

U herinnert zich zeker nog het bezoek met de MYC aan de tentoonstelling “Recht door zee” in Sint-Niklaas met een uitgebreide collectie sextanten uitgeleend door collega Carl D. Dus hoog tijd om het eens over astronavigatie te hebben. In deze eerste bijdrage hebben we het over het gebruik van de sextant en introduceren enkele nieuwe begrippen. Omdat beelden vaak meer zeggen dan woorden, zijn er meerdere hyperlinks naar video’s opgenomen in de tekst (spijtig genoeg moeten we vaak eerst doorheen reclameboodschappen ...). Neem de tijd om deze te bekijken! Om in de sfeer te komen, starten we met deze video <https://youtu.be/x3jyplZMmeo> .

De onderdelen van de sextant

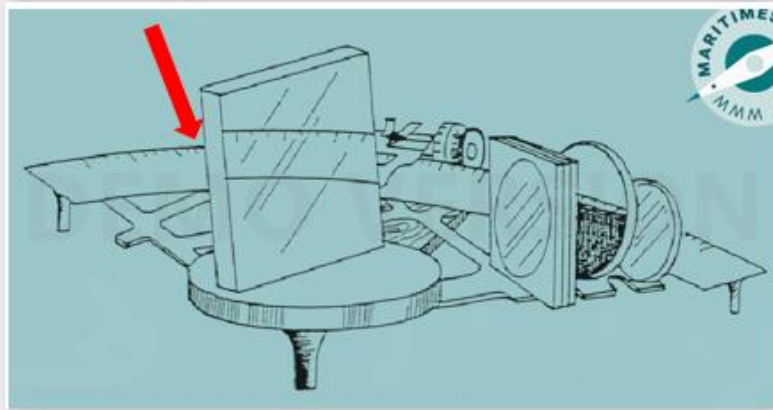


De sextant bestaat uit een **frame (1)** waarop meerdere onderdelen gemonteerd zijn. De **gradenboog (2)** (cirkelsector 60°) met een gradenverdeling van 0° tot 120°. Inderdaad, dankzij het principe van de dubbele reflexie komt een *hoek tussen de twee sextantspiegels* van bv. 20° overeen met een *hoek tussen de lichtstralen* doorheen de spiegels van 40°. De beweegbare **alidade (3) of wijzer** om de hoek te meten. De twee spiegels. **Grote spiegel (4)** (of index mirror) aan de

bovenkant, vast aan de alidade. De **kimspiegel (5)** bestaat uit 2 delen: glas links en spiegel aan de rechterkant. In het spiegelglas wordt het beeld van de grote spiegel weerkaatst. Zo kunnen we het beeld van de zon naast het beeld van de kim (horizon) krijgen. Aan beide spiegels zitten **schroefjes** om bij te regelen. De **nonius (6)** of micrometer (te vergelijken met een schuifpasser) om tot op 0.1' nauwkeurig te meten. De **beschermglazjes** (filters) om het zonlicht te dempen. De **kijker (7)** of lens (vergroot maximaal 4 x). Kijk ook eens naar deze video: <https://youtu.be/00ZEIzsl5xk> .

Het instellen van de sextant

Vaak is men nieuwsgierig en geneigd meteen door de sextant te kijken op zoek naar een of andere ster. Doe dit nog niet! Vooraleer de sextant te gebruiken controleren we eerst enkele zaken. Beide spiegels moeten **loodrecht op het frame** staan en eventueel met de schroefjes worden bijgesteld. Om te controleren of bijvoorbeeld de grote spiegel loodrecht op het frame staat, houden we de sextant horizontaal. De wijzer wordt op 0° geplaatst. Het beeld van de rand in de spiegel en de rechtstreeks geziene rand moeten één lijn vormen.

