

stowa

INVENTARISATIE MEETMETHODEN VOOR HET BEPALEN VAN BAGGERVOLUMES



RAPPORT

2006
07

INVENTARISATIE MEETMETHODEN VOOR
HET BEPALEN VAN BAGGERVOLUMES

RAPPORT

2006

07



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Rijkswaterstaat



Syncera
Water



ISBN 90.5773.326.9



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66
Arthur van Schendelstraat 816
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3300 CC Zwijndrecht,
TEL 078 623 05 00 FAX 078 623 05 48 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een afleveradres.

COLOFON

Utrecht, maart 2006

UITGAVE STOWA, Utrecht

PROJECTUITVOERING

drs. J.A. Hin (Syncera Water)

ir. J.H. Frieling (Syncera Water)

ir. J. Wanders (Syncera Water)

PENVOERDER

NEN en CUR

FOTO VOORKANT

Syncera Water

FINANCIERING

Rijkswaterstaat AGI, VBKO, VROM, STOWA, FCO GWW

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2006-07
ISBN 90.5773.326.9

TEN GELEIDE

Om de functies van wateren voor de waterafvoer, de scheepvaart of de natuur te kunnen vervullen dienen waterbodems te worden gebaggerd. De kosten van het baggerwerk worden mede bepaald door de hoeveelheid baggerspecie die wordt verwijderd. Deze hoeveelheid wordt meestal in-situ (in de watergang) bepaald. Voor het bepalen van het in-situ bagger-volume bestaan diverse methoden.

Gebleken is dat met name voor kleinschalig baggerwerk in regionale wateren behoefte bestaat aan inzicht in de mogelijkheden en beperkingen van de bestaande methoden om het baggervolume te bepalen. Op initiatief van NEN, en in samenwerking met CUR, is er een inventarisatie opgesteld. De inventarisatie is uitgevoerd door Syncera en is begeleid door een commissie bestaande uit:

- Dhr. F. Kortstee (NEN);
- Dhr. J.F.C. de Brouwer (NEN);
- Dhr. C. Boogaard (RWS Adviesdienst Geo-informatie en ICT);
- Dhr. S.J. van den Brom (Baggermij Boskalis, namens VKBO);
- Dhr. A.G. Fase (RWS Bouwdienst);
- Dhr. L. Hazelhoff (Explostat Advies);
- Dhr. J. van Iwaarden (Waterschap Zeeuwse Eilanden);
- Dhr. J.P. Koenis (CUR);
- Mw. P. Kruiver (CSO Adviesbureau);
- Dhr. T. Noordstrand (Oosterhof-Holman Milieutechniek);
- Mw. M. Talsma (STOWA);
- Dhr. H. Tijhuis (Dosco);
- Dhr. R. Voetberg (Waterschap Hunze en Aa's).

Veel dank is verschuldigd aan de waterschappen, surveybedrijven en Rijkswaterstaat en de VKBO die gegevens beschikbaar hebben gesteld voor de inventarisatie en die hun ervaringen en ideeën hebben ingebracht. Het project is gefinancierd door Rijkswaterstaat-AGI, VBKO, VROM, STOWA en FCO GWW.

In dit rapport is een overzicht opgenomen van de geïnventariseerde meetmethoden en meetprotocollen en hun eigenschappen, waarbij het toepassingsgebied en de meetnauwkeurigheid de belangrijkste zijn. Dit overzicht kan als een handreiking worden gebruikt door de partijen die betrokken zijn bij kleinschalige baggerwerken in regionale wateren. Het overzicht en bijbehorende toelichting hebben daarnaast geleid tot aanbevelingen voor het eventueel ontwikkelen van meetprotocollen.

