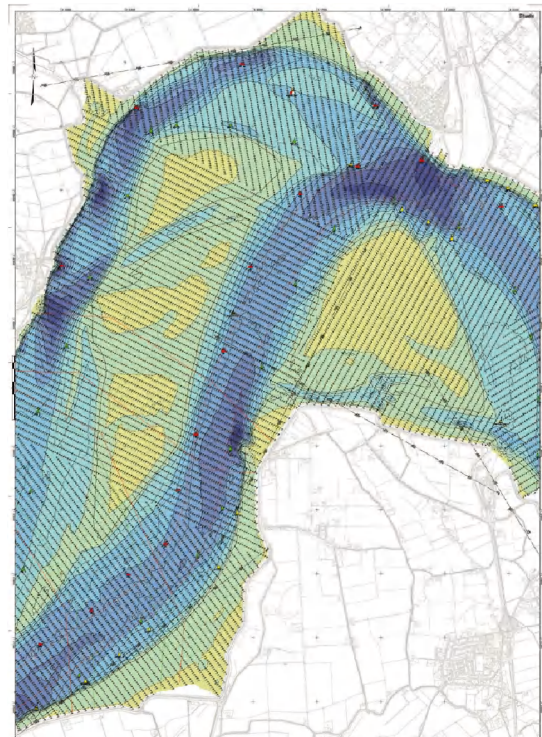




Opnametechnieken vaklodingen

Vergelijking tussen verschillende inwintechnieken

27 mei 2005





Vaklodingen: de inwintechnieken en hun combinaties.

Vergelijking tussen verschillende inwintechnieken
en de combinaties ervan

27 mei 2005

Colofon

Uitgegeven door: AGI Rijkswaterstaat

Informatie: www.agi-rws.nl

Telefoon: 015 275 75 75

Fax: 015 275 75 76

Uitgevoerd door: Nard Wiegmann,
Ronald Perluka,
Sander Oude Elberink
Jur Vogelzang
m.m.v. RWS-Zeeland Meet Adviesdienst

Datum: 27 mei 2005

Rapportnr: AGI-2005-GSMH-012

Versienummer: 0.6

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond en aanleiding	6
1.2	Doel	6
1.3	Aanleiding	6
1.4	Werkwijze	7
1.5	Afbakening	7
1.6	Leeswijzer	8
2	Methodiek 1: huidige methode vak3	9
2.1	Inleiding	9
2.2	Nauwkeurigheid	9
2.2.1.	Inwinnauwkeurigheid	9
2.2.2.	Nauwkeurigheid na verwerking	9
2.3	Leverbetrouwbaarheid	9
2.4	Prijs	10
2.5	Continuïteit	10
2.6	Uniformiteit	10
2.7	Regionaal geschikt	10
2.8	Samenvatting voor vak 3, betreffend huidige methode.	11
3	Methodiek 2: BAS (Standaard)	12
3.1	Inleiding	12
3.2	Nauwkeurigheid	15
3.3	Leverbetrouwbaarheid.	17
3.4	Prijs/kwaliteit	17
3.5	Continuïteit	17
3.6	Uniformiteit	18
3.7	Regionaal geschikt	18
3.8	Conclusies over vak 3, methodiek 2	18
4	Methodiek 3: BAS (Kruis en contour)	19
4.1	Inleiding	19
4.2	Nauwkeurigheid	20
4.3	Leverbetrouwbaarheid	21
4.4	Prijs/kwaliteit	21
4.5	Continuïteit	21
4.6	Uniformiteit	21
4.7	Regionaal geschikt	21
4.8	Conclusies voor vak 3, methodiek 3	22
5	Drie Zeeland alternatieven	23
5.1	Inleiding	23
5.2	Nauwkeurigheid	23
5.3	Leverbetrouwbaarheid	24
5.4	Prijs	24
5.5	Continuïteit	24

5.6	Uniformiteit	24
5.7	Regionaal geschikt	25
5.8	Samenvatting voor de 3 alternatieven	25
6	Overzichtstabel	26
6.1	Inleiding	26
6.2	Gerangschikt op combinatie	26
7	Trendbreuk	27
7.1	Inleiding	27
7.2	Mogelijke trendbreuk door toepassing Multibeam	27
7.3	Foutenbronnen	28
7.4	Conclusie over trendbreuk	29
7.5	Aanbeveling over vlakdekkende informatie	29
A.1	Bijlage Singlebeam	32
A.2	Bijlage Multibeam	39
A.3	Bijlage Laseraltimetrie	43
A.4	Bijlage RTK-GPS	46

1. Inleiding

.....

1.1 Achtergrond en aanleiding

Het RIKZ en het RIZA voeren in opdracht van het Hoofdkantoor van Rijkswaterstaat een reeks landelijke monitoring programma's uit die samen MWTL worden genoemd. Deze afkorting staat voor Monitoring van de Waterstaatkundige Toestand des Lands. De naam zegt het al: het zijn programma's waarmee informatie wordt ingewonnen voor het nationale beleid van de rijkswateren. Met MWTL-informatie kunnen trends worden gesignaleerd en meetresultaten worden getoetst aan normen en streefbeelden. Hiermee levert MWTL een essentiële bijdrage aan het formuleren en evalueren van het waterbeleid en aan de naleving van internationale afspraken.

Het periodiek monitoren van de kust en de zeebodem is nodig om het gedrag hiervan te leren kennen en voorspellingen te kunnen doen op korte en lange termijn. Zowel voor kustlijnbeheer (handhaven van de kustlijn) als voor bescherming tegen overstroming (duinafslag) wordt gebruik gemaakt van deze metingen. De morfologie van kust en vooroever is zo gecompliceerd dat aan de hand van metingen meer proceskennis moet worden opgedaan, bijvoorbeeld over het gedrag van zandgolven, het effect van zeespiegelstijging en het versteilen van de vooroever.

1.2 Doel

Er zijn op dit moment diverse methoden om de "ligging kust en zeebodem" te bepalen. Een ligging die als input geldt voor :

- uniforme producten
- lange termijn visie voor beleidsmakers
- speciale producten, als detail informatie.

Als uitgangspunt horen daar altijd de vaklodingen bij. Vaklodingen zijn relatief dure metingen, en daarom moet gekeken worden naar manieren om deze kosten te reduceren. Dit project moet inzicht verschaffen over de totale kosten voor het inwinnen en verwerken van hydrografische data in de Westerschelde, met de bijbehorende nauwkeurigheid per opnamesysteem.

1.3 Aanleiding

De aanleiding van dit project is de RWSBAS workshop van 15 september 2003 te Utrecht. In deze workshop is door RIKZ aangegeven dat zij een project willen opstarten met de naam "kostenreductie vaklodingen", om te onderzoeken of de inzet van andere, modernere, inwintechieken kostenreductie kan gaan opleveren.

De hamvraag is hoeveel een vakloding kost, inclusief presentatie als dieptecijferkaart, verkregen uit een DIGIPOL interpolatie van 20 * 20 meter, met toepassing van de verschillende inwintechnieken.

1.4 Werkwijze

Voorafgaand aan dit project is er al gekeken naar alternatieven voor het meten van de wadplaten. Binnen dit project zal gekeken worden naar de bestaande methode en alternatieven plus combinaties ervan. Deze zijn:

1. Huidige methode (DIGIPOL interpolatie van lodingen met 200 m raaiafstand)
2. BAS standaard (Lodingen met 600 m raaiafstand gecombineerd met radarbeeld en eventueel een optisch beeld)
3. BAS met beperkte plaatloding (kruis en rand).
4. Nieuwe werkwijze met alle Hydrassen (vaargeul multibeam) Westerschelde, aanvullend single- en multibeam en laseraltimetrie.
5. Nieuwe werkwijze met alle Hydrassen Westerschelde, aanvullend single- en multibeam met RTK oevers.
6. Nieuwe werkwijze met alle Hydrassen Westerschelde, aanvullend singlebeam en droge delen laseraltimetrie.

Per alternatief zal er informatie worden gegeven met betrekking tot de volgende criteria:

- **Nauwkeurigheid:** deze moet voldoen aan het huidige standaardproduct. Onderzocht moet worden of deze standaard wel bestaat, of aangeven hoe daar op dit moment mee wordt omgegaan.
- **Leverbetrouwbaarheid:** er moet een dieptekaart opgeleverd kunnen worden.
- **Prijs /Kwaliteit:** alternatief moet betere prijs/kwaliteit verhouding bieden dan de klassieke methoden.
- **Continuïteit:** de alternatieve dienstverlening moet voor een significant groot gebied en gedurende meerdere jaren gelden.
- **Uniformiteit:** Het product "ligging kust en zeebodem" moet vergelijkbaar zijn voor heel NL en voor alle soorten gebieden, qua kwaliteit, resolutie etc.
- **Regionaal geschikt:** voor diverse projecten worden de vaklodingen (her-)gebruikt. Bij deze projecten is het van belang of de data geschikt is voor dit soort regionale toepassingen.

1.5 Afbakening

Dit onderzoek zal zich richten op het proefgebied Westerschelde, vak 3. Dit vak is in onderling overleg met alle betrokkenen gekozen, representatief voor hele Westerschelde.

Voor de bepaling van de nauwkeurigheid van Laseraltimetrie zal niet opnieuw gevlogen worden. Eerder dit jaar is de Westerschelde gevlogen en deze data zal gebruikt gaan worden.

Qua kosten (uurtarief + boekkosten) zal niet gekeken worden hoe die is opgebouwd, er wordt alleen maar gekeken naar uur maal tarief en eventueel uitbesteding zoals vliegen voor Laseraltimetrie of het uitvoeren van de berekening voor BAS door ARGOSS. De reden is dat voor RWS de 'out of the pocket' kosten zichtbaar wil hebben.

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de huidige methode beschreven en in hoofdstuk 3 en 4 worden twee BAS alternatieven beschreven. De drie Zeeland alternatieven worden in hoofdstuk 5 behandeld. In hoofdstuk 6 wordt een overzicht gegeven van de hiervoor beschreven alternatieven. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op trendbreuken en wordt een aanbeveling gedaan voor het luxe product. In de bijlagen zijn de specifieke inwintechnieken apart uitgelicht.

Het waardeoordeel dat gegeven wordt heeft de volgende betekenis: zeer hoog / geschikt, hoog, normaal, laag en zeer laag.

2. Methodiek 1: huidige methode vak3

.....

2.1 Inleiding

De huidige methode (zoals deze in 2004 en eerder zijn uitgevoerd) bestaat uit:

- Singlebeammetingen, met raai afstand 100 meter.
- Aanvullende metingen met RTK op de plaat.

Deze inwintechieken worden verder behandeld in de bijlagen A1 Singlebeam en A.4 RTK.

De raaidata fungeert als input voor DIGIPOL interpolator voor het genereren van vlakdekkende (20 * 20 meter) data.

2.2 Nauwkeurigheid

2.2.1. Inwinnauwkeurigheid

Voor terrestrische GPS meting op de plaat is de inwinprecisie afhankelijk van de afstand referentiestation – rover. De precisie is als volgt gedefinieerd: 4 cm (2 σ) + 2 mm (2 σ) per kilometer. Voor singlebeam metingen is de precisie 15 cm (2 σ), uitgaande van een gemiddelde diepte van 15 meter (QMS normen). Opgemerkt moet worden dat de systematische fouten voor de drie inwintechieken niet bekend zijn, omdat er in principe niet standaard op wordt gecontroleerd. We kunnen stellen dat de inwinnauwkeurigheid van deze methode zeer hoog is.

2.2.2. Nauwkeurigheid na verwerking

De precisie van de singlebeam en terrestrische GPS meting zijn na verwerking gelijk. In de verwerkingsstap worden immers raaien geïnterpoleerd naar gridcellen. We stellen dat de precisie per gridcel neer komt op 40 cm (2 σ), conform de precisie van DIGIPOL. De precisie bestaat voor het overgrote deel uit de interpolatieprecisie. De waarde van de precisie is verkregen door uit multibeamdata raaien te genereren die als input dienen voor de interpolator DIGIPOL. Gekeken is naar het verschil tussen geïnterpoleerde data en werkelijk gemeten data van vak 3 in de Westerschelde.

2.3 Leverbetrouwbaarheid

De leverbetrouwbaarheid van deze methode is goed, al is de terrestrische GPS meting arbeidsintensief maar wel goed te plannen. De terrestrische GPS meting en de singlebeamlading is door zowel marktpartijen als RWS meetdiensten goed uit te voeren. De leverbetrouwbaarheid is zeer hoog.