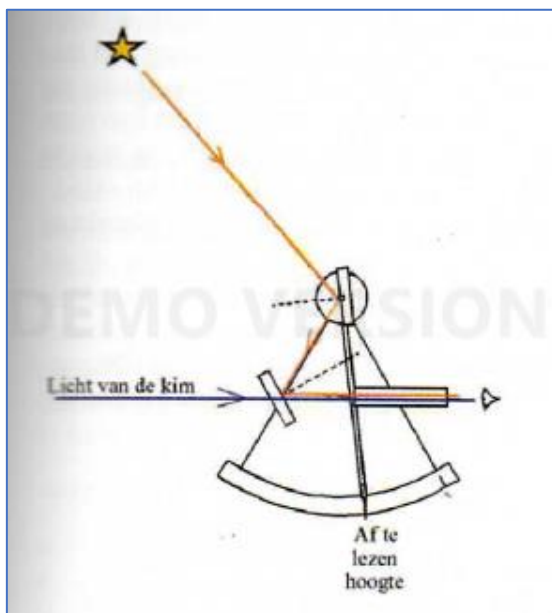


Op deze tekening (maritimesa.org) is te zien dat de rand van de grote spiegel **niet** in het verlengde met het frame ligt.

Figuur 1 De stand van de grote spiegel controleren.

Soms is er sprake van een **“index fout of index error”** (een beetje te vergelijken met de deviatie bij een magnetisch kompas). Dit is wanneer beide spiegels niet volledig evenwijdig ten opzichte van elkaar staan. Dit is te controleren door de wijzer eerst op 0° te zetten, de kijker op de kim (horizon) te richten en na te gaan of het *teruggekaatste beeld* van de kim in lijn licht met het *rechtstreeks beeld* van de kim. Zoniet, met de nonius bijregelen om de beelden op één lijn te krijgen en de *“indexfout”* (zal maximum 5' zijn) noteren, want die hebben we nodig bij verdere berekeningen. We halen er terug een video bij met mooie uitleg over het instellen van de sextant <https://youtu.be/x6Vxq1v31-A>.

De meting zelf



Figuur 2 Het schieten van de zon.

Bv. de hoogte van de zon. Gebruik zonnefilters!

Hou het handvat van de sextant vast met de rechterhand.

De gradenboog op 0° zetten.

Zoek de zon op doorheen de kijker, mét de juiste zonnefilter!

Schuif de gedeblokkeerde nonius naar voor en laat de zon zakken tot de horizon(kim) door het glazen linkerdeel van de kimspiegel te zien is.

De kim en de zon moeten op één lijn gebracht worden door met de nonius te finetunen.

Om heel juist te meten, een heen-en-weer beweging maken met de rechterpols. De zon

maakt dan boogbewegingen net boven de horizon en mag maar één keer de horizon raken.

Dat is het moment om éérst het uur af te lezen.

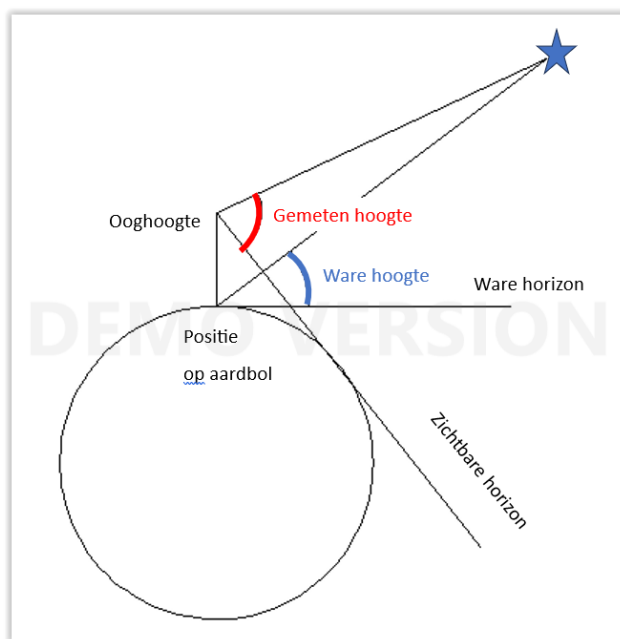
De stand van de wijzer op de rand van de sextant is dan een maat voor de hoogte van de zon boven de horizon in graden (gradenboog) en minuten (nonius).

Niet zo moeilijk, maar vergt toch enige handigheid! Volgende video's die hierbij kunnen helpen <https://youtu.be/fCC-kZ63KqY> en <https://youtu.be/DrAkrGZRb9Y>

Van gemeten sextanthoogte naar de ware hoogte.

