

”

Every generation needs
a new revolution.

Thomas Jefferson, influential Founding Father and third president of the United States.

Voorwoord

Een zwoele vrouwenstem met een onmiskenbaar Hollands accent laat mij op een voorzichtig gebiedende toon weten dat ik aan het volgende rondpunt, op driehonderd meter, de tweede uitgang naar rechts moet nemen om mijn eerder ingegeven bestemming te bereiken.

Geconditioneerd en volgzaam voer ik nauwlettend de instructies van mijn elektronische begeleidster uit. Even later verschijnt op het fijn gedetailleerde driedimensionale beeld van mijn GPS kleurenscherm een vlag zoals we die kennen uit de Formule 1 races. Daarna vertelt dezelfde Hollandse dame mij dat ik binnen vijftig meter mijn bestemming zal bereiken.

Goedgehumeurd en gelukkig, omdat ik zo vlug mijn weg heb kunnen vinden doorheen het drukke ochtendverkeer, parkeer ik mijn auto. Ik sta verder niet stil bij het feit dat ik dit alles te danken heb aan het kleine technologische wondertje dat sedert enige tijd onder diverse vormen en door verschillende fabrikanten met honderden miljoenen over de ganse wereld op de automarkt wordt gegooid.

Het systeem maakt gebruik van een constellatie satellieten die dag in dag uit op zeer nauwkeurig gekende banen boven ons hoofd omheen de aarde cirkelen en continu versleutelde digitale signalen uitzenden. Zonder het te beseffen was het tijdens de Koude Oorlog door de Amerikanen ontwikkeld en bedoeld om een nieuwe generatie militaire intercontinentale raketten naar doelen achter het IJzeren Gordijn te sturen.

Met behulp van de signalen kan een willekeurige gebruiker ten allen tijde en overal zijn positie met uitermate hoge nauwkeurigheid bepalen. Of hij zich nu op of in de omgeving van onze aardbol bevindt, hij kan dit doen zonder enige abonnementskost met een apparaatje van enkele tientallen Euros, voorzien van speciaal hiervoor ontwikkelde software.

Zoals bij alle nieuwe technologische snufjes die de laatste jaren dank zij de micro-elektronica ons leven zijn binnengestapt, kunnen de meesten van ons zich niet inbeelden hoeveel intensief studiewerk en welke interdisciplinaire kennis nodig is geweest om dit alles mogelijk en vooral gebruiksvriendelijk te maken voor de mens in de straat.

Als ingenieur met een vorming in de elektronica daterend uit het buizentijdperk waarvan ik durf te zeggen dat de jeugd van vandaag zelfs niet eens meer weet wat buizen met elektronica te maken hebben of zelfs helemaal niet weten dat er een buizentijdperk heeft bestaan, ben ik nog steeds verbluft en beschouw ik het nog steeds als een onvoorstelbaar wonder dat dit alles mogelijk is en zich slechts in enkele decennia heeft kunnen realiseren.

Zoals Thomas Jefferson hierboven zegt heeft iedere generatie nood aan een revolutie. Wij zestigers en ouder zijn, zonder het eigenlijk goed te beseffen, getuige geweest van meerdere technologische revoluties. Naast de TELECOM revolutie en de INFORMATICA revolutie, hebben we tevens de NAVIGATIE revolutie meegemaakt.

Mijn interesse in nieuwe elektronische technologieën en telecommunicatie in het bijzonder alsmede het deel van mijn carrière als beroepspiloot hebben mij ertoe aangezet dit onderwerp verder uit te diepen en dit boek te schrijven.

Naast het hoe en het waarom heb ik ook getracht om de geschiedkundige kant van de zaak te onderzoeken en de personen die zich voor deze ontwikkeling hebben ingespannen te belichten.

Wat mijzelf betreft kan ik zeggen dat het op zich een zeer leerrijke ervaring is geweest die mij tot het passionele heeft geboeid. Ik durf daarom te hopen dat de lezer er evenzeer zal van kunnen genieten.