2.4 Prijs

De prijs van deze methodiek, geldend voor vak 3, is opgebouwd uit:

Huidige methode	SB	RTK	Totaal
Alternatief 0	k€ 39.2	k€ 18.6	k€ 57.8

2.5 Continuïteit

Hier speelt de vraag of de methodiek inzetbaar is voor heel Nederland, in alle soorten gebieden qua nauwkeurigheid. Een kort antwoord is hier mogelijk: Ja.

De continuïteit van deze methodiek is zeer hoog.

2.6 Uniformiteit

De uniformiteit van alle twee de inwintechieken is zeer hoog, dus de uniformiteit van deze methodiek is zeer hoog. Dit geldt alleen als er raaien gegenereerd worden, ook uit de vlakdekkende multibeamdata. Meer informatie over de conflicten tussen uniformiteit en kwaliteit staat beschreven in hoofdstuk 7.

2.7 Regionaal geschikt

De huidige methode is regionaal ongeschikt, omdat er geen vlakdekkende informatie is ingewonnen.

2.8 Samenvatting voor vak 3, betreffend huidige methode.

Samengevat:

Methodiek	Nauwkeurigheid na verwerking puntprecisie	Nauwkeurigheid na verwerking per gridcel	Lever betrouwbaarheid	Uniformiteit	Continuïteit	Prijs	Regionaal geschikt
Singlebeam Terrestrische GPS 100m raaien	15 cm 2 σ	40 cm 2 σ	Zeer Hoog	Zeer Hoog	Zeer Hoog	k€ 57.8	Ongeschikt

3. Methodiek 2: BAS (Standaard)

3.1 Inleiding

Het Bathymetry Assessment System (BAS) vervaardigt gebiedsdekkende dieptekaarten uit radarbeelden, (eventueel) optische beelden en een beperkt aantal echolodingen. Het BAS is een interpolator, net zoals DIGIPOL. Het verschil is dat de interpolatie in het BAS gestuurd wordt door de fysische informatie over de bodemligging in de satellietbeelden, waardoor minder lodingen nodig zijn om toch een nauwkeurige kaart te maken.

Figuur 3.1

ASAR radarbeeld opgenomen op 10 april 2004 van de Zeeuwse en Vlaamse kust. De Vlaamse banken en de ebdelta's van Ooster- en Westerschelde zijn duidelijk zichtbaar.



Het is al meer dan 30 jaar bekend dat onder gunstige omstandigheden (matige wind en sterke getijstroom) de topografie van de zeebodem zichtbaar is in radarbeelden. Figuur 3.1 geeft een voorbeeld. Het is algemeen aanvaard dat het beeldvormend mechanisme uit drie stappen bestaat:

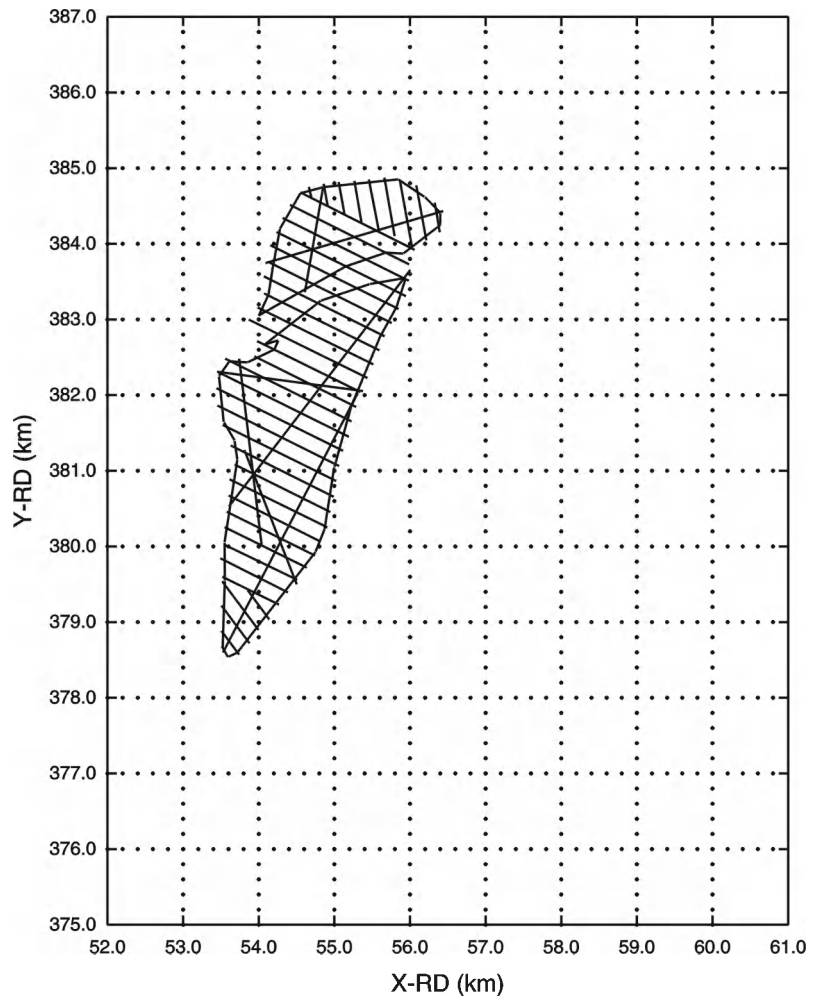
- 1) Variaties in de diepte veroorzaken variaties in de stroomsnelheid en -richting van het getij;
- 2) Variaties in de stroomsnelheid aan het oppervlak beïnvloeden de hoogte van de watergolven, vooral watergolven met een golflengte tussen enkele centimeters en een meter. Deze golven bepalen de ruwheid van het zeeoppervlak.

- 3) Veranderingen in de ruwheid van het zeeoppervlak zijn zichtbaar in radarbeelden als variaties in de intensiteit van het beeld, omdat de radarstraling juist wordt verstrooid door korte watergolven met een golflengte tussen enkele centimeters en een meter.

Meer informatie over het beeldvormend mechanisme is te vinden in [Vogelzang, 1997].

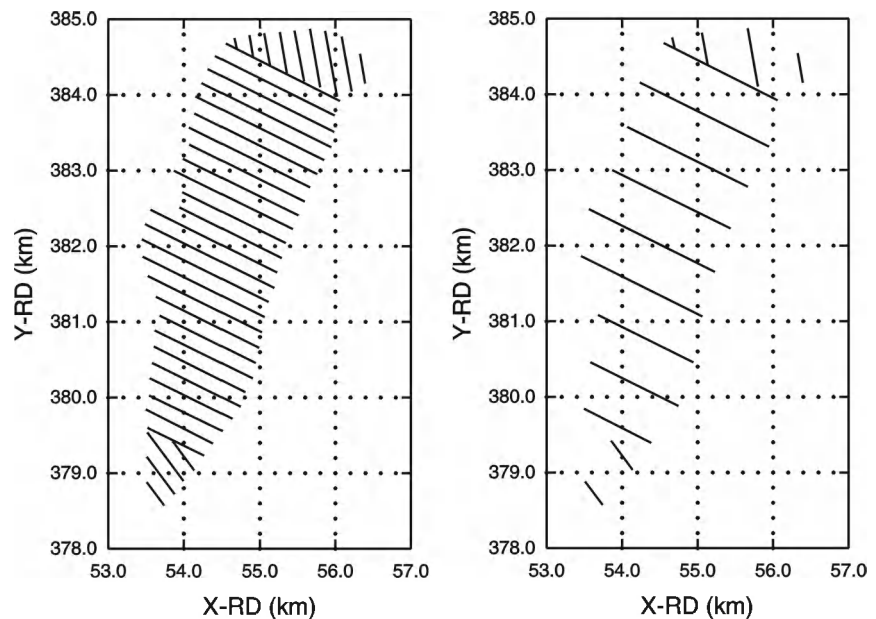
In de meeste gevallen geldt dat de modulatie in de intensiteit in het radarbeeld evenredig is met de gradiënt in de stroomsnelheid. De evenredigheidsconstante is niet goed bekend. Daarom wordt deze in het BAS als een aan te passen parameter behandeld. Met dit model voor het beeldvormend mechanisme, ook wel het voorwaartse model genoemd, kan men uitrekenen hoe het radarbeeld er uit ziet wanneer de diepte bekend is, samen met extra stromingsgegevens om de randvoorwaarden van het stromingsmodel te bepalen. Voor praktische toepassingen wil men juist de omgekeerde weg bewandelen: informatie over de diepte halen uit radarbeelden. Directe inversie van het voorwaartse model is niet mogelijk. Daarom wordt in het BAS een numerieke inversie toegepast.

Figuur 3.2
Alle beschikbare raaien in vak 3
raaiafstand 200 meter
(opname oktober 2004).



Figuur 3.3

Links: alle gewone raaien (raaiafstand 200 m) uit de opname van oktober 2004. Rechts: de kalibratieraaie die in het BAS zijn gebruikt.



Om een dieptekaart te maken heeft het BAS de volgende input nodig:

- Echolodingen met een raaiafstand van 600 m. (zie het volgende hoofdstuk voor andere mogelijkheden);
- Enkele gegevens over de stroomsnelheid in het gebied (hetzij metingen, hetzij berekeningen met een standaard getijmodel);
- Een of meer radarbeelden;
- Desgewenst een optisch beeld.

Figuur 3.2 toont raaien die in oktober 2004 zijn opgenomen op de platen in vak 3; figuur 3.3 laat de kalibratieraaie zien die geselecteerd zijn.

De inversie vindt plaats door minimalisatie van een kostenfunctie (in het Engels: penalty function). Deze bestaat uit drie termen:

- 1) De eerste term beschrijft de afwijkingen tussen de BAS diepteschatting en de lodingen. Het BAS mag dus afwijken van de lodingen als dat tot een betere oplossing leidt.
- 2) De tweede term beschrijft de afwijkingen tussen het berekende radarbeeld en het daadwerkelijk opgenomen radarbeeld. Het BAS kan meerdere radarbeelden gebruiken. Ieder beeld krijgt dan een eigen term in de kostenfunctie.
- 3) De derde term bevat een gladheidseis om te voorkomen dat beeldruis, die altijd in radarbeelden aanwezig is, wordt geïnterpreteerd als variaties in de diepte. Deze gladheidseis kan afhangen van de locatie en de richting. Door gebruik te maken van de ligging van getijgeulen in optische beelden “weet” het BAS waar de geulen lopen, en dus in welke richting de bodem vlak is en in welke richting de bodem juist sterk varieert.

Het BAS zoekt dus een bodem die zo goed mogelijk aansluit bij de lodingen en de satellietbeelden. De modelvergelijkingen worden opgelost in een uiterst efficiënt multigrid algoritme, waardoor het systeem voor een gebied met een oppervlakte van ordegrrootte 100 km^2 op een modale PC een rekentijd van enkele tientallen minuten nodig heeft.

Het BAS is ontwikkeld door en eigendom van de firma ARGOSS te Marknesse. Zij biedt de BAS dienstverlening op commerciële basis aan op de internationale markt.

3.2 Nauwkeurigheid

Een dieptekaart geproduceerd door het BAS kent systematische fouten en interpolatiefouten. Het BAS bepaalt het grootschalig verloop van de diepte uit de beschikbare lodingen, zodat het ook de systematische fouten van de lodingen overneemt, net zoals DIGIPOL. Het BAS voegt geen noemenswaardige systematische fouten toe: de gemiddelde afwijking tussen lodingen en BAS diepte (de bias) bedraagt doorgaans enkele centimeters.

