

**Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen**  
**Vastlegging nul situatie**

**Meetresultaten**

**Rapport: EP200612204999**

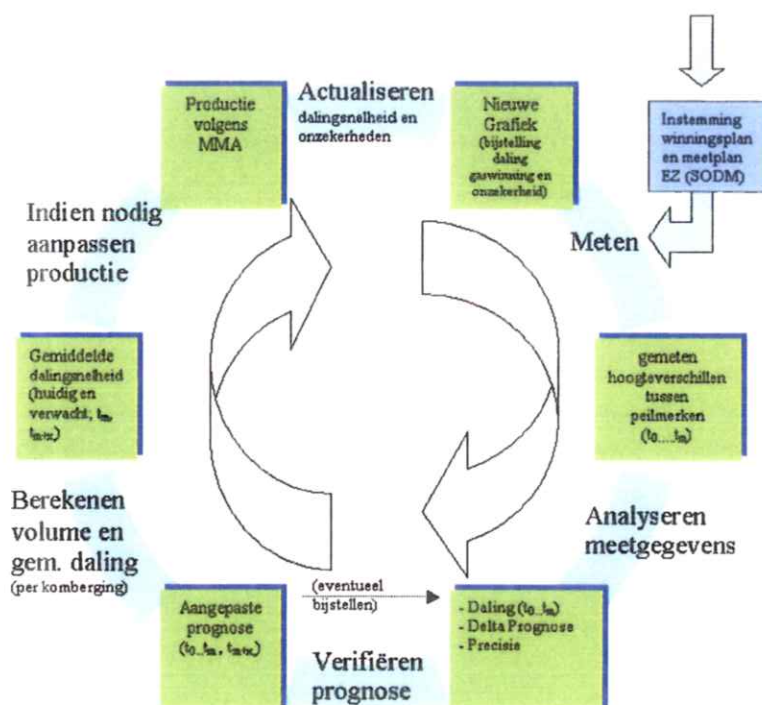
## INHOUDSOPGAVE

1.	INTRODUCTIE.....	3
2.	MANAGEMENT SAMENVATTING .....	4
3.	MEETPLAN .....	6
4.	WATERPASSINGEN .....	9
5.	GPS METINGEN.....	11
5.1	GPS test resultaten .....	11
5.2	GPS metingen .....	13
6.	GPS METHODIEK WADDENZEE.....	14
6.1	GPS meetopstelling .....	14
7.	METING WADHOOGTEMERKEN .....	16
8.	BEREKENING VAN HOOGTEVERSCHILLEN.....	17
8.1	Nauwkeurigheidswaterpassing .....	17
8.2	GPS.....	17
8.3	Bepaalde meetpunt hoogte op basis van GPS-VRS .....	19
9.	CONTROLEMETINGEN OP LAND.....	23
10.	PEILMERKEN MET ZOWEL WATERPAS ALS GPS METING .....	25
11.	ACTUALISERING MEETPLAN WADDENZEEGEBIED .....	26
12.	REFERENTIES .....	26

## 1. Introductie

In juni 2006 zijn vergunningen verleend voor de gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. In het winningsplan MGT/LWO/VRH artikel 4 is bepaald dat NAM ruim voor de aanvang van de gaswinning de 0-situatie van de bodemhoogte in het gebied waarop de bodemdaling betrekking heeft vastlegt.

Dit rapport beschrijft voornoemde 0-situatie aan de hand van de meetresultaten op basis van het Meetplan "Waddenzeegebied 2006" ten behoeve van de gaswinning van de velden Nes, Moddergat, Lauwersoog-C, -West en Oost en Vierhuizen-Oost. De productie van deze velden is onderhevig aan een meet en regelprotocol dat hieronder schematisch is weergegeven.



Figuur 1.1

De Meet en regelcyclus bestaat uit 6 deelprocessen. Dit rapport beperkt zich tot deelproces 1 (Meten).

Dit rapport geeft een samenvatting van analyses en metingen die uitgevoerd zijn door de bedrijven Geoservice GmbH (Geo++), 06-GPS, Fugro-Inpark, en de afdeling AGI van RWS.

In de managementsamenvatting wordt een beknopte samenvatting van de resultaten gegeven. In de daarop volgende hoofdstukken wordt ingegaan op het Meetplan en waterpasmetingen. Daarna volgt een samenvatting van de door Geoservice GmbH uitgevoerde processing van op de locatie Anjum vergaarde GPS gegevens.

Tot slot wordt ingegaan op de vlakdekkende GPS metingen op het Wad en worden de resultaten van systeem controles gepresenteerd.

## **2. Management samenvatting**

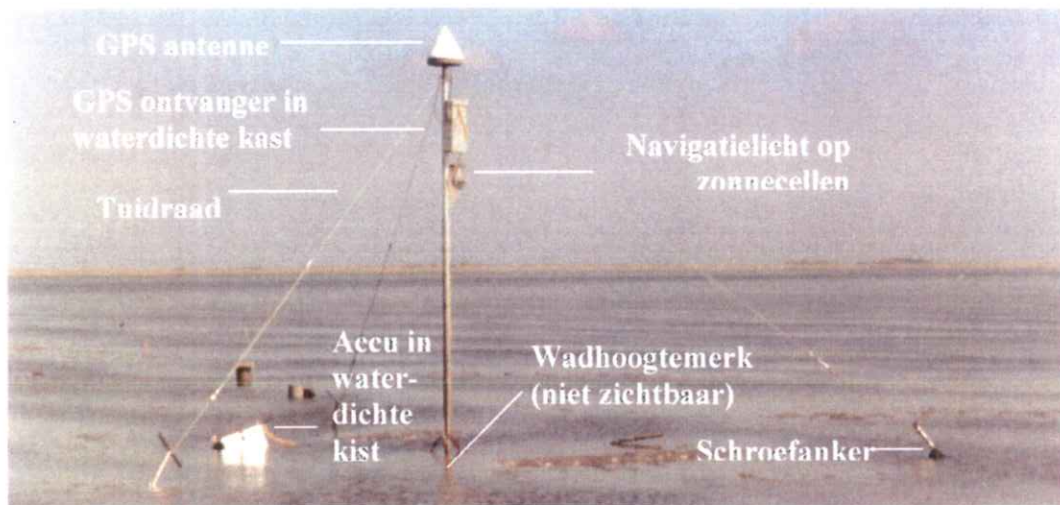
De aangewezen methode voor hoogteverschil metingen op land is de optische waterpassing. Deze metingen worden zo ingericht dat deze voldoen aan de eisen die de Adviesdienst Geo-Informatie en ICT van Rijkswaterstaat (RWS-AGI) stelt aan een tweede orde nauwkeurigheidswaterpassing.

De waterpasmetingen worden uitgevoerd met zelfregistrerende optische waterpasinstrumenten en zogenaamde barcode baken, waarbij de gegevens volautomatisch worden opgeslagen in een door RWS opgesteld registratie en validatie veldsysteem.

Op het wad is in 2006 gebruik gemaakt van GPS voor het bepalen van hoogteverschillen. Door gebruikmaking van een speciale geodetische GPS ontvanger, een gecalibreerde (!) geodetische GPS antenne en een opsteltijd van minimaal vijf dagen worden hoogteverschillen bepaald met een precisie die ruim voldoet aan de eisen die RWS-AGI stelt aan een tweede orde nauwkeurigheidswaterpassing. De GPS hoogteverschillen worden gekoppeld aan de optische waterpassingen door middel van het actuele geoidemodel van Rijkswaterstaat (NLGEO2004).

Een groot voordeel van de GPS techniek is dat de precisie van een te bepalen hoogteverschil veel minder afhankelijk is van de afstand tussen twee peilmerken dan bij optisch waterpassen. Daardoor kan met behulp van GPS met name over langere afstanden een hoogteverschil preciezer worden bepaald. Een viertal onafhankelijke testen met verschillende GPS systemen op het ondergrondse merk 000A2592 (Nes) en een test basis op NAM's Grijpskerk locatie hebben aangetoond dat de hoogte van een peilmerk met een variatie kleiner dan 1mm bepaald kan worden. Vanwege het feit dat met GPS tot nu toe slechts een nulmeting is uitgevoerd en nog geen historie beschikbaar is, beperkt de nauwkeurigheidsanalyse zich op dit moment tot de hierboven beschreven resultaten.



