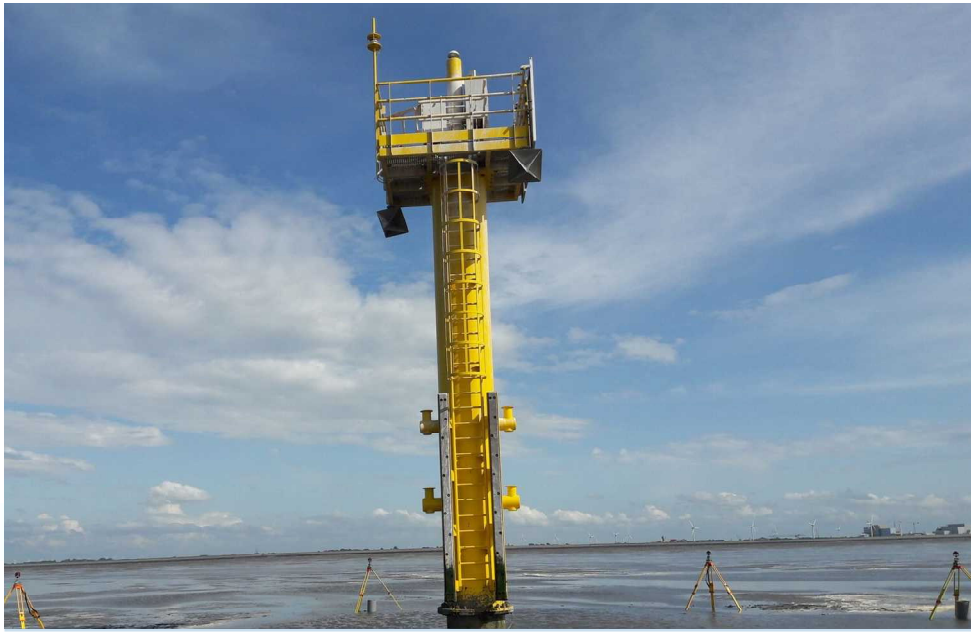




Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee

Jaarrapportage 2019

projectnummer 0453266.100
definitief revisie 00
19 maart 2020

Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee

Jaarrapportage 2019

projectnummer 0453266.100

definitief revisie 00
19 maart 2020

Opdrachtgever

Frisia Zout B.V.
Lange Lijnbaan 15
8861 NW HARLINGEN

datum vrijgave 27-03-20	beschrijving revisie 00 definitief
-----------------------------------	---------------------------------------

goedkeuring P. Meinders

vrijgave A.J. Speelman

Inhoudsopgave

	Blz.
1	Inleiding
2	Continue GNSS-monitoring
2.1	Meetprocedure- en techniek continue GNSS-monitoring
2.2	Verwerking GNSS-data continue GNSS-monitoring
2.3	Resultaten continue GNSS-monitoring
3	Jaarlijkse GNSS-monitoring
3.1	Meetprocedure- en techniek jaarlijkse GNSS-monitoring
3.2	Kalibratie GNSS-antennes
3.3	Metingen niet permanente GNSS-locaties
3.4	Meetchronologie niet permanente GNSS-metingen
3.5	Weersomstandigheden
3.6	Verwerking en resultaten niet permanente GNSS-metingen
3.7	Controle metingen permanente GNSS-stations
3.8	Multi-baseline berekeningen GNSS metingen
3.9	Combinatie waterpas- en GNSS metingen
3.10	Differentiastaat
4	Waterpasmeting meetnet 'Harlingen-West'
4.1	Meetnet
4.2	Metingen
4.3	Uitvoering
4.4	Coördinaten
4.5	Toetsing en vereffening
4.6	Resultaten
5	Samenvatting
6	Referenties

Bijlage 1 Overzichtskaarten deformatienet Zoutwinning Waddenzee

Bijlage 2 Continue GNSS-monitoring Grafieken

Bijlage 3 Continue GNSS-monitoring Ruwe GNSS-meetdata in Excelformaat

Bijlage 4 Continue GNSS-monitoring Logboek

Bijlage 5 Continue GNSS-monitoring 3D impressie meetpaal

Bijlage 5 Continue GNSS-monitoring 3D impressie Meetpaal

Bijlage 6 Continue GNSS-monitoring Foto's GNSS-meetlocaties

Bijlage 7 Jaarlijkse GNSS meting Differentiastaat

Bijlage 8 Jaarlijkse GNSS meting Tekening meetpaal voor jaarlijkse GNSS monitoring

Bijlage 8 Jaarlijkse GNSS meting Tekening meetpaal voor jaarlijkse GNSS monitoring

Bijlage 9 Jaarlijkse GNSS meting Kalibratierapport GNSS-antennekalibratie

Bijlage 9 Jaarlijkse GNSS meting Resultaten kalibratie antennemasten

Bijlage 10 Jaarlijkse GNSS meting Berekening waterpasmetingen (antenne meting)

Bijlage 11 Jaarlijkse GNSS meting Rapportage Multi-station berekening

Bijlage 12 Differentiastaat waterpasmeting 'Harlingen - West'

1 Inleiding

In opdracht van Esco Frisia Zout B.V. (hierna te noemen Frisia) heeft Antea Group een meetnet en monitoringssysteem ingericht in de Waddenzee en langs de kuststrook, ten noordwesten van Harlingen. Aanleiding hiervoor is de geplande zoutwinning door Frisia, het daartoe ingediende meetplan en het bijhorende document '*Bijlage: Update toelichting meetplan Havenmond definitief revisie 11*' d.d. 13 juli 2018 [1]. De monitoring is onder te verdelen in een continue GNSS monitoring, een jaarlijkse 'Wad' meetcampagne en een jaarlijkse waterpasmetering van het meetnet Harlingen-West, het rapport is op dezelfde manier ingedeeld.

Het doel van deze monitoring is het vastleggen van een mogelijk Pleistocene bodembeweging, die kan optreden als gevolg van mijnbouwactiviteiten (zoutwinning). Het tijdsverloop van de Pleistocene bodembeweging wordt bewaakt door een continue GNSS monitoring in het diepste punt van de geprognoseerde dalingskom en een punt halverwege deze kom. Daarnaast wordt jaarlijks een GNSS-meetcampagne en een nauwkeurigheds-waterpasmetering uitgevoerd.

Continue GNSS-monitoring

Het permanente monitoringssysteem bestaat uit twee GNSS-stations in de Waddenzee en één (referentie-) GNSS-station op het vaste land (Zweins). Hierbij worden continue (hoogte-) metingen uitgevoerd. De metingen van de stations in de Waddenzee zijn gestart op 10 oktober 2018. De resultaten tot en met 31 december 2019, van de metingen van de permanente monitoringsstations, worden in deze rapportage weergegeven. De werkzaamheden en resultaten van de continue GNSS-monitoring worden in hoofdstuk 2 weergegeven.

Voor de continue GNSS-monitoring zijn de volgende werkzaamheden verricht:

- Het inrichten en operationeel maken van twee permanente GNSS stations (CGPS01 en CGPS02);
- Het continue uitvoeren van GNSS-metingen op deze locaties vanaf 10 oktober 2018;
- Controle op een goede werking van de permanente GNSS-stations;
- Het verwerken van de meetdata en het berekenen van een moving average;
- Het uitvoeren van een scheefstand meting voor de stations CGPS01 en CGPS02 (1x per jaar i.c.m. de jaarlijkse GNSS-meetcampagne);
- Het uitvoeren van controle metingen van de twee stations en de omliggende meetpunten (1x per jaar i.c.m. de jaarlijkse GNSS-meetcampagne).

Jaarlijkse GNSS-monitoring

Het meetplan omvat naast de continue monitoring, de inrichting van acht (8) aanvullende monitoringslocaties welke periodiek (jaarlijks) worden ingemeten door middel van GNSS-metingen. De nulmeting van deze niet permanente stations is uitgevoerd in de periode 4 augustus 2019 t/m 30 september 2019. De werkzaamheden en resultaten van de jaarlijkse GNSS-monitoring worden in hoofdstuk 3 weergegeven.

Voor de jaarlijkse GNSS-monitoring zijn de volgende werkzaamheden verricht:

- Het inrichten en operationeel maken van acht meetlocaties (WPM01, WPM02, WPM04, WPM05, WPM06, WPM07, WPM08 en WPM0A4020);
- Het uitvoeren van GNSS-metingen op deze acht locaties;

- Het uitvoeren van antennemetingen (waterpassingen) bij op- en afbouw;
- Het berekenen en vereffenen van de waterpasmetingen;
- Het postprocessen van de ruwe GNSS-meetdata in samenwerking met de firma 06-GPS.
- Het combineren van de resulterende hoogteverschillen uit de GNSS- en waterpasmetingen;
- Het opstellen van een differentiestaat;
- Het rapporteren van de bovengenoemde werkzaamheden en de resultaten van de metingen.

Waterpasmeting Kuststrook

In het najaar van 2019 is een waterpasmeting uitgevoerd van het in het meetplan aangegeven meetnet 'Kuststrook' (hierna te noemen meetnet 'Harlingen-West'). Deze meting is in combinatie met de reguliere waterpascampagne: 'Barradeel – Barradeel II 2019' uitgevoerd. De resultaten van deze waterpasmeting zijn in deze rapportage weergegeven. Een overzicht van het meetnet is weergegeven in onderstaand figuur 1 en in een overzichtskaart (bijlage1).



Figuur 1: Overzicht meetnet

Met dit rapport wordt uitvoering gegeven aan het gestelde in artikel 31, mijnbouwbesluit 2002, met betrekking tot het uitvoeren en rapporteren van metingen overeenkomstig het goedgekeurde Meetplan 'Havenmond'.

2 Continue GNSS-monitoring

De volledige meetopzet 'Zoutwinning Waddenzee' en een overzicht van het meetnet is beschreven in de *'Bijlage: Update toelichting meetplan Havenmond [1]*. Een overzicht van het waterpasmeetnet, aangevuld met de locaties van de GNSS-stations is weergegeven op een overzichtskaart (zie bijlage 1).

Het meetnet voor de continue GNSS-monitoring bestaat uit twee permanente GNSS-stations (CGPS01 en CGPS02) welke zich binnen de geprognoseerde invloedsfeer van zoutwinning bevinden en één permanent GNSS-station (Zweins) welke verondersteld wordt buiten de invloedsfeer van mijnbouwactiviteiten te liggen. Dit laatste station dient als zogenaamd referentiestation en is sinds 2009 operationeel.

De GNSS-locaties CGPS01, CGPS02 en het GNSS-station Zweins zijn ingericht op de onderstaande posities:

GNSS-station CGPS01		<u>Locatie:</u> Waddenzee Coördinaten (Geografisch): Lat.: 53°12'7.5" N Long.: 5°22'34.9" E
GNSS-station CGPS02		<u>Locatie:</u> Waddenzee Coördinaten (Geografisch): Lat.: 53°12'55.0" N Long.: 5°23'19.9" E
GNSS station Zweins		<u>Locatie:</u> Rijksstraatweg 4A, Zweins Coördinaten (Geografisch): Lat.: 53°11'39.7" N Long.: 5°36'9.9" E

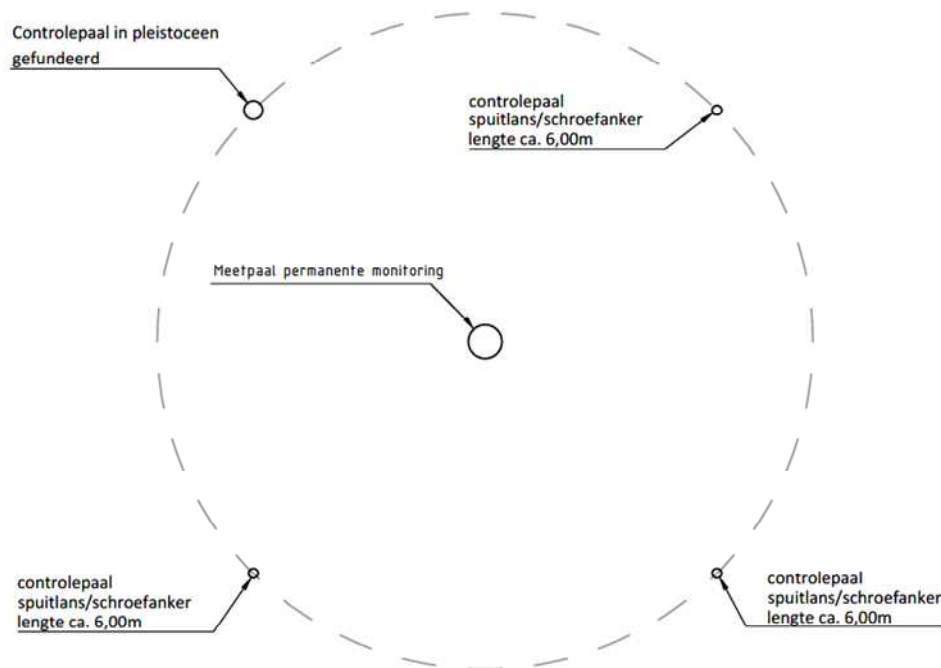
Tabel 1: Posities permanente GNSS-stations

De twee permanente GNSS-stations bestaan elk uit de volgende onderdelen:

- Een op het pleistoceen gefundeerde stalen buis. Deze stalen buis is bestand tegen invloeden van buitenaf. De buis bestaat uit een gecoate buis met een bovendeel waarop de meetapparatuur en aanvullende (energie) voorzieningen zijn bevestigd;
- GNSS ontvanger met bijbehorende antenne die bevestigd wordt op de buis;
- Internet verbinding. Deze verbinding zorgt voor het verzenden van de gemeten GNSS posities en correcties;
- Stroomvoorziening door middel van zonnepanelen;
- Signalering; radarreflector en verlichting.

In de nabije omgeving van de permanente meetpalen op het wad, zijn op beide locaties vier (4) controle palen geplaatst (1 controlepaal in pleistoceen verankerd en twee spuitlans-palen). Zie figuur2.

Tijdens de jaarlijkse meetcampagne (zie hoofdstuk 3) worden deze controlepalen gemeten en vindt er een ijking plaats van de twee permanente GNSS-stations in een landelijk referentienetwerk van GNSS-stations. Daarnaast wordt er een scheefstandsmeting van de twee permanente GNSS-stations uitgevoerd.



Figuur 2: Schematische weergave meetpunten continue monitoring

2.1 Meetprocedure- en techniek continue GNSS-monitoring

Bovenop de meetpaal, ruim acht meter boven het maaiveld (zandplaat), is een Leica AR10 GNSS-antenne geplaatst. Het ARP¹ van de antenne wordt voor wat betreft de XY-positie gevormd door het middelpunt van de GNSS-antenne (hart schroefdraad GNSS-antennestok). De onderkant van de antenne vormt de hoogtecomponent van de Leica AR10 antenne.



Figuur 3: Leica AR10 GNSS-antenne



Figuur 4: Leica GR50 GNSS-ontvanger

De Leica GR50 GNSS-ontvanger is per locatie in een systeemkast geplaatst. De connectie tussen GNSS-antenne en GNSS-ontvanger wordt gevormd met een datakabel. Door middel van vier accu's wordt het GNSS-station van voeding voorzien. De accu's worden opgeladen door vier zonnepanelen (per meetpaal). De energievoorziening wordt bewaakt door middel van een batterij monitoring systeem. Deze gegevens zijn te raadplegen via hetzelfde online-dashboard als waar de resultaten van de GNSS-monitoring te zien zijn.

De GNSS-ontvanger logt continue GNSS-data met een waarnemingsinterval van 15 sec. De gelogde GNSS-data wordt door de GNSS-ontvanger geregistreerd en stuurt deze dagelijks naar een FTP-server.

2.2 Verwerking GNSS-data continue GNSS-monitoring

De gelogde GNSS-data van CGPS01, CGPS02 en Zweins wordt via een beveiligde FTP-verbinding verzonden en opgeslagen op een centrale server van Antea Group. De data wordt vervolgens verwerkt d.m.v. een post-processing (single-baseline berekening) t.o.v. het referentiepunt (Zweins). Deze berekeningen worden uitgevoerd met de applicatie 'Leica Spider' waarmee o.a. ook de dataverbindingen en opslag van de data kan worden gecontroleerd.

De resultaten van deze baseline berekeningen zijn zogenaamde uur-waarnemingen, welke via een continu monitoringssysteem online zijn te volgen via website:

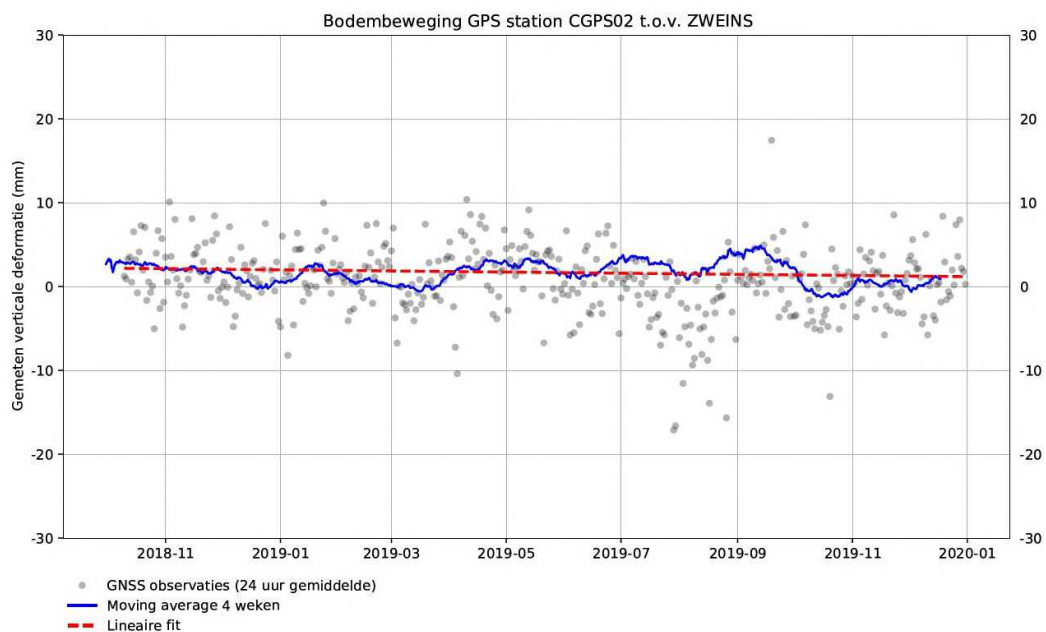
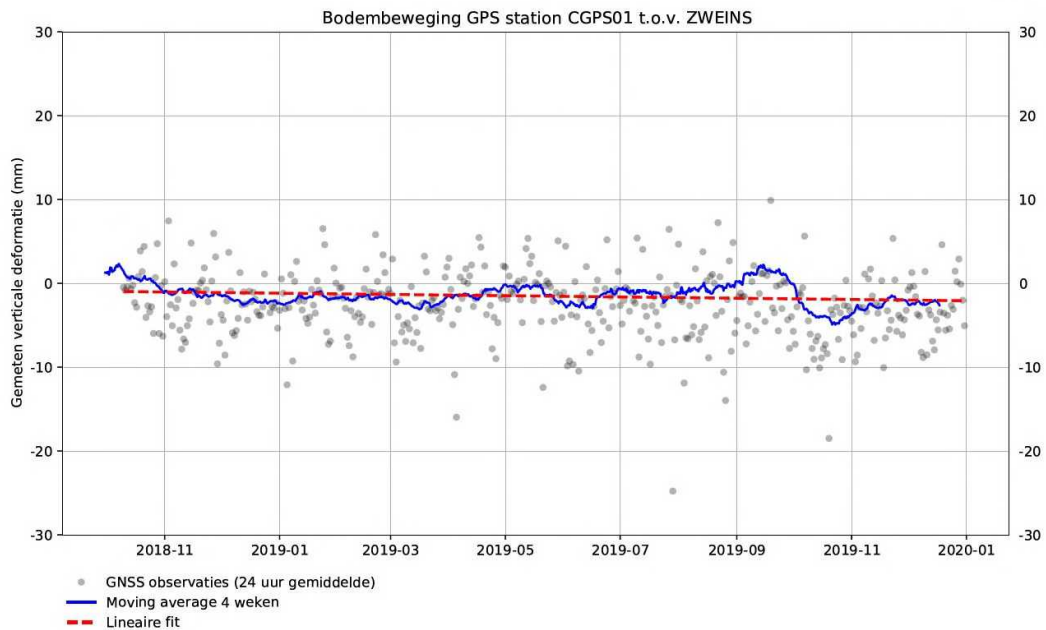
<https://sensorlab.anteagroup.nl/grafana>.

