



Auditcommissie Bodemdaling Waddenzee t.g.v.
gaswinning

Waterdienst

Zuiderwagenplein 2
8224 AD Lelystad
Postadres Postbus 17
8200 AA Lelystad
T 0320 29 84 11
F 0320 24 92 18
www.rijkswaterstaat.nl

Contactpersoon

dr.ir. N.A. Kinneging
T (06) 53215242
niels.kinneging@rws.nl

memo

Nauwkeurigheid vaklodingen RWS

Geachte auditcommissie,

Hierbij treft u de door mij beloofde notitie over de nauwkeurigheid van de vaklodingen aan.

Met vriendelijke groet,

Niels Kinneging
Rijkswaterstaat Waterdienst

Datum

28 mei 2010

Bijlage(n)

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Rijkswaterstaat (RWS) heeft aan de Nederlandse Aardolie Maatschappij b.v. (NAM) gegevens van de bodemhoogte van de Waddenzee ter beschikking gesteld voor de periode 1985 tot en met 2008. Deze gegevens zijn opgedeeld in 4 lodingscycli, 1985-1990, 1991-1996, 1997-2002 en 2003-2008. Het betreft hier het zogenaamde vaklodingsprogramma, dat een onderdeel is van de landelijke monitoring van RWS (MWTL). Naast de vaklodingen maken ook de jaarlijkse kustlodingen (Jarkus) deel uit van het landelijke programma. RWS gebruikt deze gegevens o.a. als basisgegevens voor verschillende modellen voor waterstanden en golven. Daarnaast worden de gegevens gebruikt in onderzoeksprojecten voor bv. zand- en slibtransport in de Waddenzee.

De NAM heeft deze gegevens gebruikt voor de bodemdalingsstudie in relatie tot gaswinning.

In de totale periode van 24 jaar zijn er vele technische ontwikkelingen geweest op het gebied van de inwinning en verwerking van bodemhoogtegegevens. RWS probeert het vaklodingsprogramma zo consistent mogelijk te houden, omdat de vergelijkbaarheid van de gegevens door de jaren heen belangrijk is.

Bij de analyse door de NAM is gebleken, dat de gegevens uit de 4^e cyclus een afwijking vertonen ten opzichte van de voorgaande cycli, die niet vanuit normale morfologische verschijnselen verklaard kan worden. Het blijkt dat veranderingen in de inwinmethodes tussen de 3^e en 4^e cyclus een goede verklaring bieden voor de afwijkingen.

Op de workshop van 16 maart 2010 in Assen is uitgebreid stilgestaan bij de oorzaken van de verschillen, de nauwkeurigheid van de verschillende methodes en de gewenste strategie voor de monitoring van de bodemhoogte van de Waddenzee in relatie tot de gaswinning. Hierbij kwam naar voren, dat er behoefte is aan een korte notitie, waarin op diverse aspecten van de nauwkeurigheid van lodingen en laseraltimetrie wordt ingegaan. In deze notitie probeer ik meer duidelijkheid hierover te geven.

Er is geen garantie, dat er in de toekomst geen trendbreuk meer optreedt. RWS streeft er naar altijd de beste methodes in te zetten. Dat betekent, dat we nieuwe methodes inzetten als deze beschikbaar komen en deze getest zijn. Dat zou een trendbreuk kunnen betekenen, maar er zijn geen aanwijzingen, dat er nu nog een systematische afwijking in de metingen zit. Nieuwe methodes zouden dan alleen een grotere precisie betekenen en geen effect op de trend hebben.

1.2 Meetstrategie vaklodingsprogramma

De afgelopen jaren zijn er enkele veranderingen gekomen in de manier waarop de lodingen voor de kust (Jarkus) en de vaklodingen worden uitgevoerd. Oorspronkelijk werden alle metingen uitgevoerd met RWS peilschepen, waarbij de bodemhoogte werd bepaald door de loding te corrigeren voor de lokale waterstand (afgekort WST). De waterstand werd verkregen door de metingen op peilmeetstations met behulp van een waterstandsmodel te interpoleren. Rond 2002 is door alle meetdiensten overgestapt op een directe hoogtemeting met behulp van GPS-LRK. Vanaf 2003 is er begonnen met het meten van de droogvallende platen en de duinen met behulp van laseraltimetrie.

Dit betekent, dat er grote verschillen zijn in de meetmethodes, die zijn gebruikt in de cycli 3 en 4.

Waterdienst

Om de aanwezigheid van een mogelijke trendbreuk in de gegevens door deze veranderingen te onderzoeken heeft RWS in 2007 een onderzoek laten uitvoeren door Periplus Consultancy b.v. (zie referentie [1]).

Datum
28 mei 2010

1.3 Workshop 16 maart 2010

Op de workshop van 16 maart 2010 in Assen heb ik in mijn presentatie aangegeven, dat de door de NAM gevonden trendbreuk goed verklaarbaar is uit de verschillen in de meetmethodes. Op grond van een onderzoek door Periplus Consultancy b.v. [1], waarover later nog meer, heeft Rijkswaterstaat besloten geen correcties op de oude (cycli 1-3) of nieuwe (cyclus 4) metingen door te voeren. Hierbij speelt mee, dat de metingen de best mogelijke nauwkeurigheid geven op het moment van inwinning.