Een hoogte (eigenlijk een hoek) gemeten met de sextant kunnen we niet zomaar gebruiken om onze positie te achterhalen. Meerdere variabelen hebben invloed. We houden rekening met onze eigen hoogte boven het zeeoppervlak. Het hoogteverschil heet DIP. Voor zeilers is de DIP van minder belang omdat we toch meestal op zeeniveau staan, behalve natuurlijk als we aan wal vanop een hoogte de sextantmeting doen.

Maar er is meer. De zon (of een ander hemellichaam) bevindt zich niet op de plaats of in de richting waarin wij het waarnemen! Dit komt omdat licht een refractie (breking of afbuiging) heeft. Zien we bijvoorbeeld de zon nog juist boven onze horizon, dan is die eigenlijk al ondergegaan, maar door de (astronomische) refractie, komt het licht van de zon toch boven de horizon! (https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_refraction). Ook de atmosferische omstandigheden (temperatuur, luchtdruk) hebben een invloed. Bij de zon en de maan moet ook nog eens gecorrigeerd worden voor hun schijnbare diameter en die is afhankelijk van de tijd in het jaar. Gelukkig zijn al deze invloeden niet groot en zijn de nodige correcties terug te vinden in tabellen. Zo gaan we van een gemeten sextant hoogte naar een 'ware' hoogte.



Figuur 3 Met sextant gemeten hoogte versus ware hoogte

Schijnbare dagelijkse baan van de hemellichamen, hoogte en azimut.

Om onze positie met behulp van astronavigatie te bepalen hernemen we enkele begrippen. We kennen de dagelijkse rotatie van de aarde om haar eigen as. Om het werkbaar te houden nemen we aan dat de aarde stilstaat en de hemellichamen ronddraaien. Dit levert een

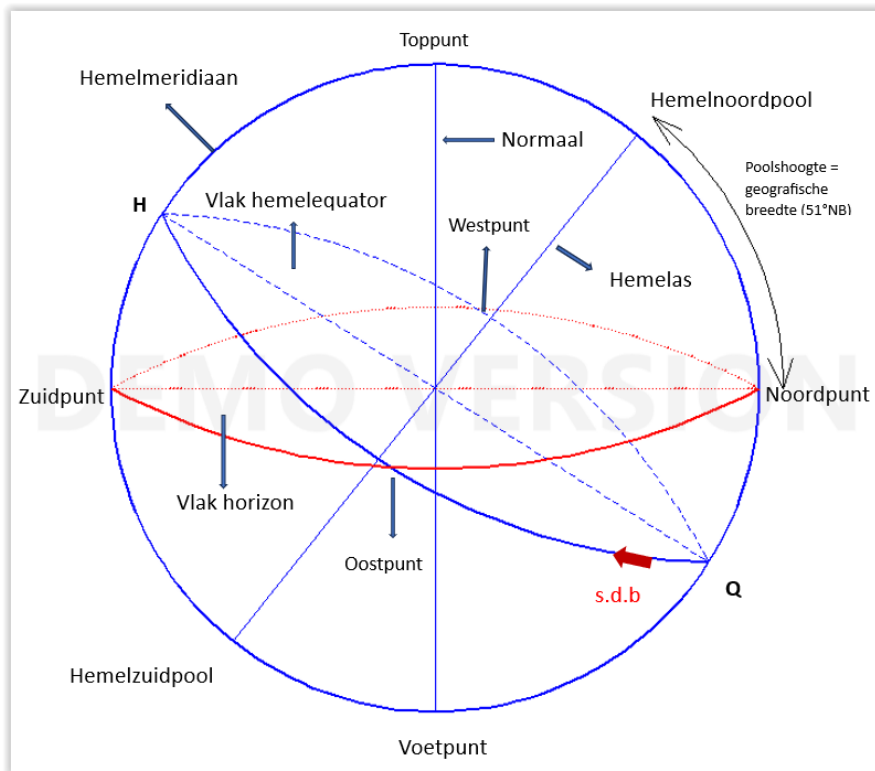
hemelbol op waarbij de hemellichamen tegengesteld aan de aardrotatie bewegen. Daarom spreken we van de *schijnbare dagelijkse beweging* van de hemellichamen. Het lijkt alsof de sterren aan de hemel van oost naar west bewegen. Kijk maar eens naar Orion die s' avonds in het oosten opkomt en s' ochtends in het westen weer ondergaat.