Het systeem is zodanig ingericht dat bij storingen en uitval van een GNSS-station een SMS-melding bij Antea Group binnenkomt. Via een online monitoringsdashboard is te herleiden op welke locatie de storing zich voordoet en zijn de gegevens van batterij en opladers beschikbaar.

¹ ARP: Antenne Referentie Punt

2.3 Resultaten continue GNSS-monitoring

In bijlage 2, en onderstaande figuren, zijn de waarnemingen vanaf 10 oktober 2018 tot en met 31 december 2019 gevisualiseerd. De grafiek bestaat uit de 8-uurgemiddelde GNSS-observaties, een voortschrijdend gemiddelde (moving average) over een periode van 4 weken, en een lineaire fit over de genoemde periode.



De spreiding van de 1-uurgemiddelde GNSS-observaties wordt gebruikt om de nauwkeurigheid van de metingen aan te geven. De standaarddeviatie van deze spreiding is vastgesteld voor CGPS01 en CGPS02 op 12 mm. De GNSS-observaties die buiten de 95%-bandbreedte van deze spreiding vallen (twee keer de standaarddeviatie) zijn eruit gefilterd.

De kwaliteit van de gemeten 1-uurgemiddelden (CQ-waarde) is een indicatie hoe nauwkeurig en eenduidig deze meting is. Voor het verkrijgen van de moving average en de lineaire fit zijn alleen de punten gebruikt met de beste CQ-waarde, grofweg 50% van alle 1-uurgemiddelden. Hiermee kunnen seizoensgebonden invloeden er beter uitgefilterd worden.

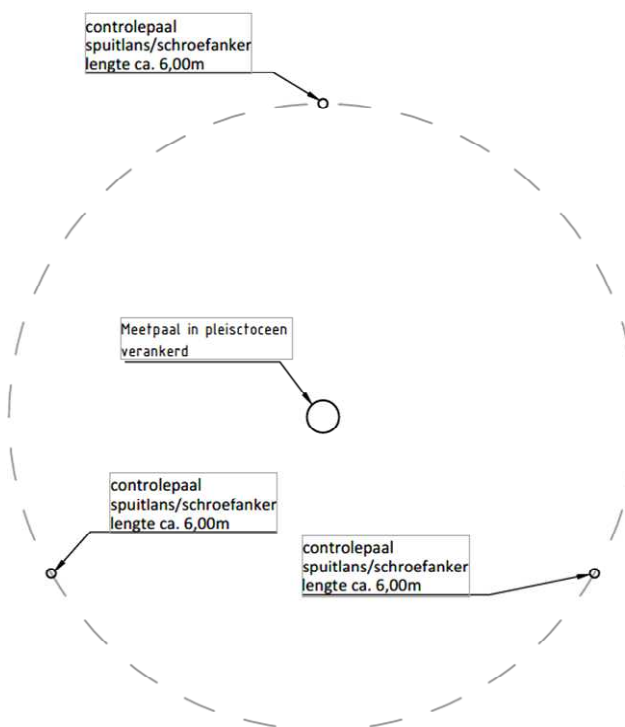
De algehele trend (lineaire fit) van de hoogte van station CGPS01 en CGPS02 zijn nagenoeg stabiel. De lineaire fit van CGPS01 laat een kleine daling zien van -1.0 mm per jaar en voor CGPS02 een kleine daling van -0.8 mm per jaar. Dit is de gemeten daling t.o.v. referentiestation Zweins.

Bij aanvang van de zoutwinning worden bovengenoemde analyses herhaald. Dan wordt opnieuw de beginhoogte van de GNSS metingen bepaald, zodat deze op nul begint. De huidige beginhoogte is bepaald aan de hand van metingen in de eerste twee weken.

3 Jaarlijkse GNSS-monitoring

Naast de in hoofdstuk 2 behandelde permanente GNSS-stations zijn in het meetplan acht (8) meetlocaties bepaald welke door middel van een periodieke (jaarlijkse) meetcampagne met mobiele GNSS-masten worden gemeten. De locatie van deze meetlocaties zijn weergegeven in de een overzichtskaart (bijlage1). Tevens worden tijdens de jaarlijkse meetcampagne de twee permanente GNSS stations geijkt.

Voor de jaarlijkse meetcampagnes zijn op vijf (5) meet-locaties in de Waddenzee clusters meetpunten aangebracht. Een cluster bestaat hierbij uit een in het pleistoceen verankerde meetpaal en drie (3) omliggende spuitlans-palen. Daarnaast zijn op drie (3) meet-locaties in de kuststrook, op het land, clusters meetpunten aangebracht. Een cluster bestaat hierbij uit een in het pleistoceen verankerde meetpaal (type Geo-Delft) en drie omliggende peilmerken (hoogtebouden) in goed gefundeerde objecten.



Figuur 6:: Schematische weergave meetpunten periodieke monitoring (Waddenzee)

3.1 Meetprocedure- en techniek jaarlijkse GNSS-monitoring

Voor het uitvoeren van de jaarlijkse GNSS- meetcampagnes heeft Antea Group vijf mobiele GNSS-meetstations geconstrueerd op basis van een Leica AR20 choke-ring antenne en een Leica GS10 ontvanger. Een dergelijk GNSS-meetstation bestaat uit een vier meter lange aluminium mast, een GNSS-antenne, een GNSS-ontvanger en een stroomvoorziening. Op twee plaatsen aan de mast zijn RVS dopmoeren aangebracht welke dienen als meetpunten en die geschikt zijn voor het aanmeten met een waterpas baak. Daarnaast zijn de masten voorzien van een signaleringslicht t.b.v. de zichtbaarheid voor de scheepsvaart.

Op de mast wordt een AR20 antenne geplaatst, de antenne wordt op de mast gedraaid tot het aanslagpunt. Het ARP van de antenne wordt voor wat betreft de XY-positie gevormd door het middelpunt van het schroefdraad. De onderkant van de antenne vormt de hoogtecomponent van de AR20 antenne. De voet van de mast wordt geplaatst op een in het pleistoceen verankerd meetpunt (WMP01; WMP02; WMP04; WMP05 en WMP06) of op een stalen pen welke nabij het ondergrondse diep gefundeerde meetpunt in de grond wordt aangebracht (WMP07; WMP08 en WMP0A4020). Onderaan de mast bevindt zich een waterdichte kunststoffen kist waarin de GNSS-ontvanger en een accupakket wordt geplaatst.

Het is van belang dat bij elke meting dezelfde antenne op dezelfde mast geplaatst wordt. Hiervoor zijn de GNSS-antenne masten voorzien van een unieke nummering om verwisseling tussen antenne en meetpaal te voorkomen.



Figuur 7: Meetopstelling jaarlijkse GNSS monitoring

Meetpaal	Serienummer antenne	Meetlocatie
1	21274005	WPM01 + WPM07
2	21274006	WPM02 + WPM08
4	21341009	WPM04 + 0A4020
5	21341010	WPM05
6	21349028	WPM06

Tabel 2: Serienummers GNSS-antennes.

3.2 Kallibratie GNSS-antennes

Absolute antenne kalibratie

Nauwkeurige GNSS-metingen vereisen een goede kennis van de ontvangstkarakteristieken van de gebruikte GNSS-antennes. Hiervoor is door GEO++ van elke AR20 GNSS-antenne een antennekalibratie uitgevoerd. De resultaten van deze kalibratie zijn vermeld in bijlage 9.

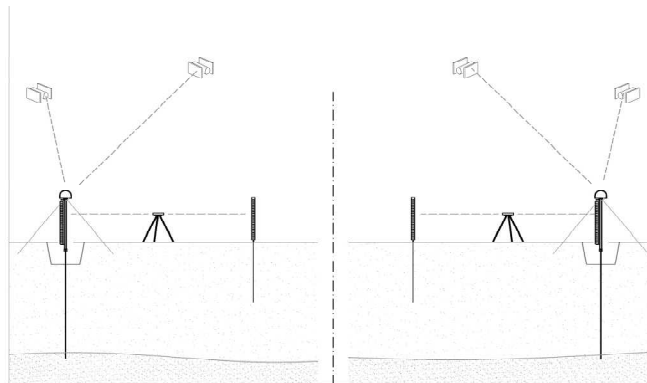
Controle meting masten en antennes

Voorafgaand en na afloop van het uitvoeren van de jaarlijkse GNSS-metingen wordt een controle meting van de twee meetpunten op de masten en de op de mast geplaatste GNSS-antennes uitgevoerd. Waarbij de onderzijde van de GNSS-antenne op vier plaatsen (Noord-, Oost-, Zuid-, en Westzijde) wordt aangemeten. De resultaten van deze controlemetingen zijn vermeld in bijlage 10.

3.3 Metingen niet permanente GNSS-locaties

De GNSS-masten zijn voor een periode van ca. zeven dagen (noord gericht) op een meetlocatie geplaatst. Er is data gelogd met een waarnemingsinterval van 10 seconden, een bestandsgrootte van 24 uur aan waarnemingen en een minimale elevatiehoek van 5 graden.

Om het hoogteverschil te bepalen tussen het ARP van de GNSS-antenne, de meetpunten op de antennemast en de omliggende controlepalen of peilmerken, is een waterpasmeting uitgevoerd tussen deze punten. Deze metingen zijn direct na het plaatsen van de antennemasten uitgevoerd en voorafgaand aan het demonteren van de masten. Door het uitvoeren van een meting aan het begin van de meetperiode en aan het eind van de meetperiode kan geconstateerd worden of er verstoringen in de meetconfiguratie zijn opgetreden. Alle metingen zijn gecontroleerd uitgevoerd in een heen- en teruggang. De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in de tabellen 5 t/m 12.



Figuur 8: Principeschets van de jaarlijkse meetcampagne (Waddenzee) met als doel het meten van hoogteverschillen tussen de ondergrondse merken en de overige peilmerken op de meetlocaties. De jaarlijkse meetcampagne bestaat uit GNSS-metingen voor het bepalen van de hoogten (ETRS) van de ARP's van de meetpalen en uit waterpasmetingen om het hoogteverschil te bepalen tussen de peilmerken en de ARP's van de meetpalen.

3.4 Meetchronologie niet permanente GNSS-metingen

Meetpaal	Locatie	GNSS-Antenne	GNSS-ontvanger	Startdatum	Einddatum	Einddatum
1	WPM01	21274005	3230485	4-8-2019	15-8-2019	Datalogging gestopt op 12-08-2019 i.v.m. weggeslagen koffer
2	WPM02	21274006	3230491	6-8-2019	13-8-2019	
4	WPM04	21341009	3230502	14-8-2019	21-8-2019	
5	WPM05	21341010	3230501	8-8-2019	16-8-2019	
6	WPM06	21349028	3230500	9-8-2019	20-8-2019	
1	WPM07	21274005	3230485	17-9-2019	24-9-2019	
2	WPM08	21274006	3230491	17-9-2019	24-9-2019	
4	WPM0A4020	21341009	3230502	20-9-2019	30-9-2019	

Tabel 3: Overzicht inzet GNSS-meetpalen

3.5 Weersomstandigheden

In de onderstaande tabel worden de weersomstandigheden weergegeven ten tijde van de meetcampagne. De gegevens zijn afkomstig van de KNMI weerstations Hoorn (Terschelling) en Leeuwarden gesitueerd nabij het projectgebied.

Datum	Windrichting	Windkracht (Bft)	Bewolking	Neerslag (mm)	Temp. Lucht (°C)
4-8-2019	Z	2	Zwaar bewolkt	0.00	17.8
5-8-2019	ZZW	4	Vrijwel geheel bewolkt	0.90	19.1
6-8-2019	ZW	4	Zwaar bewolkt	0.00	19.1
7-8-2019	WZW	5	Half bewolkt	0.05	18.9
8-8-2019	W	4	Half bewolkt	0.00	17.4
9-8-2019	ZZO	4	Geheel bewolkt	5.80	17.9
10-8-2019	ZW	7	Half tot zwaar bewolkt	0.30	19.4
11-8-2019	ZW	6	Zwaar bewolkt	0.05	18.6
12-8-2019	W	4	Zwaar bewolkt	1.70	16.7
13-8-2019	W	3	Zwaar bewolkt	6.00	14.0
14-8-2019	ZZW	4	Half tot zwaar bewolkt	5.90	15.5
15-8-2019	W	5	Geheel bewolkt	4.90	17.3
16-8-2019	ZZW	4	Geheel bewolkt	2.80	17.3
17-8-2019	ZW	5	Vrijwel geheel bewolkt	6.70	18.3
18-8-2019	ZW	4	Zwaar bewolkt	0.70	17.6
19-8-2019	WZW	5	Half tot zwaar bewolkt	1.10	16.8
20-8-2019	W	3	Half bewolkt	0.80	14.9
17-9-2019	NW	5	Zwaar bewolkt	0.10	14.0
18-9-2019	NNW	3	Zwaar bewolkt	1.50	13.5
19-9-2019	N	2	Vrijwel geheel bewolkt	0.00	12.9
20-9-2019	ZZW	2	Zwaar bewolkt	0.00	13.4
21-9-2019	O	4	Vrijwel onbewolkt	0.00	14.8
22-9-2019	ZO	3	Half tot zwaar bewolkt	0.20	16.9
23-9-2019	ZZW	3	Vrijwel geheel bewolkt	1.70	16.3
24-9-2019	ZZO	4	Geheel bewolkt	9.10	15.5
25-9-2019	Z	4	Geheel bewolkt	3.00	15.7
26-9-2019	Z	5	Vrijwel geheel bewolkt	6.40	16.1
27-9-2019	ZZW	5	Zwaar bewolkt	10.20	15.4
28-9-2019	WZW	5	Vrijwel geheel bewolkt	4.20	15.2
29-9-2019	ZW	5	Geheel bewolkt	33.00	15.0
30-9-2019	WNW	5	Zwaar bewolkt	6.70	14.1

Tabel 4: Weersomstandigheden gedurende de meetcampagne

3.6 Verwerking en resultaten niet permanente GNSS-metingen

Move vereffening waterpasresultaten

De waterpasmetingen bij opbouw en demontage zijn in Move3 getoetst volgens de Delftse rekenmethode kleinste kwadraten. Hierbij vindt toetsing plaats van het meetnet als geheel (F-toets) en toetsing van de waarnemingen afzonderlijk (W-toets). In de Move3 berekeningen voor de meetlocaties op het wad zijn de in het pleistoceen verankerde meetpalen aangehouden als referentiepunt. Voor de meetlocaties op het land zijn de diep gefundeerde meetpunten aangehouden als referentiepunt. Het volledig Move3 uitvoerbestand per meetlocatie wordt getoond in bijlage 11.

Resultaten waterpasmetingen (antennemetingen)

In de onderstaande tabellen 5 t/m 12 worden de resultaten weergegeven van de antennemetingen (waterpasmeting tussen antenne, ondergronds meetmerk en overige peilmerken). De antennemetingen bij opbouw en demontage zijn vergeleken ter controle op een eventuele verstoring of zetting van de meetpalen. Het verschil tussen de gemeten waarde tussen opbouw en bij afbraak bedraagt bij punt 12003 +126 mm. Een verklaring hiervoor is dat het meetpunt is verstoord tussen beide metingen (de spuitlanspaal stond bij de 2^e meting duidelijk scheef). De overige waarden vallen binnen de meettoleranties.

Tijdelijke GNSS-meetstok 1 Locatie WPM01 Hoogteverschillen in meters t.o.v. 11004					
Puntnummer	Omschrijving	Meting bij opbouw (M1)	Meting bij demontage (M2)	Gemiddeld	Verschil (M2 - M1)
		Meetdatum: 04-08-2019	Meetdatum: 15-08-2019		
11001	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,1393	0,1391	0,1392	-0,0002
11002	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,1842	0,1840	0,1841	-0,0002
11003	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,2245	0,2241	0,2243	-0,0004
11004	Meetpunt 'pleistoceen verankerd'	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
110041	Bout onderzijde tijdelijke meetstok	0,7212	0,7219	0,7216	0,0007
110042	Bout bovenzijde tijdelijke meetstok	3,0191	3,0191	3,0191	0,0000
Antennerand centrum gemiddeld		4,0348	4,0343	4,0346	-0,0005
Correctie ARP				0,0323	
Antenne gemiddeld				4,0023	
Antennereferentiepunt					

Tabel 5: Resultaten waterpasmeting bij opbouw en demontage WPM01

Tijdelijke GNSS-meetstok 2 Locatie WPM02 Hoogteverschillen in meters t.o.v. 12004					
Puntnummer	Omschrijving	Meting bij opbouw (M1)	Meting bij demontage (M2)	Gemiddeld	Verschil (M2 - M1)
		Meetdatum: 06-08-2019	Meetdatum: 13-08-2019		
12001	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,2333	0,2312	0,2323	-0,0021
12002	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,2449	0,2449	0,2449	0,0000
12003	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,3655	0,3529	0,3592	-0,0126
12004	Meetpunt 'pleistoceen verankerd'	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
120041	Bout onderzijde tijdelijke meetstok	0,7210	0,7203	0,7207	-0,0007
120042	Bout bovenzijde tijdelijke meetstok	3,0189	3,0184	3,0187	-0,0005
Antennerand centrum gemiddeld		4,0349	4,0335	4,0342	-0,0014
Correctie ARP				0,0323	
Antenne gemiddeld Antennereferentiepunt				4,0019	

Tabel 6: Resultaten waterpasmetering bij opbouw en demontage WPM02

Tijdelijke GNSS-meetstok 4 Locatie WPM04 Hoogteverschillen in meters t.o.v. 14004					
Puntnummer	Omschrijving	Meting bij opbouw (M1)	Meting bij demontage (M2)	Gemiddeld	Verschil (M2 - M1)
		Meetdatum: 14-08-2019	Meetdatum: 21-08-2019		
14001	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,1926	0,1926	0,1926	0,0000
14002	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,2197	0,2197	0,2197	0,0000
14003	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,1723	0,1723	0,1723	0,0000
14004	Meetpunt 'pleistoceen verankerd'	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
140041	Bout onderzijde tijdelijke meetstok	0,7211	0,7210	0,7211	-0,0001
140042	Bout bovenzijde tijdelijke meetstok	3,0231	3,0229	3,0230	-0,0002
Antennerand centrum gemiddeld		4,0347	4,0341	4,0344	-0,0006
Correctie ARP				0,0323	
Antenne gemiddeld Antennereferentiepunt				4,0021	

Tabel 7: Resultaten waterpasmetering bij opbouw en demontage WPM04

Tijdelijke GNSS-meetstok 5 Locatie WPM05 Hoogteverschillen in meters t.o.v. 15004					
Puntnummer	Omschrijving	Meting bij opbouw (M1)	Meting bij demontage (M2)	Gemiddeld	Verschil (M2 - M1)
		Meetdatum: 08-08-2019	Meetdatum: 16-08-2019		
15001	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,3223	0,3223	0,3223	0,0000
15002	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,2262	0,2263	0,2263	0,0001
15003	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,2343	0,2341	0,2342	-0,0002
15004	Meetpunt 'pleistoceen verankerd'	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
150041	Bout onderzijde tijdelijke meetstok	0,7209	0,7213	0,7211	0,0004
150042	Bout bovenzijde tijdelijke meetstok	3,0191	3,0186	3,0189	-0,0005
Antennerand centrum gemiddeld		4,0354	4,0341	4,0348	
Correctie ARP				0,0323	
Antenne gemiddeld Antennereferentiepunt				4,0025	

