



Inwinning “droge” JARKUS profielen langs Nederlandse kust

Vergelijking tussen laseraltimetrie en terrestrisch meten

12 november 2003



Inwinning “droge” JARKUS profielen langs Nederlandse kust

Vergelijking tussen laseraltimetrie en terrestrisch meten

12 november 2003

versie : 2.0

Rapportnummer: AGI-GAM-2003-40

Adviesdienst Geo-informatie en ICT

Auteurs:

afdeling GAM : ing. H.J.C. de Graaf

afdeling GAP : ir. S.J. Oude Elberink

afdeling GAR : ir. A.E. Bollweg en

dr.ing. R. Brügelmann

afdeling TG : L.R.A. Richardson

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	"Droge" JARKUS profielen	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Nieuwe RIKZ opdrachtomschrijving	5
2.3	Definities	7
3	Laseraltimetrie	8
3.1	Manier van meten	8
3.2	Kwaliteit	10
3.2.1	Precisiebeschrijving van 5 meter interval profielpunt	10
3.2.2	Precisiebeschrijving van 5 meter NAP hoogtelijn	11
3.3	Voor- en nadelen van laseraltimetrie.....	12
3.4	Kosteninschatting.....	13
3.4.1	Inwinningskosten	14
3.4.2	Controlekosten.....	15
3.4.3	Kosten Zeeland duintop	16
3.4.4	1/5 deel duindeel per jaar	16
3.4.5	Totale kosten laseraltimetrie	17
3.5	Haalbaarheid 2004	17
3.6	Toekomstige ontwikkelingen	17
4	Terrestrisch meten	19
4.1	Manier van meten	19
4.2	Kwaliteit	20
4.2.1	Precisiebeschrijving van 5 meter interval profielpunt	21
4.3	Voor- en nadelen van terrestrisch meten	22
4.4	Kosteninschatting.....	23
4.4.1	Inwinningskosten	23
4.4.2	Controlekosten.....	25
4.4.3	Kosten Zeeland duintop	25
4.4.4	1/5 deel duindeel per jaar met laseraltimetrie	26
4.4.5	Totale kosten terrestrisch meten	26
4.5	Haalbaarheid 2004	27
4.6	Toekomstige ontwikkelingen	27
5	Vergelijking laser versus terrestrisch	28
5.1	Totaal prijsinschatting 2004	28
5.2	Overige vergelijkingen	29
6	Bronvermelding	33
Bijlagen:		
1. Kostenopbouw laseraltimetrie		
2. Kostenopbouw terrestrisch meten		
3. Kwaliteit		

1 Inleiding

RIKZ is opdrachtgever van het landelijke monitoringsprogramma JARKUS. Hierbij worden de JARKUS profielen in hoogte en diepte ingemeten. De huidige financiële beperking heeft voor Rijkswaterstaat gevolgen. Dit geldt ook voor RIKZ. Hierdoor staat het beschikbare budget voor de JARKUS projecten onder druk en dient gekeken te worden of een goedkopere, effectievere en betere methode aanwezig is. RIKZ heeft aan de AGI gevraagd een vergelijking uit te voeren tussen de huidige methode, met laseraltimetrie hoogte-informatie inwinnen, en de met RTK-GPS terrestrische meetmethode, voor het "droge" deel van de JARKUS profielen. Het droge deel is dat deel van de JARKUS profiel dat loopt van min 1 tot plus 5 meter NAP hoogtelijn.

Het rapport is als volgt ingedeeld.

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het nut van het meten van de JARKUS profielen en wordt de nieuwe opdrachtomschrijving van RIKZ besproken.

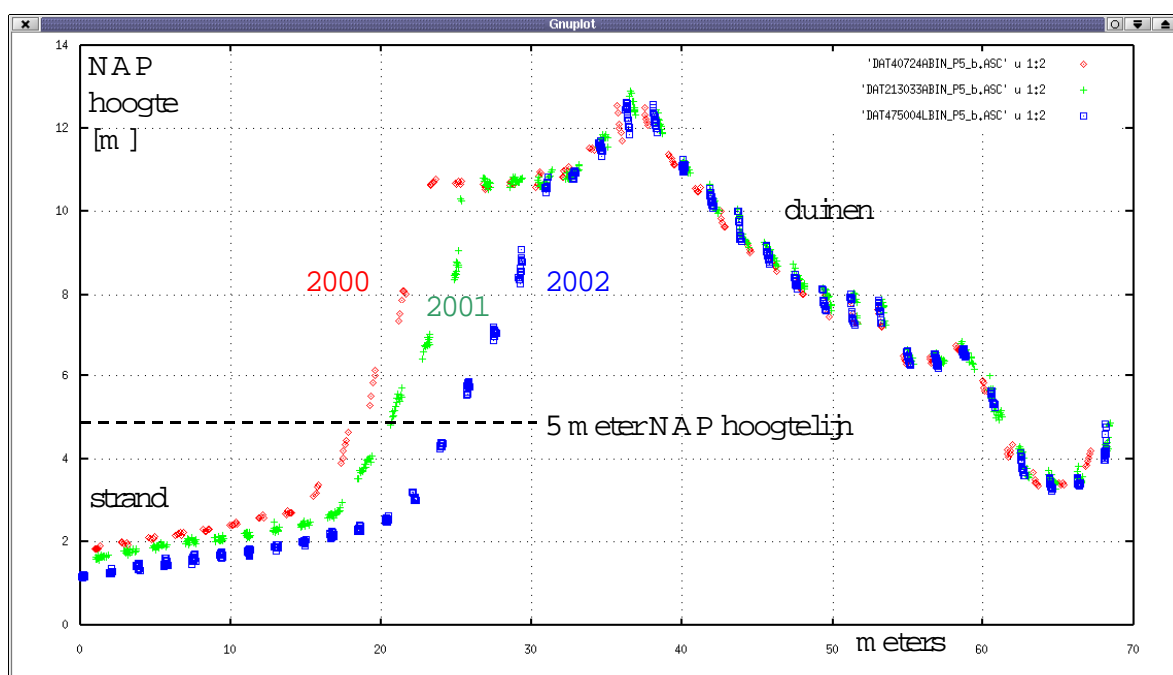
Voor laseraltimetrie en de terrestrische methode worden in hoofdstuk 3 en 4 de manier van meten van de "droge" JARKUS profielen toegelicht. Er wordt aandacht besteed aan de kwaliteit van de metingen en de voor- en nadelen. De kosteninschatting voor 2004 worden per meetmethode beschreven. Beide hoofdstukken worden afgesloten met de haalbaarheid voor 2004 en de toekomstige ontwikkelingen.

De daadwerkelijke vergelijking wordt in hoofdstuk 5 gemaakt. Bij het nemen van een beslissing, hoe de "droge" JARKUS profielen in de toekomst ingewonnen worden, kan dit hoofdstuk voor RIKZ ondersteuning bieden.

2 "Droge" JARKUS profielen

2.1 Inleiding

De Nederlandse kust wordt jaarlijks in hoogte ingemeten. Voor 1996 gebeurde dit met behulp van fotogrammetrie en vanaf 1996 met laseraltimetrie. Hieronder een voorbeeld van een profiel over het strand en de eerste duinrij bij Schouwen, gemeten met laseraltimetrie in de jaren 2000, 2001 en 2002.



Figuur 1: Profielen over strand en eerste duinrij bij Schouwen van 3 opeenvolgende jaren (2000 in rood, 2001 in groen, en 2002 in blauw).

Tussen deze 3 metingen is duidelijk afslag van zand zichtbaar; de duin is zo'n 7 a 8 meter slanker geworden in 2 jaar tijd. Over de gehele duinhoogte is zand verdwenen, terwijl het achterland na de eerste duintop identiek is gebleven. Ook de terrestrische metingen, die na de laatste laseraltimetriemeting zijn uitgevoerd, konden dit beeld bevestigen (deze zijn niet in figuur opgenomen). Deze zandafslag, die in het veld niet direct zichtbaar was, is zowel met laseraltimetrie als met terrestrische metingen goed in beeld te brengen.

2.2 Nieuwe RIKZ opdrachtomschrijving

RIKZ heeft gezien de financiële beperkingen voor 2004 de volgende eisen opgesteld voor het meten van de "droge" JARKUS profielen, o.a. op basis van het RIKZ-rapport "Meten om te weten...; Evaluatie van het Fysisch Meetnet" [3].

-
- Van de gehele Nederlandse kust (kustvak Zeeuws-Vlaanderen tot en met Schiermonnikoog, totaal 16 kustvakken, zie paragraaf 2.3 voor de definities) alleen het stranddeel (van –1 tot 5 meter NAP hoogtelijn) elk jaar opnemen.
 - Van duindeel (vanaf 5 meter NAP hoogtelijn tot beginpunt JARKUS profiel in het achterland) opname van alle kustvakken (Zeeuws-Vlaanderen tot en met Schiermonnikoog) van de gehele Nederlandse kust 1/5 deel per jaar.
 - Een uitzondering geldt voor Zeeland, waar jaarlijks naast het stranddeel ook tot en met eerste duintop ingemeten dient te worden.
 - Opleveren van hoogtegegevens conform definitie van de JARKUS profielen. De JARKUS profielen zijn punten, met onderlinge afstand van 5 meter op de denkbeeldige vastgestelde profiellijn.
 - De nauwkeurigheid van de laseraltimetrie hoogtemetingen van de 'droge' JARKUS profielen zijn voor RIKZ acceptabel. Een gelijkwaardige nauwkeurigheid van een andere techniek kan worden gehanteerd als norm. De kwaliteitseisen voor laseraltimetrie zijn a.) voor harde topografie een gemiddelde afwijking van kleiner dan 5cm en een standaard afwijking van kleiner dan 15cm en b.) voor zachte topografie een gemiddelde afwijking van kleiner dan 10cm en een standaard afwijking van kleiner dan 20cm. Zodra er spraken is van twee verschillende inwinsystemen, zijn aansluitfouten niet te voorkomen. Het dynamische karakter van standprofielen kan beperkt worden door beide technieken nagenoeg tegelijkertijd in te winnen. Sinds 2002 zijn binnen de Adviesdienst Geo-Informatie en ICT nieuwe precisiebeschrijvingen opgesteld voor laseraltimetrie, zoals in hoofdstuk 3.2 zal worden toegelicht. Welke precisie gewenst is voor de werkzaamheden binnen RIKZ is nog onbekend. *Opmerking AGI* :Informatiebehoefte inventarisatie naar hoogtegegevens van Nederlandse kust binnen RIKZ en RWS zou hierin meer inzicht kunnen geven.
 - Metingen dienen na het stormseizoen te worden ingewonnen (vanaf 15 maart) en het eindproduct dient voor 1 augustus te worden opgeleverd. De "natte" JARKUS profielen worden in de zomer uitgevoerd. Liefst worden de "natte" en "droge" metingen gelijktijdig uitgevoerd om de beste aansluiting te realiseren. De "droge" JARKUS profielen worden tijdens laagwater ingewonnen, terwijl de "natte" JARKUS profielen met hoogwater worden ingewonnen.

Naar aanleiding van het bovenstaand voorbeeld in paragraaf 2.1 kunnen twee punten worden opgemerkt:

1. De afslag vindt tot bovenaan de duin plaats. De gegevens tot de 5 meter NAP hoogtelijn zijn voldoende om informatie te geven ten behoeve van het instandhouden van de basiskustlijn. De gegevens boven de 5m worden niet in JARKUSdata meegenomen.
2. De JARKUS-profielen hebben een 5 meter interval van de hoogte-informatie. Deze 5 meter intervalpunten komen niet altijd overeen met de knikpunten van de duinvoet. Mogelijk worden in de toekomst deze knippunten in de JARKUS profielen meegenomen.

2.3 Definities

Hieronder staan enkele termen met hun definitie ter voorkoming van misverstanden.

Stranddeel: het gebied langs Nederlandse kust waar JARKUS profielen liggen tussen de -1 en 5 meter NAP hoogtelijn;

Duindeel: het gebied langs Nederlandse kust waar JARKUS profielen liggen tussen de 5 meter NAP hoogtelijn en het beginpunt van JARKUS profiel in het achterland;

Kustvakken: de door RIKZ gespecificeerde kustvakken, totaal 16 stuks van Zeeuws-Vlaanderen tot en met Schiermonnikoog. Kustvak Rottumeroog en -plaat wordt in deze vergelijking niet meegenomen. De 16 kustvakken zijn:

Kustdeel	Kustvlak	Opmerkingen
Kust Zeeland	Zeeuws-Vlaanderen	Dit komt overeen met het beheersgebied van Directie Zeeland
	Walcheren	
	Noord-Beverland	
	Oosterschelde	
	Schouwen	
Kust Holland	Goeree (incl. Brouwersdam)	Dit komt overeen met het beheersgebied van Directie Zuid-Holland en Noord-Holland.
	Voorne	
	Maasvlakte	
	Delftland	
	Rijnland	
	Noord-Holland	
Texel		
Kust Eilanden	Vlieland	Dit komt overeen met het beheersgebied van Directie Noord Nederland
	Terschelling	
	Ameland	
	Schiermonnikoog	

3 Laseraltimetrie

In dit hoofdstuk zal eerst worden ingegaan op de manier van meten van de "droge" JARKUS profielen met laseraltimetrie, waarbij ook de ervaringen tot nu toe worden meegenomen. Vervolgens worden naast de kwaliteit, de voor- en nadelen van deze techniek voor de "droge" JARKUS profielen besproken. Daarna zal een kosteninschatting voor 2004 en verder worden gegeven, conform de nieuwe RIKZ opdrachtomschrijving (zie paragraaf 2.2). Tot slot wordt de haalbaarheid voor 2004 besproken en de toekomstige ontwikkelingen (voor zover momenteel inzichtelijk) kenbaar gemaakt.