De aarde roteert niet alleen rond haar eigen as, maar ook nog eens rond de zon. Maar het lijkt alsof het de zon is die in een jaar om de aarde draait. Ook nu spreekt men van de *schijnbare jaarlijkse beweging* van de zon. De zon volgt daarbij een schijnbaar vaste weg tussen steeds dezelfde sterren. Op die schijnbare zonnebaan (of ecliptica) ligt ook het "lentepunt" (Aries) die dan evengoed een vaste positie heeft ten opzichte van de sterren en daarom als referentiepunt voor coördinaten wordt gebruikt.

In de astronavigatie wordt gebruik gemaakt van vlakken. Een eerste vlak is het **vlak van de horizon**. Dit is eigenlijk het vlak van onze aardse horizon doorgetrokken tot aan de hemelkoepel. Er wordt meestal gewerkt met de **ware** horizon die door het middelpunt van de aarde gaat. Dit vlak staat loodrecht op de lijn Zenith (**T** of toppunt) en Nadir (**V** of voetpunt). Die loodlijn wordt de *normaal* van de waarnemer genoemd. Het is het verlengde van de lijn middelpunt aarde-waarnemer.

Dit vlak van de horizon heeft een noord- en een zuidpunt (verlenging van de aardse noord- en zuidrichting). Deze punten (N en Z) van de horizon liggen op de grootcirkel aan de hemelkoepel die door Zenith en Nadir van de waarnemer én door de hemelpolen (zie verder) loopt. Het is de hemelmeridiaan van de waarnemer. We hebben trouwens ook een Greenwich (hemel)meridiaan en de meridiaan door het hemellichaam (ook declinatiecirkel genoemd). Deze meridianen verbinden steeds PN met PZ.

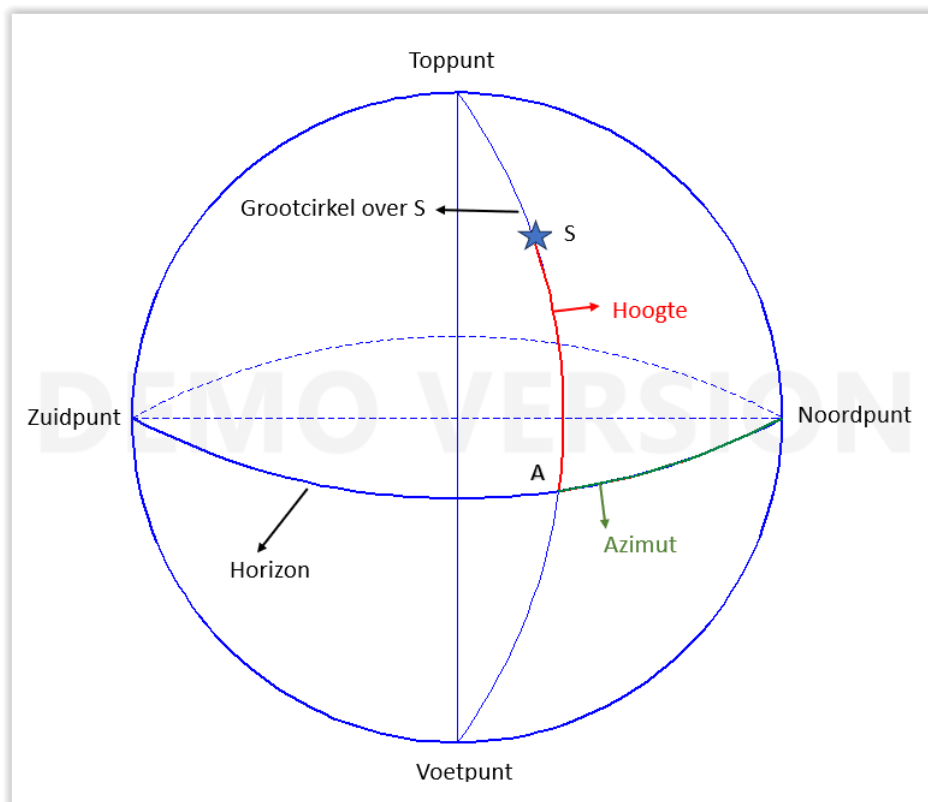
Het tweede **vlak is dat van de hemelequator (HQ)**. Aan de hemelkoepel ligt dichtbij de poolster de hemelnoordpool (PN) en aan de andere kant de hemelzuidpool (PZ). De *hemelas* verbindt beide punten. Het vlak van de hemelequator (HQ) staat loodrecht op de hemelas en is afhankelijk van onze geografische breedte, onze plaats op aarde. Alle hemellichamen hebben een dagelijkse baan evenwijdig aan het vlak van de hemelequator en bewegen in dezelfde richting.