Tabel 8: Resultaten waterpasmetering bij opbouw en demontage WPM05

Tijdelijke GNSS-meetstok 6 Locatie WPM06 Hoogteverschillen in meters t.o.v. 16004					
Puntnummer	Omschrijving	Meting bij opbouw (M1)	Meting bij demontage (M2)	Gemiddeld	Verschil (M2 - M1)
		Meetdatum: 09-08-2019	Meetdatum: 20-08-2019		
16001	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,2419	0,2415	0,2417	-0,0004
16002	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,2112	0,2108	0,2110	-0,0004
16003	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,2449	0,2447	0,2448	-0,0002
16004	Meetpunt 'pleistoceen verankerd'	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
160041	Bout onderzijde tijdelijke meetstok	0,7199	0,7197	0,7198	-0,0002
160042	Bout bovenzijde tijdelijke meetstok	3,0176	3,0174	3,0175	-0,0002
Antennerand centrum gemiddeld		4,0343	4,0338	4,0341	-0,0005
Correctie ARP				0,0323	
Antenne gemiddeld Antennereferentiepunt				4,0018	

Tabel 9: Resultaten waterpasmetering bij opbouw en demontage WPM06

Tijdelijke GNSS-meetstok 1 Locatie WPM07 Hoogteverschillen in meters t.o.v. 0A7					
Puntnummer	Omschrijving	Meting bij opbouw (M1)	Meting bij demontage (M2)	Gemiddeld	Verschil (M2 - M1)
		Meetdatum: 17-09-2019	Meetdatum: 24-09-2019		
000A02908 (0A7)	Diep gefundeerd peilmerk (type 'Geo-Delft')	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
17001	Peilmerk (bout)	1,1787	1,1811	1,1799	0,0024
17002	Peilmerk (bout)	1,1817	1,1813	1,1815	-0,0004
17003	Peilmerk (bout)	1,1813	1,1783	1,1798	-0,0030
17004	Tijdelijk meetpunt	0,6271	0,6261	0,6266	-0,0010
170041	Bout onderzijde tijdelijke meetstok	1,3488	1,3480	1,3484	-0,0008
170042	Bout bovenzijde tijdelijke meetstok	3,6458	3,6450	3,6454	-0,0008
Antennerand centrum gemiddeld				4,6612	
Correctie ARP				0,0323	
Antenne gemiddeld Antennereferentiepunt				4,6289	

Tabel 10: Resultaten waterpasmetering bij opbouw en demontage WPM07

Tijdelijke GNSS-meetstok 2 Locatie WPM08 Hoogteverschillen in meters t.o.v. 0A8					
Puntnummer	Omschrijving	Meting bij opbouw (M1)	Meting bij demontage (M2)	Gemiddeld	Verschil (M2 - M1)
		Meetdatum: 17-09-2019	Meetdatum: 24-09-2019		
000A02907 (0A8)	Diep gefundeerd peilmerk (type 'Geo-Delft')	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
18001	Peilmerk (bout)	1,5328	1,5327	1,5328	-0,0001
18002	Peilmerk (bout)	1,4939	1,4939	1,4939	0,0000
18003	Peilmerk (bout)	1,0964	1,0970	1,0967	0,0006
18004	Tijdelijk meetpunt	0,9727	0,9725	0,9726	-0,0002
180041	Bout onderzijde tijdelijke meetstok	1,6939	1,6937	1,6938	-0,0002
180042	Bout bovenzijde tijdelijke meetstok	3,9916	3,9913	3,9915	-0,0003
Antennerand centrum gemiddeld				5,0068	
Correctie ARP				0,0323	
Antenne gemiddeld Antennereferentiepunt				4,9745	

Tabel 11: Resultaten waterpasmetering bij opbouw en demontage WPM08

Tijdelijke GNSS-meetstok 4 Locatie WPM0A4020 Hoogteverschillen in meters t.o.v. 16004					
Puntnummer	Omschrijving	Meting bij opbouw (M1)	Meting bij demontage (M2)	Gemiddeld	Verschil (M2 - M1)
		Meetdatum: 20-09-2019	Meetdatum: 30-09-2019		
000A4020	Diep gefundeerd peilmerk (type 'Geo-Delft')	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
000A5020	Ondergronds merk	-0,5897	-0,5898	-0,5898	-0,0001
005D0072	Peilmerk (bout)	-0,8565	-0,8564	-0,8565	0,0001
005D0081	Peilmerk (bout)	-0,5276	-0,5274	-0,5275	0,0002
303	Peilmerk (bout)	-0,4331	-0,4329	-0,4330	0,0002
19004	Tijdelijk meetpunt	-0,7480	-0,7481	-0,7481	-0,0001
190041	Bout onderzijde tijdelijke meetstok	-0,0267	-0,0265	-0,0266	0,0002
190042	Bout bovenzijde tijdelijke meetstok	2,2745	2,2744	2,2745	-0,0001
Antennerand centrum gemiddeld				3,2864	
Correctie ARP				0,0323	
Antenne gemiddeld Antennereferentiepunt				3,2541	

Tabel 12: Resultaten waterpasmeting bij opbouw en demontage WPM0A4020

3.7 Controle metingen permanente GNSS-stations

Tijdens de jaarlijkse meetcampagne worden ook de twee permanente GNSS-stations gecontroleerd. Hierbij worden de controlepalen bij de GNSS-stations, punten op de meetpaal en het antenne referentiepunt (ARP) aangemeten. Deze meting is kort na het operationeel worden van de permanente GNSS-stations voor het eerst uitgevoerd. De verschillen tussen huidige meting (20-08-2019) en de nulmeting (09-10-2018) variëren tussen 0 en -5 millimeter. In de onderstaande tabellen 13 en 14 worden de resultaten weergegeven van deze metingen.

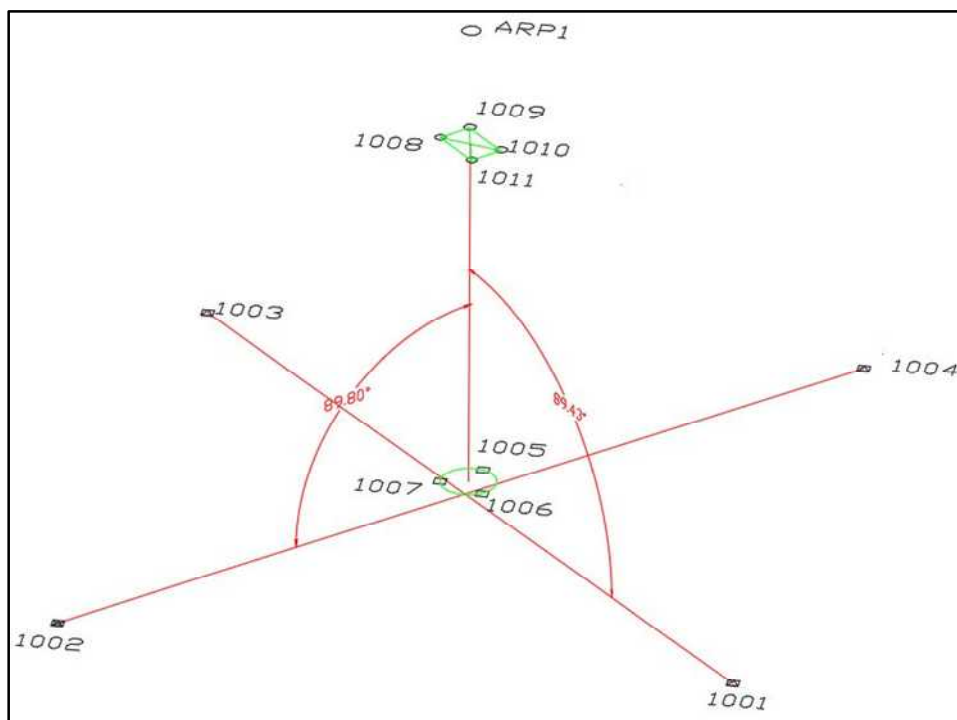
Tevens vindt er een meting plaats om de scheefstand van de paal te bepalen. De resultaten van deze scheefstandsmeting worden weergegeven in figuur 9 en 10, waarin ook de nummering van de gemeten punten is weergegeven.

Permanente meetpaal 1 Locatie CGPS01 Hoogteverschillen in meters t.o.v. 1001				
Puntnummer	Omschrijving	0-meting (M1)	herhalings-meting 1 (M2)	Verschil (M2 - M1)
		Meetdatum: 09-10-2018	Meetdatum: 20-08-2019	
1001	Meetpunt 'pleistoceen verankerd'	0,0000	0,0000	0,0000
1002	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,1310	0,1296	-0,0014
1003	Controlepaal (spuitlanspaal)	-0,0011	-0,0017	-0,0006
1004	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,1832	0,1780	-0,0052
1005	Bout op permanente meetpaal	0,3341	0,3341	0,0000
1006	Bout op permanente meetpaal	0,3124	0,3126	0,0002
1007	Bout op permanente meetpaal	0,3277	0,3278	0,0001
1008	Bout op permanente meetpaal onderzijde bordes	8,4861	8,4856	-0,0005
1009	Bout op permanente meetpaal onderzijde bordes	8,4883	8,4882	-0,0001
1010	Bout op permanente meetpaal onderzijde bordes	8,4611	8,4565	-0,0046
1011	Bout op permanente meetpaal onderzijde bordes	8,4520	8,4528	0,0008
ARP1	ARP aanmeting 1	11,1660	11,1672	
ARP2	ARP aanmeting 2	11,1646	11,1660	
ARP3	ARP aanmeting 3	11,1784	11,1668	
ARP4	ARP aanmeting 4		11,1625	
ARP5	ARP aanmeting 5		11,1642	
antenne gemiddeld	antennereferentiepunt	11,1697	11,1653	-0,0043

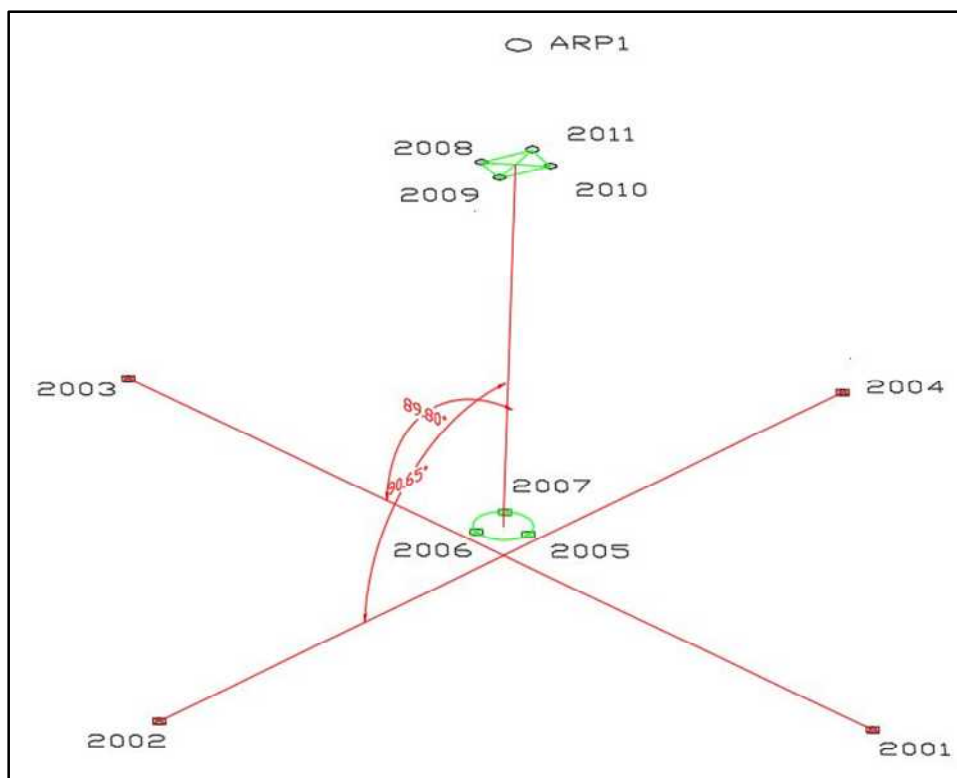
Tabel 13: Resultaten controle meting permanente meetpaal CGPS01

Permanente meetpaal 2 Locatie CGPS02 Hoogteverschillen in meters t.o.v. 2001				
Puntnummer	Omschrijving	0-meting (M1)	herhalings-meting 1 (M2)	Verschil (M2 - M1)
		Meetdatum: 08-10-2018	Meetdatum: 12-08-2019	
2001	Meetpunt 'pleistoceen verankerd'	0,0000	0,0000	0,0000
2002	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,1021	0,1007	-0,0014
2003	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,1188	0,1184	-0,0004
2004	Controlepaal (spuitlanspaal)	0,0899	0,0881	-0,0018
2005	Bout op permanente meetpaal	0,8264	0,8262	-0,0002
2006	Bout op permanente meetpaal	0,8359	0,8357	-0,0002
2007	Bout op permanente meetpaal	0,8264	0,8260	-0,0004
2008	Bout op permanente meetpaal onderzijde bordes	8,9839	8,9849	0,0010
2009	Bout op permanente meetpaal onderzijde bordes	8,9831	8,9841	0,0010
2010	Bout op permanente meetpaal onderzijde bor	8,9725	8,9719	-0,0006
2011	Bout op permanente meetpaal onderzijde bor	8,9728	8,9741	0,0013
ARP1	ARP aanmeting 1	11,6648	11,6572	
ARP2	ARP aanmeting 2	11,6604	11,6608	
ARP3	ARP aanmeting 3	11,6652	11,6648	
ARP4	ARP aanmeting 4		11,6627	
antenne gemiddeld	antennereferentiepunt	11,6635	11,6614	-0,0021

Tabel 14: Resultaten controle meting permanente meetpaal CGPS02



Figuur 9: Scheefstand en puntnummering meetpaal CGPS01



Figuur 10: Scheefstand en puntnummering meetpaal CGPS02

3.8 Multi-baseline berekeningen GNSS metingen

Tijdens de post-processing van de GNSS-meetdata worden door middel van een Multi-station oplossing de ETRS89 coördinaten berekend met het Geo++ softwarepakket GNSMART. Hierbij worden alle stations berekend binnen het landelijke referentienetwerk van de firma 06-GPS. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel. Voor het gehele verwerkingsrapport zie bijlage 12.

Resultaten Multi-baseline berekening 2019			
Locatie	ARP Meetpaal	ETRS89-hoogte (meters)	ETRS89-hoogte-verschillen (meters)
WPM0A4020	ARPWPM0A4020	51,7203	0,0000
WPM01	ARP-WPM01	45,2517	-6,4686
WPM02	ARP-WPM02	44,6128	-7,1075
WPM04	ARP-WPM04	44,3845	-7,3358
WPM05	ARP-WPM05	44,4895	-7,2308
WPM06	ARP-WPM06	44,3958	-7,3245
WPM07	ARP-WPM07	48,8014	-2,9189
WPM08	ARP-WPM08	49,7888	-1,9315
CGPS01	ARP-CGPS01	51,6782	-0,0421
CGPS02	ARP-CGPS02	52,5468	0,8265

Tabel 15: Resultaten multi-baseline berekening

3.9 Combinatie waterpas- en GNSS metingen

De gewaterpaste hoogteverschillen uit de antennenmeting, tabellen 5 t/m 12 zijn gecombineerd met de resultaten van de multi-baseline berekening van de ARP's van de meetpalen. Dit resulteert in één waarde (in ETRS89) voor de hoogten van de peilmerken op de diverse locaties. Voor de GNSS-antennenmeting zijn de gemiddelde waarden van de meting bij opbouw en de meting bij demontage gebruikt. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel 16.

Resultaten jaarlijkse GNSS meting 2019 (t.o.v. WPM0A4020)								
Locatie	Peilmerk	ETRS89-hoogte referentie punt (meters)	Hoogteverschil antennenmeting ondergronds merk- ARP3 (meters)	ETRS89-hoogte ARP-WPM0A4020 (meters)	hoogte verschillen uit GPS meting (meters)	ETRS89-hoogte ARP's t.o.v. referentie punt (meters)	Hoogteverschil antennenmeting ARP-hoogtemerk (meters)	ETRS89-hoogte hoogtemerk (meters)
WPM0A4020	ARPWPM0A4020		3,2541	51,7203	0,0000	51,7203	0,0000	51,7203
	000A4020	48,4663	0,0000				-3,2541	48,4663
	000A5020						-3,8438	47,8765
	005D0072						-4,1105	47,6098
	005D0081						-3,7816	47,9388
	303						-3,6871	48,0333
	19004						-4,0021	47,7182
	190041						-3,2807	48,4397
	190042						-0,9796	50,7407

Resultaten jaarlijkse GNSS meting 2019 (t.o.v. WPM0A4020)

Locatie	Peilmerk	ETRS89- hoogte referentie punt (meters)	Hoogteverschil antennemeting ondergronds merk- ARP3 (meters)	ETRS89- hoogte ARP- WPM0A4020 (meters)	hoogte verschillen uit GPS meting (meters)	ETRS89- hoogte ARP's t.o.v. referentie punt (meters)	Hoogteverschil antennemeting ARP- hoogtemerk (meters)	ETRS89- hoogte hoogtemerk (meters)
WPM01	ARPWPM01				-6,4686	45,2517	0,0000	45,2517
	11001						-3,8631	41,3887
	11002						-3,8182	41,4336
	11003						-3,7780	41,4738
	11004						-4,0023	41,2495
	110041						-3,2807	41,9710
	110042						-0,9831	44,2686
WPM02	ARPWPM02				-7,1075	44,6128	0,0000	44,6128
	12001						-3,7697	40,8432
	12002						-3,7570	40,8558
	12003						-3,6427	40,9701
	12004						-4,0019	40,6109
	120041						-3,2813	41,3316
	120042						-0,9833	43,6296
WPM04	ARPWPM04				-7,3358	44,3845	0,0000	44,3845
	14001						-3,8095	40,5750
	14002						-3,7824	40,6021
	14003						-3,8298	40,5547
	14004						-4,0021	40,3824
	140041						-3,2811	41,1035
	140042						-0,9791	43,4054
WPM05	ARPWPM05				-7,2308	44,4895	0,0000	44,4895
	15001						-3,6802	40,8094
	15002						-3,7762	40,7133
	15003						-3,7683	40,7213
	15004						-4,0025	40,4871
	150041						-3,2814	41,2082
	150042						-0,9836	43,5059
WPM06	ARPWPM06				-7,3245	44,3958	0,0000	44,3958
	16001						-3,7601	40,6358
	16002						-3,7908	40,6051
	16003						-3,7570	40,6389
	16004						-4,0018	40,3941
	160041						-3,2820	41,1139
	160042						-0,9843	43,4116
WPM07	ARPWPM07				-2,9189	48,8014	0,0000	48,8014
	0A7						-4,6289	44,1726
	17001						-3,4490	45,3525
	17002						-3,4474	45,3541
	17003						-3,4491	45,3524
	17004						-4,0023	44,7992
	170041						-3,2805	45,5210
	170042						-0,9834	47,8180

Resultaten jaarlijkse GNSS meting 2019 (t.o.v. WPM0A4020)								
Locatie	Peilmerk	ETRS89- hoogte referentie punt (meters)	Hoogteverschil antennemeting ondergronds merk- ARP3 (meters)	ETRS89- hoogte ARP- WPM0A4020 (meters)	hoogte verschillen uit GPS meting (meters)	ETRS89- hoogte ARP's t.o.v. referentie punt (meters)	Hoogteverschil antennemeting ARP- hoogtemerk (meters)	ETRS89- hoogte hoogtemerk (meters)
WPM08	ARPWPM08				-1,9315	49,7888	0,0000	49,7888
	0A8						-4,9745	44,8143
	18001						-3,4418	46,3471
	18002						-3,4806	46,3082
	18003						-3,8778	45,9110
	18004						-4,0019	45,7869
	180041						-3,2807	46,5081
	180042						-0,9831	48,8058
CGPS01	ARPCGPS01				-0,0421	51,6782	0,0000	51,6782
	1001						-11,1653	40,5129
	1002						-11,0357	40,6425
	1003						-11,1670	40,5112
	1004						-10,9873	40,6909
	1005						-10,8312	40,8470
	1006						-10,8527	40,8255
	1007						-10,8375	40,8407
	1008						-2,6797	48,9985
	1009						-2,6771	49,0011
	1010						-2,7088	48,9694
	1011						-2,7125	48,9657
CGPS02	ARPCGPS02				0,8265	52,5468	0,0000	52,5468
	2001						-11,6614	40,8854
	2002						-11,5607	40,9861
	2003						-11,5430	41,0038
	2004						-11,5733	40,9735
	2005						-10,8352	41,7116
	2006						-10,8257	41,7211
	2007						-10,8354	41,7114
	2008						-2,6765	49,8703
	2009						-2,6773	49,8695
	2010						-2,6895	49,8573
	2011						-2,6873	49,8595

Tabel 16: Resultaten jaarlijkse GNSS meting

3.10 Differentiëestaat

De resultaten van deze jaarlijkse GNSS-meting zijn opgenomen in een differentiëestaat (bijlage 7). De resultaten zijn berekend ten opzichte van het ondergronds merk 000A4020 (locatie WPM0A4020). Deze meting betreft een nulmeting er worden dan ook geen differenties getoond in de differentiëestaat.

