

GNSS-Plaatsbepalingssystemen

Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D



Onderzoeksrapport

Auteur:

Dhr. L. Dahlkamp

Instelling:

HZ University of Applied Sciences

Datum:

19-6-2020

Versienummer:

2.0

GNSS-Plaatsbepalingssystemen

Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van Fugro ppp's 4G en Kongsberg DPS 5D

Onderzoeksrapport

Opdrachtgever:	Heerema Marine Contractors
Opleiding:	Maritiem officier nautisch
Plaats van uitgave:	Taiwan Tai'chung
Studentnummer:	00072762
Studiejaar:	2019/2020
Semester:	8
Studieonderdeel:	Onderzoeksrapport
Begeleidend docent:	Dhr. J.H. Luteijn.
Tweede beoordelaar:	Dhr. P.G. Harts
Stage begeleidende officier:	Dhr. B. Lablans
Bron afbeelding titelpagina:	Schip Aegir in Qatar, 2020

Samenvatting

Het gebruik van Dynamic positioning (DP) wordt op veel schepen toegepast waaronder op het schip de Aegir van het bedrijf Heerema Marine Contractors. Het DP systeem heeft hierbij een initiële positie input nodig wat verkregen wordt via GNSS plaatsbepalingssystemen. Aan boord van de Aegir bevinden zich twee verschillende GNSS-plaatsbepalingssystemen namelijk: Fugro ppp's G4 en de Kongsberg DPS 5D, deze systemen hebben een verschillende nauwkeurigheid en betrouwbaarheid. Aan de hand van de gegevens van deze twee systemen moet de DPO (Dynamic Positioning Officer) een keuze maken welke systeem als initiële positie input gebruikt (base origin) wordt in het DP systeem. Deze keuze is dus afhankelijk van de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van het GNSS-Plaatsbepalingssysteem. De nauwkeurigheid is onder andere afhankelijk van de hoeveelheid satellieten die gebruikt worden in de positiebepaling in combinatie met correctiesignalen, welke corrigeren voor fouten in de berekening. Als toevoeging op de correctie signalen maakt Kongsberg DPS 5D gebruik van een interne MRU (Motion Reference Unit) wat in combinatie met een inertia algoritme voor een positie verbetering zorgt.

De Hoofdvraag van dit onderzoek is: "Wat is het verschil in nauwkeurigheid en betrouwbaarheid tussen de GNSS-plaatsbepalingssystemen Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D?". Hierbij zijn de volgende bijpassende deelvragen opgenomen; deelvraag 1 "Wat is het verschil in nauwkeurigheid van de positie en betrouwbaarheid van het signaal tussen het ontvangen van GPS en GLONASS satellieten met G2 correctiesignaal en GPS, GLONASS, Galileo en BeiDoe satellieten met G4 correctiesignaal?". Deelvraag 2: "Wat is de mate van redundantie van Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D?" Deelvraag 3: "Wat is de invloed van de MRU (Motion Reference Unit) van de Kongsberg DPS 5D op de nauwkeurigheid van de positie?"

Deelvraag 1 is beantwoord doormiddel van kwantitatief onderzoek. Proef 1 is uitgevoerd waarbij de Fugro Mastpack is ingesteld op GPS, GLONASS en G2 correctiesignaal. De Fugro Helipack is ingesteld op GPS, GLONASS, Galileo, BeiDoe en G4 correctiesignaal. Aan de hand van de resultaten is geconcludeerd dat het ontvangen van vier GNSS-systemen resulteert in een betrouwbaarder signaal, en dat er nagenoeg geen verschil in nauwkeurigheid is tussen G2 en G4. Doormiddel van het analyseren van beide systemen is er een antwoord verkregen op de tweede deelvraag. Hieruit is onder andere geconcludeerd dat Kongsberg DPS 5D in meer situaties redundant is dan Fugro ppp's G4: Door de MRU van Kongsberg, en omdat Fugro bestaat uit twee individuele systemen met eigen positie-output. Waarmee Fugro meer componenten bevat dan Kongsberg DPS 5D die door een SPOF (Single Point of Failure) zorgen voor verlies van positie-output. Door het uitvoeren van proef 2 en proef 3 met de MRU van Kongsberg wordt de derde deelvraag beantwoord en bepaald wat de positie verbetering is van de Kongsberg MRU ten opzichten van Fugro. Proef 3 is in de praktijk niet uitgevoerd in verband met operationele beperkingen als gevolg van de Covid-19 situatie, waardoor er geen situatie voordeed met voldoende scheepsbewegingen. Uit proef 2 is geconcludeerd dat er geen verschil in nauwkeurigheid is tussen Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D bij beperkte scheepsbewegingen. Door de verschillende instellingen van Helipack GPS, GLONASS, (G2) en Mastpack GPS, GLONASS, Galileo, BeiDoe, (G4) is in combinatie met de resultaten van deelvraag 1 geconcludeerd dat er geen verschil is in nauwkeurigheid tussen G2 en G4. Aan de hand van de resultaten van de proeven en de daarop gebaseerde conclusies wordt het aanbevolen om het Plaatsbepalingssysteem Kongsberg DPS 5D als primaire positie input te selecteren in het DP systeem. Met hierbij de voorwaarden dat er voldoende satellieten beschikbaar zijn voor GPS, GLONASS (G2).

Abstract

Now a days there are a lot of vessels using Dynamic Positioning (DP). This is also the case on the Aegir, a crane vessel of Heerema Marine Contractors. The DP system needs an initial position (base origin) for its DP model. This position is received by a GNSS-satellite system. On board of the Aegir there are two different GNSS-systems; Kongsberg DPS 5D and Fugro ppp's G4. Each system has their own accuracy and liability, depending on these factors the Dynamic positioning officer must make a choice which GNSS-system is used for the initial position. The accuracy is among other things depending on the amount of satellites received and the correction signals. These correction signals are correcting errors made in the position calculation. The Kongsberg DPS 5D consist a MRU (motion reference unit), in combination with the Inertia algorithm this will cause a position correction for the vessel movements.

The main question of this thesis is: "What is the difference in accuracy and liability of Fugro ppp's G4 and Kongsberg DPS 5D?" Sub question 1: "What is the difference in position accuracy and signal liability of receiving GPS, GLONASS and G2 correction signal and receiving GPS, GLONASS, Gallileo, BeiDou and G4 correction signal?" Sub question 2: "What is the redundancy of Fugro ppp's G4 and Kongsberg DPS 5D?" Sub question 3: "What is the effect of the MRU (Motion Reference Unit) on the position calculation?"

Sub question 1 is answered with quantitative research, there has been performed a test; test 1 with the following configuration on Fugro Mastpack: (GPS, GLONASS and G2 correction) and for the Fugro Helipack: (GPS, GLONASS, Gallileo, BeiDou and G4 correction). As a result of the test it is concluded that receiving four GNSS-systems instead of two GNSS-systems will result in higher signal liability, there is no significant difference in accuracy. Sub question 2 is answered by analyzing the two systems as a result of this analysis there is concluded that Kongsberg DPS 5D has a higher redundancy than the Fugro installation. This is mainly because the Fugro system has no MRU and consist two separate GNSS-systems with their own components and position output. These separate Fugro systems have more components that lead to loss of position by a single point-failure than Kongsberg. Sub question 3 is answered by the performance of test 2 and test 3 with different ship movements. Due to operation restrictions it was not possible to perform the third test including ship movements. However, the test with no vessel movements was preformed, the results of this test leads to the following conclusions: When the vessel is exposed to restricted vessel movements there is no difference in accuracy between Kongsberg DPS 5D en Fugro ppp's G4. By the different setup of the Fugro Mastpack (GPS, GLONASS, Gallileo, BeiDoe and G4 correction) and the Helipack (GPS, GLONASS and G2 correction) the results also support the conclusion of sub question 1.

Based on the conclusions of the results. It is recommended to use the GNSS-positioning system; Kongsberg DPS 5D as the initial position (based origin) input in the DP system. Under the condition that there are sufficient satellites available for GPS, GLONASS and G2 correction.

Voorwoord

Het uitvoeren van dit onderzoek heeft mijn kennis op het gebied van GNSS-plaatsbepaling in zeer zekere mate vergroot. Doormiddel van het verdiepen in de verschillende GNSS-plaatsbepaling systemen: Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS D5 met de bijhorende correctie signalen heb ik inzicht gekregen in de verschillen in nauwkeurigheid en betrouwbaarheid tussen beide systemen. Het uitvoeren van het onderzoek in opdracht van Heerema Marine Contractor was geen makkelijke, maar zeker wel een leuke en interessante opdracht . Helaas hebben operationele beperkingen als gevolg van de Covid-19 situatie er toe geleidt dat één proef niet kon worden uitgevoerd. Ondanks deze beperking binnen de scope van het onderzoek is de hoofdvraag toch juist kunnen worden beantwoord. Echter zonder de hulp van de bemanning van de Aegir was het uitvoeren van mijn onderzoek niet gelukt. Hiermee wil ik daarom in het bijzonder de volgende personen bedanken voor hun hulp en inzit tijdens de uitvoering van dit onderzoek: De heren Bart Lablans, Marten Leerink, Thomas Sauer en Neil A. Stewart.

Luuk Dahlkamp

T'ai Chung, 19-6-2020

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	1
2.	Theoretisch kader	3
2.1	Correctiesignalen Fugro	3
2.2	Correctiesignalen Kongsberg DPS 5D.....	4
2.3	Kongsberg Systeem	5
2.4	Fugro systeem	8
2.5	Begrippen	10
2.6	Conceptueel model	12
3.	Methode	13
3.1	Deelvraag 1	13
3.2	Deelvraag 2	14
3.3	Deelvraag 3	15
4.	Resultaten	17
4.1	Resultaten Proef 1.....	17
4.2	Beschrijving Redundantie Fugro ppp's en Kongsberg DPS 5D	19
4.3	Resultaten Proef 2.....	29
4.4	Resultaten Proef 3.....	32
5.	Discussie.....	33
5.1	Deelvraag 1	33
5.2	Deelvraag 2	34
5.3	Deelvraag 3	37
5.4	Hoofdvraag.....	39
6.	Conclusie	40
6.1	Conclusie deelvraag 1	40
6.2	Conclusie deelvraag 2	41
6.3	Conclusie deelvraag 3	41
6.4	Hoofdvraag.....	42
7.	Aanbeveling.....	42
	Bronnenlijst.....	43
	Bijlage 1: Deviatie van fouten (Fugro, 2016).....	44
	Bijlage 2 Referentiestations Fugro (Fugro, 2016)	45
	Bijlage 3 JPL XP2 Referentiestations (Fugro, 2016)	46

Bijlage 4 G2/G4 geostationaire satellieten & Fugro G2 stations (R.Lanoschi, 2016).....	47
Bijlage 5 Instellingen proef 1, 2 en 3.....	48
Bijlage 6 Resultaten proef 1 run 2 G4	49
Bijlage 7 Resultaten proef 1 run 2 G2	50
Bijlage 8 Grafieken scheepsbewegingen	51
Bijlage 9 Grafiek Aegir MRU Rol run 7200 sec	52
Bijlage 10 Grafiek Aegir Heading run 7200 sec.....	53
Bijlage 11 Grafiek Aegir MRU Pitch run 7200 sec	54

Figuren

Figuur 1 G2/G4 systeem (R.Lanoschi, 2016)	4
Figuur 2 Diverse foto's Aegir: (Dahlkamp, 2020)	5
Figuur 3 Diverse foto's Aegir: (Dahlkamp, 2020)	6
Figuur 4 Sagnac effect (Langevin, 2017)	7
Figuur 5 langscheepse assen (Kongsberg, 3610 DGNSS Receiver user manual, 2009).....	7
Figuur 6 Diverse foto's Aegir: (Dahlkamp, 2020)	8
Figuur 7 Diverse foto's Aegir: (Dahlkamp, 2020)	9
Figuur 8 Kromme van Gauss (Diamond, 2017)	10
Figuur 9 lage PDOP waarde (Bose, 1997)	11
Figuur 10 Hoge PDOP waarde (Bose, 1997).....	11
Figuur 11 Conceptueel model.....	12
Figuur 12 Niet functioneren antennes in de radarmast Kongsberg	20
Figuur 13 Niet functioneren antenne in de radarmast Fugro.....	20
Figuur 14 Niet functioneren antennes helideck Kongsberg	21
Figuur 15 Niet functioneren antennes helideck Fugro	21
Figuur 16 Niet functioneren van alle antennes Kongsberg	22
Figuur 17 Wegvallen alle antennes Fugro.....	22
Figuur 18 Niet functioneren UPS 3	23
Figuur 19 Niet functioneren UPS 1	24
Figuur 20 Niet functioneren UPS 5	24
Figuur 21 Niet functioneren van DPS 5D PU Kongsberg	25
Figuur 22 Niet functioneren van Heli network switch Fugro	26
Figuur 23 Niet functioneren van Heli Starpack Fugro.....	26
Figuur 24 Niet functioneren van Heli starport.....	27
Figuur 25 Niet functioneren van Mast network switch Fugro	27
Figuur 26 Niet meer functioneren Mast starpack Fugro	28
Figuur 27 Niet functioneren Mast Starpack Fugro.....	28
Figuur 28 Run 500 sec statische GNSS vergelijking niet gecorrigeerd voor scheepsbewegingen Mastpack(gps1), Helipack(gps2), Kongsberg DPS 5D.....	29

Figuur 29 Run 500 sec statische GNSS vergelijking gecorrigeerd voor scheepsbewegingen	30
Figuur 30 Run 7200 sec statische GNSS vergelijking niet gecorrigeerd voor scheepsbewegingen Mastpack(gps1), Helipack(gps2), Kongsberg DPS 5D.....	31
Figuur 31 Run 7200 sec statische GNSS vergelijking gecorrigeerd voor scheepsbewegingen	32
Figuur 32 Vergroting run 500 sec niet gecorrigeerde data.....	38
Figuur 33 Vergroting run 7200 sec niet gecorrigeerde data.....	39

Grafieken

Grafiek 1 PDOP waarde per aantal satellieten	17
Grafiek 2 Run 2 SD G4.....	49
Grafiek 3 Run 2 PDOP waarde per aantal satellieten G4.....	49
Grafiek 4 Run 2 SD G2.....	50
Grafiek 5 Run 2 PDOP waarde per satelliet G2.....	50
Grafiek 6 Run 1 MRU 1 scheepsbewegingen	51
Grafiek 7 Run 2 MRU 1 scheepsbewegingen	51
Grafiek 8 Run 72 sec MRU static rol vergelijking.....	52
Grafiek 9 Run 7200 sec heading.....	53
Grafiek 10 Run 7200 sec pitch MRU	54

Tabelen

Tabel A Redundantie Kongsberg DPS 5D en Fugro ppp's G4; Mastpack en Helipack	35
Tabel B Proef 1 Instellingen Fugro Mastpack	48
Tabel C Proef 1 Instellingen Fugro Helipack	48
Tabel D Instellingen proef 2	48
Tabel E Instellingen proef 3	48

Afkortingen

CCR	Central Control Room
CRP	Central Reference Point
DGPS	Differential Global Positioning System
DP	Dynamic Positioning
FOG	Fiber Optic Gyro
GPS	Global Positioning System
GLONASS	GLObal NAVigation Satellite System
HF	High Frequency
HMI	Human Machine Interface
IALA	International Association of Lighthouse Authorities
JPL	Jet Propulsion Laboratory
MF	Medium Frequency
MGC	Motion sensor & Gyro Compass
MRU	Motioning reference unit
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
NMEA	National Marine Electronics Association
PDOP	Position Dilution of Precision
SD	Standaard deviatie
SPOF	Single Point of Failure
UPS	Uninterrupted Power Supply

1. Inleiding

De nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van de plaatsbepalingssystemen is van belang voor de doeleinde waar het systeem voor gebruikt zal worden, bijvoorbeeld zoals op schepen waar gebruik gemaakt wordt van Dynamic Positioning. Dit is een systeem die de positie en koers van een schip behoudt doormiddel van een samenwerking van sensoren, referentiesystemen en trusters. Hierbij is de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid belangrijk. (Sickle, 2018) Een van de referentiesystemen waar DP gebruik van maakt zijn GNSS-systemen. Dit onderzoek wordt uitgevoerd in opdracht van Heerema Marine Contractors aan boord van de Aegir dit betreft een DP 3-klasse schip wat uitgerust is met een 4000-ton kraan. Op dit schip bevinden zich twee verschillende satelliet plaatsbepalingssystemen namelijk; Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D wat twee volledig afzonderlijke systemen zijn die beiden gebruik maken van hun eigen werkingsprincipes. Hierdoor zullen de twee GNSS-plaatsbepalingssystemen verschillen in nauwkeurigheid en betrouwbaarheid.

Door de verschillen in nauwkeurigheid en betrouwbaarheid tussen Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D moet de DPO (Dynamic Positioning Officer) een keuze maken welk GNSS-plaatsbepalingssysteem als initiële positie input gebruikt wordt in het DP Model. Vanuit de initiële positie in DP wordt vervolgens verder gerekend. De keuze welk plaatsbepalingssysteem als primaire input wordt ingesteld is dus afhankelijk van de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van het GNSS-plaatsbepalingssysteem. De nauwkeurigheid is afhankelijk van de GNSS-satellietensystemen, correctiesignalen en eventuele invloed van interne correctie middelen zoals bij Kongsberg DPS 5D de MRU(Motion Reference Unit). De nauwkeurigheid wordt in dit onderzoek uitgedrukt in SD (standaarddeviatie). Als het gaat over de betrouwbaarheid wordt er in dit onderzoek gekeken naar de redundantie van het plaatsbepalingssysteem en de betrouwbaarheid van het signaal uitgedrukt in PDOP(Position Dilution of Precision). Met deze gegeven zijn de volgende hoofd- en deelvragen opgesteld:

- **Hoofdvraag:**
Wat is het verschil in nauwkeurigheid en betrouwbaarheid tussen de GNSS-plaatsbepalingssystemen Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D?
- **Deelvraag1:**
Wat is het verschil in nauwkeurigheid van de positie en betrouwbaarheid van het signaal tussen het ontvangen van GPS en GLONASS satellieten met G2 correctiesignaal en GPS, GLONASS, Galileo en BeiDoe satellieten met G4 correctiesignaal?
- **Deelvraag 2:**
Wat is de mate van redundantie van Fugro ppp's en Kongsberg DPS 5D?
- **Deelvraag 3:**
Wat is de invloed van de MRU (Motion Reference Unit) van de Kongsberg DPS 5D op de nauwkeurigheid van de positie?

De eerste deelvraag is beantwoord doormiddel van kwantitatief onderzoek. Doordat het plaatsbepalingssysteem van Fugro gebruik maakt van vier GNSS-satellietensystemen namelijk: GPS, BeiDoe, Galileo en GLONASS (G4), en de installatie van Kongsberg alleen gebruik maakt van GPS en Glonass (G2), is er dus een verschil in het aantal satellietensystemen dat gebruikt wordt voor de positiebepaling. Om te bepalen wat hiervan de invloed op de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van het signaal is, is een proef gedaan waarbij data verzameld is over de nauwkeurigheid van de



positie doormiddel van het bepalen van de SD en het loggen van de PDOP waarden. Voor zowel signaalontvangst van GPS en GLONASS met G2 correctiesignaal als GPS, GLONASS, Gallileo, BeiDoe en G4 correctiesignaal.

De tweede deelvraag is beantwoord doormiddel van het analyseren van beide systemen. Doordat Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS D5 twee afzonderlijke systemen zijn, hebben deze systemen een verschillende samenstelling, stuctuur en principewerking. Doormiddel van het analyseren van de systemen zijn er stroomschema's opgesteld waarbij één of meerdere componenten van het systeem geen ontvangst hebben of niet meer functioneren als gevolg van een SPOF, brand of black-out.

Vervolgens is er in een stroomdiagram weergegeven wat de gevolgen van het niet meer functioneren van de componenten zijn. Verder zijn de opvallende verschillen in de systeem opbouw weergegeven en worden essentiële componenten besproken die door een SPOF zorgen voor het verliezen van de positie output.

Voor het beantwoorden van de derde deelvraag is er gebruik gemaakt van kwantitatief onderzoek hierbij is de invloed van de MRU van de Kongsberg DPS 5D op de nauwkeurigheid van de positie bepaald. Doordat de Kongsberg DPS 5D een interne MRU die doormiddel van een inertia alchoritme de scheepsbewegingen meet en hiermee vervolgens de berekende positie van het GNSS-signaal en de correctiesignalen corrigeert, zal dit resulteren in een verbetering van de positie. Doormiddel van het uitvoeren van een proef met en zonder scheepsbewegingen kan de invloed van de MRU bepaald worden. Door operationele beperkingen is de proef met scheepsbewegingen niet uitgevoerd.

Door het uitvoeren van alle proeven kan met de resultaten bepaald worden wat het verschil in nauwkeurigheid en betrouwbaarheid is tussen de GNSS plaatsbepalingssystemen Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D. Aan de hand van de getrokken conclusies is een adviserende aanbeveling gedaan aan de DPO (Dynamic Positioning Officer) betreft welk GNSS-systeem als primaire positie input wordt gebruikt in het DP model.

Randvoorwaarden

- De betrouwbaarheid van het systeem is uitgedrukt in de redundantie van het systeem en de betrouwbaarheid van het signaal.
- Bij het Bepalen van de redundantie wordt niet gekeken naar double point-failure en de waarschijnlijkheid van het voordoen van een failure.

Leeswijzer

In het tweede hoofdstuk word de achterliggende theorie besproken bestaande uit: Correctie signalen, systeemopbouw en begrippen. Vervolgens wordt in het derde hoofdstuk de methode uitgelegd waarmee de hoofd- en deelvragen beantwoord zijn, die bestaan uit verschillende proeven. In hoofdstuk vier zijn de resultaten van de proeven weergegeven. De verkregen resultaten van de proeven en de gebruikte onderzoeksmethode wordt besproken in hoofdstuk vijf; de discussie. In hoofdstuk zes wordt aan de hand van de achterliggende theorie en de verkregen resultaten uit de proeven een conclusie getrokken waarmee vervolgens in hoofdstuk zeven een aanbeveling mee gedaan wordt.

Functie onderzoek

De functie van dit onderzoek is een adviserend onderzoek, met betrekking tot de keuze welk GNSS-plaatsbepalingssysteem: Fugro ppp's G4 of Kongsberg DPS 5D als initiële positie input in het Dynamic positioning model geselecteerd wordt.

2. Theoretisch kader

2.1 Correctiesignalen Fugro

Zoals eerder aangegeven zijn er meerdere soorten fouten in de positieberekening van de ontvanger tot aan de satelliet. Om deze fouten te corrigeren wordt er gebruik gemaakt van correctiesignalen. De grote van de fouten zijn weergegeven in bijlage 1

Fugro ppp's G4 maakt gebruik van de volgende correctiesignalen;

- Starfix.HP maakt gebruik van GPS, HP differentiaal correctie.
- Starfix.XP2 GPS, GLONASS; maakt gebruik van klok- en baan correcties verkregen via het XP2 netwerk.
- Starfix.G2/G4 GPS, GLONASS/ GPS, GLONASS, Galileo en BeiDou; maakt gebruik van klok en baan correcties verkregen via het G2/G4 netwerk.
- NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) Correctiesignalen ontvangen via de V-sat

(R.Lanoschi, 2016)

2.1.1 Starfix.HP

Starfix.HP is gebaseerd op differentiële technieken, met behulp van een netwerk van referentiestationen om vertragingen als gevolg van de ionosfeer, troposfeer, efemeriden en klokken te verminderen of te elimineren. De invloed van de ionosferische effecten worden bepaald door lineaire combinaties van L1- en L2-waarnemingen te vormen in alle grondstations. Het signaal bevat continue life up-date van de efemeriden van de satelliet en de klokfout. De grondstations zijn weergegeven in *bijlage 2*. (Fugro, 2016)

2.1.2 STARFIX. XP2

Fugro STARFIX XP2 is een correctiesignaal op basis van absolute positioneringstechniek. Deze techniek is ontwikkeld door NASA's JPL (Jet Propulsion Laboratory) in 1997. In plaats van netwerkcorrecties te gebruiken, gebruikt XP2 correcties van de efemeriden en de klokfout die verkregen zijn via de JPL grondstations afkomstig van de GNSS-satellieten GPS en GLONASS. De grondstations zijn weergegeven in *bijlage 3*. (Fugro, 2016)

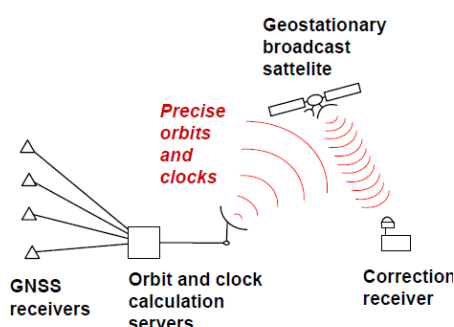
2.1.3 Starfix.G2/G4

Fugro G2 maakt gebruik van real-time GPS en GLONASS baan- en klokcorrecties. Het correctiesignaal maakt gebruik van Fugro's eigen netwerk van GNSS-G2 referentiestationen. Waarbij elk G2 referentiestation de twee frequenties van de GPS en GLONASS satellieten ontvangt om zo nauwkeurig mogelijk de baan- en klokcorrecties te bepalen per satelliet. Het totale G2 systeem bestaat uit 40 dual-frequency referentiestationen die verspreid zijn over de gehele wereld, deze stations zijn weergegeven in Bijlage 4.

De referentiestationen verzamelen de GNSS-metgegevens voor alle satellieten en sturen deze naar rekencentrums waarna vervolgens de baan- en klokfout wordt bepaald van elke GPS- en GLONASS-satelliet. Dit signaal wordt vervolgens naar een geostationaire communicatiesatelliet gestuurd die het naar de ontvanger stuurt.

