouden om in het vervolg onze koers te kunnen bepalen.

We hopen dat jullie het met veel plezier hebben gelezen en dat we u wat hebben kunnen leren.

Met vriendelijke groet,
Aniek Graafsma en Sara Zwijnenberg.

17 Bijlagen

In de onderstaande bijlagen is informatie opgenomen die niet noodzakelijk is voor het verslag, maar wel de moeite waard kan zijn om te lezen. Hierin wordt onder andere extra achtergrondinformatie gegeven, er wordt verslag gedaan van het proces van het experiment en de berekeningen met de meetgegevens staan weergegeven.

Bijlage A: De sterrenbeelden van de Dierenriem

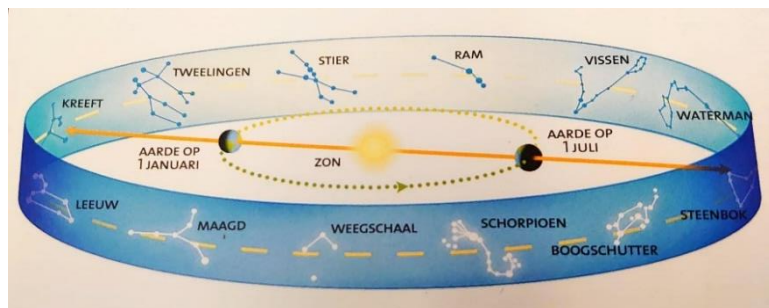
Ram, Stier, Tweelingen, Kreeft, Leeuw, Maagd, Weegschaal, Schorpioen, Boogschutter, Steenbok, Waterman en Vissen zijn bij de meeste mensen wel bekend. Hoewel vrijwel iedereen zijn eigen dierenriemsterrenbeeld wel kent, weten veel mensen niet dat ze ook zichtbaar zijn aan de sterrenhemel. Veel mensen denken bij hun dierenriemsterrenbeeld aan karaktereigenschappen die eraan worden gekoppeld. Over deze vorm van pseudowetenschap, die *Astrologie* wordt genoemd, weiden we verder niet uit in ons profielwerkstuk.

De baan van de planeten in ons zonnestelsel kun je zien als een min of meer plat vlak in een cirkelvorm (cilinder/riem/gordel) om de zon, die zodiak wordt genoemd. De

dierenriemsterrenbeelden liggen hieromheen en zijn te zien wanneer je in de richting van de zon, de maan of de planeten kijkt. Een paar duizend jaar geleden hadden de sterrenbeelden nog geen vaste grenzen. De schijnbare baan van de zon aan de hemel werd toen in twaalf gelijke stukken van 30 graden verdeeld, die min of meer samenvielen met de

dierenriemsterrenbeelden die de 'tekens' van de Dierenriem werden genoemd. Deze kunstmatige indeling van de ecliptica in twaalf gelijke delen, zorgt ervoor dat de zon er altijd precies een maand over doet om een dierenriemteken te doorkruisen. Hierdoor kan een jaar worden opgedeeld in twaalf periodes waarbij aan elke periode een dierenriemsterrenbeeld gekoppeld kan worden. Eind augustus staat de zon bijvoorbeeld in het sterrenbeeld Leeuw (dus tussen het sterrenbeeld en de aarde in), waardoor dit sterrenbeeld in eind augustus niet zichtbaar is, maar een half jaar later hoog aan de hemel staat. Bij het bepalen van jouw dierenriemsterrenbeeld wordt gekeken in welk sterrenbeeld de zon tijdens je geboorte stond. Op je verjaardag is je sterrenbeeld, als het goed is, niet aan de hemel te zien.

Ik gebruik hierboven de woorden 'als het goed is' omdat de invloed van precessie hierbij nog een rol speelt. Precessie is een heel trage verandering van de stand van de draaiingsas van de aarde, te vergelijken met een tol, waardoor de schuine stand van de aarde verandert. Deze tolbeweging zorgt ervoor dat de poolster, de ster die in het noorden recht boven de aardas lijkt te staan, verandert en er een verschuiving optreedt tussen de tekens van de dierenriem. In de periode van een bepaald sterrenbeeld staat de zon dus in de praktijk niet meer in dat sterrenbeeld.



Figuur 102: Zichtbaarheid van de sterrenbeelden door de baan van de aarde om de zon



Figuur 103: Precessie, toevallig wijst de aardas precies in de richting van de poolster

Bijlage B: Chinese sterrenbeelden

Er is veel bewijs dat de hemellichamen in China al veel eerder werden bestudeerd dan in het Westen. Zo zijn er voorbeelden van aardewerk waarop afbeeldingen van de zon zichtbaar zijn uit de Neolithische periode (meer dan 5000 jaar geleden). Ook zijn er op botten en schelpen inkepingen gevonden die sterren voorstellen en er zijn afbeeldingen van supernova-explosies gevonden van 1400 voor Christus. China is tot op de dag van vandaag het enige land, dat gedurende meer dan 4000 jaar onafgebroken astronomische waarnemingen heeft gedaan, wat tot veel astronomische ontdekkingen heeft geleid.

Het bestuderen van de sterrenhemel werd in China hoogstwaarschijnlijk gebruikt om de tijd te bepalen en om een kalender te maken waarop terugkerende gebeurtenissen, zoals de seizoenen en het tijdstip van oogsten, werden vastgesteld. Deze was gebaseerd op de fases van de maan, zoals bij veel andere oude volkeren ook het geval was. Dit geeft echter wel een probleem, omdat een zonnejaar niet door een gelijk aantal maanden te delen is; één zonnejaar bestaat uit 12,37 maanmaanden. Op de westerse kalender worden de maanden waarin het jaar verdeeld is (januari, februari, maart...) nét iets langer gemaakt dan één cyclus van de maan, zodat de seizoenen niet ieder jaar verschillen. Bij de Chinese kalender is dit anders opgelost. Iedere twee of drie jaar heeft de Chinese Kalender namelijk een extra maand.

Naast dit praktische aspect is astronomie in China een belangrijk onderdeel van de cultuur. In het oude China was de traditie dat de heersers en machthebbende personen hun politieke mandaat uit de hemel ontvingen. Hierbij was de Aarde in harmonie laten staan met de Hemel de belangrijkste verantwoordelijkheid van de politieke macht. De mythologische betekenis die de sterren kregen

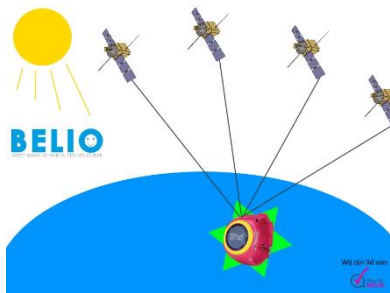


Figuur 104

maakte het mogelijk om voorspellingen te doen die sterk van invloed waren op het dagelijks leven en belangrijke politieke beslissingen, waardoor astronomie een belangrijk politiek instrument werd. Hierom kregen astronomen, astrologen en meteorologen de opdracht om de hemel te bestuderen op zoek naar astrologische voortekenen en astronomische fenomenen. Sterrenkunde was destijds een dominante wetenschap in China. Omdat er in China veel eerder aandacht was voor de sterrenhemel dan in het Westen is het geen verrassing dat het systeem van het koppelen van sterrenbeelden aan mensen in China anders is dan bij ons. In plaats van het jaar op te delen in de twaalf sterrenbeelden, zoals bij ons de tekens van de dierenriem, wordt in China twaalf sterrenbeelden weergegeven

als dieren. Aan een heel jaar één dier toegekend dat elke twaalf jaar terugkomt. Bij het dier van je geboortjaar horen dan bepaalde karaktereigenschappen en een element. Het dier dat je 'bent' is trouwens niet een heel belangrijk aspect van de Chinese astrologie.

Bijlage C: GPS



Figuur 105: Satelliet

Tegenwoordig wordt er bij navigatie vooral gebruik gemaakt van een GPS wat een afkorting is van Global Positioning System. Je zou verwachten dat dit apparaat niet meer van de tijd afhangt maar dat is nog wel het geval. Een GPS werkt namelijk doordat er 24 satellieten zijn die in zes vaste banen om de aarde heen draaien. Deze satellieten zenden informatie uit naar je mobieltje, zoals het nummer en de locatie van de satelliet, maar ook de datum en tijd dat het signaal wordt verstuurd. Het GPS toestel verwerkt deze informatie door middel van het tijdsverschil tussen het moment van uitzenden en het moment dat de ontvanger het signaal heeft gekregen. Nadat dit hele proces is voltooid kan de GPS jouw locatie berekenen.

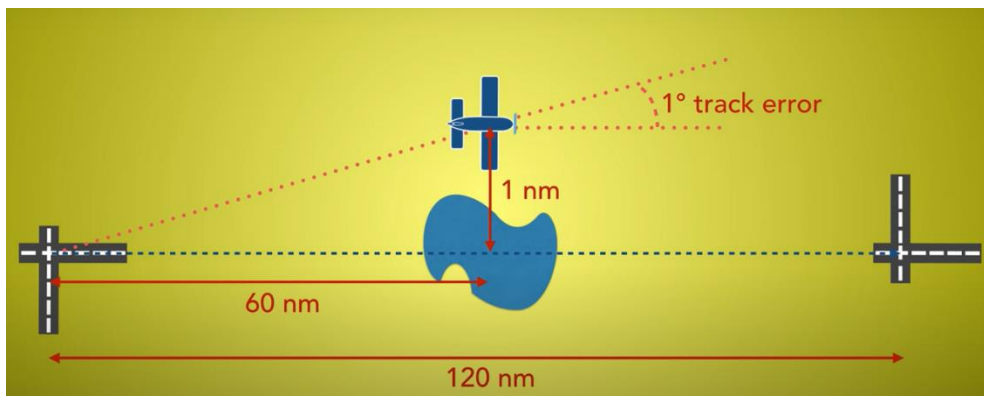
Bijlage D: One in sixty rule

De *one in sixty rule* vormt het basisprincipe van een manier om de plaats te bepalen waarbij van twee bekende plaatsen bekend is dat er een hemellichaam in het zenit staat op het tijdstip van de meting (en ook welk hemellichaam).

Met behulp van een voorbeeld kunnen we laten zien hoe je door middel van de gemeten hoek van deze twee bekende sterren ten opzichte van de horizon de plaats op aarde kunt bepalen.

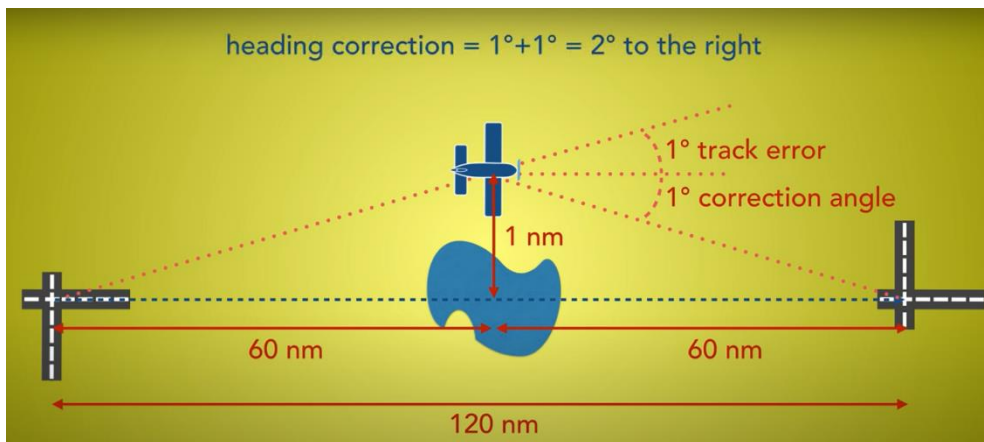
Aan de hand van een gemeten hoek kun je een afstand bepalen. Hiervoor wordt de zogeheten 'one in sixty rule' gebruikt. Deze regel stelt een verhouding van 1 op zestig vast en houdt in dat een hoek van 1° overeenkomt met 60 mijl (of kilometer of millimeter of centimeter). Dit wordt veel toegepast bij vluchten (zie het voorbeeld hieronder):

In het voorbeeld hieronder is de route van het vliegtuig in een rechte lijn van 120 nm over een meertje dat halverwege de route ligt. Het vliegtuig vliegt echter niet in een rechte lijn, maar heeft een afwijking van 1 nm. Omdat zijn afwijking 1 nm is, ten opzichte van een afstand van 60 nm, is de



hoek van zijn afwijking 1° . De *track error* is de hoek die het vliegtuig moet maken om terug te komen op een baan parallel aan de geplande route.