Verder is op de workshop een discussie gevoerd of laseraltimetrie een goede methode kan zijn om de bodemdaling Waddenzee te monitoren. Vergelijking van laserdata en lodingsgegevens suggereert een hoge nauwkeurigheid, maar zonder een toelichting en statistische analyse is het niet goed mogelijk om hierop een keuze te bepalen.

1.4 Voor- en nadelen van de meetmethodes

Voor de vaklodingen Waddenzee wordt gebruik gemaakt van echolodgingen en laseraltimetrie. Deze meetmethodes vullen elkaar goed aan, zeker in een intergetijdegebied. In een intergetijdegebied is er een overlappende zone waar beide methodes gebruikt kunnen worden. Dit geeft de mogelijkheid om de betrouwbaarheid van de methodes te toetsen (zie het volgende hoofdstuk). Het grote voordeel van laseraltimetrie is een vlakdekkende hoogtemeting met een hoge resolutie (meer dan 10 punten per m²). Door de noodzakelijke dataverwerking en filtering zijn metingen met laseraltimetrie niet direct na opname beschikbaar. Hiervoor wordt meestal een termijn van 6 weken aangehouden.

Single beam echoloding wordt gemeten langs raaien en is niet vlakdekkend. In principe kan met multibeam echoloding een vlakdekkende meting gedaan worden, maar in ondiep water kan slechts een smalle strook in één keer gemeten worden, wat inefficiënt is. De verwerking van echolodgingen is minder bewerkelijk dan voor laseraltimetrie en er zijn meestal al na een dag gevalideerde metingen beschikbaar.

Beide methodes zijn gevoelig voor de weersomstandigheden. Laseraltimetrie wordt beperkt door wind, bewolking en neerslag en daarnaast zijn er aanvullende eisen wat betreft de waterstanden. Lodgingen worden vooral beperkt door wind en zeegang en de bereikbaarheid van gebieden wordt beperkt door de waterstand en de diepgang van het schip.

2 Begrippen nauwkeurigheid

(ontleend aan AGI-rapporten [2] en [3])

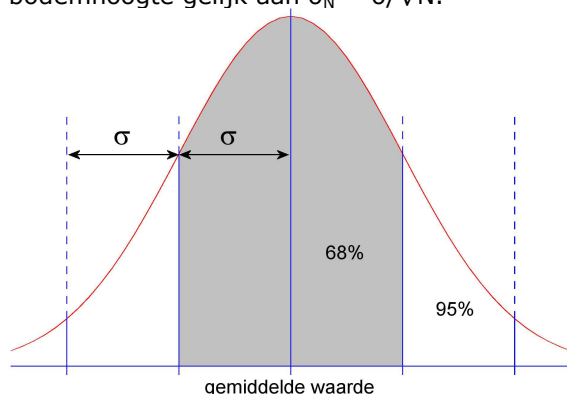
In de geodesie omvat het begrip nauwkeurigheid twee onderdelen, precisie en betrouwbaarheid. Precisie geeft meestal de te verwachten of de gemeten standaard afwijking aan. Betrouwbaarheid geeft de kans weer, waarmee fouten in de metingen ook ontdekt kunnen worden.

2.1 Standaardafwijking en kansverdeling

Om deze materie helder te kunnen beschrijven, gebeurt dit door middel van een voorbeeld. Stel dat een beleidsafdeling de maaiveldligging met een precisie van ± 10 cm wil weten. Deze eis zegt iets over de grootte van de fout die wordt toegestaan. Dit is lang niet alles! Stel we hebben een gebied met daarin 1000 waarnemingen. Moeten die allemaal minder dan 10 cm van de werkelijkheid afwijken? Of is het niet zo erg als er soms een foutje van 20 cm voorkomt? En hoe vaak mag dit gebeuren? En wat als de fout 50 cm is?

Om met dit soort vragen om te kunnen gaan, is het handig om gebruik te maken van kansverdelingen. Een kansverdeling geeft weer hoe vaak een meetwaarde voor een bepaalde grootte (bijvoorbeeld de hoogte) te verwachten is als deze grootte heel vaak gemeten wordt. Het meest zal de ware of gemiddelde waarde gemeten worden, maar heel vaak ook niet. Een kansverdeling geeft dus een beeld van de spreiding in waarnemingen op grond van meetfouten, of in de daaruit afgeleide grootheden. Uit ervaring is gebleken dat veel variabelen (bij benadering) een normale (Gaussische) kansverdeling hebben (figuur 1). De spreiding wordt normaal gesproken gekwalificeerd met de afstand tussen de gemiddelde waarde μ en de waarde bij de buigpunten van zo'n kansverdeling. Dit wordt de standaardafwijking σ genoemd. Voor een normale verdeling geldt dat 68% van de waarnemingen een afwijking van minder dan één standaardafwijking tot het gemiddelde heeft en 95% van de waarnemingen minder dan twee maal de standaardafwijking.