4 Waterpasmeting meetnet 'Harlingen-West'

Naast de in hoofdstuk 2 beschreven 'Continue GNSS-monitoring' en de in hoofdstuk 3 beschreven 'Jaarlijkse GNSS-monitoring' is er een nauwkeurigheidswaterpasmeting uitgevoerd. Het betreft hier een waterpasmeting van een meetnet ten noorden en aan de westzijde van Harlingen. Het doel van deze waterpasmeting is het in hoogte vastleggen van peilmerken welke zich bevinden in vaste objecten en van de ondergrondse peilmerken 00A2907; 00A2908 en 00A4020. Het meetnet is weergegeven in bijlage 1.

Voor deze waterpasmeting zijn de volgende werkzaamheden verricht:

- Het verdichten en uitbreiden van een deel van het bestaande meetnet Barradeel
- Het uitvoeren van een secundair optische waterpasmeting
- Het uitvoeren van een tachymetrische overgangsmeting
- Het berekenen en vereffen van de hoogte van de gewaterpaste peilmerken

Deze waterpasmeting is uitgevoerd in combinatie met de vijf-jaarlijkse waterpasmeting van het meetnet Barradeel – Barradeel II. De resultaten van de waterpasmeting van het totale meetnet zijn weergegeven in het: *'Meetregister bij het meetplan Barradeel – Barradeel II – Havenmond 2019'* [2].

4.1 Meetnet

Het meetnet is zodanig ontworpen dat bodemdaling aan de rand van de geprognosticeerde invloedsfeer gedetecteerd kan worden. Om deformatie te kunnen vaststellen zijn 48 peilmerken in het meetnet opgenomen.

Aansluitpunt

Voor het berekenen van de meting is als referentie peilmerk het ondergrondse merk 000A2760 gebruikt. Dit peilmerk wordt gebruikt als aansluitpunt voor de meetnetten Barradeel en Barradeel II. Dit punt is diep gefundeerd in het pleistocene zand en worden aangemerkt als stabiel punt. Dit peilmerk ligt echter op ruime afstand van het meetnet 'Harlingen-West' en zal bij niet gecombineerde metingen (niet uitgevoerd samen met metingen van het meetnet Barradeel), niet als aansluitpunt kunnen dienen. Bij een eerstvolgende meting (1^e herhalingsmeting) van het meetnet 'Harlingen-West' zal hiervoor zal een alternatief aansluitpunt worden gekozen.

Kringen en trajecten

Alle hoogtemerken zijn opgenomen in gesloten kringen, een belangrijke voorwaarde om de betrouwbaarheid van de meetresultaten te kunnen toetsen. Het meetnet 'Harlingen-West' bestaat uit vier gesloten kringen. Deze kringen worden gevormd door trajecten. De trajecten bestaat uit één of meerdere secties en zijn zoveel mogelijk langs bestaande wegen gepland.

Betrouwbaarheid en precisie

De betrouwbaarheid wordt enerzijds gewaarborgd door de configuratie van het meetnet, anderzijds door het uitvoeren van herhalingsmetingen waarbij 'foutieve' waarden kunnen worden opgespoord.

De precisie wordt enerzijds gewaarborgd door de waterpassingen te laten voldoen aan de eisen van RWS-CIV voor 'secundair optische waterpassingen', anderzijds door de huidige configuratie van het meetnet.

4.2 Metingen

Secundair optische waterpassingen

De metingen zijn uitgevoerd conform de vereisten van RWS-CIV weergegeven in het document 'Productspecificaties Beheer NAP 2019' [3]. In deze voorschriften zijn de volgende toetscriteria opgenomen:

3 mm v L	Sectietolerantie in mm, L in km (toets op het verschil tussen heen- en teruggang)
1200 m	Maximum lengte van een sectie
50 m (baakafstand)	Maximale afleesafstand instrument - baak
3 m (afstandsverloop)	Maximaal verloop tussen som afstanden achter minus som afstanden voor. Deze eis is van toepassing op zowel per slag als cumulatief per sectie

Toetsing van het vrije-netwerk volgens de Delftse rekenmethode Kleinste Kwadraten, waarbij gebruik wordt gemaakt van een F- (algemene toets van het netwerk) en een W-toets (toetsing van elke waarneming afzonderlijk). Deze 2 toetsen mogen niet leiden tot een verwerping.

F-toets	$\alpha(0) = 0.05$ en $\beta = 0.80$ voor grote en kleine netwerken
W-toets	$\alpha(0) = 0.001$ voor grote netwerken: > 50 waarnemingen
	$\alpha(0) = 0.05$ voor kleine netwerken: < 50 waarnemingen

Overgangsmetingen

Door de aanwezigheid van water (> 50meter) tussen de peilmerken 005D0097 en 005D0098 kon dit traject niet gemeten worden d.m.v. een waterpasmeting. Om het hoogteverschil tussen deze peilmerken te meten is een tachymetrische overgangsmeting uitgevoerd. Deze meting is uitgevoerd conform de eisen van RWS-CIV [3].

De metingen zijn verwerkt met het RWS-CIV spreadsheet voor Tachymetrisch_overgang versie 5.0 d.d. 20081215. De uitkomsten zijn volgens voorschrift handmatig ingevoerd in Move3.

Instrumentarium

De waterpassingen zijn uitgevoerd met onderstaand instrumentarium:

- Digitaal waterpastoestel van het merk Leica, type DNA03;
 - de afleesnauwkeurigheid is : 0.01mm;
 - de standaardafwijking is : 0.3 mm/ $\sqrt{\text{km}}$ (is de waarde van een kilometer enkele of gemiddelde hoogteverschil);
- 2 meter invarbaken van het merk Nedo, type GPCL2;

De DNA03, leest alle waarnemingen op de baken digitaal af en schrijft deze vervolgens naar een geheugenkaart in het waterpastoestel. Jaarlijks wordt het waterpasinstrument gecontroleerd en gekalibreerd.

4.3 Uitvoering

Er is gemeten conform de eisen van RWS-CIV voor secundair optische waterpassingen. De toetsingscriteria staan vermeld in paragraaf 4.3. De secties zijn in een heen- en teruggang gemeten. Er is gemeten volgens de methode achter-voor. De metingen zijn uitgevoerd in de periode 5 november tot 22 november 2019.

4.4 Coördinaten

De volgende peilmerken zijn in het meetnet opgenomen.

Peilmerk nr.	X	Y
000A4020	156613,04	576552,19
000A2907	157858,00	578747,00
000A2908	157023,00	576980,00
005D0003	156837,89	576063,35
005D0004	157132,70	576265,90
005D0005	157186,54	576478,23
005D0007	157302,53	576983,16
005D0015	158756,53	578750,97
005D0037	157116,93	576123,56
005D0057	158017,96	579193,76
005D0066	157760,40	577159,98
005D0067	158482,00	577524,70
005D0068	156890,20	575870,40
005D0069	156720,00	576060,00
005D0070	158210,00	577760,00
005D0074	158614,01	578078,86
005D0081	156632,20	576561,60
005D0082	158477,87	577002,97
005D0083	158086,80	578845,90
005D0087	158550,00	578050,00
005D0095	156727,00	576050,00
005D0096	156486,91	576060,44
005D0097	156100,29	576424,34
005D0098	156269,28	576517,31
005D0099	156642,56	576852,57
005D0100	156709,75	577241,13
005D0101	157192,00	576776,00
0000010	158500,42	580307,53
0000014	158861,88	580019,57
0000029	158160,04	579092,20

Peilmerk nr.	X	Y
0000030	158612,14	579819,98
0000040	158265,00	576408,00
0000041	157771,00	576407,00
0000046	157517,26	577812,18
0000047	157157,46	577450,13
0000065	158406,00	576894,00
0000107	157028,68	576736,05
0000326	157842,92	578769,50
0000327	157928,93	578878,62
0000328	157940,89	578895,88
0000329	156963,13	576963,76
0000330	156974,30	576967,37
0000332	156971,56	576976,49
0003042	157202,89	577277,10
0004031	158004,53	579298,36
0004032	158029,15	579286,87
0004033	158031,78	579189,31

4.5 Toetsing en vereffening

Voorafgaand aan de vereffening zijn de metingen getoetst aan de gestelde eisen van RWS-CIV met betrekking tot een secundaire waterpassing. Indien een meting een overschrijding had van de sectietolerantie (3 mm $\sqrt{L}$, L in km) werd de desbetreffende meting (waterpassing) hermeten.

Met behulp van de waterpassingen zijn de hoogteverschillen en de afstanden tussen de hoogtemerken bepaald in een heen en teruggang. Het gemiddeld hoogteverschil (tussen heen en teruggang) in combinatie met de afstanden en de referentiehoogte van het aansluitpunt vormen de invoer voor het vereffening- en berekeningsprogramma Move3.

Daarna is er een eerste fase vereffening (vrije netwerkvereffening) uitgevoerd ter controle op de waarnemingen volgens de methode van de kleinste kwadraten. Hierbij is het meetnet intern getoetst als geheel (F-toets) en zijn de waarnemingen afzonderlijk (W-toets) van elkaar getoetst. Zowel de F-toets als de W-toets voldoen aan de toetsingscriteria. In geval van een verwerping werden één of meerdere secties hermeten totdat er aan de toetsingscriteria werd voldaan.

Het meetnet is aangesloten op ondergronds merk 000A2760. Als hoogte voor dit peilmerk wordt de hoogte gebruikt (0.2840+ NAP) zoals die in 1998 door RWS-CIV is vastgesteld.

De waterpasmeting Harlingen-West is in combinatie uitgevoerd met de meting van de meetnetten Barradeel en Barradeel II. Het meetnet is daarna als één totaal meetnet berekend. Een overzicht van de berekende sectiesluitfouten, kringluitfouten en de vrije netwerkvereffening (Move3 bestanden) zijn digitaal bij deze rapportage geleverd. Tevens zijn deze overzichten opgenomen in het *'Meetregister bij het meetplan Barradeel – Barradeel II – Havenmond 2019'* [2].

Beoordeling metingen

- Alle gemeten secties en kringen hebben sluitfouten die liggen binnen de gestelde toleranties vermeld in hoofdstuk 4.2 'Secundair optische waterpassingen'.
- De eerste fase vereffening (vrije netwerk vereffening) van het meetnet met Move3, waarbij alleen de waarnemingen worden getoetst, levert geen verwerpingen op. De gedeselecteerde waarnemingen betreffen secties, die al tijdens de uitvoering van de metingen zijn hermeten.

Toetsing door RWS-CIV

De gecontroleerde bestanden van de metingen zijn conform de 'Productspecificaties Beheer NAP 2019' [3] digitaal aangeboden aan RWS-CIV. RWS-CIV heeft de aangeboden bestanden getoetst en goedgekeurd. Deze goedkeuring, geformuleerd in een brief (zie bijlage 8), heeft Antea Group op 8 januari 2020 ontvangen.

4.6 Resultaten

De meting van het meetnet Harlingen West betreft een nulmeting. De gemeten waarden zijn weergegeven in een differentiestaat (bijlage 13). Door metingen in de toekomst te relateren aan onderhavige meting kan vastgesteld worden of er deformatie van de peilmerken optreedt.

5 Samenvatting

Antea Group heeft een meetnet en monitoringssysteem ingericht om bodembeweging in de Waddenzee te monitoren. Doel van deze monitoring is het vastleggen van mogelijk pleistocene bodembeweging als gevolg van diepe mijnbouwactiviteiten (zoutwinning). Deze monitoring is onder te verdelen in een continue GNSS monitoring, een jaarlijkse 'Wad' meetcampagne en een jaarlijkse waterpasmetering van het meetnet Harlingen-West.

In dit rapport (hoofdstuk 2) is de continue GNSS monitoring beschreven welke uitgevoerd wordt met twee permanente GNSS-monitoringsstations CGPS01 en CGPS02. Daarbij zijn de resultaten van het begin van de meting, oktober 2018 tot en met 31 december 2019 weergegeven. De algehele trend (lineaire fit) van de hoogte van station CGPS01 en CGPS02 is nagenoeg stabiel. De lineaire fit van CGPS01 laat een daling zien van -1 mm per jaar en voor CGPS02 een daling van -0.8 mm.

Naast de continue GNSS monitoring heeft een jaarlijkse 'Wad' meetcampagne plaatsgevonden met als doel het vastleggen van de nul situatie op een achttal locaties binnen het meetnet. De resultaten hiervan zijn in deze rapportage in hoofdstuk 3 vastgelegd.

Tot slot is een nauwkeurigheds-waterpasmetering uitgevoerd van het meetnet Harlingen-West. Ook dit is een nulmeting, waarbij door middel van een waterpasmetering in totaal 48 peilmerken in hoogte zijn bepaald. Door het uitvoeren van herhalingsmetingen en de resultaten hiervan te relateren aan onderhavige meting kan vastgesteld worden of er deformatie van de peilmerken optreedt. De resultaten van deze vlakdekkende waterpasmetering zijn in deze rapportage in hoofdstuk 4 vastgelegd.

6 Referenties

- [1] *'Bijlage: Update toelichting meetplan Havenmond'* kenmerk 267807, revisie. 11, d.d. 13 juli 2018
- [2] Meetregister bij het meetplan Barradeel – Barradeel II – Havenmond 2019, *'Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2019'*, kenmerk: 0456219.100, d.d. 16 januari 2020.
- [3] Productspecificaties Beheer NAP 2019 d.d. 15 Januari 2019_versie 01

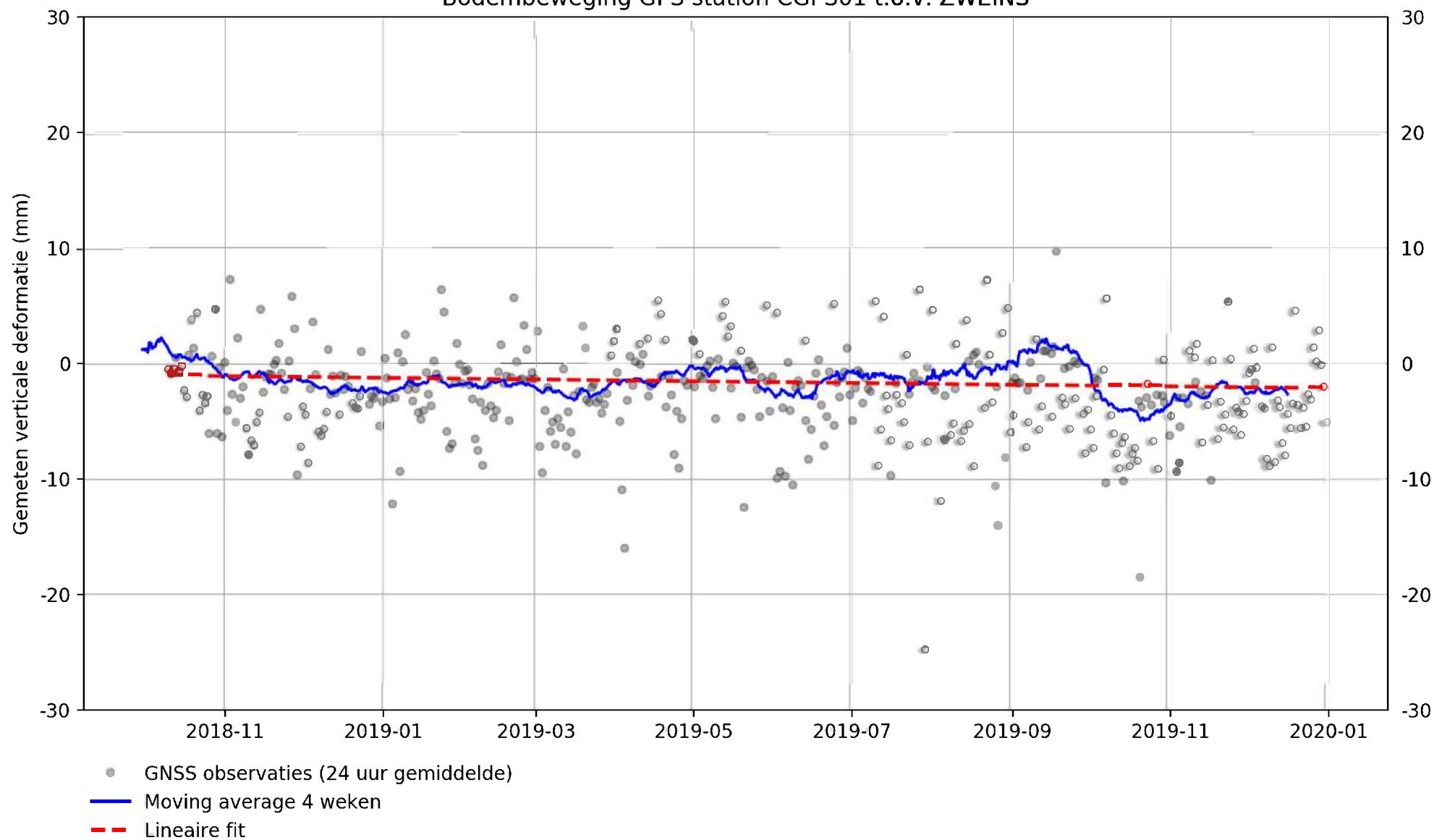
Bijlage 1 Overzichtskaart deformatienet Zoutwinning Waddenzee

- A. Totaal overzichtskaart meetnet GNSS metingen – waterpasmeetnet 'Harlingen-West'**
- B. Overzichtskaart waterpasmeetnet 'Harlingen-West'**