3.1 Manier van meten

Sinds 1996 wordt de gehele Nederlandse kust (duin- en stranddeel) met behulp van laseraltimetrie ingemeten. Hieronder de randvoorwaarden en specificaties waaraan deze eindproducten voldoen.

- Het eindproduct, de x,y en z coördinaten in ASCII van de "droge" JARKUS profielen voor strand- en duindeel van de kustvakken worden gecontroleerd voordat deze worden opgeleverd. De AGI staat garant voor de kwaliteit van het geleverde product.
- Een ander eindproduct zijn de eveneens gecontroleerde gridhoogtebestanden van de vlakdekkende hoogtemetingen van strand- en duindeel van de kustvakken. Voor zover bekend wordt deze data niet gebruikt binnen RIKZ.
- Sinds 2000 worden niet alle kustvakken elk jaar gemeten, maar een deel van de kustvakken, vanwege kostenbesparingen bij RIKZ. De kust Zeeland wordt elk jaar opgenomen vanwege de dynamiek en risico's. De kust Holland evenals de kust Eilanden worden om het jaar ingemeten (zie vorige hoofdstuk 2.3 voor definities van de kust-gebieden).
- De ingewonnen punt dichtheid varieert per jaar tussen 1 punt per 6m² en 1 punt per m². Sommige jaren is met een hogere punt dichtheid gevlogen, omdat dit voor deze specifieke aannemer de meest ideale inwintpunt-dichtheid voor hun lasersysteem is.
- De laserhoogtemetingen worden gefilterd voor uitschieters, vegetatie en objecten.
- Gevlogen wordt tijdens de laagwater getijde venster, zoals door RIKZ per kustvak is aangegeven.
- Gevlogen wordt in de periode na 15 maart, opgedragen door RIKZ, gezien het einde van het stormseizoen. De AGI adviseert om niet meer na 15 april te meten gezien de vegetatiegroei in de duinen, en dus een slechtere situatie om onder de vegetatie nog kwalitatief goede lasermetingen terug te ontvangen.
- Laseraltimetrie geeft een vrij goede momentopname van de hoogtesituatie per profiel en per kustvak. De periode van 15 maart

tot en met 15 april is ruim voldoende, als het weer gunstig is, om alle kustvakken op te nemen.

- De opleverdatum aan RIKZ is zo goed als altijd gehaald. Sinds 1999 zijn de slechts 1 of enkele kustvakken 1 of 2 maanden later opgeleverd, in overleg met RIKZ.

Om een indicatie van de kosten te krijgen zijn in onderstaande tabel de verschillende laseraltimetrieprojecten opgenomen die betrekking hebben op het meten van strand- en duindeel van de Nederlandse kust. In deze tabel zijn de kosten opgenomen voor het meten van de kust in opdracht van RIKZ voor de "droge" JARKUS profielen met laseraltimetrie met een minimale punt dichtheid van 1 punt per 6m² vanaf 1998. In 1996 is gemeten met een punt dichtheid van 1 punt per 16m², in 1997 is gemeten met een punt dichtheid van 1 punt per m². Na deze 2 jaren is in 1998 gekomen tot een advies-punt dichtheid van 1 punt per 6m² omdat dit in 1998 de beste punt dichtheid was voor het goed filteren van met name de vegetatie en de goedkoopste optie van prijsaanbiedingen.

Tabel 1: RIKZ-opdrachten laseraltimetriemetingen voor "droge" JARKUS profielen. Prijzen in Euro's exclusief BTW. Zie bijlage 1 voor uitgebreide tabellen.

Jaar	Gebied	Gevlogen* punt dichtheid [1 punt per ..]	Prijs AGI kosten [€ per ha]	Prijs (excl. BTW) Uitbestedingskosten [€ per ha]
1998	alle 16 kustvakken	6m ²	?	6,31 – 10,87
1999	alle 16 kustvakken	4 tot 6m ²	1,47	8,42 – 8,69
2000	kust Zeeland en Eilanden	4m ²	1,47	10,10 – 12,52
2001	kust Zeeland en Holland	1m ²	1,50–1,68	11,79 -12,25
2002	kust Zeeland en Eilanden	1m ²	0,44 – 1,68	12,08 – 12,33
2003	kust Zeeland en Holland	6m ²	4,21–5,86 **	5,04***

* De gevraagde minimale punt dichtheid is voor alle jaren 1 punt per 6m². De uiteindelijk gevlogen en opgeleverde punt dichtheid kan dus hoger zijn, afhankelijk van het lasersysteem.

** In 2003 zijn nieuwe soort referentiegebieden opgenomen om tot een betere kwaliteitswaarborging te komen. Hierdoor zijn de kosten eenmalig hoger dan voorgaande jaren.

*** In 2003 zijn de laseraltimetrie metingen door een nieuw geprekwalificeerd bedrijf uitgevoerd die een zeer aantrekkelijke aanbieding heeft neergelegd. Of deze prijsaanbieding in de toekomst ook zo zal blijven is niet te garanderen.

Tabel 2: Totale kosten laseraltimetrie per jaar in Euro's inclusief BTW vanaf 1998 t/m 2003.

Jaar	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Kust	Zeeland, Holland en Eilanden	Zeeland, Holland en Eilanden	Zeeland en Eilanden	Zeeland en Holland	Zeeland en Eilanden	Zeeland en Holland
subtotaal uitbesteding excl. BTW	€ 287.120,01	€ 275.638,36	€ 199.663,30	€ 215.772,49	€ 241.538,38	*** € 91.114,00
subtotaal uitbesteding incl. BTW*	€ 337.366,01	€ 323.875,07	€ 234.604,38	€ 256.769,26	€ 287.430,67	€ 108.425,66
subtotaal controlekosten	onbekend	€ 47.416,19	€ 27.470,04	€ 27.534,81	€ 15.428,52	** € 84.000,00
Totaal	onbekend	€ 371.291,26	€ 262.074,42	€ 284.304,07	€ 302.859,19	€ 192.425,66

* BTW 17,5% tot en met 2000 en 19% na 2000.

** In 2003 zijn nieuwe soort referentiegebieden opgenomen om tot een betere kwaliteitswaarborging te komen. Hierdoor zijn de kosten eenmalig hoger dan voorgaande jaren.

*** In 2003 zijn de laseraltimetrie metingen door een nieuw gepre kwalificeerd bedrijf uitgevoerd die een zeer aantrekkelijke aanbieding heeft neergelegd. Of deze prijsaanbieding in de toekomst ook zo zal blijven is niet te garanderen.

In tabel 2 zijn de totaal kosten voor laseraltimetriemetingen per jaar weergegeven. In bijlage 1 zijn de totaal kosten per kustvak per jaar weergegeven voor de uitbestedings- en controlekosten, om een idee van de kostenopbouw te krijgen.

3.2 Kwaliteit

Om een uitspraak te doen over de inwinprecisie wordt eerst stilgestaan bij de mate van invloed van de bodemvariatie. Deze is beschreven in paragraaf 4.2 en is voor alle meetmethodes van toepassing.

3.2.1 Precisiebeschrijving van 5 meter interval profielpunt

De hoogteprecisie van laserbestanden werd in het verleden met twee getallen beschreven:

- Een stochastische fout (puntruï), die wordt beschreven met een standaardafwijking.
- Een systematische fout, die wordt beschreven met een "gemiddelde afwijking in een gebied".

Deze specificaties zijn echter multi-interpretabel omdat de gebiedsgrootte ontbreekt waarvoor de twee getallen geldig zijn. Bovendien passen de specificaties niet bij het huidige foutenbeeld van een laseraltimetrie bestand dat bij de Adviesdienst Geo-Informatie en ICT ondertussen aanwezig is. Daarom is er in het afgelopen jaar bij de Adviesdienst Geo-Informatie en ICT een nieuwe hoogteprecisie beschrijving voor laseraltimetrie bestanden ontwikkeld (zie rapport "Precisiebeschrijving AHN 2002" [1]).

Bij laseraltimetrie zijn er verschillende foutenbronnen die effect hebben op een bepaalde gebiedsgrootte. Wij onderscheiden de volgende foutensoorten:

-
1. *Fout per punt:*
De standaardafwijking van de fout van de lasermeting in een enkel punt als gevolg van 'ruis' in de laserafstandsmeter.
 2. *Fout per gebied:*
De standaardafwijking van de hoogtefouten in gedeeltes van een strook als gevolg van 'ruis' in de GPS waarnemingen.
 3. *Fout per strook:*
De beschrijving van de vormfouten in de lengterichting van een vliegstrook als gevolg van GPS- en INS-sensoren.
 4. *Fout per projectgebied (bestaand uit meerdere laserstroken):*
De beschrijving van de fouten in de aansluiting van het hoogtebestand op het NAP-stelsel.

Iedere foutsoort wordt beschreven door een amplitude uitgedrukt in een standaardafwijking. Bij de Adviesdienst Geo-Informatie en ICT zijn methoden ontwikkeld om de grootte van de amplitudes van de vier foutsoorten te berekenen. Bovendien heeft de AGI uit analyses van vele datasets inzicht in realistische getallen voor de amplituden van de foutensoorten. Met de foutamplitudes kan de hoogteprecisie van een enkele laserpunt en van verschillend grote gebieden (of gridcellen) berekend worden. Alle fouten werken direct en met volle omvang door op de fout van een enkele laserpunt. De precisie van de gemiddelde hoogte van een groter gebied (of groter gridcel) is echter iets beter dan van een enkele laserpunt omdat dan sommige foutensoorten (b.v. puntruï) gedeeltelijk wegmiddelen.

3.2.2 Precisiebeschrijving van 5 meter NAP hoogtelijn

De kwaliteit van een hoogteprofiel kan beschreven worden door de precisie van iedere hoogtepunt van het profiel. Bij de JARKUS profielen wordt om de 5 meter een hoogtepunt aangegeven. De precisie van een profielpunt is dezelfde als van een 5 x 5 m² laserdata gridcel. Gebaseerd op ervaring met de amplitudes van de verschillende foutensoorten kan verwacht worden dat de hoogteprecisie van de profielpunten van de JARKUS-profielen tussen de 10 en 15 cm standaardafwijking (1 sigma) is.

De hoogteprecisie van de profielpunten wordt nauwelijks beter met een hogere punt dichtheid (b.v. 1 punt per vierkante meter in plaats van de gevraagde punt dichtheid van 1 punt per 6 vierkante meter). Echter, de terreinbeschrijving (met name van de duinvoet) wordt wel beter met een hogere punt dichtheid. In dit geval is echter aan te bevelen om ook de afstand van de profielpunten verder te verdichten en niet aan de 5 m afstand vast te houden.

3.3 Voor- en nadelen van laseraltimetrie

Hieronder worden de voor- en nadelen van laseraltimetrie voor de JARKUS profielen van het stranddeel benoemd.

Voordelen:

- Er ontstaat geen trendbreuk tussen “droge” JARKUS profielen van voor 2004 en 2004 en later. Als gekozen wordt voor een andere techniek dan tot nu toe wordt gebruikt ontstaat er een trendbreuk. Een trendbreuk ontstaat door van de ene meetmethode op een andere over te stappen. Of deze ook in de dataset zichtbaar wordt is niet altijd het geval. In de ergste geval is de trendbreuk 2 keer de standaard afwijking van de oude en de nieuwe meetmethode bij elkaar opgeteld.
- De vlakdekkende informatie die standaard met laseraltimetrie wordt ingewonnen, geeft informatie over geaccidenteerdheid van het terrein tussen profielen. Op lange termijn kan deze informatie van belang zijn als niet meer met JARKUS profielen wordt gewerkt maar bijvoorbeeld met hoogtemodellen. De vlakdekkende gridbestanden worden sinds 1996 ook aan RIKZ opgeleverd.
- Deze vlakdekkende informatie kan worden gebruikt om een gemiddelde hoogte en standaardafwijking van tussenliggend terrein tussen profielen te berekenen, om een betrouwbaarder JARKUS profiel te geven. Dit is een mogelijke toepassing op korte termijn. De profielen met, i.p.v. gemeten hoogte, een gemiddelde hoogte en een standaardafwijking van een deel links en rechts van het profiel, beschrijven ook het tussenliggende terrein. Hiermee wordt een realistischer berekening van het volume bepaald, met een mogelijke besparing van zandsuppletie tot gevolg.
- Met laseraltimetrie is het mogelijk om praktisch zonder extra verwerkingskosten tot de eerste duintop te meten, waardoor totale afslag, indien aanwezig, geheel gemeten wordt.
- Overdag en 's nachts vliegen is mogelijk, zolang bewolking hoog genoeg zit.
- In kleine getijde vensters kunnen grote oppervlaktes worden gevlogen, wat ten goede komt aan de momentopname van de hoogtemetingen per profiel en per kustvak.
- Tijdsvenster is na stormtijd (15 maart) en voor start van vegetatiegroei (15 april). Indien alleen stranddeel wordt opgenomen, dan kan ook nog na 15 april worden gemeten (aangezien er nagenoeg geen vegetatie op stranddeel staat), zolang voor 1 augustus de profielen kunnen worden opgeleverd aan RIKZ. Hiermee kan een betere aansluiting in tijd op de “natte” JARKUS metingen mogelijk worden gerealiseerd, aangezien die vaak in zomer worden gemeten.
- Bij een calamiteit is deze techniek redelijk snel in te zetten, en kan in kort tijdsbestek een nieuwe indruk van de nieuwe situatie worden verkregen, zolang het gebied redelijk groot is, zoals jongstleden augustus 2003 gebeurt is met de rivierbodem gedurende het extreme laagwater.