Figuur 106: Het vliegtuig wijkt af van zijn koers



Op dezelfde manier is de hoek te berekenen die het vliegtuig moet maken om op zijn bestemming aan te komen. In dit geval is dit eveneens 1° , omdat de afstand die hij

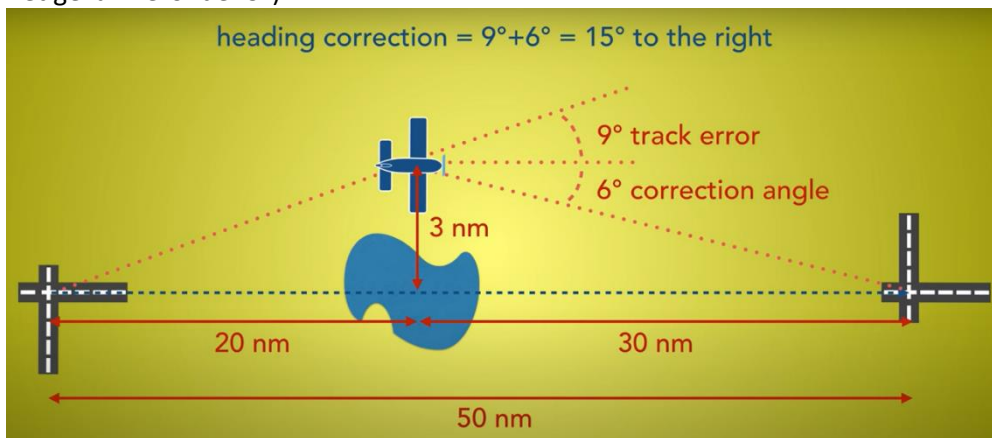
Figuur 107: Correctie om bij de bestemming te komen

nog moet afleggen op het moment dat hij van richting verandert gelijk is aan de afstand die hij heeft afgelegd. Deze hoek noemt men de *correction angle*.

In totaal moet dit vliegtuig dus 2° naar rechts draaien. Deze hoek heet de *heading correction*.

Dit voorbeeld is betrekkelijk eenvoudig, omdat het twee gelijke afstanden betreft, die precies overeenkomen met de regel.

In het volgende voorbeeld wordt de track error bepaald door de factor te berekenen waarmee de afstand vermenigvuldigd moet worden om op 60 uit te komen (in het geval hieronder 3). Door deze factor te vermenigvuldigen met de uitwijking (in het geval hieronder 3), bereken je de track error (in het geval hieronder 9°).



Figuur 108: Dezelfde verhouding bij andere waardes

Op deze manier is er gemakkelijk een formule te beschrijven waarmee de track error en de correction error te berekenen zijn.

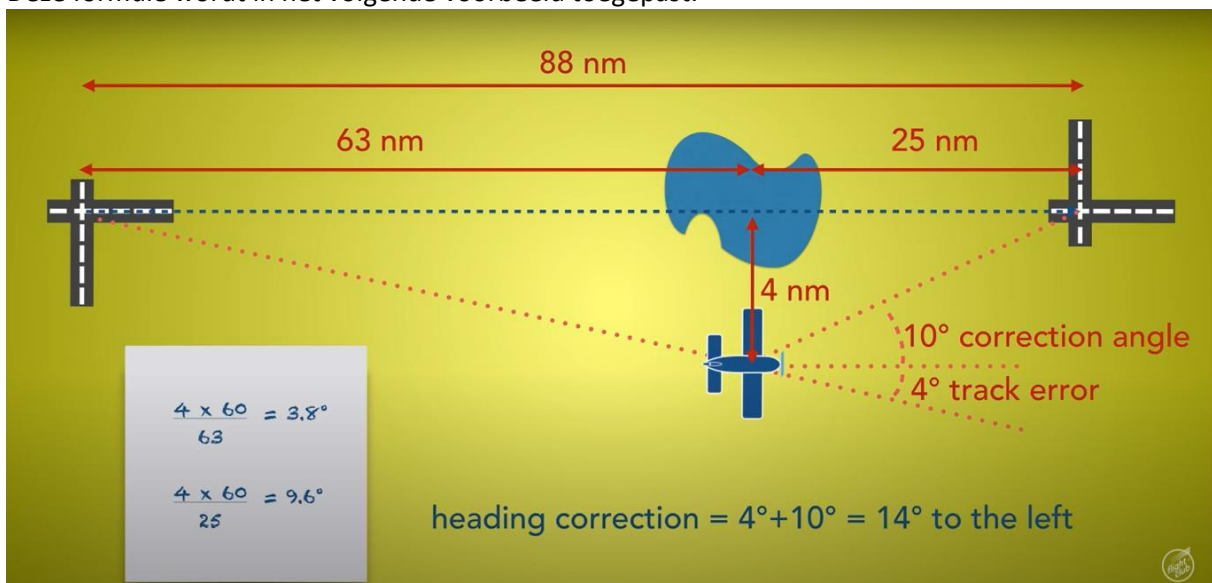
$$\text{track error}^\circ = \frac{60}{\text{af te leggen afstand}} \cdot \text{uitwijking} = \frac{\text{uitwijking} \cdot 60}{\text{af te leggen afstand afstand}}$$

$$\text{correction angle}^\circ = \frac{60}{\text{af te leggen afstand}} \cdot \text{uitwijking} = \frac{\text{uitwijking} \cdot 60}{\text{af te leggen afstand afstand}}$$

$$\text{heading correction}^\circ = \text{track error}^\circ + \text{correction angle}$$

$$= \frac{\text{uitwijking} \cdot 60}{\text{afgelegde afstand}} + \frac{\text{uitwijking} \cdot 60}{\text{af te leggen afstand}}$$

Deze formule wordt in het volgende voorbeeld toegepast.



Figuur 109

Bij astronavigatie wordt de 'One in sixty rule' een beetje anders toegepast. Dit laten we zien aan de hand van het volgende voorbeeld.

Als er op een bepaald moment een (gegeven) ster recht boven Londen staat en een ster recht boven New York (deze maken op de gegeven plaatsen een hoek van 90 graden met de horizon) dan kun je de hoek bepalen die deze sterren maken ten opzichte van de horizon op jouw positie. Stel dat de ster boven Londen een hoek van 70° maakt ten opzichte van je noordwesthorizon en de ster boven New York een hoek van 50° maakt ten opzichte van je horizon in het noordoosten. Dan is er een verschil van 20° vanuit jouw positie ten opzichte van Londen. Deze hoek kun je dan gebruiken bij de 'one in sixty rule'. Hierbij geldt dat 1° overeenkomt met 60 mijl, dus dat 20° overeenkomt met 1200 mijl. Je weet dus dat je positie ergens op 1200 mijl afstand van Londen is. Met andere woorden, je bevindt je op een cirkel met een straal van 1200 mijl en Londen als middelpunt. Hetzelfde geldt voor New York. Het verschil in hoek vanuit jouw positie is 40° , dus de afstand tot New York is 2400 mijl.

Deze gegevens kun je vervolgens als cirkels op een landkaart weergeven, waarna er nog maar twee mogelijke locaties zijn op de snijpunten van de twee cirkels. Omdat deze twee punten in het voorbeeld erg ver van elkaar liggen (vlak boven IJsland en in de buurt van de Azoren), is het waarschijnlijk eenvoudig om te bepalen om welke van de twee plaatsen het gaat.



Figuur 110: Twee mogelijke locaties

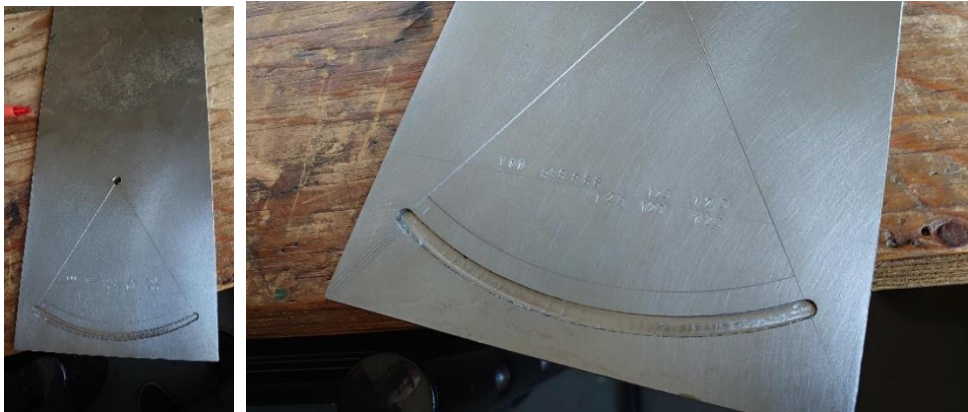
Bijlage E: Fotoverslag bouwproject

De sextant is gemaakt uit een metalen plaat met een wijzer erop die om een centrum draait en op deze manier variabel is in de hoek. Onder deze wijzer zit een sleuf (krom slob gat) waardoor de wijzer met behulp van een pinnetje en een schroefje vastgezet kan worden. Dit systeem werkt dus iets anders dan bij een gangbaar sextant, omdat de klem daarbij meestal aan de onderkant van de wijzer zit. Parallel aan deze sleuf, op een grotere afstand van het centrum, zit een schaalverdeling, waarop uiteindelijk de hoek af te lezen is. Bovenop de wijzer in het middelpunt van de draaiende as komt de indexspiegel. Deze draait dus mee wanneer de wijzer verandert van hoek. Door middel van een schroefmechanisme zijn vervolgens de kijker en de horizonspiegel gemonteerd. Er is bij deze sextant gekozen voor staal als materiaal, omdat metaal veel nauwkeuriger is dan hout. Staal was in dit geval het meest voorhanden en goed te bewerken in de metaalwerkplaats.

Hieronder wordt een uitgebreid proces vermeld waarin de verschillende stappen in het productieproces worden beschreven die met afbeeldingen worden verduidelijkt.

E1: Weekend van zaterdag 9 en zondag 10 oktober:

Hieronder staat een foto van het eerste proefje:



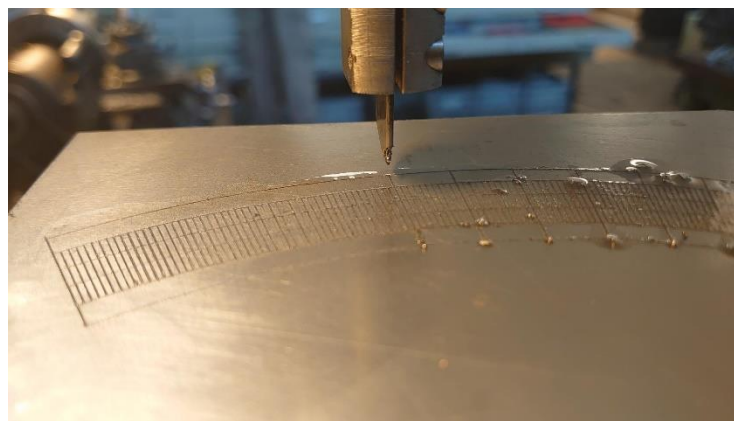
Figuur 111: Proefje met dezelfde dikte stalen plaat als het plan

Hierbij wisten we van tevoren niet hoe we de sleuf het beste konden maken en hoe we de lijntjes goed konden uitkrassen. In dit proefje zie je ook uitgestanste cijfertjes. Deze moesten uiteindelijk nog langs de schaalverdeling geslagen worden, zodat deze ook een nummering heeft.

Bij het uiteindelijk plaatsen van de streepjes hebben we gebruik gemaakt van de verdeeltafel op de freesbank. De freesbank zelf stond niet aan, maar we hebben wel gebruik gemaakt van de freeskop, waar we het beiteltje in hebben geklemd. Door de freeskop omlaag te brengen en vervolgens het werkstuk onder het beiteltje door te schuiven, hebben we de lijntjes in de staalplaat gekrast.



Figuur 112: Schaalverdeling maken



Figuur 113: Resultaat

Het werkstuk was met het gat van de draaiende as ingespannen op het centrum van de verdeelklauw, waardoor we de hoek tussen de gekraste lijntjes exact konden instellen en dit overeenkomt met de straal die we nodig hebben.

De hoek tussen de individuele lijntjes is 0,5 graad. Omdat er op een sextant 120 graden staan aangegeven op een hoek die in werkelijkheid 60 graden is, moeten de lijntjes die de hele graden aangeven op een afstand van 0,5 graad van elkaar zitten. De lijntjes die de 10° graden aangeven (0, 10, 20, etc.) hebben we een langer krasje gegeven en dieper uitgekrast, waardoor het krasje breder werd (want het puntje van het beiteltje loopt taps toe) en beter zichtbaar is. (Ieder ondiep streepje is in intervallen van 3x uitgesneden en ieder diep streepje met intervallen van 5x) Vervolgens hebben we de sleuf uit gefreesd (ook met behulp van de draaiende werking van de verdeelklauw, maar nu met een draaiend freesje).



Figuur 114: Uittrezen van de sleuf

E2: Zaterdag 24 oktober:

De volgende stap was het maken van de wijzer:

Hierbij is het belangrijkste streepje het streepje dat precies met het midden van het asgat is uitgelijnd, omdat deze de graden aanwijst. Op een professioneel sextant zit er aan de onderkant van de wijzer een noniusschaal, waarmee de hoek naast de hele graden ook nog in minuten te bepalen is. Dit werkt met een schroefdraad op een kartelsysteem aan de onderkant van de sextant. Hierbij moet één slag van het schroefje gelijk staan aan een precieze (deel) hoeveelheid graden die de arm aflegt. Hiervoor is één bepaalde tandwielcombinatie nodig op de draaibank om de juiste spoed te krijgen voor het tappen van de schroefdraad. Het uitvogelen van welke tandwielcombinatie dit is, zou heel veel tijd in beslag nemen. Daarom hebben we gekozen voor een andere fijn afstelling. Omdat wij deze methode niet zouden redden qua tijd hebben we het als het ware afgekeken van het principe van een schuifmaat.