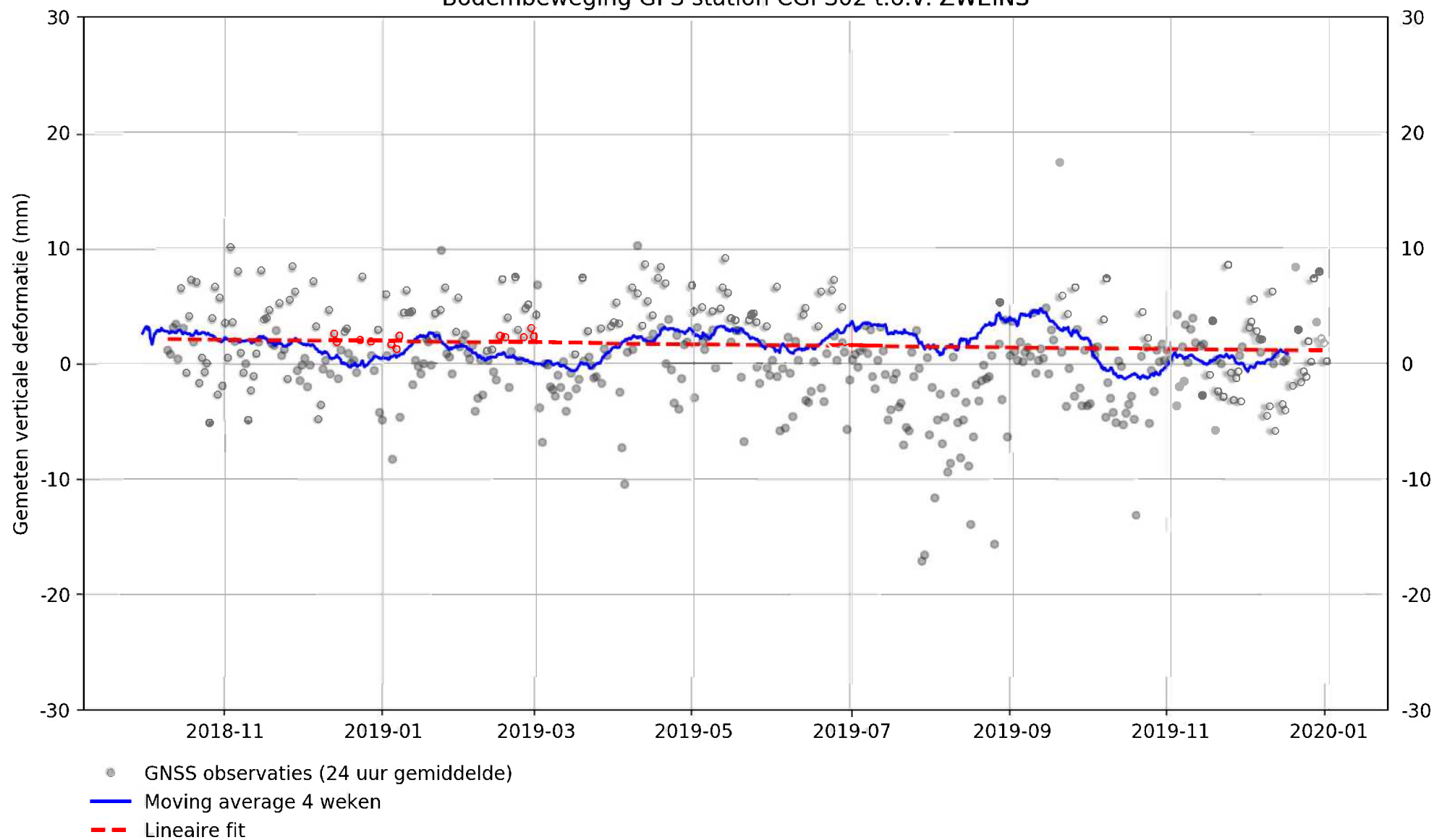
Bijlage 2 Continue GNSS-monitoring

Grafieken

Bodembeweging GPS station CGPS01 t.o.v. ZWEINS



Bodembeweging GPS station CGPS02 t.o.v. ZWEINS



Bijlage 3 Continue GNSS-monitoring
Ruwe GNSS-meetdata in Excelformaat

Bijlage 3 Continue GNSS-monitoring

Ruwe GNSS-meetdata in Excelformaat

De meetdata in Excel format behorende bij deze rapportage wordt digitaal (via e-mail) geleverd aan de opdrachtgever.

Bijlage 4 Continue GNSS-monitoring

Logboek

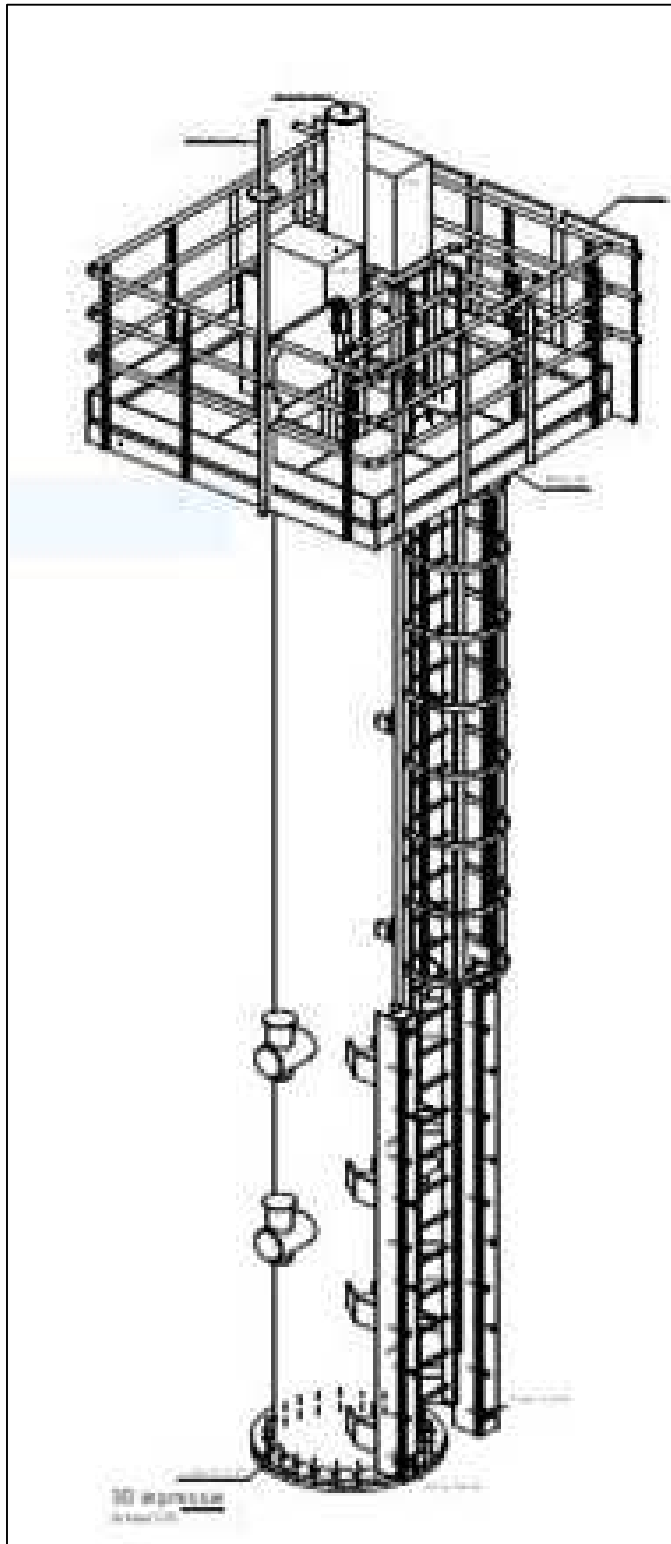
Logboek continue GNSS monitoring zoutwinning Waddenzee

Datum	GNSS-station	Omschrijving melding*
24-12-2018 t/m 27-12-2018	CGPS01 & CGPS02	<i>Onderbreking data ontvangst van 24-12-2018 1:59 t/m 27-12-2018 9:59.</i>
12-2-2019	CGPS01 & CGPS02	<i>Enkele uren onderbreking in de data ontvangst (13:59:12 - 22:59:12).</i>

* Onderbrekingen in data ontvangst ≥ 6 uur worden in het logboek weergegeven

Bijlage 5 Continue GNSS-monitoring

3D impressie meetpaal



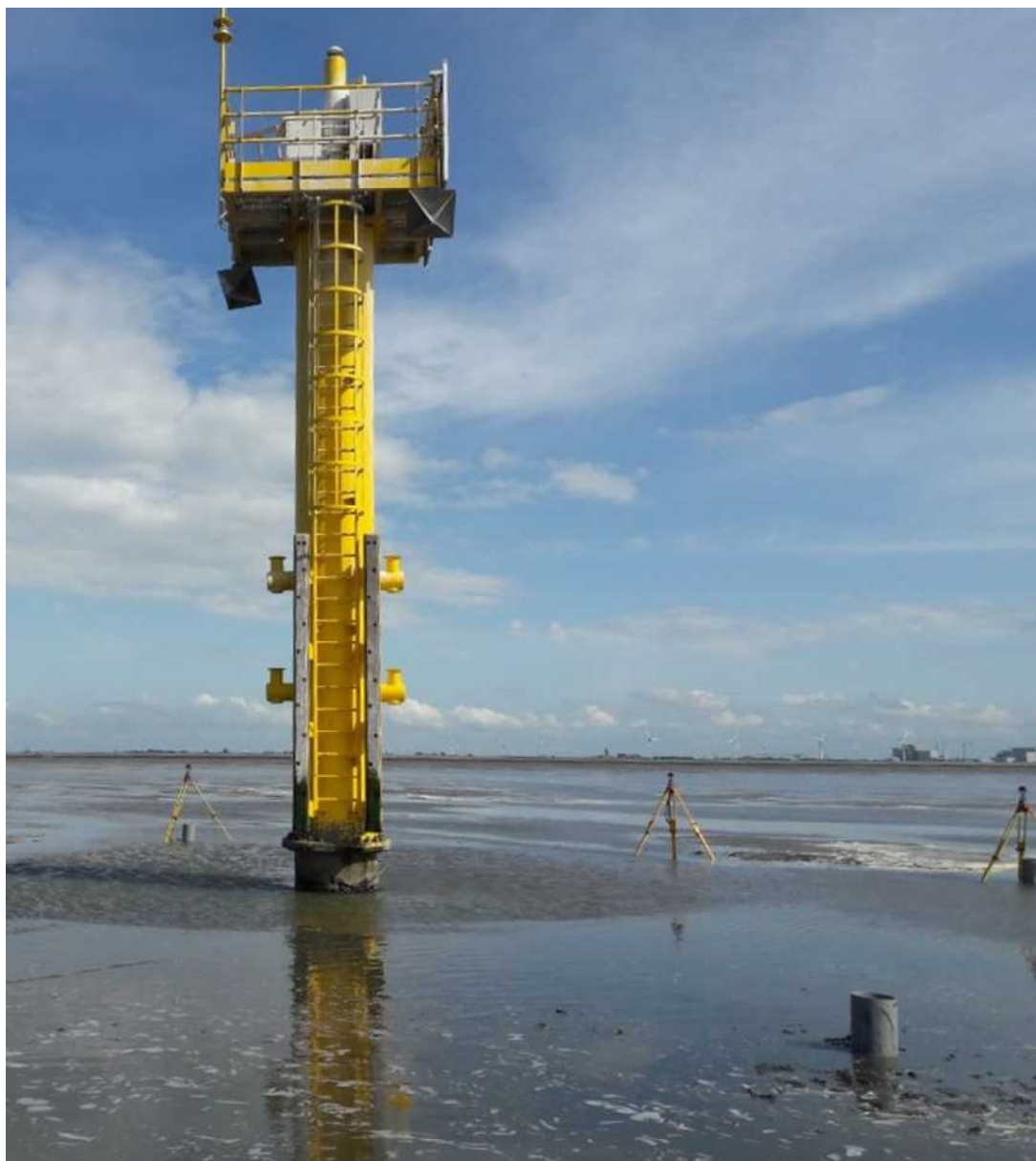
Uit: Overzichtstekening 17.1095 – 177.043 – U0 201 versie B De Boer en de Groot Civiele Werken

Bijlage 6 Continue GNSS-monitoring

Foto's GNSS-meetlocaties



Meetpaal CGPS01 bij hoog water



Meetpaal CGPS02 bij laag water

Bijlage 7 Jaarlijkse GNSS meting

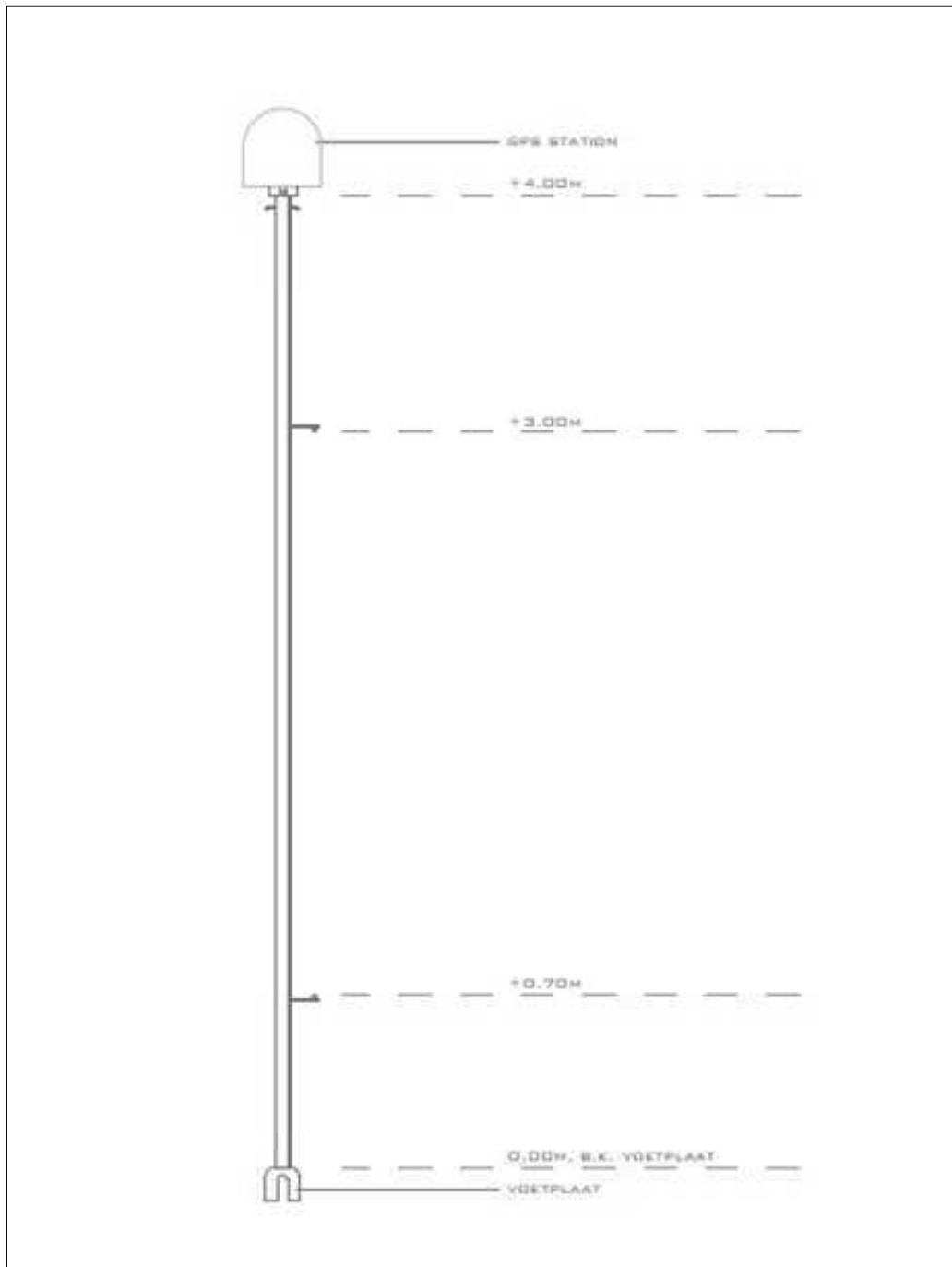
Differentiestaat

DIFFERENTIESTAAT							
Differentialies t.o.v. ondergronds merk 000A4020 (WPM0A4020)							
		Augustus 2009		diff.		diff.	cum.diff.
Locatie	Peilmerk	ETRS9 hoogte(m)	ETRS9 hoogte(m)	(mm)	ETRS9 hoogte(m)	(mm)	(mm)
WPM0A4020	000A4020	48,4663					
	000A5020	47,8765					
	005D0072	47,6098					
	005D0081	47,9388					
	303	48,0333					
	19004	47,7182					
	190041	48,4397					
	190042	50,7407					
WPM01	11001	41,3887					
	11002	41,4336					
	11003	41,4738					
	11004	41,2495					
	110041	41,9710					
	110042	44,2686					
WPM02	12001	40,8432					
	12002	40,8558					
	12003	40,9701					
	12004	40,6109					
	120041	41,3316					
	120042	43,6296					
WPM04	14001	40,5750					
	14002	40,6021					
	14003	40,5547					
	14004	40,3824					
	140041	41,1035					
	140042	43,4054					
WPM05	15001	40,8094					
	15002	40,7133					
	15003	40,7213					
	15004	40,4871					
	150041	41,2082					
	150042	43,5059					
WPM06	16001	40,6358					
	16002	40,6051					
	16003	40,6389					
	16004	40,3941					
	160041	41,1139					
	160042	43,4116					
WPM07	0A7	44,1726					
	17001	45,3525					
	17002	45,3541					
	17003	45,3524					
	17004	44,7992					
	170041	45,5210					
	170042	47,8180					

DIFFERENTIESTAAT							
Differenties t.o.v. ondergronds merk 000A4020 (WPM0A4020)							
		Augustus 2009		diff.		diff.	cum.diff.
Locatie	Peilmerk	ETRS9 hoogte(m)	ETRS9 hoogte(m)	(mm)	ETRS9 hoogte(m)	(mm)	(mm)
WPM08	0A8	44,8143					
	18001	46,3471					
	18002	46,3082					
	18003	45,9110					
	18004	45,7869					
	180041	46,5081					
	180042	48,8058					
CGPS01	1001	40,5129					
	1002	40,6425					
	1003	40,5112					
	1004	40,6909					
	1005	40,8470					
	1006	40,8255					
	1007	40,8407					
	1008	48,9985					
	1009	49,0011					
	1010	48,9694					
	1011	48,9657					
CGPS02	1001	40,8854					
	1002	40,9861					
	1003	41,0038					
	1004	40,9735					
	1005	41,7116					
	1006	41,7211					
	1007	41,7114					
	1008	49,8703					
	1009	49,8695					
	1010	49,8573					
	1011	49,8595					

Bijlage 8 Jaarlijkse GNSS meting

Tekening meetpaal voor jaarlijkse GNSS monitoring



Meetpaal voor jaarlijkse GNSS monitoring

Bijlage 9 Jaarlijkse GNSS meting
Kalibratierapport GNSS-antennekalibratie

Absolute Antenna Calibration

(Individual Characteristics of Antenna)



Antenna Data

Manufacturer	:	Leica Geosystems AG
Antenna Type	:	Multi purpose GNSS choke ring antenna (Revision 1.00)
GNSS	:	GPS, GLO, GAL, BDS, QZSS
Product Number	:	794207
Serial number	:	21274005
IGS Naming	:	LEIAR20 NONE

Radome Data

Manufacturer	:	
Radome Type	:	
Product Number	:	
Serial Number	:	
IGS-Naming	:	NONE

Calibration Characteristics

GNSS System	:	GPS+GLONASS*
Date	:	2019-03-19
Number of Calibrations	:	2
Setup-ID	:	0
Number of Frequencies	:	2
Customer	:	Leica Geosystems b.v., Turfschipper 39, 2292 JC Wateringen NL
Elevation Increment	:	5°
Azimuth Increment	:	5°

PCV Characteristics

- absolute 3D offsets
- absolute PCV
- PCV from 0° to 90° elevation
- elevation and azimuth dependent PCV
- free of any multipath influence

Remarks

* Individual GLONASS PCV were estimated using frequency independent L1, L2 GLO calibrations.

Absolute Antenna Calibration

(Individual Characteristics of Antenna)



Antenna Data

Manufacturer : Leica Geosystems AG
Antenna Type : Multi purpose GNSS choke ring antenna (Revision 1.00)
GNSS : GPS, GLO, GAL, BDS, QZSS
Product Number : 794207
Serial number : 21274006
IGS Naming : LEIAR20 NONE

Radome Data

Manufacturer :
Radome Type :
Product Number :
Serial Number :
IGS-Naming : NONE

Calibration Characteristics

GNSS System : GPS+GLONASS*
Date : 2019-03-18
Number of Calibrations : 2
Setup-ID : 0
Number of Frequencies : 2
Customer : Leica Geosystems b.v., Turfschipper 39, 2292 JC Wateringen NL
Elevation Increment : 5°
Azimuth Increment : 5°

PCV Characteristics

- absolute 3D offsets
- absolute PCV
- PCV from 0° to 90° elevation
- elevation and azimuth dependent PCV
- free of any multipath influence

Remarks

* Individual GLONASS PCV were estimated using frequency independent L1, L2 GLO calibrations.