Het G4 signaal is een uitbreiding op het G2 signaal en maakt als toevoeging ook gebruik van de real-time baan- en klokcorrecties van de BeiDou en Gallileo satellieten. Alleen een selectie van de G2 referentiestationen zijn uitgebreid voor het ontvangen van het signaal van BeiDou en Gallileo satellieten. Deze zijn weergegeven in Bijlage 4.

(R.Lanoschi, 2016)



Figuur 1 G2/G4 systeem (R.Lanoschi, 2016)

2.2 Correctiesignalen Kongsberg DPS 5D

De Kongsberg DPS 5D ontvangt GPS en GLONASS op de L1 en L2 draag frequentie. Het DPS 5D systeem is in staat om het IALA (International Association of Lighthouse Authorities) correctiesignaal te ontvangen. En maakt gebruik van de correctiesignalen van Fugro die ontvangen worden via de Starfix HP, Starfix XP2 en de Starfix G2 deze signalen staan beschreven in (2.1 Correctiesignalen Fugro ppp 's G4).

(Kongsberg, DPS 5D Installation Manual, 2012)

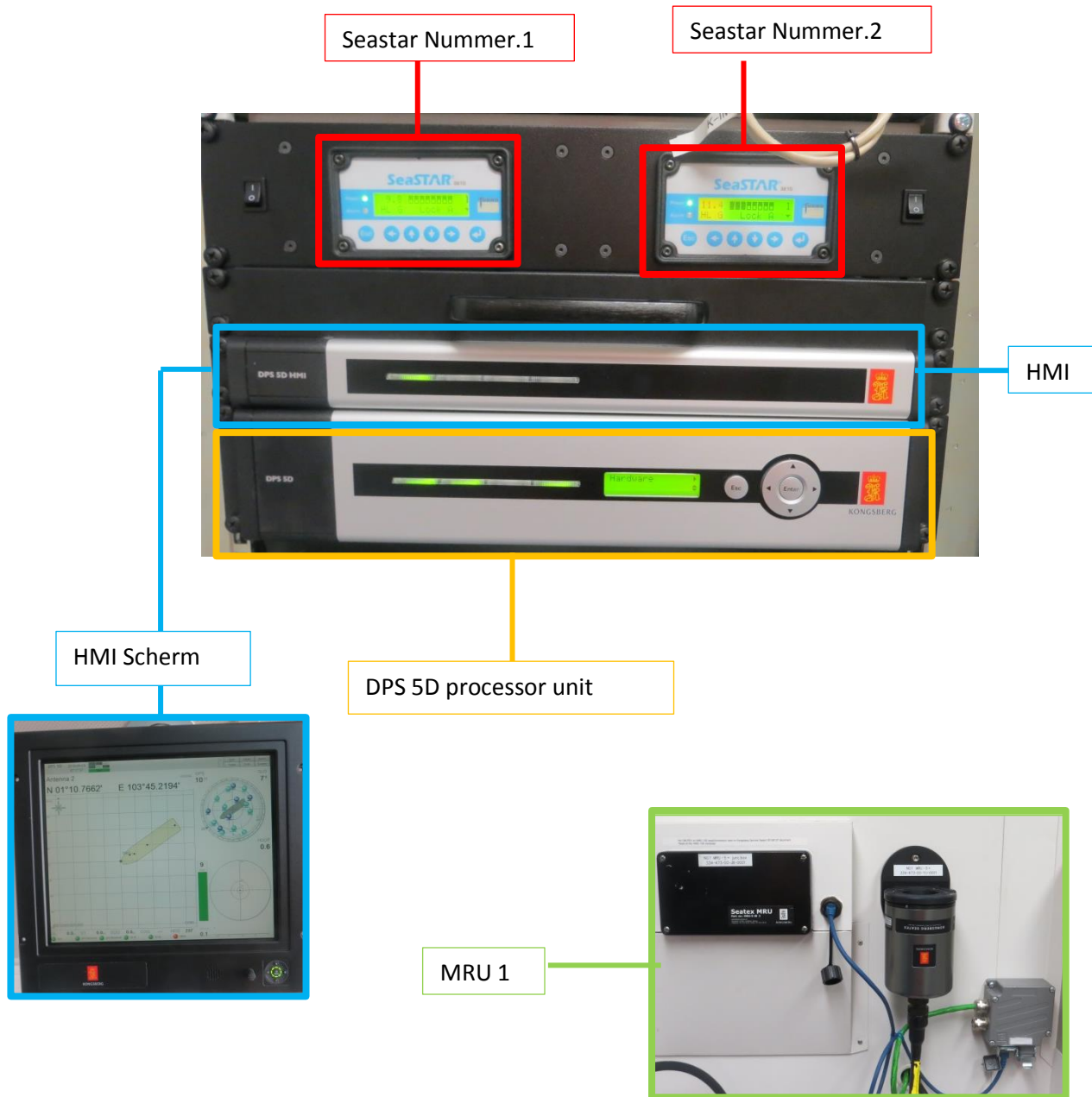
2.2.1 IALA/DGPS

Het IALA DGPS radio beacon netwerk zendt een differentiaal GNSS correctiesignaal uit op een frequentie tussen de 285Khz en de 315Khz. Het bereik van het signaal is rond de 200nm van de zender.

2.3 Kongsberg Systeem

Aan boord van de Aegir bevindt zich één GNSS Kongsberg DPS 5D systeem. Dit systeem bestaat uit 5 antennes, twee demodulatoren, één processor unit, één HMI (Human Machine Interface) unit, MRU input en één gyro input.

2.3.1 Hardware Kongsberg



Figuur 2 Diverse foto's Aegir: (Dahlkamp, 2020)

2.3.2 Antennes Kongsberg



DPS 5D antenne

Spotbeam antenne
SeaStar No.1

Spotbeam antenne
SeaStar No.2



IALA MF/HF antenne



DPS 5D antenne

Figuur 3 Diverse foto's Aegir: (Dahlkamp, 2020)

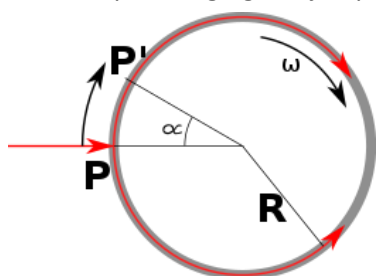
2.3.3 Werking Kongsberg

Het GNSS-sigitaal is verkregen via twee antennes die direct verbonden zijn met de processing unit. Een van deze antennes is gepositioneerd in de radarmast. De tweede antenne bevindt zich voor op het helideck, en wordt in combinatie met de andere ontvanger gebruikt om de koers van het schip te bepalen. Om de nauwkeurigheid van het GNSS systeem te verbeteren wordt er gebruik gemaakt van correctiesigitaal. Één van deze signalen wordt ontvangen door een MF (Medium Frequency)/HF (High Frequency) antenne. Deze functioneert als antenne voor het IALA sigitaal. Ook zijn er twee Seastar 3610 DGNSS antennes voor het ontvangen van de correctiesignalen van Fugro. Elk van deze Seastar units kan een correctiesigitaal ontvangen van een uplink satelliet. Ook ontvangt de Seastar ontvanger een sigitaal via de V-sat namelijk; de NTRIP dit wordt gebruikt als backup. De positie is gecorrigeerd voor de bewegingen van het schip doormiddel van een MRU

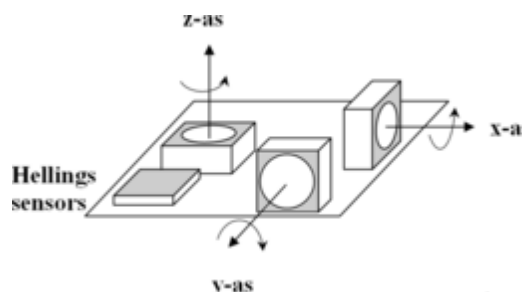
(Kongsberg, Kongsberg DPS 5D Differential Positioning System, 2012)

2.3.4 MRU 5+ MK II

De MRU 5+ bestaat uit sensoren die zich in de drie langsscheepse richtingen bevinden en maakt gebruik van FOG (Fiber Optic Gyro's) die werken doormiddel van het Sagnac effect. Hierbij wordt een lichtpuls met golflengte λ in een glasvezelspoel geschoten op punt p waar de lichtstraal in beide richtingen wordt gesplitst. Als de spoel stationair is, leggen de lichtstralen in gelijke tijd dezelfde afstanden af. Zodat ze beide tegelijk weer bij P arriveren en de ring weer verlaten. Met behulp van een fotodetector kan de tijd gemeten worden. Door het bewegen van de MRU zal er een faseverschil ontstaan waardoor de lichtintensiteit verandert. Dit is vervolgens een maat waarmee de hoek verandert uit te rekenen is. Doormiddel van een inertia algoritme wordt bepaald wat de invloed van de scheepsbewegingen zijn op de positie bepaling.



Figuur 5 Sagnac effect (Langevin, 2017)

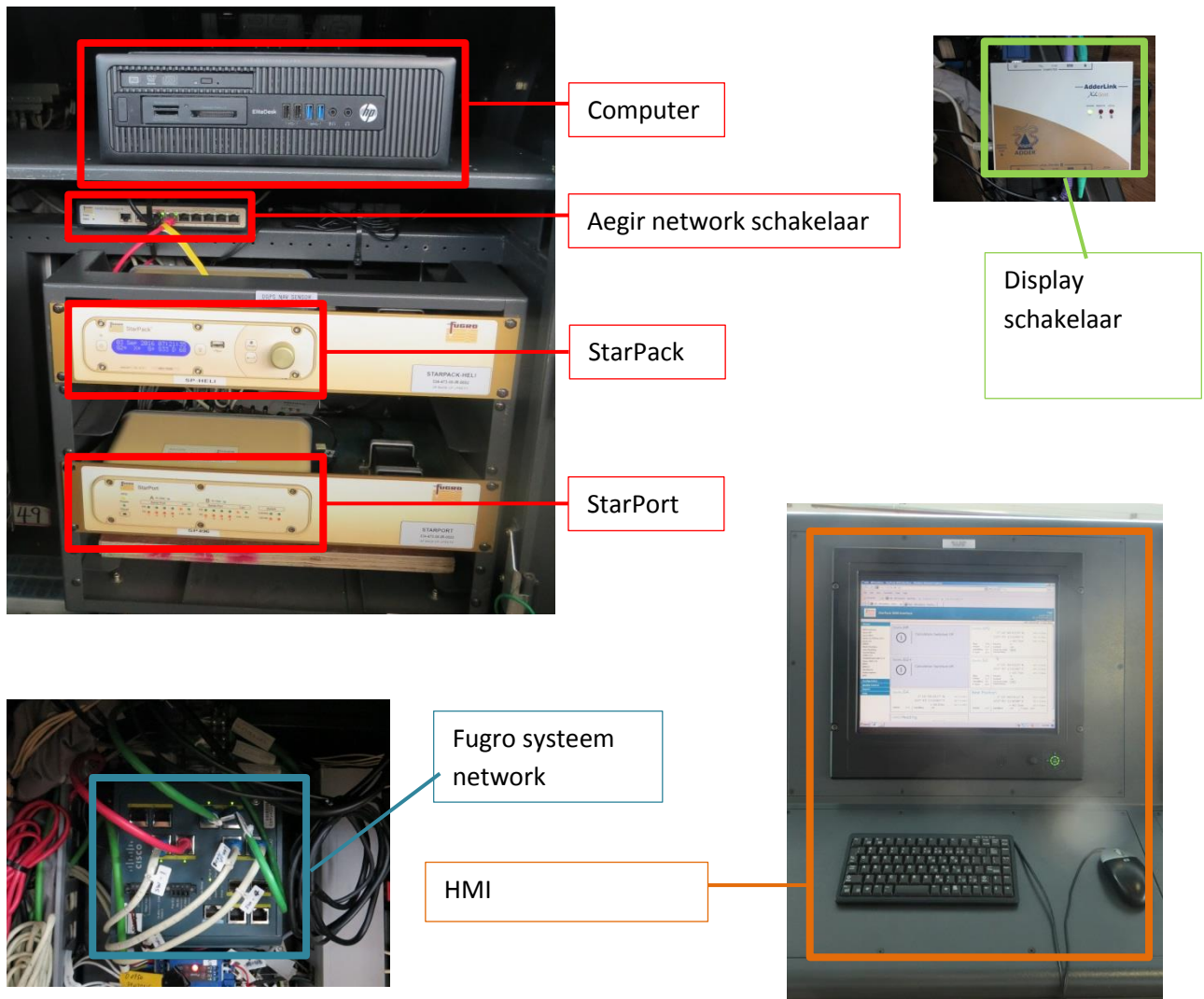


Figuur 4 langsscheepse assen (Kongsberg, 3610 DGNSS Receiver user manual, 2009)

2.4 Fugro systeem

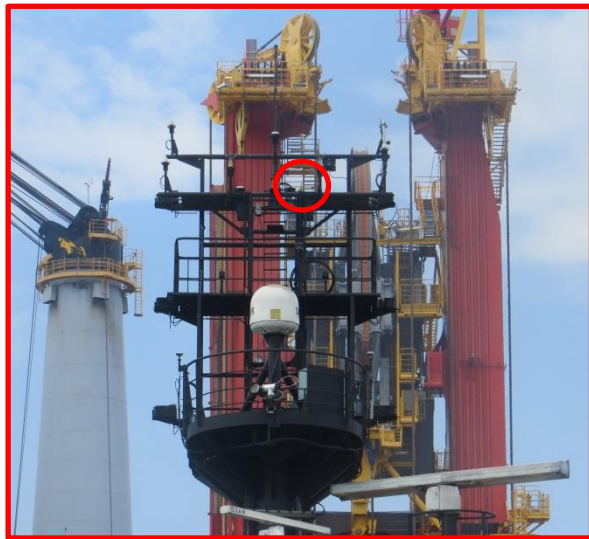
Aan boord van de Aegir bevindt zich het Fugro ppp's G4 Systeem.

2.4.1 Hardware Fugro

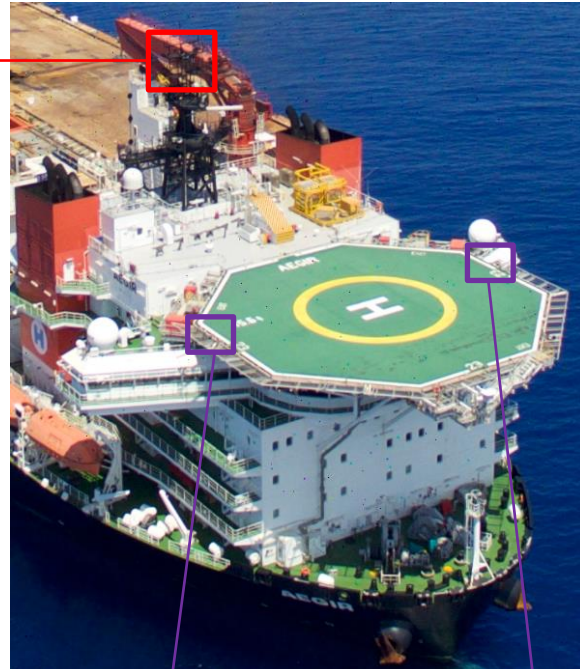


Figuur 6 Diverse foto's Aegir: (Dahlkamp, 2020)

2.4.2 Antennes Fugro



(GNSS 2) antenna



(GNSS 1A)



(GNSS 1B)



Figuur 7 Diverse foto's Aegir: (Dahlkamp, 2020)

2.4.3 Werking Fugro ppp's G4

Het Fugro systeem bestaat uit drie antennes waarvan twee geplaatst op het helideck (GNSS 1A en 2B). GNSS 1B functioneert alleen voor het bepalen van de heading. De derde antenne is gepositioneerd in de radar mast (GNSS 2). GNSS 1A en GNSS 2 antennes ontvangen ook de correctiesignalen. Hierdoor heeft het systeem van Fugro geen aparte antennes voor het ontvangen van de correctiesignalen. De Starpack antennes zijn verbonden met een starpack waar de GNSS – en correctiesignalen binnenkomen. Elke starpack kan de correcties van één uplink satelliet station ontvangen en zijn kruislinks met elkaar verbonden. Als backup kunnen de correctie signalen ontvangen worden via de V-sat NTRIP(Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) signaal.

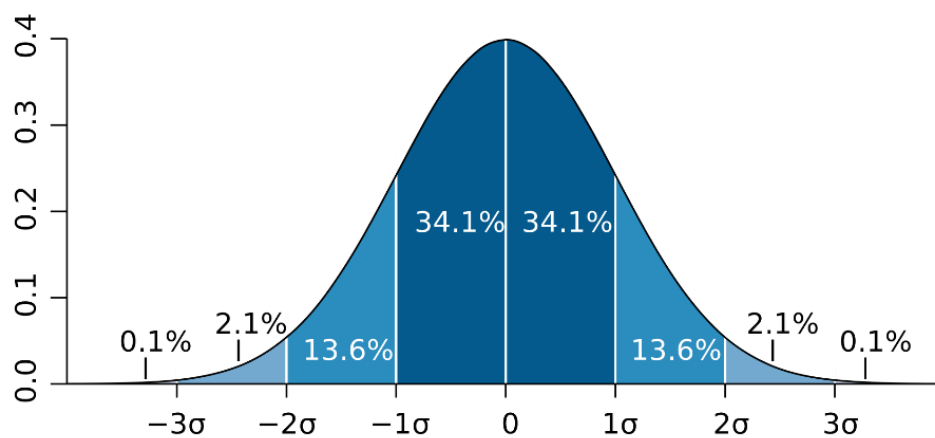
(Fugro, 2016)

2.5 Begrippen

2.5.1 Standaarddeviatie

De nauwkeurigheid van de GNSS-plaatsbepalingssystemen wordt uitgedrukt in de standaarddeviatie verder weergegeven als; SD. Dit is een maat voor de spreiding van een variabele. De SD is gedefinieerd als de wortel uit de variantie. Waarin de variantie in de statistiek een maat voor de spreiding van een reeks waarden is, dat wil zeggen de mate waarin de waarden onderling verschillen. Hoe groter de variantie, hoe meer de afzonderlijke waarden onderling verschillen, en dus ook hoe meer de waarden van het "gemiddelde" afwijken. De standaardafwijking wordt gebruikt om de spreiding, de mate waarin de waarden onderling verschillen van een verdeling aan te geven. De standaardafwijking wordt, anders dan de variantie, in dezelfde eenheid uitgedrukt als de verwachtingswaarde of het gemiddelde. (Diamond, 2017)

De standaard deviatie uitgedrukt in de krommen van Gauss is -1σ tot 1σ ;

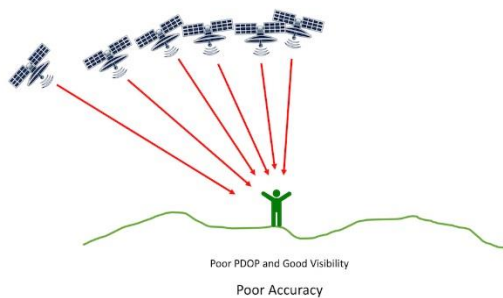


Figuur 8 Kromme van Gauss (Diamond, 2017)

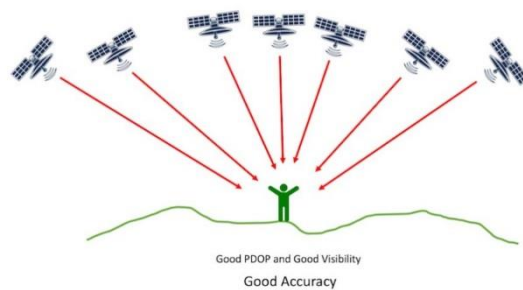
2.5.2 PDOP

De term PDOP (Position Dilution of Precision) is de maat waarin de sterkte van de satelliet configuratie/geometrie wordt waargenomen door de ontvanger op het moment van het ontvangen van het signaal. De GNSS-ontvangers communiceren met satellieten die zich boven de horizon van de ontvanger bevinden. Als de satellieten zich in een “groepje” bij elkaar bevinden oftewel de spreiding van de satellieten in de atmosfeer minimaal is dan zal dit resulteren in afname van de spreiding en dus een hoge PDOP waarde. Als de satellieten gelijk verdeeld zijn over de atmosfeer zal dit resulteren in een lage PDOP waarde. Ook zegt het iets over de betrouwbaarheid van het signaal wanneer de satellieten een betere verdeling hebben over de atmosfeer van de ontvanger is de kans dat het signaal gemaskeerd wordt door een externe object kleiner dan wanneer deze verdeling minimaal is (*Figuur 10 en 9*).

(Bose, 1997)



Figuur 10 Hoge PDOP waarde (Bose, 1997)



Figuur 9 Lage PDOP waarde (Bose, 1997)

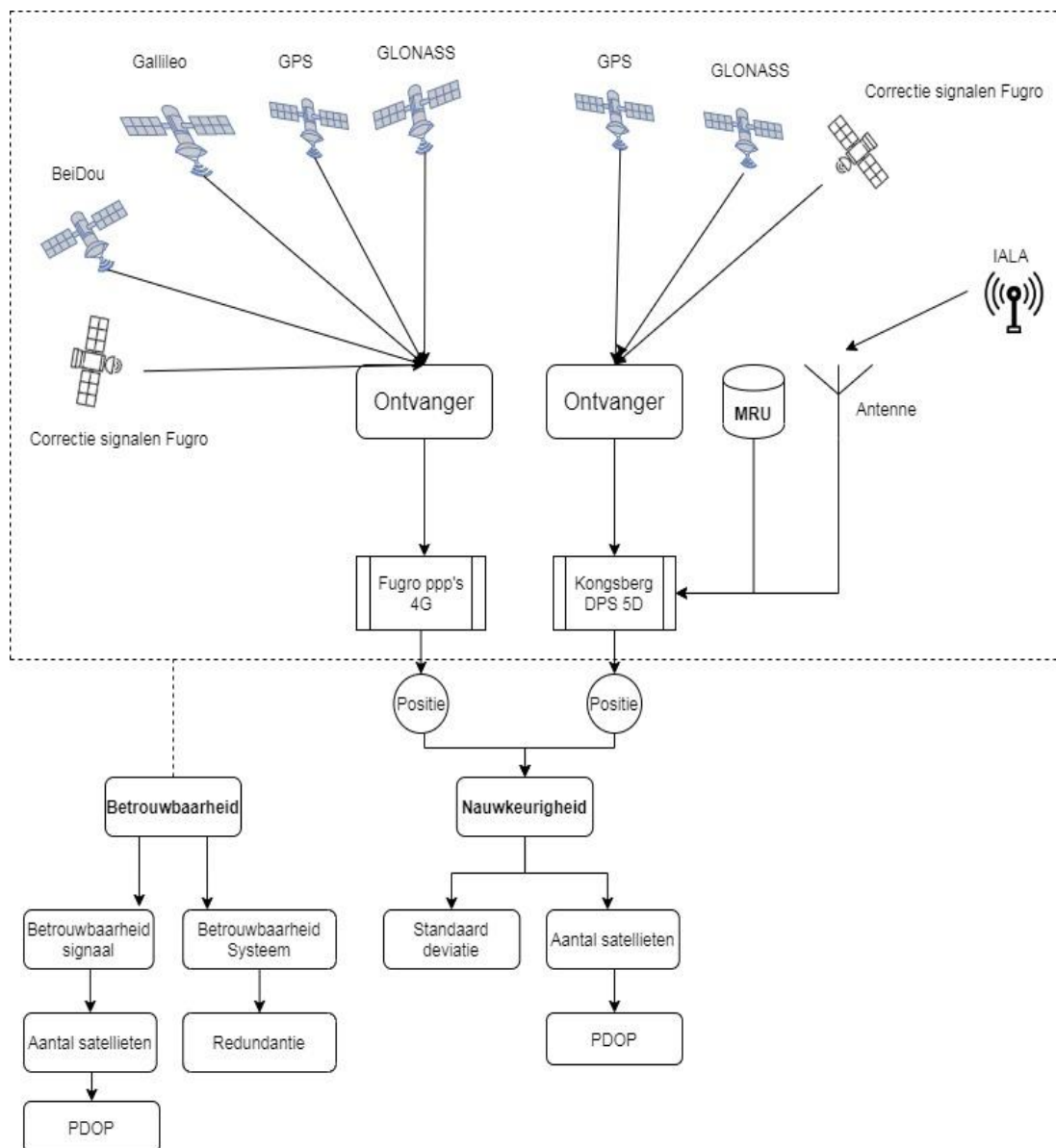
2.5.3 A60 brandwerend schot

Een A60 schot is gemaakt van staal of ander gelijkwaardig materiaal en biedt een weerstand tegen de doorgang van rook en hitten van minimaal 60 minuten. De temperatuur aan van het schot mag binnen 60 minuten niet meer dan 180 graden Celsius stijgen. (Agency, 1998)

2.5.4 NMEA-0183 string

NMEA-0183 string (National Marine Electronics Association) is een protocol om apparatuur aan boord van schepen gegevens te laten uitwisselen. Dit protocol is geschikt om via seriële verbindingen informatie te verzenden naar meerdere apparaten. Het precieze protocol is beschermd materiaal en kan via het National Marine Electronics Association tegen betaling verkregen worden. (Betke, 2001)

2.6 Conceptueel model



Figuur 11 Conceptueel model

Hoofdvraag:

Wat is het verschil in nauwkeurigheid en betrouwbaarheid tussen de GNSS-plaatsbepalingssystemen Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D?

- Deelvraag1:

Wat is het verschil in nauwkeurigheid van de positie en betrouwbaarheid van het signaal tussen het ontvangen van GPS en GLONASS satellieten met G2 correctiesignaal en GPS, GLONASS, Galileo en BeiDoe satellieten met G4 correctiesignaal?

- Deelvraag 2:

Wat is de mate van redundantie van Fugro ppp's en Kongsberg DPS 5D?