Fouten, die ongecorrleerd zijn, zullen elkaar min of meer opheffen, wanneer deze voor verschillende metingen gemiddeld worden. Als voor de bepaling van de gemiddelde bodemhoogte in een gridcel, de waarden van de N meetpunten in die gridcel worden gemiddeld is de standaardafwijking voor de gemiddelde bodemhoogte gelijk aan $\sigma_N = \sigma/\sqrt{N}$.



Figuur 1

Ruimtelijke verdeling van fouten

Hiermee zijn we er nog niet. De nauwkeurigheidseis zegt namelijk helemaal niets over de ruimtelijke verdeling van de fout die wordt toegestaan. Mag de 5% met een afwijking van meer dan 20 cm allemaal bij elkaar zitten in een klein gebiedje. In figuur 2 worden een aantal verschillende fouten weergegeven.

De fouten zijn van "random" en "systematische" aard. De random of toevallige fout wordt met groen aangegeven en de systematische fout in het rood. Beide fouten hebben dezelfde standaardafwijking (-amplitude), maar een heel verschillend ruimtelijk karakter. De ene is random per meetpunt en de daadwerkelijk optredende fout is per meetpunt niet te voorspellen, alleen dat de grootte binnen de normale verdeling zal liggen. De andere fout is systematisch van karakter, hij geeft voor groepen meetpunten die dicht bij elkaar liggen (min of meer) dezelfde grootte, pas een eind verderop is de grootte van de fout anders en niet gecorreleerd.

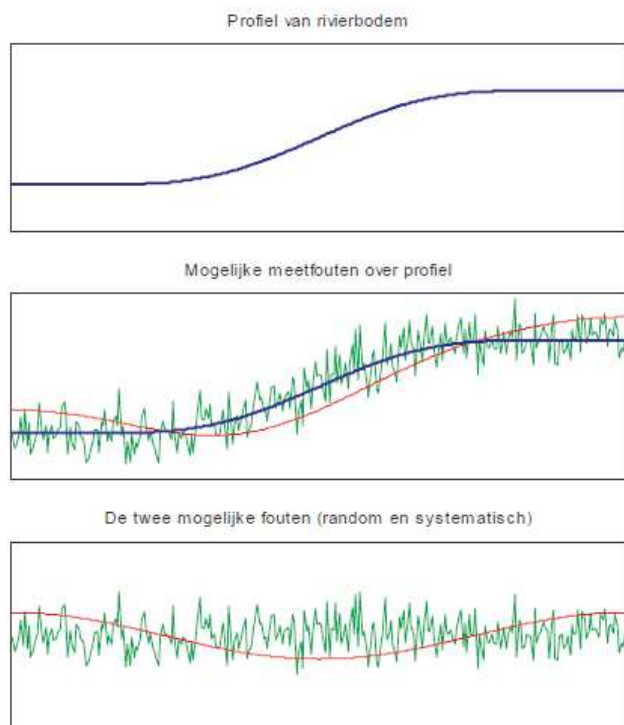
Binnen een gebied met een bepaalde omvang is de systematische fout (min of meer) constant, maar per blok random. Kijken we naar een verzameling van dit soort blokken met elk haar eigen systematische constante fout in een groter gebied, dan zijn deze weer normaal verdeeld.

In het middelste plaatje is uit de groene lijn veel beter het profiel terug te vinden dan uit de rode. Dit komt omdat je op het oog de random-ruis aardig kan wegdenken. Met filtertechnieken kan je dat ook echt wegfilteren. De rode lijn lijkt heel goed, omdat er geen ruis op voorkomt. Hierdoor heb je gauw de neiging om te denken dat hij zonder fouten is. Echter de fouten van de rode lijn hebben een heel ander karakter, ze zijn systematisch van aard. Dit betekent dat ze voor een groter gebied of voor een grotere groep gemeten punten hetzelfde zijn. Pas voor een gebiedje verderop heeft deze fout weer een toevallige, niet te voorspellen waarde uit de normale verdeling.

Dit soort verschillende fouten komt steeds vaker voor doordat veel inwinsystemen, zoals laseraltimetrie en multibeam, uit verschillende sensoren zijn samengesteld. Elk van deze sensoren heeft een eigen foutengedrag. En de ene sensor geeft per milliseconde 'random fouten' terwijl een andere sensor dat per 10 seconden doet, waarin meestal al een groot gebied is gemeten. Voor zo'n gebied is de fout dan systematisch, terwijl het eigenlijke foutgedrag van de sensor wel random is. Bij een standaardafwijking hoort dus in veel praktische situaties ook een gebiedsgrootte.

Waterdienst

Datum
28 mei 2010



Figuur 2

2.2 Benadering nauwkeurigheidanalyse

Het is vaak niet eenvoudig om de nauwkeurigheid (precisie en betrouwbaarheid) van metingen te kwantificeren. Er zijn benaderingswijzen, die elkaar kunnen aanvullen.