Nadelen:

- Laseraltimetrie meet soms ook de vegetatie als deze aanwezig is. Deze metingen worden in de naverwerking verwijderd aangezien de hoogte van het maaiveld wordt gevraagd voor de "droge" JARKUS profielen.
- Voor de oplevering van de eindproducten is de Adviesdienst Geo-Informatie en ICT altijd afhankelijk van capaciteit en voortgang van opdrachtnemer(s)/aannemer(s). In het verleden heeft dit geresulteerd in te late opleveringen.
- Vlakdekkende informatie wordt ingewonnen terwijl alleen de 5 meter interval punten van de "droge" JARKUS profielen worden gebruikt in combinatie met de "natte" JARKUS profielen om de basiskustlijn te handhaven. De vlakdekkende gridbestanden worden wel betaald en ook opgeleverd, maar voor de hoogste prioriteit, het handhaven van basiskustlijn, niet gebruikt.
- Indien een zwin aanwezig is op het strand, zullen geen hoogtegegevens van de ondergrond hiervan met laseraltimetrie kunnen worden bepaald. De laseraltimeter ontvangt weinig tot geen signaal terug van het wateroppervlak.
- Bij laseraltimetrie kan tot op heden niet direct worden berekend tot welke NAP hoogtelijn is gemeten. Hierdoor is terugkoppeling met de natte metingen niet meer mogelijk, omdat deze al zijn gemeten. Er ontstaan dus aansluitingsgaten tussen natte en droge metingen op de profielen.

3.4 Kosteninschatting

In deze paragraaf wordt een kosteninschatting gegeven voor de nieuwe RIKZ opdrachtschrijving (zie paragraaf 2.2) met laseraltimetrie. Deze bestaat uit de uitbestedingskosten voor het inwinnen van de laseraltimetrie gegevens, de controlekosten voor de controle en kwaliteitswaarborging van de hoogtemetingen en "droge" JARKUS profielen. En daarnaast is een meerpost voor het meten vanaf de 5 meter NAP hoogtelijn tot en met de eerste duintop langs de kust Zeeland, aangezien dat een uitzondering betreft, opgenomen. Tot slot is een prijs opgenomen voor het inmeten met laseraltimetrie van 1/5 deel van het duindeel van de Nederlandse kust.

3.4.1 Inwinningskosten

Met de ervaring tot nu toe met laseraltimetriemetingen voor de Nederlandse kust wordt hieronder een schatting gegeven van de kosten voor het uitvoeren van de in het vorige hoofdstuk genoemde nieuwe RIKZ opdrachtomschrijving, zie tabel 3.

Tabel 3: Uitbestedingskosten (inclusief BTW) voor het inmeten met laseraltimetrie voor alle kustvakken in Euro's. In stap 1 wordt uitgegaan van de kostprijs tot nu toe en in de volgende stappen worden met inachtneming van de nieuwe wensen van RIKZ en nieuwe technische ontwikkelingen een nieuwe prijschatting berekend. In stap 6 staat de nieuwe prijs(schatting) per kust-gebied voor 2004 en verder.

Omschrijving van kostenopbouw laseraltimetrie	Gebied	min. prijs	max. prijs
Stap 1: Prijs tot op heden voor het vliegen van alle kustvakken zowel strand- als duindeel met laseraltimetrie (zie bijlage 1 voor prijzen)	Zeeland	26.000	66.000
	Holland	84.000	196.000
	Eilanden	144.000	210.000
	Subtotaal	254.000	472.000
Stap 2: Elk jaar alleen stranddeel meten. Het oppervlak van het stranddeel is de helft van het oppervlak uit stap 1. Het in te winnen oppervlak geeft met name in de vliegreuen en in de verwerkingsuren een kostenbesparing. De mobilisatiekosten zullen constant blijven. Een kostenbesparing van 15% wordt hiermee verwacht.	Zeeland	22.100	56.100
	Holland	71.400	166.600
	Eilanden	122.400	178.500
	Subtotaal	215.900	401.200
Stap 3: Geen filtering van duindeel nodig, aangezien tot de 5 meter NAP hoogtelijn wordt gemeten. Dit geeft een kostenbesparing in uren nabewerking van de data door de aannemer, in de orde van ca. 5% van de totaalkosten.	Zeeland	20.995	53.295
	Holland	67.830	158.270
	Eilanden	116.280	169.575
	Subtotaal	205.105	381.140
Stap 4: Gebruik van landelijk GPS netwerk (sinds dit jaar operationeel aangeboden door een bedrijf), waardoor kostenbesparing bij aannemers in de plaatsing van GPS grondstations wordt gerealiseerd. Met name op de Waddeneilanden geeft dit veel voordeel. Op vaste land 5% voordeel, op Waddeneilanden 10% voordeel.	Zeeland	19.945	50.630
	Holland	64.439	150.357
	Eilanden	104.652	152.618
	Subtotaal	189.036	353.604
Stap 5: Een mogelijke kostenbesparing kan worden gerealiseerd in het geven van meerjaaraopdrachten, gedacht wordt aan ca. 10% kostenbesparingen.	Zeeland	17.951	45.567
	Holland	57.995	135.321
	Eilanden	94.187	137.356
	Subtotaal	170.132	318.244
Stap 6: Prijsinschatting inwinningskosten (inclusief BTW) nieuwe RIKZ opdrachtomschrijving voor 2004.	Totaal	170.000	320.000

Algemene opmerkingen over deze prijsinschatting van de uitbestedingskosten:

- Momenteel is in Nederland het aanbod van opdrachten aanzienlijk lager dan de afgelopen 5 jaar, gezien de afronding van het Actueel Hoogtebestand Nederland. Dat in tegenstelling tot het aantal marktpartijen, dat momenteel kwalitatief goed lasermetingen kan uitvoeren. Scherpe prijsaanbiedingen zijn te verwachten gezien de geringe voorraad werk in Nederland. Dit punt wordt echter niet in bovengenoemde prijsinschatting meegenomen. De beschikbaarheid bij de aannemers geeft ook de mogelijkheid om twee aannemers in

te zetten, zodat de een hogere betrouwbaarheid voor de opleverdatum wordt gerealiseerd.

- Landelijke GPS netwerken (zoals genoemd in stap 4 van tabel 3) zijn sinds dit jaar operationeel. Dit geeft met name voordeel in de contracten met de aannemers, omdat de maximale afstand tussen vliegtuig en GPS-referentie-station kan worden verlengd. Deze aanpassing heeft geen invloed op de precisie-eisen.
- Daarnaast blijkt uit de gesprekken met de regionale Meet- en Informatiediensten dat de meeste beschikken over zelfstandig onderhouden vaste GPS-referentie-stations. Als de laseraltimetrie aannemers van deze grondstations gebruik kunnen maken, dan zal dit ook een kostenbesparing geven voor de landmeetkundige grondwerkzaamheden die gelijktijdig met het vliegen worden uitgevoerd.
- Het eindproduct van de 5 meter interval "droge" JARKUS profielen zijn X,Y en Z coördinaten geïnterpoleerd uit de laseraltimetriedata opgeleverd in ASCII-formaat. De vlakdekkende gridbestanden kunnen ook als een eindproduct worden opgeleverd.
- Bovenstaande prijzen zijn schattingen naar aanleiding van de ervaringen die tot nu toe zijn opgedaan met laseraltimetrie-opdrachten bij de Adviesdienst Geo-Informatie en ICT. Deze bedragen zijn niet gebaseerd op daadwerkelijke prijzen van aannemers voor deze nieuwe opdrachtomschrijving.

3.4.2 Controlekosten

De kosten voor de controle en kwaliteitswaarborging van de laserbestanden worden afgeleid uit de ervaringen tot nu toe. Deze onafhankelijke controle wordt bij AGI uitgevoerd.

Kosten voor de AGI uren zijn alleen in 2003 een factor 3 hoger dan voorheen (zie tabel 1), dit omdat in 2003 nieuwe soorten referentiegebieden zijn ingemeten om de kwaliteit van de data (beter) te kunnen garanderen. De verwachting is dus dat de prijzen van de voorgaande jaren representatief zijn voor de vervolgjaren.

Tabel 4: Controlekosten voor het controleren en garanderen van kwaliteit van "droge" JARKUS profielen voor 2004.

Gebied	Prijzen tot nu toe	Prijsinschatting voor 2004
Zeeland	6.000 - 7.700 €	6.000 - 7.700 €
Holland	20.000 -21.200 €	20.000 -21.200 €
Eilanden	6.300 -21.200 €	20.000 -21.200 €
Totaal	32.400-50.100 €	46.000-50.100 €

Algemene opmerkingen over de prijsinschatting van de AGI kosten voor 2004:

- De prijsinschatting voor kustgebied Eilanden is flink opgetrokken. Dit heeft 2 redenen. Allereerst omdat er een projectsamenwerking is met het achterland van de Eilanden voor het AHN. Hierdoor worden de kosten over beide projecten verdeeld. Ten tweede zijn de kosten voor het inmeten van de nieuwe referentiegebieden in 2003 nog niet opgenomen in de maximale prijs tot nu toe.

- Het inmeten elk jaar van 1/5 deel van het duindeel is niet in bovenstaand kostenplaatje opgenomen. In paragraaf Kosten 1/5 duindeel per jaar, zie paragraaf 3.4.4 wordt hierop ingegaan.
- De Adviesdienst Geo-Informatie en ICT heeft als taak om de laserdata te controleren en de kwaliteit te garanderen. Deze extra onafhankelijke controle op de laserdata wordt geadviseerd om in stand te houden, gezien de ervaringen tot nu toe met de controle op geleverde laserbestanden.

3.4.3 Kosten Zeeland duintop

In onderstaande tabel wordt de meerprijs voor het inmeten van de eerste duintop van de kustvakken in Zeeland berekend.

Er vanuit gaande dat de 5 meter NAP hoogtelijn en de eerste duintop binnen 50 meter afstand van elkaar liggen, kan deze informatie (de duinhelling tot en met de eerste duintop) in de vliegstrook worden meegenomen. Hiervoor hoeft nagenoeg geen extra vluchten te worden uitgevoerd. Met de verwerking is wellicht wat extra tijd nodig aangezien in dit aanvullende gebied vegetatie aanwezig is die dus gefilterd dient te worden.

De AGI zal voor deze werkzaamheden geen extra uren inschatten, omdat de controle van de 5 meter hoogtelijn tot en met de duintop kan worden opgenomen bij het stranddeel van Zeeland.

Extra kosten Zeeland meten t/m duintop: **5.000 €**

3.4.4 1/5 deel duindeel per jaar

Naast de strandmetingen wil RIKZ elke 5 jaar het duingebied in hoogte hebben ingemeten. Hiervoor wordt voor het jaarbudget de kosten van 1/5 deel van het duindeel van de gehele Nederlandse kust meegenomen in deze prijsinschatting. Deze meerwerkprijs, genoemd in onderstaande tabel 5, kan alleen worden berekend als ook het stranddeel van de Nederlandse kust met laseraltimetrie wordt uitgevoerd.

Tabel 5: Meerwerkprijs in Euro's voor het inmeten van laseraltimetrie hoogtegegevens van de "droge" JARKUS profielen van 1/5 duindeel (inclusief BTW).

Omschrijving van kostenopbouw laseraltimetrie	Gebied	min. prijs	max. prijs
Stap 1: Prijs tot op heden voor het vliegen van alle kustvakken zowel strand- als duindeel met laseraltimetrie (zie bijlage 1 voor prijzen)	Zeeland	26.000	66.000
	Holland	84.000	196.000
	Eilanden	144.000	210.000
	Subtotaal	254.000	472.000
Stap 2: Elk jaar naast het stranddeel ook 1/5 duindeel inmeten met laseraltimetrie. Het duinoppervlak is ongeveer de helft van het totale oppervlak. Van het duinoppervlak wordt dan per jaar 1/5-deel ingewonnen. Dus ongeveer 10% van het oppervlak van stap 1 wordt ingewonnen.	Zeeland	2.600	6.600
	Holland	8.400	19.600
	Eilanden	14.400	21.000
	Subtotaal	25.400	47.200
Stap 3: Korting omdat het meerwerkprijs betreft, en de opstart en mobilisatiekosten in de kosten zitten voor het inmeten van het stranddeel. Verwachting is dat dit 50% van de kosten betreft.	Zeeland	1.300	3.300
	Holland	4.200	9.800
	Eilanden	7.200	10.500

	Subtotaal	12.700	23.600
Stap 4: Prijsinschatting inwinningskosten (inclusief BTW) nieuwe RIKZ opdrachtomschrijving voor 2004 voor 1/5 duindeel van Nederlandse kust.	Totaal	13.000	24.000

De korting ingeval van een meerjarenopdracht voor het inmeten van 1/5 duindeel is niet in de prijsinschatting van tabel 5 meegenomen, omdat het een meerwerkprijs betreft.

3.4.5 Totale kosten laseraltimetrie

De totale prijs voor 2004 en verder, zie tabel 6, is een optelling van de bovenstaande tabel 3, 4 en 5 en de kosten genoemd in paragraaf 3.4.3.