Figuur 4 Vlak van de horizon en vlak van de hemelequator met de richting van de schijnbare dagelijkse beweging.

Op de tekening is ook te zien dat de boog hemelnoordpool (PN)/ noordpunt (N), de poolhoogte, gelijk is aan de hemelbreedte(H/T) en geografische breedte of breedte van de waarnemer, hier bv. 51° NB. Dit is interessant want zo kunnen we uit de hoogte van de Poolster onze latitude afleiden. Hoe meer noordwaarts we ons bevinden hoe meer het vlak van de hemelequator en dat van de horizon samenvallen. Wij zien de sterrenhemel op 51°NB 'gekanteld' draaien rond de poolster, maar dichterbij de noordpool draait de sterrenhemel als een mooi schijfvormig hemeldak boven ons hoofd. Afhankelijk van onze plaats op aarde zien we eenzelfde ster andere banen afleggen! Trouwens, niet alleen met de Poolster kunnen we onze breedte bepalen, we kunnen dit ook doen met de zon als we erin slagen met de sextant de hoogte van de zon te meten precies op het moment dat de zon in haar hoogste punt (zonsdoorgang) staat.

Bij het vlak van de horizon horen de coördinaten **hoogte** en peiling of **azimut**. We trekken hiervoor een grootcirkel (cirkel die het middelpunt van de aarde als middelpunt heeft) door T en V over het hemellichaam (S). De hoogte is dan de boog van die grootcirkel vanaf de horizon (punt A) tot aan het hemellichaam. Het is de hoogte van het hemellichaam boven de ware horizon. Het azimut (of ware peiling) is de boog van de horizon van noordpunt N (= punt onder de poolster op de horizon) tot A (punt waar de grootcirkel van het hemellichaam de horizon snijdt). Het is de oostelijke afstand in graden van 0° tot 360° vanaf het noordpunt tot het punt recht onder het hemellichaam. Het geeft de kompasrichting aan waarin het hemellichaam ligt. Meteen is duidelijk dat het azimut ook kan gebruikt worden om ons (magnetisch) kompas te controleren.