De eerste manier is een voorwaartse analyse vanuit de meet- en verwerkingsmethodes. De tweede manier is een analyse van de meetgegevens zelf, waarbij bij voorkeur meerdere meetmethodes worden vergeleken.

Complexe meetmethodes als laseraltimetrie en hydrografie maken gebruik van een stelsel aan verschillende sensoren in één groot meetsysteem. Ieder van de sensoren kent een eigen nauwkeurigheid, die een doorwerking kent in het eindresultaat. Niet alleen de foutenbronnen van de individuele sensoren beïnvloeden de nauwkeurigheid van het eindresultaat,, maar ook de onderlinge posities van de sensoren (geometrie) en de synchronisatie van de sensoren hebben effect op de nauwkeurigheid. Als alle foutenbronnen goed worden doorgerekend kan de zogenaamde 'Total Propagated Uncertainty (TPU)' worden bepaald in het eindresultaat.

Bij een analyse van de meetresultaten moet worden bedacht, dat het principieel onmogelijk is om de meetfout in een enkele meting te onderscheiden van het signaal (in ons geval de bodemligging). Er zullen dus meerdere metingen onderling vergeleken moeten worden. De vergelijking kan plaatsvinden tussen metingen in verschillende jaren met dezelfde meetmethode of metingen met verschillende meetmethodes (lodingen en laseraltimetrie). Bij de vergelijking moet er altijd rekening gehouden worden met verschillen in bodemligging voor de verschillende meetmomenten.

Het heeft de voorkeur om metingen met verschillende methodes op ongeveer hetzelfde moment te vergelijken, omdat de foutenbronnen dan grotendeels niet gecorreleerd zijn.

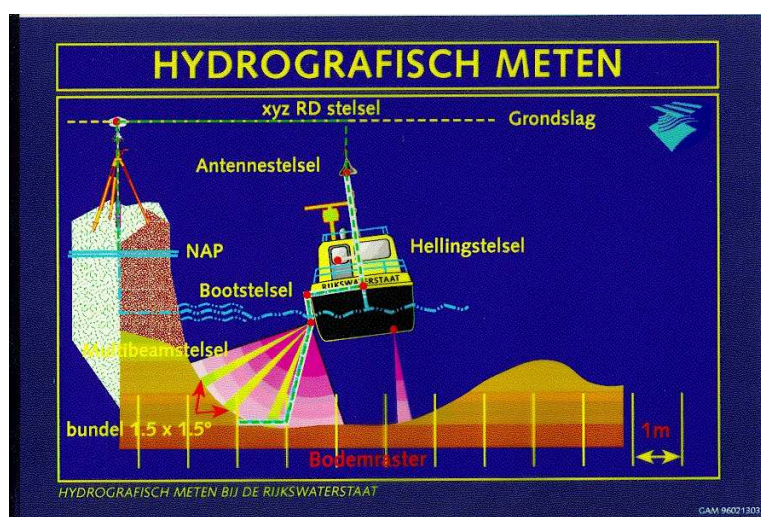
Waterdienst

Datum
28 mei 2010

3 Foutenbronnen

De meetssystemen voor hydrografie en laseraltimetrie bestaan uit een groot aantal sensoren. Met behulp van computersystemen worden de signalen van de sensoren gecombineerd om daarmee de ligging in X, Y en Z van een punt op de bodem te berekenen. Hier worden de sensoren beschreven, de typische fout daarvan en de invloed daarvan op het eindresultaat.

3.1 Lodingen



Figuur 3

GPS plaatsbepaling

De positie van het schip wordt bepaald met het Global Navigation System (GPS). Door gebruik te maken van het LRK (Long Range Kinematic) systeem kan met behulp van een referentiestation aan wal een zeer hoge nauwkeurigheid worden bereikt. De precisie van de positie van het referentiestation zal als een systematische fout in het eindresultaat doorwerken. Daarom wordt deze met een zeer hoge nauwkeurigheid vastgelegd ($\sigma \approx 1$ mm). De positie van het schip kent een precisie van 5 tot 10 cm met een meetfrequentie van 1 positie per seconde. Op dit moment wordt gebruik gemaakt van NETPOS, een vast netwerk van referentiestations.

Bootgeometrie

De bootgeometrie geeft de onderlinge posities en standen van alle sensoren aan boord van het meetvaartuig. De bootgeometrie moet tijdens een onderhoudsbeurt op de werf worden gemeten en ook moet de positie van een sensor opnieuw worden gemeten als deze vervangen is. De posities worden ook met een zeer hoge nauwkeurigheid vastgelegd, omdat fouten hierin als systematische fouten in het eindresultaat terugkomen.