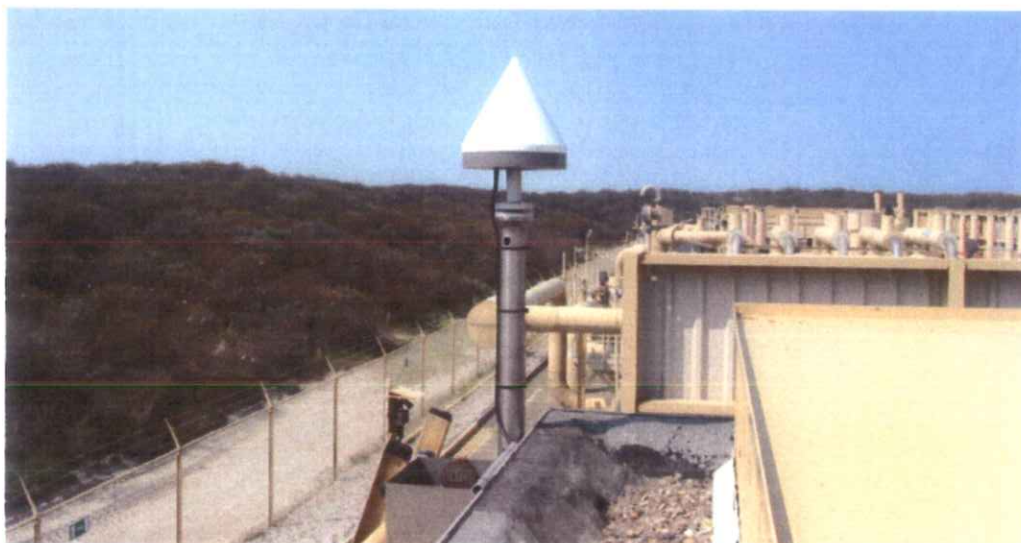


Figuur 2.1 GPS meetopstelling op het Wad

De betrouwbaarheid van de GPS metingen wordt gewaarborgd door de volgende werkwijze:

- De GPS meting wordt uitgevoerd op een wadhoogtemerk. Dit is een stalen schroefpaal van zes meter welke - met de bovenkant net onder de wadbodem - verticaal in de ondergrond is verankerd. Deze werkwijze is overgenomen van RWS-AGI die jarenlang ervaring heeft opgebouwd in het aanbrengen en meten van wadhoogtemerken.
- Elk wadhoogtemerk maakt deel uit van een cluster van wadhoogtemerken (minimaal drie) welke met een afstand van 5-10 meter in de wadbodem zijn aangebracht. Op deze manier kan met behulp van een nauwkeurigheidswaterpassing worden gecontroleerd of een wadhoogtemerk is verstoord in de tijd tussen opeenvolgende metingen.
- De GPS antenne is met een meetpaal fysiek gekoppeld aan een wadhoogtemerk. Dit voorkomt verzakking van de GPS antenne in de wadbodem tijdens de meting.
- Het hoogteverschil tussen de GPS antenne en de wadhoogtemerken wordt met een zeer hoge precisie meerdere keren met een digitaal optisch waterpasinstrument gemeten, zowel aan het begin van de GPS meting als aan het eind (na vijf dagen). Zo kan worden gecontroleerd op een eventuele verzakking/verstoring in de meetopstelling.

Naast de hierboven beschreven metingen worden twee continue GPS monitor stations gebruikt (Moddergat en Ameland-Oost-1) om de actuele lokale bodemdalingsnelheden in de gaten te houden. Deze continue GPS opstellingen maken gebruik van hetzelfde type GPS ontvanger en (gecalibreerde) antenne als voor de GPS metingen op het wad. Beide stations zijn opgenomen in het continue GPS referentie netwerk van het bedrijf 06-GPS. De GPS data wordt elke 15 seconden centraal opgeslagen en worden op maandelijkse basis gebruikt ter bepaling van een actuele bodemdalingsnelheid met bijbehorende precisie per monitoring station. De verwachte precisie is ongeveer 1 mm/jaar.



Figuur 2.2 continu GPS monitor station op NAM-lokatie Ameland-Oost-1

De GPS hoogteverschil metingen zijn middels meerdere onafhankelijke controles gevalideerd.

De basis van GPS bodemdalingsmonitoring in het Waddengebied is gelegd in 2005. GPS testmetingen op de Anjum locatie en geanalyseerd door het Duitse bedrijf GeoService GmbH toonde aan dat bodemdaling op mm niveau op basis van 3 referentie stations in de 06-GPS keten mogelijk was.

Door een verdichting van deze keten met referentie stations op Schiermonnikoog, en monitorstations op de locaties Anjum en Ameland-Oost-1 is de betrouwbaarheid van de met GPS bepaalde hoogteverschillen verder versterkt. Het gebruik van kortere basislijnen verbetert de relatieve nauwkeurigheid.

### 3. Meetplan

Het Meetplan Waddenzeegebied, met instemming van de Minister van Economische Zaken (kenmerk:ET/EM/6047357 d.d. 26-6-2006), beschrijft de meetmethoden, meetfrequentie en de plaatsen waar gemeten wordt. Dit Meetplan is de basis voor het bepalen van de "nul-situatie" voor gaswinning van de nieuwe velden en de actualisatie van de bodemdaling van bestaande winningen.

Om bodemdaling te kunnen bepalen, worden hoogteverschillen gemeten tussen de in het gebied aanwezige meetpunten van het NAP netwerk. Op land is de waterpastechniek ingezet, terwijl ten behoeve van continue monitoring en meten op het wad gebruik gemaakt is van GPS (Global Positioning System).

Hoogteverschilmetingen zijn uitgevoerd conform de nauwkeurigheidseisen die gelden voor 2<sup>e</sup> orde waterpassingen beschreven in de door RWS (AGI) gepubliceerde "Specificaties van de doorgaande waterpassing instandhouding NAP-net". De vermelde



# Nul situatie december 2006

relatieve toelaatbare meetprecisie is tevens de minimum eis voor de met GPS bepaalde hoogteverschillen.

In onderstaand overzicht zijn de deelactiviteiten van het Meetplan Waddenzeegebied overgenomen inclusief een status indicatie per November 2006.

Periode*	Interval	Activiteit	Doelstelling
Oktober 2005	-	Controlemeting wadpunten t.b.v. Amelandwinning ( <b>voltooid</b> )	Kalibreren prognosemodel Ameland winning
Najaar 2005	Test	GPS-meting Anjum locatie ( <b>voltooid</b> )	Evalueren nauwkeurigheid GPS-techniek
1e kwartaal 2006	-	Waterpasmeting op Ameland ( <b>voltooid 1<sup>o</sup> kwartaal</b> )	Kalibreren prognosemodel Amelandwinning
1e kwartaal 2006	-	Waterpassing Anjum ( <b>voltooid 1<sup>o</sup> kwartaal</b> )	Kalibreren prognosemodel Anjum winning
Voorjaar 2006	-	Nieuwe peilmerken in Waddenzee geplaatst ( <b>voltooid &lt; Mei 2006</b> )	Verdichten meetnetwerk conform meetplan
Herfst 2006	-	Plaatsen nieuwe peilmerken Lauwersmeer ( <b>voltooid voorjaar 2006</b> )	Verdichten meetnetwerk conform meetplan (buiten gevoelige periode)
Herfst 2006	Continu	GPS monitorstations  AME1 ( <b>operationeel Juni '06</b> ). Moddergat ( <b>tijdelijke monitor Anjum van Juni '06 installatie Moddergat Dec '06</b> )	Signaleringsfunctie, prognosevalidatie. Resultaten kunnen aanleiding geven om extra metingen uit te voeren ter validatie van de prognose. (evaluatie meettechniek na 5 jaar)
Zomer 2006		Nulmeting Waddenzee ( <b>voltooid</b> )	Referentiemeting (en voor zover eerder gemeten calibratie prognosemodel Ameland winning)
2e helft 2006	-	Nulmeting vasteland, eilanden en Lauwersmeergebied ( <b>voltooid</b> )	Referentiemeting
2007/8	-	Waterpasmeting op Ameland en rond nieuwe winningen op vasteland.	Controle/kalibreren prognosemodellen

2009	3 jaar	Metingen op vasteland, Ameland, Schiermonnikoog, Wadden en Noordzeeplatforms **	Kalibreren prognosemodellen
<p>*) Het genoemde jaartal is gerelateerd aan voorgenomen start van de productie Moddergat, en opvolgende winningen.</p> <p>**) Volledige herhaling nulmeting</p>			

De gebruikte vlakdekkende meettechnieken, waterpassing en GPS worden verder beschreven in de hoofdstukken 4 en 5.