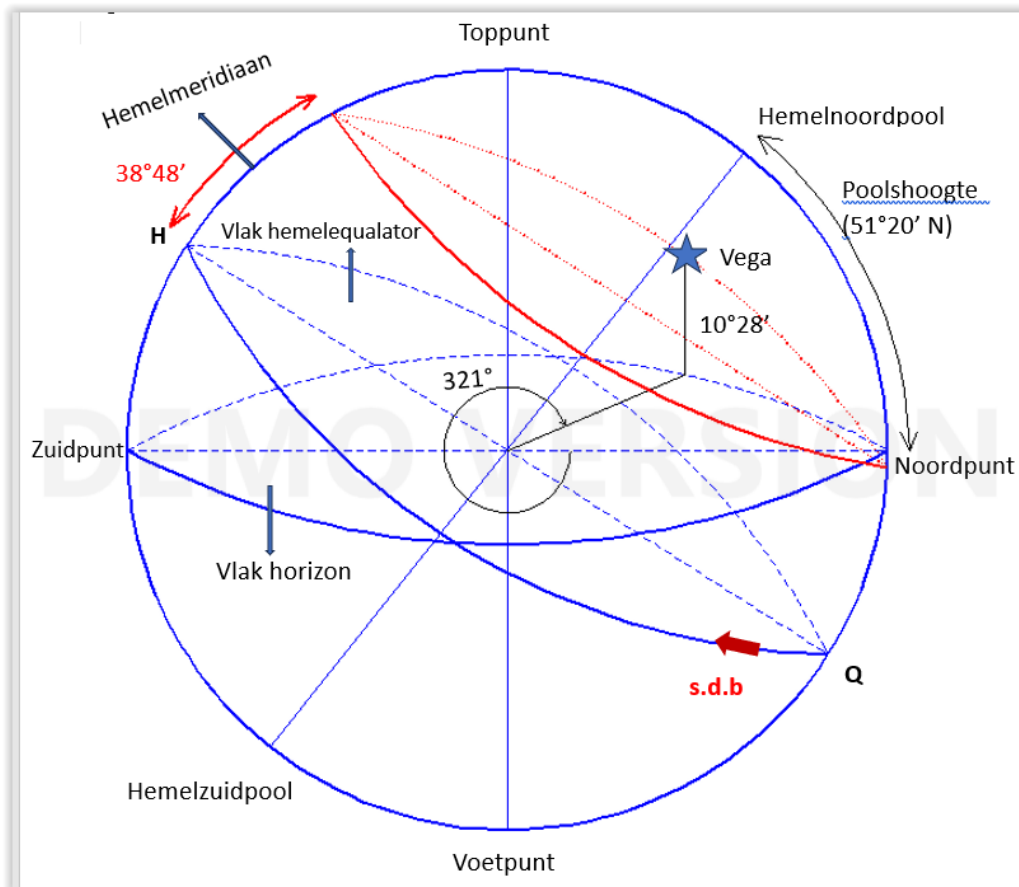


Figuur 5 Hoogte en azimut van een hemellichaam vanaf het vlak van de horizon.

Ten gevolge van de aardrotatie is de sterrenhemel voortdurend in beweging en veranderen de hoogte en het azimut voortdurend. Men zoekt dus naar coördinaten die ongewijzigd blijven, ongeacht datum, tijdstip en plaats: **declinatie** en **uurhoek** (hour angle). Deze coördinaten horen bij het vlak van de hemelequator.

Declinatie is de boog van de cirkel vanaf de hemelequator tot aan het hemellichaam en gaat van -90° tot $+90^\circ$. Een hemellichaam boven de hemelequator heeft een 'positieve' declinatie en onder de hemelequator een 'negatieve' declinatie. Declinatie is de hoogte van het hemellichaam ten opzichte van de hemelequator en als dusdanig te vergelijken met onze noorderbreedte. Vanwege de grote afstand blijft de declinatie van een ster nagenoeg stabiel. De declinatie van de zon verandert echter van uur tot uur. Dit is interessant want nu kunnen we uit de declinatie van de zon de tijd bepalen.

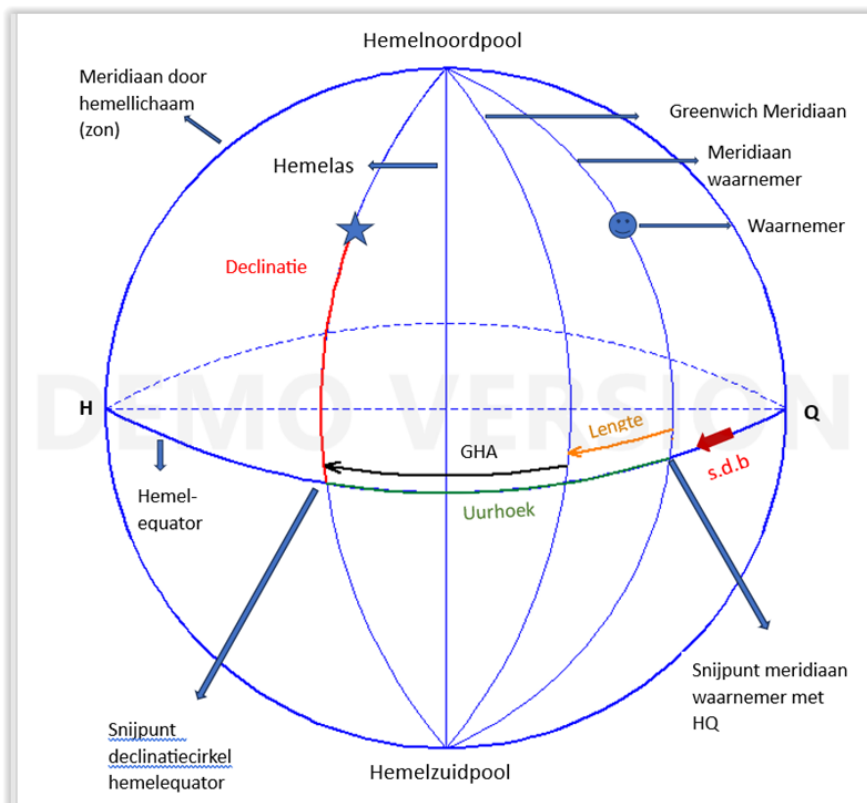
Voor we verder gaan met de vierde coördinaat, de uurhoek, combineren we als voorbeeld de hoogte, azimut en declinatie van Vega, een ster uit het sterrenbeeld Lier. Onze positie is $51^\circ 10' N$ en $003^\circ 20' E$. Het is 5 jan 2024, 21 h. Zoals bij alle hemellichamen ligt de baan van Vega (rood) evenwijdig aan het vlak van de hemelequator. De poolhoogte = onze breedte bedraagt $51^\circ 20'$, de declinatie van Vega $38^\circ 48'$ en hoogte $10^\circ 28'$. Het azimut is 321° .