Utrecht, maart 2006

De directeur van de STOWA
Ir J.M.J. Leenen

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

INVENTARISATIE MEETMETHODEN VOOR HET BEPALEN VAN BAGGERVOLUMES

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding	1
	1.2 Doel	1
	1.3 Afbakening	2
	1.4 Opzet inventarisatie	2
	1.5 Leeswijzer	3
2	MEETTECHNIEKEN EN –PROTOCOLLEN	5
	2.1 Meetstrategieën	5
	2.2 Meettechnieken	6
	2.3 Overzichtsmatrix	12
	2.4 Bestaande meetprotocollen	16
	2.5 Verwerking meetgegevens	17
	2.6 Afwijkingen in baggervolumes	18
3	OVERWEGINGEN EN AANBEVELINGEN	21
	3.1 Algemeen	21
	3.2 Protocol per meettechniek of per watertype	22
	3.3 Aandachtspunten voor protocol	23
	3.4 Aanbevelingen	24
BIJLAGE 1	SAMENVATTING INTERVIEWS	
BIJLAGE 2	BEGRIPPENLIJST	
BIJLAGE 3	GEOSTATISTISCHE AFLEIDING AFWIJKINGEN IN BAGGERVOLUMES	

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

In oktober 2005 heeft het Nederlands Normalisatie-instituut aan Syncera Water opdracht verleend om een inventarisatie uit te voeren naar meettechnieken en meetprotocollen die gebruikt worden bij het in-situ bepalen van baggervolumes. De inventarisatie heeft met name betrekking op methoden die bij kleinschalig baggerwerk in regionale wateren worden toegepast.

Er bestaan diverse methoden voor het inmeten van waterbodems teneinde te bepalen welk baggervolume aanwezig is, verwijderd dient te worden of verwijderd is. Gebruik van verschillende technieken kan potentieel tot uiteenlopende resultaten leiden.

Tijdens een bijeenkomst van BaggerNet op 8 juni 2004 werd de oproep gedaan om voor baggervolumebepalingen voor heel Nederland te komen tot één meetprotocol (BaggerNet, 2004). BaggerNet is een netwerkorganisatie op het gebied van waterbodems en baggerspecie. Naar aanleiding van de oproep bij BaggerNet is door NEN in samenwerking met de CUR op 15 september 2004 een workshop georganiseerd voor de betrokken partijen.

Bovenstaande heeft ertoe geleid dat door NEN en CUR een Plan van Aanpak voor een project is geformuleerd en dat een begeleidende werkgroep met terzake deskundigen en betrokkenen is gevormd. Voor de uitvoering van het project is een projectplan opgesteld, waarin de bevindingen van een aantal belangenpartijen zijn verwerkt. Het projectplan omvat vier fases:

- Fase 1: Plan van aanpak;
- Fase 2: Inventarisatie van bestaande meetmethoden en -protocollen;
- Fase 3: Ontwikkeling standaard meetmethode(n) of -meetprotocollen;
- Fase 4: Toetsen standaard meetmethode(n) in proefproject.

Dit project heeft betrekking op stap 2, het inventariseren van bestaande meetmethoden en -protocollen. Het betreft meetmethoden en -protocollen die contractpartijen een middel bieden om het voor sanering of onderhoud te baggeren slibvolume inclusief toleranties objectief te kunnen beoordelen. De uitvoering van fase 3 en 4 hangt af van de resultaten van fase 2.

1.2 DOEL

Doel van dit project is het opstellen van een - zo breed mogelijk aanvaarde - overzichtsmatrix met tekstuele toelichting van bestaande meettechnieken voor de in-situ baggervolumebepaling, bijbehorende betrouwbaarheid, toepasbaarheid, meetprotocollen, mogelijkheden en beperkingen. Het project is niet expliciet gericht op het inventariseren van verschillende wijzes waarop uit de in-situ meetgegevens het baggervolume wordt berekend.

Het overzicht van meetmethoden en -protocollen moet als een handreiking door de betrokken partijen bij kleinschalige baggerwerken in regionale wateren gebruikt kunnen worden. Tevens kan het overzicht door de betrokken partijen in individuele gevallen worden gebruikt om onderling verplichtende afspraken te maken. Het overzicht en bijbehorende toelichting leiden tot aanbevelingen voor een eventueel te ontwikkelen (NEN-)praktijkrichtlijn of -protocol. Een dergelijke praktijkrichtlijn of protocol kan in specifieke situaties worden voorgeschreven, maar zal geen algemeen verplichtend karakter hebben.