Tabel 6: Totale prijsinschatting laseraltimetrie "droge" JARKUS profielen voor 2004.

Omschrijving werkzaamheden	Prijsinschatting 2004
Inwinningskosten (incl. BTW)	170.000 – 320.000 €
Controlekosten	46.000 – 50.100 €
Zeeland duintop kosten (incl. BTW)	5.000 €
Subtotaal prijsinschatting strand	221.000 – 375.100 €
1/5 deel duindeel per jaar	13.000 – 24.000 €
Totaal prijsinschatting 2004	234.000 – 399.100 €

3.5 Haalbaarheid 2004

Hier zijn geen problemen te verwachten, zolang de voorbereidingstijd voor de uitbesteding bij RIKZ en AGI en voorbereiding van de vluchten bij de aannemer voldoende is.

3.6 Toekomstige ontwikkelingen

In deze paragraaf komen enkele nieuwe ideeën of toepassingen van laseraltimetrie aan bod die op korte, middellange of lange termijn van belang kunnen zijn voor de kustmetingen t.b.v. basiskustlijnhandhaving. Deze worden hier genoemd om een compleet beeld te geven van de toekomstige ontwikkelingen, maar ook om een goede keuze te maken voor zowel korte als lange termijn.

- Voor de kustlijnhandhaving is het in de toekomst wellicht mogelijk om een continue profiel te gebruiken (elke halve meter of elke meter) een meting. Hiermee krijg je een beter beeld van de knikpunten in het profiel. Laseraltimetrie kan met de inwinpunt dichtheid deze informatie direct leveren.
- Voor de kustlijnhandhaving is het in de toekomst wellicht mogelijk om een maat voor representativiteit van een hoogtepunt op de JARKUS profiel mee te geven in de vorm van een gemiddelde hoogte en standaardafwijking van de 100 meter links en 100 meter rechts van het JARKUS profielpunt. Hiermee wordt een beter profiel berekend, en dus een realistische volumeberekening, wat mogelijk direct gevolgen heeft voor de hoeveelheid zandsuppletie met een kostenbesparing.

-
- Indien in de toekomst de JARKUS profielen worden omgezet naar JARKUS hoogtemodellen, dan kan de hoogteinformatie vanaf 1996 worden gebruikt om de trend van de basiskustlijn te bepalen.
 - De hoogtemetingen elke 5 jaar van het duindeel (en nog verder landinwaarts, volgens het advies uit de "Meten om te weten...; Evaluatie van het Fysisch Meetnet" [3]) wordt geadviseerd om met een gelijke punt dichtheid uit te voeren, zoals tot nu toe wordt toegepast, namelijk minimaal 1 punt per 6m². Dit is gezien de technische ontwikkeling van de lasersystemen en de filtersoftwareontwikkelingen tot op heden geen probleem.
 - Mogelijke kostenbesparing in de toekomst doordat de kwaliteit van vluchtgegevens beter wordt vanwege betere stands- en positie bepalingssystemen en -methoden.

4 Terrestrisch meten

In dit hoofdstuk zal eerst worden ingegaan op de manier van meten van de "droge" JARKUS profielen met terrestrische metingen. Vervolgens worden naast de kwaliteit, de voor- en nadelen van deze techniek voor de "droge" JARKUS profielen besproken. Daarna zal een kosteninschatting voor 2004 en verder worden gegeven, conform de nieuwe RIKZ opdrachtschrijving (zie paragraaf 2.2). Tot slot wordt de haalbaarheid voor 2004 besproken en de toekomstige ontwikkelingen (voor zover momenteel inzichtelijk) kenbaar gemaakt.

4.1 Manier van meten

In de landmeetkundige wereld worden hoogteprofielen momenteel meestal met behulp van RTK-GPS (Real Time Kinetic – Global Positioning System) gemeten. Om met RTK-GPS te kunnen meten moeten er referentiestationen worden opgesteld. De regionale Meet- en Informatiediensten (MID) hebben RTK-GPS referentiestationen langs de Nederlandse kust ingericht. Daarnaast zijn er voldoende bekende kernnetpunten langs de Nederlandse kust om tijdelijke RTK-GPS referentiestationen in te richten. Soms zijn er geen bekende kernnetpunten in de buurt. Dan moeten de coördinaten van een tijdelijk referentiestation eerst worden bepaald, alvorens profielen gemeten kunnen worden.

De uitvoering van RTK-GPS kan echter verschillend zijn. Er kan bijvoorbeeld vanaf een voertuig of lopend gemeten worden. Ter verduidelijking worden de manieren van meten vanaf een voertuig en lopend kort beschreven.

RTK-GPS rijdend



De MID van Directie Noord Nederland gebruikt een vierwiel aangedreven voertuig dat geschikt is voor strandomstandigheden (zie foto hiernaast). Zo'n ATV (All Terrain Vehicle) wordt uitgerust met RTK-GPS. De GPS antenne wordt cardanisch gemonteerd om zoveel mogelijk verticaal de hoogte te meten. De rij snelheid van de ATV is ongeveer 10 km per uur. De up-date-rate van de plaatsbepaling is gemiddeld één keer per seconde. Dit betekent dat er ongeveer elke 3 meter een X, Y en Z coördinaat vast wordt gelegd, met een precisie in de orde van centimeters, zie paragraaf 1.1 over kwaliteit. Uiteindelijk worden deze metingen geïnterpoleerd naar de 5 meter interval JARKUS profielpunten.

Om langs de fictieve lijn van de JARKUS profiel te kunnen rijden, wordt gebruik gemaakt van een Differential GPS (dGPS) ontvanger. Op de dGPS ontvanger kan de lijn worden ingevoerd en met een links-rechts indicator kan de bestuurder de lijn zo goed mogelijk volgen. De marge voor het opnemen van een JARKUS profiel is gelijk gehouden aan die

van de lodingen ("natte" JARKUS profielen) en dat houdt in dat er ± 10 meter van de theoretische JARKUS profiel afgeweken mag worden. De precisie van een dGPS ontvanger is in de orde van meters. Inzinking van het voertuig is beperkt door de brede banden. In paragraaf 1.1 over kwaliteit wordt hier verder op ingegaan.

RTK-GPS lopend

De metingen kunnen ook lopend worden uitgevoerd. In dit geval zal een landmeter met een lange stok met daarop een GPS-antenne (zie foto aan de rechterkant) de profielen aflopen.



De profielen kunnen in de software van een handheld computer, ook wel Husky genaamd (zie foto aan de linkerkant), ingevoerd worden en het profiel kan dan door middel van een links-rechts indicator langs de theoretische lijn worden gelopen.

Afhankelijk van het terrein worden er om de zoveel meter een punt vastgelegd in XYZ. Voor lange vlakke stukken kan er bijvoorbeeld om de vijf meter een punt worden vastgelegd. Bij geulen of geaccentueerd terrein worden er meer punten opgenomen.



Inzinken van de stok kan worden beperkt door gebruikt te maken van een zandvoet. De lengte van de stok kan een vaste fabrieksmaat zijn of kan met een meetlint nauwkeurig worden bepaald (binnen een paar mm). In paragraaf 1.1 over kwaliteit wordt hier verder op ingegaan.

Voor beide metingen geldt dat de gemeten profielen worden geïnterpoleerd naar de "droge" JARKUS profielpunten. Aangezien de Meet- en Informatiediensten ook de "natte" JARKUS profielen inwinnen, kan bij de verwerking direct op de "natte" JARKUS profielen worden aangesloten. Dit gebeurt met behulp van het software pakket Qinsy.

De keuze voor rijdend of lopend de profielen inmeten is aan de Meet- en Informatiediensten. Sommige MID'en prefereren de lopende meetmethode boven het werken met een ATV. Niet elke Dienst heeft voldoende ATV's beschikbaar om de metingen rijdend uit te voeren. Of soms laten de omstandigheden dat niet toe. Soms is een combinatie gewenst als bijvoorbeeld de 5 meter NAP hoogtelijn boven de duinvoet ligt of als een hek bij de duinvoet staat.

4.2 Kwaliteit

Om een uitspraak te doen over de inwinprecisie wordt hieronder eerst stilgestaan bij de mate van invloed van de bodemvariatie. Deze uitspraak is voor alle meetmethodes van toepassing.

Inwinprecisie versus bodemvariatie

Als het strand een biljartlaken zou zijn, dan vertoont het gemeten hoogtemodel variaties in de orde van centimeters per gemeten punt vanwege de inwinprecisie. Maar, het strand is geen biljartlaken, zie figuur 1.



Figuur 1 : Strand foto Zandvoort

De werkelijke hoogte wordt geïdealiseerd door in profielrichting elke 5 meter een punt te meten en daartussen te interpoleren; loodrecht op het profiel wordt lineair geïnterpoleerd over een afstand van ca. 200 meter. Hierbij worden zogenaamde modelfouten gemaakt, het hoogtemodel komt niet overeen met de werkelijke hoogte van het strand.

De grootte van deze modelfouten is afhankelijk van hoe goed het strand overeenkomt met het model: dit wordt beschreven met de bodemvariatie.

De bodemvariatie is te splitsen in een tijdsafhankelijk deel en een ruimtelijk afhankelijk deel. Deze worden kort toegelicht:

- *Tijdsafhankelijke bodemvariatie.* De hoogte van het strand varieert in de tijd. Deze variatie is afhankelijk van dagelijkse invloeden (eb en vloed), seizoensinvloeden (nat, droog), menselijke aanwezigheid (kuilen, bergen etc.), wind, jaarlijkse invloeden. Alle meetmethoden hebben hier last van!
- *Ruimtelijke bodemvariatie.* Hoe goed komt de hoogte van een gemeten punt overeen met zijn omgeving? Als men kijkt naar de strandfoto (Zandvoort) in figuur 1, dan is te zien dat een gemeten punt niet overeen zal komen met een punt iets verderop, laat staan 100 meter verder loodrecht op de profielrichting. De modelfout is duidelijk groter dan de inwinprecisie, en wordt geschat op tussen de 10 cm en 60 cm. Merk op dat een min of meer vlakdekkende inwinmethode zoals laserscanning de ruimtelijke variatie beter kan beschrijven dan een interpolatiemethode.

4.2.1 Precisiebeschrijving van 5 meter interval profielpunt

Indien alleen gekeken wordt naar de inwinprecisie van RTK dan kan gezegd worden dat per punt de hoogteprecisie 2.4 cm + 1 mm/km is. Dus met een maximale afstand van 20km naar het GPS referentiestation een hoogteprecisie van 5cm. Indien er meer punten binnen de 5

meter zijn gemeten, dan wordt de gemiddelde hoogte iets nauwkeuriger. In het algemeen geldt als het strand zich als een lineair vlak gedraagt, dat meten op de knikpunten voldoende is. De RTK-GPS precisie komt dan neer op maximaal 5cm plus de bodemvariatie binnen het grid.

Daarnaast is de inzinking van de ATV of stok een belangrijk element voor de bepaling van de precisie. Bij de ATV zijn de bandenspanning en het fixeren van de achtervering van belang. Er zijn geen metingen of testen uitgevoerd om achter de inzinking te komen. Bij testmetingen in 2000 met de WESP (Water En Strand Profiler) van Directie Noord Holland zijn verschillen van ca 5 cm gevonden die systematisch van aard waren. De Wesp is veel zwaarder dan de ATV, en kan tot ongeveer tot de 2.5 meter NAP hoogtelijn meten. Om een goed onderbouwde uitspraak te kunnen doen over het effect van inzinking van de ATV is onderzoek gewenst. De precisiewaarden hieronder zijn gebaseerd op het rapport "Optimalisatie Wesp" [2] en een schatting van de effecten van inzinking op een ATV. De inzinking op nat of hard zand wordt geschat rond 2 á 3cm. Bij mul zand zal de precisie slechter zijn en men kan hierbij aan denken 5 tot 10cm. Ook bij de ATV is het de verwachting dat de aard van de fout systematisch zal zijn. De bovenstaande fouten zijn de 1σ waarden.

Bij de lopende metingen wordt de GPS antenne met behulp van een stok op de grond gezet. Ook hier dient onderscheid gemaakt te worden tussen hard of nat zand en droog of los zand. Op hard of nat zand is de foutenbron beperkt tot millimeterniveau en bij mul zand kan er een fout van ongeveer 1 á 2 cm (1σ) optreden.

4.3 Voor- en nadelen van terrestrisch meten

Hieronder worden de voor- en nadelen van terrestrisch meten voor de "droge" JARKUS profielen benoemd.

Voordelen:

- Na een storm waarbij lokaal afslag heeft plaatsgevonden kan deze techniek makkelijk worden ingezet om de nieuwe situatie in kaart te brengen.
- Tijdsvenster is na stormtijd (15 maart) en voor oplevering van eindproducten (1 aug.). Hiermee kan mogelijk een betere aansluiting in tijd op de "natte" JARKUS metingen worden gerealiseerd, aangezien die vaak in zomer worden gemeten.
- Het tijdsvenster voor het meten kan tot eind juli worden verlengd omdat de verwerkingstijd per profiel minimaal is.
- De MID'en gebruiken Qinsy als verwerkingspakket. Dit pakket wordt voor zowel de "natte" als de "droge" JARKUS profielen gebruikt. Hiermee is het aansluiten van beide soorten profielen makkelijker te realiseren.
- Indien zwins of meertjes op het strand aanwezig zijn op de profiellijn kunnen deze lopend of met ondiepwaterboot worden ingemeten.