De interpolatiefout in het BAS kan op twee manieren bepaald worden, namelijk door te vergelijken met

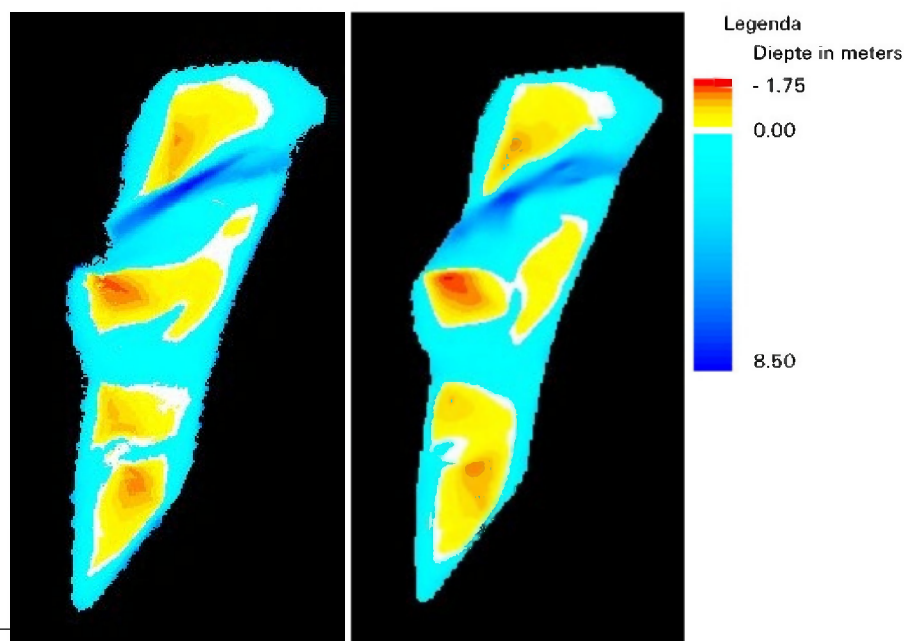
- een multibeam opname die vergrid is naar hetzelfde rooster als de BAS kaart,
- een DIGIPOL interpolatie van alle beschikbare echolodingen.

In paragraaf 2.2 is de precisie van een DIGIPOL interpolatie per gridcel bepaald door te vergelijken met een multibeam opname. Voor de BAS kaart kan precies dezelfde procedure gevolgd worden. Echter, de BAS kaart is alleen gemaakt boven de ondiepe delen waar geen multibeam data beschikbaar zijn. Daarom moet voor de tweede methode gekozen worden. De precisie van de verschilkaart, σ_{DIF} , voldoet aan:

$$\sigma_{DIF}^2 = \sigma_{DIG}^2 + \sigma_{BAS}^2 \quad , \quad (3.1)$$

Hieruit blijkt dat de fouten in de DIGIPOL kaart en de BAS kaart onafhankelijk zijn, waarbij σ_{DIG} en σ_{BAS} de precisies zijn van achtereenvolgens de DIGIPOL kaart en de BAS kaart. Formule 3.1 geldt onder de aanname dat de fouten in beide kaarten onafhankelijk van elkaar zijn.

Figuur 3.4
Dieptekaarten verkregen met DIGIPOL (links) en met BAS (rechts).



Uit de formule (3.1) volgen de waarden voor de precisie van de BAS kaart. Deze is

- voor dieptes boven –2.5 m NAP gelijk aan 30 cm (1σ), dus 60 cm (2σ);
- voor het gehele gebied gelijk aan 39 cm (1σ), dus 78 cm (2σ).

Overigens geeft DIGIPOL ook zelf een schatting van de interpolatiefout. Voor de interpolatie van het hele gebied in figuur 3.4 schat DIGIPOL zijn precisie op 46 cm (2σ), hetgeen goed overeenkomt met de precisie van 50 cm (2σ) die in hoofdstuk 2 gevonden is.

3.3 Leverbetrouwbaarheid.

Op dit moment loopt een studie naar de operationele inzetbaarheid van de BAS dienstverlening. Dit project, genaamd "Towards implementation of the BAS within Rijkswaterstaat" wordt mede gefinancierd uit het programma Gebruikersondersteuning (GO), een nationaal programma om het gebruik van satellietgegevens te stimuleren. In deze studie worden alle aspecten van de BAS dienstverlening onderzocht op hun operationele inzetbaarheid en zo nodig aangepast aan het niveau dat Rijkswaterstaat verlangt. Deze studie zal 30 mei 2005 afgesloten worden met een aanbeveling van de AGI aan de rest van Rijkswaterstaat over de operationele inzetbaarheid van het BAS.

Tot dusver heeft ARGOSS zich een betrouwbare partner betoond.

3.4 Prijs/kwaliteit

Aangezien de overheid het kasstelsel hanteert, is het zeer moeilijk – zo niet onmogelijk – om precies te achterhalen welke kosten precies gemoeid zijn met vaklodingen. De winst in efficiency welke met het BAS behaald kan worden zal daarom alleen uitgezet worden tegen de winst in scheepstijd en manuren, zaken die wel goed in geld uitgedrukt kunnen worden.

Opbouw van de kosten:

Diepe delen opgenomen met multibeam	76.128
600 meter raaien opgenomen met singlebeam	20.000
Kosten stroom en hydro	2.000
Kosten BAS vak 3	10.000
	-----+
Totale kosten	108.128 euro

3.5 Continuïteit

Ook de continuïteit van de BAS dienstverlening is onderwerp van het GO project "Towards implementation of the BAS within Rijkswaterstaat". Merk op dat continuïteit niet alleen vanuit ARGOSS gegarandeerd moet worden, maar ook van de kant van Rijkswaterstaat.

Dit is natuurlijk algemeen zo: marktpartijen zullen niet investeren als de opdrachtgevers onvoldoende continuïteit kunnen garanderen.

3.6 Uniformiteit

Met de thans beschikbare radarbeelden (C-band vanuit satellieten) kunnen alleen de plaatgebieden in de Waddenzee en de Westerschelde worden gekarteerd. Met de allerbeste beelden, opgenomen onder ideale condities qua wind en stroming, is het mogelijk de gehele Waddenzee en de Westerschelde inclusief de Voordelta te karteren, maar dergelijke beelden worden te weinig ingewonnen om een operationele dienstverlening op te baseren. Daarvoor zijn betere radarbeelden nodig: hogere resolutie en/of langere radar golflengte, bijvoorbeeld L-band [Vogelzang, 2003].

Voor het huidige toepassingsgebied is de uniformiteit zeer hoog

3.7 Regionaal geschikt

Het BAS is geschikt voor ondiepe plaatgebieden in de Waddenzee en de Westerschelde. De datadichtheid is echter beperkt en net als singlebeam is BAS dus ook beperkt regionaal geschikt.

3.8 Conclusies over vak 3, methodiek 2

Samengevat:

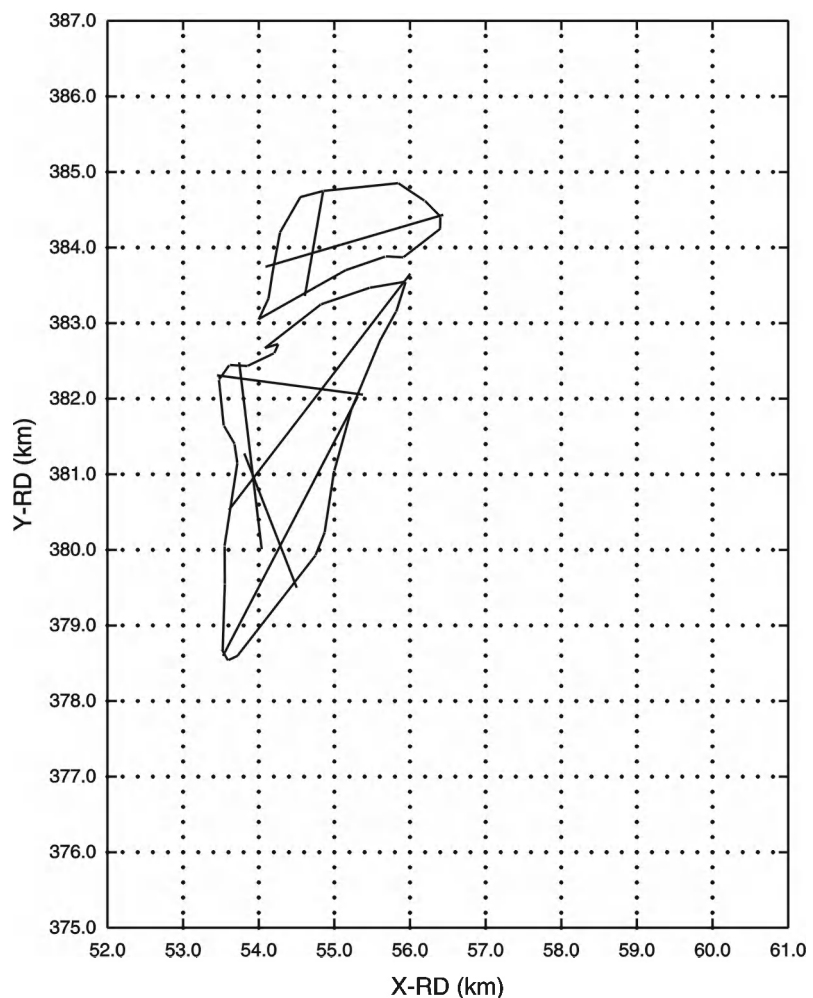
Methodiek	Nauwkeurigheid voor dieptes boven -2.5 m NAP	Lever betrouwbaarheid	Uniformiteit	Continuïteit	Prijs	Regionaal geschikt
BAS standaard	60 cm @ 2 σ	In onderzoek	Zeer hoog	In onderzoek	€ 108128	beperkt

4. Methodiek 3: BAS (Kruis en contour)

4.1 Inleiding

Het BAS is al geïntroduceerd in het vorige hoofdstuk. Normaliter interpoleert het BAS lodingen met een raaiafstand van 600 m naar een gebiedsdekkende kaart, daarbij gebruik makend van de fysische informatie uit satellietbeelden. Echter, de echolodgingen hoeven niet in parallelle raaien te liggen. Al geruime tijd geleden is voorgesteld om voor plaatgebieden alleen de omtrek van de plaat en enkele kruisraaien te loden [Calkoen *et al.*, 1995]. Eind 2004 is deze mogelijkheid daadwerkelijk onderzocht. De gevaren raaien zijn reeds weergegeven in Figuur 3.1 in het vorige hoofdstuk. Alleen de contourlijnen en de kruisraaien zijn gebruikt als kalibratie voor het BAS, zie figuur 4.1.

Figuur 4.1
Kruis en contour voor Molenplaat en
Plaat van Ossenis, opgenomen in
oktober 2004.

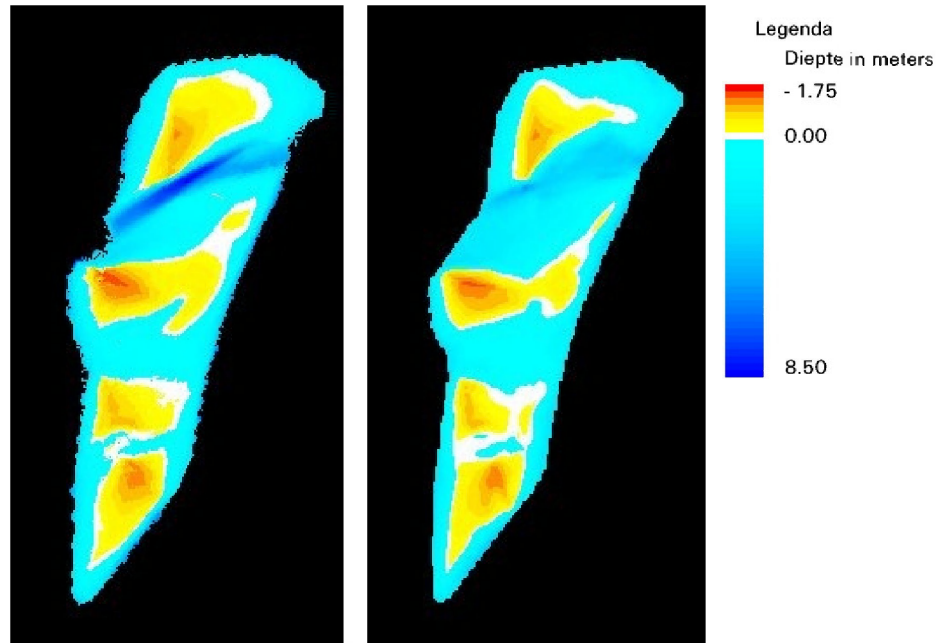


4.2 Nauwkeurigheid

Figuur 4.2 geeft links de DIGIPOL interpolatie van alle lodingen met 200 m raaiafstand en rechts de BAS kaart. De DIGIPOL kaart is ook al in figuur 3.4 getoond.