Standsbepaling

Een schip is een bewegend meetplatform, waarvan naast de positie ook de stand in ruimte moet worden gemeten. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een bewegingssensor. Deze sensor meet ook de 'abrupte' bewegingen, waarvoor de GPS-plaatsbepaling een te lage meetfrequentie kent. De belangrijkste gemeten parameters van de bewegingssensor zijn:

- roll – de draaiing ten opzichte van de lengte-as van het schip
- pitch – de draaiing ten opzichte van de as dwars op de lengte van het schip
- heave – de verticale bewegingen van het schip

Waterdienst

Datum

28 mei 2010

Akoestisch systeem

Het eigenlijke meetsysteem bestaat uit een akoestische transducer, die een geluidspuls naar de bodem stuurt en de reflectie van het geluid aan de bodem meet. Door de looptijd van het geluid te vermenigvuldigen met de voortplantingssnelheid van het geluid in water wordt de afstand van de bodem tot de transducer bepaald. Een single beam echolood stuurt een geluidbundel recht naar beneden en meet dus steeds een punt op de bodem. Een multibeam stuurt een brede geluidbundel naar beneden en meet de reflecties onder verschillende hoeken en meet meerdere punten gelijktijdig. Afhankelijk van de diepte kan een echolood enkele tientallen metingen per seconde uitvoeren.

Voortplantingssnelheid geluid in water

Voor een goede meting moet het profiel van de geluidssnelheid in het water bekend zijn. De geluidssnelheid is afhankelijk van de temperatuur en het zoutgehalte van het water en kan daarom ook variëren met de diepte. Door deze variatie kan er refractie/breking van het geluid optreden. Hierdoor lijkt het geluid uit een andere richting te komen als in werkelijkheid en hiervoor moet gecorrigeerd worden.

Bij sterke variaties door bv het getij moet de meting van het geluidssnelheidsprofiel regelmatig herhaald worden.

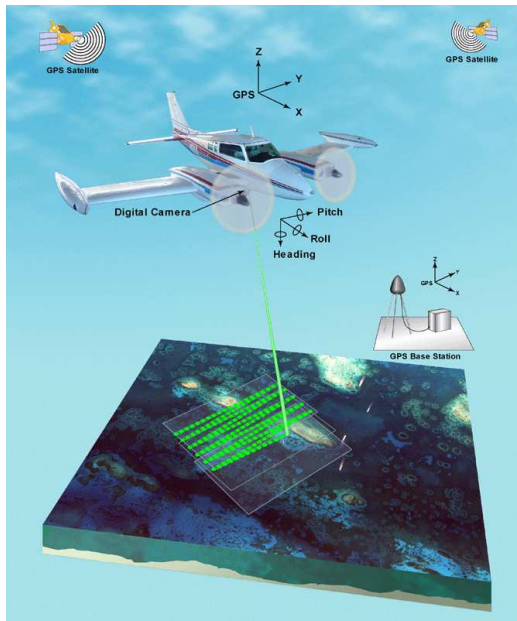
Synchronisatie meetapparatuur

De onderlinge synchronisatie van de meetsensoren is erg belangrijk. Het meetsysteem QINSy zorgt voor de synchronisatie en de geodetische correcties van alle sensoren om de ligging van de bodempunten te bepalen.

Het totale systeem moet regelmatig gekalibreerd worden door het meten van een 'bekende' bodem. Vaak is dit een sluisdrempel, maar op enkele lokaties zijn ook speciale meetdrempels aanwezig. Door dit soort metingen kunnen de systematische afwijkingen geminimaliseerd worden.

De totale precisie van de meting van de bodemhoogte met behulp van echoloding is ongeveer 10 cm (1σ) voor individuele meetpunten.

3.2 Laseraltimetrie



Figuur 4

Het meetstelsel voor laseraltimetrie is heel vergelijkbaar aan dat voor multibeam echolodging. Het meetplatform is hier een vliegtuig of helikopter en de in plaats van een akoestische sensor wordt gebruik gemaakt van een lasersensor. Er worden wel andere eisen gesteld aan de individuele sensoren en ook de verwerking verschilt op een aantal punten.

Inertial Navigation System (INS)

Bij metingen vanuit de lucht (airborn) is het gebruikelijk om het totale systeem van plaatsbepaling, bewegingssensoren en integrale verwerking met geodetische correcties aan te duiden als het INS (Inertial Navigation System).

Lasersysteem

Het lasersysteem zendt met zeer hoge frequentie laserpulsen onder verschillende hoeken naar de bodem. De reflecties hiervan worden gemeten en de looptijd geeft een maat voor de afstand van het de sensor tot de bodem.

Referentievelden

Tijdens laservluchten worden ook altijd meerdere referentievelden gemeten. Dit zijn vlakke velden (vaak voetbalvelden), waarvan de hoogteligging met behulp van standaard geodetische meetmethodes zeer nauwkeurig is vastgesteld ($\sigma < 1$ cm). De overige metingen worden gecorrigeerd voor de metingen van de referentievelden. Hierdoor wordt in feite gecorrigeerd voor veel systematische fouten, die in de metingen aanwezig zijn, omdat deze ook in de metingen van de referentievelden aanwezig zijn.