De keuze voor een meetinterval is afhankelijk van de verwachte snelheid van bodemdaling in combinatie met de keuze voor een meettechniek. Statistisch gezien levert een volgende meting pas zinvolle informatie op als de werkelijk opgetreden bodemdaling op een peilmerk groter is dan de twee maal de precisie ( $\sigma$ ) waarmee deze kan worden bepaald.

Deze precisie kan voor elk meetinterval op voorhand worden geschat aan de hand van door RWS-AGI vastgestelde precisiewaarde voor een gemeten hoogteverschil van een tweede orde nauwkeurigheidswaterpassing ( $0.76\text{mm}/\sqrt{L}$ ,  $L$  in km); en een schatting van de gemiddelde peilmerkstabiliteit op basis van een grote hoeveelheid historische data ( $0.45\text{mm}/T^{0.9}$ ,  $T$  in jaren).

Zo kan per peilmerk worden geschat bij welk meetinterval de bodemdaling met een zekere betrouwbaarheid kan worden bepaald. Het resultaat van deze analyse staat in de tabel hieronder. Op basis van deze analyse is gekozen voor een meetinterval van 3 jaar. Bij dit meetinterval wordt voor 28% van de peilmerken een zogenaamde ruisoverstijgende bodemdaling verwacht van meer dan twee maal de precisie.

	1 jaar	2 jaar	3 jaar	4 jaar
1 $\sigma$ (betrouwbaarheid 68%)	110 (24%)	145 (32%)	166 (37%)	185 (41%)
2 $\sigma$ (betrouwbaarheid 95%)	16 (4%)	97 (22%)	124 (28%)	136 (30%)
3 $\sigma$ (betrouwbaarheid 99%)	0	31 (7%)	86 (19%)	110 (24%)

Betrouwbaarheidsanalyse per meetinterval (totaal 450 peilmerken).

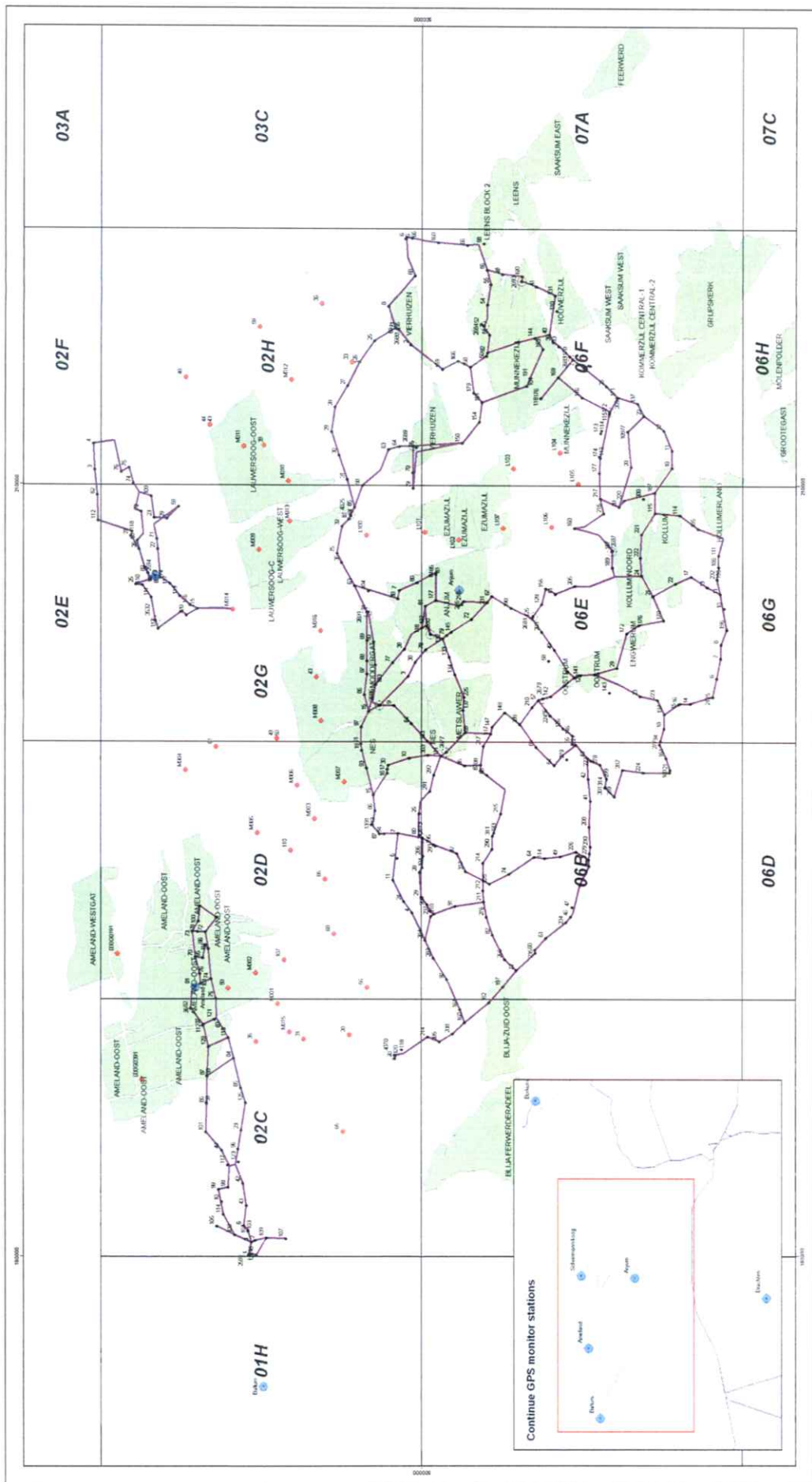
Omdat het hierbij gaat om een verwachte bodemdaling zullen eerst één jaar na start productie (januari 2008) en twee en een half jaar na start productie (zomer 2009) vlakdekkende controlemetingen plaatsvinden. Hiermee wordt een extra zekerheid ingebouwd om een eventuele onverwachte hogere bodemdalingsnelheid tijdig vast te kunnen stellen. Alhoewel NAM uitgaat van het herhalen van volledige nulmeting in 2009 lijkt het voor de hand te liggen een aanpassing van het meetplan in 2008 door te voeren als dit vanuit economisch en ecologisch perspectief gewenst is, om onnodige metingen ver buiten de dan ontstane komen in het gevoelige Waddengebied te vermijden

(op grond van het Mijnbouwbesluit artikel 30 lid 6 wordt het Meetplan jaarlijks geactualiseerd)



#### **4. Waterpassingen**

Conform het Meetplan is begin 2006 een waterpassing op Ameland uitgevoerd, gevolgd door een kleine waterpassing over het Anjum veld. In de zomer is de meting op het vaste land rond het Lauwersmeergebied uitgevoerd, gevolgd door de nulmeting op Schiermonnikoog die in september/oktober 2006 is uitgevoerd. Deze werkzaamheden werden uitgevoerd door ingenieursbureau Fugro-Inpark. Een kaart van de waterpastrajecten is hierna weergegeven.



**Legend**

- GPS
- GPS (contin)
- Regular peilmerk
- Ondergronds merk
- Gasveld
- Olieveld
- SURE Trajectories

**Scale**

0 1 2 3 4 5

1:100,000

Scale bar

**Project Information**

Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

WACZENITE

**GPS + TRAJECTENKAART**

MEETREGISTRE 2006

**Project Details**

Adres: Veldhuizen

Plaats: 14 december 2006

Project: 14 december 2006

Project: 14 december 2006

In 2006 is tevens de kleine waterpassing Groningen uitgevoerd. Deze meting sloot aan de Oostkant aan op deze meting. Vanwege het belang van de Munnekezijl calibratie zijn ook deze gegevens in de analyse meegenomen.