De doelgroep bestaat uit alle bij onderhouds- en milieubaggeren betrokken partijen, waaronder waterbeheerders, surveyors, adviseurs, aannemers, regelgevers, handhavers en producenten/leveranciers van meetapparatuur.

1.3 AFBAKENING

De inventarisatie van meetmethoden is beperkt tot in-situ (in de watergang) meetmethoden. De inventarisatie heeft met name betrekking op methoden die bij kleinschalig baggerwerk in regionale wateren worden toegepast. Het betreft baggerwerken in kreken, weteringen, sloten, boezemwateren, vennen en stadswateren (inclusief vijvers). Voor deze baggerwerken in de regionale wateren geldt dat de baggervolumes op veel verschillende manieren worden bepaald en dat er behoefte is gebleken aan meer uniformiteit. Baggervolumebepalingen in zoute buitenwateren vallen buiten de inventarisatie.

1.4 OPZET INVENTARISATIE

Op basis van literatuuronderzoek is een eerste overzicht gemaakt van bestaande meettechnieken bij het in-situ bepalen van baggervolumes en de eigenschappen van deze technieken. Daarnaast zijn bestaande meetprotocollen geïnventariseerd.

Vervolgens hebben interviews plaatsgevonden met waterbeheerders (vijf waterschappen en één provincie) en met een aannemer. Wegens de verschillende typen wateren die in verschillende delen van het land voorkomen zijn de interviews verspreid over Nederland afgenomen (Noord-Nederland, West-Nederland en Oost-Nederland). Bij enkele van de interviews waren vertegenwoordigers van surveybedrijven of adviesbureaus aanwezig. De geïnterviewde instanties en personen en de resultaten van de interviews zijn opgenomen in bijlage 1. Uit de interviews is naar voren gekomen welke meettechnieken en -protocollen in de praktijk het meest worden toegepast.

Om de verzamelde informatie over meettechnieken te completeren zijn aanvullend telefonisch en per e-mail enkele surveybedrijven benaderd.

Van de meettechnieken is nagegaan voor welk toepassingen ze geschikt zijn en met welke precisie en betrouwbaarheid de metingen kunnen worden uitgevoerd. Er is onderscheid gemaakt tussen de precisie die door producenten of leveranciers wordt opgegeven en de ervaring die bij de gebruikers bestaat. Ook de gevoeligheid van de meettechniek voor bodemvreemd materiaal en de mogelijke invloed daarvan op de baggervolumebepaling is geïnventariseerd. Verder is aandacht besteed aan arbotechnische aspecten. Bij de interviews is ook geïnventariseerd op welke wijze de baggervolumes uit de meetgegevens worden berekend.

De interviews zijn daarnaast gebruikt om het draagvlak te peilen voor de ontwikkeling van een praktijkrichtlijn of protocol voor baggervolumebepalingen. Uit de interviews komt

verder naar voren met welke aspecten rekening gehouden moet worden bij het opstellen van een dergelijke praktijkrichtlijn of protocol.

1.5 LEESWIJZER

Hoofdstuk 2 bevat een beschrijving van de meettechnieken die in de praktijk worden gebruikt. Daarbij wordt ingegaan op toepasbaarheid, nauwkeurigheid, betrouwbaarheid, eisen aan de geometrische spreiding van de meetgegevens, gevoeligheid voor bodemvreemd materiaal en arbotechnische aspecten van de meetmethoden. De betreffende gegevens over de meetmethoden zijn in een overzichtsmatrix samengevat. Daarnaast wordt een overzicht gegeven van bestaande meetprotocollen.

Hoofdstuk 3 bevat overwegingen en aanbevelingen met betrekking tot het opstellen van een praktijkrichtlijn of protocol.