Figuur 6 Declinatie, hoogte en azimut van Vega op $51^{\circ}20'N$ en $003^{\circ}20'E$ op 05/01/2024 om 21h.

De **uurhoek** of LHA (Local Hour Angle) is de boog in westelijke richting van de hemelequator vanaf de bovenmeridiaan van de waarnemer (= boog hemelnoordpool-zenith-hemelzuidpool) tot aan snijpunt van de declinatiecirkel van de zon met de hemelequator. Als dusdanig is de uurhoek te vergelijken met de geografische longitude.

De LHA of plaatselijke uurhoek bevat het boogstuk van hemelequator van de Greenwich meridiaan tot de meridiaan van het hemellichaam (GHA) én de wester- of oosterlengte van de waarnemer tot de Greenwich meridiaan. Het eerste stuk van de uurhoek vinden we terug in tabellen, het tweede stuk rekenen we uit.



Figuur 7 De plaatselijke uurhoek (LHA) omvat de uurhoek vanaf Greenwich (GHA) en de longitude.

De uurhoek is een boog en wordt uitgedrukt in graden van 0° tot 360° . Vaak worden die graden omgezet in tijd waarbij $360^\circ = 24$ uur en $15^\circ = 1$ uur. Op die manier wordt de lokale uurhoek (LHA) omgezet naar lokale tijd van ónze meridiaan (LMT). Tijd is belangrijk in astronavigatie want alle tabellen zijn gebaseerd op de Greenwich tijd (GMT of UTC). LMT wordt bekomen door bij de GMT onze longitude -omgezet in tijd- te verrekenen. Voor deze omzetting in tijd van de lengtegraad hebben we een tabel ter onze beschikking. Omgekeerd kunnen we ook GMT berekenen vanaf LMT.

Met de LHA, declinatie en geografische breedte kan de hoogte van de zon berekend worden. Als we ook de hoogte van de zon met de sextant gemeten hebben, kan uit de vergelijking van de berekende en gemeten hoogte onze positie bepaald worden.

De uurhoek is van toepassing bij zowel de zon en planeten als voor de sterren. Sterren hebben echter een onderling constante relatieve positie, dus ook ten opzichte van het **lentepunt** (het punt Ram of Aries, een fictieve ster op het snijpunt van de hemelequator en de jaarlijkse baan van de zon op 21 maart). De afstand (SHA) van de Aries-meridiaan tot die van de ster blijft dan ook constant. Wat wél verandert is de afstand (GHA-Aries) Greenwich-meridiaan tot de Aries-meridiaan. De uurhoek (LHA) van een ster is dus de som van beide afstanden (SHA + GHA-Aries), waarbij ook hier weer onze longitude wordt opgeteld.

Jan Michels met dank aan Carl Dierickx en JP Simon.