De metingen zijn uitgevoerd conform de eisen van secundaire waterpassingen uitgegeven door RWS in "Specificaties van de doorgaande waterpassing instandhouding NAP-net". De nauwkeurigheidswaterpassing wordt in het door SODM gewenste formaat gerapporteerd in "Meetregister bij het meetplan Waddengebied".

## **5. GPS metingen**

### **5.1 GPS test resultaten**

In aanvulling op de waterpasmethode is onderzocht in hoeverre GPS ingezet kon worden om te controleren of de bodemdalingssnelheid volgens de prognose verloopt.

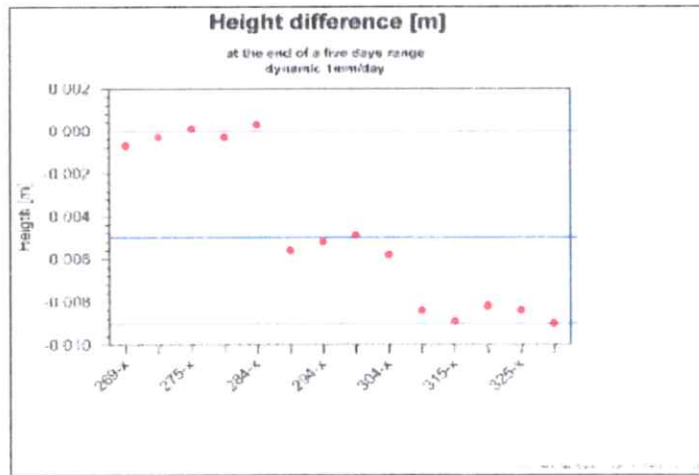
Meetgegevens voor dit onderzoek werden ingewonnen in de periode 22 september tot 2 november 2005. Op de locatie Anjum werd gedurende deze periode een geodetische GPS ontvanger opgesteld die samen met de GPS referentie stations Borkum, Drachten en Ballum van de firma 06-GPS meetgegevens verzamelde.

Gedurende de test periode werd op een 2-tal momenten de antenne hoogte met respectievelijk 4.5 en 3.5mm aangepast. De firma GeoService GmbH werd ingeschakeld om de gegevens met de zogenaamde Geo++ software te analyseren. Uiteraard werd deze firma niet op voorhand op de hoogte gebracht van het moment van GPS antenne aanpassing en magnitude.

Op basis van dit onderzoek werd aangetoond dat met behulp van Geo++ software bewegingen op mm niveau gevolgd kunnen worden. De nauwkeurigheid van GPS processing is in sterke mate afhankelijk van de afstand tussen monitor en referentie stations. Op basis van de vaste referentie stations van 06-GPS, die tussen de 30 en 45km van het monitorstation afgelegen lagen, bleken adequate resultaten geboekt te zijn.

De resultaten van de continue monitoring test bleken dermate succesvol dat besloten werd om aanvullende processing uit te voeren om zo te kunnen bepalen of GPS ingezet zou kunnen worden als vervanging van conventionele waterpassing op het wad. Hiertoe werd GeoService GmbH de opdracht gegeven om de eerder geregistreerde GPS gegevens te processen over in sessies van 5 dagen. De resultaten zijn hieronder weergegeven.





Figuur 5.1 Hoogte verschillen bepaald uit 5 dagen processing (GeoService GmbH)

De blauwe lijnen geven hierin de 4,5 en 3,5mm aanpassing van de GPS antenne aan. De rode punten zijn de gemiddelde hoogtes berekend uit 5 dagen GPS gegevens. GeoService GMBH concludeerde: "An observation time of five days is sufficient to get an accuracy of 1mm with the present data set of ANJM for both modeling approaches using GNSMART. A shorter observation time of three days should also fulfill this task. Some significant differences exist between the analyzed ANJM data set and actual measurement from the Waddenzea, see below. Therefore, in a rough area like the Waddenzea other problems could appear and the time period of five days is good choice to get reliable results."

---

## 5.2 GPS metingen

Op basis van de vergaarde test resultaten werd in overleg met SODM en LNV besloten om de meetcampagne op de Wadden met behulp van GPS uit te voeren. Alvorens hiertoe over te gaan werd besloten om de vaste GPS infrastructuur verder uit te breiden met GPS meetopstellingen Schiermonnikoog en locaties Anjum en Ameland Oost-1.

- op Schiermonnikoog werd een referentiestation geplaatst op RWS kantoor Duneborg
- op de AME1 productielocatie werd alvast het continue monitor station geïnstalleerd
- op de ANJUM productielocatie werd de test opstelling gehandhaafd.

Middels het opzetten van communicatielijnen werd het mogelijk gemaakt om de meetgegevens van deze ontvangers online op het kantoor van de firma 06-GPS uit te lezen. Voor de Wadden metingen betekende dit dat de voor de test gebruikte keten Drachten, Ballum, Borkum aanzienlijk uitgebreid was, met 3 dicht bij het werkgebied gelegen referentiestations.

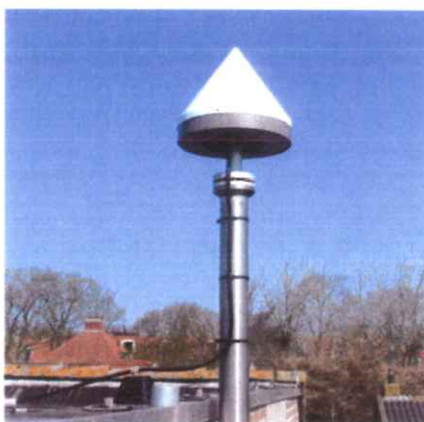


Fig 5.2 GPS antenne  
Referentiestation Schiermonnikoog

Op de "GPS en trajectenkaart" in hoofdstuk 4 is het volledige GPS netwerk weergegeven inclusief de in de Waddenzee en Lauwersmeergebied gemeten punten. Nadere details betreffende de gegevensverwerking zijn opgenomen in 06-GPS rapport "GPS Survey NAM Waddenzee, 25 October 2006".

## 6. GPS methodiek Waddenzee

### 6.1 GPS meetopstelling

Alvorens met GPS metingen op het Wad werd begonnen, werden uitgebreide stabiliteitstesten van de meetopstelling uitgevoerd. Hiertoe werd gedurende een week een meetopstelling op het wad nabij de haven van Lauwersoog geplaatst. De stabiliteit van de meetpaal werd gevolgd door het hoogteverschil onder verschillende getijde condities te vergelijken met enkele vaste NAP punten op het haventerrein.

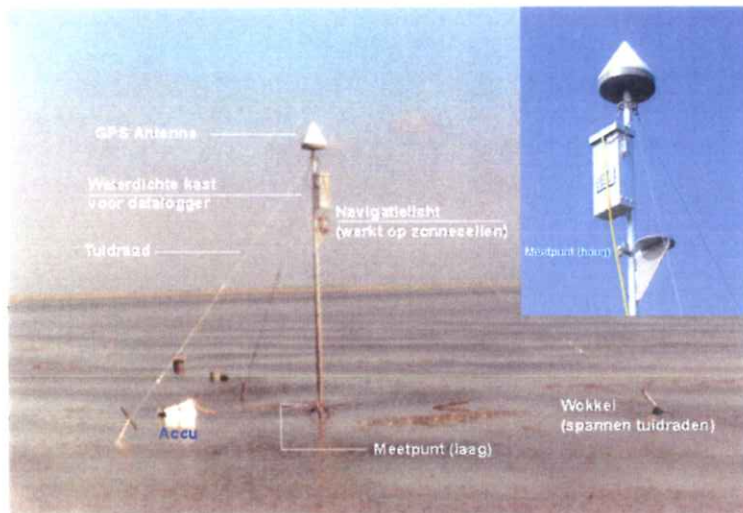
Op basis van de meetresultaten bleek de tot 2.5m diepte in het wad gefundeerde paal ongeschikt. De getijde effecten lieten, in de kleiige zandbodem, verschillen van 6-7mm zien tussen hoog en laag water. Het bodempakket waarin de antenne mast geplaatst was, werd bij hoogwater als gevolg van de waterdruk als het ware gecomprimeerd.