- Deelvraag 3:

Wat is de invloed van de MRU (Motion Reference Unit) van de Kongsberg DPS 5D op de nauwkeurigheid van de positie?

3. Methode

3.1 Deelvraag 1

De eerste deelvraag wordt beantwoord doormiddel van kwantitatief onderzoek. Het originele plan volgens het onderzoekvoorstel was het uitvoeren van een proef met de Fugro Helipack en Mastpack waarbij tijdens de proef alle correctiesignalen uitgeschakeld zijn. Nadat de correctiesignalen zijn uitgeschakeld zal de positie alleen berekend worden uit de ontvangen GNSS-satellietsignalen. Voor Fugro Mastpack zijn dat: GPS, GLONASS, Galileo en BeiDou, en voor Fugro Helipack zijn dat: GPS en Galileo. Hiermee kan bepaald worden wat het verschil is tussen het ontvangen van 4 GNSS-systemen en 2 GNSS-systemen. Dit is een verschil tussen Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D. Echter werd tijdens het uitvoeren van de proef bekend dat zowel de Mastpack als de Helipack dezelfde waardes aangaven, wat betekend dat zowel de Mastpack als de Helipack gebruik maken van alle vier de satellietsystemen ongeacht dat deze in de Mastpack uitgeschakeld zijn waarmee de proef niet valide is.

Na het onderkennen van dit probleem is de proef aangepast naar het verschil tussen het ontvangen van satellietsystemen: GPS, GLONASS, Galileo en BeiDou met invloed van het Starfix G4 correctiesignaal voor de Helipack en GPS en GLONASS met invloed van het Starfix G2 correctiesignaal voor de Mastpack. Waarmee de deelvraag ook is veranderd in: Wat is het verschil in nauwkeurigheid van de positie en betrouwbaarheid van het signaal tussen het ontvangen van GPS en GLONASS satellieten met G2 correctiesignaal en GPS, GLONASS, Galileo en BeiDoe satellieten met G4 correctiesignaal?

3.1.1 Proef 1

Tijdens het uitvoeren van proef 1 zijn de instellingen zo ingesteld als weergegeven in *Bijlage 5*. Vervolgens zijn er twee runs gedraaid van 300 seconden wat neer komt op een totaal aantal positie outputs van 600. Door het opkomen van het Covid-19 virus is het survey team niet aan boord gekomen waardoor het onmogelijk is geweest om de NMEA string te loggen en de positie's uittezetten in een scatterplot. Er is hier voor een alternatieve manier van dataverzameling gekozen doormiddel van het filmen van de HMI en vervolgens de verkregen data te verwerken in Excel.

Voorafgaand aan de data-verzameling is het schip op DP-gelegd om zo de positie van het schip zoveel mogelijk op dezelfde geografische positie te houden met minimale scheepsbewegingen. Oorspronkelijk zou de proef uitgevoerd worden als het schip afgemeerd lag, maar dit is door operationele beperkingen helaas niet mogelijk geweest.

Om de invloed van de metrologische omstandigheden op de proef zo klein mogelijk te houden is de dataverzameling gedaan tijdens optimale metrologische omstandigheden. Dit omdat factoren als wind, regen, stroming, golven en deining resulteren in scheepsbewegingen die de nauwkeurigheid van het signaal beïnvloeden. Daarom is de meting uitgevoerd waarbij de parameters: Roll, pitch en hieuv zo dichtmogelijk het nulpunt naderen. Door het elimineren van deze variabele is het accent van de proef gelegd op de nauwkeurigheid van de data en niet op de invloed van de externe factoren op de data. De data van de scheepsbewegingen zijn verkregen via een uitdraai van de MRU weergegeven in Roll [°], Pitch[°] en Heave [m/s] uitgezet als functie van de tijd. De instellingen van proef 1 zijn weergegeven in *Bijlage 5*.

3.2 Deelvraag 2

De tweede deelvraag: “Wat is de mate van redundantie van Fugro ppp’s G4 en Kongsberg DPS 5D? “ is beantwoord doormiddel van onderzoek naar het verschil in de opbouw van de verschillende GNSS-systemen. Doordat Fugro ppp’s G4 en Kongsberg DPS D5 twee afzonderlijke systemen zijn, hebben deze systemen een verschillende samenstelling en structuur. Doormiddel van het analyseren van de systemen zijn er stroomschema’s opgesteld waarbij een of meerdere componenten van het systeem geen ontvangst hebben of niet meer functioneren door een SPOF, brand of een black-out. Vervolgens is er in een stroomdiagram weergegeven wat de gevolgen van deze situaties zijn doormiddel van het reconstrueren van de stroomschema’s waar de componenten die niet meer functioneren met rood gearceerd zijn en de componenten die nog wel functioneren met groen.

Verder zijn de opvallende verschillen in de systeemopbouw weergegeven en worden essentiële componenten besproken die door een SPOF zorgen voor het verliezen van de positie output. Essentiële componenten zijn gedefinieerd als zijnde: “Componenten die door een SPOF in het component of de bekabeling van en naar dit component zal resulteren in het verlies van de positie output”.

Er is een selectie gemaakt met situaties waarbij componenten niet meer functioneren. Dit zijn alleen situaties waarbij de gevolgen van het begeven van de componenten een dusdanige invloed hebben op het functioneren van het systeem en de nauwkeurigheid van de positie output. De volgende selectie van situaties zijn weergegeven:

- Niet functioneren van antennes in radarmast
- Niet functioneren van antennes helideck
- Niet functioneren alle antennes
- Niet functioneren UPS’s
- Brand
- Essentiele componenten

3.3 Deelvraag 3

De derde deelvraag: “Wat is de invloed van de MRU (Motion Reference Unit) van de Kongsberg DPS 5D op de nauwkeurigheid van de positie?” is beantwoord doormidden van kwantitatief onderzoek. Dit is bepaald aan de hand van twee proeven, Proef 1 waarbij het schip afgemeerd is. Proef 2 waarbij het schip vrij kan bewegen. Doormiddel van het vergelijken van de resultaten van deze twee proeven kan bepaald worden wat de invloed van de MRU van Kongsberg DPS 5D op de positie verbetering is.

3.3.1 Proef 2

Proef 2 is uitgevoerd wanneer het schip afgemeerd is, hierdoor zijn de scheepsbewegingen van het schip minimaal, waardoor deze zo min mogelijk invloed hebben op de positie bepaling. Proef 2 bestaat uit een run van 500 seconden en een run van 7200 seconden. Waarbij de ruwe data input van de Kongsberg DPS 5D en Fugro ppp's G4 gelogd zijn doormiddel van de NMEA string output. Vervolgens zijn de posities uit de NMEA string gehaald en verwerkt. De positie data is uitgezet in een scatterplots waarin de Mastpack, Helipack en de Kongsberg met elkaar zijn vergeleken. Om de data met elkaar te vergelijken worden de positie data verrekend van de antenne locaties naar het CRP(Common Reference Point) op het schip. Hierdoor wordt de data vergeleken vanaf hetzelfde punt op het schip. De lengte van de runs zijn zo gekozen dat de data verzameling door survey makkelijk te verkrijgen zijn.

Plots

In de eerste plot is de ruwe data uitgezet in een scatterplot met een statische vergelijking die niet gecorrigeerd is voor de scheepsbewegingen. Voor de tweede plot is de data gecorrigeerd voor de scheepsbewegingen weergegeven in een scatterplot. Ondanks dat het schip afgemeerd ligt in de haven zullen er minimale scheepsbewegingen zijn. Deze ontstaan door de bewegingen van het schip in de trossen door de getijstroming en of kraan bewegingen. De data van de scheepsbewegingen is verkregen via datalogging van MRU 1,2,3 en 4. De data van de heading is gelogd uit de MGC(Motion sensor & Gyro Compass) 1,2 en 3. Met deze verkregen data zijn de scheepsbewegingen gecorrigeerd. De scheepsbewegingen zijn voor de run van 7200 seconden toegevoegd in grafieken waar de bewegingen uitgezet zijn als functie van de tijd. Voor de proef van 500 seconden is dit niet gedaan wel is de ruwe data voor de bewegingen gecorrigeerd.

Instellingen

Tijdens proef 2 maken de GNSS-ontvangers gebruik van alle beschikbare componenten voor de positie berekening weergegeven in *bijlage 5*. Als extra vergelijking is de Helipack ingesteld op G2 en de Mastpack ingesteld op G4. Dit is gedaan om deelvraag 1 te onderbouwen, omdat bij deze dataverzameling het signaal ook gecorrigeerd wordt voor scheepsbewegingen wat bij de resultaten van proef 1 niet gedaan is.

Aan de hand van de resultaten van proef 2 is bepaald wat het verschil is in nauwkeurigheid tussen Fugro Mastpack, Fugro Helipack en Kongsberg DPS 5D wanneer het schip nagenoeg geen scheepsbewegingen maakt en gecorrigeerd voor deze bewegingen.

3.3.2 Proef 3

Door de huidige situatie is het niet mogelijk geweest om proef 3 in de praktijk uit te voeren in verband met het Covid-19 virus. Hierdoor is het schip niet in een situatie geweest waarbij de invloed van MRU in de Kongsberg DPS 5D te testen was. De opstelling van proef 3 is hieronder weergegeven en zou in een vervolg onderzoek alsnog uitgevoerd kunnen worden.

Proef 3 kan uitgevoerd worden wanneer het schip vrij kan bewegen. Waardoor het blootgesteld is aan externe factoren die resulteren in scheepsbewegingen. Proef 3 zou bestaan uit een run van 500 en 7200 seconde waarbij de ruwe data input van de Kongsberg DPS 5D en Fugro ppp's G4 gelogd zou worden doormiddel van een NMEA string output. De ruwe positiedata zou dan uitgezet worden in een scatterplot met behulp van excel. De data van de scheepsbewegingen zou verkregen worden via een uitdraai van MRU 1,2,3 en 4 waar de scheepsbewegingen vervolgens in een grafiek weergegeven zouden worden uitgedrukt in Roll [°], Pitch[°] als functie van de tijd. Voor de heading input zou de data van de MGC gyro1,2 en 3 gebruikt worden waarna de heading uitgezet wordt als functie van de tijd. Tijdens proef 3 maken de GNSS-ontvangers gebruik van alle beschikbare componenten voor de positie berekening weergegeven in *bijlage 5*.

Doormiddel van de resultaten van proef 3 en deze te vergelijken met de resultaten van proef 2 kan bepaald worden wat het verschil in nauwkeurigheid tussen Fugro Mastpack, Fugro Helipack en Kongsberg DPS 5D is wanneer het schip scheepsbewegingen maakt, waarmee dus een uitspraak gedaan worden over de invloed van de MRU in de Kongsberg DPS 5D.

De methode van de proeven komt niet overeen met wat in het onderzoekvoorstel gesteld is, omdat dit in realiteit niet uitvoerbaar was. Het originele plan was het uitvoeren van 2 proeven met de Kongsberg DPS 5D en Fugro Mastpack en Helipack. Waarbij Fugro alleen gebruik maakt van de GNSS-satelliet systemen GPS en GLONASS, dus geen correctie signalen. En Kongsberg gebruikt maakt van de GNSS-satelliet systemen GPS en GLONASS in combinatie met de MRU. Waarbij proef 2 uitgevoerd wordt wanneer het schip afgemeerd is en proef 3 wanneer het schip vrij kan bewegen.

4. Resultaten

In hoofdstuk 4.1 zijn de resultaten van proef 1 weergegeven die bestaan uit het vergelijken van het ontvangen van twee GNSS satelliet systemen met G2 correctiesignaal of vier GNSS satelliet systemen met G4 correctiesignaal. Hiermee wordt deelvraag 1 beantwoord.

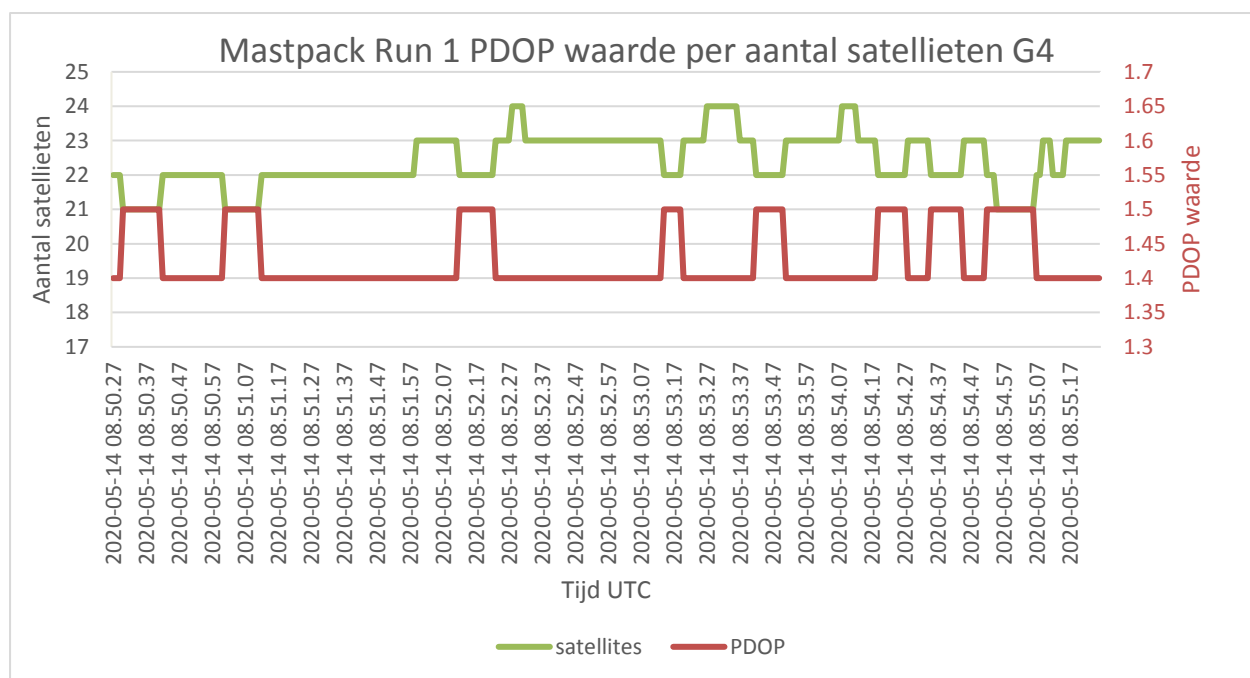
In hoofdstuk 4.2 is de beschrijving van de redundantie van Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D weergegeven waarmee een antwoord wordt gegeven op deelvraag 2.

Het derde hoofdstuk 4.3 bevat de resultaten van proef 2 en 3 waarbij de invloed van de MRU op de positie verbetering weergegeven wordt. Aan de hand van de resultaten van deze proef zal deelvraag 3 beantwoord worden.

4.1 Resultaten Proef 1

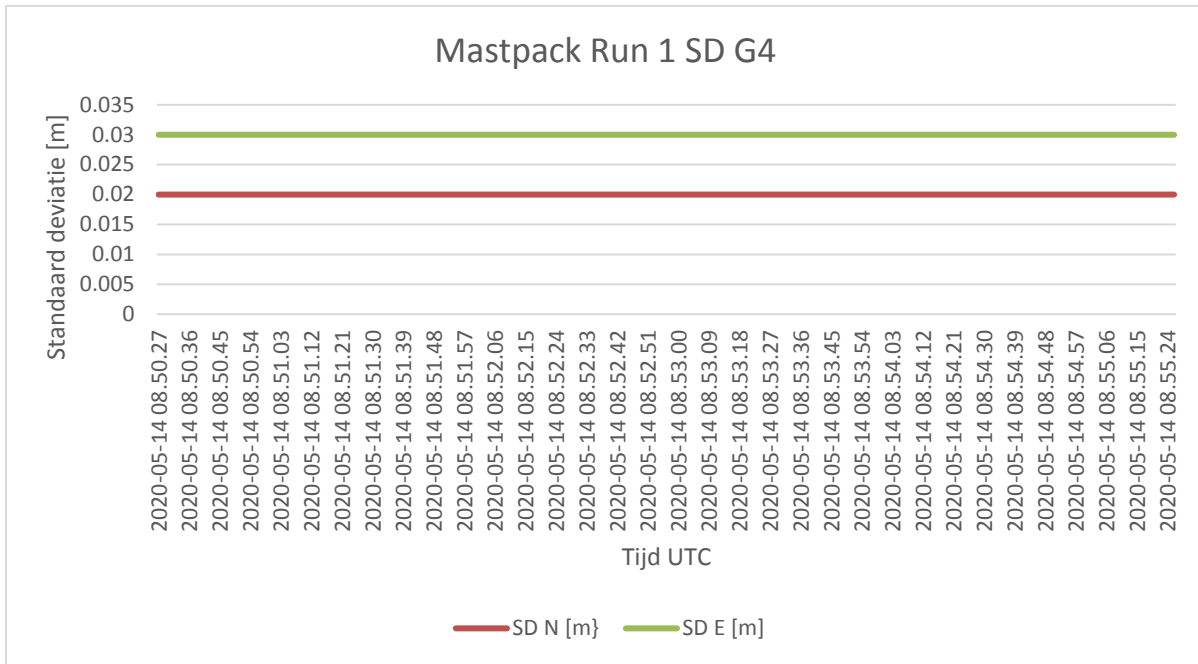
De resultaten van proef 1 waarmee het verschil in nauwkeurigheid van de positie en betrouwbaarheid van het signaal tussen het ontvangen van GPS, GLONASS met G2 correctiesignaal en GPS, GLONASS, Galileo, BeiDoe met G4 correctiesignaal zijn weergegeven in grafieken van zowel de Fugro Mastpack als de Fugro Helipack. De resultaten van run twee zijn weergegeven in de bijlage.

4.1.1 Grafieken Mastpack G4



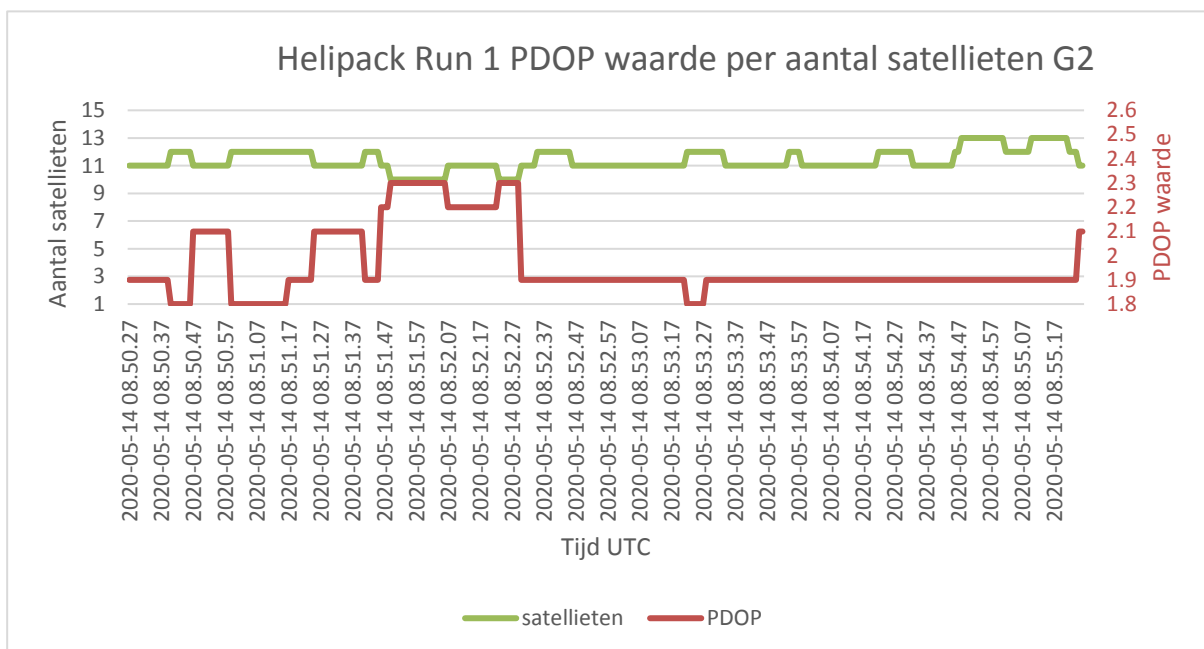
Grafiek 1 PDOP waarde per aantal satellieten

In bovenstaande grafiek is de PDOP waarde per aantal satellieten bij G4 weergegeven. Er is te zien dat de PDOP waarde afneemt naarmate het aantal ontvangen satellieten toeneemt.



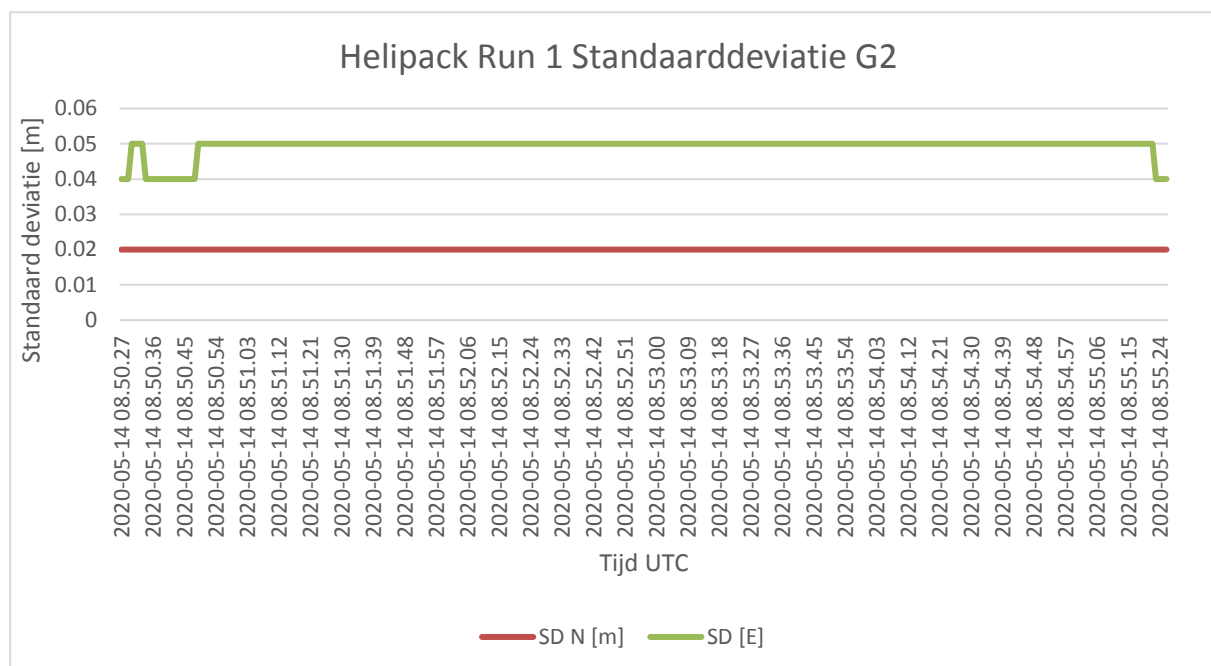
Grafiek 2 Run 1 SD G4

In bovenstaande grafiek is de SD van G4 weergegeven, er is te zien dat het SD continu is.



Grafiek 3 Run 1 PDOP waarde per aantal satellieten G2

In bovenstaande grafiek is de PDOP waarde per aantal satellieten bij G2 weergegeven. Er is te zien dat de PDOP waarde afneemt naarmate het aantal ontvangen satellieten toeneemt, net zoals bij G4.



Grafiek 4 Run 1 SD G2

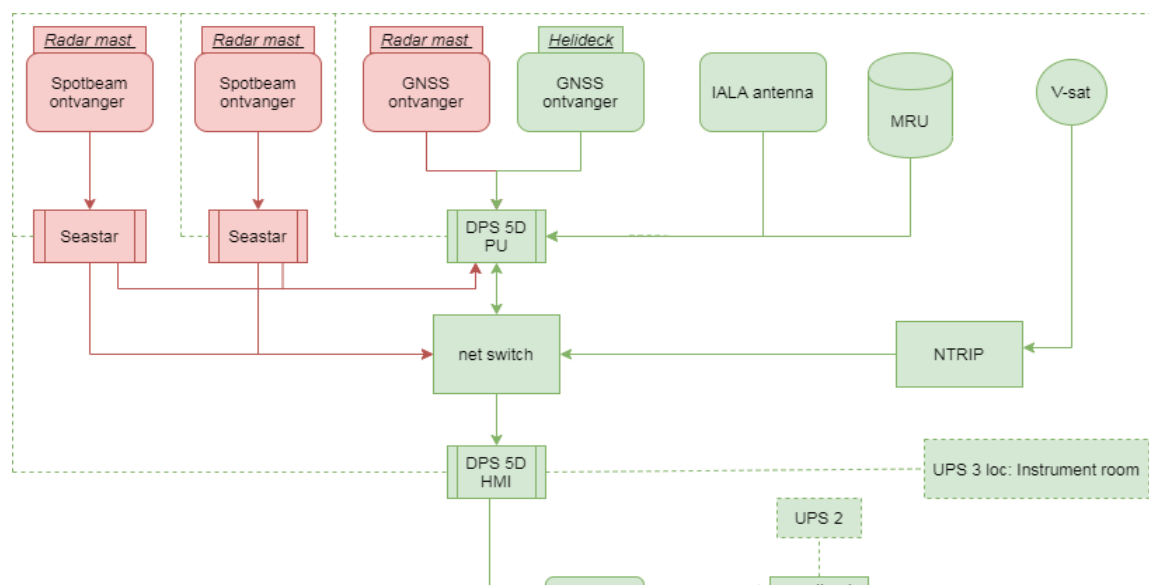
In bovenstaande grafiek is de SD weergegeven van G2, de SD E varieert tussen de 0,04 en 0,05m de SD N is constant.