Regelmatig vroegen vrienden en kennissen mij wanneer mijn boek klaar zou zijn voor publikatie. Diverse malen tijdens het schrijven ervan heb ik hoofdstukken moeten herwerken en regelmatig heb ik er nieuwe moeten bijvoegen. Zelfs vandaag nog moet ik mezelf op de vingers tikken om geen nieuw onderwerp alweer in mijn boek op te nemen.

Oorspronkelijk ging mijn boek alleen over de GPS, daarbij bedoelend het NAVSTAR GPS satellietnavigatiesysteem van de Amerikaanse luchtmacht. Tijdens het schrijven werden echter verschillende andere systemen ontwikkeld en gelanceerd wat mij ertoe genoodzaakt heeft ook deze in mijn boek op te nemen.

Een pseudo technisch werk als dit is echter een 'work in progress'. Geen week gaat voorbij of er komen nieuwe zaken naar voren, geen week gaat voorbij of ik ontdek nieuwe onderwerpen om in mijn boek op te nemen.

Onder druk van mijn echtgenote heb ik uiteindelijk moeten ophouden met herwerken maar ik ben er vast van overtuigd dat ik binnen de kortste keren de pen terug ter hand zal moeten nemen om mijn boek verder te actualiseren.

Om toch wegwijs te raken in het geheel wil ik toch even meegeven hoe mijn boek is ingedeeld.

In hoofdstuk 1 heb ik getracht om een beetje de geschiedenis van de navigatie in het algemeen te beschrijven en eindig ik met een klein overzicht van de diverse satellietnavigatiesystemen.

Hoofdstuk 2 omvat de algemene werkingsprincipes geldig voor alle daarna beschreven satellietnavigatiesystemen.

Vanaf deel 3 tot en met deel 8 behandel ik de historiek en de verdere ontwikkelingen van alle huidige satellietnavigatiesystemen.

In deel 9 worden specifiek de technische aspecten ervan onder de loep genomen.

Deel 10 is meer bestemd voor de technici onder ons en behandelt voornamelijk de structuur van de signalen en het gebruik van het radiospectrum.

In deel 11, de epiloog, kijk ik naar de toekomst en wat er in de komende decennia nog op het programma staat. Het kan alvast een aanleiding vormen voor een volgend boek.

Tot slot zou ik hier ook nog mijn echtgenote Odette evenals mijn goede vriend Bert Snijders willen bedanken voor de constante aanmoediging die ervoor gezorgd hebben dat ik dit boek uiteindelijk heb kunnen afwerken.

Alvast veel leesgenot.

Schilde, juni 2023

DEEL 1

Een beetje GESCHIEDENIS



Titelblad van *Tgebruyck van de Zee caerte ... door Doctoor Thomas Hood ...*, Amsterdam, Cornelis Claesz., 1602. WAE 267.h.

INLEIDING

Van zodra de mens op onze planeet verscheen heeft hij geleerd om zich te oriënteren en zijn weg te vinden of terug te vinden. In het begin vooral om na iedere jacht naar voedsel zijn naasten te vervoegen die zich ergens in de veilige omgeving van hun spelonk hadden teruggetrokken. Later om de kortste en meest economische handelsroutes te vinden of om de hegemonie over de wereldzeën te veroveren of te behouden.

In het dagelijkse leven gebruiken wij gewoon de visuele informatie waarover we beschikken tesamen met de informatie die in ons geheugen is opgeslagen om onze weg naar huis, het werk of eender welke andere bestemming terug te vinden. Het is zo evident en vanzelfsprekend dat we er niet meer bij stilstaan.