Figuur 4.2

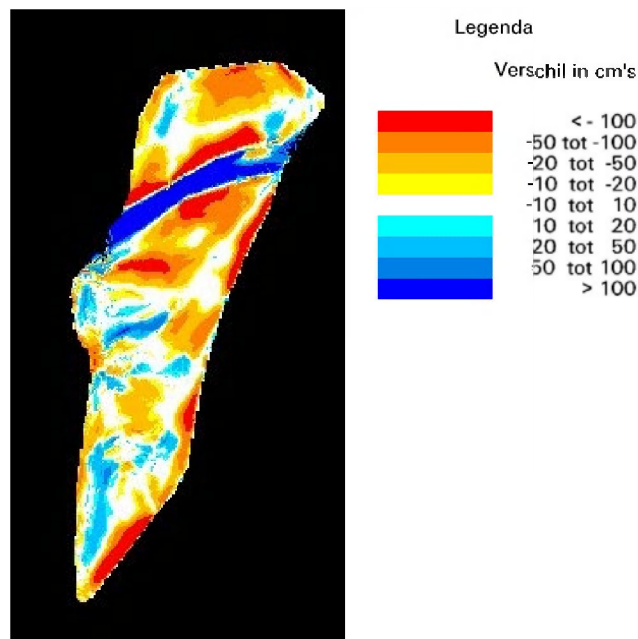
Dieptekaarten vervaardigd met DIGIPOL (links) en BAS (rechts). De BAS kaart is gebaseerd op kruis- en contourraaien.



Figuur 4.3 geeft het verschil tussen beide kaarten in figuur 4.2. Net zoals in het vorige hoofdstuk treden er grote verschillen op boven de geul tussen beide platen. De verschillen zijn hier veel sterker: ze zijn al duidelijk zichtbaar op de dieptekaarten in figuur 4.2. Het BAS schat de geul veel te ondiep.

Figuur 4.3

Verschilkaart van de DIGIPOL en BAS kaarten in figuur 4.2.



De nauwkeurigheid is op dezelfde wijze bestudeerd als in hoofdstuk 3. De BAS kaart is wederom vergeleken met de DIGIPOL interpolatie van lodingen met een slagafstand van 200 meter. De statistische kentallen zijn weergegeven in tabel 4.1 voor het gehele gebied, het ondiepe deel (diepte boven –2.5 m NAP) en het diepe deel (diepte onder –2.5 m NAP).

Tabel 4.1

Statistische kentallen van de verschilkaart in figuur 4.3.

Gebied	Bias	σ	Min	Max
Hele gebied	-11 cm	83 cm	-288 cm	+382 cm
Ondiepe deel	-28 cm	50 cm	-288 cm	+121 cm
Diepe deel	+139 cm	143 cm	-132 cm	+482 cm

De gebiedsgemiddelde standaarddeviatie van de BAS kaart kan op dezelfde wijze als in het vorige hoofdstuk uitgerekend worden. De resulterende waarde voor de precisie is:

- voor het ondiepe deel (dieptes boven –2.5 m NAP) gelijk aan 43 cm (1σ), dus 86 cm (2σ);
- voor het gehele gebied gelijk aan 79 cm (1σ), dus 158 cm (2σ).

De BAS kaart gebaseerd op kruis- en contourraaien is dus veel minder nauwkeurig dan de BAS kaart gebaseerd op parallelle raaien met 600 m slagafstand.

4.3 Leverbetrouwbaarheid

Zie paragraaf 3.3

4.4 Prijs/kwaliteit

Opbouw van de kosten:

Diepe delen opgenomen met multibeam	76.128
600 meter raaien opgenomen met singlebeam	10.000
Kruis plus contour raaien	5.000
Kosten stroom en hydro	2.000
Kosten BAS vak 3	10.000
	-----+
Totale kosten	103.128 euro

4.5 Continuïteit

Zie paragraaf 3.5

4.6 Uniformiteit

Zie paragraaf 3.6

4.7 Regionaal geschikt

Zie paragraaf 3.7

4.8 Conclusies voor vak 3, methodiek 3

Samengevat:

Methodiek	Nauwkeurigheid voor dieptes boven -2.5 m NAP	Lever betrouwbaarheid	Uniformiteit	Continuïteit	Prijs	Regionaal geschikt
BAS kruis- en contourraaien	86 cm @ 2 σ	In onderzoek	Zeer hoog	In onderzoek	€103128	beperkt

5. Drie Zeeland alternatieven

5.1 Inleiding

Directie Zeeland heeft een aantal alternatieven op methodiek 1 beschreven. In overleg met RIKZ zijn 3 alternatieven geselecteerd, die in dit hoofdstuk worden beschreven, en op de vijf criteria worden getoetst.

Alternatief 1 staat voor:

Hydrassen:	multibeam (vaargeul).
>-5 meter:	singlebeam.
Droog:	laseraltimetrie.
Rest:	multibeam.

Alternatief 2 staat voor:

Hydrassen:	multibeam.
>-5 meter:	singlebeam.
Droog:	RTK-GPS.
Rest:	multibeam.

Alternatief 3 staat voor:

Hydrassen:	multibeam.
>-5 meter:	singlebeam.
Droog:	laseraltimetrie.
Rest:	singlebeam.

De term Hydrassen is afkomstig van lodingskaarten voor hydrografische adviezen voor de toenmalige dienst Scheldemond.

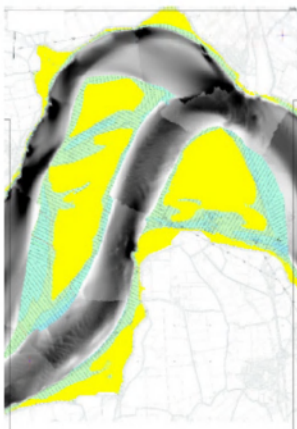
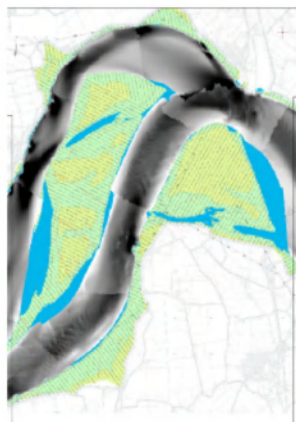
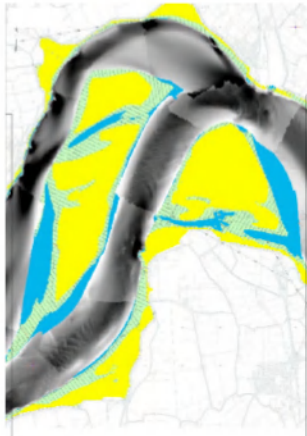
Het zijn dus alternatieven die opgebouwd zijn uit een combinatie van inwintechnieken, waarbij wordt aangesloten op de jaarlijkse Hydraslodingen en zo een dubbeling wordt voorkomen. Voor de beschrijvingen van de verschillende technieken wordt verwezen naar de bijlagen.

Om tot een beschrijving voor het geheel te komen, wordt in het algemeen de meest kritieke techniek genomen, omdat die uiteindelijk bepalend is voor het geheel.

5.2 Nauwkeurigheid

Uit de beschrijvingen van de inwintechnieken is op te maken dat de kwaliteit van de dieptekaart **niet** afhankelijk is van de inwinprecisie, maar van de verwerkingstechniek. Dit is een belangrijke conclusie.

Er wordt van uitgegaan dat alle data worden gereduceerd tot raaigegevens met een raaiafstand van 200 meter. De precisie van een gridcel komt neer op 50 cm (2σ) dat voor het overgrote deel uit interpolatieprecisie bestaat.



Dit geldt voor alle drie de alternatieven.

Merk wel op dat de systematische fouten voor de natte inwintechnieken niet bekend zijn en bij laseraltimetrie en RTK-GPS wel gemeten en gecontroleerd kunnen worden. Systematische fouten ontstaan tijdens de inwinning en werken volledig door tijdens de verwerking. In de verwerkingsstap worden in het algemeen geen nieuwe systematische fouten geïntroduceerd.

5.3 Leverbetrouwbaarheid

De leverbetrouwbaarheid van elk alternatief is gebaseerd op de minst leverbetrouwbare inwintechniek, omdat die uiteindelijk bepalend is voor het geheel.

Alternatief 1 en 3 zijn deels afhankelijk van de leverbetrouwbaarheid van laseraltimetrie. Dat maakt de leverbetrouwbaarheid van deze alternatieven: gemiddeld. Alternatief 2: leverbetrouwbaarheid is zeer hoog.

5.4 Prijs

Zeelandalternatieven	SB	RTK	LASER	MB	Totaal
Alternatief 1	€ 7.704,00		€ 24.026,67	€ 82.796,00	€ 114.526,67
Alternatief 2	€ 12.312,00	€ 18600		€ 82.796,00	€ 113.708,00
Alternatief 3	€ 23.328,00		€ 24.026,67	€ 76.128,00	€ 123.482,67

Te zien is dat alternatief 1 en twee 2 het minst kosten en alternatief twee tevens de meeste vlakdekkende informatie levert.

5.5 Continuïteit

De continuïteit van elk alternatief is gebaseerd op de inwintechniek met de laagste continuïteit, omdat die uiteindelijk bepalend is voor het geheel.

Alternatief 1 en 3 zijn deels afhankelijk van de continuïteit van laseraltimetrie. Dat maakt de continuïteit van deze alternatieven: gemiddeld.

Alternatief 2: continuïteit is zeer hoog.

5.6 Uniformiteit

De uniformiteit van alle inwintechnieken is zeer hoog, dus de uniformiteit van deze alternatieven zeer hoog. Dit geldt alleen als er raaien gegenereerd worden, ook uit de vlakdekkende laserdata en multibeamdata. Meer informatie over de conflicten tussen uniformiteit en kwaliteit staat beschreven in hoofdstuk 7.

5.7 Regionaal geschikt

De delen die met laseraltimetrie en met multibeam zijn ingewonnen, zijn geschikt voor speciale regionale projecten, zoals morfodynamische modellen vervaardigen etc.. Alternatief 1 heeft de meeste vlakdekkende informatie (zeer geschikt), gevolgd door alternatief 3 (geschikt), en alternatief 2 (gemiddeld).

5.8 Samenvatting voor de 3 alternatieven

Methodiek	Nauwkeurigheid na inwinning	Nauwkeurigheid na verwerking	Lever betrouwbaarheid	Uniformiteit	Continuïteit	Prijs	Regionaal geschikt
Alternatief 1	15 cm (2 σ)	50 cm (2 σ)	Gemiddeld	Zeer hoog	Gemiddeld	€ 114.526	Zeer geschikt
Alternatief 2	15 cm (2 σ)	50 cm (2 σ)	Zeer hoog	Zeer hoog	Zeer hoog	€ 113.708	Gemiddeld
Alternatief 3	15 cm (2 σ)	50 cm (2 σ)	Gemiddeld	Zeer Hoog	Gemiddeld	€ 123.482	Geschikt

De nauwkeurigheidsgedaten in de tabel zijn gebaseerd op de minst nauwkeurige inwinteknik, omdat die uiteindelijk bepalend is voor het geheel.

6. Overzichtstabel

6.1 Inleiding

De tabel die hieronder is weergegeven is gerangschikt op combinatie. De prijs die is ingevuld bestaat de totale kosten voor het uitvoeren van een inmeting vak 3 Westerschelde. Dus de prijs als je opdracht geeft voor het inmeten van.

6.2 Gerangschikt op combinatie

	Nauwkeurigheid puntprecisie (inwinning)	Nauwkeurigheid per gridcel na verwerking	Leverbetrouw- baarheid	Uniformiteit	Continuïteit	RIKZ prijs voor heel vak 3 Westerschelde	Totale prijs voor heel vak 3 Westerschelde	Regionale geschiktheid
Huidige methode (2004)	15 cm @ 2 σ	40 cm @ 2 σ	Zeet Hoog	Zeet Hoog	Zeet Hoog	k€ 57.8		Ongeschik t
Alternatief 1	15 cm @ 2 σ	50 cm @ 2 σ	Gemiddeld	Zeet Hoog	Gemiddeld	k€ 31.7	k€ 114.5	Zeet Geschikt
Alternatief 2	15 cm @ 2 σ	50 cm @ 2 σ	Zeet Hoog	Zeet Hoog	Zeet Hoog	k€ 31.0	k€ 114.0	Gemiddeld
Alternatief 3	15 cm @ 2 σ	50 cm @ 2 σ	Gemiddeld	Zeet Hoog	Gemiddeld	k€ 47.4	k€ 123.5	Geschikt
BAS standaard (boven -2.5 m NAP)	15 cm @ 2 σ	60 cm @ 2 σ	In onderzoek	Zeet hoog	In onderzoek	k€ 32.0	k€108.1	Beperkt
BAS plus (boven -2.5 m NAP)	15 cm @ 2 σ	86 cm @ 2 σ	In onderzoek	Zeet hoog	In onderzoek	k€ 27.0	k€ 103.1	Beperkt

De nauwkeurigheidsgedallen in de tabel zijn gebaseerd op de minst nauwkeurige inwintetniek, omdat die uiteindelijk bepalend is voor het geheel.