Nadelen:

- Indien gekozen wordt voor terrestrisch meten van de "droge" JARKUS profielen dan zal een trendbreuk in de data ontstaan. Hoe groot deze is, is moeilijk aan te geven. De trendbreuk is er en is misschien niet zichtbaar in de data. In het ergste geval kan gesteld worden dat deze 2 maal de standaardafwijking van laseraltimetrie plus 2 maal de standaardafwijking van terrestrisch is.
- Alleen tijdens laagwater getijde vensters kan gemeten worden tot de -1 meter NAP hoogtelijn.
- De 5 meter NAP hoogtelijn ligt soms vrij hoog boven het knikpunt van de duinvoet. Door steile duinhellingen is het soms onmogelijk om terrestrisch te meten. De helling kan niet beklommen worden en het is soms te onveilig om de helling te betreden. Daarnaast kan er schade ontstaan door het betreden van de duinhelling.
- Soms wordt de toegang tot de 5 meter NAP hoogtelijn afgeschermd door een hek. Dit levert tijdverlies op, omdat er over het hek heen geklommen moet worden.
- Overlast op strand bij strandgebruikers bij gebruik van ATV.
- Bij mooie stranddagen en/of hoogseizoen is het volgen van de JARKUS profielen niet altijd mogelijk door aanwezigheid van strandgebruikers en strandpaviljoens. Er wordt tijdverloren en men mist een deel van het JARKUS profiel.
- Voor het inmeten van het duindeel van de Nederlandse kust is de terrestrische methode niet ideaal vanwege de vegetatie en moeilijk begaanbare stukken in de duinen.
- Bij het meten van duinhellingen (zoals bij Zeeland gewenst is) kan tijdens de GPS metingen schaduw door de duin ontstaan waardoor de nauwkeurigheid van de GPS metingen slechter wordt.

4.4 Kosteninschatting

In deze paragraaf wordt een kosteninschatting gegeven voor de nieuwe RIKZ opdrachtomschrijving (zie paragraaf 2.2) met terrestrisch meten. Deze bestaat uit de MID-kosten voor het inwinnen van de profielen met terrestrische meten, de AGI-kosten voor het controleren van en kwaliteitswaarborging van de hoogtemetingen en "droge" JARKUS profielen. En daarnaast is een meerpost voor het meten van een punt op de duinhelling en -top van de eerste duin van de kust Zeeland, aangezien dat een uitzondering betreft, opgenomen. Tot slot is een prijs opgenomen voor het inmeten van 1/5 deel van het duindeel van de Nederlandse kust met laseraltimetrie.

4.4.1 Inwinningskosten

Niet alle MID'en zien voordelen in het meten met een ATV. Voor de waddeneilanden is het meten vanaf een ATV een goede optie. Echter voor de smalle stranden van de Zeeuwse kust is dat meer onhandig dan voordelig. De kosten worden per MID of Waterschap en manier van meten uitgesplitst om de verschillen te kunnen weergeven. In bijlage 2 staan de gegevens van de kosten per bron vermeld. Naast de kosten die de MID'en denken te maken, worden de JARKUS profielen in Zeeuws-Vlaanderen door het Waterschap gemeten en als aparte kostenpost opgevoerd. Het Waterschap Zeeuwse Eilanden kan ook

JARKUS profielen meten. Er is een schatting gemaakt gebaseerd op de tariefgegevens van het waterschap Zeeuws-Vlaanderen. Deze waterschapkosten worden momenteel niet doorberekend aan Rijkswaterstaat.

Hieronder worden de totale kosten weergegeven per kustvlak.

Tabel 2: Inwinningskosten voor terrestrisch meten van "droge" JARKUS profielen voor het opstartjaar 2004 en de vervolgjaren.

	Manier van meten	Kosten 2004	Kosten 2005, en verder
Kust Zeeland	DZL: lopend meten* of	40.000 €	40.000 €
	WS-ZE : lopend meten*	42.000 €	42.000 €
	WS-ZVL: lopend meten*	10.000 €	10.000 €
	Subtotaal	50.000 – 52.000€	50.000 – 52.000 €
Kust Holland	DNH: meten met ATV**	42.000 €	42.000 €
	Kosten ATV per jaar	4.000 €	5.000 €
		46.000 €	47.000 €
	DZH: lopend meten of meten met ATV	70.000 € of 35.000 €	- 35.000 €
	Kosten ATV per jaar	40.000 €	5.000 €
	70.000 of 75.000 €	40.000 €	
Subtotaal	116.000 – 121.000 €	87.000 €	
Kust Eilanden	DNN: gecombineerd meten***	62.000 €	62.000 €
		12.000 €	5.000 €
	Kosten ATV/jaar	6.000 €	6.000 €
	overnachtingskosten	80.000 €	73.000 €
Subtotaal	80.000 €	73.000 €	
Totaal		246.000 - 253.000 €	210.000 – 212.000 €

* Kosten zijn 10% verhoogd, omdat de top van de duinen en een punt halverwege de duinhelling meegenomen moeten worden.

** Gecombineerd meten met ATV en lopend

*** Gecombineerd meten is meten met RTK-GPS, zowel met ATV, lopend, als aanvullende metingen met ondiepwaterboot.

Om de kosten van de MID'en te toetsen is er contact geweest met de regio's van AGI, afdeling TGT. Er is ook gekeken naar eventuele kosteninschatting, indien er door TGT gemeten zou worden. De methode is lopend RTK-GPS en de kosten komen overeen met het kostenplaatje van 2005 (ca 200 k€). Voor uitbesteding kan men aan een vergelijkend bedrag denken en TGT kan als opdrachtnemer fungeren.

Naast de kosten van meten maken de MID'en kosten voor de aanschaf of aanpassing van een ATV. De kosten van een ATV zijn inclusief BTW ca 12 k€. Voor de aanpassing (beveiliging, apparatuurkoffers, ed.) worden de kosten inclusief BTW op ongeveer 4 k€ geschat. De

levensduur van de ATV is 3 jaar, en van de aanpassingen 6 jaar. Voor verdere detailinformatie wordt verwezen naar bijlage 2. Voor verblijfskosten moet men rekening houden met een kostenpost van ca € 6.000 (40 overnachtingen op de waddeneilanden).

Algemene opmerkingen over prijsinschatting voor MID-kosten:

- De kosten voor het onderhoud en de controle van de referentiestationen zijn niet meegenomen in de vergelijking, omdat deze kosten voor rekening komen van de MID'en.
- Het ligt in de verwachting dat er kosten bespaard kunnen worden als er meerjarige contracten worden afgesloten. Met meerjarige raamcontracten heeft de praktijk uitgewezen dat er tussen 10% en 15% aan kosten bespaard kunnen worden. Deze kostenbesparing geldt alleen bij uitbesteding aan aannemers.
- Er zijn grote verschillen in kosten tussen de MID'en. Deels komt dat door de gehanteerde uurtarieven. Anderzijds zijn de meetomstandigheden (werkterrein, manier van werken, ed.) verschillend. Daarnaast zijn de werkzaamheden een inschatting gebaseerd op ervaringen uit het verleden en die zijn per MID anders.
- Om een kostenschatting te maken is uitgegaan van een gemiddeld aantal raaien per dag. Hierbij is rekening gehouden met getij, te verwachten problemen en werkomstandigheden. Het gemiddelde is geschat op 15 raaien per dag.

4.4.2 Controlekosten

Bij de terrestrische metingen zal een onafhankelijke controle op de metingen worden geadviseerd door de Adviesdienst Geo-Informatie en ICT ter controle van de hoogtemetingen en "droge" JARKUS profielen en kwaliteitswaarborging ervan. Dit is met name van belang als niet de MID'en meten maar sprake is van uitbesteding aan de markt. Hiervoor zal per kustvak 1 tot 5% van de profielen worden gecontroleerd. Dit komt overeen met 1 meetdag per kustvak (waarbij gemiddeld 15 profielen meten per dag wordt aangehouden). Dus voor 16 kustvakken zijn dit 16 meetdagen en 16 verwerkingsdagen (inclusief controle).

Tabel 3: Controlekosten voor het controleren en garanderen van kwaliteit van "droge" JARKUS profielen voor 2004.

Omschrijving	Uurtarief	Kosten	Prijsinschatting 2004 AGI kosten
16 dagen meten	130 euro per meetploeguur	16.640 €	17.000 €
16 dagen verwerken	82 euro per verwerkingsuur	10.496 €	10.500 €
Totaal		27.136 €	27.500 €

4.4.3 Kosten Zeeland duintop

Om een punt halverwege de duinhelling en op de duintop te meten zijn de kosteninschattingen (in bovenstaande tabel 2) voor het strand langs de kust van Zeeland met 10% verhoogd ter compensatie van de extra benodigde tijd.

4.4.4 1/5 deel duindeel per jaar met laseraltimetrie

Naast de strandmetingen wil RIKZ elke 5 jaar het duingebied in hoogte hebben ingemeten. Het meten van het duingebied is terrestrisch eigenlijk niet aan te raden. Voor het meten van dit gebied (elk jaar 1/5 deel van het duindeel) zullen laseraltimetriekosten worden ingeschat, zie onderstaande tabel 4.

Tabel 4: Inwinningsprijs voor uitbesteding in Euro's voor het inmeten van laseraltimetrie hoogtegegevens van de "droge" JARKUS profielen van 1/5 duindeel (inclusief BTW).

Omschrijving van kostenopbouw laseraltimetrie	Gebied	min. prijs	max. prijs
Stap 1: Prijs tot op heden voor het vliegen van alle kustvakken zowel strand- als duindeel met laseraltimetrie (zie bijlage 1 voor prijzen)	Zeeland	26.000	66.000
	Holland	84.000	196.000
	Eilanden	144.000	210.000
	Subtotaal	254.000	472.000
Stap 2: Elk jaar naast het stranddeel terrestrisch, 1/5 duindeel inmeten met laseraltimetrie. Het duinoppervlak is ongeveer de helft van het totale oppervlak. Van het duinoppervlak wordt per jaar 1/5-deel gewonnen.	Zeeland	2.600	6.600
	Holland	8.400	19.600
	Eilanden	14.400	21.000
	Subtotaal	25.400	47.200
Stap 3: Geen korting aangezien de mobilisatiekosten volledig in rekening worden gebracht op het duindeel. Misschien zelfs wel extra kosten voor opstart en mobilisatie kosten.	Zeeland	2.600	6.600
	Holland	8.400	19.600
	Eilanden	14.400	21.000
	Subtotaal	25.400	47.200
Stap 4: Controle kosten voor onafhankelijke controle door AGI, zoals genoemd in tabel 4 van hoofdstuk 3. Aangezien het om 1/5 deel gaat, kunnen deze ook door 5 worden gedeeld.	Controle	9.200	10.000
	Subtotaal	34.600	57.200
Stap 5: Prijsinschatting inwinningskosten (inclusief BTW) nieuwe RIKZ opdrachtomschrijving voor 2004 voor 1/5 duindeel van Nederlandse kust.	Totaal	35.000	58.000

De korting ingeval van een meerjarenopdracht voor het inmeten van 1/5 duindeel is niet in de prijsinschatting van tabel 4 meegenomen, omdat het om een relatief klein gebied gaat dat met laseraltimetrie wordt gewonnen.

4.4.5 Totale kosten terrestrisch meten

De totale prijs voor 2004 en verder is een optelling van de bovenstaande tabel 2, 3 en 4, zie tabel 5.

Tabel 5: Totale prijsinschatting terrestrisch meten "droge" JARKUS profielen voor 2004.

Omschrijving werkzaamheden	Prijsinschatting 2004
Inwinningskosten	246.000 - 253.000 €*
Controlekosten	27.500 €
Zeeland duinhelling en -top	**
Subtotaal prijsinschatting strand	273.500 – 280.500 €
1/5 deel duindeel per jaar	35.000 – 58.000 €
Totaal prijsinschatting 2004	308.500 – 338.500 €

* Voor 2005 en verder wordt vanwege opstartkosten bij met name DZH 40.000 Euro minder aan MID kosten verwacht.

** kosten zijn opgenomen in de inwinningskosten, extra kosten liggen in de orde van 4 – 7 k€ (10% van enkel stranddeel DZL / WS).

4.5 Haalbaarheid 2004

RIKZ heeft expliciet gevraagd om uit te zoeken of het mogelijk is om in 2004 terrestrisch te meten en wat de daarbij horende risico's zijn. In de onderstaande tabel worden de haalbaarheid en risico's vermeld.

Tabel 6: Haalbaarheid en risico's voor het terrestrisch meten van de profielen in 2004 per instantie.