Figuur 6.1 Test opstelling Lauwersoog  
(afgekeurde GPS meetpaal)

Op basis van deze waarnemingen werd, in overleg met SODM, besloten om een meetpaal te ontwikkelen die rechtstreeks op de diepe wadhoogtemerken van het NAP netwerk geplaatst kon worden. Hiermee werd verwezenlijkt dat een rechtstreekse koppeling met het fysieke meetpunt gewaarborgd kon worden. Doordat deze wadhoogtemerken veel dieper (ruim 6m diep) aangebracht zijn wordt aanzienlijk minder getijde effect verwacht. Tevens wordt met deze aanpak bereikt dat eventueel resterende bewegingen van de NAP wadhoogtemerken uitgemiddeld kan worden door in de toekomst over eenzelfde getijde cyclus op hetzelfde wadhoogtemerk te meten.





Figuur 6.2 Meetpaal GPS metingen Waddenzee

---

## 7. Meting Wadhoogtemerken

Een overzicht van de gemeten wadhoogtemerken is reeds aangegeven in hoofdstuk 4. De wadhoogtemerken werden vroeger door RWS gebruikt om de NAP hoogtes van de vaste wal naar de eilanden over te kunnen brengen. Hiervoor werd de inmiddels in onbruik geraakte, hydrostatische waterpasmethode toegepast.

Wadhoogtemerken zijn steeds in 3-voud aangebracht, opdat op basis van onderlinge hoogte verschillen, verstoring vastgesteld kan worden. De meetpunten zijn in een noord-zuid lijn aangebracht over een afstand van 15meter.

Voor de GPS metingen op het Wad werden 4 GPS ontvangers aangeschaft. Na de mobilisatie op 26 mei 2006 werd, weersomstandigheden toelatend, iedere dag of een GPS meetpaal opgesteld of verwijderd. Hierbij werden 3 GPS ontvangers op het wad ingezet en was het 4<sup>e</sup> systeem beschikbaar als back-up.

De GPS meetpaal werd fysiek op een van de drie wadhoogtemerken opgesteld. Ter controle op verstoring werd een meetcyclus ontwikkeld waarbij de onderlinge hoogteverschillen onder een 4 tal verschillende omstandigheden steeds in 3-voud werden gemeten.

1. onderlinge hoogte verschillen wadhoogtemerken voor GPS installatie (onbelast)
2. onderlinge hoogte verschillen met GPS paal begin meting (belast start)
3. onderlinge hoogte verschillen met GPS paal einde meting (belast eind)
4. onderlinge hoogte verschillen wadhoogtemerken na demobilisatie GPS (onbelast)

Middels de waterpastechniek werden hoogte verschillen tussen GPS antenne referentiepunt en de wadhoogtemerken tot op 0.1mm bepaald. Per punt cluster werd een gedetailleerde log file bijgehouden. Deze techniek bood de mogelijkheid om zowel wadhoogtemerk verstoringen als ook verstoringen in de GPS meetopstelling te detecteren. De meetresultaten zijn verder toegelicht in rapport "Hoogteaansluiting GPS meting Waddenzee 2006" van Fugro-Inpark. Op basis van deze statistieken kan worden geconcludeerd dat de GPS meetpaal niet tot verzakking van meetpunten geleid heeft.

## 8. Berekening van hoogteverschillen

### 8.1 Nauwkeurigheidswaterpassing

Na voltooiën van de nauwkeurigheidswaterpassingen werden de meetgegevens ter controle en validatie aangeboden aan de afdeling AGI van RWS. De gegevens werden conform de standaard procedure door RWS gecontroleerd en getoest. De door RWS geleverde verificatie van de meetgegevens vormen de basis van de analyse. Zoals gebruikelijk informeerde RWS, Staatstoezicht op de Mijnen, over de behaalde resultaten.

De uit deze berekening afgeleide hoogteverschillen tussen de peilmerken zijn toegevoegd aan de reeds beschikbare historische gegevens en integraal vereffend.

### 8.2 GPS

De VRS (Virtual Reference Station) techniek is gebruikt om de 3 dimensionele coördinaten van het GPS-ARP (Antenne Referentie Punt) op de wadhoogtemerken te bepalen. De processing van de gegevens is uitgevoerd door de firma 06-GPS. De VRS techniek is gelimiteerd tot het gebruik van 4 referentie stations en houdt geen rekening met de onderlinge correlatie tussen de individuele wadmeetopstellingen, en laat het gebruik van de in post processing bepaalde precieze satellietbanen niet toe. Desalniettemin bleek deze methodiek zeer effectief. Uit de vergelijking van de berekende coördinaten voor de 4 verschillende systemen op Nes-Ameland en Grijskerk (zie figuur 9.1 en 9.3) blijkt dat de aldus bepaalde hoogteverschillen ruimschoots voldoen aan de relatieve precisie eisen die voor nauwkeurigheidswaterpassingen gelden, en geschikt zijn voor het bepalen van bodemdaling door gaswinning van de reeds producerende velden. Om de gegevens met de historische waterpassingsgegevens te kunnen combineren werden de ellipsoïdische hoogtes naar orthometrische hoogtes geconverteerd gebruik makende van het NLGEO2004 geoïdemodel, van RWS.

De aldus bepaalde orthometrische hoogte verschillen tussen de GPS-ARP's zijn aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 8.1

<i>station</i>	<i>ref. 1</i>	<i>dz stat-ref1</i>	<i>ref. 2</i>	<i>dz stat-ref2</i>	<i>ref. 3</i>	<i>dz stat-ref3</i>	<i>ref. 4</i>	<i>dz stat-ref4</i>
<i>c028</i>	<i>ball</i>	<i>-10.811</i>	<i>ame1</i>	<i>-4.515</i>	<i>schl</i>	<i>-7.450</i>	<i>Anjm</i>	<i>-1.754</i>
<i>c031</i>	<i>ball</i>	<i>-10.760</i>	<i>ame1</i>	<i>-4.464</i>	<i>schl</i>	<i>-7.399</i>	<i>Drac</i>	<i>-12.092</i>
<i>c035</i>	<i>ball</i>	<i>-10.614</i>	<i>ame1</i>	<i>-4.318</i>	<i>schl</i>	<i>-7.253</i>	<i>Anjm</i>	<i>-1.557</i>
<i>c065</i>	<i>ball</i>	<i>-10.249</i>	<i>ame1</i>	<i>-3.953</i>	<i>schl</i>	<i>-6.888</i>	<i>Drac</i>	<i>-11.581</i>
<i>d050</i>	<i>ball</i>	<i>-10.154</i>	<i>ame1</i>	<i>-3.858</i>	<i>schl</i>	<i>-6.793</i>	<i>Anjm</i>	<i>-1.097</i>
<i>d056</i>	<i>ball</i>	<i>-10.732</i>	<i>ame1</i>	<i>-4.436</i>	<i>schl</i>	<i>-7.371</i>	<i>Anjm</i>	<i>-1.675</i>
<i>d061</i>	<i>ball</i>	<i>-8.795</i>	<i>ame1</i>	<i>-2.499</i>	<i>schl</i>	<i>-5.434</i>	<i>Anjm</i>	<i>0.262</i>
<i>d065</i>	<i>ball</i>	<i>-10.767</i>	<i>ame1</i>	<i>-4.471</i>	<i>schl</i>	<i>-7.406</i>	<i>Anjm</i>	<i>-1.710</i>
<i>d068</i>	<i>ball</i>	<i>-10.504</i>	<i>ame1</i>	<i>-4.208</i>	<i>schl</i>	<i>-7.143</i>	<i>Anjm</i>	<i>-1.447</i>