De wetenschap of techniek om een positie te bepalen en een welbepaalde route samen te stellen en deze te volgen van de plaats waar men zich bevindt tot de plaats van de uiteindelijke bestemming hebben we de naam **navigatie** gegeven. Dit woord heeft een Latijnse oorsprong en is een samentrekking van **navis** (schip) en **agere** (bewegen) wat resulteerde in het Latijnse *navigatio* en het varen of de scheepvaart betekende. Het is dan ook zonder meer duidelijk dat navigatie in het begin voornamelijk in de scheepvaart gebruikt werd.

Naarmate de afstanden waarover we ons verplaatsen groter worden en de gebieden waarin we reizen minder of niet gekend zijn moeten we een beroep doen op hulpmiddelen om niet verloren te raken.

Eeuwenlang zijn de Zon en de sterren, niettegenstaande hun beperkingen voornamelijk onder invloed van de weersomstandigheden, een goede en kosteloze leidraad geweest waarmee de eerste zeevaarders en ontdekkingsreizigers zich trachtten te oriënteren. Door de eeuwen heen zijn ze echter meer en meer gebruik gaan maken van aangepaste meetinstrumenten.

KAMAL

In het begin diende de kunst van het navigeren in de eerste plaats om de thuishaven terug te vinden. Pas later zal het gebruikt worden om van de ene naar de andere plaats te reizen. Al heel vlug hadden de zeevaarders ontdekt dat de Poolster als een betrouwbaar navigatiehulpmiddel kon worden gebruikt.

De Poolster of Polaris is immers reeds sedert duizenden jaren, naast de zon, de meest belangrijke ster voor navigatie in het Noordelijk halfrond. Ze bevindt zich in de huidige kosmische periode en tevens ook nog voor de komende duizenden jaren, ongeveer in het verlengde van de aardas boven de Noordpool. Hierdoor lijkt het voor een waarnemer op Aarde of ze schijnbaar niet beweegt. Alle andere sterren of sterrenbeelden beschrijven voor diezelfde waarnemer cirkelvormige banen met de Poolster als middelpunt.

Een belangrijk gevolg hiervan is dat een waarnemer op de Noordpool de Poolster in het zenith, dus recht boven zich of op 90 graden boven de horizon ziet. Een waarnemer op de evenaar daarentegen ziet dan weer de poolster ongeveer op de horizon of op 0 graden elevatie.

Om bijgevolg in het Noordelijk halfrond tussen de Evenaar en de Noordpool de breedteligging te kennen moet de navigator enkel de hoogte, ook wel 'altura' genoemd, van de Poolster boven de horizon meten.

Het meest eenvoudige navigatie-instrument waarmee de hoogte van de Poolster gemeten werd was zeker de door de Arabieren gebruikte KAMAL (fig.1).



Fig. 1: de Kamal

De Kamal was in feite een rudimentair meetinstrument bestaande uit een houten plaatje van ongeveer 9 bij 3 cm met in het midden een gaatje waardoor een koord stak.

Vóór de reis bepaalde de gebruiker de hoogte van de Poolster in de thuishaven door het plaatje op dusdanige afstand van zijn oog te houden dat de bovenkant van het plaatje tegen de Poolster kwam terwijl de onderkant op de horizon stond, dit alles terwijl de koord tussen de tanden werd gehouden. Om de meting later te kunnen herbruiken werd een knoop in de koord gelegd op de plaats waar de tanden de koord vasthielden.

Tijdens de reis kon dus bepaald worden of men zich nog steeds op de breedteligging van de thuishaven bevond. Indien dit niet zo was moest meer naar het noorden of meer naar het zuiden gevaren worden tot de hoogte van de Poolster dezelfde was als bij het vertrek. Om daarna terug de thuishaven te bereiken, wat uiteindelijk de bedoeling was, hoefde men slechts rechtsomkeer te maken en dezelfde breedte af te varen, steeds gebruikmakend van dezelfde techniek.

SINT JACOBSSTAF

Gezien de afmetingen, was de Kamal eigenlijk maar bruikbaar in equatoriale gebieden waar de Poolster laag boven de horizon staat.