4.2 Beschrijving Redundantie Fugro ppp's en Kongsberg DPS 5D

De mate van redundantie van Fugro ppp's en Kongsberg DPS 5D is bepaald doormiddel van het analyseren van de systemen, aan de hand hiervan zijn er stroomschema's opgesteld waarbij een of meerdere componenten van het systeem geen ontvangst hebben of niet meer functioneren door SPOF, brand of black-out. Vervolgens is dit in stroomschema's weergegeven wat de gevolgen van deze situaties zijn. De componenten die niet meer functioneren zijn met rood gearceerd en de componenten die nog wel functioneren met groen.

4.2.1 stroomschema's antennes

Niet functioneren antennes in de radarmast Kongsberg

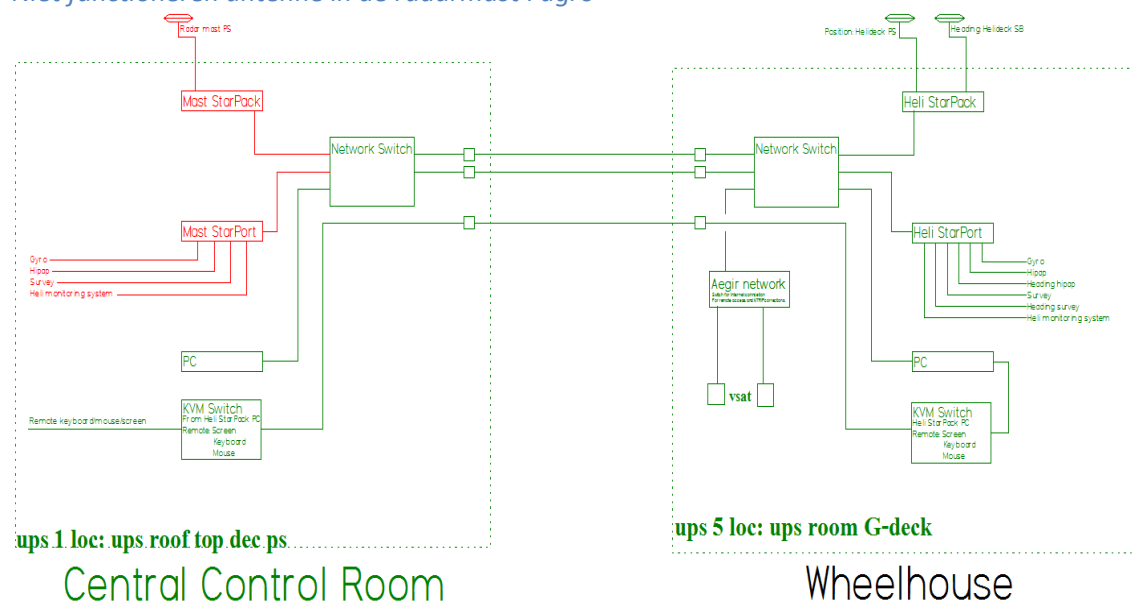


Figuur 12 Niet functioneren antennes in de radarmast Kongsberg

Resultaat Kongsberg: Positie output

De positie output blijft nauwkeurig door ontvangen back-up correctiesignaal via de V-sat,

Niet functioneren antenne in de radarmast Fugro

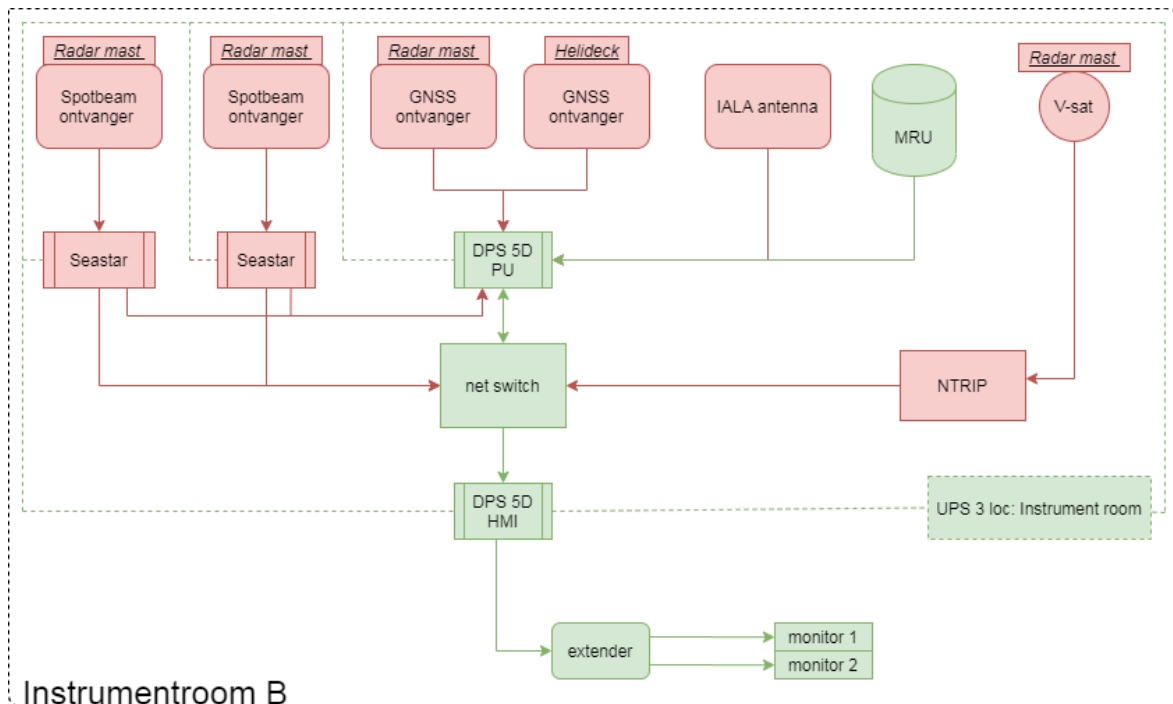


Figuur 13 Niet functioneren antenne in de radarmast Fugro

Resultaat Fugro Mastpack: Geen positie output

Resultaat Fugro Helipack: Positie output

Niet functioneren van alle antennes Kongsberg

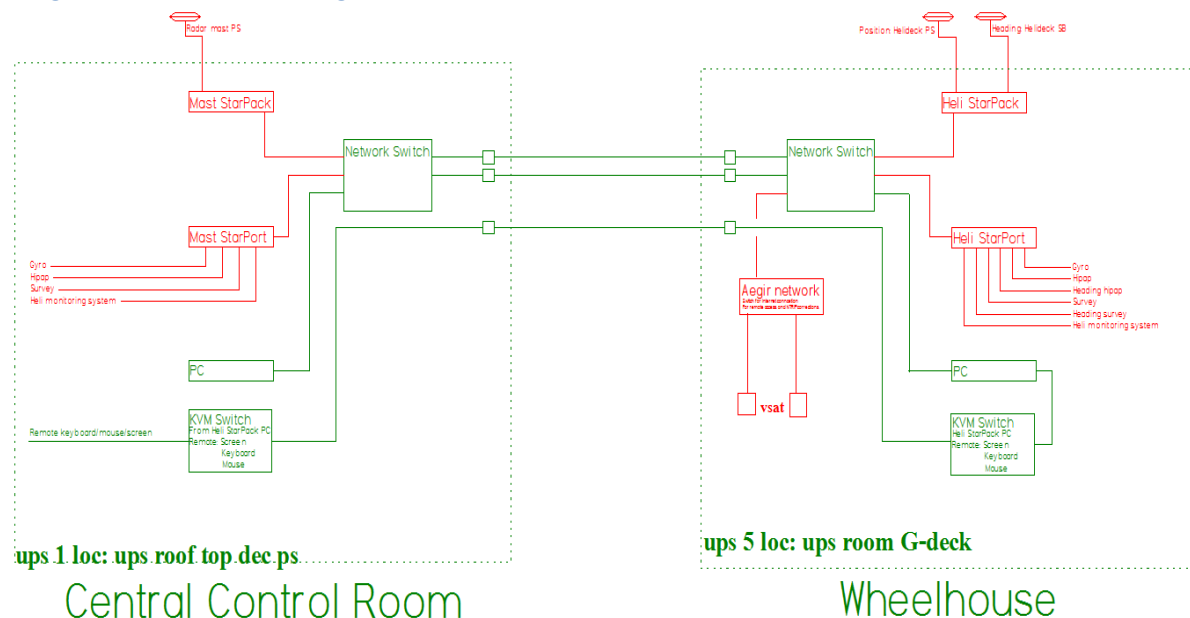


Figuur 16 Niet functioneren van alle antennes Kongsberg

Resultaat: Tijdelijke positie output meer.

De positie wordt voort berekend op de versnellingen verkregen via de MRU in combinatie met de laatste verkregen GNSS positie. Nauwkeurigheid neemt af naarmate de tijd toeneemt.

Wegvallen alle antennes Fugro



Figuur 17 Wegvallen alle antennes Fugro

Resultaat Fugro Mastpack: Geen positie output

Resultaat Fugro Helipack: Geen positie output

4.2.2 Brand

De hardware van het DPS D5 systeem van Kongsberg bevindt zich geheel in de instrumenten room B wat omringd is door A60 schotten. Hierdoor heeft het een brandbestendigheid heeft van minimaal 60 minuten. De hardware van de Mastpack van de Fugro bevindt zich in de CCR wat ook omringd is door A60 schotten. Eveneens als hardware van de Helipack die zich in de 'wheelhouse' bevindt. De ruimtes waar de UPS's zich in bevinden zijn ook allemaal omringd door een A60 schotten.

4.2.3 Correctie signalen

Bij de Kongsberg zijn er aparte antennes voor het ontvangen van de spotbeam correctiesignalen. Bij Fugro is dit een gecombineerde ontvanger voor zowel de correctiesignalen als de GNSS-signalen. Ook ontvangt Kongsberg een IALA correctiesignaal wat verzonden wordt via een MF/HF draag frequentie met een aparte antenne.

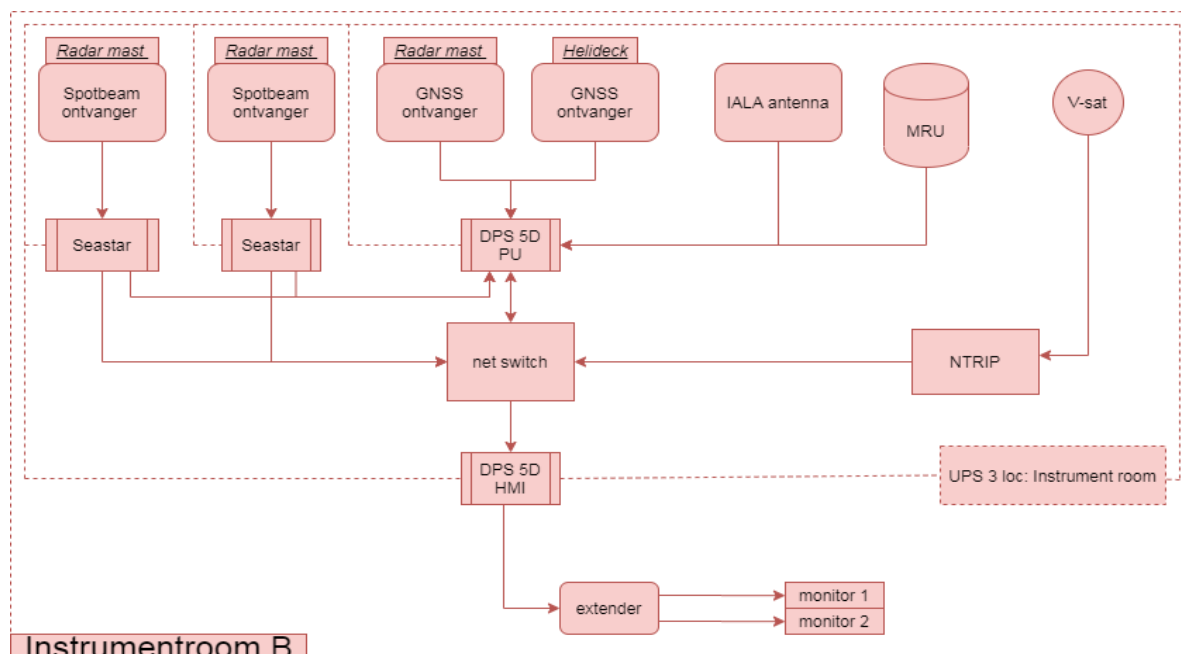
4.2.4 Niet functioneren van stroom/ UPS's

Alle stroom behoevende onderdelen van zowel Fugro als Kongsberg zijn aangesloten op het scheepsnet. Daarnaast zijn de onderlinge componenten van de plaatsbepaling systemen aangesloten op UPS-stations.

De Kongsberg installatie is aangesloten op UPS 3 die geplaatst is in instrumenten room B waar ook de hardware van Kongsberg is geplaatst.

De Fugro installatie is opgesplitst in twee ruimtes de Mastpack die gepositioneerd is de central control room en de Helipack die gepositioneerd is in de 'wheelhouse'. De Mastpack is aangesloten op UPS 1 die zich in de UPS ruimte op het topdeck bevindt. De Helipack is aangesloten op UPS 5 die zich bevindt achter de 'wheelhouse'.

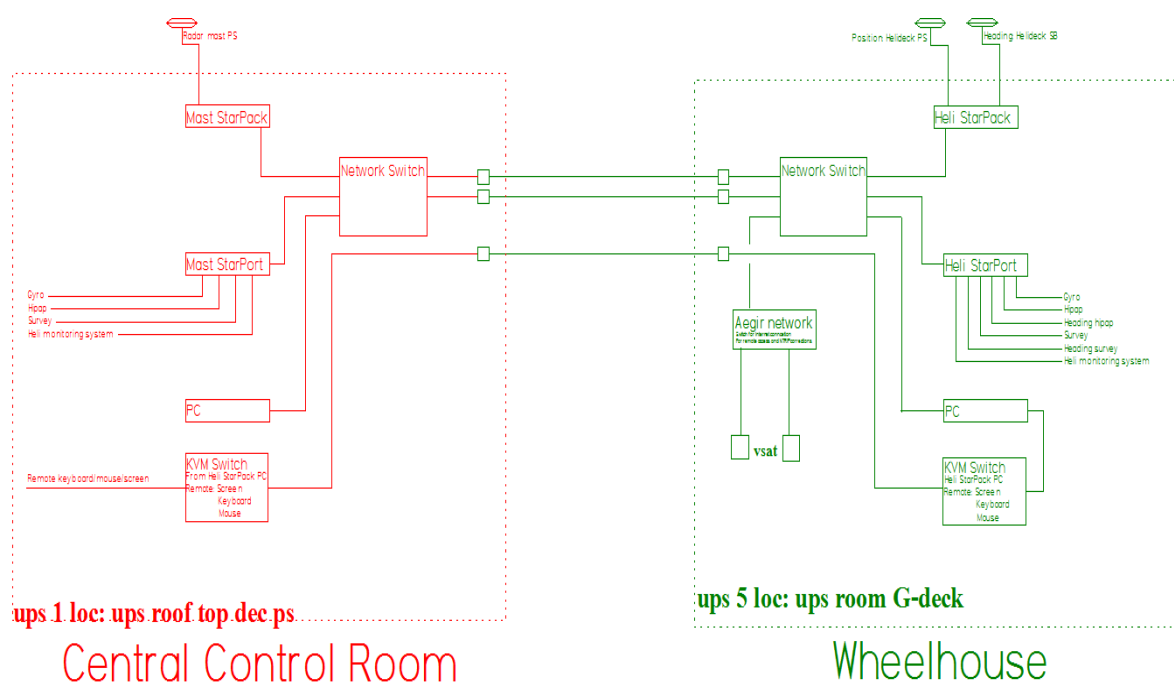
Niet functioneren UPS 3



Figuur 18 Niet functioneren UPS 3

Resultaat Kongsberg: Geen positie output

Niet functioneren UPS 1



Figuur 19 Niet functioneren UPS 1

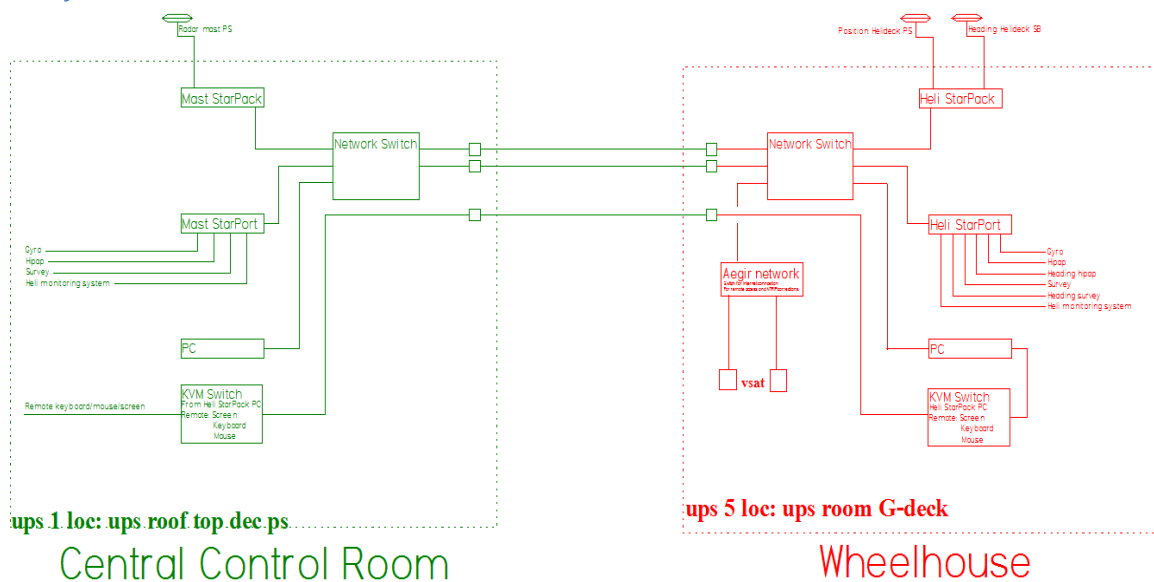
Resultaat Fugro Mastpack:

Geen positie output

Resultaat Fugro Helipack:

Positie output

Niet functioneren UPS 5



Figuur 20 Niet functioneren UPS 5

Resultaat Fugro Mastpack:

Positie output

Resultaat Fugro Helipack:

Geen positie output

Ontvangt geen NTRIP backup meer via de V-sat.

4.2.5 Essentiële componenten

Zowel Kongbergen DPS 5D als Fugro ppp's G4 bevatten essentiële componenten, als deze componenten kapot gaan zal dit resulteren in het verliezen van een positie output. In het geval van Kongsberg DPS 5D zijn de essentiële componenten:

- DPS 5D proces unit/ Bekabeling
- UPS 3/bekabeling

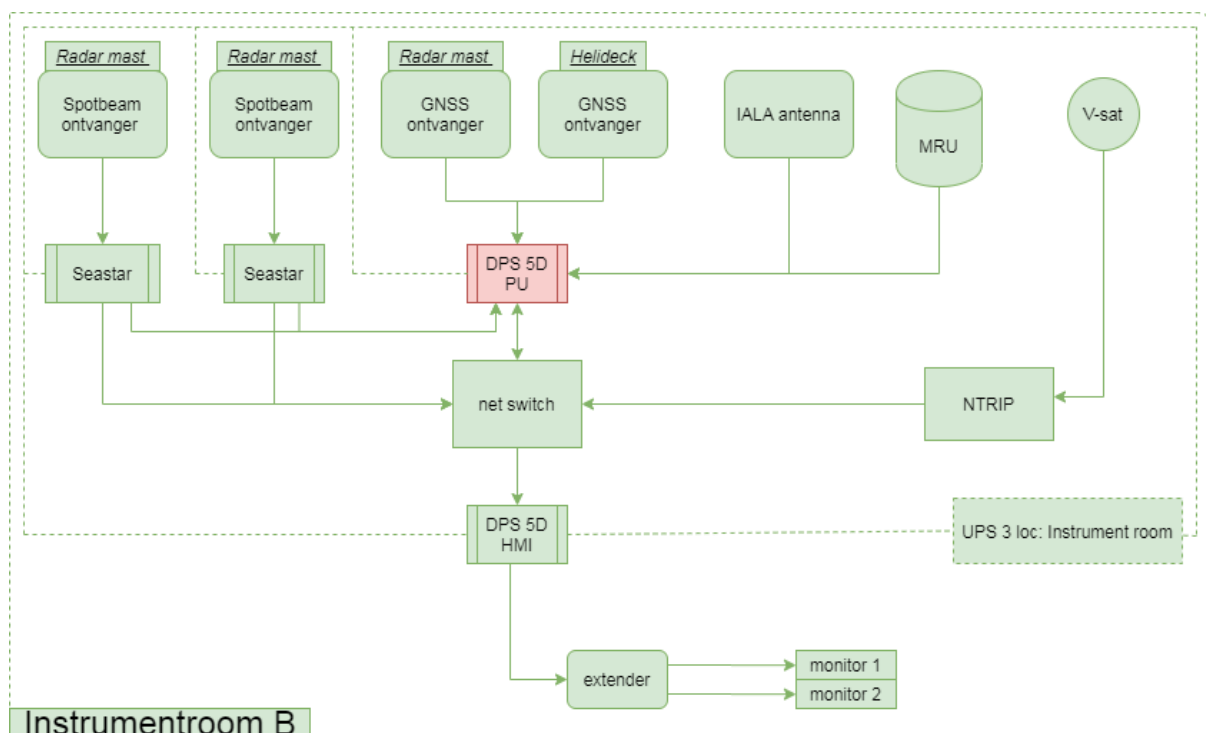
Voor Fugro ppp's G4 Helipack zijn de essentiële componenten:

- De Heli netwerk switch/bekabeling/ voeding
- De Heli Starpack/ bekabeling/ voeding
- De Heli Starport/ bekabeling/ voeding
- UPS 1/ bekabeling

Voor Fugro ppp's G4 Mastpack zijn de essentiële componenten

- De Mast netwerk switch/ bekabeling/ voeding
- De Mast Starpack/ bekabeling/ voeding
- De Mast Starport/ bekabeling/ voeding
- UPS 5/ bekabeling

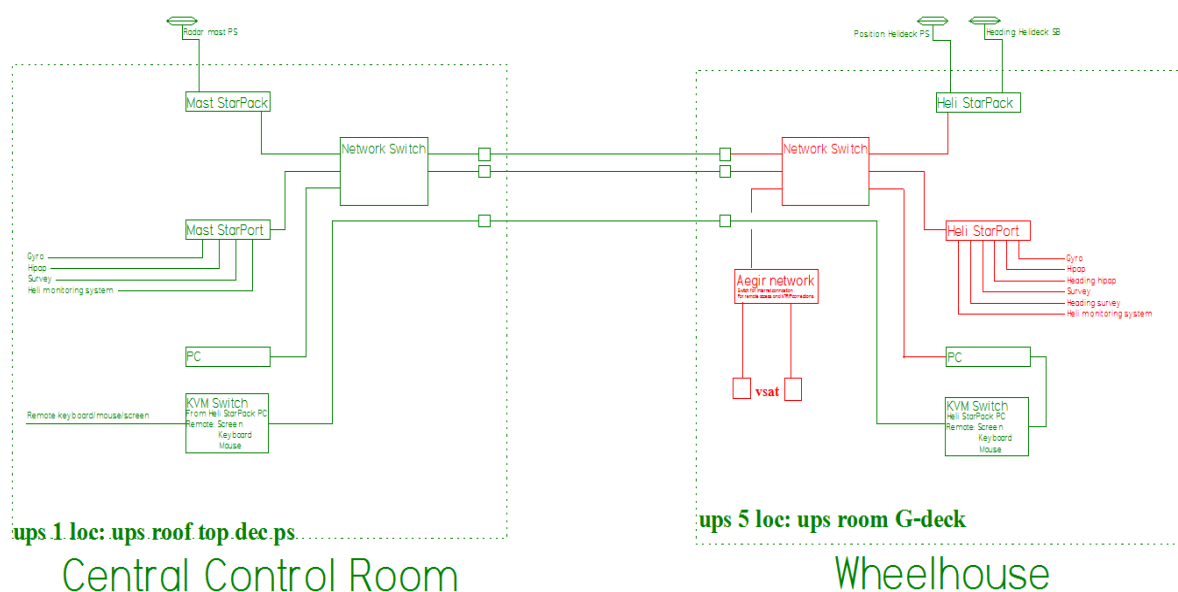
Niet functioneren van DPS 5D PU Kongsberg



Figuur 21 Niet functioneren van DPS 5D PU Kongsberg

Resultaat: Geen positie output

Niet functioneren van Heli network switch Fugro



Figuur 22 Niet functioneren van Heli network switch Fugro

Resultaat Fugro Mastpack:

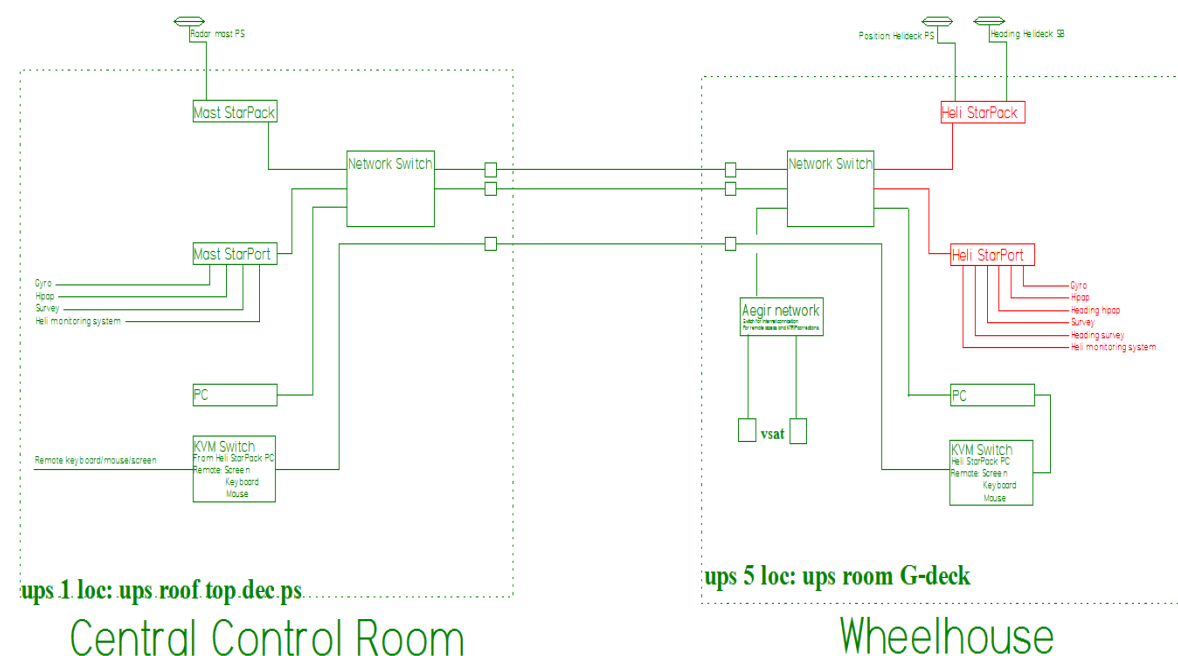
Resultaat Fugro Helipack:

Ontvangt geen NTRIP meer

Positie output

Geen positie output

Niet functioneren Heli Starpack Fugro



Figuur 23 Niet functioneren van Heli Starpack Fugro

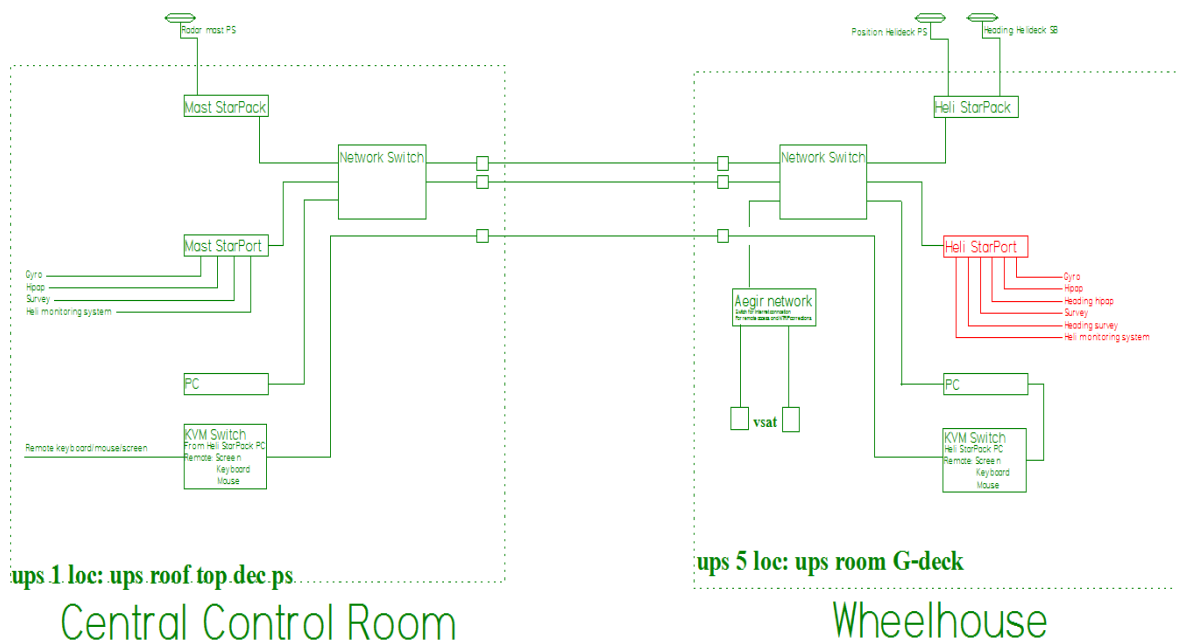
Resultaat Fugro Mastpack:

Resultaat Fugro Helipack:

Positie output

Geen positie output

Niet functioneren van Heli starport



Figuur 24 Niet functioneren van Heli starport

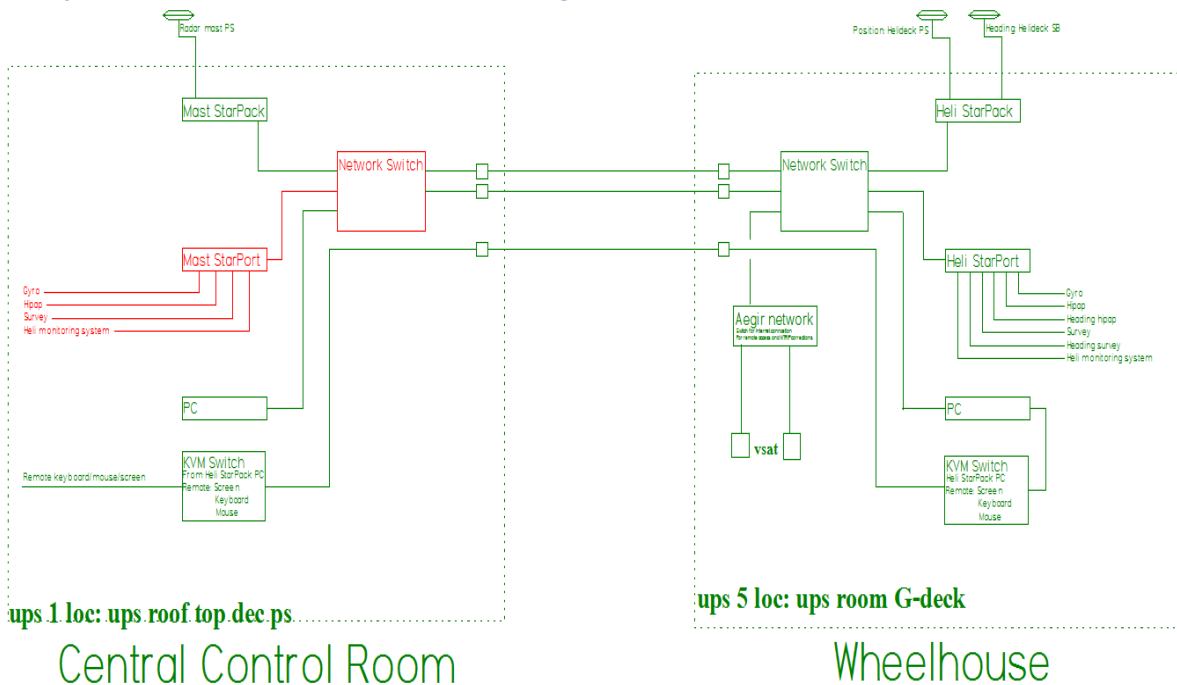
Resultaat Fugro Mastpack:

Positie output

Resultaat Fugro Heliport:

Geen positie output

Niet functioneren van Mast network switch Fugro



Figuur 25 Niet functioneren van Mast network switch Fugro

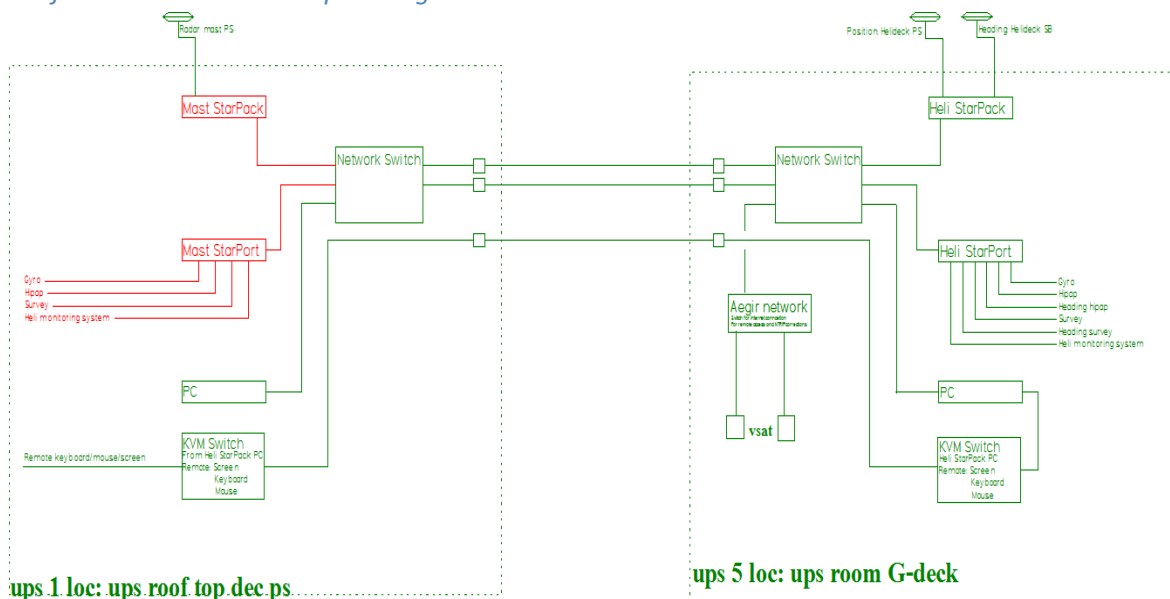
Resultaat Fugro Mastpack:

Geen positie output

Resultaat Fugro Heliport:

Positie output

Niet functioneren Mast starpack Fugro



Figuur 26 Niet meer functioneren Mast starpack Fugro

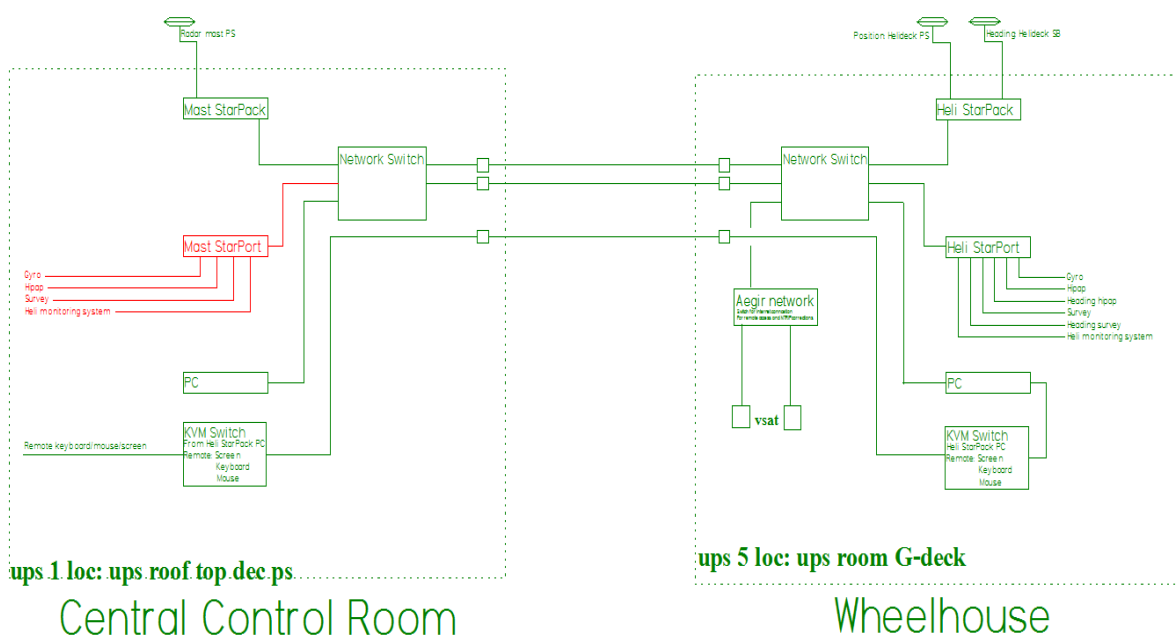
Resultaat Fugro Mastpack:

Geen positie output

Resultaat Fugro Helipack:

Positie output

Niet functioneren Mast Starpack Fugro



Figuur 27 Niet functioneren Mast Starpack Fugro

Resultaat Fugro Mastpack:

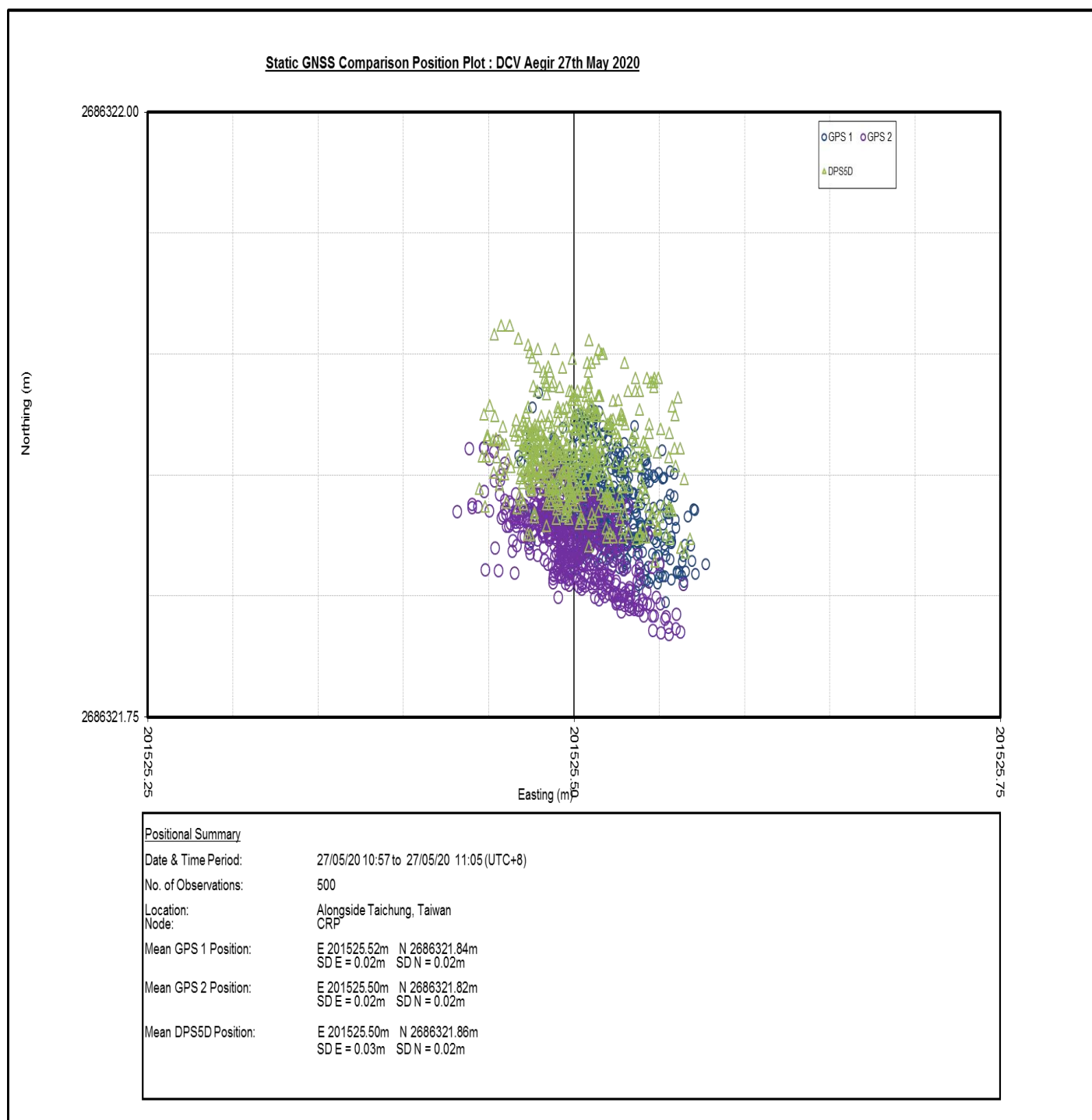
Geen positie output

Resultaat Fugro Helipack:

Positie output

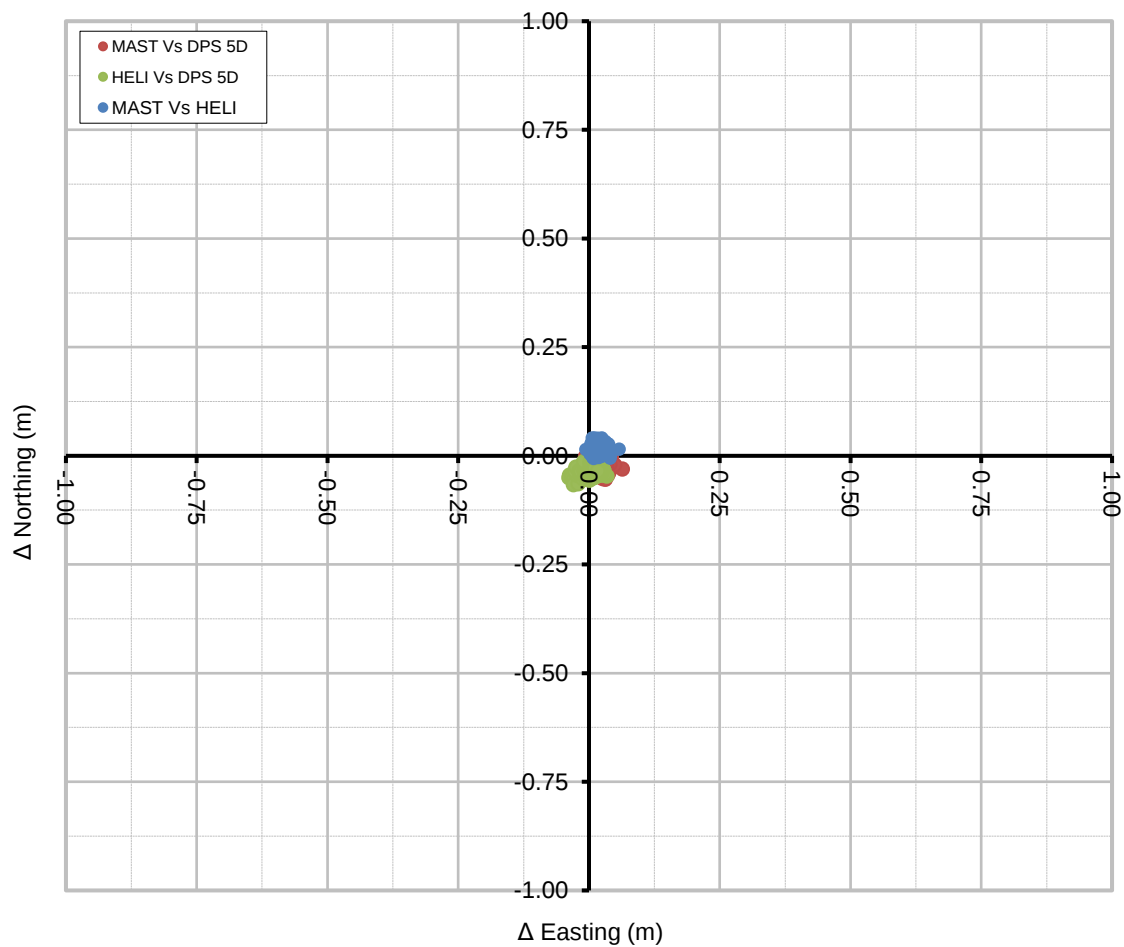
4.3 Resultaten Proef 2

De resultaten van proef nummer 2: “Waarmee het verschil in nauwkeurigheid tussen Fugro ppp’s G4 en Kongsberg DPS 5D bepaald wordt wanneer deze gebruik maken van alle beschikbare componenten voor de positie berekening.” Zijn weergegeven in grafieken en scatterplots. In onderstaande figuur zijn de ruwe positie data’s weergegeven van de 500 seconden run.



Figuur 28 Run 500 sec statische GNSS vergelijking niet gecorrigeerd voor scheepsbewegingen Mastpack(gps1), Helipack(gps2), Kongsberg DPS 5D

Static GNSS Comparison Delta Plot: DCV Aegir 27th May 2020



Positional Summary

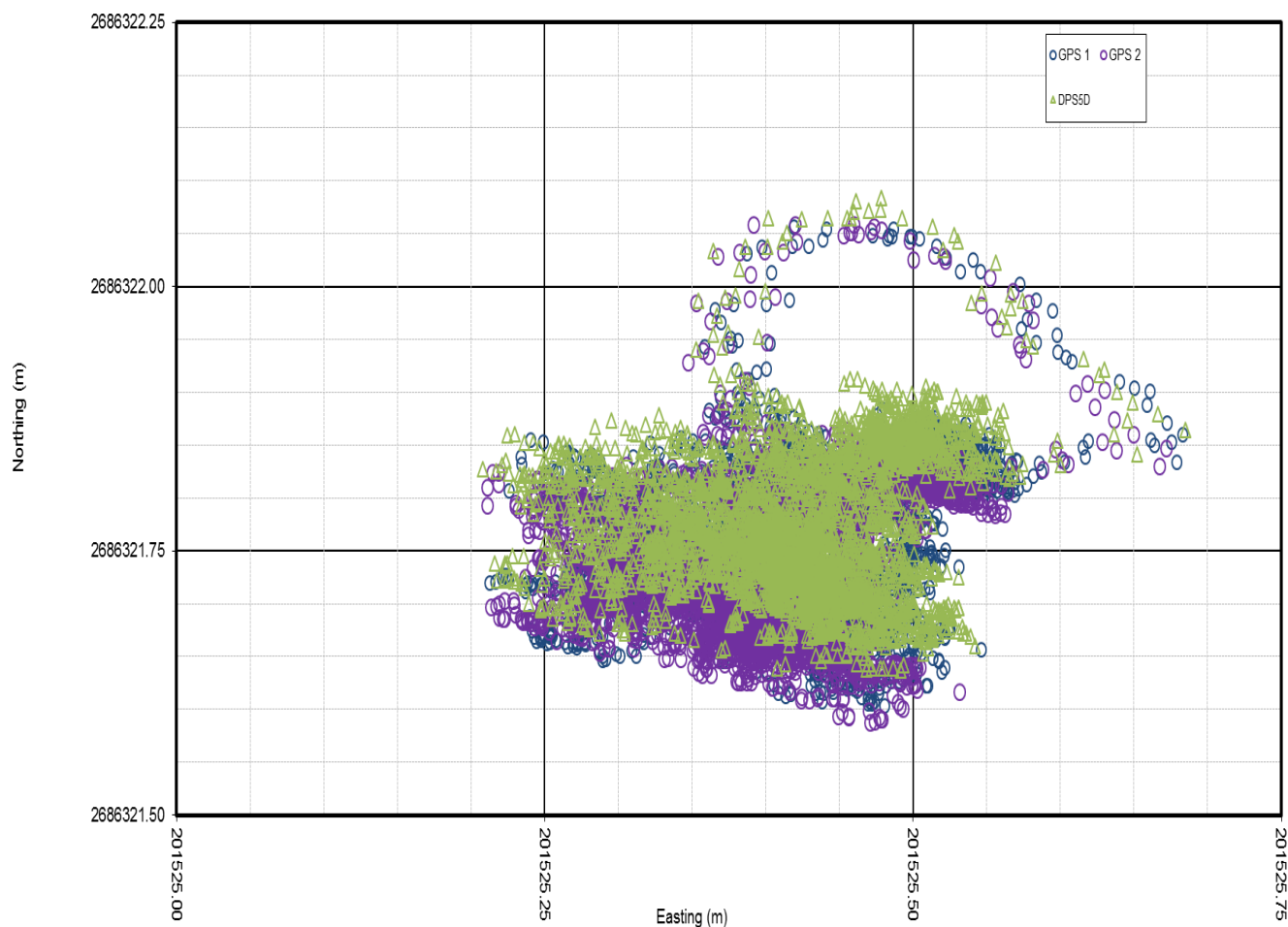
Date & Time Period: 27/05/2020 10:57 to 27/05/2020 11:05 (UTC+8)
 No. of Observations: 500
 Location: Alongside Taichung, Taiwan
 Node: CRP

	MAST Vs HELI	MAST Vs DPS 5D	HELI Vs DPS 5D
Minimum Δ Value:	-0.01m	-0.05m	-0.07m
Maximum Δ Value:	0.06m	0.06m	0.03m
SD	0.01m	0.02m	0.02m

Figuur 29 Run 500 sec statische GNSS vergelijking gecorrigeerd voor scheepsbewegingen

In Bovenstaande figuur is de vergelijking van de data van: Mastpack, Helipack en DPS 5D weergegeven gecorrigeerd voor scheepsbewegingen gemeten door de MRU's en de MGC gyro's.