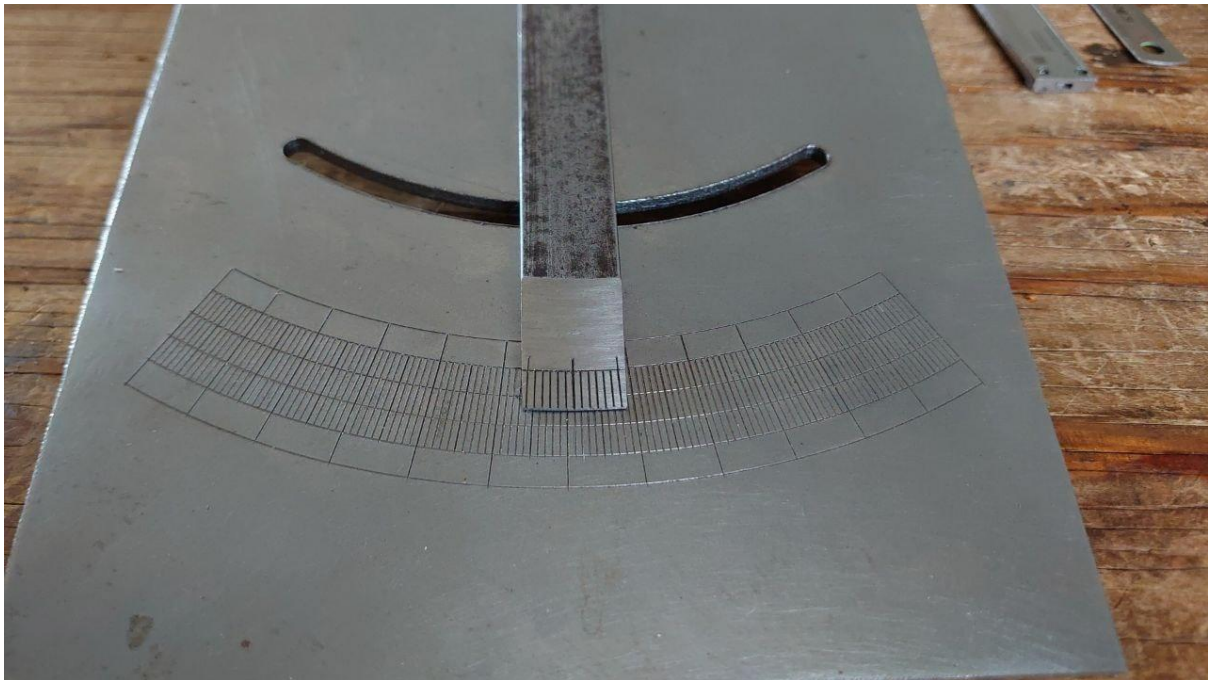
Figuur 115: Wijzer op zijn as

Op de wijzer zitten zowel rechts als links van de middenstreep nog zes kleinere streepjes. Drie aan beide kanten was in feite ook voldoende geweest, maar we hebben er toch voor gekozen zes streepjes aan beide kanten in te krassen, want dat is overzichtelijker en er was ruimte voor. De streepjes zitten niet op een afstand van 0,5 graad van elkaar, zoals de streepjes op de gradenboog, maar op een afstand van 0,5 graad en 5 minuten. Deze wordt afgelezen als 1 graad en 10 minuten per streepje.

Als het middelste streepje (het nulstreepje) precies een hele graad op de grote schaalverdeling eronder aangeeft, maar ergens ertussen zit, kun je de hoek niet op hele graden bepalen. In dat geval kun je met behulp van de streepjes op de wijzer op tientallen minuten nauwkeurig bepalen wat de hoek dan is, door (net als bij een schuifmaat) te kijken welke van de zijstreepjes op de wijzer in het verlengde ligt met een streepje van een hele graad op de schaalverdeling.

Als dit twee streepjes van het midden op de wijzer is, betekent het dat de hoek die je hebt gemeten precies een hele graad plus of min (dat kun je dan zelf wel zien) twintig minuten is. Op deze manier heb je toch nog een fijnere afstelling dan zonder de extra streepjes op de wijzer, maar het is wel minder nauwkeurig dan bij een officieel sextant.

Met de verdeelklauw was het ook mogelijk geweest om de streepjes op de wijzer een marge te geven van 0,5 minuten (die je dan afleest als 1 minuut), maar dan had de wijzer zestig streepjes moeten krijgen en dat was een beetje over de top geweest. Bovendien zou de dikte van de streepjes niet nauwkeurig genoeg zijn geweest om deze precisie in streepjes significant te maken.



Figuur 116: Schaalverdeling op de wijzer en de plaat

De montage van de wijzer op de plaat is gedaan met behulp van een holle schroef. Hiermee zet je de wijzer vast op de plaat. Met het boutje dat je in deze holle schroef kunt schroeven, kan de index spiegel vast op de wijzer gefixeerd worden. Hierdoor is deze wel in de hoek verstelbaar en vast te zetten (daarmee kun je hem precies parallel stellen aan de wijzer), maar hij zit niet vast op de plaat, waardoor de mate van wrijving die de wijzer heeft ten opzichte van de stalen plaat, geen invloed heeft op het spiegeltje en deze zal dan meedraaien als de wijzer van positie wisselt.

E3: Zondag 4 november:

Voor de telescoop hebben we gekozen een bestaande verrekijker te demonteren en één van de twee kijkers te gebruiken.

Om deze aan de plaat te kunnen monteren, hebben we een klemring gemaakt die eromheen past, door uit een blokje metaal een gat te draaien (op de draaibank), waarvan de diameter net iets groter is dan de diameter van de kijker. Vervolgens hebben we er een gleuf in gezaagd, waardoor het gat met behulp van een stelschroefje te verkleinen is en het de verrekijker vast kan klemmen.



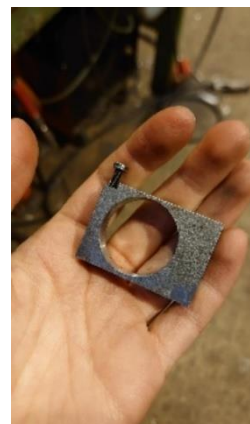
Figuur 117: Gedemonteerde verrekijker



Figuur 118:
Startblokje
klemring



Figuur 119: Gat om de kijker in te klemmen



Figuur 120: Schroefje
om de diameter van
het gat te variëren



Figuur 121: Klemring
en schroefje



Figuur 122: Klemring
met schroefje



Figuur 123: Kijkertje in
de klemring



Figuur 124: Kijkertje in de klemring

E4: Zaterdag 20 november:

Dit weekend zijn we aan de slag gegaan met de framepjes voor de spiegeltjes. Op een sextant zitten twee spiegeltjes. Eén op de wijzer en één in het verlengde van de kijker. Bij de laatste geldt dat hij half doorkijk- is en half spiegelend. Evenals de klemring zijn we bij deze stap begonnen met een stukje metaal. Dit was de basis voor de twee framepjes, die op een later moment van elkaar zijn gescheiden. Ook hebben we de twee verbindingstukken gemaakt. Deze zaten op dit moment nog aan elkaar vast, net zoals dat het geval was met het stukje metaal voor de framepjes. We hebben dit begin van de montage onderdeeljes gemaakt door een aan een staafje één kant vlak af te frezen en hier gaatjes in te boren, waardoor de verbindingstukjes met schroefjes aan de framepjes bevestigd kunnen worden.

Vervolgens hebben we de twee uiteinden van het staafje afgedraaid (diameter wordt kleiner) en er schroefdraad op getapt. Deze uiteinden komen door de plaat en met behulp van de schroefdraad kunnen de spiegeltjes aan de andere kant van de plaat vastgezet worden. Hierbij heeft het ene tussenstukje een grotere afstand tussen de plaat en het framepje dan de ander, omdat er bij het indexspiegeltje nog de wijzer tussen de plaat en het spiegeltje zit. Om de afstand tot de plaat gelijk te houden, moet het montagesstukje van het horizonspiegeltje dus iets groter zijn. Verder hebben we een begin gemaakt met het op maat snijden van de spiegeltjes.



Figuur 125:
Startplaatje voor het
framepje van de
spiegeltjes



Figuur 126: Begin
montageonderdeeltje
spiegeltjes



Figuur 127: Op
maat gesneden
spiegeltjes

E5: Zondag 21 november:

De verbindingstukken die de vorige dag nog uit één stuk bestonden, hebben we deze dag doorgeslepen. Voor de spiegelframepjes zijn we begonnen met het boren van twee gaatjes in het stalen plaatje. De verbindingstukken konden op deze manier met schroefjes aan het metaal gemonteerd worden. Daarna hebben we één van de twee 'bakjes' voor de spiegeltjes met de freesbank uitgefreesd. Dit was het laatste wat we in dit weekend hebben gedaan.



Figuur 128: Montageonderdeeltjes spiegeltjes



Figuur 129: Montage van montageonderdeeltjes aan de framepjes (beginnetje)

Figuur 130: Spiegelbakje uitfrez

E6: Dinsdag 30 november:

Door met de freesbank op dezelfde manier als op de bovenstaande foto een dieper gedeelte uit te frezen, hebben we voor het horizonspiegeltje ook een 'bakje' gemaakt. Het verschil hierbij met het indexspiegeltje is dat de helft van het diepere gedeelte bij het horizonspiegeltje een gat is (dus doorkijkbaar). Verder hebben we de spiegelframepjes op maat gemaakt en de verbindingstukjes eraan vast gesoldeerd.



Figuur 131: Spiegelframepjes met montageonderdeeltjes

E7: Woensdag 1 december tot vrijdag 3 december:

Om het index spiegeltje op de wijzer te monteren hadden we al een hol stukje draadeind. Deze hebben we aan de wijzer vast gesoldeerd, zodat deze niet meer kan roteren. Verder hebben we de montage van de wijzer op de plaat afgemaakt. Van twee staafjes hebben we twee moeren gemaakt, door er de juiste maat schroefdraad in te tappen en het staafje aan twee kanten parallel af te vijlen waardoor ze met een steeksleutel vast gedraaid kunnen worden. Aan de achterkant van de plaat op het stukje draadeind (dat we eerder aan de wijzer vast gesoldeerd hadden en dat door de plaat aan de achterkant uitsteekt) kan de mate van stroefheid worden bepaald door de op maat gemaakte moeren ten opzichte van elkaar vast en los te draaien. Je maakt dan gebruik van het principe dat de achterste moer los wordt gedraaid, op het moment dat de voorste moer vast wordt gedraaid, waardoor hun plaats op het stukje draadeind vast komt te staan. De ruimte tussen het achterste moertje en de plaat bepaalt dan hoe soepel de wijzer over de plaat kan schuiven.

Omdat dit erg nauwkeurig komt, zit er tussen de achterste moer en de plaat een ringetje van verenstaal, waardoor de wijzer met wat meer druk op de plaat vast zit.

Over deze twee moeren heen, kan met een klemsysteem een hendel vast worden gezet, waardoor deze in feite vast zit aan de wijzer. Op deze manier kan de sextant vast gehouden worden aan de hendel en kan de plaat in hoek worden veresteld. Ten slotte hebben we nog een schroefje met een zeshoekig



Figuur 133: Klemsysteem van de hendel

(inbus) gaatje aan de achterkant gemaakt, waarmee het indexspiegeltje ten opzichte van de wijzer vast gezet kan worden. Verder naar onder in dit fotooverslag staat een overzichtelijke foto van de manier waarop de verschillende onderdelen achter elkaar gemonteerd dienen te worden.

Voor het klemsysteem van de wijzer op de plaat hebben we een gat in de wijzer geboord, waardoor vanaf de achterkant een boutje naar voren gestoken kan worden die met een moertje aan de voorkant vast gezet kan worden.



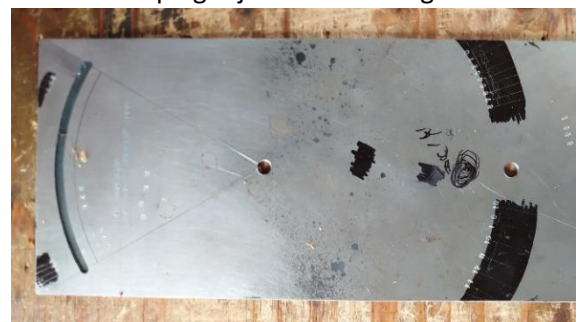
Figuur 132: Hendel aan de achterkant

E8: Zaterdag 4 december:

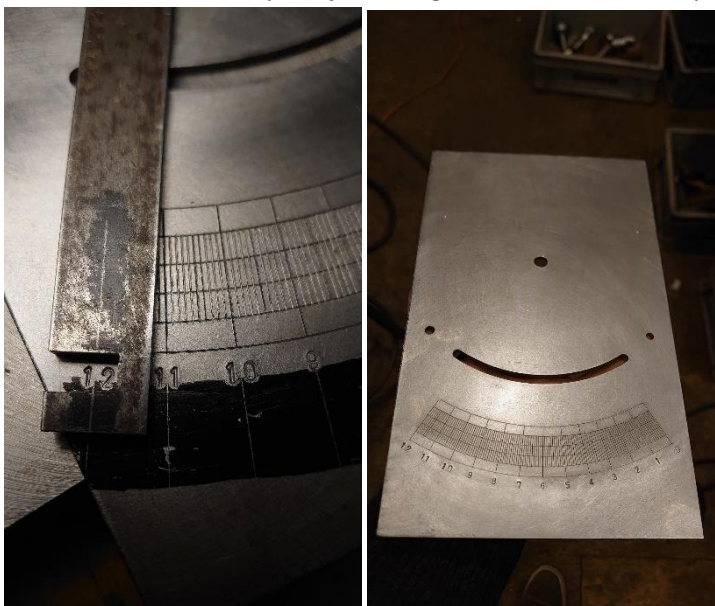
Voor de montage van de kijker en de horizonspiegel hebben we op dezelfde hoogte twee gaten in het frame geboord. Wat die hoogte precies is, komt niet zo nauw, als hij maar hetzelfde is. Bij het boren van deze gaten hebben we er vooral naar gekeken dat het horizonspiegeltje niet in de weg zit bij het verstellen van de wijzer en dat hij bij verschillende standen niet buiten de grenzen van de plaat uitsteekt.