In Europa gaat men daarom gebruik maken van een eigen versie namelijk de Sint Jacobsstaf of Kruisstaf zoals weergegeven in fig. 2.

We kunnen ons hierbij de vraag stellen of de Kruisstaf niet haar oorsprong vond in de Crucifix zoals die gekend is in de Katholieke kerk. De Kruisstaf heeft immers dezelfde vorm. We kunnen ons gemakkelijk voorstellen dat op één of andere dag een geestelijke zijn kruisbeeld kantelde waardoor het dwarse been tussen een hemellichaam en de horizon kwam te staan en aldus de overeenkomst met de Kamal ontdekt werd.

Wat er ook van zij, het koordje is vervangen door een lange gegradueerde lat waarop haaks een dwarslat kan geschoven worden. De dwarslat wordt zodanig verschoven tot het enerzijds de horizon en anderzijds de Poolster raakt. De hoek van de Poolster ten opzichte van

de horizon en bijgevolg de breedtelegging van de gebruiker, kan dan rechtstreeks worden afgelezen op de gegradueerde lat. Het is zonder enige twijfel ook duidelijk dat de hoogte van eender welk hemellichaam, zoals bijvoorbeeld de zon, op deze manier kon gemeten worden.

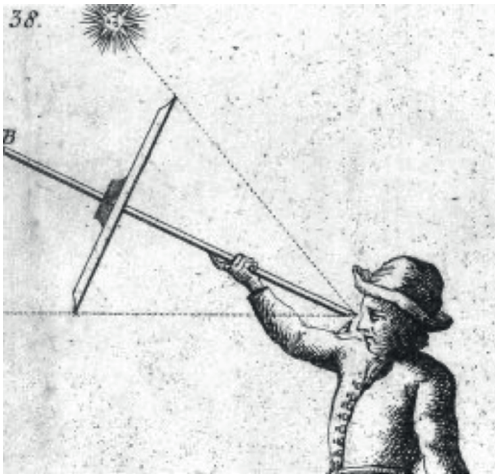


Fig. 2: de Sint Jacobsstaf of Kruisstaf

Verder spreekt het weliswaar voor zich dat het gebruik van de Kruisstaf op een bewegend schip zeker geen sinecure was. De observator moest immers tegelijkertijd het oog richten op het hemellichaam en op de horizon terwijl hij tevens nog zijn evenwicht moest behouden.

ASTROLABIUM

Naarmate de tijd vordert worden nieuwe, meer gesofistikeerde instrumenten ontwikkeld. Eén van de meest vernuftige instrumenten die als een heuse astronomische computer mag beschouwd worden, was het Astrolabium of letterlijk vertaald de sterreopnemer (fig. 3).

Dit instrument maakt het mogelijk een beeld van de hemel met de positie van de Zon en de sterrenbeelden weer te geven op een welbepaald tijdstip en een welbepaalde plaats op de aardbol.

Reeds tweehonderd jaar voor onze tijdrekening werden de basisprincipes van het Astrolabium en voornamelijk de gebruikte projectiemethode besproken door de Griekse meetkundige en astronoom Apollonius van Perga (262-190 BC). Deze Griek is door de mathematiци onder ons ook wel bekend voor zijn stellingen rond kegelsneden, de stellingen van Apollonius.

Later werden de projecties verder verfijnd door Hipparchus (190-20 BC). Het is echter de in Alexandrië levende Griekse astronoom, geograaf en wiskundige Claudius Ptolomeus (87-150 AC) die de projectie uitvoerig beschrijft in zijn werk, *Planisphaerium*, in de eerste eeuw van onze tijdrekening.



Fig. 3: het Astrolabium

De eerste Astrolabia doen hun verschijning in de vierde eeuw en het is voornamelijk de Islamistische wereld die het gebruik ervan, rond de achtste en negende eeuw, gaat stimuleren.