De kosten zijn gesplitst in twee kolommen. In de eerste kostenkolom staan de kosten die aan RIKZ voor dit vak worden doorberekend. In de totaalprijs kolom staan ook de kosten voor de vaargeulmetingen (Hydrassen). Deze wordt wel door RWS maar niet door RIKZ betaald.

7. Trendbreuk

Dit hoofdstuk is toegevoegd aan het rapport om duidelijk te maken welke voor- en nadelen men tegenkomt als overgegaan wordt op een andere meetmethode.

7.1 Inleiding

Het loden heeft zich in de loop der jaren sterk ontwikkeld. Vroeger werd er met een roeiboot langs een afstandslijn gevaren en door middel van een hand peillood de diepte gemeten. De afstandslijn is vervangen door afstandsmeters, later door radiografische plaatsbepalingssystemen. De diepte wordt nu door enkelvoudige (singlebeam) en meervoudige (multibeam) echoloden gemeten. De droge delen kunnen nu gemeten worden middels Laseraltimetrie of RTK waterpassing. In de manier van meten is veel veranderd en is de nauwkeurigheid met sprongen verbeterd.

Enkele delen van dit hoofdstuk zijn overgenomen uit het rapport "Onderzoek naar efficiency verbetering kustlodingen", rapportnummer MDR 789 AGI.

In dit hoofdstuk wordt sterk vanuit de meetsystemen naar het eindproduct geredeneerd. Een andere benadering is om vanuit het gewenste eindproduct terug te redeneren naar de gewenste inwin en verwerkingsprecisie, vraaggestuurd. Interessant is deze benaderingen te vergelijken. Het is vooral aan RIKZ deze exercitie uit te voeren.

7.2 Mogelijke trendbreuk door toepassing Multibeam

De naamgeving van dit hoofdstuk suggereert wellicht ten onrechte dat er grote verschillen zijn in de nauwkeurigheid tussen multibeam en singlebeam. Beide systemen zijn afhankelijk van de toelevering van een positie. En het is vooral de positie die een factor 100 is verbeterd in de loop der jaren. Het meten van de diepte zelf is hoogstens een factor 2 beter geworden. Het verschil tussen multibeam en singlebeam zit zoals gezegd niet in de nauwkeurigheid maar in het hebben van veel bundels die meer punten tegelijk van de bodem kunnen meten. We moeten niet zoeken in oude data naar verschillen in multibeam en singlebeam maar naar het soort plaatsbepaling (radioplaatsbepaling, dGPS, LRK).

Het is verkeerd om multibeam en singlebeam te gebruiken als type aanduiding voor een lodingsysteem uit het oogpunt van nauwkeurigheid omdat het verschil in beide heel klein is. Uit gebruikersoogpunt zijn deze type-aanduidingen te begrijpen omdat multibeam gebiedsdekkend de rivierbodem meet. Nog een reden om dit type aanduidingen niet te gebruiken is dat in de meeste lodingsystemen naast multibeam echolood ook een singlebeam echolood opgenomen is.

De trendbreuk die kan ontstaan zou dan ook geheel toe te schrijven zijn aan een verhoging van de nauwkeurigheid van meten en de gedetailleerdheid waarmee de bodem kan worden bemeten. We

moeten dan ook blij zijn met een trendbreuk: immers alle energie die we in de ontwikkeling hebben gestoken heeft resultaat opgeleverd.

De trendbreuk is dan ook goed te verklaren, al is niet concreet door middel van één getalwaarde aan te geven wat het verschil in diepte is tussen twee metingen uitgevoerd met een systeem van heden en uit het verleden.

Er is een spreiding waarneembaar veroorzaakt door onderlinge verschillen in meetsystemen welke zorgdragen voor variatie in de getalwaarde.

Om data met elkaar te vergelijken is het van belang vooraf te weten of de te verwachten nauwkeurigheid van dezelfde orde is. Als we een verschilkaart of verschilgrid presenteren van twee lodingen die in tijd verschillen moeten we weten met welke nauwkeurigheid de data zijn opgenomen. Dit om te kunnen bepalen of het verschil acceptabel is of niet.

Het verschil in hoogteligging van de zeebodem is niet alleen het gevolg van de toepassing van multibeam echolood, maar door het gebruik maken van completere (stand en koers sensoren en rekenmethoden) en vooral de nauwkeurigere systemen (ontwikkeling RTK plaatsbepaling).

De tijdperken van de ontwikkeling worden getypeerd door:

1. Lodingsysteem met radioplaatsbepaling en waterstand **1979 tot 1990.**
2. Lodingsysteem met (d)GPS plaatsbepaling en waterstand **1990 tot 2000.**
3. Lodingsysteem met RTK Plaatsbepaling zonder waterstand **2000 tot heden**

Voor het vergelijken van data uit de verschillende tijdperken hebben we dus inzicht nodig in de nauwkeurigheid van elk van de lodingen. Er moet uitgezocht worden wat de veroorzakers zijn van fouten binnen een lodingsysteem. Immers deze foutenbronnen hebben invloed op de drie tijdperken, alleen zullen in de evolutie fouten zijn geëlimineerd. Het is dus zaak om een inventaris te maken van foutenbronnen.

7.3 Foutenbronnen

Als we praten over verschillen in de ligging van de bodem is dit op te splitsen in een verschil in X,Y (positie) en een Z verschil. Als we praten over fouten dan zijn alle fouten dus ook de verschillen in de X,Y (positie) vertaald naar een verschil in de Z (hoogte ligging van de bodem). Immers ten gevolge van een positiefout wordt bij een diepte een verkeerde positie geplaatst, hierdoor zal er een afwijking ontstaan in het diepteprofiel wat zich enkel laat zien als een fout in de diepte.

De meest voorkomende foutenbronnen die een verschil veroorzaken in de hoogteligging van de bodem zijn:

1. Plaatsbepaling
2. Referenties (waterstandmodel en reductievlak)

-
3. Diepgang
 4. Bundelhoek
 5. Squat
 6. Bootgeometrie
 7. Geluidsmodel
 8. Presentatie / interpolatie

Al deze fouten hebben invloed op elk gemeten punt (gebiedje van 5 meter tot 5 centimeter) van de zeebodem. Door het completer en preciezer worden van de lodingsystemen zijn stapsgewijs de meest voorkomende foutenbronnen geëlimineerd. Bij elke stap in de ontwikkeling van het lodingsstelsel is min of meer een eigen trendbreuk te onderscheiden. De trendbreuken behorend bij één van de drie tijdperken vertonen kleine verschillen, die samenhangen met het type vaartuig, een specifiek gedeelte langs de kust etc.

7.4 Conclusie over trendbreuk

Je mag concluderen dat door alle verbeteringen je steeds trendbreuken zal zien in de data. Maar je moet blij zijn met deze trendbreuk. Hier doe je al je innovaties voor. Alleen moet je weten hoe groot deze trendbreuk is. Dan is dit geen onbekende meer en zal dit geen invloed hebben op de gedane conclusies voortkomende uit de data.

Uit dit rapport komt duidelijk naar voren dat de manier van inwinning geen invloed heeft op de uiteindelijke precisie van de op te leveren kaart. De introductie van de interpolator DIGIPOL zorgt voor een afname van de inwinprecisie. Het is daarom aan te raden over te stappen op het gebruik van vlakdekkende informatie, waardoor de inwinprecisie gehandhaafd blijft.

7.5 Aanbeveling over vlakdekkende informatie

Met de komst van de vlakdekkende inwinmethodes ontstaat er een dilemma voor het product Ligging Kust en Zeebodem. Om de uniformiteit van de kaart te waarborgen, is het noodzakelijk om de morfologische resolutie te stellen op 200 meter. Immers, op veel locaties kan er uit financieel/praktisch overwegingen niet vlakdekkend worden ingewonnen en daardoor is de raai-afstand 200 meter. Het dilemma ontstaat wanneer men 99% van de vlakdekkende informatie niet gebruikt om dezelfde (uniforme) morfologische resolutie te bereiken. Niet gebruiken levert immers kwaliteitsverlies en informatieverlies:

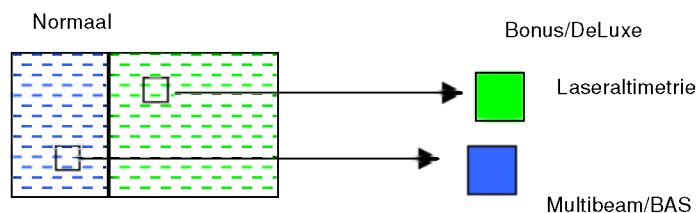
- kwaliteitsverlies door de noodzakelijke interpolatie, en de daarbij behorende interpolatiefouten.
- Informatieverlies door het niet gebruiken van hoge resolutie morfologie (1-200 meter).

Daarom is het goed de eigenschappen van beide producten naast elkaar te leggen.

	Product ligging kust en zeebodem	Postzegelproduct
Totstandkoming	Interpolatie van raaigegevens	Interpolatie van raaigegevens, + waar mogelijk vlakdekkend dmv multibeam, BAS of laseraltimetrie.
Uniformiteit	Uniform over heel Nederland	Niet uniform, varieert per gebied
Kwaliteit	Overall lage ¹ kwaliteit	Afwisselend lage en hoge kwaliteit
Morfologische resolutie	Overall morfologische resolutie 200 m	Afwisselend lage en hoge resolutie

Het dilemma wordt omzeild door te kiezen voor beide bestanden die naast elkaar kunnen leven. Ze zijn immers niet conflicterend met elkaar zolang je de totstandkoming en de daarbij behorende eigenschappen maar meelevert. Goede meta-informatie is hier van essentieel belang. Een verwijzing naar een mogelijk 'Deluxe' product mag niet ontbreken. Zo combineer je de goede eigenschappen van het ene product (uniformiteit) met de kwaliteit van het DeLuxe product door te verwijzen naar die plaatsen waar vlakdekkende informatie beschikbaar is.

Schematisch is hieronder weergegeven dat in het normale uniforme product een verwijzing moet staan naar het vlakdekkende product (indien deze beschikbaar is uiteraard). In principe zijn alle droge kustmetingen met laseraltimetrie ingewonnen, en dus vlakdekkend beschikbaar. Kenmerken van het DeLuxe product zijn de hoge kwaliteit en hoge resolutie morfologie.



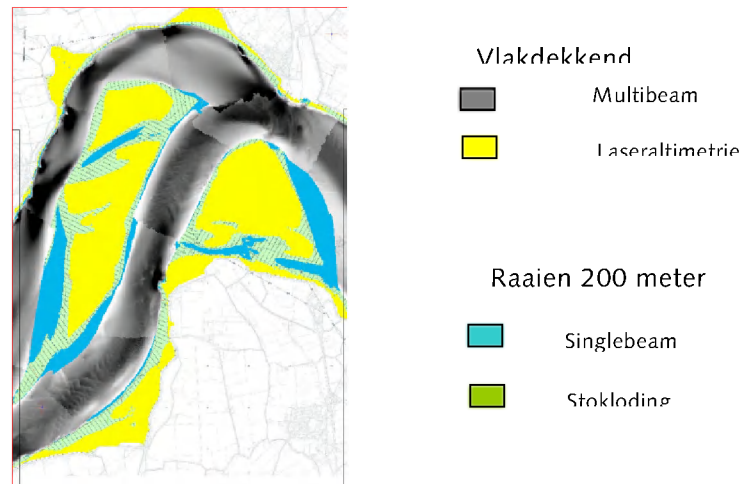
Op de workshop 'Morfologische metingen'² is duidelijk geworden dat veel gebruikers niet op de hoogte zijn van het bestaan van de vlakdekkende informatie. Hier zijn verschillende oorzaken voor. Naast het ontbreken van verwijzing naar de opslagplaats is ook de

¹ Lage kwaliteit in relatie tot vlakdekkende informatie.

² Workshop Morfologische metingen, gehouden op 1 en 2 december 2004 te Zeist.

opslagplaats (DONAR) zelf een probleem. Met de komst van de datamanagement oplossing WADI wordt een groot deel van de oorzaken opgelost. WADI moet er namelijk voor zorgen dat zowel de opslag als de ontsluiting van meetgegevens verbeterd wordt ten opzichte van nu.

In onderstaand kaartje is weergegeven op welke locaties in de Westerschelde vak 3 een Bonus/DeLuxe product geleverd kan worden.