Instantie	Haalbaarheid	Risico's
MID-DNH	Ja, 6 –10 weken nodig om de ATV aan te passen en testmetingen uit te voeren. Het is de vraag of DNH gebruik maakt van de ATV i.v.m. de relatief smalle strand strook langs de Noord Hollandse kust, dat zonder veel tijd verlies ook lopend gemeten kan worden.	Geen ervaring met meten met een ATV, wel met WESP en lopend RTK-GPS.
MID-DNN	Ja, aanschaf en ombouwen nieuwe ATV neemt ongeveer 6 – 10 weken in beslag.	DNN meet al op deze manier.
MID-DZH	Het meten met een ATV is twijfelachtig, omdat het ongeveer 22 weken duurt eer de ATV gereed is om te gaan meten. Wel direct inzetbaar is de manier lopend met RTK-GPS.	De tijd dat overblijft om te meten is gering en de MID heeft geen ervaring met meten vanaf een ATV, wat tijdverlies kan opleveren.
MID-DZL	Ja, geen grote opstart problemen, omdat de beste manier van meten lopend is met RTK-GPS. Kunnen direct beginnen. De Zeeuwse kust bestaat uit een smalle strook strand en duinen. De meest effectieve manier van meten is lopend met RTK-GPS.	Duinvoet kan soms steil zijn waardoor meten lastig tot onmogelijk is en ook onveilig.
WS-ZVL	Ja, geen opstart problemen omdat er lopend met RTK-GPS wordt gemeten.	
WS-ZE	JA, geen opstart problemen, wordt lopend uitgevoerd met RTK-GPS.	
TGT regio's	Ja, direct inzetbaar, lopend RTK-GPS. De 140 dagen inzet wordt over drie regio's verdeeld. Hierdoor past het binnen het beschikbare tijdspad.	
Ingenieursbureau	Ja, direct inzetbaar, lopend met RTK-GPS.	Ingenieursbureau's hebben nog weinig ervaring met het meten van de strandprofielen, wel met het meten met RTK-GPS.

4.6 Toekomstige ontwikkelingen

Bij de verschillende MID'en zijn nog niet de meest recente ontwikkelingen in de praktijk doorgevoerd. Met name de verwerkingstijd kan nog worden beperkt als in het veld gebruik wordt gemaakt van de nieuwste software voor RTK-GPS metingen.

5 Vergelijking laser versus terrestrisch

In dit hoofdstuk worden de kernpunten van beide technieken genoemd en vergeleken. Voor detailinformatie van een betreffend punt kan in de voorgaande 2 hoofdstukken de achterliggende informatie worden gevonden. Dit hoofdstuk geeft kort en krachtig alle belangrijke punten weer die het maken van een juiste keuze voor het meten van "droge JARKUS profielen kan ondersteunen.

5.1 Totaal prijsinschatting 2004

Tabel A: Totale prijsinschatting laseraltimetrie "droge" JARKUS profielen voor 2004. (komt uit paragraaf 3.4.5, tabel 6)

Omschrijving werkzaamheden	Prijsinschatting 2004
Inwinningskosten (incl. BTW)	170.000 – 320.000 €
Controlekosten	46.000 – 50.100 €
Zeeland duintop kosten (incl. BTW)	5.000 €
Subtotaal prijsinschatting strand	221.000 – 375.100 €
1/5 deel duindeel per jaar	13.000 – 24.000 €
Totaal prijsinschatting 2004	234.000 – 399.100 €

Tabel B: Totale prijsinschatting terrestrisch meten "droge" JARKUS profielen voor 2004. (komt uit paragraaf 4.4.5, tabel 5)

Omschrijving werkzaamheden	Prijsinschatting 2004
Inwinningskosten	246.000 - 253.000 €*
Controlekosten	27.500 €
Zeeland duinhelling en -top kosten	**
Subtotaal prijsinschatting strand	273.500 – 280.500 €
1/5 deel duindeel per jaar met laseralt.	35.000 – 58.000 €
Totaal prijsinschatting 2004	308.500 – 338.500 €

* Voor 2005 en verder wordt vanwege opstartkosten bij met name DZH 40.000 Euro minder aan MID kosten verwacht.

** kosten zijn opgenomen in de inwinningskosten, extra kosten liggen in de orde van 4 – 7 k€ (10% van enkel stranddeel DZL / WS).

Conclusie: Voor het meten van alleen het stranddeel is de bandbreedte van laseraltimetrie is een stuk groter dan voor terrestrisch meten. De beide technieken zijn in prijs vergelijkbaar tot 20% goedkoper voor terrestrisch, met de kanttekening dat bij de terrestrische metingen 90% minder data wordt ingewonnen. Na een opstartjaar (2004) voor terrestrisch meten wordt deze nog eens 10% voordeliger. Indien iedere 5 jaar ook het duindeel gemeten moet worden (of elk jaar 1/5-de deel), dan zijn beide meettechnieken even "goedkoop".

5.2 Overige vergelijkingen

Kwaliteit:

Terrestrisch meten heeft op het harde strand een betere precisie dan laseraltimetrie. Daartegenover staat dat op los, droog zand, deze vergelijkbaar is met die van laseraltimetrie.

Conclusie: het argument kwaliteit is voor terrestrisch meten beter bij meten op de harde ondergrond en gelijkwaardig in mulzand en op de duinhellingen. Wel dient rekening te worden gehouden met een trendbreuk, als gekozen wordt voor de terrestrische meetmethode in de toekomst.

Momentopname

Laseraltimetrie kan in een getijde venster een (deel van) kustvak of meer vliegen, waardoor alle profielen binnen dat gebied een momentopname zijn van die meetdag. Terrestrisch meten geeft per profiel, of per meetdag een momentopname, waarbij gemiddeld 15 profielen kunnen worden gemeten.

Conclusie: Het aantal droge profielen dat in 1 dag wordt gemeten is met laseraltimetrie groter dan met terrestrisch meten.

Aansluiting op "natte" profielen

De voorkeur gaat uit naar het meten van zowel de zeebodem als de strandhoogte op een gelijktijdig moment. Dit is sowieso in de praktijk erg lastig omdat de vaklodingen bij hoogwater worden uitgevoerd, en de strandmetingen juist bij laagwater. Wel is sinds met laseraltimetrie wordt gemeten de opnameperiode tot maximaal 15 april aangehouden, hetgeen vaak niet overeenkomt met de vaklodingen, die juist met name in de zomer worden uitgevoerd. Indien in de toekomst alleen het strand in hoogte wordt opgenomen, kan ook voor laseraltimetrie de inwinperiode worden verlengd, omdat er beperkte vegetatie aanwezig is. Dit kan de aansluiting op de vaklodingen ten goede komen. Echter zal de daadwerkelijke afstemming tussen de vaklodingen en strandmetingen nog altijd lastig zijn. De terrestrische metingen zullen, omdat de verwerkingstijd minder is dan met laseraltimetrie, langer kunnen worden ingezet, om nog steeds op 1 augustus op te kunnen leveren. Een ander voordeel is dat de MID zelf dan zowel de vaklodingen als de strandmetingen uitvoert, waardoor afstemming intern de MID een betere aansluiting kan geven.

Conclusie: Voor een meest optimale aansluiting geeft terrestrisch meten een voordeel omdat de MID dan zelf zowel de vaklodingen als de terrestrische metingen voor een JARKUS profiel kan inzetten. Er zal altijd minimaal 1 eb en/of vloed tussen de beide profieldelen aanwezig zijn.

Weers- en getijomstandigheden

Bij goed weer en bewolking op 800 meter hoogte of hoger, kan er bij laseraltimetrie dag en nacht worden gemeten. RIKZ geeft een getijdenvenster aan, waarbinnen er gemeten mag worden. Dit is één uur voor en één uur na laagwater. Naast de getijdenventers dient er rekening gehouden te worden met het stormseizoen. Er mag alleen na

het stormseizoen gemeten worden (vanaf 15 maart) en de oplevering moet voor 1 augustus hebben plaatsgevonden.

Voor terrestrisch meten geldt dat in principe alleen overdag wordt gemeten. Ook binnen de gestelde periode vanaf 15 maart en 1 aug. De verwerkingstijd is korter, dus kan bij wijze van spreken tot half/eind juli worden gemeten. Tijdens het meten moet er rekening gehouden worden met het getij. Om de min één meter NAP hoogtelijn te kunnen halen, moet er in de periode van laag water gemeten worden. Het is mogelijk om de profielen in stukken te meten. Bijvoorbeeld vanaf de hoogwaterlijn tot de 5 meter NAP hoogtelijn en bij laag water het stuk vanaf de hoogwaterlijn tot de -1 meter NAP hoogtelijn.

Conclusie: Het oppervlak dat kan worden gemeten in een getijdenvenster is bij laseraltimetrie groter. Een optimale terrestrische meetdag van 8 uur aaneengesloten meten is in de praktijk niet haalbaar en dit kan worden opgelost door de JARKUS profielen in stukken op te meten.

Modelfouten

De huidige werkmethode bij RIKZ is het bepalen van het oppervlak onder de JARKUS profiel. Dit profiel representeert de hoogte van ca. 100m links en 100m rechts van dit profiel. Dit is natuurlijk een benadering van de werkelijkheid, want de hoogte tussen twee profielen kan variëren. Met laseraltimetrie kan dit op twee verschillende manieren eenvoudig een betere benadering geven. A. door de ruimtelijke hoogtegegevens van laseraltimetrie te gebruiken om de afstand tussen profielen te optimaliseren voor een zo representatief profiel. In sommige gebieden zullen extra profielen nodig zijn, maar er zijn waarschijnlijk ook gebieden waar minder profielen nodig blijken te zijn. Of B. door per profielhoogte een gemiddelde hoogte en een standaardafwijking van alle hoogtepunten loodrecht op de JARKUS profiel ca. 100m links naar ca. 100m rechts te bepalen en aan het hoogtepunt van het profiel te koppelen. Hierdoor worden de modelfouten kleiner en krijgt men een realistischer beeld van het oppervlak onder het profiel voor het gehele gebied rond dat profiel. Dit geeft een nauwkeuriger beeld van het zandvolume en een realistischer beeld van de hoeveelheid te suppleren zand, met de nodige kostenbesparingen. Wat kost het om 1000m³ zand te suppleren?

Conclusie: Met laseraltimetrie kan eenvoudig een representatief beeld van het strand worden gekregen op de JARKUS profielen, zonder al te veel extra aanpassingen aan de huidige werkmethode. Hierdoor wordt een realistischer beeld verkregen van het strandvolume en de te suppleren hoeveelheid zand.

Informatiebehoefte

Voor de JARKUS profielen is de vraag neergelegd om te kijken of, gezien de financiële beperkingen, er andere meetmethode zijn die de hoogte-informatie van de JARKUS profielen kunnen geven. Echter is op zo'n kort termijn niet geheel duidelijk in kaart gebracht wat de daadwerkelijke informatiebehoefte is, en of deze met andere RIKZ-behoeftes is te combineren. Ook de informatiebehoefte van de regionale MID'en zouden hier nog een belangrijke bijdrage aan kunnen leveren. Het blijkt dat de meeste MID'en al jaarlijks profielen inmeten.

Wie is hier opdrachtgever van? Gezien de korte looptijd van onderliggend rapport zijn deze punten allemaal niet in deze vergelijking meegenomen.

Aanbeveling: RIKZ heeft aandacht besteed aan de informatiebehoefte in de Evaluatie Fysisch Meetnet. Dit staat echter los van het strandprofielen meetnet. Inventarisatie van informatiebehoefte voor hoogtegegevens van de kust binnen de overheid kan voor nieuwe inzichten zorgen, waardoor bestaande gegevens beter en efficiënter benut kunnen worden.

Lange termijn gevolgen

De financiële beperkingen voor 2004 kunnen nu leiden tot het nemen van een beslissing die met name voor korte termijn oplossingen geeft. Echter op lange termijn misschien wel ernstige gevolgen kan geven. Naast de eerder genoemde trendbreuk, zal ook de vlakdekkende hoogteinformatie tijdreeks vanaf 1996 tot en met heden verloren gaan. Deze vlakdekkende hoogteinformatie wordt momenteel nog niet gebruikt, maar mogelijk op korte of langere termijn wel.

Conclusie: Neem niet alleen een beslissing op de financiële beperkingen voor 2004.

Zeeland duintop

De wens is uitgesproken om in de kustvakken van Zeeland naast het stranddeel om tot en met de eerste duintop jaarlijks op te nemen in hoogte. Dit geeft voor de terrestrische metingen een probleem op het gebied van bereikbaarheid en begaanbaarheid van het duingebied. Veel vegetatie en steile hellingen. Maar aangezien het om 2 punten (halverwege de duinhelling en top van eerste duin) gaat, is dit wel in de praktijk uitvoerbaar.

Conclusie: Meten tot en met eerste duintop is met beide technieken realiseerbaar.

Duindeel (1/5 deel per jaar)

De wens is uitgesproken om van alle kustvakken naast het stranddeel ook het duindeel jaarlijks op te nemen in hoogte. Dit geeft voor de terrestrische metingen een probleem op het gebied van bereikbaarheid en begaanbaarheid van het duingebied. Veel vegetatie en steile hellingen.

Conclusie: Met terrestrisch meten is het eigenlijk onmogelijk om de JARKUS profielen in het duindeel te meten. Hiervoor alsnog laser inzetten leidt tot onevenredige hoge kosten.

Natuurgebieden en strandbezoekers

Sommige duingebieden zijn afgeschermd als reservaat. Voor het terrestrisch meten in het veld kan dit problemen geven. De aanwezigheid van hekken, kan voor de landmeters een probleem geven met het meten. Maar visa versa kunnen de landmeters ook schade veroorzaken aan de duinen en de aanwezige vegetatie. Ook de aanwezigheid van strandbezoekers, zeker op mooie dagen, zal een belemmering zijn voor het terrestrisch meten. Ook de aanwezigheid van strandpaviljoens en dergelijke kan een letterlijk obstakel zijn op het te meten profiel. Om te meten in een natuureservaat moet er

toestemming gevraagd worden aan de beheerder van het reservaat. Onder begeleiding van een opzichter of boswachter wordt de schade aan de natuur tot het minimum beperkt. Bij drukke stranddagen wordt het meten een stuk lastiger. Door vroeg of laat te beginnen met meten langs drukke strandstroken kan het strandtoerisme worden omzeild. Bij laseraltimetrie zijn de bovenstaande problemen niet van toepassing. Conclusie: In natuurgebieden en langs drukke strandstroken is het meten met laseraltimetrie een betere keuze dan terrestrisch meten.