Om de schaalverdeling goed afleesbaar te maken, moeten er ook cijfertjes in staan. Deze kunnen met een pons en een hamer in het metaal worden gestanst, maar dit is moeilijk om goed recht te doen en het ziet er slordig uit als ze scheef staan. Daarom hebben we een systeem bedacht waarbij we de wijzer gebruiken. Omdat de wijzer aan de bovenzijde te lang is, is die kant beschikbaar als geleider.

Aan deze kant hebben we daarom een hapje weg gevijld, waar precies een cijferponsje in past. Hiermee hebben we een proefje gemaakt met dezelfde plaat als waar we al eerder proefjes mee gedaan hebben. Om op de plaat te kunnen aangeven waar we



Figuur 134: Proefje voor het stansen van de cijfertjes



Figuur 135: Stansen van de cijfertjes

precies moeten ponsen, hebben we met watervaste stift een gedeelte gemarkeerd en vervolgens lijntjes uitgekrast, die alleen de stift weg haalt, maar niet in de plaat zelf krast. Op deze manier kun je heel precies lijntjes zichtbaar maken. Na dit proefje hebben we de cijfertjes in het echt gestanst. Hierbij hebben we de getallen 0 tot en met 12 aangegeven die de hoeken van 0 tot en met 120 graden weergeven.

Om de spiegeltjes in de framepjes te laten passen, moesten de hoekjes eerst rond worden afgevijld.

Hierna was het sextant klaar om voor de eerste keer in elkaar gezet te worden. Het zag er nog niet zo blits uit, maar het was goed genoeg om er voor de eerste keer doorheen te kijken. Hieronder staan foto's van het resultaat, waarbij de spiegeltjes nog maar met plakband op het frame vast zitten en de sextant zelf in de bankschroef is geklemd.



Figuur 136: Ronde hoekjes bij de spiegeltjes



Figuur 137: Sextant in de bankschroef

Bij het kijken door het kijkertje voor de eerste keer, hadden we de stand op 0 graden staan, waardoor de twee spiegeltjes parallel staan en er door de kijker één geheel beeld te zien is (het spiegelende deel en het doorkijkdeel van de horizonspiegel vullen elkaar aan). Hiervan hebben we ook foto's, maar doordat we hierbij uitzicht hadden op een spiegel, zagen we onszelf in de weerspiegeling van de spiegel in de verte. Hierdoor kunnen de foto's wat verwarrend zijn.



Figuur 138: Sextant in de bankschroef



Figuur 139: Proefmeting in de bankschroef bij een spiegel



Voor de afwerking, hebben we de wijzer en de plaat opgeschuurd en hem vervolgens geschilderd.



Figuur 140: Zwart spuiten van een aantal onderdelen

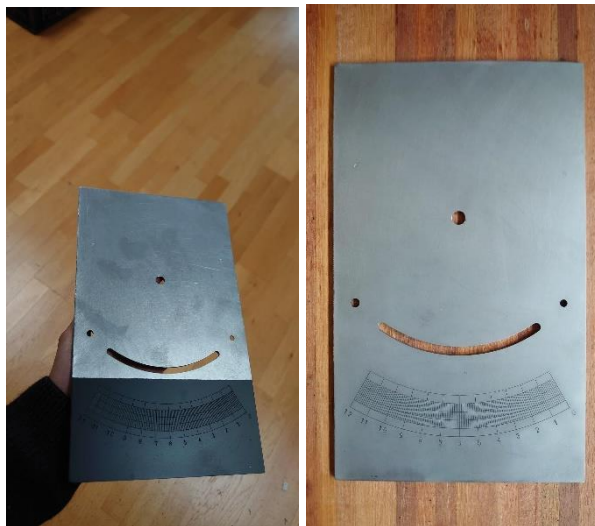
Het plan was om hem daarna weer op te schuren, waardoor er verf in de groefjes zou achterblijven, maar niet op het oppervlak, waardoor de schaalverdeling en de cijferplaat goed op zouden lichten.

E9: Zondag 5 december:

De volgende stap was het inkorten van de wijzer. Tot nu toe hadden we dat niet gedaan en dat bleek erg handig voor het stansen van de cijfertjes. Op dit moment kon het echter wel. Voor het bepalen van de afstand die we moesten zagen vanaf het rotatiepunt van de wijzer, hebben we de diameterpunt van het bevestigingsoppervlak van de spiegel op de wijzer genomen.

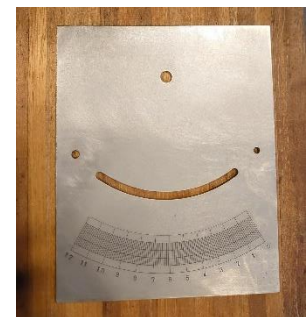


Figuur 141: Ingekorte wijzer



Figuur 142: Frameplaat vóór en na het schuren

hebben deze afsnijding zó ingeschat dat er aan de bovenkant geen onderdelen uitsteken (net als bij de horizon Spiegel).



Figuur 143: Ingekorte frameplaat



Figuur 144: Afwerking spiegel framepjes

bij gemaakt, die strak aan te draaien is met een steeksleutel.

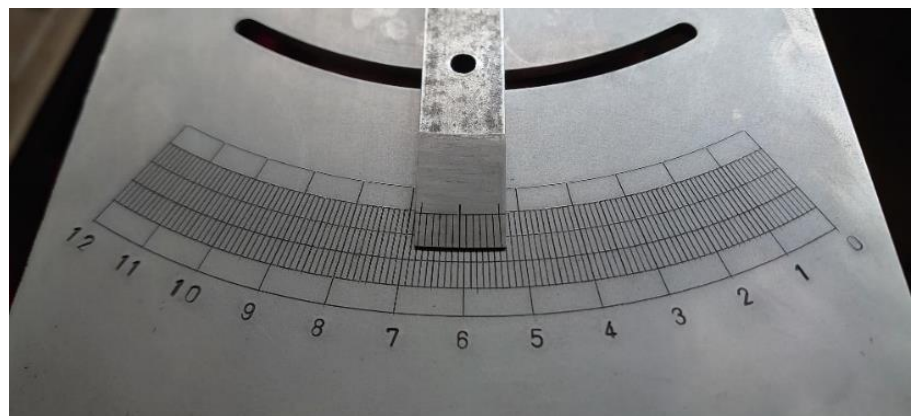
Ten slotte hebben we de wijzer geschuurd, zodat ook hierop de streepjes goed zichtbaar zijn en de schaalverdeling goed af te lezen is.

Om de framepjes van de spiegeltjes nog wat mooier te laten passen, hebben we de hoekjes afgevlind aan de uitstekende kant. We vonden dit beter passen, omdat de spiegeltjes zelf ook ronde hoekjes hebben.

Daarna hebben we het stukje draadeind op de horizon Spiegel ingekort, omdat het anders erg uit zou steken aan de achterkant. Ook hebben we hier



Figuur 145: Bevestigingsschroefje horizon spiegeltje



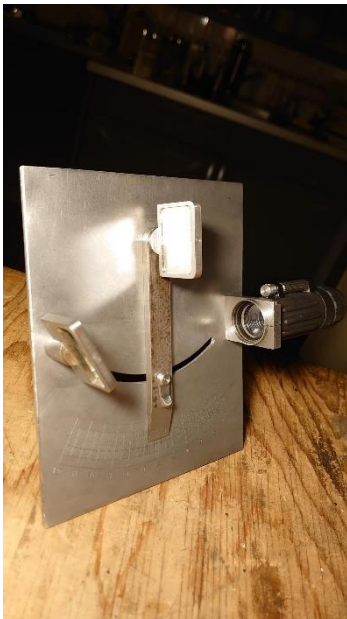
Figuur 146: Schaalverdeling na schuren

Nu kan hij EINDELIJK in elkaar gezet worden!



Figuur 147: Volgorde van montage; index spiegel, wijzer, plaat, veerringetje, moertje, moertje, imbuschroefje, (geklemd) hendel

Eindresultaat:



Figuur 148: (schuin) Vooraanzicht



Figuur 149: Zijaanzicht



Figuur 150: Achteraanzicht

E10: Weekend van zaterdag 11 en zondag 12 december:

De meeste sextanten hebben verdonkeringsglasjes die de gebruiker beschermen tegen het verblindende licht van de zon. Deze zijn normaal gesproken apart voor de horizon Spiegel of de indexspiegel te schuiven, waardoor je ervoor kunt kiezen de helft van het beeld of het hele beeld te verduisteren. Dit vonden we echter te ingewikkeld om te realiseren, daarom hebben we ervoor gekozen een manier te maken waardoor je het gehele beeld kunt verduisteren. Dit hebben we gedaan door een kokertje te maken die precies in het rubberen deel van het kijkertje past en waar één, twee of drie glasjes in te drukken zijn.



Figuur 151: Kijkertje



Figuur 152: Opzetbaar verdonkeringsglasje



Figuur 153: Verdonkeringsglasje op het kijkertje

E12: Zondag 19 december:

Nadat we de sextant in elkaar hadden gezet, moest het nog juist afgesteld worden. Hierbij liepen we tegen het probleem aan dat er sprake is van side error. Hierbij staat de horizon spiegel niet perfect haaks op het frame. Bij een normaal sextant is dit geen probleem, omdat dit met stelschroefjes aan te passen is, maar op onze sextant zitten deze stelschroefjes niet. Daarom hebben wij dit probleem opgelost door aan één kant van het bevestigingsoppervlak van het spiegeltje een dubbelgevouwen papiertje tussen het spiegeltje en de plaat te schuiven. Dit is niet heel exact. Daarom hopen we dit misschien later definitiever te doen door in de spiegelbevestiging deukjes te ponsen, waardoor aan die kant materiaal ophoopt en hij permanent hoger wordt.

In de week tussen het voltooien van de sextant en het afstellen hebben we er meerdere keren doorheen gekeken, waarbij het ons op viel dat we door het vergrotende kijkertje niet goed het spiegelende oppervlak van de horizonsspiegel konden zien. Dit konden we niet goed verklaren, maar omdat het niet goed lukte om dit op te lossen, hebben we het kijkertje (al dan niet tijdelijk) vervangen voor een buisje (dat we nog hadden) met twee draadkruisen erin. Deze konden we met behulp van een verdikkende (klem) ring in hetzelfde klemsysteem klemmen als het oorspronkelijke kijkertje. Hierdoor hadden we gelukkig wel goed zicht. Een probleem hierbij was wel dat de zonneglaasjes die we op maat gemaakt hadden voor het andere kijkertje, niet op dit buisje passen, omdat de diameter verschilt. Om deze reden hebben we een buisje (klemmend) op maat gemaakt, waar de zonneglaasjes in te drukken zijn. Met deze versie van de sextant hebben we uiteindelijk onze metingen gedaan.



*Figuur 154:
Afstellen sextant*



Figuur 155: 'Nieuwe' kijker zonder vergroting



Figuur 156: Draadkruis in de kijker



Figuur 157: Opzetbaar verdonkeringsglaasje



*Figuur 158:
Verdonkeringsglaasje op de kijker*

Bijlage F: Locatie experiment bepalen

Het oorspronkelijke plan was om op 18 december (2021) een meting te verrichten, maar aangezien het de hele dag bewolkt was, was dit uitgesloten. Om toch iets nuttigs te verrichten, zijn we deze dag op zoek gegaan naar een geschikte plaats. Tot dan toe hadden we een aantal opties uitgedacht, maar we hadden nog geen van deze opties in het echt gezien en dus nog geen definitieve beslissing genomen. Hieronder staan de verschillende waarnemingen weergegeven:



Figuur 159: Locatie 1; Aan het uiteinde van de Loonse Waard

We vonden deze locatie niet geschikt, omdat de horizon moeilijk te onderscheiden is door de schaduwen van de bomen tussen de hemel en de horizon.



Figuur 160: Locatie 2; Halverwege de dijk van de Loonse Waard, meer richting Hotel Hoogeerd dan locatie 1

Dit was wat verderop, waar de horizon getekend werd door een watergrens, waardoor deze plek geschikter was dan op locatie 1, maar toch waren we nog niet helemaal tevreden, omdat deze plek niet zo goed bereikbaar is.