Rapport [3] geeft een schatting van verschillende foutenbronnen bij laseraltimetrie anno 2004. Na 2004 zijn geen nieuwe analyses over de nauwkeurigheid van laseraltimetrie meer uitgevoerd.

- σ_{terrein} = 2,5 cm (fout door terreinvariatie)
- σ_{laser} = 7,0 cm (fout in laserafstandsmeting)
- $\sigma_{\text{vliegtuig_kort}}$ = 3,0 cm (fout in positie- en standsbepaling vliegtuig, kortgolvlige component)
- $\sigma_{\text{vliegtuig_lang}}$ = 4,0 cm (fout in positie- en standsbepaling vliegtuig, langgolvlige component)
- σ_{ref} = 3,0 cm (fout in aansluiting op NAP-hoogtes, referentieterrain)

Waterdienst

Datum
28 mei 2010

Bij middeling van de metingen voor de gemiddelde waarde per gridcel, zullen de foutbijdragen van de laser en de kortgolvlige component van het vliegtuig snel uitmiddelen. De langgolvlige component en de fout in de referentiemeting zullen minder snel uitmiddelen.

De totale precisie van de meting van de bodemhoogte met behulp van laseraltimetrie is ongeveer 15 cm (1σ) voor individuele meetpunten.

3.3 Onderzoek Periplus

De analyse van Periplus (zie [1]) heeft zich vooral gericht op de Jarkusmetingen. Een trendbreuk hier kan direct gevolgen hebben voor de kustlijnverzorging en de veiligheid van de kustverdediging. Hoewel het onderzoek en de gebruikte data-analyses zich niet gericht hebben op de vaklodingen zijn enkele conclusies daarvoor zeker van toepassing.

Periplus komt tot drie belangrijke foutenbronnen:

- Squat
Squat wordt veroorzaakt door de inzinking van het meetschip vanwege de vaarsnelheid. Hierdoor kan een hogere bodemligging worden gemeten bij de WST methode.
- Waterstandsmodellen
Modellen introduceren altijd een afwijking van de waterstand ten opzichte van de werkelijke waterstand. Deze afwijking is afhankelijk van de afstand tot een meetstation, het getij, de nauwkeurigheid van het model, e.d. In het algemeen zijn de modellen voor de Waddenzee niet heel erg nauwkeurig. Dit komt door het ondiepe karakter van de Waddenzee en de vele geulsystemen.
- False heave
False heave is een effect waarbij de bewegingen van het meetschip tot een schijnbaar hoogte-effect leiden, met name bij het ontbreken van een bewegingssensor bij single beam echolodgingen.

De eerste twee effecten treden op bij de WST methode en de laatste bij de LRK methode. De afwijkingen in Squat en False heave zullen weinig afhankelijk zijn van het gebied. De waterstandsmodellen hebben echter wel duidelijk ruimtelijke verschillen.

In de analyse van Periplus is een gemiddeld verschil tussen LRK en WST gevonden van rond de 10 cm (LRK lager dan WST). Er zijn wel verschillen per gebied, maar de afwijking geldt zeker voor Noord Nederland. Deze afwijking ligt

goed in lijn met de verschillen in de trendanalyse tussen de cycli 3 en 4, die de NAM heeft gevonden.

Op grond van de tot onze beschikking staande gegevens is het niet mogelijk om deze afwijking op te splitsen in bijdragen van de bovengenoemde oorzaken, maar een systematische afwijking in de orde van grootte, die door de NAM gevonden is, is zeer goed verklaarbaar.

Door de onzekerheid in de oorzaken van de afwijking en doordat de effecten van de systematische afwijkingen op de ligging van de kustlijn relatief gering zijn, heeft RWS besloten hiervoor niet te corrigeren.

Op grond van het bovenstaande ontstaat een paradox. Enerzijds is de nauwkeurigheid van de metingen uit de 4^e cyclus het beste van alle cycli, maar anderzijds past deze cyclus het minst goed in de trend van de voorgaande cycli.

Daarom lijkt mij de volgende benadering zeer werkbaar.

De eerste drie cycli zijn onderling vergelijkbaar en kunnen daarvoor een goede basis geven voor de een analyse van autonome trend van de bodemligging in het gebied. De 4^e cyclus heeft de hoogste nauwkeurigheid en kan daarom als een goede nulmeting dienen voor de komende monitoringsactiviteiten.