Nul situatie december 2006

station	ref. 1	dz stat-ref1	ref. 2	dz stat-ref2	ref. 3	dz stat-ref3	ref. 4	dz stat-ref4
d107	ball	-10.895	ame1	-4.599	sch	-7.534	Anjm	-1.838
d110	ball	-10.147	ame1	-3.851	sch	-6.786	Anjm	-1.090
g043	ball	-10.183	ame1	-3.887	sch	-6.822	Anjm	-1.126
g049	ball	-10.586	ame1	-4.290	sch	-7.225	Anjm	-1.529
h033	ball	-10.613	ame1	-4.317	sch	-7.252	Anjm	-1.556
h036	ball	-10.312	ame1	-4.016	sch	-6.951	Anjm	-1.255
h039	ball	-9.683	ame1	-3.387	sch	-6.322	Anjm	-0.626
h043	ball	-10.421	ame1	-4.125	sch	-7.060	Anjm	-1.364
h048	ball	-10.425	ame1	-4.129	sch	-7.064	Anjm	-1.368
h058	ball	-10.068	ame1	-3.772	sch	-6.707	Anjm	-1.011
m001	ball	-10.780	ame1	-4.484	sch	-7.419	anjm	-1.723
m002	ball	-10.749	ame1	-4.453	sch	-7.388	anjm	-1.692
m003	ball	-10.004	ame1	-3.708	sch	-6.643	anjm	-0.947
m004	ball	-9.430	ame1	-3.134	sch	-6.069	anjm	-0.373
m005	ball	-9.721	ame1	-3.425	sch	-6.360	anjm	-0.664
m006	ball	-10.485	ame1	-4.189	sch	-7.124	anjm	-1.428
m007	ball	-10.309	ame1	-4.013	sch	-6.948	anjm	-1.252
m008	ball	-10.218	ame1	-3.922	sch	-6.857	anjm	-1.161
m009	ball	-9.959	ame1	-3.663	sch	-6.598	anjm	-0.902
m010	ball	-10.289	ame1	-3.993	sch	-6.928	anjm	-1.232
m011	ball	-9.644	ame1	-3.348	sch	-6.283	anjm	-0.587
m012	ball	-9.990	ame1	-3.694	sch	-6.629	anjm	-0.933
m013	ball	-10.905	ame1	-4.609	sch	-7.544	anjm	-1.848
m014	ball	-9.589	ame1	-3.293	sch	-6.228	anjm	-0.532
m015	ball	-10.718	ame1	-4.422	sch	-7.357	anjm	-1.661
m016	ball	-10.058	ame1	-3.762	sch	-6.697	anjm	-1.001
2686	ball	-8.515	ame1	-2.219	sch	-5.154	anjm	0.542
2689	ball	-10.313	ame1	-4.017	sch	-6.952	anjm	-1.256
2691	ball	-8.030	ame1	-1.734	sch	-4.669	anjm	1.027
4025	ball	-5.496	ame1	0.800	sch	-2.135	anjm	3.561
pal1	ball	-4.796	ame1	1.500	sch	-1.435	anjm	4.261
pal2	ball	-4.799	ame1	1.497	sch	-1.438	anjm	4.258
pal3	ball	-4.799	ame1	1.497	sch	-1.438	anjm	4.258
pal4	ball	-4.800	ame1	1.496	sch	-1.439	drac	-6.132
gr01	0674	-8.511	drac	-9.535	sch	-4.842	anjm	0.854
gr02	0674	-8.718	drac	-9.742	sch	-5.049	anjm	0.647
gr03	0674	-8.524	drac	-9.548	sch	-4.855	anjm	0.841
gr04	0674	-8.747	drac	-9.771	sch	-5.078	anjm	0.618

Nul situatie december 2006

station	ref. 1	dz stat-ref1	ref. 2	dz stat-ref2	ref. 3	dz stat-ref3	ref. 4	dz stat-ref4
I100	0674	-10.148	drac	-11.172	schl	-6.479	anjm	-0.783
I101	0674	-10.119	drac	-11.143	schl	-6.450	anjm	-0.754
I102	0674	-10.159	drac	-11.183	schl	-6.490	anjm	-0.794
I103	0674	-10.214	drac	-11.238	schl	-6.545	anjm	-0.849
I104	0674	-9.221	drac	-10.245	schl	-5.552	anjm	0.144
I105	0674	-9.096	drac	-10.120	schl	-5.427	anjm	0.269
I106	0674	-10.420	drac	-11.444	schl	-6.751	anjm	-1.055
I107	0674	-10.269	drac	-11.293	schl	-6.600	anjm	-0.904

ame1 = NAM locatie Ameland Oost, anjm= NAM locatie Anjum,  
drac= 06-GPS Drachten, schl=Schiernmonnikoog

Voor het bepalen van de hoogteverschillen tussen de onderlinge meetpunten moet uiteraard de betreffende aanmeting zoals uitgevoerd door Fugro-Inpark nog worden toegepast.

In de tabel 8.2 zijn de door Fugro-Inpark gemeten hoogteverschillen tussen GPS-ARP en meetpunten toegepast op de door de firma 06-GPS berekende GPS-VRS hoogte. Daar waar mogelijk is tevens een vergelijk opgenomen met de door RWS gepubliceerde NAP hoogte van hetzelfde punt.

### 8.3 Bepaalde meetpunt hoogte op basis van GPS-VRS

In onderstaande tabel zijn de door het bedrijf 06-GPS BV bepaalde GPS hoogtes, samen met de door Fugro-Inpark bepaalde hoogteverschil van GPS antenne tot meetpunt (offset) in tabelvorm weergegeven. De berekende hoogtes zijn slechts indicatief. Voor de bodemdalingsanalyse wordt gebruik gemaakt van tussen meetpunten gemeten hoogteverschillen.

Tabel 8.2

Meetpunt	Offset (Fugro)	GPS-ARP (06-GPS)	Hoogte Meetpunt	NAP datum RWS archief	NAP Waarde RWS archief	Vershil
2C0064	4.0509	3.471	-0.580	3/3/2001	-0.582	-0.002
2C0065	4.0236	3.471	-0.553	6/30/2001	-0.555	-0.002
2C0066	4.1265	3.471	-0.656	6/30/2001	-0.658	-0.003
RWS Nes PL4	5.1628	8.920	3.757	1/1/2002	3.761	0.004
2C0029	4.0773	2.960	-1.117	7/7/2004	-1.127	-0.010
2C0030	4.0603	2.960	-1.100	7/7/2004	-1.110	-0.010
2C0031	4.0037	2.960	-1.044	Hoogte	aangepast	
2C0033	3.9112	3.106	-0.805	7/7/2004	-0.809	-0.004
2C0034	4.0145	3.106	-0.909	7/7/2004	-0.912	-0.003
2C0035	4.0731	3.106	-0.967	7/7/2004	-0.970	-0.003
RWS Nes PL1	5.1670	8.924	3.757	1/1/2002	3.761	0.004
2D0105	3.9133	2.825	-1.088	Geen Historie		



Nul situatie december 2006

2D0106	3.9949	2.825	-1.170	Geen Historie		
2D0107	4.0203	2.825	-1.195	Geen Historie		
2C0026	4.1411	2.909	-1.232	3/23/1997	-1.228	0.004
2C0027	4.0490	2.909	-1.140	3/23/1997	-1.136	0.004
2C0028	4.0209	2.909	-1.112	3/23/1997	-1.107	0.005
2D0048	3.9374	3.566	-0.371	7/7/2004	-0.368	0.003
2D0049	4.0133	3.566	-0.447	7/7/2004	-0.444	0.003
2D0050	4.0213	3.566	-0.455	7/7/2004	-0.452	0.003
2D0066	3.8671	3.216	-0.651	Geen publicatie		
2D0067	4.0216	3.216	-0.806	Geen publicatie		
2D0068	4.0201	3.216	-0.804	Geen publicatie		
2D0063	4.1367	2.953	-1.184	Geen publicatie		
2D0064	4.0012	2.953	-1.048	Geen publicatie		
2D0065	4.0247	2.953	-1.072	Geen publicatie		
2D0108	3.9907	3.573	-0.418	Geen publicatie		
2D0109	4.1064	3.573	-0.533	Geen publicatie		
2D0110	4.0208	3.573	-0.448	Geen publicatie		
RWS Nes PL2	5.1631	8.921	3.758	1/1/2002	3.761	0.003
2D0054	4.1148	2.988	-1.127	Geen publicatie		
2D0055	4.0233	2.988	-1.035	Geen publicatie		
2D0056	4.0243	2.988	-1.036	Geen publicatie		
2M004N	3.9229	4.290	0.367	Geen Historie		
2M004M	4.1413	4.290	0.149	Geen Historie		
2M004Z	4.0198	4.290	0.270	Geen Historie		
2D0059	4.0470	4.925	0.878	6/30/2001	0.880	0.002
2D0060	3.8763	4.925	1.049	6/30/2001	1.051	0.002
2D0061	4.0196	4.925	0.905	6/30/2001	0.908	0.003
2G0042	4.0734	3.537	-0.536	11/15/2005	-0.537	-0.001
2G0043	4.0546	3.537	-0.518	11/15/2005	-0.522	-0.004
2G0044	4.0241	3.537	-0.487	11/15/2005	-0.494	-0.007
2H0042	4.1127	3.299	-0.814	Geen publicatie		
2H0043	4.0987	3.299	-0.800	Geen publicatie		
2H0044	4.0211	3.299	-0.722	Geen publicatie		
2G0048	3.9171	3.134	-0.783	Geen publicatie		
2G0049	3.9226	3.134	-0.789	Geen publicatie		
2G0050	4.0207	3.134	-0.887	Geen publicatie		
2H0057	4.1456	3.652	-0.494	11/25/1993	-0.056	0.438
2H0058	4.1066	3.652	-0.455	11/25/1993	-0.023	0.432
2H0059	4.0255	3.652	-0.374	11/25/1993	-0.044	0.330
2H0038	4.0532	4.037	-0.016	Geen publicatie		
2H0039	4.0452	4.037	-0.008	Geen publicatie		
2H0040	4.0197	4.037	0.017	Geen publicatie		
M10N	4.0565	3.431	-0.626	Geen Historie		
M010M	4.0865	3.431	-0.656	Geen Historie		
M101Z	4.0203	3.431	-0.589	Geen Historie		
M013N	3.9137	2.815	-1.099	Geen Historie		
M013M	3.8679	2.815	-1.053	Geen Historie		