2

MEETTECHNIEKEN EN –PROTOCOLLEN

2.1 MEETSTRATEGIEËN

Het peilen van watergangen en bepalen van bagger volumes vindt om verschillende redenen plaats:

- In het kader van het kwantiteitsbeheer van het watersysteem: vaststellen of vanwege aanslibbing onderhoudsbaggerwerk noodzakelijk is. Hierbij wordt vaak tevens alvast indicatief het te verwijderen bagger volume berekend. Indien vervolgens blijkt dat de te verwijderen baggerspecie van zodanige kwaliteit is dat deze (op de kant) kan worden verspreid, kan eventueel met deze indicatieve bagger volumebepaling worden volstaan.
- In het kader van het kwaliteitsbeheer van het watersysteem: een indicatie van het te verwijderen verontreinigde bagger volume om de kosten van uitvoering van een waterbodemsanering in te schatten.
- In het kader van een baggerbestek voor onderhouds- of saneringsbaggerwerk, waarbij de baggerspecie wordt afgevoerd naar een inrichting voor verwerking of berging. De aannemer wordt dan vaak afgerekend op de nauwkeurigheid waarmee de baggerspecie is verwijderd en op de hoeveelheid gestorte baggerspecie.

Afhankelijk van het doel van de metingen worden verschillende meetstrategieën toegepast:

- Alleen de ligging van de bovenzijde van een te verwijderen laag wordt via metingen vastgesteld ten opzichte van NAP. Het te verwijderen volume wordt berekend ten opzichte van een theoretisch profiel. Dit theoretisch profiel betreft bij onderhoud bijvoorbeeld de nautische onderhoudsdiepte of het leggerprofiel, bij sanering betreft het de diepte die bereikt moet worden om de verontreiniging voldoende te verwijderen. Deze meetstrategie wordt met name toegepast voor een indicatieve bepaling van het bagger volume.
- Zowel de ligging van de bovenzijde als de onderzijde van de te verwijderen sliblaag wordt vastgesteld, zodat de slibdikte wordt gemeten. Ook deze meetstrategie wordt vooral toegepast voor een indicatieve bepaling van het te verwijderen volume. Daarnaast wordt deze strategie toegepast om het 'werkelijke profiel', dat vaak afwijkt van het leggerprofiel, in kaart te brengen. Bij het meten van boven- en onderzijde van de sliblaag wordt niet noodzakelijk dezelfde meettechniek of dezelfde meetstrategie gebruikt: de onderzijde wordt vaak met een beperkter aantal waarnemingen (eventueel boringen) bepaald.
- Voorafgaand aan het baggerwerk (in- of voorpeiling) en na afloop van het baggerwerk (uit- of napeiling) wordt het waterbodempfiel ingemeten. Deze meetstrategie wordt toegepast bij de uitvoering van baggerwerken.

De intensiteit waarmee gemeten wordt hangt samen met het doel van de meting. Soms wordt volstaan met het meten van de slibdiktes op de locaties waar het onderzoek naar de kwaliteit van de baggerspecie plaatsvindt, zodat een indicatief bagger volume wordt verkregen. Voor de eventuele standaardisering zijn bagger volumebepalingen aan de orde die gebruikt kunnen worden ter voorbereiding of uitvoering van baggerbestekken. In dergelijke gevallen wordt in dwarsraaien gemeten of wordt een gebiedsdekkend beeld opgenomen.

Bij de keuze tussen meting in dwarsraaien of gebiedsdekkende meting spelen verschillende aspecten een rol. In smalle, rechte, gegraven watergangen met geringe stroming en weinig scheepsbewegingen is de variatie in het bodemprofiel in de lengterichting van de watergang naar verwachting beperkt. In dergelijke watergangen kan uit de (handmatige) peilingen in dwarsraaien een 3D-beeld van het te verwijderen of het verwijderde slib worden afgeleid. In bredere of bochtige watergangen of in watergangen met sterke stroming of veel scheepsbewegingen is de variatie in het bodemprofiel veel groter. Het aantal benodigde dwarsraaien om een goed 3D-beeld te verkrijgen kan dan zodanig oplopen dat een gebiedsdekkende meting (financieel) voordeel oplevert.