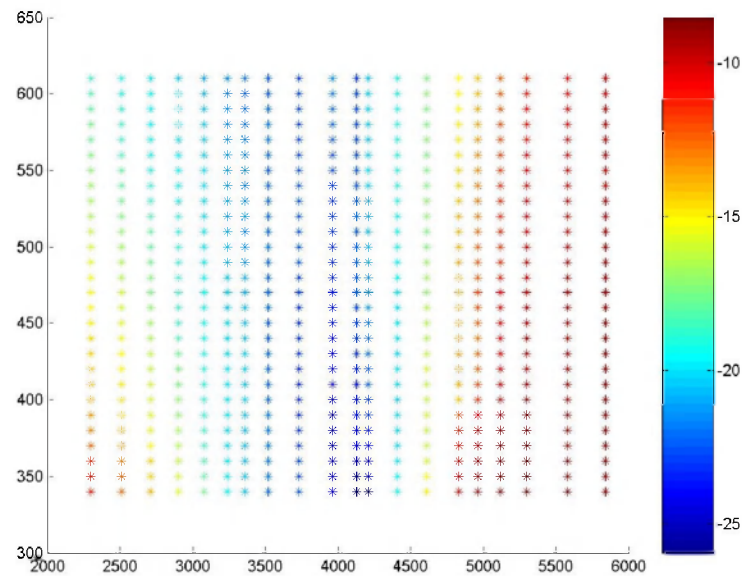


Onderzocht moet worden of de gebruikers van de kaarten zich kunnen conformeren naar een kaart met daarop dieptecijfers met verschillende nauwkeurigheidswaarden.

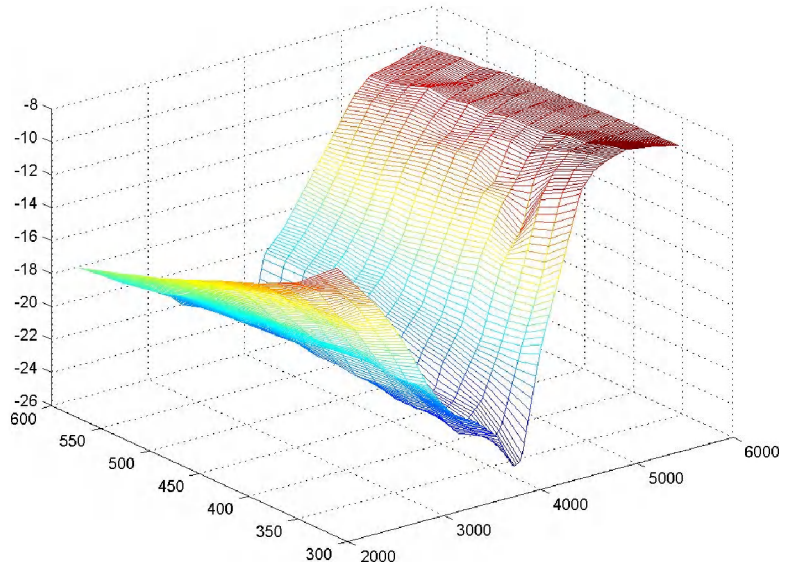
A.1 Bijlage Singlebeam

Inleiding

Om een bathymetrische kaart te maken zal het schip raaien varen om de 200 meter. De tussenliggende ruimte zal door middel van interpolatie opgevuld worden. Het programma dat hiervoor gebruikt wordt is DIGIPOL. Nadat dit heeft plaatsgevonden wordt er een kaart gepresenteerd gebaseerd op een gridgrootte van 20 bij 20 meter.



Figuur A.1.1 Voorbeeld van singlebeam raaien.



Figuur A.1.2 Singlebeam data geïnterpoleerd naar grid.

We zullen nu per opgegeven criteria aangeven wat deze methodiek betekent voor deze 6 criteria. De criteria waarop de methodieken beoordeeld worden zijn:

- Nauwkeurigheid
- Leverbetrouwbaarheid
- Prijs
- Continuïteit
- Uniformiteit
- Regionaal geschikt

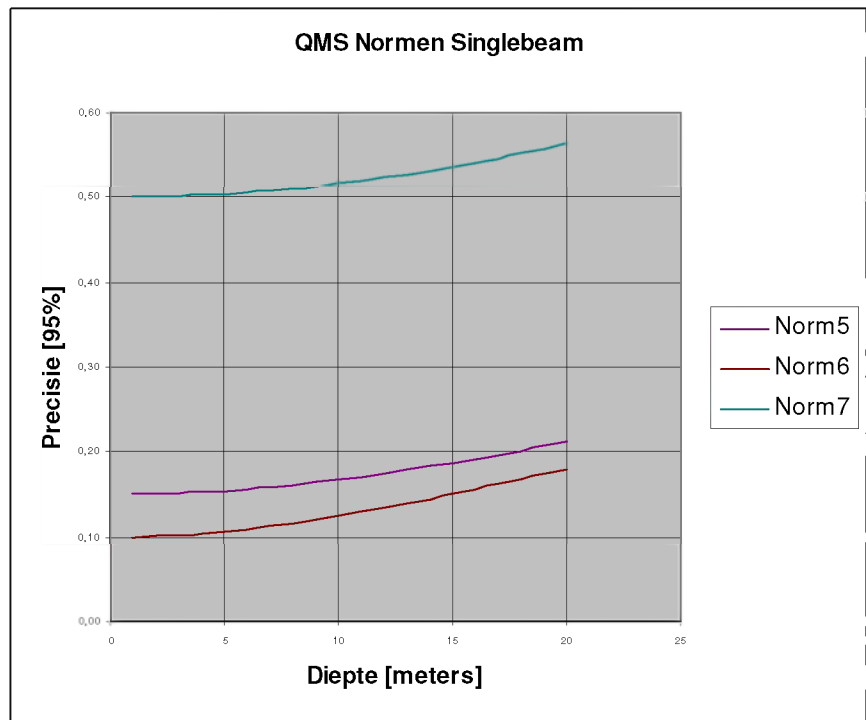
Nauwkeurigheid na inwinning

In een gridcel van 20 bij 20 meter valt data uit maximaal één gevaren raai. Dit stelt ons in staat om de precisie van gridcel te bepalen. Deze is immers anders dan de precisie van het gemeten losse diepte. We doen hiervoor de volgende aannames:

- Vaarsnelheid = 4 m/s
- Aantal dieptes echolood per seconde = 10

In een gridcel van 20 bij 20 meter vallen dan ongeveer 50 dieptes. De precisie van de singlebeam lodingen is diepte afhankelijk. Voor de Westerschelde gelden dieptes van 0 tot 65 meter.

De precisie van de losse gemeten singlebeam dieptes kunnen we stellen op 15 cm 2σ op een diepte van 15 meter, zie onderstaande grafiek.



Figuur A.1.3 QMS normen Singlebeam.

Hierbij is aangenomen dat er geen systematische fouten aanwezig zijn. We kunnen niet aangeven of er systematische fouten aanwezig zijn, daar er gedurende de metingen geen controlemetingen zijn uitgevoerd, herhalingsraai of meetdrempel.

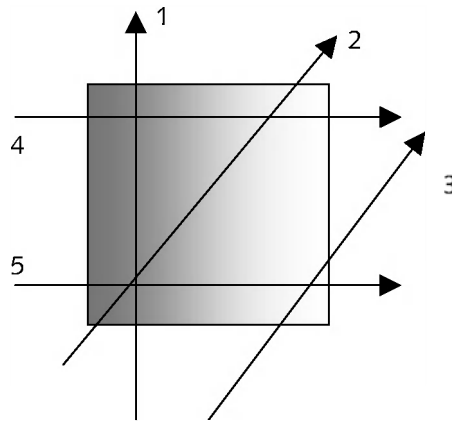
De precisie van de gemiddelde waarde van een gridcel (op basis van 50 dieptes) kunnen we nu bepalen met behulp van de voorplantingswet van de varianties. We bepalen de precisie van het gemiddelde van een gridcel op een diepte van 15 meter, wat ongeveer een gemiddelde diepte is op de Westerschelde. De precisie van het gemiddelde van de gridcel komt op 2 cm 2 σ waarde.

Het belang van de inwinprecisie (van de losse punten) wordt hierdoor gereduceerd. Het mag duidelijk zijn dat systematische fouten de kwaliteit van een gridcel bepalen. De inwinprecisie heeft een random karakter en middelt dus weg.

Hierbij wordt de aanname gedaan dat de losse punten normaal verdeeld zijn over de gridcel. Tevens wordt aangenomen dat er 50 punten in een gridcel liggen (noord – zuid gevaren, zie pijl 1). Dat is niet altijd het geval, zie figuur 4. Indien in diagonale richting wordt gevaren, zie pijl 2 en 3, dan kunnen er meer of minder dieptes per cel voorkomen. Voor een groot gebied kunnen we gerust de aanname doen dat er gemiddeld 50 dieptes per cel voorkomen.

Een bijkomend fenomeen is dat de gemiddelde diepte van de gemeten waarden niet exact overeenkomt met de werkelijke gemiddelde diepte. Dit wordt gevisualiseerd in figuur 4. Dit komt alleen voor op de taluds

en niet in de geulen en op de platen. Links in de gridcel is de diepte bijvoorbeeld lager dan rechts. Pijl 1 zal een te diepe waarde weergeven en pijl 3 te hoog. Echter, in praktijk wordt er echter nooit zo ingewonnen. DZL meet immers loodrecht op het talud (pijl 4 en 5). Hierdoor komt de gemiddelde gemeten waarde overeen met de gemiddelde werkelijke waarde.

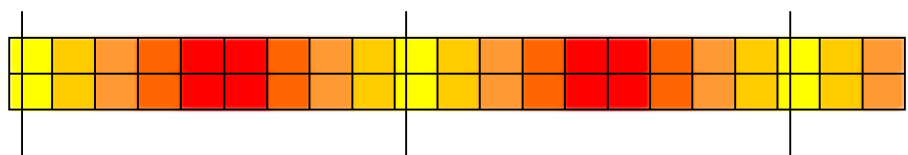


Figuur A.1.4 Verschillende dieptes in gridcel.

Nauwkeurigheid na verwerking

Nu de precisie van een gemeten gridcel bepaald is kunnen we een uitspraak doen over de precisie van de tussenliggende geïnterpoleerde gridcellen. Deze maximale waarde zal bepalend zijn voor de precisie van de bathymetrische kaart voor deze methodiek.

In onderstaand figuurtje is schematisch de precisie van de dieptekaart getoond, als singlebeam metingen geïnterpoleerd worden. Hoe donkerder de kleur hoe groter het getal van de precisie.

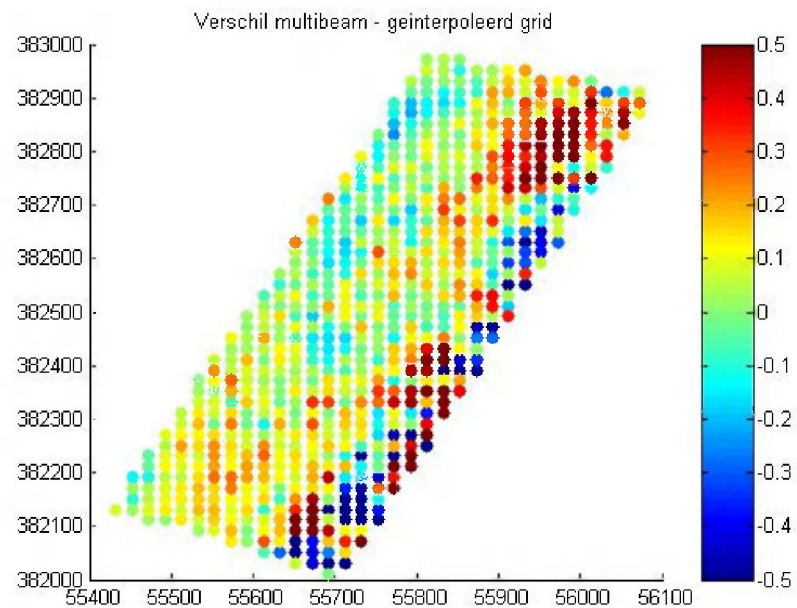


Op gridcellen waar niet gemeten is (90% van de gridcellen), bestaat de precisie uit twee componenten:

- de inwinprecisie van de gridcellen waar wel is gemeten;
- de som van idealisatieprecisie en interpolatieprecisie, voor het gemak noemen we deze term de interpolatieprecisie.