Figuur 161: Locatie 3; Loonse Waard, bij Hotel Hoogeerd



Figuur 162: Op de steiger bij locatie 3

Door de steiger, die goede toegankelijkheid betekent en goed zicht op open water leek deze plek ons tamelijk geschikt, maar voor de zekerheid zijn we nog wat verder gaan rondrijden. We hadden immers de tijd en toch geen mogelijkheid om een meting te verrichten.



Figuur 163: Locatie 4; Kraaijenbergse plassen bij Linde (in de richting van Grave)

Hier vonden we het zicht minder goed dan bij locatie 3 en daarom een minder geschikte plaats.



Figuur 164: Locatie 5; Kraaijenbergse plassen (maar dan een stuk verderop)

Deze plek achtten wij erg geschikt, omdat we er erg ver konden kijken en er een brede horizon zichtbaar was.



Figuur 165: Locatie 6; Kraaijenbergse plassen, helemaal aan het einde

Volgens de kaart hadden we hier het beste uitzicht moeten hebben, omdat hierbij in de lengterichting het meeste water zichtbaar was, maar dat viel ons tegen, dus we hebben geconcludeerd dat locatie 5 de beste plek zou zijn om aan het eind van de dag een meting te verrichten.

Bijlage G: Meetgegevens en berekeningen

In deze bijlage staat alle extra informatie met betrekking tot de verwerking van de metingen.

G1: Meting 1 op 20 december 2021 overdag

Exacte gegevens over de meetlocatie:

Afslag 9 van A32 → Ter Idzard

Zijstraat van de Heerenveenseweg

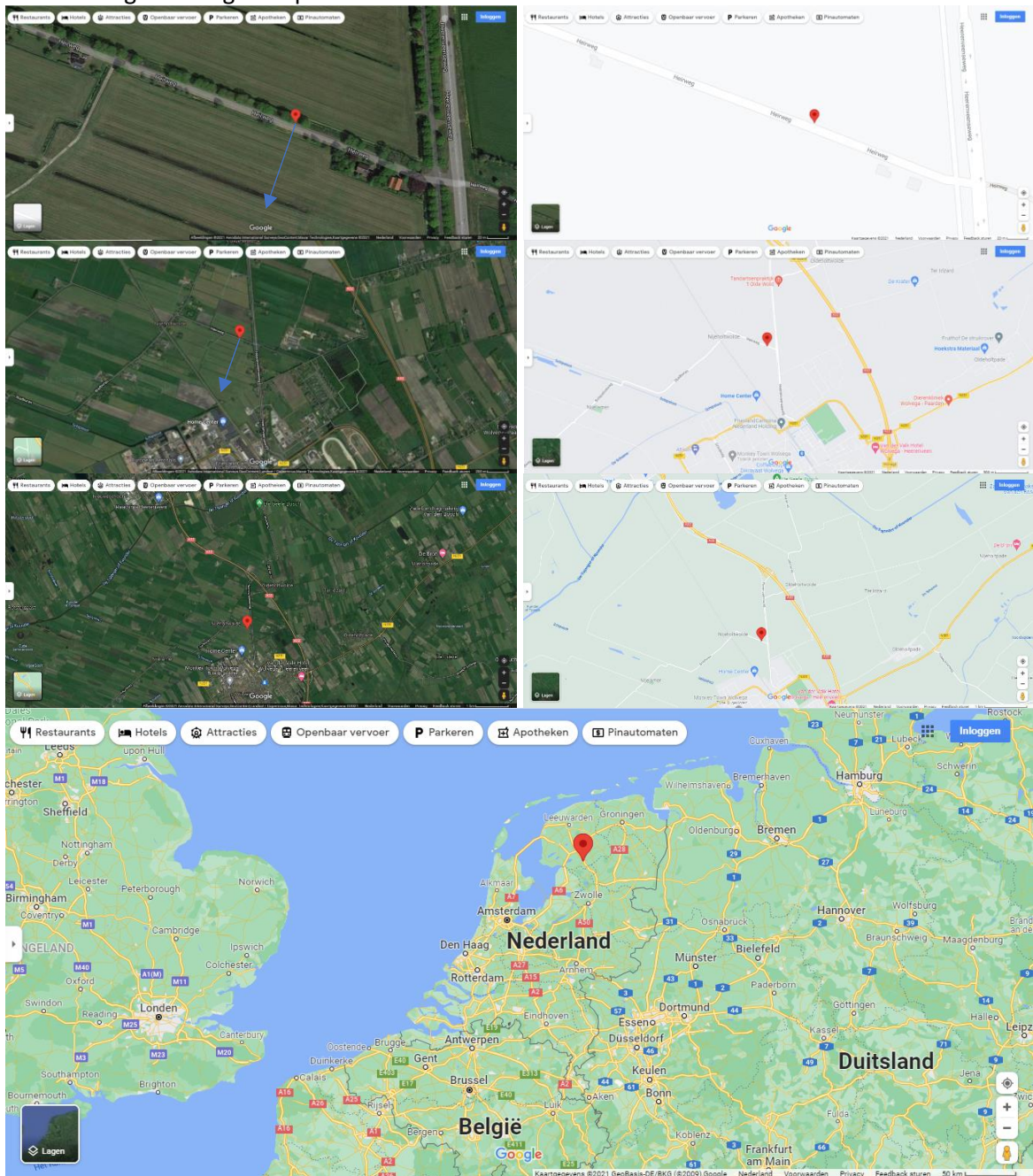
± 50 meter afstand

Batavushuisje Heirweg 57 (Wonderkamers)

8488 GM Nijenholtwolde

Friesland, Nederland.

Volgens Google Maps: 52°53'41.0"N 5°59'49.1"E



Figuur 166: Werkelijke plaats van het verrichten van de eerste metingen, op verschillende schaalgroottes weergegeven. De kijkrichting staat aangeduid met een blauwe pijl in de meest ingezoomde foto's

Metingen en de verwerking daarvan op de meetlocatie met behulp van de zon:

Bereken stappen	Meting 1	Meting 2	Meting 3
Sextant Altitude	9° 45'	8° 35'	7° 50'
Index error	0° 0'	0° 0'	0° 0'
Observed altitude	9° 45'	8° 35'	7° 50'
Hight above the horizon (±)	2 m	2 m	2 m
Correction for dip	-2.' 5	-2.' 5	-2.' 5
Apparent altitude	9° 42.' 5	8° 32.' 5	7° 47.' 5
Lower Limb	X	X	X
Upper Limb	X	X	X
Difference	X	X	X
SD = Difference/2	X	X	X
True Altitude	9° 42.' 5	8° 32.' 5	7° 47.' 5
Universal time	13.35.57	13.45.57	13.58.54
GHA (hours)	15° 34.' 6	15° 34.' 6	15° 34.' 6
GHA (minutes + seconds correction)	+ 8° 44.' 3	+ 11° 29.' 3	+ 14° 43.' 5
GHA	24° 18.' 9	27° 03.' 9	30° 18.' 1
Lengte hulppunt	05° 41.' 1 OL	05° 56.' 1 OL	05° 41.' 9 OL
LHA hulppunt	30° 00.' 0	33° 00.' 0	36° 00.' 0
Universal time	13.35.57	13.45.57	13.58.54
Declination (hours) Nautical Almanak Daily Pages.	23° 26.' 0	23° 26.' 0	23° 26.' 0
Hourly rate of change	d = 0.0 35 min =	d = 0.0 45 min =	d = 0.0 58 min =
Declination (minutes) Nautical Almanak Increments and Corrections.	' + 00° 00.' 0	' + 00° 00.' 0	' + 00° 00.' 0
Declination (nautical almanac)	23° 26.' 0	23° 26.' 0	23° 26.' 0

Vervolg op de volgende pagina

Bereken stappen	Meting 1	Meting 2	Meting 3
Breedte van het hulppunt	53° 00' NB	53° 00' NB	53° 00' NB
LHA hulppunt	30° 00.' 0	33° 00.' 0	36° 00.' 0
tabel HO249 (bij tabel van 53°, declination is contrary to latitude, LHA en graden van de declination (23)			
Hc	09° 39.' 0	08° 46.' 0	07° 49.' 0
d	-57	-56	-56
Z	152°	150°	147°
Als LHA<180, Zn=360-Z	360° -	360° -	360° -
	152°	150°	147°
	=	=	=
	208°	210°	213°
correctie uit tabel 5 voor het aantal minuten van de declinatie (gevonden met d, en de minuten van de declinatie van het hulppunt)	00° 25.' 0	00° 24.' 0	00° 24.' 0
Hc ± bovenstaande correctie (afhankelijk van het teken vóór de d)	09° 39.' 0	08° 46.' 0	07° 49.' 0
	- 00° 25.' 0	- 00° 24.' 0	- 00° 24.' 0
	=	=	=
	09° 14.' 0	08° 22.' 0	07° 25.' 0
true altitude	9° 42.' 5	8° 32.' 5	7° 47.' 5
true altitude - altitude hulppunt	9° 42.' 5	8° 32.' 5	7° 47.' 5
	- 09° 14.' 0	- 08° 22.' 0	- 07° 25.' 0
	=	=	=
	00° 27.' 5	00° 10.' 5	00° 22.' 5
Vershil in hoogte tussen de true altitude op de meetlocatie en de berekende hoogte bij het hulppunt, uitgedrukt in mijl.	27.5 mijl	10.5 mijl	22.5 mijl
Minimale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)	31.2 mijl	8 mijl	27.8 mijl
Maximale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)	62.4 mijl	16 mijl	55.6 mijl

G2: Meting 2 op 20 december 2021 's avonds

Exacte gegevens over de meetlocatie:

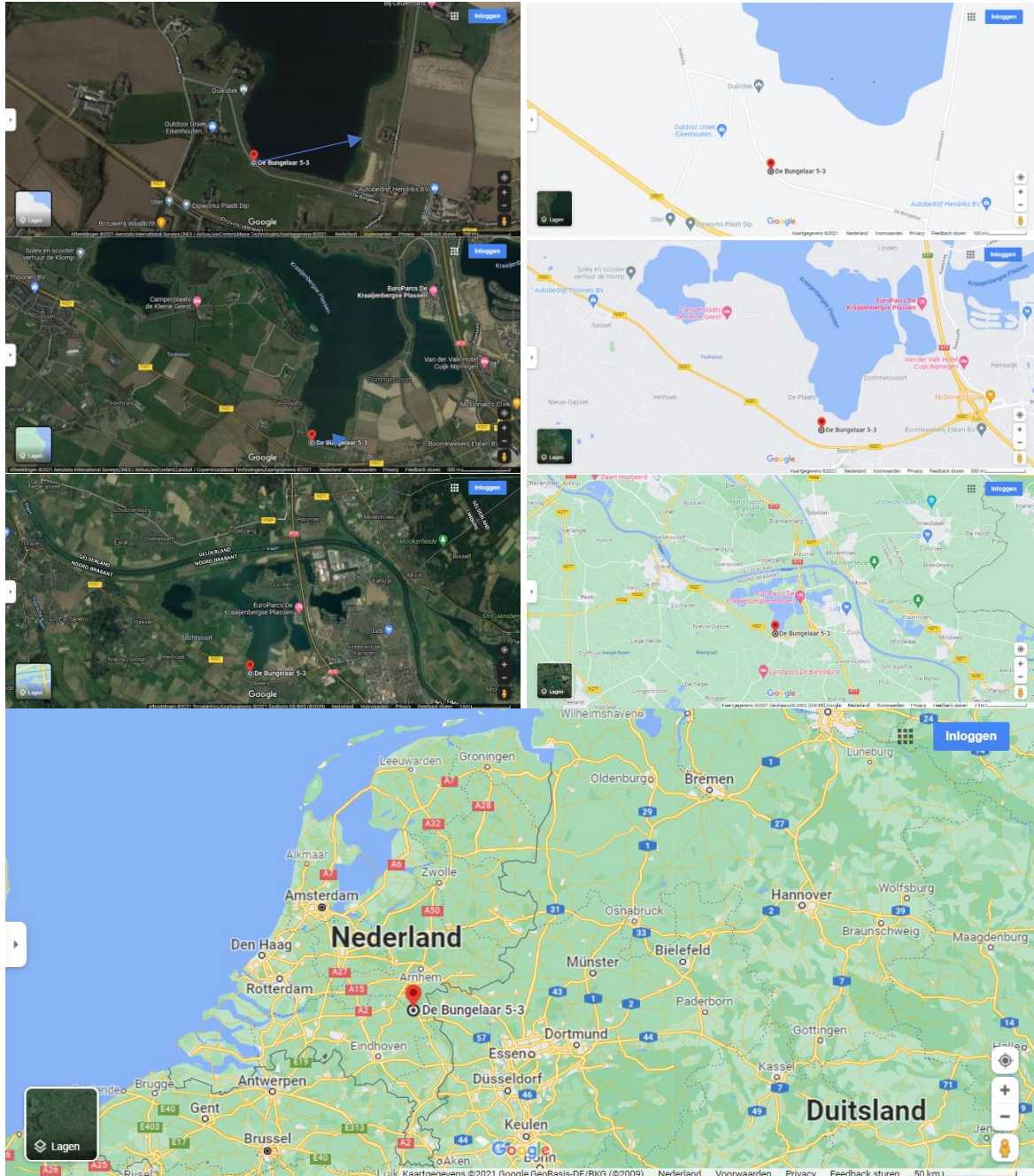
Kraaijenbergse plassen

De Bungelaar 5-3

5437 PM Beers

Noord-Brabant, Nederland

Volgens Google Maps: 51.728537, 5.821253



Figuur 167: Werkelijke plaats van het verrichten van de tweede metingen, op verschillende schaalgroottes weergegeven. De kijkrichting staat aangeduid met een blauwe pijl in de meest ingezoomde foto's