Marktbenutting

Voor de laseraltimetriemetingen tot op heden is de markt ingezet om deze metingen uit te voeren. Indien gekozen wordt voor de terrestrische meetmethode worden de MID-en ingeschakeld als deze capaciteit hebben, of anders ook aan marktpartijen uitbesteed, via AGI. Conclusie: Door geen keuze voor een techniek te maken, maar deze vraag bij de marktpartijen neer te leggen, zal de goedkoopste inwinningsprocedure worden aangeboden, en blijft de markt, volgens RWS-beleid optimaal benut bij het inmeten van het droge deel van de Nederlandse kust. Nadeel is dat per jaar een andere techniek kan worden gebruikt wat niet ten goede komt voor de trendanalyse.

Algemene opmerkingen:

- Mogelijk zijn er andere gebruikers, zoals waterschappen, die ook interesse hebben in jaarlijkse strandhoogtemetingen. In hoeverre is samenwerking hierin nog kostenbesparend?
- De duinafslag vindt vaak tot bovenaan de duin plaats. In hoeverre is het meten tot de 5 meter NAP hoogtelijn voldoende om informatie te geven ten behoeve van het instandhouden van de basiskustlijn?
- De JARKUS-profielen hebben een 5 meter interval van de hoogte-informatie. Deze 5 meter intervalpunten komen niet altijd overeen met de knikpunten van de duinvoet. Is juist de locatie van de knikpunt van de eerste duin niet van belang voor basiskustlijn handhaving?
- Er zijn nieuwe technieken of meetmethoden voor het meten van hoogteprofielen. Deze ontwikkelingen zijn nog zo nieuw dat er geen goede kostenschatting gemaakt kunnen worden. Mogelijke andere meetmethoden voor het verkrijgen van hoogtegegevens van droge deel strand en duinen zijn:
 - Met heliocopter en laseraltimetriesysteem de profielen afvliegen, dwars op de kustlijn in plaats van langs de kust zoals met laseraltimetrie gebruikelijk is.
 - Meten met terrestrische laseraltimeter. Hierbij wordt een laseraltimeter op een vastpunt opgesteld, en deze zal in hoogte en breedte de horizon afscannen met een maximale afstand van zo'n 100 tot 150 meter.

6 Bronvermelding

1. Precisiebeschrijving AHN 2002, G. Brand, E.J. de Min, M. Crombaghs, R. Brügelmann en S. Oude Elberink, rapport AGI – GAP – 2003 – 5.
2. Optimalisatie WESP, N. Kinneging en N. de Hilster, rapport MD– GAP – 2000 – 46.
3. Evaluatie van het Fysisch Meetnet, Projectteam Evaluatie Fysisch Meetnet o.l.v. C.J.M. van Ruiten; rapport RIKZ; 2 mei 2003
4. Contactpersonen Meet- en Informatiediensten, Waterschappen en afdeling TG (regio's) bij Adviesdienst Geo-informatie en ICT.:
 - Directie Noord Nederland: J. Briek en H.M. Bos
 - Directie Noord Holland: M. Rab
 - Directie Zuid Holland: G.J. Speelman en J. van Scheindelen
 - Directie Zeeland: J. de Nooij – Schep
 - Waterschap Zeeuwse Eilanden: J. van Cranenburg
 - Waterschap Zeeuws-Vlaanderen: C. Zeijler
 - Adviesdienst Geo-informatie en ICT, afdeling TG: J. de Jonge (TGM), J. van de Berg (TGTW) en P. van Waarden (TGTC).

Bijlage 1 : Kostenopbouw laseraltimetrie

Tabel 1A: Prijzen per kustvak voor uitbesteding laseraltimetrie-metingen in Euro's exclusief BTW van 1998 tot en met 2003

	Kustvak	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Kust Zeeland	Z-Vlaanderen	5.454,84 €	7.277,27 €	10.817,50 €	10.188,18 €	12.564,66 €	4.507,25 €
	Walcheren	10.436,16 €	13.922,84 €	20.695,98 €	19.491,98 €	21.601,55 €	8.444,79 €
	N-Beveland	1.414,22 €	1.886,70 €	2.804,54 €	2.641,38 €	2.742,48 €	1.149,50 €
	Oosterschelde	1.445,78 €	1.928,81 €	2.867,14 €	2.700,34 €	2.766,64 €	1.154,54 €
	Schouwen	7.216,29 €	9.627,23 €	14.310,65 €	13.478,12 €	15.222,57 €	6.024,79 €
Kust Holland	Brouwersdam	1.262,69 €	1.681,27 €	2.504,05 €	2.353,77 €	10.402,09 €	2.798,13 €
	Goeree	14.906,10 €	19.847,34 €	niet gemeten	27.786,27 €	niet gemeten	10.021,71 €
	Voorne	5.297,00 €	7.066,70 €	niet gemeten	9.893,39 €	niet gemeten	4.236,66 €
	Maasvlakte	4.469,93 €	5.963,32 €	niet gemeten	8.348,65 €	niet gemeten	3.570,90 €
	Delfland	8.033,68 €	10.292,26 €	niet gemeten	14.510,78 €	niet gemeten	5.976,71 €
	Rijnland	15.552,12 €	19.924,42 €	niet gemeten	28.090,91 €	niet gemeten	11.570,11 €
	N-Holland	21.043,49 €	26.959,63 €	niet gemeten	38.009,67 €	niet gemeten	15.705,89 €
	Texel	33.953,96 €	26.598,37 €	niet gemeten	38.279,07 €	niet gemeten	15.953,03 €
Kust Eilanden	Vlieland	26.641,64 €	20.863,47 €	24.775,72 €	niet gemeten	29.976,17 €	niet gemeten
	Terschelling	46.155,66 €	36.145,19 €	42.923,03 €	niet gemeten	51.932,62 €	niet gemeten
	Ameland	44.743,18 €	35.039,05 €	41.609,47 €	niet gemeten	50.343,34 €	niet gemeten
	Schiermonnik.	39.093,24 €	30.614,50 €	36.355,24 €	niet gemeten	43.986,24 €	niet gemeten
	Totaal	287.120,01 €	275.638,36 €	199.663,30 €	215.772,49 €	241.538,38 €	91.114,00 €

Tabel 1B: Prijzen per kustvak voor controlekosten in Euro's van 1998 tot en met 2003.

	Kustvak	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Kust Zeeland	Z-Vlaanderen	onbekend	1.266,74 €	1.267,19 €	1.334,53 €	1.746,28 €	5.241,21 €
	Walcheren	onbekend	2.423,52 €	2.424,39 €	2.553,22 €	3.002,25 €	9.819,93 €
	N-Beveland	onbekend	328,41 €	328,53 €	345,99 €	381,16 €	1.336,68 €
	Oosterschelde	onbekend	335,74 €	335,86 €	353,71 €	384,52 €	1.342,55 €
	Schouwen	onbekend	1.675,79 €	1.676,39 €	1.765,47 €	2.115,68 €	7.005,86 €
Kust Holland	Brouwersdam	onbekend	292,65 €	293,33 €	308,00 €	1.445,72 €	3.253,77 €
	Goeree	onbekend	3.454,78 €	niet gemeten	3.957,61 €	niet gemeten	8.371,98 €
	Voorne	onbekend	1.230,09 €	niet gemeten	1.299,07 €	niet gemeten	3.539,24 €
	Maasvlakte	onbekend	1.038,02 €	niet gemeten	1.096,24 €	niet gemeten	2.983,07 €
	Delfland	onbekend	1.737,37 €	niet gemeten	1.772,31 €	niet gemeten	4.992,85 €
	Rijnland	onbekend	3.363,31 €	niet gemeten	3.430,95 €	niet gemeten	9.665,49 €
	N-Holland	onbekend	4.550,88 €	niet gemeten	4.642,40 €	niet gemeten	3.120,46 €
	Texel	onbekend	4.583,13 €	niet gemeten	4.675,31 €	niet gemeten	13.326,91 €
Kust Eilanden	Vlieland	onbekend	3.594,96 €	3.596,42 €	niet gemeten	1.080,56 €	niet gemeten
	Terschelling	onbekend	6.228,13 €	6.230,66 €	niet gemeten	1.872,03 €	niet gemeten
	Ameland	onbekend	6.037,53 €	6.039,98 €	niet gemeten	1.814,74 €	niet gemeten
	Schiermonnik.	onbekend	5.275,14 €	5.277,29 €	niet gemeten	1.585,59 €	niet gemeten
	Totaal		47.416,19 €	€ 27.470,04	27.534,81 €	15.428,52 €	84.000,00 €

Bijlage 2 : Kostenopbouw terrestrisch meten

Opsomming en uitsplitsing van de kosten voor terrestrisch meten van de "droge" JARKUS profielen per MID.

Tabel 2A: Prijsinformatie over inwinning en verwerking per regionale Meet- en Informatiedienst voor het terrestrisch meten met RTK-GPS (lopend danwel met ATV). Hierbij zijn nog niet de aanschafkosten voor ATV en dergelijke meegenomen.

Bron	Manier van meten	Aantal dagen	Tarief 2003	Kosten	Opmerkingen
MID – DNH ca 90 km kust ca 530 JARKUS profielen	Lopend RTK	30 dagen (inwinnen)	Tarief/uur € 79	38 k€	2 mansploeg inwinnen
		30 dagen (verwerken)		19 k€	1 persoon verwerking
				57 k€	
	ATV	14 dagen (inwinnen)	Tarief/uur € 79	18 k€	2 mansploeg inwinnen
8 dagen (inwinnen met RTK-GPS)		10 k€		2 mansploeg inwinnen	
22 dagen (verwerken)		14 k€		1 persoon verwerking	
			42 k€		
MID – DNN ca 80 km kust ca 630 JARKUS profielen	ATV / deel lopend RTK / deel ondiepwaterboot	40 dagen (inwinnen)	Tarief/uur € 70	45 k€	2 mansploeg inwinnen
		10 dagen (verwerking)		6 k€	1 persoon verwerking
		10 dagen (Transport naar eilanden)		11 k€	2 mans ploeg
				62 k€	
MID – DZH ca 75 km kust ca 395	Lopend RTK	38 dagen (inwinnen)	Tarief/uur € 102.50	62 k€	2 mansploeg inwinnen
		10dagen (verwerking)		8 k€	1 persoon verwerking
				70 k€	

JARKUS profielen	ATV	19 dagen (inwinnen)	Tarief/uur € 102.50	31 k€	2 mansploeg inwinnen
		5 dagen (verwerking)		4 k€ 35 k€	
MID – DZL ca 60 km kust ca 375 JARKUS profielen	Lopend RTK	25 dagen (inwinnen)	Tarief/uur € 79	32 k€	2 mansploeg inwinnen
		6 dagen (verwerking)		4 k€ 36 k€	
WS – ZVL* ca 16 km kust ca 80 JARKUS profielen	Lopend RTK	13 dagen (inwinnen)	Tarief/uur € 85	9 k€	1 mansploeg, 1 persoon verwerking
		2 dagen (verwerken)		1 k€ 10 k€	
WS – ZE* ca 60 km kust ca 375 JARKUS profielen	Lopend RTK	25 dagen (inwinnen)	Tarief/uur € 85	34 k€	2 mansploeg, 1 persoon verwerking
		6 dagen (verwerking)		4 k€ 38 k€	

Tabel 2B: Prijsinformatie over inwinning en verwerking door andere instanties voor het terrestrisch meten met RTK-GPS (lopend danwel met ATV). Hierbij zijn nog niet de aanschafkosten voor ATV en dergelijke meegenomen.

Bron	Manier van meten	Aantal dagen	Tarief 2003	Kosten	Opmerkingen
TGT regio's ca 301 km kust ca 1975 JARKUS profielen	Lopend RTK	140 dagen (inwinnen)	Meetploeg tarief/uur € 130	146 k€	Meetploeg = 2 man
		30 dagen (verwerking)	Tarief/uur € 82	20 k€	1 persoon verwerking
		10 dagen (transport naar eilanden)	Meetploeg tarief/uur € 130	11 k€ 177 k€	Meetploeg

Onafhankelijke partij voor controle meting	Lopend RTK	16 dagen (inwinnen)	Meetploeg tarief/uur € 130	€ 17 k€	Meetploeg = 2 man
		16 dagen (verwerking)	Tarief/uur € 82	11 k€ <u>28 k€</u>	1 persoon verwerking

* WS = Waterschap, ZVL = Zeeuws-Vlaanderen, ZE = Zeeuwse Eilanden

Waterschap Zeeuwse Eilanden voert op adhoc basis strandmetingen uit. Het Waterschap heeft de capaciteit en de mogelijkheden om JARKUS profielen lopend met RTK-GPS te meten. Vorig jaar heeft het Waterschap controle metingen uitgevoerd in opdracht van RIKZ ter controle van de Laseraltimetrie metingen. De lodingen voor de kust worden gratis geleverd aan Rijkswaterstaat en geïmplementeerd in "ZEEKOE", een software programma met de gegevens van lodingen, strandmetingen, hoogte bestanden van laseraltimetrie. Met dit software pakket kan men trendanalyses uitvoeren en er is een GIS-module, ZEERIB genaamd, voor de lodingen en hoogtebestanden laseraltimetrie.