Absolute Antenna Calibration

(Individual Characteristics of Antenna)



Antenna Data	
Manufacturer	: Leica Geosystems AG
Antenna Type	: Multi purpose GNSS choke ring antenna (Revision 1.00)
GNSS	: GPS, GLO, GAL, BDS, QZSS
Product Number	: 794207
Serial number	: 21341009
IGS Naming	: LEIAR20 NONE

Radome Data	
Manufacturer	:
Radome Type	:
Product Number	:
Serial Number	:
IGS-Naming	: NONE

Calibration Characteristics	
GNSS System	: GPS+GLONASS*
Date	: 2019-03-19
Number of Calibrations	: 2
Setup-ID	: 0
Number of Frequencies	: 2
Customer	: Leica Geosystems b.v., Turfschipper 39, 2292 JC Wateringen NL
Elevation Increment	: 5°
Azimuth Increment	: 5°

PCV Characteristics	
➤ absolute 3D offsets ➤ absolute PCV ➤ PCV from 0° to 90° elevation ➤ elevation and azimuth dependent PCV ➤ free of any multipath influence	

Remarks	

* Individual GLONASS PCV were estimated using frequency independent L1, L2 GLO calibrations.

Absolute Antenna Calibration

(Individual Characteristics of Antenna)



Antenna Data	
Manufacturer	: Leica Geosystems AG
Antenna Type	: Multi purpose GNSS choke ring antenna (Revision 1.00)
GNSS	: GPS, GLO, GAL, BDS, QZSS
Product Number	: 794207
Serial number	: 21341010
IGS Naming	: LEIAR20 NONE

Radome Data	
Manufacturer	:
Radome Type	:
Product Number	:
Serial Number	:
IGS-Naming	: NONE

Calibration Characteristics	
GNSS System	: GPS+GLONASS*
Date	: 2019-03-20
Number of Calibrations	: 3
Setup-ID	: 0
Number of Frequencies	: 2
Customer	: Leica Geosystems b.v., Turfschipper 39, 2292 JC Wateringen NL
Elevation Increment	: 5°
Azimuth Increment	: 5°

PCV Characteristics	
➤ absolute 3D offsets ➤ absolute PCV ➤ PCV from 0° to 90° elevation ➤ elevation and azimuth dependent PCV ➤ free of any multipath influence	

Remarks	

* Individual GLONASS PCV were estimated using frequency independent L1, L2 GLO calibrations.

Absolute Antenna Calibration

(Individual Characteristics of Antenna)



Antenna Data

Manufacturer : Leica Geosystems AG
Antenna Type : Multi purpose GNSS choke ring antenna (Revision 1.00)
GNSS : GPS, GLO, GAL, BDS, QZSS
Product Number : 794207
Serial number : 21349028
IGS Naming : LEIAR20 NONE

Radome Data

Manufacturer :
Radome Type :
Product Number :
Serial Number :
IGS-Naming : NONE

Calibration Characteristics

GNSS System : GPS+GLONASS*
Date : 2019-03-21
Number of Calibrations : 2
Setup-ID : 0
Number of Frequencies : 2
Customer : Leica Geosystems b.v., Turfschipper 39, 2292 JC Wateringen NL
Elevation Increment : 5°
Azimuth Increment : 5°

PCV Characteristics

- absolute 3D offsets
- absolute PCV
- PCV from 0° to 90° elevation
- elevation and azimuth dependent PCV
- free of any multipath influence

Remarks

* Individual GLONASS PCV were estimated using frequency independent L1, L2 GLO calibrations.

Absolute Antenna Calibration

(Characteristics of Antenna Type)



Method

Geo++®-GNPCV Real-Time Calibration

Antenna Data

Manufacturer : Leica Geosystems AG
 Antenna Type : AR20 multi purpose GNSS choke ring antenna (Revision 1.00)
 GNSS : GPS, GLO, GAL, BDS, QZSS
 Product Number : 794207
 IGS Naming : LEIAR20 NONE



Radome Data

Manufacturer :
 Radome Type :
 Product Number :
 IGS-Naming : NONE

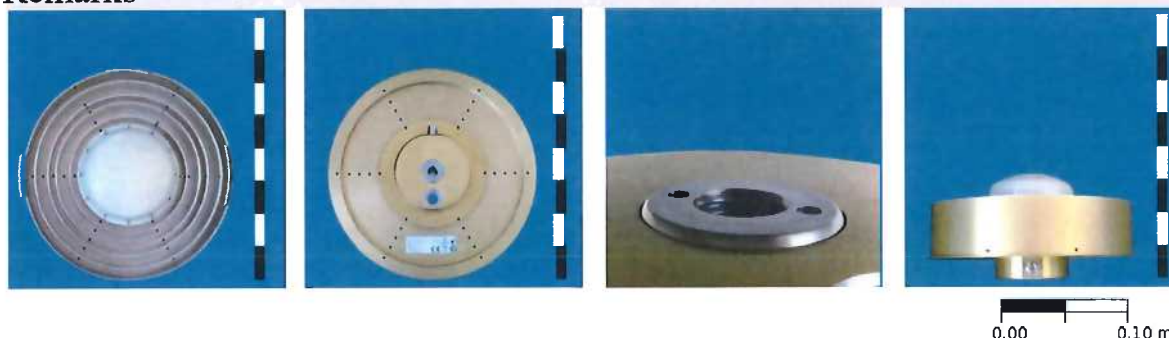
Antenna Reference Point (ARP)

Horizontal Position : rotation axis, center of 5/8" thread
 Vertical Position : (BAM) bottom of antenna mount
 IGS-ARP : (BAM) bottom of antenna mount

North Reference Point (NRP)

Description : north mark on bottom side of antenna, cable connector points north
 IGS-NRP : (NOM) north mark

Remarks



Bedingungen zur Antennenkalibrierung

Das Geo++[®]-Verfahren zur absoluten Antennenkalibrierung betreibt die zu kalibrierende GNSS Antenne auf einen Roboter und eine zweite, benachbarte Referenzstation. Die zweite GNSS Ausrüstung bestehend aus Referenzantenne (i.d.R. Leica Chokering mit Radome) und Standard GNSS Empfänger wird durch Geo++[®] GmbH / GeoService[®] GmbH für die Dauer der Kalibrierung bereitgestellt und ist im Preis enthalten.

Im Allgemeinen werden Standard-Kabel, Adapter und GNSS Empfänger, die bei Geo++[®] GmbH / GeoService[®] GmbH vorhanden sind, mit der zu kalibrierenden Antenne verwendet. Die Standardaufnahme an der GNSS Antenne ist ein 5/8" Gewinde.

Ein GNSS-Empfänger muss vom Auftraggeber bereitgestellt werden, falls die Antenne nicht mit einem Standard-GNSS-Empfänger betrieben werden kann oder ein spezieller GNSS Empfänger genutzt werden soll. Spezielle Kabel, Kabel-Anschlüsse und/oder Antennen-Adapter die bei der Kalibrierung berücksichtigt werden sollen, müssen vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt werden. Der Roboter, der für die automatische Feldkalibrierung genutzt wird, ist hinsichtlich Gewicht und Dimensionen der Antenne eingeschränkt. In Zweifelsfällen ist über die benötigte Ausrüstung vorab mit technischen Personal zu klären.

Absolute Antennenkalibrierungen erfordern die **Bereitstellung** der nachfolgenden Ausrüstung **durch den Auftraggeber**:

- 1.) voll funktionsfähige GNSS-Antenne (Prüfling)
- 2.) vorliegende Dokumentation zur GNSS-Antenne
(Geometrie, Definition des geometrischen Antennenbezugspunktes ARP)
- 3.) ggf. Antennenkabel (10 Meter) und/oder Adaption auf N-Anschluss
- 4.) ggf. DIN-Zapfen oder 5/8"-Gewinde/Adaption zur Montage der Antenne

Die Antennenkalibrierung ist keine Prüfung der Antennenfunktion oder Positionierungsfähigkeit, da nur Satelliten mit großer Elevation verwendet werden und die Antenne gekippt und gedreht wird. Kalibrierungen, die mit nicht voll funktionsfähigen Antennen durchgeführt wurden, werden in Rechnung gestellt.

Eine Terminabsprache für den tatsächlichen Kalibrierungszeitraum ist erforderlich und muss mit dem technischen Personal abgestimmt werden. Der notwendige Zeitbedarf für eine einzelne Antenne inkl. Abwicklung und Auswertung benötigt ca. 1-2 Wochen. Im Falle mehrerer Antennen innerhalb eines Auftrages reduziert sich die Abwicklung und jede zusätzliche Kalibrierung erfordert grob einen Tag. Trotzdem können jedoch wegen der Komplexität des Systems keine verbindlichen Termine zugesagt werden. Bitte berücksichtigen Sie dies in ihrer Disposition. Es ist zwingend notwendig Geo++[®] GmbH / GeoService[®] GmbH zu kontaktieren bevor Antennen versendet werden.

Die Lieferung der Ergebnisse erfolgt ca. 1-2 Wochen nach Abschluss der Messungen. Das Ergebnis der Antennenkalibrierung werden bestehend aus einer Typbeschreibung, einem Kalibrierungsprotokoll für jede Antenne und absolute Offsets und absolute elevations- und azimutabhängige PCV im internationalen Antennenaustauschformat ANTEX bereitgestellt. Die Antenne erhält einen Aufkleber, aus dem das Datum der Kalibrierung hervorgeht und gegebenenfalls die der Kalibrierung zu Grunde liegende Bezugsrichtung.

Die **Kalibrierungsergebnisse** sind für die Auswertung von Daten, die mit der kalibrierten Antenne gemessen werden, zu verwenden. Es wird gestattet die Ergebnisse zu veröffentlichen. Es wird jedoch vorgeschlagen auf die Qualitätsverluste bei Anwendung der Korrekturen auf andere Antennen hinzuweisen und die Verwendung von streng berechneten Typmitteln mit dem unten stehenden Hinweistext zu empfehlen.



Die Kalibrierungsdaten werden zur Analyse der Antennen-Serie und ggf. zur Berechnung von Typmittel der Geo++[®] GNPCVDB Datenbank verwendet.

Eine **Leistungsbeschreibung Antennenkalibrierung** mit Erläuterungen der Antennenkalibrierung kann auf Wunsch zur Verfügung gestellt werden.

Die Verfahren zur Antennenkalibrierung werden ständig weiterentwickelt und optimiert. Die hier genannten Bedingungen stellen den Stand zum Zeitpunkt der Drucklegung dar.

Hinweistext bei Abgabe der individuellen Ergebnisse einer GNSS-Antennenkalibrierung:

Die Ergebnisse der Kalibrierung sind nur für die individuelle Antenne gültig. Die hohe Genauigkeit der absoluten Feldkalibrierung mit Roboter hat signifikante individuelle Differenzen in Bauserien nachgewiesen. Deshalb geht die hohe Qualität bei der Verwendung einer individuellen Kalibrierung für andere Antennen verloren. Eine Analyse der Antennen-Serie und eine strenge Berechnung eines Typmittels aus umfangreichen Kalibrierungsdaten ist nur unter Berücksichtigung der vollständigen Varianz-Kovarianz für nicht individuell kalibrierte Antennen zu empfehlen. Typmittel aus derartigen Berechnungen werden unter <http://www.gnpcvdb.geopp.de/> bereitgestellt.

Leistungsbeschreibung Antennenkalibrierung

Geodätische und präzise GNSS-Messungen machen die genaue Kenntnis der Empfangseigenschaften der eingesetzten GNSS-Antennen und somit eine Kalibrierung notwendig.

Grundsätzlich wird zwischen Antennen-Offset und Phasenzentrumsvariationen (PCV) unterschieden, wobei der Antennen-Offset einen mittleren Einfluss der Phasenzentrumsvariation beschreibt.

Das eingesetzte Geo++[®]-Kalibrierungsverfahren bestimmt absolute Antennen-Offsets in Lage und Höhe sowie absolute elevations- und azimutabhängige PCV für beide Frequenzen. Die erhaltenen Ergebnisse sind vollständig unabhängig von der verwendeten Referenzantenne und erlauben die vollständige Modellierung der Empfangscharakteristik der Antenne. Dies ist erforderlich für einen gemeinsamen Einsatz von unterschiedlichen GNSS-Antennentypen oder bei unterschiedlich orientierten Antennen. Gleichzeitig ist durch die Analyse der Phasenzentrumsvariationen eine Aussage über die grundsätzliche Qualität und die Empfangseigenschaften der Antenne möglich (Azimutabhängigkeit).

Wesentliche Aspekte der eingesetzten absoluten Echtzeit-Feldkalibrierung:

- absolute Offsets und absolute PCV durch Beobachtungsanordnung
- spezielle Methodik mit geneigter und gedrehter Antenne (Roboterarm)
- Multipath Eliminierung
- Abdeckung des gesamten Elevationsbereichs von 0° bis 90°
- Abdeckung der gesamten Antennenhemisphäre
- signifikante Bestimmung der PCV durch hohe Anzahl unterschiedlicher Orientierungen
- wetterunabhängige Messungen
- simultane Bestimmung von L1 und L2 PCV für GNSS
- mindestens zwei redundante Kalibrierungen pro individueller Antenne

Grundlage des Verfahrens ist eine Trennung von Multipath und Phasenzentrumsvariationen. Zur Bestimmung absoluter PCV und zur Multipath-Eliminierung wird ein spezielles Meßverfahren mit Orientierungsänderungen eingesetzt.

Die Auswertung erfolgt in Echtzeit, so dass vollständige Ergebnisse direkt nach der Messung vorliegen. Das Verfahren deckt grundsätzlich den gesamten Empfangsbereich der Antenne bis hinab zu Elevationswinkeln von 0 Grad ab. Damit sind die nach diesem Verfahren kalibrierten Antennen für *All-In-View* Anwendungen (z.B. Einsatz auf Referenzstationen) geeignet.

Das Ergebnis ist eine absolute Antennenkalibrierungsdatei, die absolute Lage- und Höhenoffsets sowie absolute elevations- und azimutabhängige Korrekturen der kalibrierten Antenne beinhaltet. In Absprache können statt elevations- und azimutabhängiger Korrekturen auch nur vom Elevationswinkel und nicht vom Azimut abhängige Korrekturen bestimmt werden. Die Antennenhöhe ist bis zum Antennenreferenzpunkt (ARP) der Kalibrierung zu messen.

Die Verfahren zur Antennenkalibrierung werden ständig weiterentwickelt und optimiert. Die hier vorgestellten Verfahren stellen den Stand der Technik zum Zeitpunkt der Drucklegung dar.

Bijlage 10 Jaarlijkse GNSS meting

Resultaten kalibratie antennemasten

KALIBRATIE MEETPALEN FRISIA											
Lokatie:		Harlingen					Landmeters:		Bert Branderhorst / Erik Geerdes		
Datum:		12 June 2019					Equipment:		LS-10(DW47)_TS16(TD133)_TS16(TD136)		
Meetpaal:		1		Temperatuur:			17°				
Antenne:		217-0594		Units:			meters				
Pnt.nr.:		Meting1	Meting2	Meting3	Gem.	toV Kogel	Afwijking				
Kogel		0,1083	0,1083	0,1083	0,1083	0,0000					
PML		0,8291	0,8290	0,8290	0,8290	0,7207					
PMH		3,1262	3,1264	3,1261	3,1262	3,0179					
ANT_N		4,1461	4,1457	4,1463	4,1460	4,0377	-0,0029				
ANT_O		4,1378	4,1379	4,1380	4,1379	4,0296	0,0053				
ANT_Z		4,1404	4,1429	4,1419	4,1417	4,0334	0,0014				
ANT_W		4,1472	4,1469	4,1469	4,1470	4,0387	-0,0038				
Ant. rand centrum gemiddeld						4,0348					
Antenne Referentie Punt (ARP)						4,0025					
Meet Punt Hoog (MPH)						3,0179					
Meet Punt Laag (MPL)						0,7207					
Controlemaat rechtstand						2,2972					
Meetpaal:		2		Temperatuur:			17°				
Antenne:		217-0545		Units:			meters				
Pnt.nr.:		Meting1	Meting2	Meting3	Gem.	toV Kogel	Afwijking				
Kogel		0,1083	0,1083	0,1083	0,1083	0,0000					
PML		0,8293	0,8292	0,8293	0,8293	0,7209					
PMH		3,1272	3,1270	3,1277	3,1273	3,0190					
ANT_N		4,1424	4,1418	4,1422	4,1421	4,0338	0,0011				
ANT_O		4,1437	4,143	4,1436	4,1434	4,0351	-0,0002				
ANT_Z		4,1440	4,1438	4,1446	4,1441	4,0358	-0,0009				
ANT_W		4,1430	4,1430	4,1432	4,1431	4,0347	0,0001				
Ant. rand centrum gemiddeld						4,0349					
Antenne Referentie Punt (ARP)						4,0026					
Meet Punt Hoog (MPH)						3,0190					
Meet Punt Laag (MPL)						0,7209					
Controlemaat rechtstand						2,2980					
Meetpaal:		4		Temperatuur:			17°				
Antenne:		217-0569		Units:			meters				
Pnt.nr.:		Meting1	Meting2	Meting3	Gem.	toV Kogel	Afwijking				
Kogel		0,1083	0,1083	0,1083	0,1083	0,0000					
PML		0,8295	0,8289	0,8290	0,8291	0,7208					
PMH		3,1314	3,1313	3,1309	3,1312	3,0229					
ANT_N		4,1428	4,1426	4,1424	4,1426	4,0343	0,0004				
ANT_O		4,1432	4,1425	4,1430	4,1429	4,0346	0,0001				
ANT_Z		4,1439	4,1427	4,1430	4,1432	4,0349	-0,0002				
ANT_W		4,1433	4,1429	4,1435	4,1432	4,0349	-0,0003				
Ant. rand centrum gemiddeld						4,0347					
Antenne Referentie Punt (ARP)						4,0024					
Meet Punt Hoog (MPH)						3,0229					
Meet Punt Laag (MPL)						0,7208					
Controlemaat rechtstand						2,3021					
Meetpaal:		5		Temperatuur:			17°				
Antenne:		217-0582		Units:			meters				
Pnt.nr.:		Meting1	Meting2	Meting3	Gem.	toV Kogel	Afwijking				
Kogel		0,1083	0,1083	0,1083	0,1083	0,0000					
PML		0,8293	0,8294	0,8293	0,8293	0,7210					
PMH		3,1268	3,1272	3,1269	3,1270	3,0186					
ANT_N		4,1419	4,1424	4,1422	4,1422	4,0338	0,0016				
ANT_O		4,1432	4,1438	4,1434	4,1435	4,0351	0,0003				
ANT_Z		4,1457	4,1458	4,1444	4,1453	4,0370	-0,0015				
ANT_W		4,1442	4,1444	4,1438	4,1441	4,0358	-0,0004				
Ant. rand centrum gemiddeld						4,0354					
Antenne Referentie Punt (ARP)						4,0031					
Meet Punt Hoog (MPH)						3,0186					
Meet Punt Laag (MPL)						0,7210					
Controlemaat rechtstand						2,2976					
Meetpaal:		6		Temperatuur:			17°				
Antenne:		217-0570		Units:			meters				
Pnt.nr.:		Meting1	Meting2	Meting3	Gem.	toV Kogel	Afwijking				
Kogel		0,1083	0,1083	0,1083	0,1083	0,0000					
PML		0,8279	0,8279	0,8272	0,8277	0,7193					
PMH		3,1263	3,1264	3,1262	3,1263	3,0180					
ANT_N		4,1426	4,1427	4,1433	4,1429	4,0345	-0,0002				
ANT_O		4,1452	4,1438	4,1437	4,1442	4,0359	-0,0016				
ANT_Z		4,1422	4,1419	4,1428	4,1423	4,0340	0,0004				
ANT_W		4,1415	4,1409	4,1413	4,1412	4,0329	0,0014				
Ant. rand centrum gemiddeld						4,0343					
Antenne Referentie Punt (ARP)						4,0020					
Meet Punt Hoog (MPH)						3,0180					
Meet Punt Laag (MPL)						0,7193					
Controlemaat rechtstand						2,2986					