Static GNSS Comparison Position Plot : DCV Aegir 27th May 2020

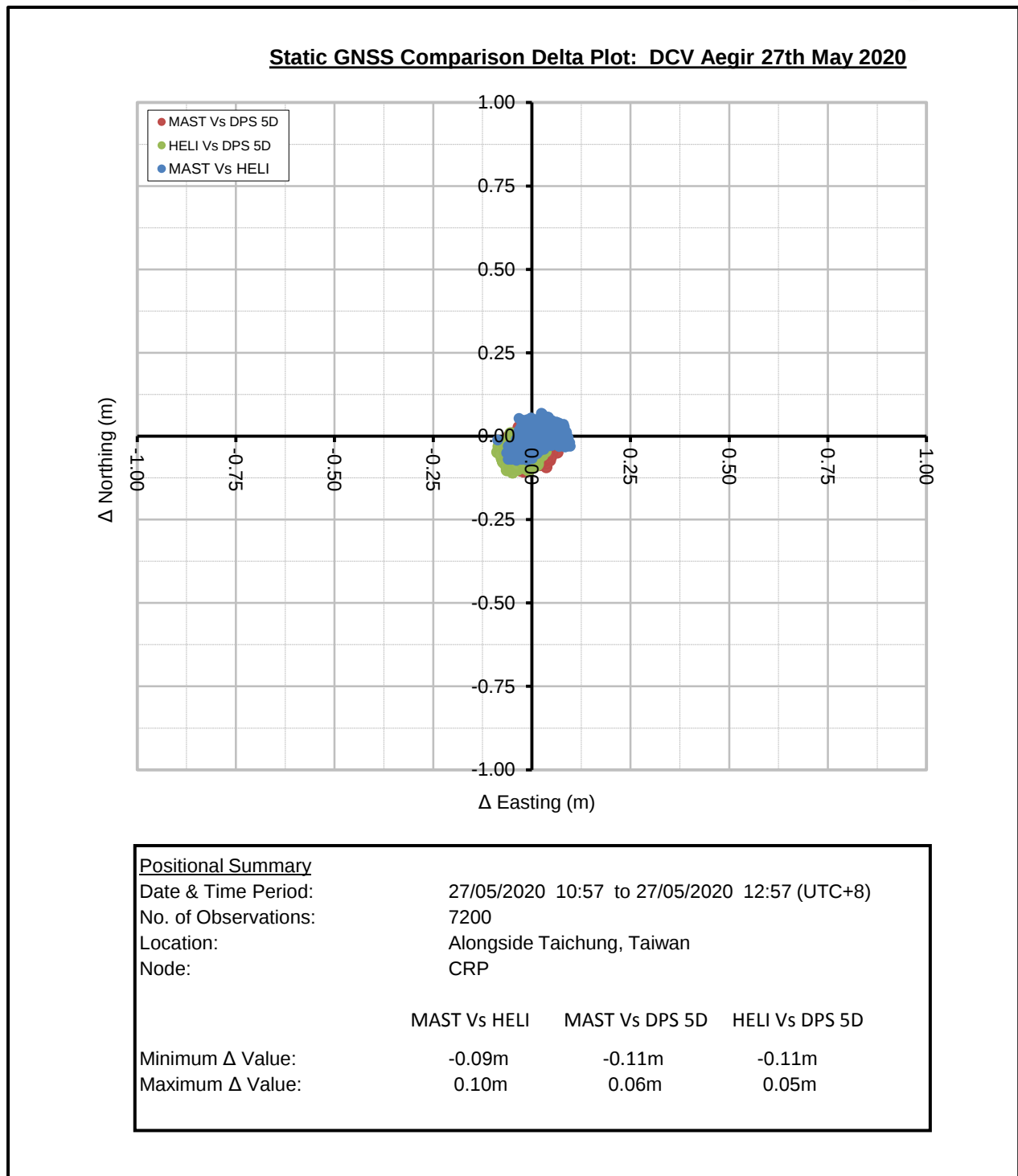


Positional Summary

Date & Time Period: 27/05/20 10:57 to 27/05/20 12:57 (UTC+8)
 No. of Observations: 7200
 Location: Alongside Taichung, Taiwan
 Node: CRP
 Mean GPS 1 Position: E 201525.40m N 2686321.67m
 SD E = 0.08m SD N = 0.11m
 Mean GPS 2 Position: E 201525.38m N 2686321.67m
 SD E = 0.09m SD N = 0.11m
 Mean DPS5D Position: E 201525.40m N 2686321.71m
 SD E = 0.08m SD N = 0.10m

Figuur 30 Run 7200 sec statische GNSS vergelijking niet gecorrigeerd voor scheepsbewegingen Mastpack(gps1), Helipak(gps2), Kongsberg DPS 5D

In bovenstaande figuur zijn de niet gecorrigeerde ruwe positie data's weergegeven van de Mastpack(GPS1), Helipak(GPS2) en Kongsberg DPS 5D.



Figuur 31 Run 7200 sec statische GNSS vergelijking gecorrigeerd voor scheepsbewegingen

In bovenstaande figuur is de vergelijking van de data van: Mastpack, Helipack en DPS 5D weergegeven gecorrigeerd voor scheepsbewegingen gemeten door de MRU's en de MGC gyro's.

4.4 Resultaten Proef 3

De resultaten van proef nummer 3: "Waarmee de invloed van de MRU (Motion Reference Unit) van de Kongsberg DPS 5D op de nauwkeurigheid van de positie bepaald wordt, is in verband met operationele beperkingen als gevolg van de Covid-19 situatie in de praktijk niet uitgevoerd.

5. Discussie

In de discussie komen alle deelvragen aanbod en wordt er kritisch gekeken naar de resultaten en gebruikte onderzoeksmethode. Verder worden de resultaten besproken, verklaard en wat de toepassing ervan is.

5.1 Deelvraag 1

5.1.1 Resultaten en Toepassing ervan

Het antwoord op deelvraag 1 geeft weer wat het verschil is tussen het ontvangen van twee of vier GNSS-plaatsbepalingssystemen, met invloed van G2/G4 correctiesignaal, qua nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van het signaal.

Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van de positie, die in dit geval uitgedrukt is in SD voor breedte en lengte. Toont zowel in run 1 als in run 2, dat de SD van de lengte van de Mastpack lager is als die van de Helipack. De SD van de lengte van de Mastpack is continu 2 centimeter daar de SD in lengte van de Helipack varieert tussen de 4 en 5 centimeter.

Het resultaat van het verschil in nauwkeurigheid is alleen van toepassing op de Aegir omdat deze afhankelijk is van veel variabelen zoals: Beschikbare correctiesignalen, scheepsbewegingen, atmosferische omstandigheden, tijd en geografische locatie. Echter na het uitvoeren van meerdere proeven waarbij deze variabele bekend zijn kan er hier wel een uitspraak over gedaan worden.

Betrouwbaarheid van het signaal

Doordat de Mastpack gebruikt maakt van GPS, GLONASS, Galileo en BeiDou en G4 correctiesignaal. Maakt deze gebruik van meer satellietssystemen en ontvangt dus meer satellieten dan de Helipack welke alleen gebruik maakt van GPS, GLONASS met G2 correctiesignaal. Dit is terug te zien in de resultaten weergegeven in grafiek 2, 4, 6 en 8. Waarbij de Mastpack (G4) meer satellieten ontvangt als de Helipack (G2). Doormiddel van het ontvangen van meer satellieten zal dit resulteren in een lagere PDOP (wat betekent dat er een 'goede' spreiding van satellieten is (*Hoofdstuk 2.1 PDOP*). Aan de hand van grafieken 2,4 (G4) is te zien dat er tussen de 21 en 25 satellieten ontvangen worden en bij grafiek 6,8 (G2) worden er tussen de 10-12 satellieten ontvangen: Als gevolg hiervan is de PDOP waarde bij G4 ook lager als bij G2. Namelijk bij G4 tussen de 1.3 en de 1.5 terwijl dit bij G2 tussen de 1.9 en de 2.1 is.

De grafieken: "PDOP waarde per aantal satellieten". Geeft weer dat er soms een toename of afname van het aantal ontvangen satellieten is zonder dat dit invloed heeft op PDOP waarde. De toename of afname van het aantal satellieten gaat over een korte periode. Dit is te verklaren door dat het ontvangen van meer satellieten niet automatisch betekent dat de spreiding van de gehele satelliet configuratie beter wordt.

Het resultaat van het verschil in betrouwbaarheid van het signaal tussen het ontvangen van GPS en GLONASS satellieten met G2 correctie en GPS, GLONASS, Galileo en BeiDou met G4 correctie is toepasbaar op schepen die gebruik maken van een soortgelijke ontvangers en antenne locaties. De PDOP waarde wordt bepaald aan de hoeveelheid satellieten en de spreiding hiervan. Wat afhankelijk is van de ephemeriden, locatie en tijd. Deze zijn dus primair afhankelijk van de satellieten en niet van de ontvanger.

5.1.2 Onderzoeksmethode

Als er kritisch naar de proef wordt gekeken dan kan gesteld worden; dat er een conclusie getrokken kan worden qua nauwkeurigheid omdat de resultaten in proef 1 zijn gebaseerd op 600 data output's waarmee dit voldoende data is om op basis van de resultaten een conclusie te trekken. Om een meer valide uitspraak te doen over de betrouwbaarheid van het signaal, had er een langere periode van data verzameling gedaan moeten worden. De gebruikte onderzoeksmethode is minder betrouwbaar dan die gebruikt bij proef 2, omdat de resultaten van proef 1 niet gecorrigeerd zijn voor de scheepsbewegingen. De resultaten van proef 1 zijn beïnvloed door de scheepsbewegingen, deze scheepsbewegingen zijn groter bij proef 1 dan bij proef 2, dit komt omdat het chip niet afgemeerd was maar doormiddel van het anker en DP in positie gehouden werd. Hierdoor zijn de resultaten van proef 1 minder valide dan proef 2.

5.2 Deelvraag 2

5.2.1 Toepassing

Aan de hand van het onderzoeken van de systemen van Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D wordt de redundantie van beide systemen bepaald. Een gedeelte van het resultaat is scheepsgebonden omdat de systeem lay-out verschilt per schip. Als er een identiek systeem wordt geplaatst op een soortgelijk schip, zullen de resultaten van een SPOF en het niet functioneren van meerdere compartimenten zoals alle antennes, naar verwachting dezelfde resultaten opleveren als bepaald zijnde in dit onderzoek. Echter kunnen er geen uitspraken gedaan worden over brand en stroomverlies situaties, omdat deze afhankelijk zijn van de plaatsing van het systeem binnen het schip.

5.2.2 Onderzoeksmethode

Als er kritisch naar de onderzoeksmethode wordt gekeken, kan er gesteld worden dat dit een valide methoden is voor het bepalen van de redundantie van beide systemen: De gebruikte onderzoeksmethoden wordt ook gebruikt door fabrikanten van DP-systemen om de redundantie te bepalen. Door het analyseren van het systeem wordt bepaald in welke situaties het systeem wel of geen positie output geeft. Om de resultaten te onderbouwen zou er in de praktijk getest kunnen worden met het daadwerkelijk uitschakelen van compartimenten, het is in de praktijk niet mogelijk om compartimenten uit te schakelen omdat het systeem functioneel moet blijven voor DP-operaties. In het onderzoek is geen rekening gehouden met de waarschijnlijkheid van het voordoen van een situatie, wat wel invloed heeft op de betrouwbaarheid van het systeem, dit zou in een vervolg onderzoek wel onderzocht kunnen worden.

5.2.3 Resultaten

De uitslag van de Stoomschema's is hier samen gevat in (tabel A)

Situatie	Fugro Helipack	Fugro Mastpack	Kongsberg
Wegvallen alle antennes	Geen positie output	Geen positie output	Tijdelijke positie output
Verlies antennes radarmast	Positie output	Geen positie output	Positie output
Verlies antennes Helideck	Geen positie output	Positie output	Positie output
Wegvallen UPS 3	Positie output	Positie output	Geen positie output
Wegvallen UPS 1	Positie output	Geen positie output	Positie output
Wegvallen UPS 5	Geen positie output	Positie output	Positie output
Aantal essentiële componenten	4	4	2
Brandwerendheid Ruimtes	A60 schot	A60 schot	A60 schot

Tabel A Redundantie Kongsberg DPS 5D en Fugro ppp's G4; Mastpack en Helipack

Aan de hand van de systeem opbouw van Fugro is gesteld dat dit systeem bestaat uit twee individuele GNSS-systemen die onderling in verbinding staan: De Helipack en de Mastpack.

Antenne

De resultaten laten zien dat Kongsberg DPS 5D blijft functioneren als één van de antenne locaties geblokkeerd wordt of kapot gaat. In het geval van Fugro die aanschouwd wordt als twee aparte GNSS-systemen zal de Helipack dan wel de Starpack geen positie output meer geven wanneer één van de antennes locaties geblokkeerd is.

Voor de Kongsberg installatie zijn er aparte antennes voor het ontvangen van de spotbeam correctie signalen. Bij Fugro is dit een gecombineerde ontvanger voor zowel de correctie signalen als het GNSS signaal. De aparte antennes hebben het voordeel dat als er een SPOF optreedt in de antennes er nog een tweede antenne is voor het ontvangen van het correctiesignaal en zonder dat de positie output verloren gaat. Als er bij Fugro een SPOF voorkomt in één van de antennes zal dit resulteren in het verliezen van één van de twee positie outputs van de Helipack dan wel de Starpack. Het nadeel wat gepaard gaat met meerdere antennes en kabels zijn de kosten.

MRU

In de situatie waarbij geen enkele antenne een signaal ontvangt, zal dit de positie output bij zowel de Fugro Helipack en Mastpack direct stoppen. Bij de Kongsberg DPS 5D wordt een nauwkeurige positie output gegeven tot twee minuten na het verliezen van alle signalen doormiddel van de MRU en het inertia algoritme (Kongsberg, 3610 DGNSS Receiver user manual, 2009).

UPS

In het geval van een black-out zal de stroomvoorziening bij zowel Fugro als Kongsberg overgenomen worden door de UPS'en. Als de UPS waar het systeem op aangesloten zit niet meer functioneert zal dit leiden tot het verlies van de stroomvoorziening. Bij het niet meer functioneren van UPS 3 zal dit in het geval van de Kongsberg resulteren in het verliezen van de positie output doordat alle componenten van de Kongsberg alleen in gevoed worden via UPS 3. Aan de opbouw van het Fugro systeem is te zien dat UPS 1 de Mastpack in central control room voedt, en UPS 5 de Helipack voedt die zich in navigatiebrug bevindt. Hierdoor zal na het niet meer functioneren van UPS 5 dan wel UPS 3 de positie output van Fugro Mastpack en of Helipack stoppen.

Essentiële componenten

Zowel Fugro ppp's G4 als Kongsberg DPS 5D bevatten essentiële componenten, deze componenten zijn gedefinieerd als zijnde: "Componenten die door een SPOF in het component of de bekabeling van en naar dit component zal resulteren in het verlies van de positie output".

Doordat Fugro ppp's G4 als twee aparte GNSS-ontvangers beschouwd wordt hebben deze meer essentiële componenten dan de Kongsberg DPS 5D namelijk:

Kongsberg DPS 5D essentiële componenten;

- PU'(processing Unit)/ bekabeling/ voeding
- UPS 3/ bekabeling/ voeding

Fugro ppp's G4 Helipack:

- De Heli netwerk switch/ bekabeling/ voeding
- De Heli Starpack/ bekabeling/ voeding
- De Heli Starport/ bekabeling/ voeding
- UPS 5/ bekabeling/ voeding

Fugro ppp's G4 Mastpack:

- De Mast netwerk switch/ bekabeling/ voeding
- De Mast Starpack/ bekabeling/ voeding
- De Mast Starport/ bekabeling/ voeding
- UPS 1/ bekabeling/ voeding

Brand

Doordat alle ruimtes waar de hardware van Fugro Mastpack, Helipack en Kongsberg DPS 5D installatie zijn omringd door A60 schoten, zijn deze ruimtes minimaal 60 minuten beschermd tegen het falen door hitten. De installatie van Fugro is opgedeeld in twee ruimtes de Central control room en de Navigatiebrug. Als er brand is in één van die ruimtes zal dit er voor zorgen het Plaatsbepalingssysteem zijn positie output verliest omdat alle hardware zich hier bevindt. Wanneer er een brand optreedt in de ruimte waar de hardware van Kongsberg is gepositioneerd zal dit ook resulteren in verlies van positie output omdat alle hardware zich in dezelfde ruimte bevinden.

5.3 Deelvraag 3

5.3.1 Onderzoeksmethode

De gebruikte onderzoeksmethode met het bijhorende periode van data verzameling is een nauwkeurige en betrouwbare manier van het vergelijken van GNSS-ontvangers. De proef is uitgevoerd over een tijdbestek van 2 uur wat resulteert in 7200 posities waardoor de resultaten gebaseerd zijn op voldoende data om een uitspraak te doen over de nauwkeurigheid. De data is gecorrigeerd voor de scheepsbewegingen die gemeten worden door vier verschillende MRU's en drie MGC gyro's. Deze manier van het vergelijken van GNSS-ontvangers wordt ook gebruikt voor commerciële doeleinde

5.3.2 Toepassing

Met de resultaten van proef twee is er bepaald wat het verschil in nauwkeurigheid is tussen de Fugro Helipack, Fugro Mastpack en Kongsberg DPS 5D wanneer deze gebruik maken van alle beschikbare middelen voor de positieberekening. De resultaten van deze proef zijn alleen toepasbaar op het schip de Aegir omdat de nauwkeurigheid afhankelijk is van variabele zoals: Systeem lay-out, scheepsbewegingen, atmosferische omstandigheden, geografische locatie en het tijdstip van de waarneming. De proef bestaat uit twee runs van één van 7200 en één van 500 seconden waarvan beide metingen op 02:57(UTC) 27/05/2020 zijn begonnen weergegeven in de grafieken als 10:57 local time.

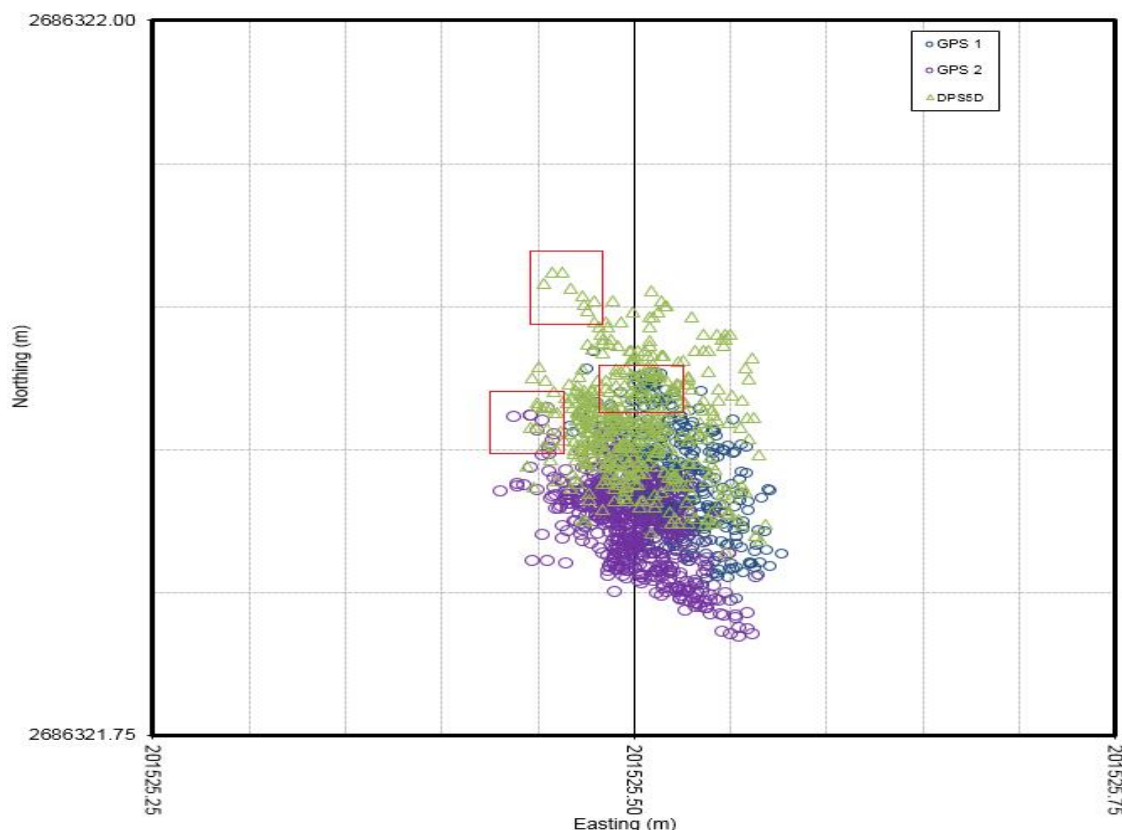
Resultaten proef 2

In *figuur 28* zijn de ruwe data posities weergegeven dit is de data die binnenkomt van de GNSS-ontvangers uitgezet in een plot met UTM coördinaten. In *figuur 28* is te zien dat er positie veranderingen waargenomen zijn door alle drie de GNSS-installaties deze zijn rood gemarkeerd in *figuur 32*. Deze bewegingen ontstaan doordat het schip bewegingen maakt in de trossen terwijl het schip afgemeerd ligt, dit ontstaat door getijverandering en of kraanbewegingen. In *figuur 28* en *29* is waar te nemen dat er afwijkingen zitten van ongeveer 3 centimeter tussen de clusters data van Fugro Mastpack (GPS 1), Fugro Helipack (GPS 2) en Kongsberg DPS 5D. Deze minimale afwijkingen zijn te verklaren aan fouten die kunnen zitten in het inmeten van de antennes en/of vervormingen van het schip.

Aan de SD Easting en Northing (UTM) van de ruwe data input is te zien dat er nagenoeg geen verschillen zijn. Het verschil is dat de Kongsberg DPS 5D een SD Northing heeft van 3 centimeter en die van Fugro Mastpack en Fugro Helipack een SD Northing heeft van 2 centimeter, wat een delta is van 1 centimeter. In *Figuur 29* is de positie data weergegeven gecorrigeerd voor scheepsbewegingen

ten opzichte van elkaar. De SD tussen de 3 GNSS-systemen is kleiner dan 2 centimeter. Kijkend naar de SD tussen de Fugro Mastpack en Fugro Helipack is te zien dat dit maar 1 cm is. Waarbij de Fugro Mastpack ingesteld is op G4 en de Fugro Helipack op G2.

Run 7200 seconden



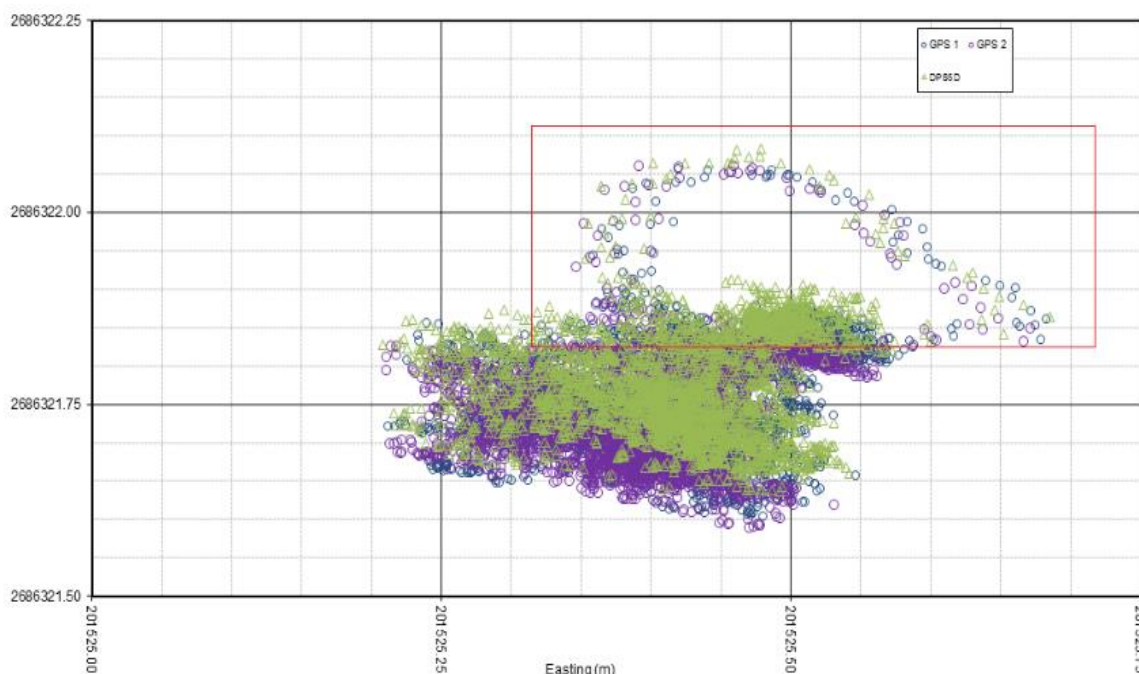
Figuur 32 Vergroting run 500 sec niet gecorrigeerde data

In *figuur 30* zijn de ruwe data posities weergegeven van de run van 7200 sec (2 uur) dit is de data die binnenkomt van de GNSS-ontvangers uitgezet in een plot met UTM coördinaten. Aan de structuur van de posities plots, is een afwijkende beweging te zien van ongeveer 30cm. Deze beweging is waargenomen door alle drie de GNSS-ontvangers, en gemarkeerd in *figuur 33* wat een vergroting van *figuur 30* betreft. Tijdens de run lag het schip afgemeerd waardoor de scheepsbewegingen beperkt zijn. Deze plotselinge beweging zijn waarschijnlijk ontstaan door het zwenken van de boordkraan. Deze beweging is ook terug te zien in de *Bijlage 9 en 11* waar vanaf 13:41:00 *lt* zowel de pitch als rol toeneemt.

Verder is het verschil in SD van de ongecorrigeerde data uit *figuur 30* (7200 sec) hoger dan de SD van *figuur 28* (500 sec). De SD Northing ligt tussen de 10 en 11cm en de SD Easting ligt tussen de 8 en 9 cm. Dit verschil tussen de run van 7200 sec en 500 sec is te verklaren aan de hand van kleine langdurige fouten, die in de vele variabele kunnen zitten.

Figuur 29 en 31 bevat de vergelijking tussen de drie GNSS-systemen. De run van 7200 sec heeft een SD tussen de drie GNSS-systemen van 3 en 4cm. Terwijl de run van 500 sec een SD heeft tussen de 1 en 2cm, wat neerkomt op een delta van 1 a 2cm tussen de twee runs.

Als extra vergelijking is ook de heading output van Fugro Helipack en Kongsberg DPS 5D vergeleken met de output van de MGC gyro 1,2 en 3. Waarbij er een maximaal heading verschil van 0,05° is weergegeven in *Bijlage 10*.



Figuur 33 Vergroting run 7200 sec niet gecorrigeerde data.