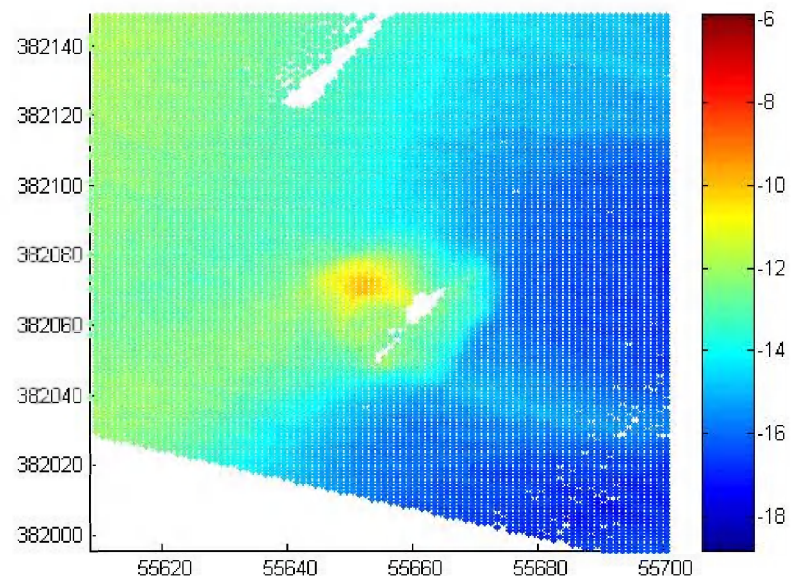
De interpolatieprecisie is afhankelijk van hoe goed de interpolatiemethode de bodem kan representeren. Een grillige bodem vergt uiteraard een goede interpolatiemethode en/of meer raaien. Voor vak 3 in de Westerschelde heeft de AGI geconcludeerd dat de interpolatieprecisie ongeveer 50 cm 2σ is. Dit getal is ontstaan uit

analyses naar het verschil tussen multibeamdata en geïnterpoleerde data (raaien zijn uit multibeamdata geëxtraheerd).



Figuur A.1.5 Verschilgrid multibeam singlebeam

De kleuren zijn geschaald tussen de -50 en 50 cm; er zitten echter uitschieters bij van 1,5 meter (kuilen en bulten die wel zichtbaar zijn in multibeamdata en niet in de geïnterpoleerde data).



Figuur A.1.6 Bult van 10 m doorsnede, zichtbaar in multibeamdata.

Omdat de inwinprecisie en interpolatie in deze test onafhankelijk van elkaar zijn uitgerekend, kunnen we de precisie van een geïnterpoleerde gridcel bepalen door de wortel te nemen van de kwadratische som (= $\text{wortel}(1^2 + 25^2) = 25 \text{ cm } 1 \sigma$, wat gelijk is aan $50 \text{ cm } 2 \sigma$).

Leverbetrouwbaarheid

Zijn er risico's te onderkennen voor deze methodiek om tot het gewenste eindproduct te komen? Deze methodiek is de huidige manier van werken binnen Rijkswaterstaat. Er is jarenlange ervaring opgebouwd, er bestaan standaard voorschriften etc.

Als we in de toekomst kunnen kijken dan vallen de risico's behoorlijk mee. Rijkswaterstaat kan de metingen zelf verzorgen door een Meet en Informatiedienst of een Dienstkring, of uitbesteden aan bijvoorbeeld een Waterschap. Daarnaast is er een beperkte markt aanwezig die instaat is om deze metingen te verzorgen.

De leverbetrouwbaarheid is zeer hoog.

Continuïteit

Hier speelt de vraag of de methodiek voor een langere termijn in het interesse gebied, Waddenzee & Westerschelde, ingezet kan worden. We kunnen hier kort over zijn. Deze methodiek is de huidige methode die op dit moment overal ingezet wordt. Er is geen reden om te veronderstellen dat deze methodiek over langere termijn niet meer uitvoerbaar zal zijn.

De continuïteit van deze methodiek is zeer hoog.

Uniformiteit

Hier speelt de vraag of de methodiek inzetbaar is voor heel Nederland, in alle soorten gebieden qua nauwkeurigheid. Een kort antwoord is hier mogelijk: Ja.

De uniformiteit van deze methodiek is hoog.

Regionaal geschikt

Het komt voor dat er buiten het product Kust en Bodemligging vragen komen die betrekking hebben op relatief kleine gebieden. Het gaat dan vaak om vragen in de trant van: Hoe ligt de zandsuppletie bij Egmond erbij? Om dit type vragen te beantwoorden geniet het de voorkeur om gebruik te maken van gemeten vlakdekkende informatie. Bij deze methodiek is dit niet het geval. Waar daadwerkelijk gemeten is, is de precisie hoog, de precisie van de tussenliggende interpolatie is zeer beperkt.

Samenvatting

In onderstaande tabel wordt een overzicht gepresenteerd op de gevraagde criteria.

Methodiek	Singlebeam 200m
Nauwkeurigheid na inwinning	15 cm @ 2 σ
Nauwkeurigheid na verwerking	50 cm @ 2 σ
Lever betrouwbaarheid	Ze er hoog
Uniformiteit	Hoog
Continuïteit	Ze er hoog
Regionaal geschikt	Ze er beperkt

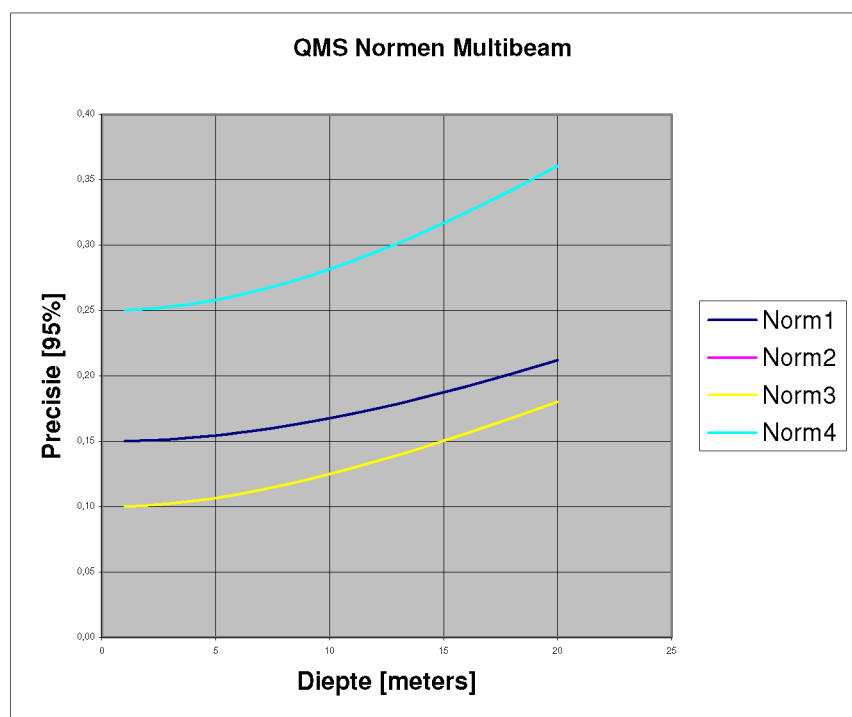
A.2 Bijlage Multibeam

Inleiding

Het meten met een multibeam echolood heeft als voordeel dat er (bijna) vlakdekkende informatie wordt ingewonnen. Dit betekent ook dat de hoeveelheid informatie die ingewonnen wordt vele malen groter is, vuistregel is dat multibeam ongeveer 1000x meer dieptes opleverd dan singlebeam.

Nauwkeurigheid na inwinning

Voor de Westerschelde geldt norm 3, en dat betekent een precisie (2σ) van 15 cm op 15 meter diepte. De QMS normen zijn minimale normen waaraan een lading dient te voldoen. De waarde die we hier vinden is gelijk aan de precisie van die we eerder vonden bij de singlebeam methodiek.



Figuur A.2.1 Precisie Multibeam volgens QMS

De bundelhoek van een singlebeam echolood bij de Directie Zeeland is een zogenaamde narrow beam van 2,5 graad. De rest van Nederland werkt over het algemeen met een bundelhoek van 9,6 graden. Hoe groter de bundelhoek hoe ondieper er gemeten wordt. Doordat

Directie Zeeland met een narrow beam echolood werkt kunnen we de precisie gelijk stellen aan die van de multibeam lodingen. Immers de bundelhoek van een multibeam EM3000 serie is niet veel kleiner en zal dus dezelfde diepte loden.

Nauwkeurigheid na verwerking

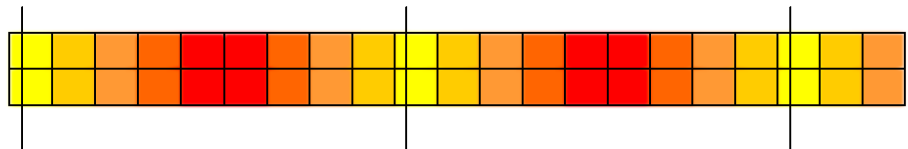
Het meten met multibeam levert (bijna) vlakdekkende data op. Uit deze vlakdekkende data worden raaien geëxtraheerd. Vervolgens worden deze raaien op dezelfde manier als bij methodiek 1 behandeld. Er wordt dus eerst ongeveer 95% van de gemeten data weggehaald om vervolgens de tussenliggende ruimte weer dicht te interpoleren met DIGIPOL.

De geëxtraheerde dieptes per raai worden vergrid (20m bij 20m) net zoals bij methodiek 1. Het aantal dieptes dat in een gridcel valt zal iets groter zijn doordat de update rate van een multibeam echolood hoger is dan bij een singlebeam echolood. De precisie van de gemiddelde gridcel waarde zal marginaal kleiner zijn dan bij methodiek 1. Dit betekent dat de inwinprecisie net zoals bij methodiek 1 namelijk invloed zal hebben op het uiteindelijke resultaat.

Bij deze verwerkingsmethode is de precisie van de interpolatiemethode bepalend voor het resultaat. Net als bij methodiek 1 komt de precisie van de interpolatiefout neer op $50 \text{ cm } 2 \sigma$.

Aanbeveling aan RIKZ

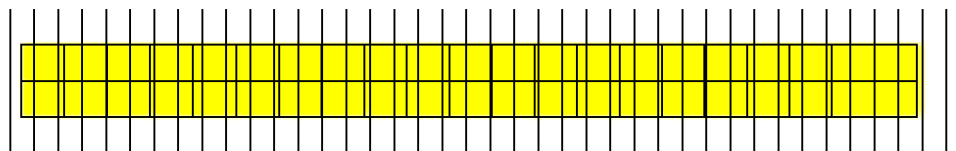
Indien uit de profielen het grid wordt bepaald ziet de precisie er schematisch als volgt uit:



Deze methode van verwerking is niet aan te raden omdat in het algemeen de interpolatiefout groter is dan de inwinprecisie. En dus is het verstandiger om gewoon de gemeten waarden te gebruiken.

Verwerking tot grid

Indien uit de multibeamdata direct het grid wordt bepaald ziet de precisie er schematisch als volgt uit:



De gemiddelde waarde van een gridcel wordt bepaald uit meerdere meetpunten. De precisie van die gemiddelde waarde is daarom goed (ordegrootte 3-4 cm, zeker kleiner dan 15 cm). De schatting van 5 cm

systematische fout blijft echter van kracht. De systematische fout wordt veroorzaakt door onnauwkeurigheden in de voortplantingsnelheid, etc..

Leverbetrouwbaarheid

Zijn er risico's te onderkennen voor deze methodiek om tot het gewenste eindproduct te komen? Deze methodiek is naast methodiek 1 een zeer veel gebruikte manier van werken binnen Rijkswaterstaat. Er is jarenlange ervaring opgebouwd, er bestaan standaard voorschriften etc.

Als we in de toekomst kunnen kijken dan vallen de risico's behoorlijk mee. Rijkswaterstaat kan de metingen zelf verzorgen door een Meet en Informatiedienst of een Dienstkring, of uitbesteden aan bijvoorbeeld een Waterschap. Daarnaast is er een beperkte markt aanwezig die instaat is om deze metingen te verzorgen.

De leverbetrouwbaarheid is zeer hoog.

Continuïteit

Hier speelt de vraag of de methodiek voor een langere termijn in het interesse gebied, Waddenzee & Westerschelde, ingezet kan worden. We kunnen hier kort over zijn. Deze methodiek is een veel gebruikte methode die op dit moment overal ingezet wordt. Er is geen reden om te veronderstellen dat deze methodiek over langere termijn niet meer uitvoerbaar zal zijn.

De continuïteit van deze methodiek is hoog.

Uniformiteit

Hier speelt de vraag of de methodiek inzetbaar is voor heel Nederland, in alle soorten gebieden qua nauwkeurigheid. Een kort antwoord is hier mogelijk: Ja.