Nul situatie december 2006

M013Z	4.0236	2.815	-1.209	Geen Historie		
M014N	3.9219	4.131	0.209	Geen Historie		
M014M	4.0286	4.131	0.102	Geen Historie		
M014Z	4.0193	4.131	0.112	Geen Historie		
M009N	4.1221	3.761	-0.361	Geen Historie		
M009M	4.0268	3.761	-0.266	Geen Historie		
M009Z	4.0205	3.761	-0.260	Geen Historie		
M012N	4.0465	3.730	-0.317	Geen Historie		
M012M	3.9808	3.730	-0.251	Geen Historie		
M012Z	4.0245	3.730	-0.295	Geen Historie		
M008N	4.0359	3.502	-0.534	Geen Historie		
M008M	4.1121	3.502	-0.610	Geen Historie		
M008Z	4.0207	3.502	-0.519	Geen Historie		
M015N	3.7643	3.002	-0.762	Geen Historie		
M015M	3.8649	3.002	-0.863	Geen Historie		
M015Z	4.0206	3.002	-1.019	Geen Historie		
M007N	4.0220	3.411	-0.611	Geen Historie		
M007M	3.9033	3.411	-0.492	Geen Historie		
M007Z	4.0254	3.411	-0.614	Geen Historie		
RWS Nes pl3	5.1635	8.921	3.758	1/1/2002	3.761	0.004
0A2689	4.2153	3.407	-0.808	7/12/2003	-0.829	-0.021
0A2691	4.8204	5.690	0.870	7/12/2003	0.863	-0.007
0A2686	5.3331	5.205	-0.128	7/12/2003	-0.131	-0.003
M005N	3.9374	3.999	0.062	Geen Historie		
M005M	3.8939	3.999	0.105	Geen Historie		
M005Z	4.0197	3.999	-0.021	Geen Historie		
M011N	3.9794	4.076	0.097	Geen Historie		
M011M	3.9218	4.076	0.154	Geen Historie		
M011Z	4.0209	4.076	0.055	Geen Historie		
0A4025	1.2739	8.224	6.950	7/12/2003	6.936	-0.014
M003N	3.9732	3.716	-0.257	Geen Historie		
M003M	3.9242	3.716	-0.208	Geen Historie		
M003Z	4.0243	3.716	-0.308	Geen Historie		
M006N	3.9396	3.235	-0.705	Geen Historie		
M006M	3.9448	3.235	-0.710	Geen Historie		
M006Z	4.0200	3.235	-0.785	Geen Historie		
H032	3.9975	3.107	-0.891	Geen publicatie		
H033	3.9800	3.107	-0.873	Geen publicatie		
H034	4.0206	3.107	-0.914	Geen publicatie		
M002N	4.0464	2.971	-1.075	Geen Historie		
M002M	3.8848	2.971	-0.914	Geen Historie		
M002Z	4.0253	2.971	-1.054	Geen Historie		
M001N	3.8580	2.940	-0.918	Geen Historie		
M001M	4.0498	2.940	-1.110	Geen Historie		
M001Z	4.0221	2.940	-1.082	Geen Historie		
H035	4.0122	3.408	-0.604	Geen publicatie		
H036	3.9839	3.408	-0.576	Geen publicatie		

Nul situatie december 2006

H037	4.0207	3.408	-0.613	Geen publicatie		
H048	3.9009	3.295	-0.606	Geen publicatie		
H048M	3.9091	3.295	-0.614	Geen Historie		
H048Z	4.0257	3.295	-0.731	Geen Historie		
M016N	3.9085	3.662	-0.247	Geen Historie		
M016M	3.9718	3.662	-0.310	Geen Historie		
M016Z	4.0201	3.662	-0.358	Geen Historie		
L103	4.6341	3.814	-0.820	Geen Historie		
L107	4.6357	3.759	-0.877	Geen Historie		
L106	3.5871	3.608	0.021	Geen Historie		
L101	4.6199	3.909	-0.711	Geen Historie		
L100	4.5677	3.880	-0.688	Geen Historie		
L105	4.7061	4.932	0.226	Geen Historie		
L102	4.5681	3.869	-0.699	Geen Historie		
L104	4.4566	4.807	0.350	Geen Historie		

De historische vergelijking laat met uitzondering van de punten 2H0057-58-59 geen opzienbarende verschillen zien. Met betrekking tot deze laatstgenoemde peilmerken valt op dat ze gelegen zijn nabij het door RWS als vervallen aangemerkt puntcluster 2H0041 (waarvoor geen hoogtes zijn gepubliceerd). Mogelijk dat hier sprake is van verwisseling van meetpunten.

Een punt van aandacht bij het vergelijken van GPS-VRS en historische NAP gegevens is dat de berekeningen tot stand zijn gekomen op een manier die een rechtstreeks vergelijk niet mogelijk maakt. Ten eerste vanwege onzekerheden in het geoïde model en ten tweede vanwege onbekende restfouten in de aansluiting van de GPS referentiepunten. Deze foutenbronnen zijn verweven met het gebruik van historische data en kunnen voor de toekomst, door identieke processing van GPS meetcampagnes geëlimineerd worden. Om dan, een nog hogere nauwkeurigheid te kunnen realiseren, wordt een integrale vereffening van alle meetgegevens aanbevolen, waarbij tevens gebruik gemaakt wordt van precieze satellietbaan parameters.

Voor de bepaling van de tot nu toe opgetreden bodemdaling bleek de VRS methode echter uitermate geschikt. Voordelen van de techniek zijn onder andere het snel beschikbaar komen van resultaten en een inzichtelijke vereffeningproces. Vanwege het feit dat de met GPS bepaalde hoogtes geconverteerd moeten worden naar orthometrische hoogtes, en dat daaraan een modelonzekerheid van ongeveer 3.5mm verbonden is, leek het weinig zinvol de precisie van de GPS berekening verder te verbeteren zonder grip te hebben op de onzekerheid in het geoïde model.

Voorafgaand aan de eerstvolgende vlakdekkende GPS meting wordt een integrale vereffening van alle GPS stations voorgesteld, waarbij ook de precieze satellietbanen in post processing worden meegenomen. Voor deze nulmeting heeft deze methodiek echter geen significant effect.



## 9. Controlemetingen op land

In aanvulling op de 3 operationele Wadden GPS units werd de 4<sup>e</sup> GPS unit ter controle, nabij een ondergronds merk van het NAP netwerk, op land opgesteld. Door de units onderling te rouleren werd hiermee bereikt dat een onafhankelijke controle op alle vier de GPS systemen uitgevoerd kon worden

Op basis van de VRS berekening werden de volgende hoogtes voor het ondergrondse meetpunt 0A2592 bij Nes op Ameland bepaald.