5.3.3 Resultaten proef 3

Aan de hand van het vergelijken van de resultaten van proef 3 met proef 2, wordt de invloed van de MRU op de positie verbetering bepaald. Hieruit kan geconcludeerd worden of het gebruik van een MRU in de positie verbetering resulteert in een nauwkeurigere positie wanneer het schip scheepsbewegingen ondervindt. Aan de hand van de resultaten van deze proef kan geconcludeerd worden of de MRU zorgt voor een toenamen van de positie verbetering als het schip scheepsbewegingen ondervindt. Omdat deze proef in de praktijk niet is uitgevoerd kunnen hier geen uitspraken overgedaan worden.

5.4 Hoofdvraag

Doormiddel van het beantwoorden van de hoofdvraag wordt er een antwoord gegeven op het verschil in nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van GNSS-plaatsbepalingssysteem Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D. De uitkomst op de vraag van het verschil in nauwkeurigheid is alleen toepasbaar op de Aegir. De uitkomst op de vraag van het verschil in betrouwbaarheid tussen Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D is op te splitsen in de redundantie en de betrouwbaarheid van het signaal uitgedrukt in PDOP waarde. Het verschil in redundantie is beschreven in *5.2 Deelvraag 2*, De betrouwbaarheid van het signaal is beschreven in *5.1 Deelvraag 1*.

6. Conclusie

De conclusie is ingedeeld per deelvraag en vervolgens is er toegewerkt naar het beantwoorden van de hoofdvraag.

6.1 Conclusie deelvraag 1

Aan de hand van de resultaten voortgekomen uit proef 1 kan er een antwoord gegeven worden op deelvraag 1: “Wat is het verschil in nauwkeurigheid van de positie en betrouwbaarheid van het signaal tussen het ontvangen van GPS en GLONASS satellieten met G2 correctiesignaal en GPS, GLONASS, Galileo en BeiDoe satellieten met G4 correctiesignaal?” Hieruit kunnen een aantal conclusies getrokken worden.

6.1.1 Betrouwbaarheid signaal

Doordat de Mastpack(GPS,GLONASS,Galileo,Beidou,G4) meer satellieten en daardoor een lagere PDOP waarde heeft dan de Helipack(GPS,GLONASS,G2) kan gesteld worden dat het signaal van GPS, GLONASS, Galileo en BeiDoe satellieten met G4 correctie betrouwbaarder is door het ontvangen van meer satellieten dan GPS en GLONASS satellieten met G2 correctie. Hierdoor kan het ontvangen van GPS, GLONASS, Galileo en BeiDoe satellieten met G4 correctiesignaal een voordeel zijn als er gewerkt wordt met kranen of grote obstructies waar de kans op antenne maskering aanwezig is.

6.1.2 Nauwkeurigheid

Aan de resultaten van proef 1 is te zien dat (GPS,GLONASS,Galileo,Beidou,G4) en (GPS,GLONASS,G2) nagenoeg geen verschil in nauwkeurigheid heeft. Verder in de conclusie wordt, een uitspraak gedaan over het verschil in nauwkeurigheid tussen deze twee hierbij zijn de resultaten van proef 2 meegenomen.

6.2 Conclusie deelvraag 2

De resultaten waarin de mate van redundantie van Fugro ppp's en Kongsberg DPS 5D is weergegeven kan uit geconcludeerd worden dat beide systemen verschillende redundantie hebben. De Fugro ppp's g4 bestaat uit twee GNSS-ontvangers de Mastpack en Helipack die beide een eigen positie output geven, ze hebben dezelfde werking principe en staan onderling in verbinding met elkaar. Omdat de Mastpack en Helipack als aparte ontvangers gezien worden zijn deze minder redundant dan de Kongsberg DPS 5D om de volgende feiten:

- De Mastpack en Helipack hebben 4 componenten: Antenne, Starpack, Starport en UPS die door een SPOF resulteren in het verlies van positie output. Terwijl de Kongsberg DPS 5D maar 2 componenten heeft de: PU en UPS.
- Doordat de Kongsberg DPS 5D aparte antennes heeft voor het ontvangen van correctie signalen en GNSS-signalen die beide dubbel zijn uitgevoerd en op verschillende locaties geplaatst zijn (*2.3 antennes kongsberg*). In vergelijking met Fugro Mastpack en Helipack die gecombineerde antennes heeft die enkel uitgevoerd zijn.
- De Kongsberg DPS 5D beschikt over een MRU die aan de hand van de gemeten scheepsbewegingen doormiddel van een inertia algoritme tot twee minuten na het verliezen het van signaal een nauwkeurige positie geeft (Kongsberg, Kongsberg DPS 5D Differential Positioning System, 2012). Wat ook weer een voordeel is in gebieden waar het aantal correctie satellieten beperkt is, en waar door bijvoorbeeld een constructie tijdelijk de antennes gemaskeerd zullen zijn, dit kan voor komen op hoge breedtes waar beperkte hoeveelheden geostationaire correctie satellieten beschikbaar zijn (Dubois, 2018).

6.3 Conclusie deelvraag 3

Door het niet kunnen uitvoeren van proef 3 kan er geen conclusie getrokken worden op deelvraag 3: "Wat is de invloed van de MRU (Motion Reference Unit) van de Kongsberg DPS 5D op de nauwkeurigheid van de positie?" Doordat proef 2 wel uitgevoerd is kan er aan de hand van de resultaten wel bepaald worden wat het verschil in nauwkeurigheid is tussen Kongsberg DPS 5D en Fugro ppp's G4. Daaruit kan geconcludeerd worden dat het verschil in nauwkeurigheid zo klein is dat er gesteld kan worden dat er geen verschil in nauwkeurigheid is tussen Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D bij beperkte scheepsbewegingen.

Doordat tijdens proef 2 de Mastpack ingesteld stond op: GPS, GLONASS, Gallileo, BeiDou en G4 correctiesignaal en de Helipack op: GPS, GLONASS, en G2 correctiesignaal. Kan er in combinatie met de resultaten van proef 1 een conclusie getrokken worden over het verschil in nauwkeurigheid tussen het ontvangen van GPS, GLONASS, Gallileo, BeiDou en G4 correctiesignaal (G4) en GPS, GLONASS G2 correctiesignaal (G2). Uit de resultaten van zowel proef 1 als proef 2 is gebleken dat er nagenoeg geen verschil zit in nauwkeurigheid tussen G2 en G4 en dat er gesteld kan worden dat deze praktisch even nauwkeurig zijn. Wel zit er een verschil in de betrouwbaarheid van het signaal wat beschreven staat in *conclusie deelvraag 1*.

Als extra vergelijking zijn ook de resultaten van de GNSS heading vergeleken met die van de MGC gyro 1,2 en 3 waaruit geconcludeerd kan worden dat er geen verschil in nauwkeurigheid zit tussen de heading output van de GNSS-installaties als de MGC gyro's.

6.4 Hoofdvraag

Doormiddel van het beantwoorden van de deelvragen kan er uiteindelijk een antwoord gegeven worden op de hoofdvraag die luidt als volgt: Wat is het verschil in nauwkeurigheid en betrouwbaarheid tussen de GNSS plaatsbepalingssystemen Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D?

Geconcludeerd kan worden dat er geen verschil is in nauwkeurigheid tussen Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D bij beperkte scheepsbewegingen. Gesproken over de redundantie is de conclusie getrokken dat Kongsberg DPS 5D in meer situaties redundant is dan de twee individuele Fugro ppp's G4 systemen de Helipack en de Mastpack. Wat betekent dat de bedrijfszekerheid van de Kongsberg DPS 5D groter is als die van de twee Fugro ppp's G4 systemen. Echter als er gekeken wordt naar de betrouwbaarheid van het signaal zal dit bij Fugro ppp's G4 groter zijn door het ontvangen van meer satellieten dan de Kongsberg DPS 5D (G2). Daarentegen heeft Kongsberg DPS 5D een interne MRU die in het geval van kortstondig signaal verlies doormidden van een inertia algoritme een nauwkeurige positie output blijft geven.

7. Aanbeveling

Doordat er verschillen zitten in de twee Plaatsbepalingssysteem Fugro ppp's G4 en Kongsberg DPS 5D, qua nauwkeurigheid en betrouwbaarheid moet de DPO (Dynamic Positioning Officer) een keuze maken welke Plaatsbepalingssysteem als primaire positie(base origin) input gebruikt wordt in het DP systeem. De positie van het primaire plaatsbepalingssysteem wordt als initiële positie gebruikt in het DP model vanuit deze positie wordt vervolgens verder gerekend.

Aan de hand van de resultaten van de proeven en de daarop gebaseerde conclusies wordt ~~het~~ aanbevolen om het Plaatsbepalingssysteem Kongsberg DPS 5D als primaire positie input te selecteren in het DP model met voorwaarden dat er voldoende satellieten beschikbaar zijn voor GPS, GLONASS en G2.

Bronnenlijst

- Agency, M. a. (1998). The Merchant Shipping fire regulation. 15.
- Betke, K. (2001). *The NMEA 0183 Protocol*.
- Bose, A. (1997). *GPS PDOP and its impact on position error*.
- Dahlkamp, L. (2020). *Foto's Aegir*.
- Diamond, A. (2017). *Standard deviation* . Retrieved from www.study.com:
<https://study.com/academy/lesson/the-bell-curve-theory-themes-quiz.html>
- Dubois, C. (2018). *The Limits of Satellite Navigation*. All about circuits.
- Fugro. (2016). *Fugro instucion manual* .
- Kongsberg. (2009). *3610 DGNSS Receiver user mananual*. Trondheim, Noorwegen: Kongsberg Seatex.
- Kongsberg. (2012). *DPS 5D Installation Manual*. Trondheim, Noorwegen: Kongsberg Seatex.
- Kongsberg. (2012). *Kongsberg DPS 5D Differential Positioning System*. Trondheim, Noorwegen: Kongsberg Seatex.
- Langevin, P. (2017, December). *The Sagnac effect and its interpretation* . Retrieved from www.sciencedirect.com:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631070517300907>
- R.Lanoschi. (2016). *Starfix. G2/G4 System Manual*. Leiden: Fugro.
- Reedijk, D. (2018). *Nautische instrumenten en systemen*.
- Senge, P. (1992). *De vijfde discipline*. Schiedam: Scriptum Books.
- Sickle, J. V. (2018). *GPS and GNSS for Geospatial Professionals*. V3 Consultants, Lakewood, CO: The Pennsylvania State University;.

Bijlage 1: Deviatie van fouten (Fugro, 2016)

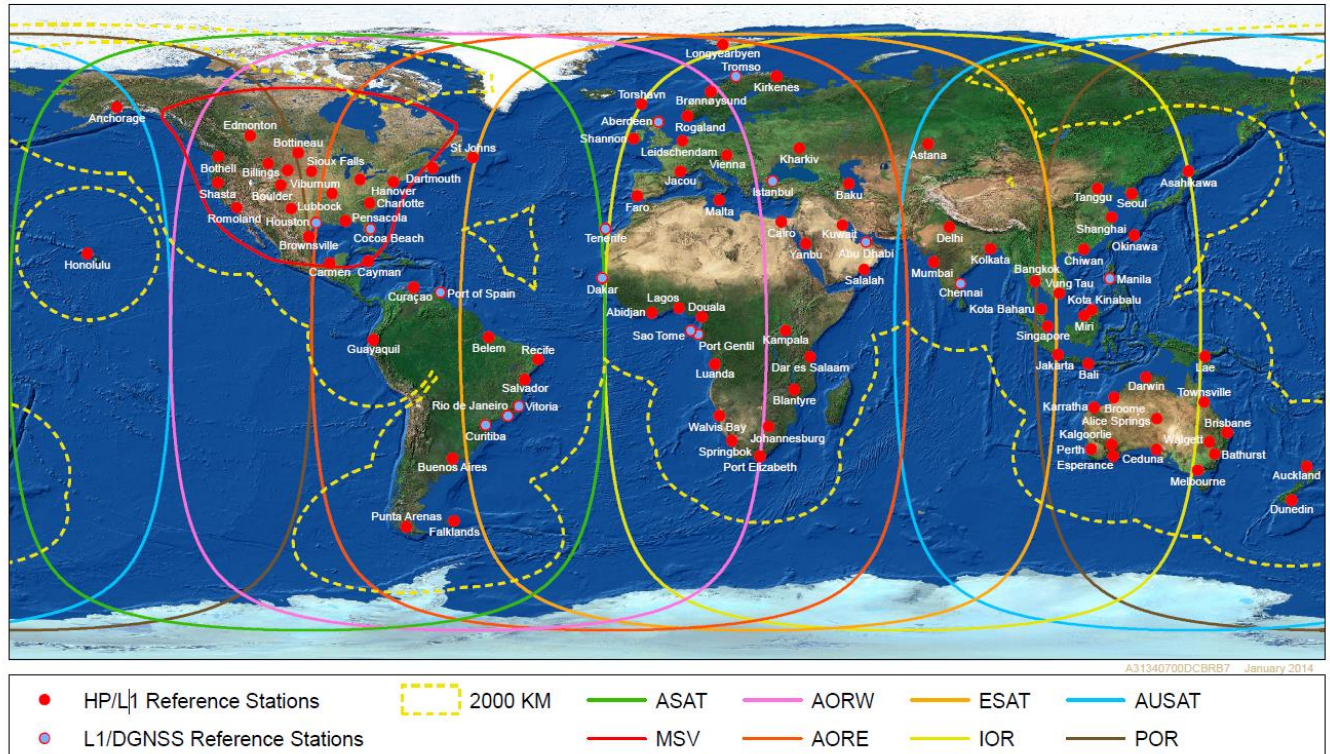
Sources of Range Errors	Typical magnitude (m)
Ionosphere (dependent on solar activity)	5m-20m
Troposphere (dependent on satellite elevation)	2.5m-15m
Satellite clock	1.5m
Receiver measurement noise (code only and receiver dependent)	0.5m
Satellite orbit	1.5m
Multipath (receiver dependent)	1m-5m
Geophysical effects (e.g. earth body tides, polar motion, ocean tide loading)	0.5m
Receiver measurement noise (carrier only and receiver dependent)	0.003m

Bijlage 2 Referentiestations Fugro (Fugro, 2016)

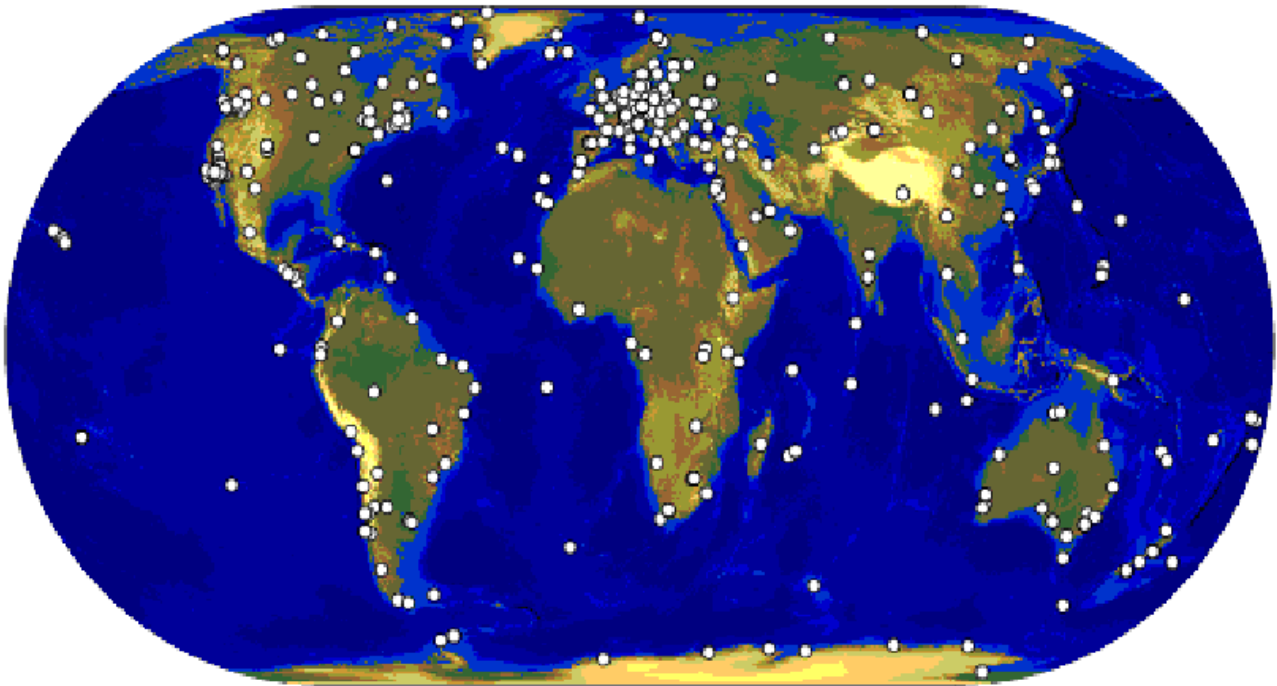


STARFIX

Network GPS and GLONASS Reference Stations and Broadcast

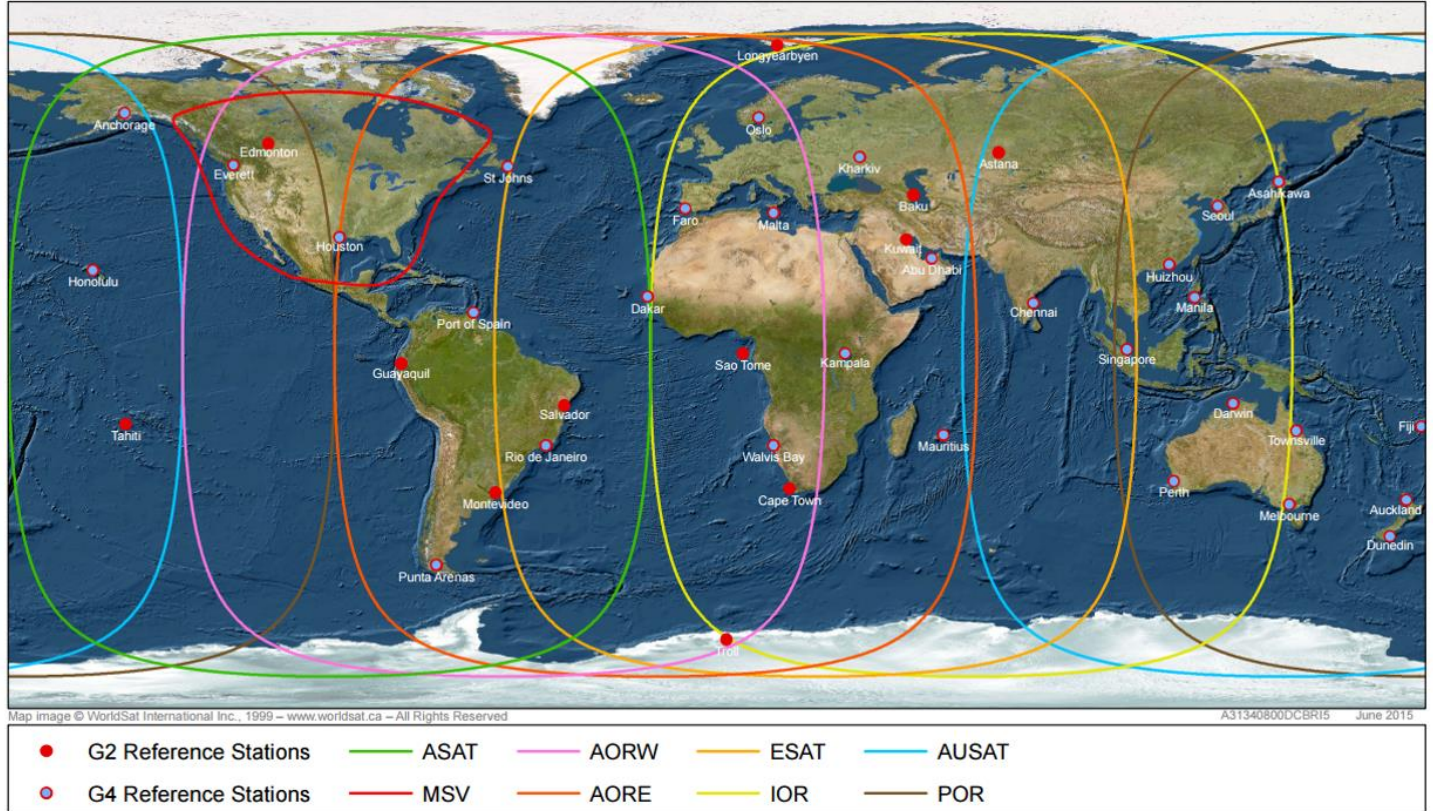


Bijlage 3 JPL XP2 Referentiestations (Fugro, 2016)



Bijlage 4 G2/G4 geostationaire satellieten & Fugro G2 stations (R.Lanoschi, 2016)

G4 (GPS, GLONASS, Beidou, Galileo) and **G2** (GPS, GLONASS) Orbit/Clock Reference Stations (Fugro)



Bijlage 5 Instellingen proef 1, 2 en 3

Fugro ppp's Mastpack (G4)	Signaal status
GPS	<u>Ingeschakeld</u>
GLONASS	<u>Ingeschakeld</u>
Gallileo	<u>Ingeschakeld</u>
BeiDoe	<u>Ingeschakeld</u>
Starfix.HP	Uitgeschakeld
Starfix.G4	<u>Ingeschakeld</u>
Starfix.XP2	Uitgeschakeld
Starfix.G2	Uitgeschakeld
NTRIP	Uitgeschakeld

Tabel B Proef 1 Instellingen Fugro Mastpack

Fugro ppp's Helipack (G2)	Signaal status
GPS	<u>Ingeschakeld</u>
GLONASS	<u>Ingeschakeld</u>
Gallileo	Uitgeschakeld
BeiDoe	Uitgeschakeld
Starfix.HP	Uitgeschakeld
Starfix.G4	Uitgeschakeld
Starfix.XP2	Uitgeschakeld
Starfix.G2	<u>Ingeschakeld</u>
NTRIP	Uitgeschakeld

Tabel C Proef 1 Instellingen Fugro Helipack

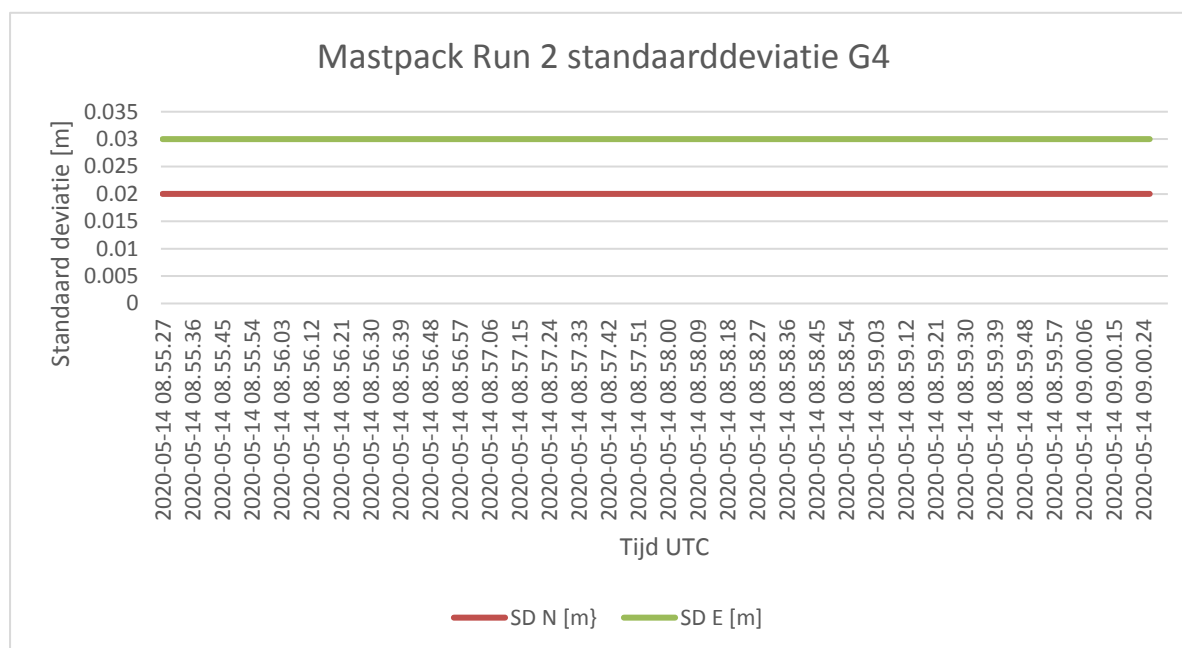
Fugro Mastpack	Fugro Helipack	Kongsberg DPS 5D
GPS	GPS	GPS
GLONASS	GLONASS	GLONASS
Gallileo	Starfix G2	SeaStar G2
BeiDou	Starfix HP	SeaSTAR HP
Starfix.G4	Starfix XP2	SeaSTAR XP2
Starfix HP		IALA
Starfix.XP2		MRU