Metingen en de verwerking daarvan op de meetlocatie met behulp van de (volle) maan:

Bereken stappen	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4
Sextant Altitude	33° 0'	35° 50'	35° 20'	36° 30'
Index error	0° 0'	0° 0'	0° 0'	0° 0'
Observed altitude	33° 0'	35° 50'	35° 20'	36° 30'
Hight above the horizon (±)	2 m	2 m	2 m	2 m
Correction for dip	-2.' 5	-2.' 5	-2.' 5	-2.' 5
Apparent altitude	32° 57.' 5	35° 47.' 5	35° 17.' 5	36° 27.' 5
Lower Limb	X	X	X	X
Upper Limb	X	X	X	X
Difference	X	X	X	X
SD = Difference/2	X	X	X	X
True Altitude	32° 57.' 5	35° 47.' 5	35° 17.' 5	36° 27.' 5
Universal time	20.21.36	20.32.32	20.41.11	20.47.36
GHA (hours)	280° 39.' 0	280° 39.' 0	280° 39.' 0	280° 39.' 0
GHA (minutes + seconds correction)	+ 5° 09.' 2	+ 7° 45.' 8	+ 9° 49.' 6	+ 11° 21.' 5
GHA	285° 48.' 2	288° 24.' 8	290° 28.' 6	292° 00.' 5
Lengte hulppunt	05° 11.' 8 OL	05° 35.' 2 OL	05° 31.' 4 OL	05° 59.' 5 OL
LHA hulppunt	291° 00.' 0	294° 00.' 0	296° 00.' 0	298° 00.' 0
Universal time	20.21.36	20.32.32	20.41.11	20.47.36
Declination (hours) Nautical Almanak Daily Pages.	20.00h = N26° 03.' 0	20.00h = N26° 03.' 0	20.00h = N26° 03.' 0	20.00h = N26° 03.' 0
Hourly rate of change	d = 2,0	d = 2,0	d = 2,0	d = 2,0
Declination (minutes) Nautical Almanak Increments and Corrections.	21 minutes = +0.' 7	32 minutes = +1.' 1	41 minutes = +1.' 4	47 minutes = +1.' 6
Declination (nautical almanac)	N26° 03.' 0 + 0.' 7 = N26° 03.' 7	N26° 03.' 0 + 1.' 1 = N26° 04.' 1	N26° 03.' 0 +1.' 4 = N26° 04.' 4	N26° 03.' 0 +1.' 6 = N26° 04.' 6

Vervolg op de volgende pagina

Bereken stappen	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4
Breedte van het hulppunt	52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB
LHA hulppunt	291° 00.' 0	294° 00.' 0	296° 00.' 0	298° 00.' 0
tabel HO249 (bij tabel van 52°, declination, same name as latitude, LHA en graden van de declination (26))				
Hc	32° 56.' 0	34° 47.' 0	36° 01.' 0	37° 15.' 0
d	44	44	44	43
Z	89°	91°	93°	95°
Als LHA<180, Zn=360-Z	89°	91°	93°	95°
correctie uit tabel 5 voor het aantal minuten van de declinatie (gevonden met d, en de minuten van de declinatie van het hulppunt)	00° 02.' 0	00° 03.' 0	00° 03.' 0	00° 03.' 0
Hc ± bovenstaande correctie (afhankelijk van het teken vóór de d)	32° 56.' 0 + 00° 02.' 0 =	34° 47.' 0 + 00° 03.' 0 =	36° 01.' 0 + 00° 03.' 0 =	37° 15.' 0 + 00° 03.' 0 =
	32° 54.' 0	34° 50.' 0	36° 04.' 0	37° 18.' 0
true altitude	32° 57.' 5	35° 47.' 5	35° 17.' 5	36° 27.' 5
true altitude - altitude hulppunt	32° 57.' 5 - 32° 54.' 0 =	35° 47.' 5 - 34° 50.' 0 =	35° 17.' 5 - 36° 04.' 0 =	36° 27.' 5 - 37° 18.' 0 =
	00° 03.' 5	00° 57.' 5	- 00° 46.' 5	- 00° 50.' 5
Verschil in hoogte tussen de true altitude op de meetlocatie en de berekende hoogte bij het hulppunt, uitgedrukt in mijl.	3.5 mijl	57.5 mijl	- 46.5 mijl	- 50.5 mijl
Minimale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)	155.76 mijl	X	X	X
Maximale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)	311.52 mijl	X	X	X

G3: Meting 3 op 21 december 2021 overdag

Exacte gegevens over de meetlocatie:

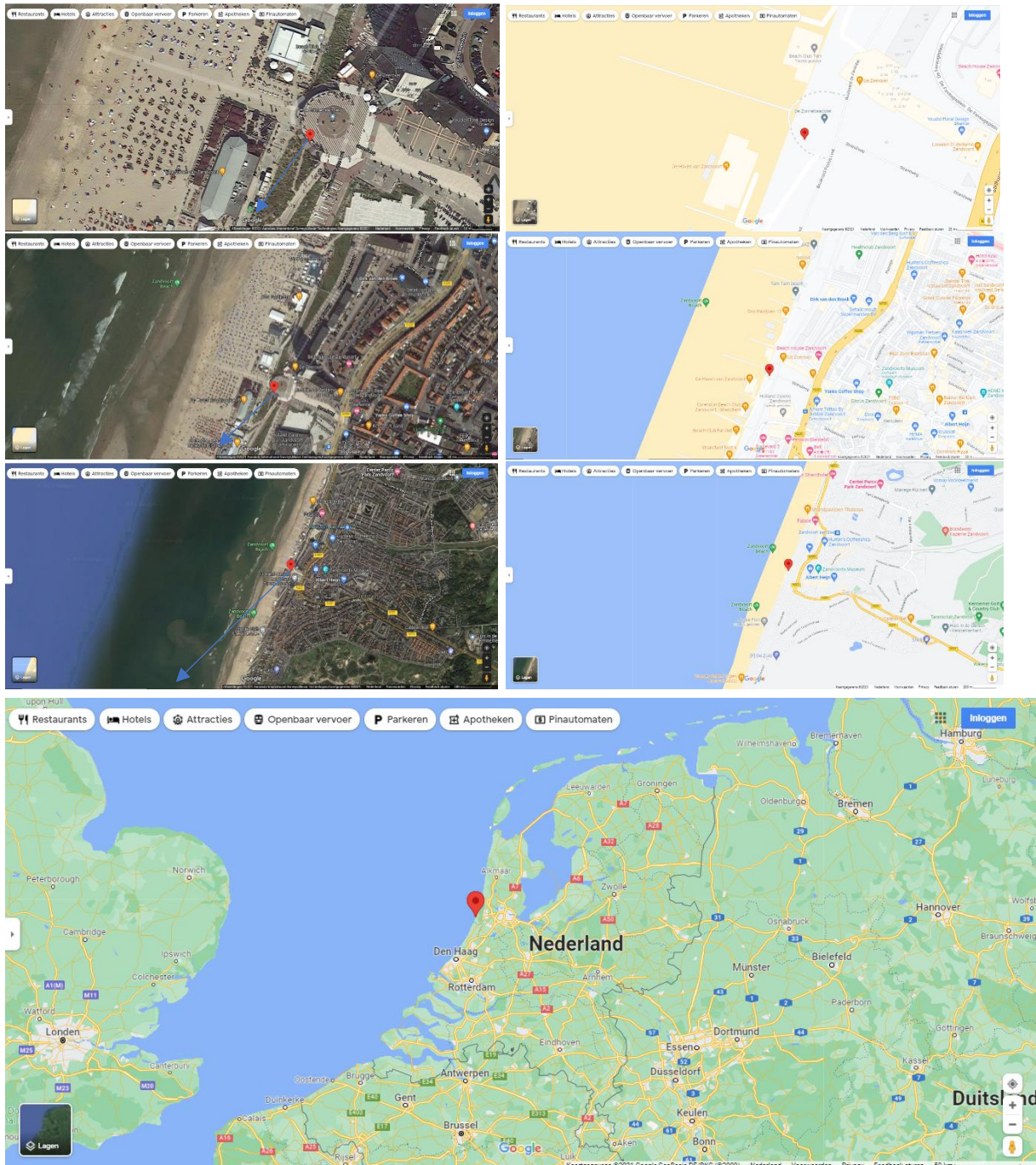
Op het pleintje met de zonnebaadster, derde bankje aan de zuidkant.

Strandweg 2

2042 JA Zandvoort

Noord-Holland, Nederland

Volgens Google Maps 52.372920, 4.524766



Figuur 168: Werkelijke plaats van het verrichten van de derde, vierde en vijfde metingen, op verschillende schaalgroottes weergegeven. De kijkrichting staat aangeduid met een blauwe pijl in de meest ingezoomde foto's

Metingen en verwerking op de meetlocatie met behulp van de zon:

Bereken stappen	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5	Meting 6	Meting 7
Sextant Altitude	5° 50'	7° 45'	4° 50'	5° 0'	3° 50'	4° 0'	3° 0'
Index error	0° 0'	0° 0'	0° 0'	0° 0'	0° 0'	0° 0'	0° 0'
Observed altitude	5° 50'	7° 45'	4° 50'	5° 0'	3° 50'	4° 0'	3° 0'
Hight above the horizon (±)	11 m	11 m	11 m	11 m	11 m	11 m	11 m
Correction for dip	-5.' 9	-5.' 9	-5.' 9	-5.' 9	-5.' 9	-5.' 9	-5.' 9
Apparent altitude	5° 44.' 1	7° 39.' 1	4° 44.' 1	4° 54.' 1	3° 44.' 1	3° 54.' 1	2° 54.' 1
Lower Limb	7.' 5	9.' 5	6.' 0	6.' 3	4.' 0	4.' 4	1.' 7
Upper Limb	-24.' 8	-22.' 8	-26.' 3	-26.' 0	-28.' 3	-27.' 9	-30.' 6
Difference	32.' 3	32.' 3	32.' 3	32.' 3	32.' 3	32.' 3	32.' 3
SD = Difference/2	+16.' 15	+16.' 15	+16.' 15	+16.' 15	+16.' 15	+16.' 15	+16.' 15
True Altitude	6° 00.' 25	7° 55.' 25	5° 00.' 25	5° 10.' 25	4° 00.' 25	4° 10.' 25	3° 10.' 25
Universal time	14.28.42	14.35.06	14.38.27	14.42.14	14.47.23	14.50.43	14.55.32
GHA (hours)	30° 26.' 9	30° 26.' 9	30° 26.' 9	30° 26.' 9	30° 26.' 9	30° 26.' 9	30° 26.' 9
GHA (minutes + seconds correction)	+ 7° 10.' 5	+ 8° 46.' 5	+ 9° 36.' 8	+ 10° 33.' 5	+ 11° 50.' 8	+ 12° 40.' 8	+ 13° 53.' 0
GHA	37° 37.' 4	39° 13.' 4	40° 03.' 7	41° 00.' 4	42° 17.' 7	43° 07.' 7	44° 19.' 9
Lengte hulppunt	04° 22.' 6 OL	04° 46.' 6 OL	04° 56.' 3 OL	04° 59.' 6 OL	04° 42.' 3 OL	04° 52.' 3 OL	04° 40.' 1 OL
LHA hulppunt	42° 00.' 0	44° 00.' 0	45° 00.' 0	46° 00.' 0	47° 00.' 0	48° 00.' 0	49° 00.' 0
Universal time	14.28.42	14.35.06	14.38.27	14.42.14	14.47.23	14.50.43	14.55.32
Declination (hours) Nautical Almanak Daily Pages.	14.00h = 23° 27' 2	14.00h = 23° 27' 2	14.00h = 23° 27' 2	14.00h = 23° 27' 2	14.00h = 23° 27' 2	14.00h = 23° 27' 2	14.00h = 23° 27' 2
Hourly rate of change	d = 0.0	d = 0.0	d = 0.0	d = 0.0	d = 0.0	d = 0.0	d = 0.0
Declination (minutes) Nautical Almanak Increments and Corrections.	28 min = '+ 00° 00.' 0	35 min = '+ 00° 00.' 0	38 min = '+ 00° 00.' 0	42 min = '+ 00° 00.' 0	47 min = '+ 00° 00.' 0	50 min = '+ 00° 00.' 0	55 min = '+ 00° 00.' 0
Declination (nautical almanac)	23° 27' 2	23° 27' 2	23° 27' 2	23° 27' 2	23° 27' 2	23° 27' 2	23° 27' 2