Naast de kosten van meten maken de MID'en kosten voor de aanschaf of aanpassing van een ATV.

De kosten van een ATV zijn inclusief BTW ca 12 k€. Voor de aanpassing (beveiliging, apparatuurkoffers, ed.) worden de kosten inclusief BTW op ongeveer 4 k€ geschat. Dus jaarlijks 5 k€ kosten voor ATV en de aanpassingen vanaf 2005 en verder.

Directie Noord Nederland is in het bezit van een ATV en door slijtage van de ATV (zware werkomstandigheden) moet deze eens in de drie jaar worden vervangen door een nieuwe ATV. De aanpassingen kunnen langer mee (een schatting is ca 6 jaar). Voor 2004 moet de ATV worden vervangen. Dit geeft een extra kostenpost voor 2004 van ca 12 k€.

De MID van Directie Noord Holland heeft een ATV zonder aanpassingen. Om de ATV operationeel te maken voor het meten met RTK-GPS zijn er naar schatting 4 k€ in 2004 gemoeid. Het meetsysteem wordt uit bestaande middelen samengesteld.

De MID van Directie Zuid Holland heeft een kostenberekening in 2000 uitgevoerd. Naast de aanschaf van een ATV en de aanpassingen, zijn ook de kosten van het meetsysteem (laptop, elektrisch systeem, ed.) en de transportmiddelen (aanhanger) berekend. Hiermee zijn de kosten aanzienlijk hoger dan bij de MID'en van Directie Noord Holland en Noord Nederland en komen gebaseerd op het huidige prijsniveau op ongeveer 40 k€.

Voor het meten op de Waddeneilanden zijn 40 dagen geschat en over deze dagen zijn verblijfskosten te berekenen. Voor verblijfskosten

wordt een bedrag van € 150 per dag gehanteerd. Hiermee worden de verblijfkosten ca € 6.000.

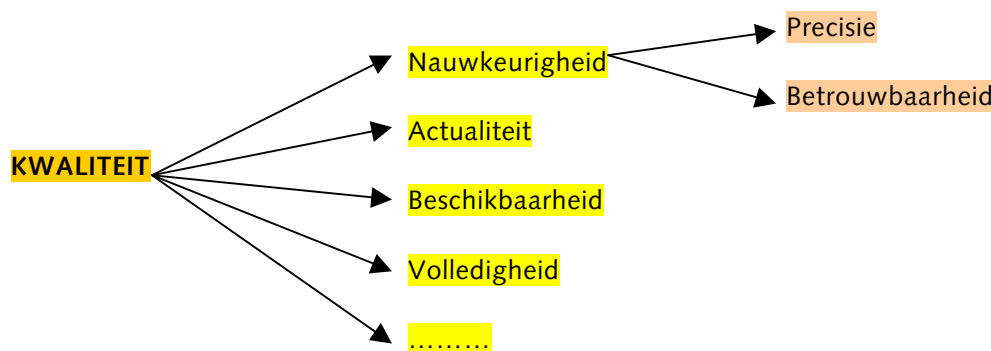
Bijlage 3 : Kwaliteit

In deze bijlage worden basisbegrippen uitgelegd die betrekking hebben op kwaliteit. Er worden geen wiskundige benaderingen gegeven. De materie wordt in duidelijke en begrijpbare taal vertaald. De informatie van dit verhaal komt uit het rapport "Precisiebeschrijving AHN 2002" [1].

Precisie en nauwkeurigheid

In de volksmond wordt vaak gesproken van nauwkeurigheid in plaats van precisie. De gebruikte termen verschillen nogal per vakgebied. Met precisie wordt meestal iets met een standaardafwijking of een 95% - kansgebied bedoeld. In de geodesie wordt met nauwkeurigheid zowel precisie als betrouwbaarheid bedoeld. Betrouwbaarheid is de kans dat een bepaalde fout ontdekt kan worden. In de GIS-wereld wordt in het engels met 'precision' de toevallige fout bedoeld en met 'accuracy' (= nauwkeurigheid) de systematische fout.

De term kwaliteit is een overkoepelend begrip, waarbij behalve precisie en betrouwbaarheid ook actualiteit, beschikbaarheid, integriteit en volledigheid een rol (kunnen) spelen.

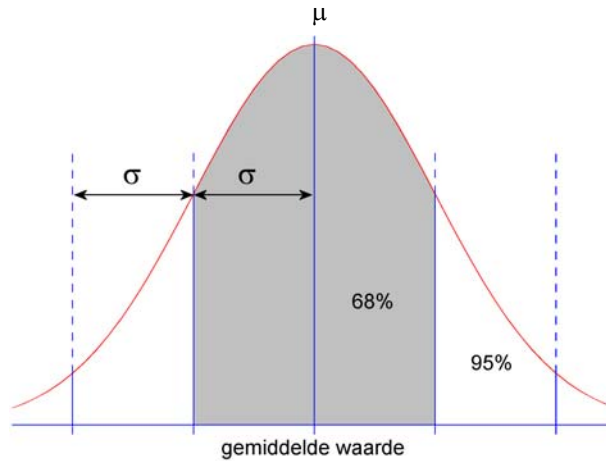


Standaardafwijking en kansverdeling

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 amplitude (de grootte) van de fout die toe wordt gestaan. 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 een

hoogte) te verwachten is als deze grootheid heel vaak gemeten wordt. Het vaakst 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 kansverdeling hebben, zie figuur 1.



Figuur 1 : Normale kansverdeling

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 binnen het interval $[\mu - 1\sigma ; \mu + 1\sigma]$ en dat 95% van de waarnemingen binnen interval $[\mu - 2\sigma ; \mu + 2\sigma]$ vallen, zie tabel 1.

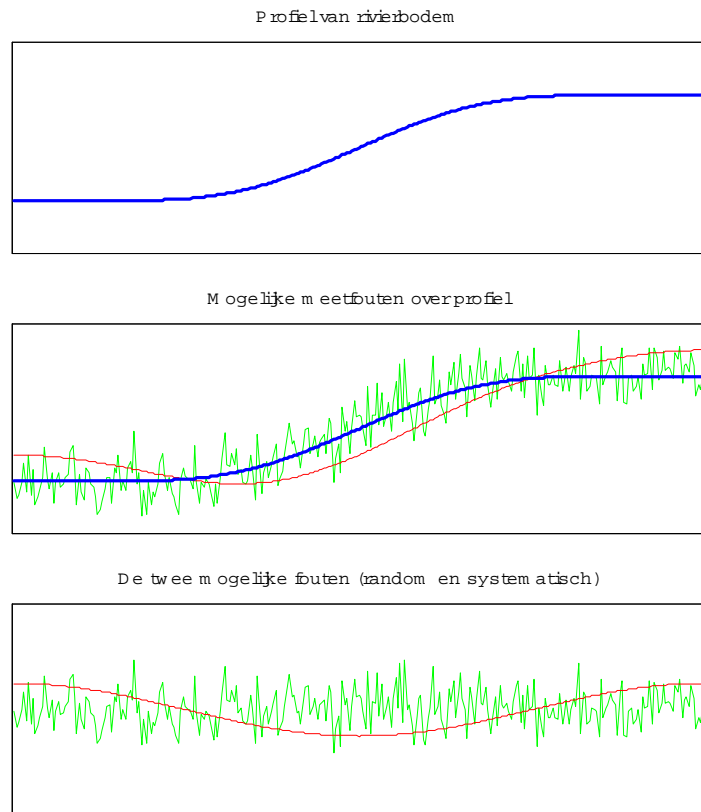
Interval	Percentage
$[\mu - 1\sigma ; \mu + 1\sigma]$	68%
$[\mu - 2\sigma ; \mu + 2\sigma]$	95%
$[\mu - 3\sigma ; \mu + 3\sigma]$	99%
$[\mu - 4\sigma ; \mu + 4\sigma]$	100%

Tabel 1 : Normale kansverdeling

Terug nu naar het voorbeeld. Als de beleidsafdeling zegt dat men de maaiveldligging met een precisie van een standaardafwijking van 10 cm wil weten, dan kan er al meer gezegd worden over wat nu eigenlijk de bedoeling is. Van de 100 waarnemingen zal 68% binnen de 10 cm vallen of 32% mag meer dan 10 cm afwijken. En 5% mag zelfs meer dan 20 cm afwijken. De laatste 1% mag dan tussen de 30 en 40 cm verschillen. Een andere manier van schrijven is "10 cm (1σ) of 20 cm (2σ)". Nog een nadere manier is "10 cm met een 68% betrouwbaarheidsinterval of 20 cm met een betrouwbaarheidsinterval van 95%". De term 'betrouwbaarheidsinterval' is verwarrend. Het zou beter zijn om te spreken van "kansgebied".

Ruimtelijke verdeling van fouten

Hiermee zijn we er nog niet. De eis van 10 cm (1σ) 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.



Figuur 2 : Voorbeelden van systematische en random foutensoorten

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 daadwerkelijke 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 ongecorrleerd.

Binnen een gebied met een bepaalde omvang (blok van 10 * 10 m) 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 (min of meer) 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 (wegmiddelen). De rode lijn lijkt heel goed, omdat er geen ruis op voorkomt. Hierdoor heb je gauw de neiging om snel 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 (bijvoorbeeld laseraltimetrie en multibeam) uit verschillende sensoren zijn samengesteld. Elk van deze sensoren heeft een eigen foutengedrag. En de ene sensor geeft per milliseconden 'random fouten', terwijl een andere sensor dat per 10 seconden doet, waarin meestal al een groot gebied is gemeten waarvoor deze fout dan systematisch is (terwijl het eigenlijke foutenkarakter per 10 seconden wel random is). Bij een standaardafwijking hoort dus in veel praktische situaties ook een gebiedsgrootte (frequentie).

Voorbeelden

Hoe ziet een precisiebeschrijving er dan uit als er wel rekening gehouden wordt met verschillende amplitude en ruimtelijke schaal van fouten. Er worden twee voorbeelden gegeven.

- Maaiveldhoogte

Er is gesproken over de maaiveldligging. De precisiebeschrijving kan er dan als volgt uit zien:

Gebiedsgrootte	σ
Losse waardes	$\sigma = 20\text{cm}$
gebied van 5m x 5m	$\sigma = 5\text{cm}$
gebied van 100m x 100m	$\sigma = 2\text{cm}$

Tabel 2 : voorbeeld precisiebeschrijving maaiveldligging

De betekenis is als volgt: individuele maaiveldligging waardes mogen een standaardafwijking van 20cm hebben. Dit wordt ook wel de puntruus genoemd. Dat betekent dat 5% van de waardes een fout van meer dan 40cm mag hebben. De standaardafwijking van de gemiddelde waarde voor een gebied van 5m x 5m mag echter maar 5cm zijn en die van een gebied van een hectare zelfs maar 2cm.

Hieruit is af te leiden dat de beleidsafdeling het belangrijk vindt dat de gemiddelde maaiveldligging voor het totale gebied precies wordt

vastgesteld en dat fouten in de losse meetpunten helemaal niet zo erg zijn. Deze beleidsafdeling is bijvoorbeeld geïnteresseerd in grondverzetvolumes (het gaat om het volume van het totale gebied en dan zijn fouten in de losse meetpunten niet zo belangrijk.

- Dijkhoogtes

Als men dijkhoogtes in kaart wilt brengen, dan is er een andere precisiebeschrijving nodig en is de eis voor de precisie van de losse meetpunten een stuk strenger. In het vorige voorbeeld worden fouten tot wel 80 cm toegestaan en dat kan bij dijkhoogtes resulteren dat men natte voeten krijgt. In dit geval is de precisie van de maaiveldligging van minder belang. De precisiebeschrijving voor het meten van dijkhoogtes kan dan bijvoorbeeld zijn:

Gebiedsgrootte	σ
Losse waarden	$\sigma = 6$ cm
gebied van 5m x 5m	$\sigma = 6$ cm
gebied van 100m x 100m	$\sigma = 6$ cm

Tabel 3 : Voorbeeld precisiebeschrijving dijkhoogtes

Optellen van verschillende foutencomponenten

De totale fout van *losse meetwaarde* kan berekend worden door alle optredende deelfouten kwadratisch bij elkaar op te tellen en daaruit de wortel te trekken.

Gebiedsgrootte	Inwinscenario 1	Inwinscenario 2	Inwinscenario 3
Puntruï	$\sigma = 10$ cm	$\sigma = 10$ cm	$\sigma = 5$ cm
10m x 10m	$\sigma = 6$ cm	$\sigma = 4$ cm	$\sigma = 6$ cm
100m x 100m	$\sigma = 5$ cm	$\sigma = 2$ cm	$\sigma = 5$ cm
Totaal	$\sigma = 12.7$ cm	$\sigma = 11.0$ cm	$\sigma = 9.3$ cm
Kosten per ha	€ 500	€ 1000	€ 600

Tabel 4: Inwinscenario's voor verschillende precisie eisen

In plaats van in tabelvorm zijn er ook wiskundige technieken beschikbaar om een gecombineerde precisiebeschrijving te maken. Dit is de fouten covariantiefunctie, ook wel bekend als variogram. Deze methode wordt in dit rapport niet beschreven.

Samenvatting

Bij het opstellen van precisiespecificaties is het geven van één getal vaak niet voldoende . Er hoort vermeld te worden wat dit getal voorstelt (een standaardafwijking, maximale waarde!) en er moet onderscheid gemaakt worden naar ruimtelijke schaal.