KALIBRATIE MEETPALEN FRISIA													
Lokatie:		Nesta Harlingen					Landmeters:		Bert Branderhorst / Victor Alonso Bosman				
Datum:		20 November 2019					Equipment:		LS-10(DW47)_TS16(TD133)_TS16(TD136)				
Meetpaal:		1				Temperatuur:		9°					
Antenne:		217-0594				Units:		meters					
Pnt.nr.:		Meting1	Meting2	Meting3	Gem.	tov Kogel	Afwijking						
Kogel		0,1487	0,1487	0,1487	0,1487	0,0000		-0,0047		-0,0030			
PML		0,8697	0,8698	0,8697	0,8697	0,7210		4,0390		4,0373			
PMH		3,1668	3,1667	3,1669	3,1668	3,0181							
ANT_N		4,1862	4,1858	4,1861	4,1860	4,0373	-0,0030						
ANT_O		4,1769	4,1769	4,1768	4,1769	4,0282	0,0061						
ANT_Z		4,1813	4,1814	4,1814	4,1814	4,0327	0,0016						
ANT_W		4,1864	4,1882	4,1886	4,1877	4,0390	-0,0047						
Ant. rand centrum gemiddeld						4,0343		4,0327		4,0282			
Antenne Referentie Punt (ARP)						4,0313		0,0016		0,0061			
Meet Punt Hoog (MPH)						3,0181							
Meet Punt Laag (MPL)						0,7210							
Controlemaat rechtstand						2,2971							
Meetpaal:		2				Temperatuur:		9°					
Antenne:		217-0545				Units:		meters					
Pnt.nr.:		Meting1	Meting2	Meting3	Gem.	tov Kogel	Afwijking						
Kogel		0,1487	0,1487	0,1487	0,1487	0,0000		0,0004		-0,0017			
PML		0,8699	0,8700	0,8697	0,8699	0,7212		4,0331	W	4,0352	N		
PMH		3,1671	3,1673	3,1671	3,1672	3,0185							
ANT_N		4,1838	4,1838	4,1841	4,1839	4,0352	-0,0017						
ANT_O		4,1826	4,1827	4,1828	4,1827	4,0340	-0,0005						
ANT_Z		4,1805	4,1804	4,1802	4,1804	4,0317	0,0018						
ANT_W		4,1811	4,1823	4,1820	4,1818	4,0331	0,0004						
Ant. rand centrum gemiddeld						4,0335		4,0317	Z	4,0340	O		
Antenne Referentie Punt (ARP)						4,0305		0,0018		-0,0005			
Meet Punt Hoog (MPH)						3,0185							
Meet Punt Laag (MPL)						0,7212							
Controlemaat rechtstand						2,2973							
Meetpaal:		4				Temperatuur:		9°					
Antenne:		217-0569				Units:		meters					
Pnt.nr.:		Meting1	Meting2	Meting3	Gem.	tov Kogel	Afwijking						
Kogel		0,1487	0,1487	0,1487	0,1487	0,0000		-0,0004		0,0009			
PML		0,8698	0,8700	0,8697	0,8698	0,7211		4,0345	W	4,0332	N		
PMH		3,1709	3,1710	3,1708	3,1709	3,0222							
ANT_N		4,1819	4,1819	4,1819	4,1819	4,0332	0,0009						
ANT_O		4,1823	4,1824	4,1823	4,1823	4,0336	0,0005						
ANT_Z		4,1837	4,1837	4,1838	4,1837	4,0350	-0,0009						
ANT_W		4,1832	4,1831	4,1834	4,1832	4,0345	-0,0004						
Ant. rand centrum gemiddeld						4,0341		4,0350	Z	4,0336	O		
Antenne Referentie Punt (ARP)						4,0311		-0,0009		0,0005			
Meet Punt Hoog (MPH)						3,0222							
Meet Punt Laag (MPL)						0,7211							
Controlemaat rechtstand						2,3011							
Meetpaal:		5				Temperatuur:		9°					
Antenne:		217-0582				Units:		meters					
Pnt.nr.:		Meting1	Meting2	Meting3	Gem.	tov Kogel	Afwijking						
Kogel		0,1487	0,1487	0,1487	0,1487	0,0000		0,0012		0,0017			
PML		0,8692	0,8693	0,8692	0,8692	0,7205		4,0329	W	4,0324	N		
PMH		3,1673	3,1673	3,1673	3,1673	3,0186							
ANT_N		4,1810	4,1812	4,1810	4,1811	4,0324	0,0017						
ANT_O		4,1839	4,1837	4,1833	4,1836	4,0349	-0,0008						
ANT_Z		4,1848	4,1849	4,1848	4,1848	4,0361	-0,0020						
ANT_W		4,1819	4,1815	4,1815	4,1816	4,0329	0,0012						
Ant. rand centrum gemiddeld						4,0341		4,0361	Z	4,0349	O		
Antenne Referentie Punt (ARP)						4,0311		-0,0020		-0,0008			
Meet Punt Hoog (MPH)						3,0186							
Meet Punt Laag (MPL)						0,7205							
Controlemaat rechtstand						2,2981							
Meetpaal:		6				Temperatuur:		9°					
Antenne:		217-0570				Units:		meters					
Pnt.nr.:		Meting1	Meting2	Meting3	Gem.	tov Kogel	Afwijking						
Kogel		0,1487	0,1487	0,1487	0,1487	0,0000		0,0013		0,0003			
PML		0,8684	0,8683	0,8683	0,8683	0,7196		4,0325	W	4,0335	N		
PMH		3,1662	3,1661	3,1662	3,1662	3,0175							
ANT_N		4,1822	4,1822	4,1822	4,1822	4,0335	0,0003						
ANT_O		4,1838	4,1839	4,1837	4,1838	4,0351	-0,0013						
ANT_Z		4,1827	4,1831	4,1829	4,1829	4,0342	-0,0004						
ANT_W		4,1814	4,1812	4,1811	4,1812	4,0325	0,0013						
Ant. rand centrum gemiddeld						4,0338		4,0342	Z	4,0351	O		
Antenne Referentie Punt (ARP)						4,0308		-0,0004		-0,0013			
Meet Punt Hoog (MPH)						3,0175							
Meet Punt Laag (MPL)						0,7196							
Controlemaat rechtstand						2,2978							
Start kalibratiemeting							Einde kalibratiemeting						
Pnt.nr.:		Meting1	Meting2	Meting3	Gem	Δ Start- Einde	Gem	Meting1	Meting2	Meting3	Pnt.nr.:		
HP1		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	HP1		
Kogel		0,1486	0,1488	0,1487	0,1487	0,0000	0,1487	0,1487	0,1487	0,1486	Kogel		
HP2		0,0670	0,0671	0,0670	0,0670	-0,0002	0,0672	0,0672	0,0673	0,0672	HP2		
HP1		-0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	-0,0001	HP1		

KALIBRATIE GEGEVENS MEETMASTEN - WADMETING 2019								
Meetmast	MPL	MPH	Cont. maat	ARP	ARP-MPH	Antennenr.	Datalogger	Opmerking
1	0,7209	3,0180	2,2971	4,0169	0,9989			
Δ gemiddelde - meting 1	0,0002	0,0001		0,0144				
Δ gemiddelde - meting 2	-0,0002	-0,0001		-0,0144				
2	0,7211	3,0187	2,2977	4,0165	0,9978			
Δ gemiddelde - meting 1	0,0001	-0,0002		0,0140				
Δ gemiddelde - meting 2	-0,0001	0,0002		-0,0140				
4	0,7210	3,0225	2,3016	4,0167	0,9942			
Δ gemiddelde - meting 1	0,0002	-0,0003		0,0144				
Δ gemiddelde - meting 2	-0,0002	0,0003		-0,0144				
5	0,7208	3,0186	2,2979	4,0171	0,9985			
Δ gemiddelde - meting 1	-0,0002	0,0000		0,0140				
Δ gemiddelde - meting 2	0,0002	0,0000		-0,0140				
6	0,7195	3,0177	2,2982	4,0164	0,9987			
Δ gemiddelde - meting 1	0,0001	-0,0002		0,0144				
Δ gemiddelde - meting 2	-0,0001	0,0002		-0,0144				

HISTORISCH OVERZICHT KALIBRATIES MEETMASTEN								
Meetmast 1	MPL	MPH	Cont. maat	ARP	ARP-MPH	Antennenr.	Datalogger	Opmerking
2019	0,7209	3,0180	2,2971	4,0169	0,9989			Gemiddelde waarde over het betreffende jaar
2020								
2021								
Meetmast 2	MPL	MPH	Cont. maat	ARP	ARP-MPH	Antennenr.	Datalogger	Opmerking
2019	0,7211	3,0187	2,2977	4,0165	0,9978			Gemiddelde waarde over het betreffende jaar
2020								
2021								
Meetmast 4	MPL	MPH	Cont. maat	ARP	ARP-MPH	Antennenr.	Datalogger	Opmerking
2019	0,7210	3,0225	2,3016	4,0167	0,9942			Gemiddelde waarde over het betreffende jaar
2020								
2021								
Meetmast 5	MPL	MPH	Cont. maat	ARP	ARP-MPH	Antennenr.	Datalogger	Opmerking
2019	0,7208	3,0186	2,2979	4,0171	0,9985			Gemiddelde waarde over het betreffende jaar
2020								
2021								
Meetmast 6	MPL	MPH	Cont. maat	ARP	ARP-MPH	Antennenr.	Datalogger	Opmerking
2019	0,7195	3,0177	2,2982	4,0164	0,9987			Gemiddelde waarde over het betreffende jaar
2020								
2021								

Bijlage 11 Jaarlijkse GNSS meting

Berekening waterpasmetingen

Bijlage 10 Jaarlijkse GNSS meting

Berekening waterpasmetingen (antenne meting)

De berekening van de waterpasmetingen (Move3 bestanden) behorende bij dit project worden digitaal geleverd bij deze rapportage. De resultaten zijn vermeld in tabel 5 t/m 14 in deze rapportage.

Bijlage 12 Jaarlijkse GNSS meting

Rapportage multi-station berekening

Resultaten GPS-metingen Havenmond

In opdracht van: Antea Group

datum: 4 oktober 2019
auteur: ir. Frank Dentz, 06-GPS
goedkeuring: ir. Jean-Paul Henry, 06-GPS
versie: 1.0

06-GPS B.V.
Kubus 11
3364 DG Sliedrecht
Tel.: 0184 – 44 89 00
Fax: 0184 – 44 89 09

e-mail: info@06-gps.nl
internet: www.06-gps.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
2	Meetopzet	3
3	Foutenbronnen & interpretatie resultaten	5
4	Resultaten GPS-metingen	6
4.0	nulmeting (27-09-2019)	6
Bijlage A	Coördinaten stations	9

1 Inleiding

In de Waddenzee ten noordwesten van Harlingen vindt bodemdaling plaats als gevolg van zoutwinning. Antea Group monitort deze bodemdaling met behulp van een tweetal permanente GPS stations en meerdere tijdelijke GPS-opstellingen. Deze stations bevinden zich merendeels binnen de bodemdalingskom. Antea Group laat de hoogten van alle stations eenmaal per jaar berekenen binnen het netwerk van OG-GPS. OG-GPS verwerkt de GPS data met het Geo++ softwarepakket GNSMART. Dit rapport bevat de resultaten van de nulmeting.

2 Meetopzet

De tijdelijke GPS-meetpalen (meetpunten wpm1 t/m wpm8 en 4020) zijn uitgerust met elk een Leica AR20 antenne. Van elk van de AR20 antennes is een Geo++ absolute antennekalibratie uitgevoerd en een kalibratierapport geleverd (inclusief antennefiles). De permanente stations cgp1 en cgp2 zijn voorzien van een Leica AR10 antenne, waarvoor tijdens de berekening een typegemiddelde kalibratie wordt toegepast. Fig. 1 geeft de locaties weer waar gedurende de meetcampagne de GPS-meetpalen worden opgesteld.



Fig. 1. Locaties GPS opstellingen Antea Group.

Voor de berekening wordt gebruik gemaakt van in totaal 10 referentiestationen, waarvan 8 afkomstig van het OG-GPS netwerk en 2 van het AGRS (Terschelling en Vlieland). Dit betreft hetzelfde referentienetwerk als wordt toegepast voor andere GPS-metingen van Antea Groep rondom Harlingen. De ETRS89 coördinaten van de stations zijn gebaseerd op de Kadaster certificatie van 2011. Ten opzichte van deze publicatie zijn de coördinaten wel onderling vereffend door deze in een lange, aparte berekening met GNSMART een geringe vrijheid te geven. De vereffende coördinaten van de referentiestationen worden tijdens de berekening van de stations van Antea Group vastgehouden. OG-GPS zal de coördinaten van alle referentiestationen echter jaarlijks opnieuw berekenen om eventuele autonome bewegingen te kunnen detecteren.

De benaderde coördinaten van de tijdelijke opstellingen krijgen een a priori standaardafwijking van 5 mm in de horizontale positie en 10 mm in de hoogte toegekend. Deze vrijheid is nodig om de positiefilters in GNSMART naar de juiste positie en hoogte te laten convergeren. De standaardafwijking van de hoogte na berekening met GNSMART ligt op sub-millimeter niveau.

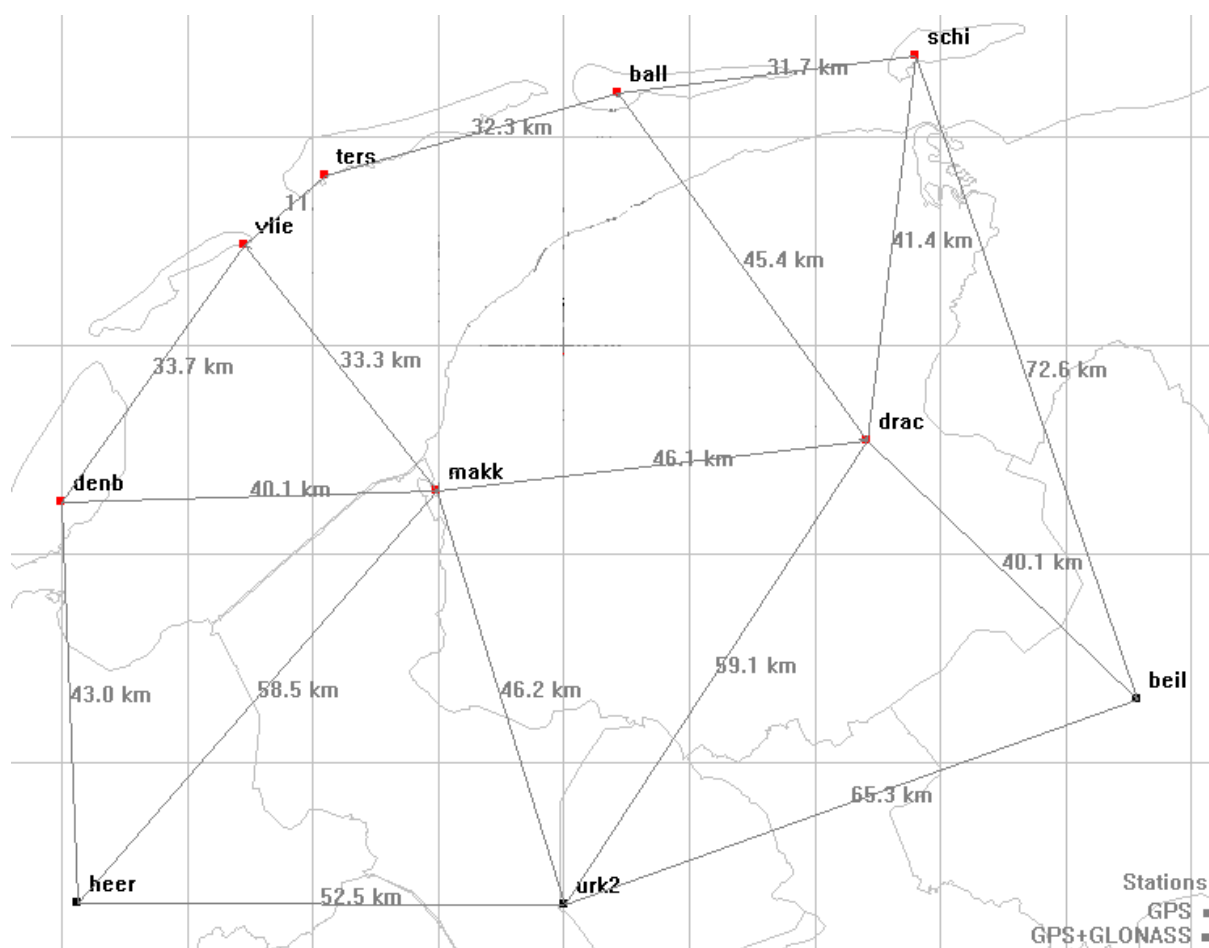


Fig. 2. Referentienetwerk t.b.v. monitoring bodemdaling 'Havenmond'.

3 Foutenbronnen & interpretatie resultaten

De GPS-opstellingen van project 'Havenmond' worden samen met de referentiestations opgenomen in de netwerkmodellering van GNSMART (GNNET). Binnen GNNET worden alle foutenbronnen, zoals ionosfeer, troposfeer, baan- en klokfouten nauwkeurig gemodelleerd. Aan de hand van deze modellering is het mogelijk een nauwkeurige coördinaat te berekenen voor ieder (onbekend) station binnen het netwerk. Hiertoe moet het onbekende station wel een a priori standaardafwijking toegekend krijgen, zodat de positiefilters in GNNET de coördinaten kunnen laten convergeren.

Een andere foutenbron zijn fasecentrum variaties, zie Fig. 3. Om deze variaties van meerdere millimeters te elimineren is het noodzakelijk de GPS antenne te laten kalibreren. Het kalibratie model wordt meegenomen in de berekening in GNSMART. Omdat de fasecentrum variaties azimut afhankelijk zijn is het belangrijk dat de GPS antenne altijd op het noorden wordt georiënteerd.

Per uur geeft GNNET een oplossing voor de best passende coördinaat. De resultaten van de gehele tijdreeks kunnen worden weergegeven in een grafiek, zie hoofdstuk 4 voor enkele voorbeelden. Hierin valt af te lezen dat de berekening een iteratief proces is; de eerste 48 uur is de grafiek zeer grillig, waarna de positie zich geleidelijk stabiliseert rond één waarde. De belangrijkste reden voor de iteratieve proces is het oplossen van fouten door multipad. Fouten door multipad variëren over de dag door de veranderende satellietconstellatie. Omdat de satellietconstellatie zich na één siderische dag herhaalt, herhalen de multipad effecten zich ook na één siderische dag. Door minimaal 2 siderische dagen waar te nemen kunnen multipad effecten vrijwel geheel worden geëlimineerd. In de plots is terug te zien dat na 48 uur de eindcoördinaat inderdaad al tot op een mm genaderd is.

Uit berekeningen met continue monitoring voor de NAM blijkt dat het 95% betrouwbaarheidsinterval van de resultaten uit GNNET ligt op 1.2 mm voor de hoogte. Met andere woorden, 95% van de berekende hoogtes schommelt na 48 uur op en neer binnen een bandbreedte van 2.4 mm. Deze schommeling wordt veroorzaakt door meerdere factoren, de voornaamste zijn:

- Verschil in initiële waarden van diverse filters.
- Restfouten in de atmosferische modellering en satellietbanen.
- 'Near field' invloeden op het fasecentrum, bijvoorbeeld regen en sneeuw.
- Bodembeweging door variërende grondwaterstanden.
- Meetruis.