Vervolg op de volgende pagina

Bereken stappen	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5	Meting 6	Meting 7
Breedte van het hulppunt	52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB
LHA hulppunt	42° 00.' 0	44° 00.' 0	45° 00.' 0	46° 00.' 0	47° 00.' 0	48° 00.' 0	49° 00.' 0
tabel HO249 (bij tabel van 52°, declination is contrary to latitude, LHA en graden van de declination (23))							
Hc	06° 30.' 0	05° 44.' 0	05° 20.' 0	04° 55.' 0	04° 30.' 0	04° 05.' 0	03° 40.' 0
d	-54	-55	-54	-54	-53	-53	-53
Z	142°	140°	139°	138°	138°	137°	136°
Als LHA<180, Zn=360-Z	360° -	360° -	360° -	360° -	360° -	360° -	360° -
	142°	140°	139°	138°	138°	137°	136°
	=	=	=	=	=	=	=
	218°	220°	221°	222°	222°	223°	224°
correctie uit tabel 5 voor het aantal minuten van de declinatie (gevonden met d, en de minuten van de declinatie van het hulppunt)	00° 24.' 0	00° 25.' 0	00° 24.' 0	00° 24.' 0	00° 24.' 0	00° 24.' 0	00° 24.' 0
Hc ± bovenstaande correctie (afhankelijk van het teken vóór de d)	06° 30.' 0	05° 44.' 0	05° 20.' 0	04° 55.' 0	04° 30.' 0	04° 05.' 0	03° 40.' 0
	- 00° 24.' 0	- 00° 25.' 0	- 00° 24.' 0	- 00° 24.' 0	- 00° 24.' 0	- 00° 24.' 0	- 00° 24.' 0
	=	=	=	=	=	=	=
	06° 06.' 0	05° 19.' 0	04° 56.' 0	04° 31.' 0	04° 06.' 0	03° 41.' 0	03° 16.' 0
true altitude	6° 00.' 25	7° 55.' 25	5° 00.' 25	5° 10.' 25	4° 00.' 25	4° 10.' 25	3° 10.' 25
true altitude - altitude hulppunt	6° 00.' 25	7° 55.' 25	5° 00.' 25	5° 10.' 25	4° 00.' 25	4° 10.' 25	3° 10.' 25
	- 06° 06.' 0	- 05° 19.' 0	- 04° 56.' 0	- 04° 31.' 0	- 04° 06.' 0	- 03° 41.' 0	- 03° 16.' 0
	=	=	=	=	=	=	=
	- 00° 05.' 35	02° 36.' 25	00° 04.' 25	00° 39.' 25	- 00° 05.' 75	00° 29.' 25	- 00° 05.' 75
Verskil in hoogte tussen de true altitude op de meetlocatie en de berekende hoogte bij het hulppunt, uitgedrukt in mijl.	- 5.35 mijl	156.25 mijl	4.25 mijl	39.25 mijl	- 5.75 mijl	29.25 mijl	- 5.75 mijl
Minimale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)	14 mijl	X	12.4 mijl	X	4.8 mijl	X	3.88 mijl
Maximale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)	28 mijl	X	24.8 mijl	X	9.6 mijl	X	7.76 mijl

G4: Meting 4 op 21 december 2021 bij zonsondergang

Gegevens over de meetlocatie zijn hetzelfde als bij meting 3

Metingen en verwerking op de meetlocatie met behulp van de zonsondergang:

Plaatsing van de zon	Universal time
Zon 'raakt' de horizon	15.27.08
Zon is halverwege de horizon	15.29.05
Zon is onder de horizon	15.30.39

Geen verwerking van deze metingen

G5: Meting 5 op 21 december 2021 's avonds

Gegevens over de meetlocatie zijn hetzelfde als bij meting 3 (en 4)

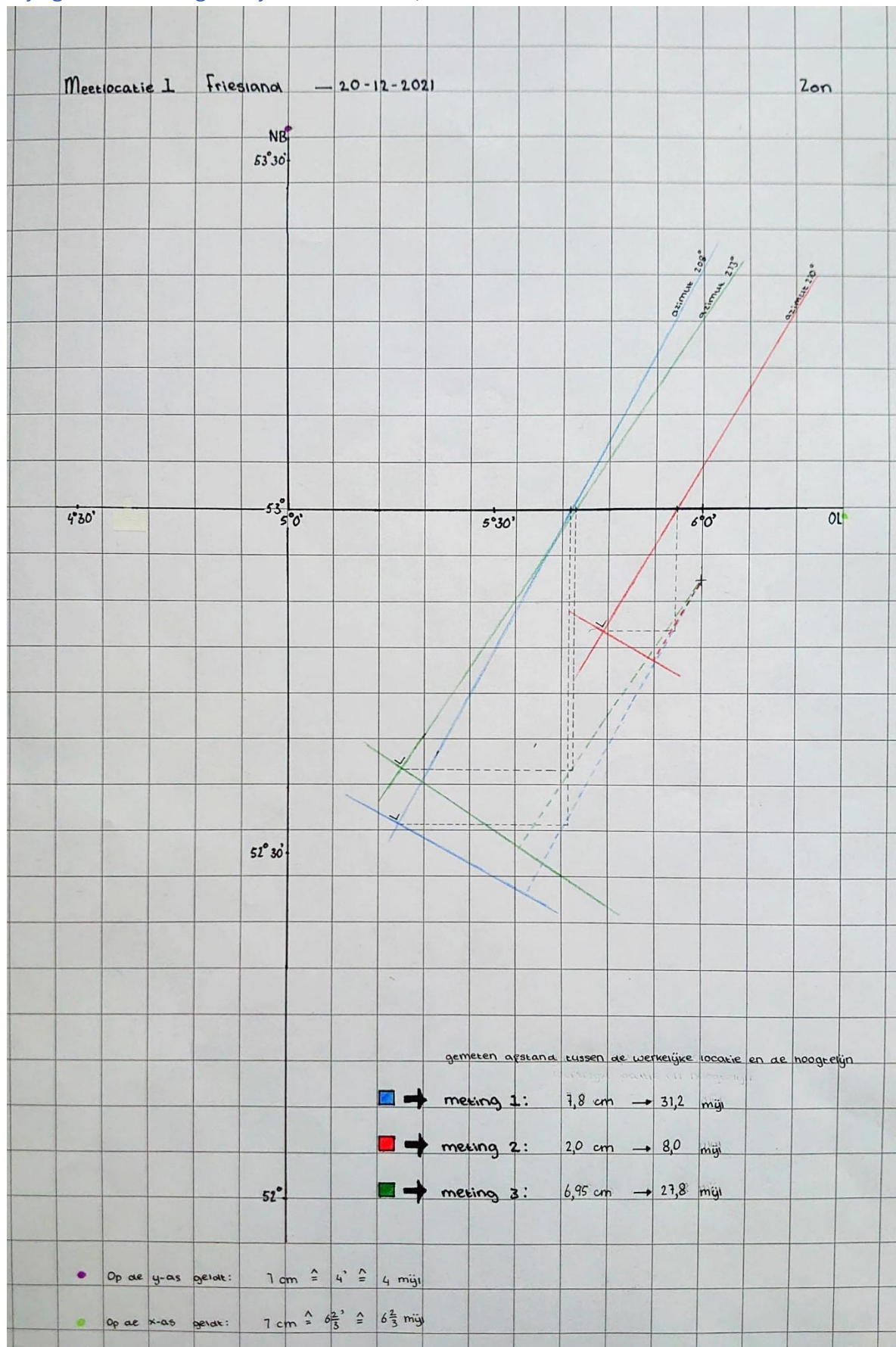
Metingen en verwerking op de meetlocatie met behulp van Venus:

Bereken stappen	Meting 1	Meting 2	Meting 3
Sextant Altitude	4° 30'	3° 35'	3° 30'
Index error	0° 0'	0° 0'	0° 0'
Observed altitude	4° 30'	3° 35'	3° 30'
Hight above the horizon (±)	11 m	11 m	11 m
Correction for dip	-5.'9	-5.'9	-5.'9
Apparent altitude	4° 24.'1	3° 29.'1	3° 24.'1
refraction	-10.'9	-12.'9	-13.'1
	4° 13.'2	3° 16.'2	3° 11'0
Monthly correction (21-12-2021)	+0.'5	+0.'5	+0.'5
True Altitude	4° 13.'7	3° 16.'7	3° 11'5
Universal time	16.53.12	16.58.15	17.01.46
GHA (hours)	32° 06.'3	32° 06.'3	47° 09.'1
GHA (minutes + seconds correction)	+ 13° 18.'0	+ 14° 33.'8	+ 00° 26.'5
GHA	45° 24.'3	46° 40.'1	47° 35.'6
Lengte hulppunt	04° 35.'7 OL	04° 19.'9 OL	04° 24.'4 OL
LHA hulppunt	50° 00.'0	51° 00.'0	52° 00.'0
Universal time	16.53.12	16.58.15	17.01.46
Declination (hours) Nautical Almanak Daily Pages.	16.00h = S20° 34.'9	16.00h = S20° 34.'9	17.00h = S20° 34.'4
Hourly rate of change	d = 0,5	d = 0,5	d = 0,5
Declination (minutes) Nautical Almanak Increments and Corrections.	53 minutes = +0.'4	58 minutes = +0.'5	1 minute = +0.'0
Declination (nautical almanac)	20° 34.'9 - 0.'4 = S20° 34.'5	20° 34.'9 - 0.'5 = S20° 34.'4	S20° 34.'4 - 0.'0 = S20° 34.'4

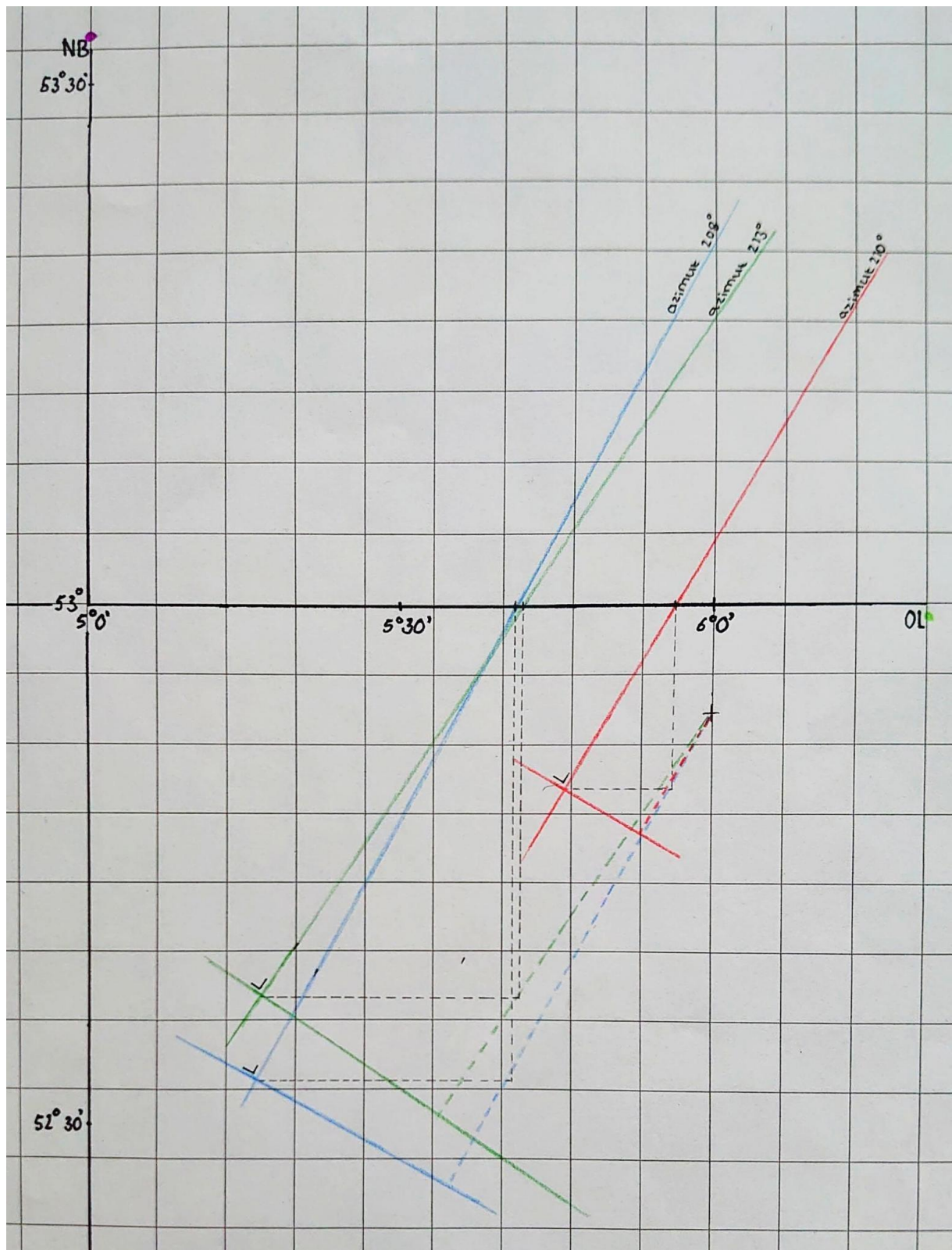
Vervolg op de volgende pagina

Bereken stappen	Meting 1	Meting 2	Meting 3
Breedte van het hulppunt	52° 00' NB	52° 00' NB	52° 00' NB
LHA hulppunt	50° 00.' 0	51° 00.' 0	52° 00.' 0
tabel HO249 (bij tabel van 52°, declination is contrary to latitude, LHA en graden van de declination (20)			
Hc	05° 52.' 0	05° 26.' 0	04° 58.' 0
d	-52	-53	-52
Z	134°	133°	132°
Als LHA<180, Zn=360-Z	360° -	360° -	360° -
	134°	133°	132°
	=	=	=
	226°	227°	228°
correctie uit tabel 5 voor het aantal minuten van de declinatie (gevonden met d, en de minuten van de declinatie van het hulppunt)	00° 29.' 0	00° 30.' 0	00° 29.' 0
Hc ± bovenstaande correctie (afhankelijk van het teken vóór de d)	05° 52.' 0	05° 26.' 0	04° 58.' 0
	- 00° 29.' 0	- 00° 30.' 0	- 00° 29.' 0
	=	=	=
	05° 23.' 0	04° 56.' 0	04° 29.' 0
true altitude	4° 13.' 7	3° 16.' 7	3° 11' 5
true altitude - altitude hulppunt	4° 13.' 7	3° 16.' 7	3° 11' 5
	- 05° 23.' 0	- 04° 56.' 0	- 04° 29.' 0
	=	=	=
	- 01° 09.' 3	- 01° 39.' 3	- 01° 17.' 5
Vershil in hoogte tussen de true altitude op de meetlocatie en de berekende hoogte bij het hulppunt, uitgedrukt in mijl.	- 69.3 mijl	- 99.3 mijl	- 77.5 mijl
Minimale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)	X	X	X
Maximale afwijking van de sextant (tov de werkelijke locatie)	X	X	X