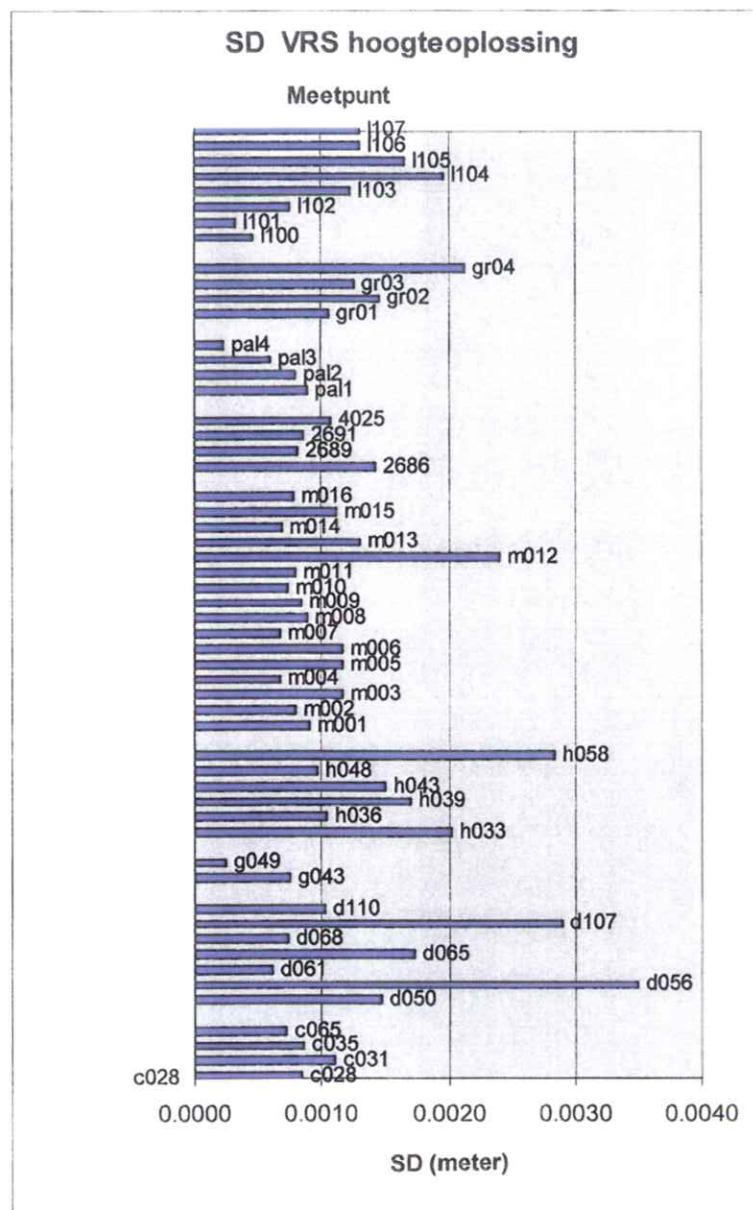
<b>VRS controle Nes Ameland punt 0A2592</b> <i>(voorafgaand aan uiteindelijke geïntegreerde postprocessing)</i>					
Paal	GPS (ARP hoogte)	Offset	Hoogte Meetpunt	Start Loggen	Einde Loggen
1	8.9240	5.1670	<b>3.7570</b>	2/6/2006	8/6/2006
2	8.9210	5.1631	<b>3.7579</b>	17/6/2006	22/6/2006
3	8.9210	5.1635	<b>3.7575</b>	6/7/2006	11/7/2006
4	8.9200	5.1628	<b>3.7572</b>	27/5/2006	1/6/2006
		Gem.	<b>3.7574</b>		

Figuur 9.1 Resultaten GPS controle meting 0A2592

Geen van de bepaalde hoogte verschillen wijkt meer dan 1mm af van het gemiddelde. De VRS methode blijkt zeer consistente resultaten op te leveren.



Omdat deze met de VRS techniek bepaalde hoogtevergelijking niet voor de eenmalig aangemeten wadhoogtemerken kon worden bepaald, werd besloten om daggemiddeldes te berekenen. In onderstaande grafiek is voor een aantal punten de standaarddeviatie van de dagberekende VRS hoogte weergegeven.



Figuur 9.2 Standaardafwijking van VRS hoogteoplossing voor Wadmeetmerken

Op basis van figuur 9.2 blijkt dat punt 2D0056, 2D0107, en 2H0058 een standaardafwijking hebben van 3mm. De resterende punten hebben een standaardafwijking van 2mm of minder terwijl de overgrote meerderheid (44 van 54 punten) ofwel 82% een standaardafwijking van maximaal 1mm heeft.

Tot slot werd besloten om alle 4 de systemen gelijktijdig te laten waarnemen op een korte basislijn. De systemen werden hiertoe opgesteld op de NAM locatie Grijpskerk. Resultaten van de VRS controle zijn onderstaand toegevoegd.

<b>VRS controle Grijpskerk HP1</b> (afsluiting meting)					
Paal	GPS (ARP hoogte)	Offset	Hoogte Meetpunt	Start Loggen	Einde Loggen
1	5.517	4.160	<b>1.3575</b>	22/9/2006	28/9/2006
2	5.310	3.953	<b>1.3566</b>	22/9/2006	28/9/2006
3	5.504	4.148	<b>1.3565</b>	22/9/2006	28/9/2006
4	5.281	3.924	<b>1.3571</b>	22/9/2006	28/9/2006
		Gem.	<b>1.3569</b>		

Figuur 9.3

Uit deze vergelijking blijkt dat de berekende hoogte van het referentie peilmerk HP1, tot beter dan 1mm overeenkomt met het gemiddelde van de met behulp van de 4 verschillende GPS systemen bepaalde hoogte. Net zoals aangetoond bij het ondergrondse peilmerk Nes blijken ook nu geen significante verschillen waarneembaar tussen de verschillende GPS ontvangers en antennes.

#### 10. Peilmerken met zowel waterpas als GPS meting

Zoals reeds vermeld in hoofdstuk 9 is nabij het ondergrondse merk bij Nes (Ameland) een uitgebreide vergelijking van de GPS meetsystemen uitgevoerd. Vanwege de succesvolle resultaten werd besloten om ook op land een aantal ondergrondse peilmerken te bezoeken die als onderdeel van de waterpascampagne reeds waren aangemeten.

In aanvulling op de GPS metingen op het Wad werd een aantal nabij de kust gelegen ondergrondse peilmerken aangesloten op het waterpasnetwerk.

Een en ander heeft ertoe geleid dat op de volgende punten zowel GPS als waterpasmetingen zijn uitgevoerd: 0A2592, 2D0048, 2D0049, 2D0050, L105, M014N, M014M, M014Z, H032, H033, H034, 0A2689, 0A2691, 0A2686, 0A4025

Deze metingen zijn aanvullend op het Meetplan en bieden een extra controlemogelijkheid.

## **11. Actualisering Meetplan Waddenzeegebied**

Overeenkomstig artikel 30 lid 6 van het Mijnbouwbesluit is het Meetplan Waddenzee geactualiseerd. Dit Meetplan is gebaseerd op de in 2006 behaalde resultaten en inzichten en aangevuld met opmerkingen van Staatstoezicht op de Mijnen. Het betreffende Meetplan is op 1-December 2006 ingediend (NAM referentie EP200611231989MW) en bevat tevens een beschrijving van de meetmethodes en nauwkeurigheden.

## **12. Referenties**

- Continuous Object Monitoring with GPS at ANJ (NAM447\_4), GeoService®, January 2006.
- Continuous Object Monitoring with GPS at ANJM, Ext. 1 (NAM457\_1), GeoService®, March 2006.
- GPS Survey NAM Waddenzee, ir. Jean-Paul Henry, 06-GPS, October 26, 2006.
- Hoogte aansluiting GPS meting Waddenzee 2006, Fugro-Inpark B.V., December 2006.
- Actualisering Meetplan Waddenzeegebied EP200611231989MW, NAM B.V., 1 December 2006