Wel moet beseft worden dat multibeam minder efficiënt (meer raaien varen voor vlakdekkende bestanden) wordt naarmate men op ondiepe delen gaat meten.

De uniformiteit van deze methodiek is zeer hoog.

Regionaal geschikt

Multibeam metingen geven vlakdekkende bestanden die uitermate geschikt zijn om regionale vragen te beantwoorden zoals morfodynamiek.

Deze methodiek is regionaal zeer geschikt.

Samenvatting

Methodiek	
multibeam	15 cm
@ 2 °	50 cm
@ 2 °	Zeer hoog
	Zeer hoog
	Hoog
	Zeer geschikt
Nauwkeurigheid na inwinning	
Nauwkeurigheid na verwerking	
Lever betrouwbaarheid	
Uniformiteit	
Continuïteit	
Regionaal geschikt	

A.3 Bijlage Laseraltimetrie

Inleiding

Vanaf 1996 worden de droge Jarkusprofielen van de Nederlandse Kust met behulp van laseraltimetrie ingewonnen. Grofweg is laseraltimetrie de droge variant van multibeam: de bodem wordt afgescand en in korte tijd worden vlakdekkend (1 punt per 9 m²) veel punten opgenomen.

Nauwkeurigheid na inwinning

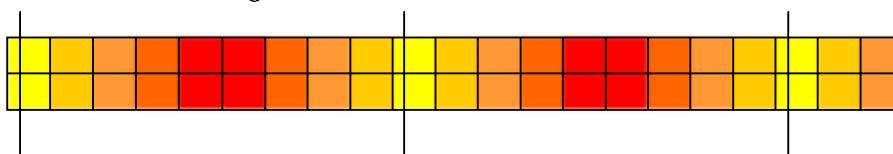
De precisie van met laseraltimetrie ingewonnen profielpunten is ongeveer 20-30 cm (2 σ). Dit geldt voor punten zowel op het harde strand als op los, droog zand en op duinhellingen. Deze precisie per punt is een optelsom van alle precisiewaarden uit de gehele meetketen. De systematische fout van het gehele bestand is altijd kleiner dan 5 cm; hier wordt bij de controle op getoetst. Merk op dat dit een groot voordeel is ten opzichte van de natte meetmethoden.

Nauwkeurigheid na verwerking

Bij de verwerking van laseraltimetriedata gelden in principe dezelfde overwegingen als bij de verwerking van multibeamdata.

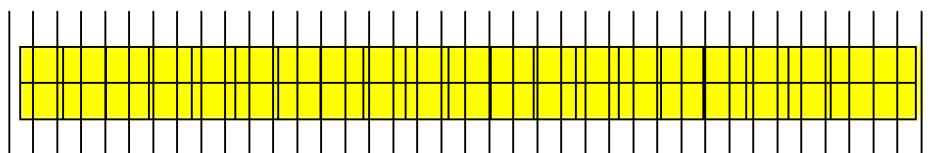
Bij de uit de laserdata afgeleide *profielen* treedt bovenop de meetprecisie ook nog een interpolatiefout op door ruimtelijke bodemvariatie tussen de profielen. Hierbij gaat het om de vraag, hoe goed de hoogte van een gemeten punt overeen komt met zijn omgeving. Deze interpolatiefout is duidelijk groter dan de inwinprecisie en wordt geschat op tussen de 20 en 60 cm, 2 σ . Voor platen in de Westerschelde geldt dat de interpolatiefout laag is, dus ongeveer 20 cm is.

Indien uit de profielen het grid wordt bepaald ziet de precisie er schematisch als volgt uit:



Deze methode van verwerking is niet aan te raden omdat in het algemeen de interpolatiefout groter is dan de inwinprecisie. En dus is het voor het gridbestand verstandiger om gewoon de gemeten waarden te gebruiken, net zoals bij de multibeamdata.

Indien uit de laseraltimetriedata direct het grid wordt bepaald ziet de precisie er schematisch als volgt uit:



De gemiddelde waarde van een gridcel wordt bepaald uit meerdere (ongeveer 40) laserpunten. De precisie van die gemiddelde waarde van een gebiedje van 20x20 meter is daarom goed (ordegrootte 3-4 cm, zeker kleiner dan 15 cm). De schatting van maximaal 5 cm systematische fout blijft echter van kracht. Deze systematische fout wordt bijvoorbeeld veroorzaakt, doordat de gehele laserstrook 5 cm te hoog ligt. Tijdens de controle bij de AGI wordt getoetst op de grootte en de reikwijdte van alle mogelijke foutensoorten. Een systematische fout groter dan 5 cm wordt niet geaccepteerd, en zal dus ook niet in de aan RIKZ geleverde bestanden zitten.

Leverbetrouwbaarheid

In het verleden is het wel eens voorgekomen dat de laseraltimetriedata later dan gepland geleverd is. In het algemeen kunnen we hier 2 hoofdoorzaken voor aandragen:

1. te weinig geschikte vliegdagen;
2. herhaaldelijk terugsturen door onvoldoende kwaliteit.

De inwinning wordt uitbesteed aan één van de geprékwalificeerde vliegbedrijven. De vlucht moet worden uitgevoerd onder een aantal specifieke omstandigheden, waaronder opname tijdens laagwater en met goede weersomstandigheden. Normaal gesproken hoeft dit geen probleem op te leveren, maar omdat het vliegbedrijf, laat staan RWS, de weersomstandigheden niet in de hand heeft, wordt het toch als risico opgeschreven.

Het mag dan een clichéopmerking lijken, het geldt zeker voor de laseraltimetriedata: hoe eerder de opdracht bekend is, des te hoger de leverbetrouwbaarheid, omdat er gewoon meer geschikte vliegdagen beschikbaar zullen zijn.

Het tweede punt betreft de kwaliteitscontrole die de AGI uitvoert op de laserdata. Hoewel de kwaliteit in de loop der tijd sterk verbeterd is, komt het voor dat de AGI de data niet accepteert, en dat de aannemer de tijd krijgt om een verbeteringsslag uit te voeren. Vroeger kwam het voor dat er meerdere malen is afgekeurd, wat automatisch vertraging opleverde.

De leverbetrouwbaarheid is gemiddeld.

Prijs

Voor het meten van alleen het stranddeel is de bandbreedte van de mogelijke kosten van laseraltimetrie redelijk groot (220 k€ t/m 380 k€). Indien iedere 5 jaar ook het duindeel gemeten moet worden (of elk jaar 1/5-de deel daarvan), dan variëren de kosten tussen 230 k€ en 400 k€. Er is nog wel een grote onzekerheidsmarge bij de kosten van laseraltimetrie. [Graaf e.a., 2003].

Continuïteit

Hoewel de markt beperkt is, is het niet te verwachten dat de laservlucht niet uitgevoerd kan worden. Laseraltimetrie is een volwassen product, met voldoende toekomstperspectief.

De continuïteit van laseraltimetrie is gemiddeld, vanwege de afhankelijkheid van de markt.

Uniformiteit

Met laseraltimetrie is het mogelijk om in een korte periode een groot gebied op te nemen. Bijvoorbeeld, de Nederlandse Kust wordt in een paar dagen ingewonnen, met dezelfde inwinprocedure en apparatuur. Dit verhoogt de uniformiteit van het bestand.

De uniformiteit is zeer hoog.

Regionaal geschikt

Tot nu toe wordt bij het RIKZ de vlakdekkende laserdata niet gebruikt, maar alleen de strandprofielen die maar een heel klein percentage van de gehele datahoeveelheid voorstellen. De reden is dat de data niet of moeilijk toegankelijk is binnen RIKZ. Het is echter te verwachten dat met de komst van de database WADI, en de internet ontsluitingstool Geoservices, alle lodingsgegevens en de laseraltimetriegegevens eenvoudiger te ontsluiten en te bewerken zijn. Zowel de strandprofielen als de vlakdekkende data kunnen in WADI opgeslagen worden. Afhankelijk van de toepassing kan dan de meest geschikte bron gebruikt worden. Met Geoservices heeft Rijkswaterstaat sinds 2003 een krachtige tool in beheer dat allerlei databronnen kan combineren en zodoende meerdere kaartlagen over elkaar kan leggen. Dankzij de meta-informatie (wat is kwaliteit/wat kan men wel en niet met de data) wordt de meerwaarde van vlakdekkende informatie zichtbaar.

Het aanbod van eenvoudig ontsluitbare vlakdekkende data zal een toenemende vraag hiernaar genereren. Visualisaties van morfologische ontwikkeling zullen sprekender zijn met vlakdekkende informatie dan met geïnterpoleerde data.

Samenvatting

Methodiek	Nauwkeurigheid na inwinning	Nauwkeurigheid na verwerking	Lever betrouwbaarheid	Uniformiteit	Continuïteit	Regionaal geschikt
laseraltimetrie	20 cm @ 2 σ	30 cm @ 2 σ	Gemiddeld	Zeer hoog	Gemiddeld	Zeer geschikt

A.4 Bijlage RTK-GPS

Inleiding

In 2003 heeft de AGI in het rapport "Inwinning 'Droge' jarkusprofielen langs de Nederlandse Kust" [Graaf e.a., 2003] de vergelijking gemaakt tussen laseraltimetrie en RTK-GPS.

Nauwkeurigheid na inwinning

De puntprecisie van RTK-GPS is afhankelijk van de afstand tussen de mobile ontvanger en het referentiestation.

Indien alleen gekeken wordt naar de inwinprecisie van RTK dan kan gezegd worden dat per punt de hoogteprecisie $2.0 \text{ cm} + 1 \text{ mm/km}$ is. Belangrijk is om te beseffen dat de metingen gekoppeld moeten worden aan het RDNAP stelsel. Hiervoor heeft de AGI procedures ontwikkeld hoe een referentiestation dient te worden ingemeten. Deze procedures worden alleen maar gehanteerd bij het gebruik van THALES apparatuur. De metingen op de plaat worden gedaan met apparatuur van een andere leverancier, Leica. Deze heeft een referentie station dat lokaal neer gezet wordt en zeker niet de nauwkeurigheid (procedureel) haalt als dat van een ingemeten Aquarius (THALES) referentiestation.

Voor de eenvoud nemen we aan dat de inwinprecisie van deze landmeetkundige activiteit neerkomt op $2.0 \text{ cm} + 1 \text{ mm/km}$ (1σ). Dit is een realistische waarde.

Nauwkeurigheid na verwerking

De aanname die we hier doen voor vak 3 is dat de RTK-GPS metingen uitgevoerd worden op vlakke platen. De schatting voor de interpolatienauwkeurigheid komt daarmee op 50 cm (2σ).

Leverbetrouwbaarheid

Hoewel het een arbeidsintensieve meetmethode is, is deze wel goed te plannen. Er zijn immers veel bureau's die de meting uit kunnen voeren en er zijn relatief veel mogelijke werkdagen (weersafhankelijk van regen, ijs, sneeuw etc.).

De leverbetrouwbaarheid is zeer hoog.

Continuïteit

Er zijn voldoende partijen (zowel RWS als extern) die deze meting kunnen uitvoeren. Het is de verwachting dat RTK-GPS de komende jaren operationeel blijft. Het enige dat op lange termijn (2010) kan veranderen is de integratie met Galileo, het Europese GPS netwerk.

De continuïteit is zeer hoog.

Uniformiteit

Hoewel er kleine verschillen kunnen ontstaan tussen typen GPS ontvangers, en er daardoor kleine verschillen in kwaliteit kunnen ontstaan, kan de meetmethode op zich als uniform beschouwd worden. De meting op zich is niet afhankelijk van het type bodem; de beperkingen gelden voor plaatsen waar het niet mogelijk is om te komen.

De uniformiteit is zeer hoog.

Regionaal geschikt

Hoewel RTK-GPS geen vlakdekkend beeld oplevert, kenmerkt deze methode zich vanwege het flexibele karakter. Als er voor een bepaalde toepassing lokaal een (kleine) puntenwolk ingemeten moet worden, dan is RTK-GPS een geschikte methode. Echter, hoe groter de gewenste oppervlakte, hoe minder geschikt.

De regionale geschiktheid is zeer hoog.

Samenvatting

Methodiek	Nauwkeurigheid na inwinning	Nauwkeurigheid na verwerking	Lever betrouwbaarheid	Uniformiteit	Continuïteit	Regionaal geschikt
RTK-GPS	6 cm @ 2 σ	50 cm @ 2 σ	Zeer hoog	Zeer hoog	Zeer hoog	Geschikt