4 Vergelijking lodingen en laseraltimetrie

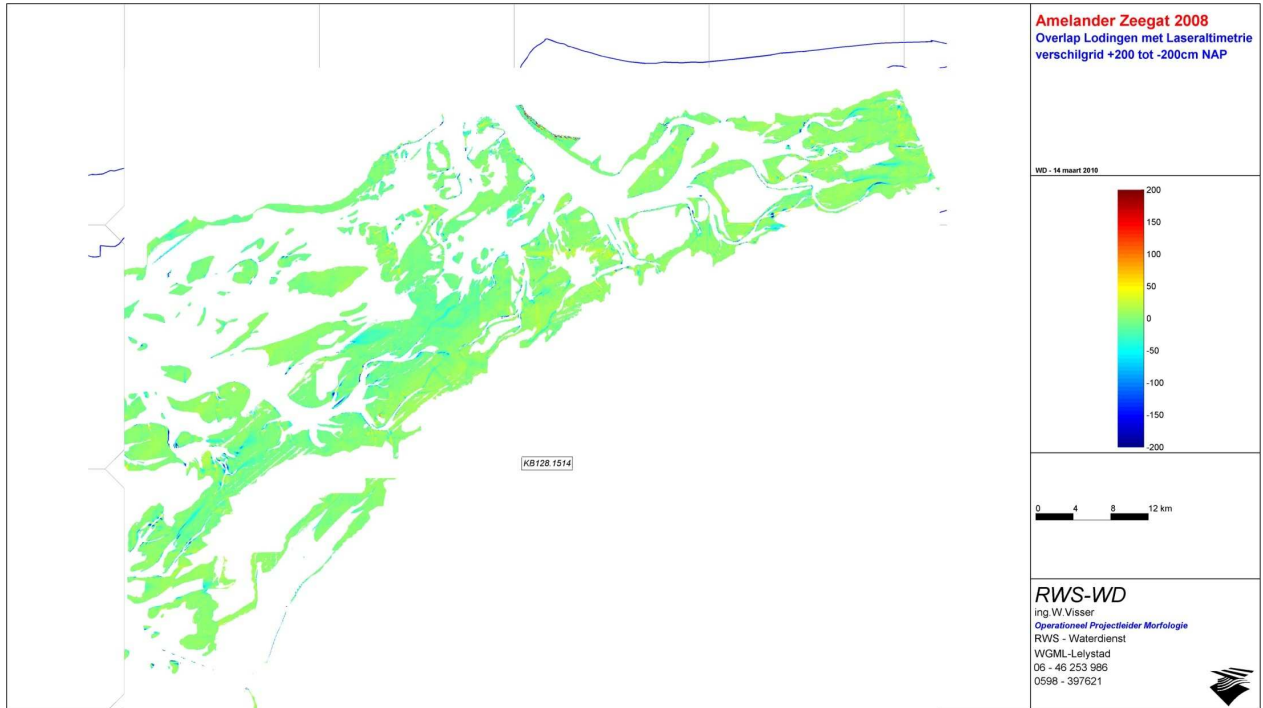
Voor de gegevens van de 4^e cyclus is een vergelijking gemaakt tussen de lodingsdata en de laserdata. Deze vergelijking is natuurlijk alleen mogelijk voor die gebieden waarvoor data van beide methodes beschikbaar is. De vergelijking is gemaakt voor het product, dat voor de vaklodingen wordt gemaakt. Dit is een grid met een gridgrootte van 20x20 m². De lodingen zijn voor dit grid geïnterpoleerd met behulp van Digipol. Voor de laserdata zijn alle metingen per gridcel gemiddeld.

In figuur 5 is het verschil weergegeven voor de metingen in het Amelander Zeegat in 2008. Het is duidelijk dat er een overlap bestaat voor veel gebieden, maar niet voor de hoogste delen van de platen (alleen laserdata beschikbaar) en voor de geulen (alleen lodingen beschikbaar).

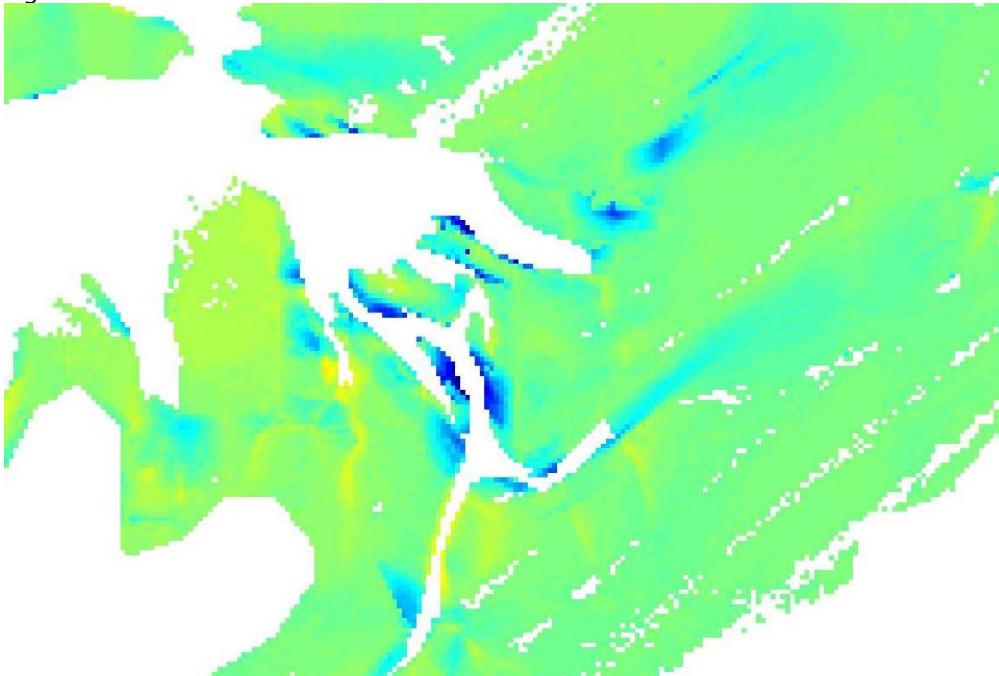
De grootste verschillen worden gevonden aan de randen van de geulen. Dit is goed verklaarbaar aangezien dit de meest dynamische gebieden van de Waddenzeebodem zijn. Deze verschillen worden niet veroorzaakt door de verschillende meetmethodes, maar door de verschillende opnameperiode en daardoor verschillen in de bodemligging. Dus de geconstateerde dynamiek is het gevolg van een verandering in de periode tussen de opnames. Andere mogelijke verklaringen, zoals een verschil in horizontale positie, zouden andere verschillen geven en geen negatief verschil aan beide zijden van de geul (zie detail).