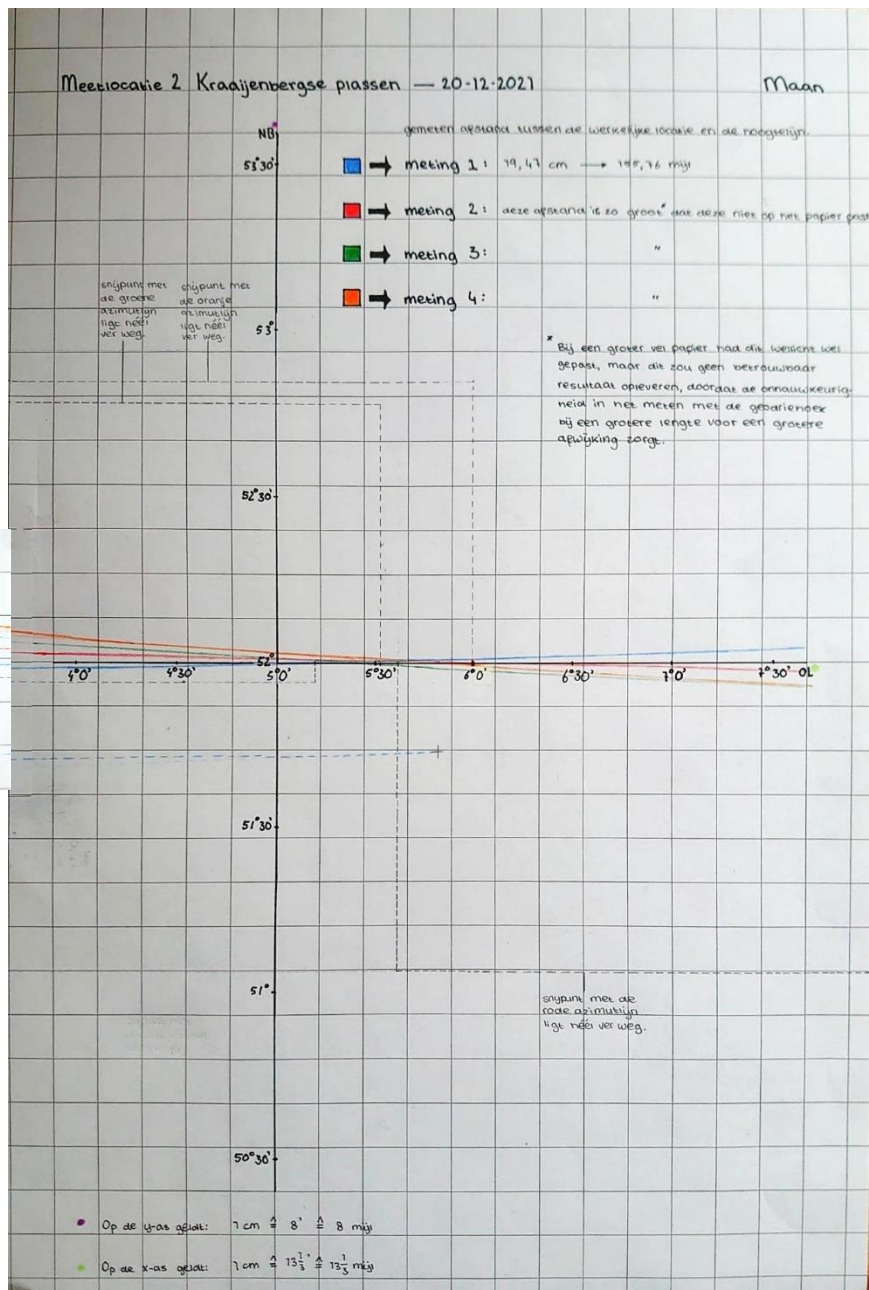
Bijlage H: Tekeningen bij meetlocatie 1, 2 en 3



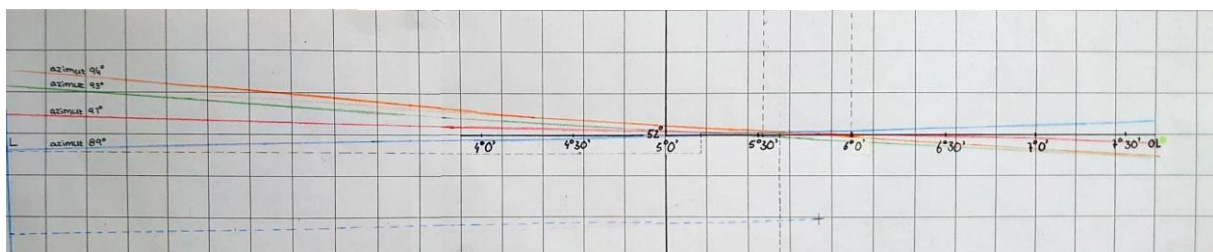
Figuur 169: Weergave metingen meetlocatie 1 in een assenstelsel



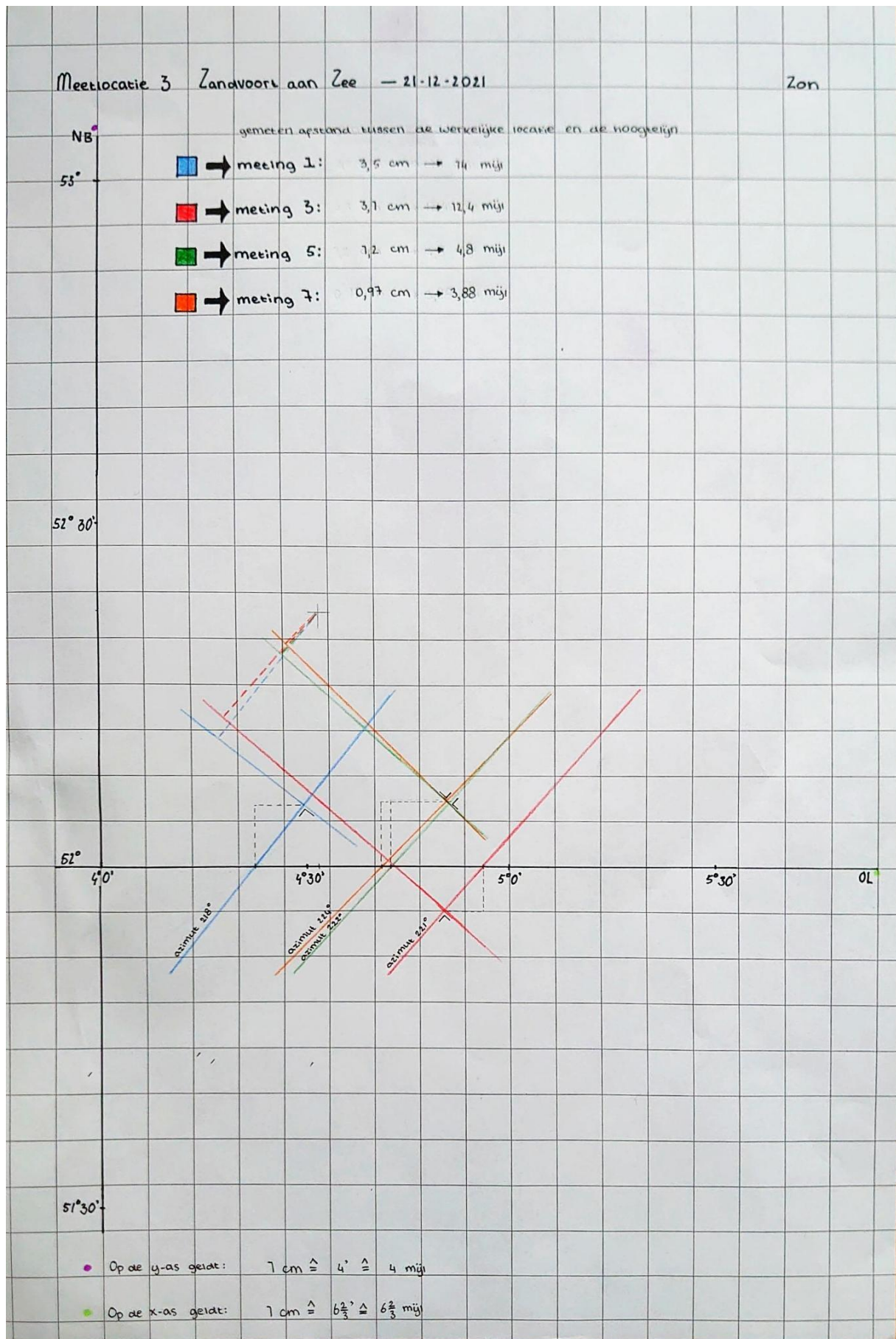
Figuur 170: Figuur 169 ingezoomd



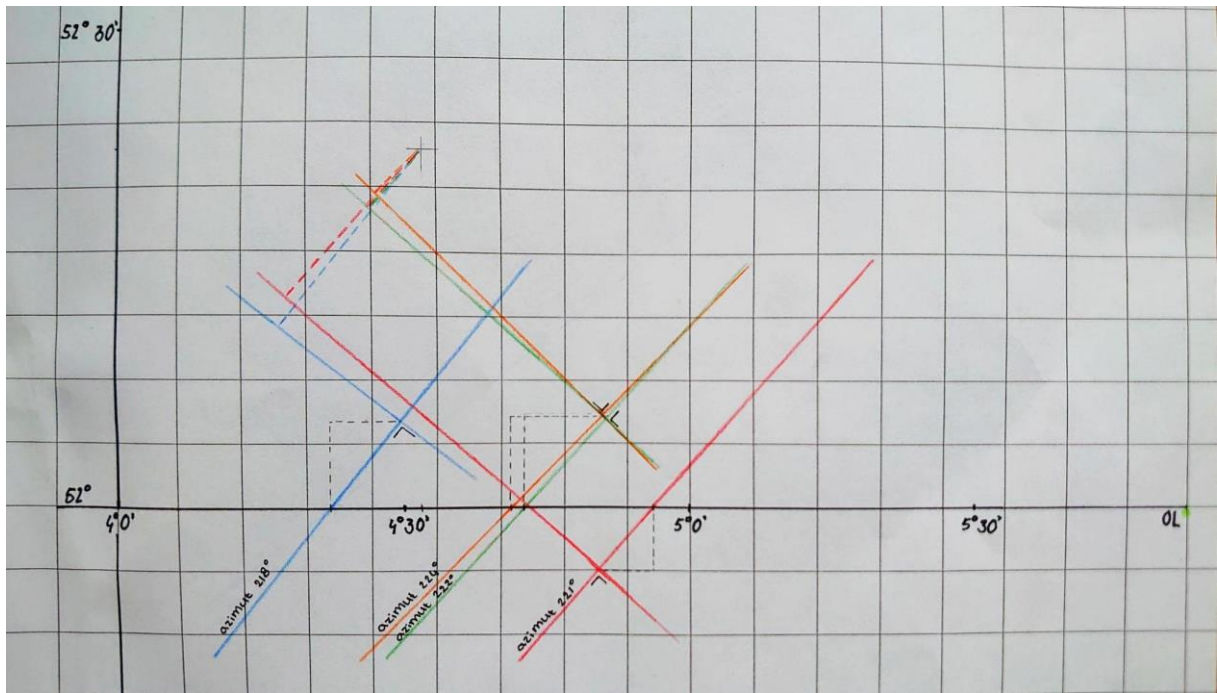
Figuur 171: Weergave metingen meetlocatie 2 in een assenstelsel
NB: De schaalverdeling van de assen is bij dit assenstelsel anders dan bij de assenstelsels van meetlocatie 1 en 3.



Figuur 172: Figuur 171 ingezoomd



Figuur 173: Weergave meting 1,3,5 en 7 van meetlocatie 3 in een assenstelsel



Figuur 174: Figuur 173 ingezoomd