2.2 MEETTECHNIKEN

Uit literatuur en uit de interviews komen de volgende typen meettechnieken naar voren die in de praktijk worden toegepast om de hoogteligging van de boven- en/of onderzijde van een te baggeren waterbodemplaat te bepalen:

- handmatige technieken: peilstok, peilhengel;
- akoestische technieken: singlebeam/multibeam echolood, side Scan Sonar, subbottomprofiling;
- elektromagnetische techniek: georadar;
- waterdruk techniek: dieptesensor.

In de hierna volgende subparagrafen 2.2.1 t/m 2.2.4 worden respectievelijk de handmatige technieken, de akoestische technieken, de elektromagnetische techniek georadar en de dieptesensor op basis van waterdruk behandeld.

Bij metingen van de dikte van de sliblaag dienen controleboringen te worden gezet. Deze controleboringen worden in kleinere, regionale wateren handmatig geplaatst met een multisampler, Beekersampler of zuigerboor. Uit de interviews is naar voren gekomen dat een zuigerboor het nadeel heeft dat het slib wordt samengedrukt, zodat geen goede indruk van de slibdikte wordt verkregen. Een multisampler of Beekersampler is geschikter, mede omdat deze instrumenten transparant zijn. Als nadeel van de Beekersampler wordt de bewerkelijkheid genoemd.

2.2.1 HANDMATIGE TECHNIKEN

Voor het handmatig peilen wordt in de praktijk gebruik gemaakt van peilstok of peilhengel.

PEILSTOK

Bij het handmatig peilen wordt een niet-inschuifbare peilstok met voet gebruikt. Het betreft stokken die voor de meeste typen landmeetkundig werk worden gebruikt. Men laat de peilstok voorzichtig op de bodem zakken. Bij de eerste waarneming van weerstand wordt de positie vastgesteld.

Het gewicht van de peilstok is van invloed op de indrukking in de waterbodem. Over het algemeen wordt het gewicht van de peilstok zo gering mogelijk gehouden. Extra gewicht van de peilstok vanwege gebruik van plaatsbepalingsapparatuur en dergelijke wordt zoveel mogelijk voorkomen. De peilstokken zijn gemaakt van lichtgewicht materiaal en er wordt gebruik gemaakt van holle dichte buizen zodat het onderwatergewicht relatief laag is. De relatie tussen het gewicht van de peilstok en de (extra) inzinking in de waterbodem – afhankelijk van bodemsoort en grootte van de voet (zie hieronder) - is niet nauwkeurig bekend.

De grootte van de voet is afhankelijk van de samenstelling van het slib en de onderliggende bodem. Voor het bepalen van de hoogteligging van de bovenzijde van een sliblaag wordt meestal een brede voet gebruikt (Ø 10-18 cm). Waterschap Zeeuwse Eilanden gebruikt een smallere voet (Ø 5 cm). Bij een grote voet is de voet geperforeerd voor het doorlaten van water. Op taluds wordt meestal gebruik gemaakt van een smallere voet dan elders.

Indien de onderzijde van een bodemlaag bepaald dient te worden, wordt hiervoor bij een sliblaag meestal gebruik gemaakt van een smallere voet (Ø 5 - 8 cm), maar ook een baak (zand, harde klei), een gesloten buis (zand) of de achterkant van een peilstok worden gebruikt. Bij een ondergrond van klei- of veen is de overgang tussen slib en ondergrond minder duidelijk, maar de weerstand neemt ook bij deze typen ondergrond bij de overgang tussen slib en ondergrond voelbaar toe. Er worden meestal controlemetingen gedaan door het plaatsen van een aantal boringen. Hierbij is van belang dat een ongestoord monster wordt genomen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een peetsampler (veenboor), een multisampler of een Beekersampler.