Waterdienst

Datum
28 mei 2010



Figuur 5a



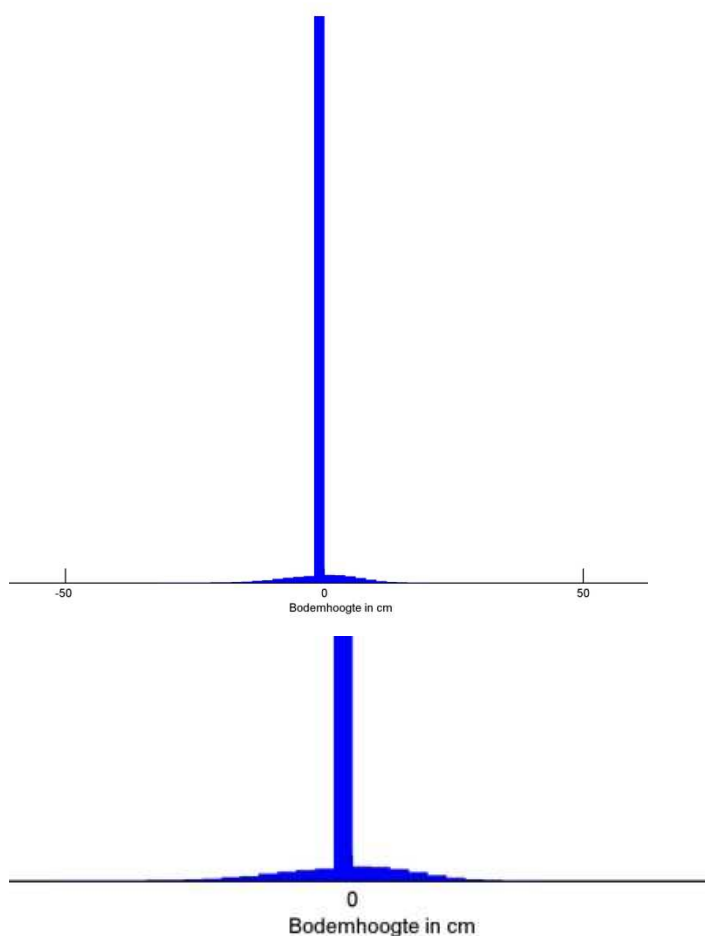
Figuur 5b

Het histogram van de verschillen (figuur 6) toont een samenstelling van twee verdelingen: een hoge smalle piek (verschil ongeveer 2 cm) en een lage brede verdeling (standaard afwijking ong. 10 cm). Hieruit kan geconcludeerd worden dat er een tweedeling in de data aanwezig is. Deze correspondeert met de verschillen op de platen en langs de geulranden. De verdeling van de verschillen is hier dus anders, maar dit kan niet veroorzaakt worden door de verschillende meetmethodes, omdat voor beide gebieden dezelfde bewerkingen zijn uitgevoerd (de onderste figuur is een uitvergroting van de bovenste).

Waterdienst

Datum

28 mei 2010



Figuur 6

5 Referenties

[1] Gevolgen en omvang van verschillen LRK en waterstandsgecorrigeerde dieptemetingen

Huibert-Jan Lekkerkerk, Koen van Tooren, Bart van Mierlo en Eit van der Meulen
Periplus Consultancy b.v. en Adviesbureau Modelleren en Optimalisatie (AMO)
Periplus Consultancy b.v. rapport 2006-05, maart 2007

[2] Precisiebeschrijving AHN 2002

Gert Brand, Marc Crombaghs, Sander Oude Elberink, Regine Brügelmann, Erik de Min

Rijkswaterstaat, Adviesdienst Geo-informatie en ICT
rapport AGI-GAP-2003-5, juli 2003

[3] Laseraltimetrie voor de hoogtemetingen van de kwelders Waddenzee

Marc Crombaghs en Sander Oude Elberink
Rijkswaterstaat Adviesdienst Geo-informatie en ICT
rapport AGI-GAP-2003-50, februari 2004