Door een wat langere tijdreeks te meten is het echter wel mogelijk dit schommeleffect uit te middelen, waardoor sub-millimeternauwkeurigheid behaald kan worden.

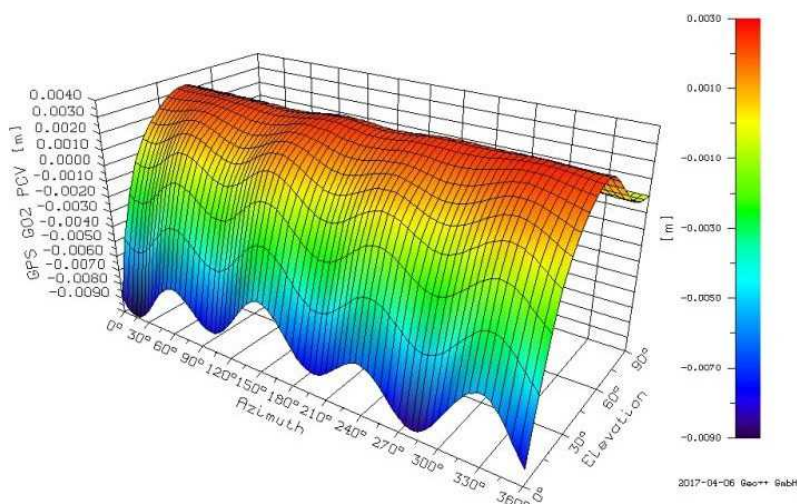


Fig. 3. Fasecentrum variaties van een Leica AR20 antenne.

4 Resultaten GPS-metingen

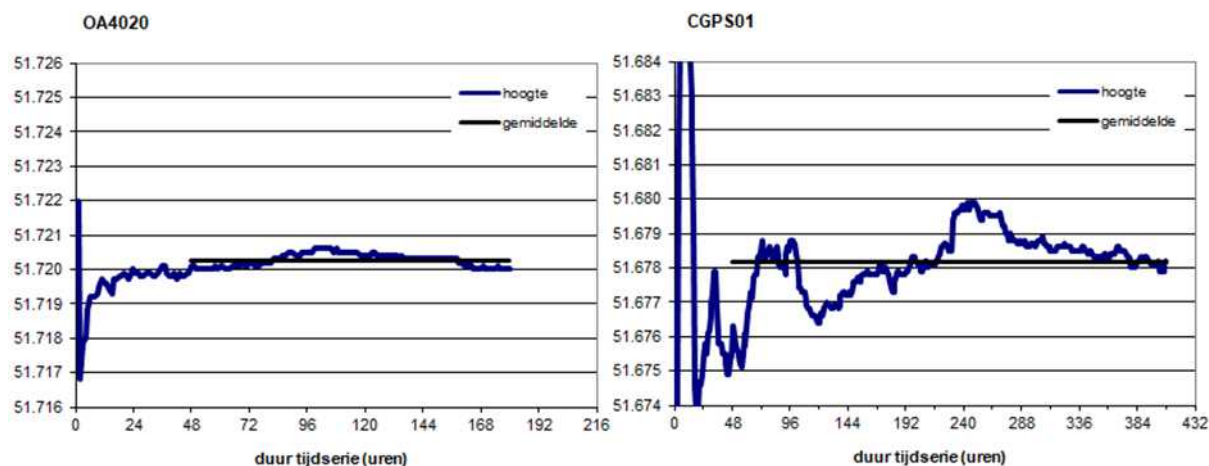
4.0 nulmeting (27-09-2019)

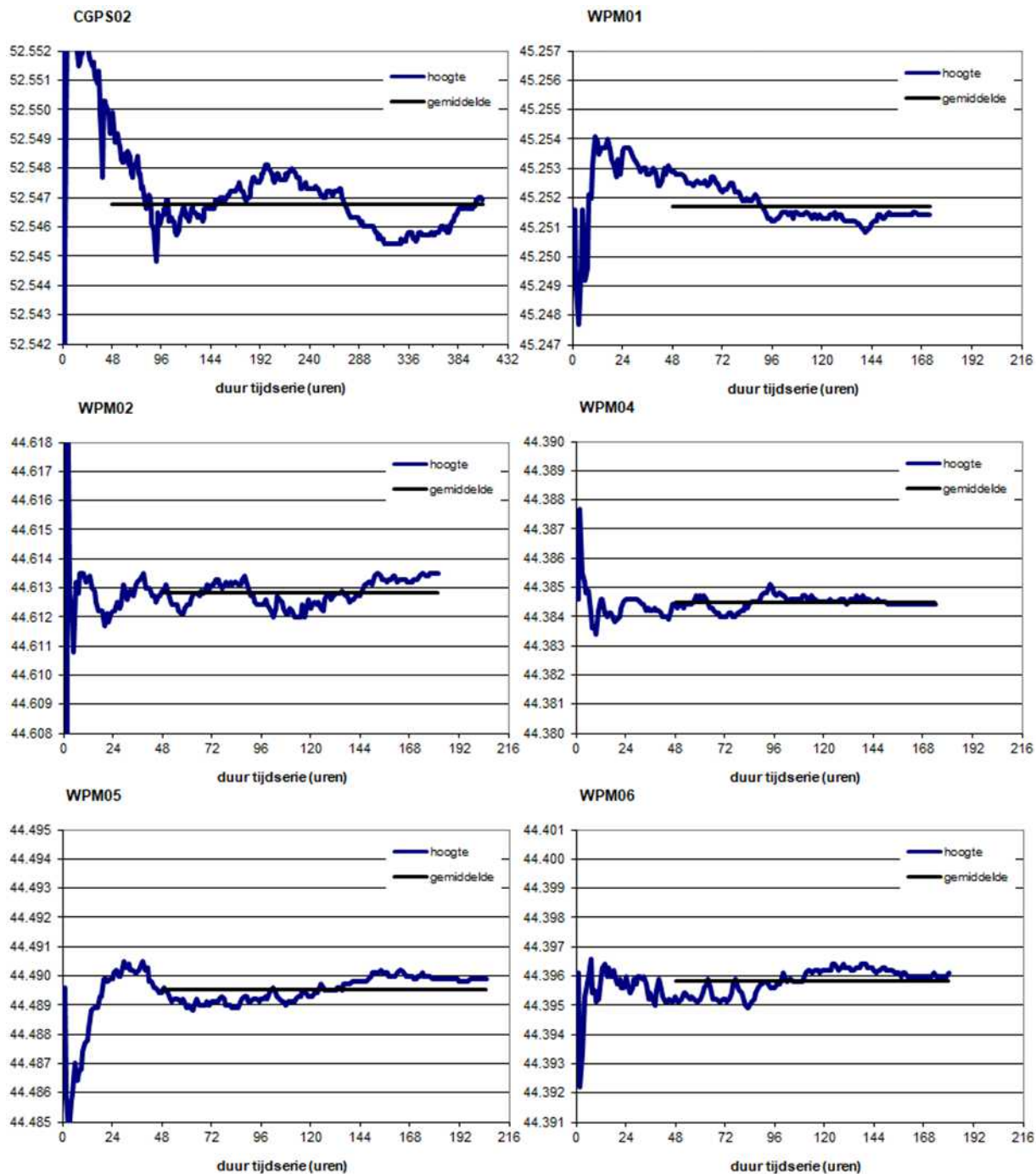
De nulmeting heeft plaatsgevonden tussen 4 augustus en 27 september 2019. Zie de onderstaande tabel voor een overzicht van de stations met de bijbehorende antenne en start- en einddatum van de tijdreeks:

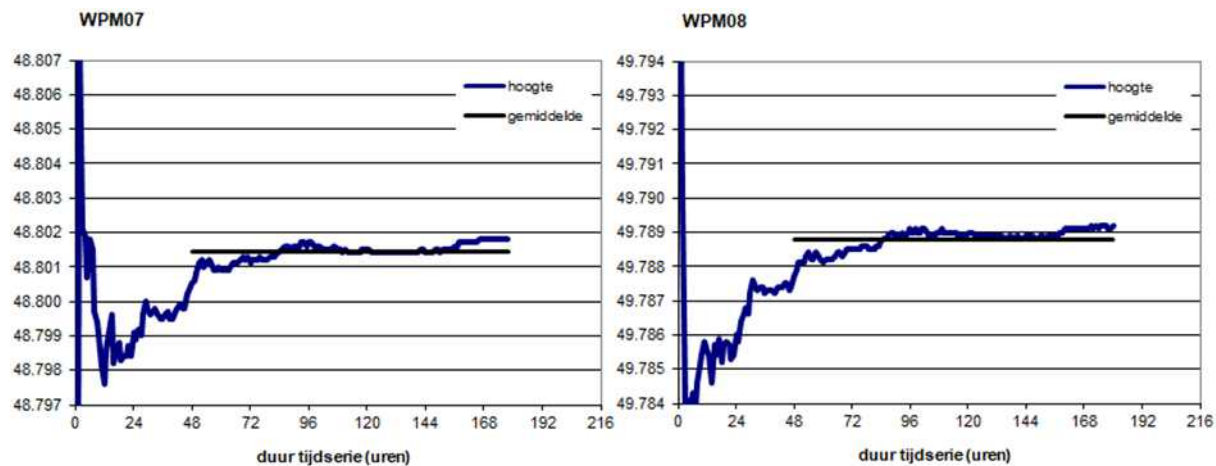
Station	antenne	Ant. kalibratie	Startdatum	Einddatum
OA4020	4	21341009.atx	20-09-2019	27-9-2019
CGPS01	-	leiar10.atx	05-08-2019	21-8-2019
CGPS02	-	leiar10.atx	05-08-2019	21-8-2019
WPM01	1	21274005.atx	04-08-2019	11-8-2019
WPM02	2	21274006.atx	06-08-2019	13-8-2019
WPM04	4	21341009.atx	14-08-2019	21-8-2019
WPM05	5	21341010.atx	08-08-2019	16-8-2019
WPM06	6	21349028.atx	09-08-2019	16-8-2019
WPM07	1	21274005.atx	17-09-2019	24-9-2019
WPM08	2	21274006.atx	17-09-2019	24-9-2019

De onderstaande tabel bevat de berekende coördinaten van de vijf opstellingen in ETRS89. Vanwege de convergentietijd betreft dit gemiddelden vanaf 48 uur. De grafieken onderaan deze bladzijde laten de schommeling in de hoogte zien gedurende processing in GNNET, de zwarte lijn geeft het gemiddelde vanaf 48 uur weer.

station	N				E		h ARP	σ h
OA4020	53	10	31.80950	5	24	40.94467	51.7203	0.0002
CGPS01	53	12	7.53195	5	22	34.79912	51.6782	0.0009
CGPS02	53	12	54.94280	5	23	19.89021	52.5468	0.0009
WPM01	53	13	50.65456	5	24	12.11978	45.2517	0.0005
WPM02	53	12	49.85699	5	21	13.47397	44.6128	0.0004
WPM04	53	12	16.98635	5	21	57.03067	44.3845	0.0002
WPM05	53	11	39.99064	5	21	55.75714	44.4895	0.0004
WPM06	53	12	17.92496	5	23	48.16649	44.3958	0.0004
WPM07	53	10	46.07710	5	25	3.65997	48.8014	0.0003
WPM08	53	11	45.43771	5	25	49.83152	49.7888	0.0003









Datum
4 oktober 2019

Titel
Resultaten GPS-metingen Havenmond

Versie
1.0

Pagina
9 van 10

Bijlage A Coördinaten stations

Coördinaten referentiestations 2019

Station	naam	eigenaar	status	datum	N ETRS89 (° ' ")			E ETRS89 (° ' ")			ell.h. (m)	ant.h. (m)	ARP (m)	ant. calibratiefile
ball	ballum	06-GPS	fixed	11-10-2016	53	26	29.58838	5	41	15.66999	54.5410	0.101	54.6420	762-11923.atx
beil	beilen	06-GPS	fixed	11-10-2016	52	51	37.49859	6	30	54.37355	71.3830	0.099	71.4820	762-11910.atx
denb	den burg	06-GPS	fixed	23-11-2018	53	3	1.77422	4	48	10.09342	56.3028	0.148	56.4508	762-11327.atx
drac	drachten	06-GPS	fixed	11-10-2016	53	6	31.75481	6	4	58.04633	56.3559	0.147	56.5029	762-11924.atx
heer	heerhugowaard	06-GPS	fixed	21-8-2019	52	39	52.85672	4	49	28.49271	60.2827	0.147	60.4297	762-11877.atx
makk	makkum	06-GPS	fixed	11-10-2016	53	3	36.43460	5	23	50.91259	59.4112	0.147	59.5582	762-11919.atx
sch	schiermonnikoog	06-GPS	fixed	21-8-2019	53	28	38.43898	6	9	44.16433	50.8011	0.148	50.9491	2170643.ant
ters	terschelling	AGRS	fixed	21-8-2019	53	21	45.84868	5	13	9.78836	56.0957	0.000	56.0957	726700.atx
urk2	urk	06-GPS	fixed	11-10-2016	52	39	49.41052	5	36	8.55275	54.3931	0.148	54.5411	762-11916.atx
vlie	vlieland	AGRS	fixed	21-8-2019	53	17	46.40406	5	5	30.68418	53.4627	0.000	53.4627	383-0605.atx



Datum
4 oktober 2019

Titel
Resultaten GPS-metingen Havenmond

Versie
1.0

Pagina
10 van 10

Nulmeting

Station	naam	eigenaar	status	datum	N ETRS89 (° ' ")			E ETRS89 (° ' ")			ell.h. (m)	ant.h. (m)	Δh (m)	ant. callibratiefile
4020	OA4020	Antea Group	relaxed	27-9-2019	53	10	31.80950	5	24	40.94467	51.7203	0.000		21341009.atx
cgp1	CGPS01	Antea Group	relaxed	21-8-2019	53	12	7.53195	5	22	34.79912	51.6782	0.000		leiar10.atx
cgp2	CGPS02	Antea Group	relaxed	21-8-2019	53	12	54.94280	5	23	19.89021	52.5468	0.000		leiar10.atx
wpm1	WPM01	Antea Group	relaxed	11-8-2019	53	13	50.65456	5	24	12.11978	45.2517	0.000		21274005.atx
wpm2	WPM02	Antea Group	relaxed	13-8-2019	53	12	49.85699	5	21	13.47397	44.6128	0.000		21274006.atx
wpm4	WPM04	Antea Group	relaxed	21-8-2019	53	12	16.98635	5	21	57.03067	44.3845	0.000		21341009.atx
wpm5	WPM05	Antea Group	relaxed	16-8-2019	53	11	39.99064	5	21	55.75714	44.4895	0.000		21341010.atx
wpm6	WPM06	Antea Group	relaxed	16-8-2019	53	12	17.92496	5	23	48.16649	44.3958	0.000		21349028.atx
wpm7	WPM07	Antea Group	relaxed	24-9-2019	53	10	46.07710	5	25	3.65997	48.8014	0.000		21274005.atx
wpm8	WPM08	Antea Group	relaxed	24-9-2019	53	11	45.43771	5	25	49.83152	49.7888	0.000		21274006.atx

**Bijlage 13 Differentiestaat waterpasmeting
'Harlingen - West'**

Hoogte- merk	<i>Nulmeting</i>							
	Maand/ jaar nul- meting	Hoogte nulmeting t.o.v. NAP (m)	Hoogte t.o.v. NAP (m)	Diff. (mm)	Hoogte t.o.v. NAP (m)	Diff. (mm)	Hoogte t.o.v. NAP (m)	Diff. (mm)
				Cumul.diff. nulmeting (mm)		Cumul.diff. nulmeting (mm)		Cumul.diff. nulmeting (mm)
000A4020	nov-19	6,988						
000A2907	nov-19	3,385						
000A2908	nov-19	2,706						
005D0003	nov-19	3,399						
005D0004	nov-19	1,721						
005D0005	nov-19	2,012						
005D0007	nov-19	2,114						
005D0015	nov-19	0,815						
005D0037	nov-19	2,699						
005D0057	nov-19	0,815						
005D0066	nov-19	2,255						
005D0067	nov-19	0,954						
005D0068	nov-19	3,655						
005D0070	nov-19	5,470						

Hoogte- merk	<i>Nulmeting</i>							
	Maand/ jaar nul- meting	Hoogte nulmeting t.o.v. NAP (m)	Hoogte t.o.v. NAP (m)	Diff. (mm)	Hoogte t.o.v. NAP (m)	Diff. (mm)	Hoogte t.o.v. NAP (m)	Diff. (mm)
				Cumul.diff. nulmeting (mm)		Cumul.diff. nulmeting (mm)		Cumul.diff. nulmeting (mm)
005D0072	nov-19	6,132						
005D0081	nov-19	6,461						
005D0082	nov-19	0,650						
005D0083	nov-19	4,784						
005D0087	nov-19	4,952						
005D0095	nov-19	4,531						
005D0096	nov-19	4,513						
005D0097	nov-19	4,756						
005D0098	nov-19	5,275						
005D0099	nov-19	6,750						
005D0100	nov-19	7,872						
005D0101	nov-19	2,109						
0000010	nov-19	0,989						
0000014	nov-19	2,086						

Hoogte- merk	<i>Nulmeting</i>							
	Maand/ jaar nul- meting	Hoogte nulmeting t.o.v. NAP (m)	Hoogte t.o.v. NAP (m)	Diff. (mm)	Hoogte t.o.v. NAP (m)	Diff. (mm)	Hoogte t.o.v. NAP (m)	Diff. (mm)
				Cumul.diff. nulmeting (mm)		Cumul.diff. nulmeting (mm)		Cumul.diff. nulmeting (mm)
0000029	nov-19	0,794						
0000030	nov-19	1,391						
0000040	nov-19	0,779						
0000041	nov-19	0,863						
0000045	nov-19	5,573						
0000046	nov-19	6,142						
0000047	nov-19	2,934						
0000065	nov-19	0,770						
0000107	nov-19	1,668						
0000326	nov-19	4,481						
0000327	nov-19	4,917						
0000328	nov-19	4,878						
0000329	nov-19	3,888						
0000330	nov-19	3,888						

Hoogte- merk	<i>Nulmeting</i>							
	Maand/ jaar nul- meting	Hoogte nulmeting t.o.v. NAP (m)	Hoogte t.o.v. NAP (m)	Diff. (mm)	Hoogte t.o.v. NAP (m)	Diff. (mm)	Hoogte t.o.v. NAP (m)	Diff. (mm)
				Cumul.diff. nulmeting (mm)		Cumul.diff. nulmeting (mm)		Cumul.diff. nulmeting (mm)
0000332	nov-19	3,885						
0003042	nov-19	4,182						
0004031 D31	nov-19	9,586						
0004032 D32	nov-19	1,238						
0004033 D33	nov-19	0,027						

Over Antea Group

Van stad tot land, van water tot lucht; de adviseurs en ingenieurs van Antea Group dragen in Nederland sinds jaar en dag bij aan onze leefomgeving. We ontwerpen bruggen en wegen, realiseren woonwijken en waterwerken. Maar we zijn ook betrokken bij thema's zoals milieu, veiligheid, assetmanagement en energie. Onder de naam Oranjewoud groeiden we uit tot een allround en onafhankelijk partner voor bedrijfsleven en overheden. Als Antea Group zetten we deze expertise ook mondiaal in. Door hoogwaardige kennis te combineren met een pragmatische aanpak maken we oplossingen haalbaar én uitvoerbaar. Doelgericht, met oog voor duurzaamheid. Op deze manier anticiperen we op de vragen van vandaag en de oplossingen van de toekomst. Al meer dan 60 jaar.

Contactgegevens

Tolhuisweg 57
8443 DV HEERENVEEN
Postbus 24
8440 AA HEERENVEEN

www.anteagroup.nl

Copyright © 2019

Niets uit deze uitgave mag worden
verveelvoudigd en/of openbaar worden
gemaakt door middel van druk, fotokopie,
elektronisch of op welke wijze dan ook,
zonder schriftelijke toestemming van de
auteurs.