Tabel D Instellingen proef 2

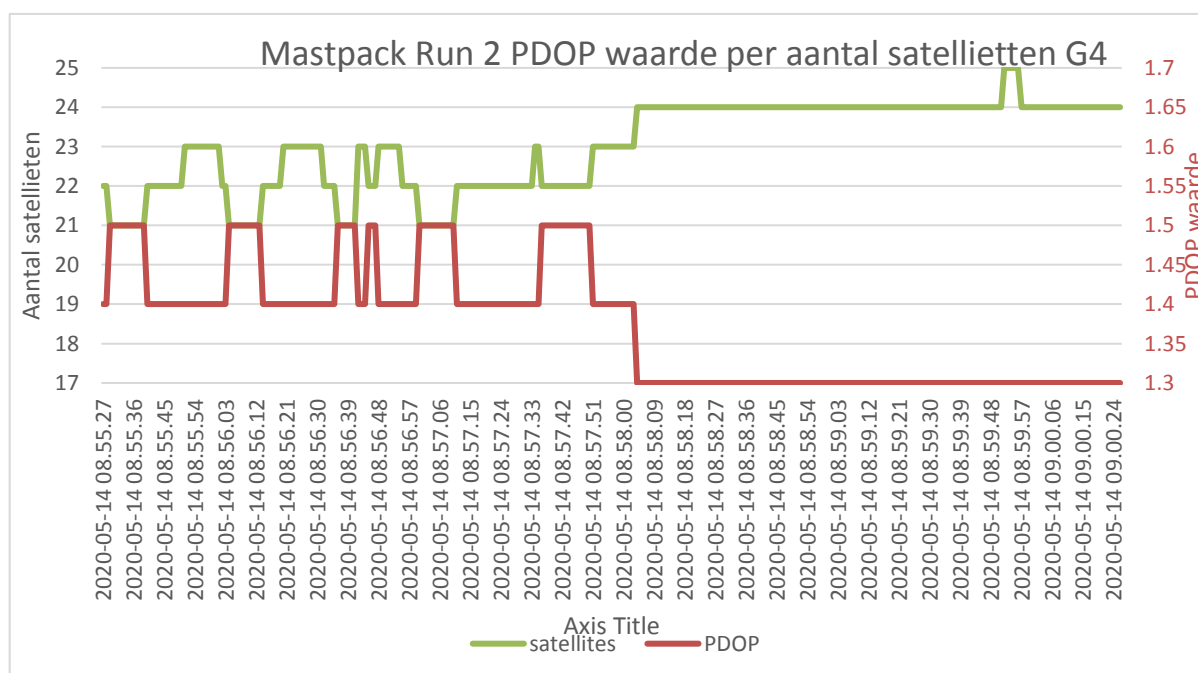
Fugro ppp's G4 Mastpack en Helipack	Kongsberg DPS 5D
Starfix.XP2	Starfix XP2
Starfix HP	Starfix HP
Starfix.G4	Starfix G2
	IALA
	MRU

Tabel E Instellingen proef 3

Bijlage 6 Resultaten proef 1 run 2 G4

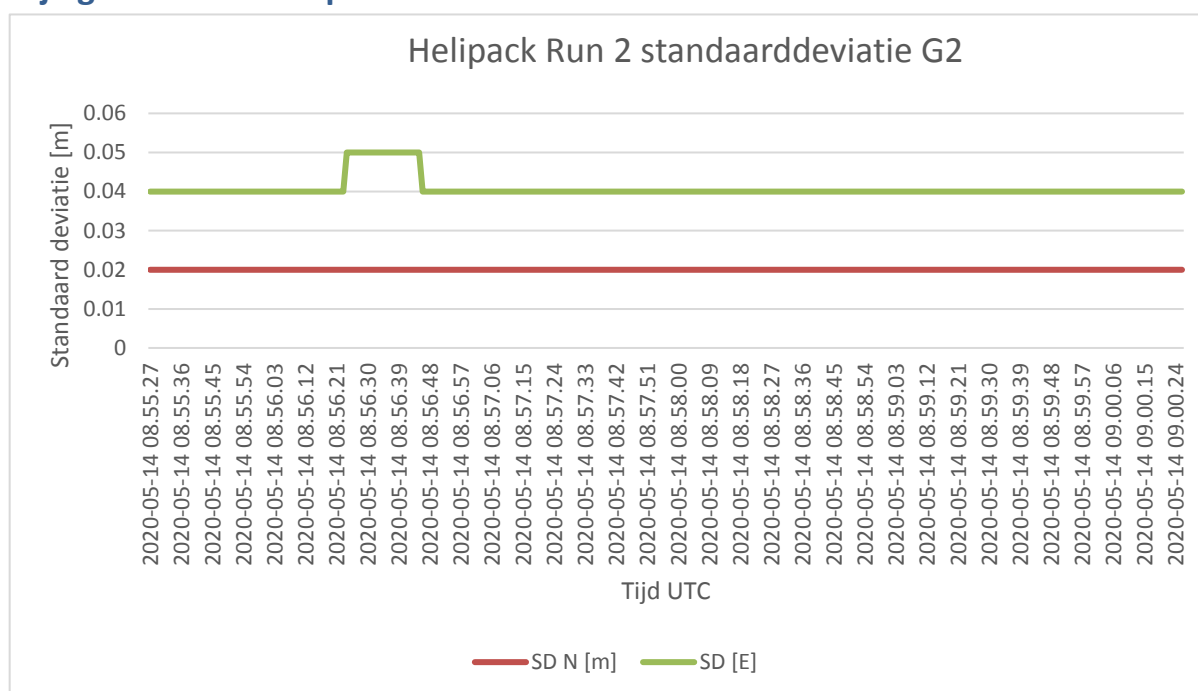


Grafiek 2 Run 2 SD G4

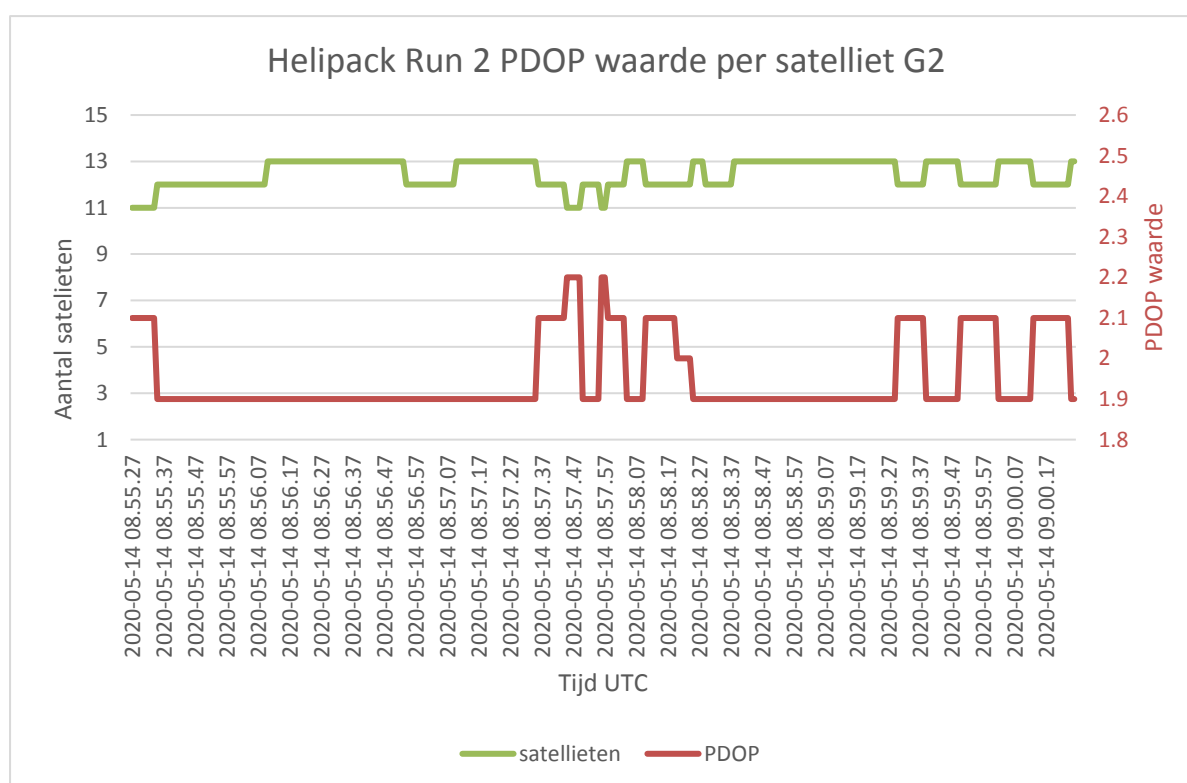


Grafiek 3 Run 2 PDOP waarde per aantal satellieten G4

Bijlage 7 Resultaten proef 1 run 2 G2

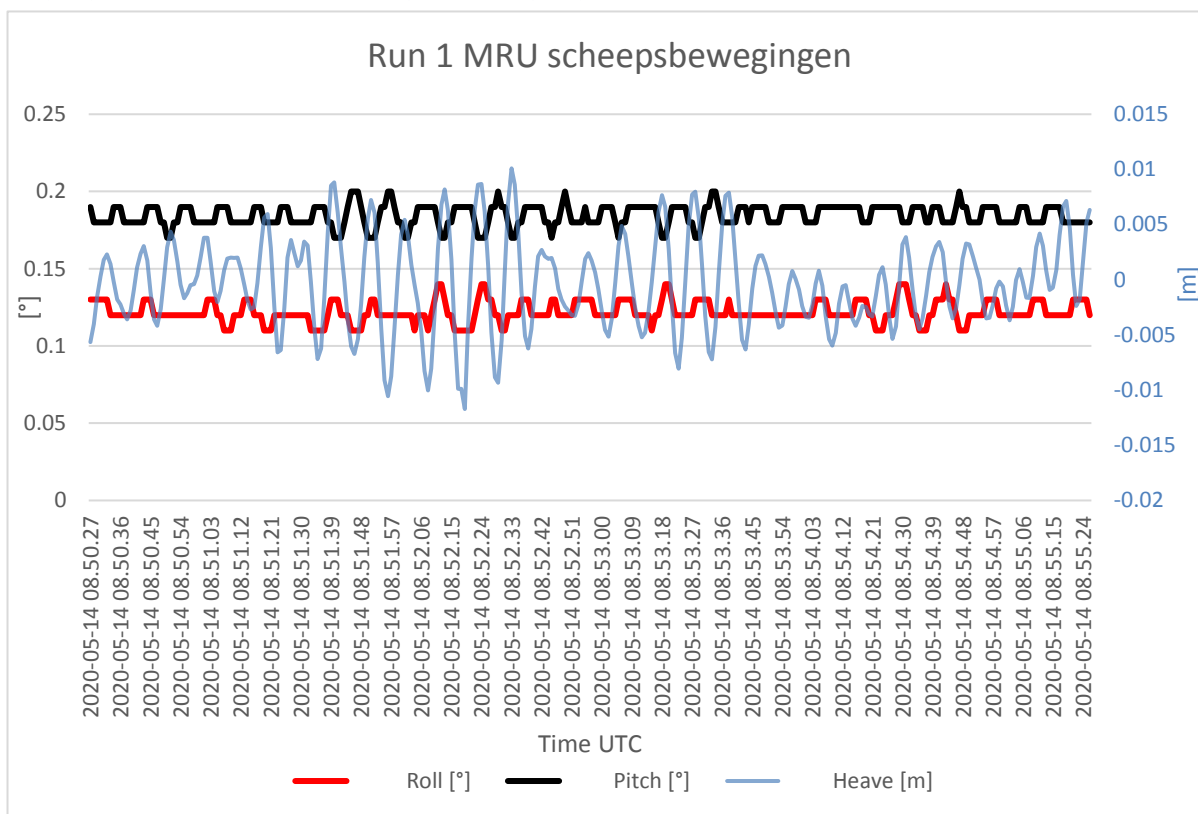


Grafiek 4 Run 2 SD G2

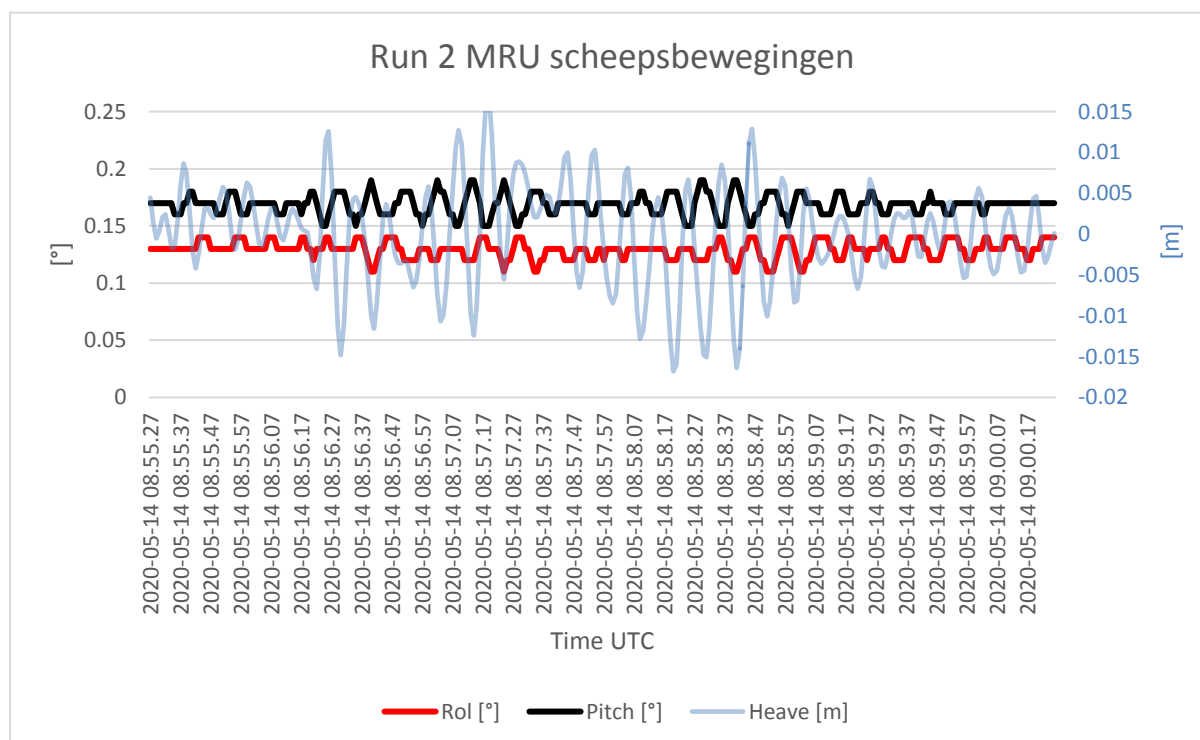


Grafiek 5 Run 2 PDOP waarde per satelliet G2

Bijlage 8 Grafieken scheepsbewegingen

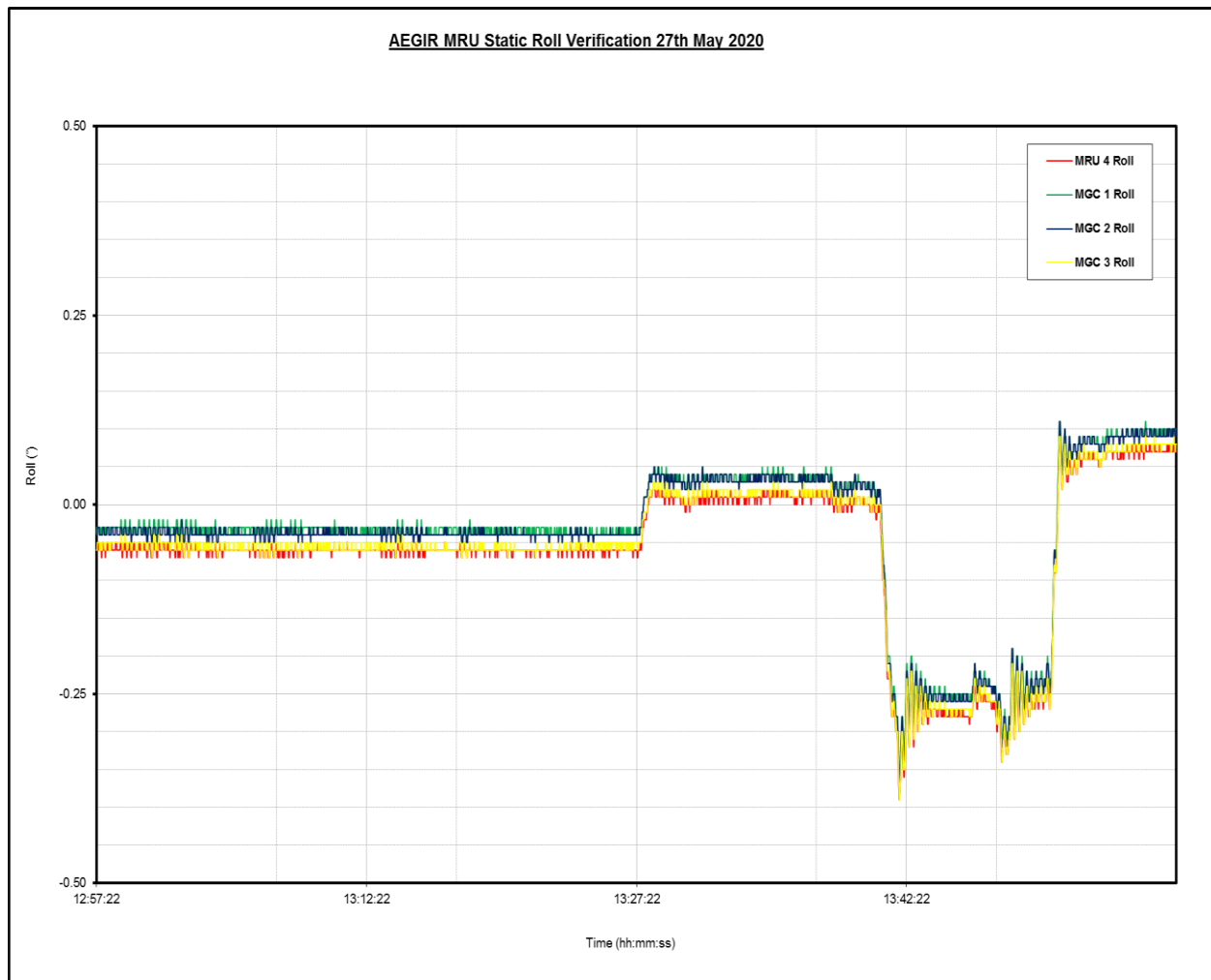


Grafiek 6 Run 1 MRU 1 scheepsbewegingen



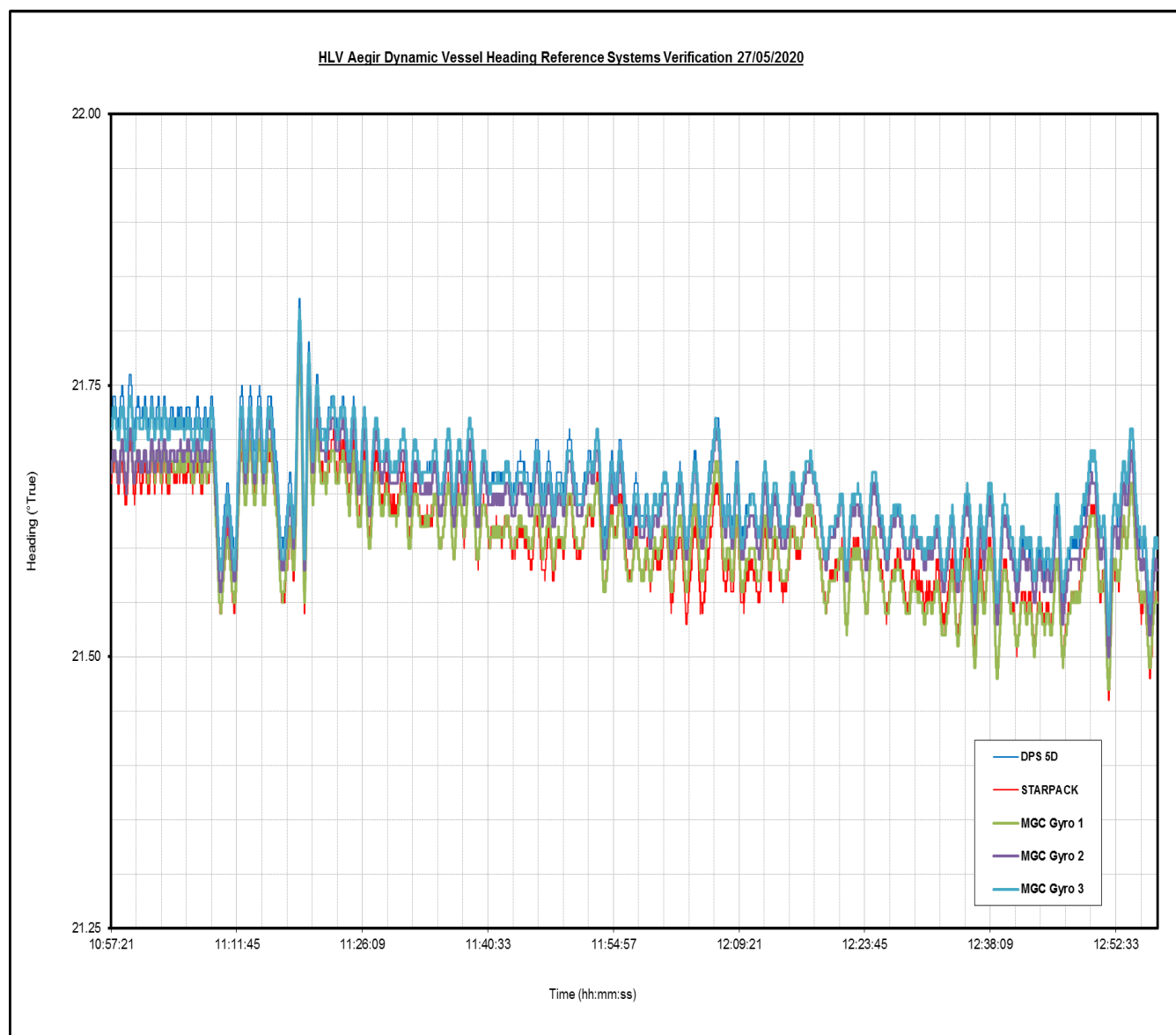
Grafiek 7 Run 2 MRU 1 scheepsbewegingen

Bijlage 9 Grafiek Aegir MRU Rol run 7200 sec



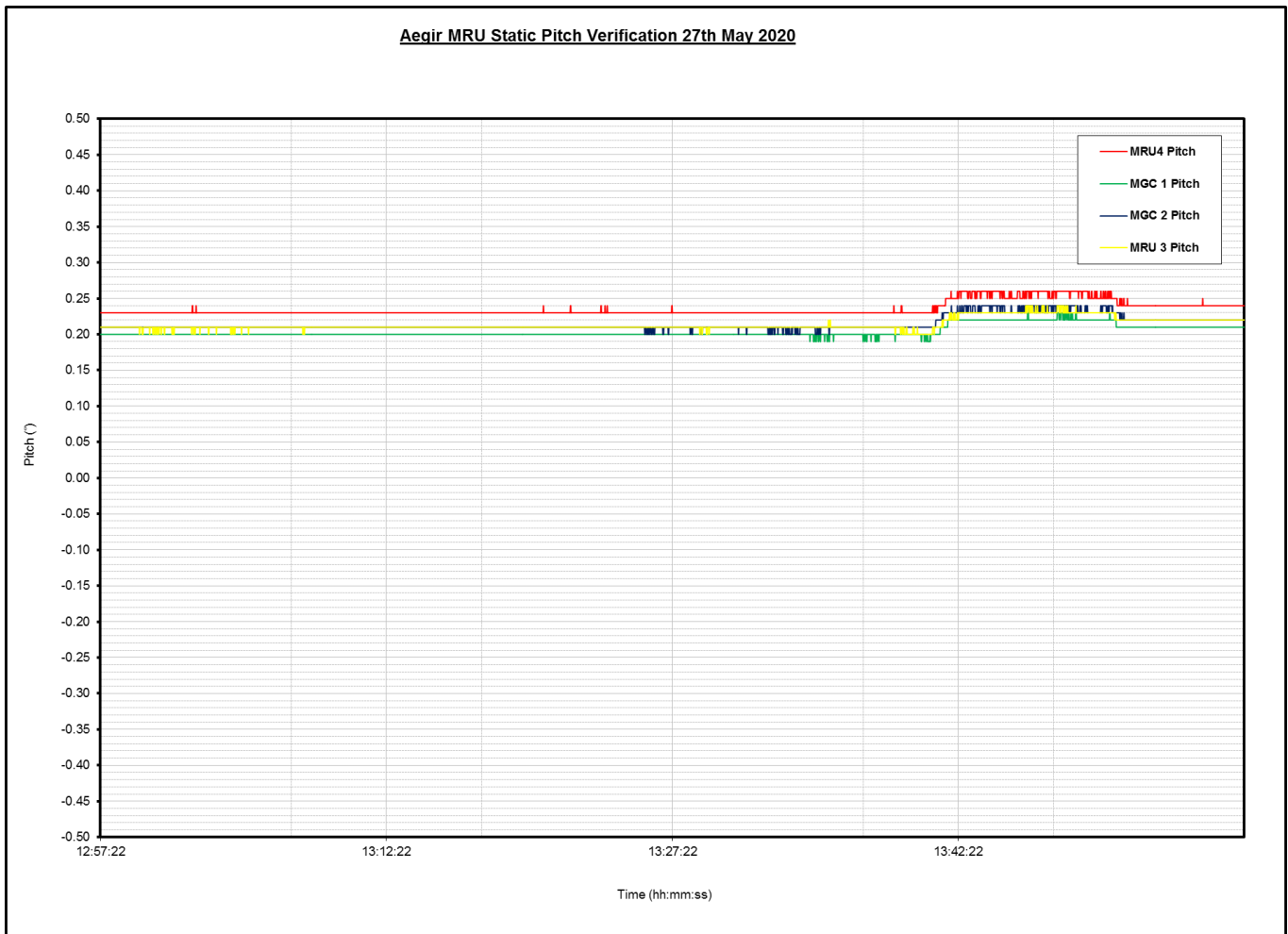
Grafiek 8 Run 72 sec MRU static rol vergelijking

Bijlage 10 Grafiek Aegir Heading run 7200 sec



Grafiek 9 Run 7200 sec heading

Bijlage 11 Grafiek Aegir MRU Pitch run 7200 sec



Grafiek 10 Run 7200 sec pitch MRU