PEILHENGEL

De peilhengel heeft als voordeel boven de peilstok dat vanaf de kant kan worden gemeten. De peilhengel heeft een bereik van maximaal 8 m. Peilhengels zijn in verschillende soorten en maten op de markt. De oude versie hengel werkt met uitschuifbare delen van een meter (vaste maat) en is relatief zwaar. Aan het einde van het uitschuifbare deel hangt de peilstok met voetplaat. De nieuwe versie hengel is een lichtgewicht (+/- 1 kg) en heeft aan de onderkant een rond plaatje met een diameter van circa 10 cm.

De peilhengel wordt over het algemeen gebruikt voor het meten van de bovenzijde van de waterbodem. Meting van de onderzijde van een sliblaag kan alleen indicatief plaatsvinden. Als een bredere watergang of een oever slecht begaanbaar is, wordt met de hengel ook vanaf een boot gemeten. Naarmate de peiling dichter plaatsvindt bij de surveyor, voelt de surveyor de weerstand beter. Dit is een bron van onnauwkeurigheden in de meting. Ook zal het werk zwaarder worden naarmate verder uit de kant of verder vanaf de boot gemeten wordt.

Mogelijke afwijkingen bij handmatig peilen (peilstok of peilhengel) houden vooral verband met de volgende aspecten:

- Rechtstand van de peilstok of peilhengel bij het meten. Deze rechtstand dient zorgvuldig te worden bewaakt;
- Definitie van het niveau van de bovenzijde van het slib;
- Bij metingen van de slibdikte: definitie van het niveau van de onderzijde van het slib;
- Gevoel van de surveyor voor de weerstand die overeenkomt met het niveau van bovenzijde en eventueel de onderzijde van de sliblaag;
- Onnauwkeurigheid van het plaatsbepalingsysteem;
- Op kleine schaal optreden van inzakkingen en verdichtingen van de ondergrond door grof vuil en andere verstoringen (kabels en leidingen, duikers, etc.). Bij aanwezigheid van grof vuil e.d. wordt de positie van de meting verplaatst.

Voor het vastleggen van de z-coördinaat worden bij handmatig peilen verschillende methoden gebruikt: meting met maatverdeling ten opzichte van (vast) waterpeil of gebruik van tachymeter. Voor het gebruik van een tachymeter wordt een spiegel op de peilstok of peilhengel bevestigd. Bij metingen ten opzichte van waterpeil wordt de betrouwbaarheid van de meting negatief beïnvloed als er geen sprake is van een vast waterpeil, onder invloed van stroming, wind of passerende boten.

Voor de plaatsbepaling (x- en y-coördinaat) kan worden gewerkt met zichtlijnen, meetlint en/of piketten, theodoliet, laser, tachymeter of (D)GPS of RTK-GPS. De toepasbaarheid van plaatsbepalingssystemen wordt sterk beïnvloed door het type gebied (open veld, stedelijk gebied).

FIGUUR 1

PEILHENGEL



2.2.2 AKOESTISCHE TECHNIKEN

Akoestische technieken die gebruikt worden bij baggervolumebepalingen zijn met name singlebeam en multibeam echolood. Echolood wordt gebruikt om vanaf een boot met behulp van geluidspulsen, verticaal naar beneden, de afstand tot de bodem te bepalen. De afstand tot de bodem wordt berekend door de geluidssnelheid in water te vermenigvuldigen met de helft van de gemeten tijd.

De mogelijkheden van akoestische technieken zijn afhankelijk van de waterdiepte en van de frequentie van de uitgezonden geluidspuls. In de praktijk wordt met akoestische technieken de hoogteligging van de bovenzijde van de waterbodem ingemeten (singlebeam/multibeam echolood, Side scan sonar). Hiervoor wordt een frequentie van 210 kHz of 700 kHz gebruikt. Bij gebruik van laagfrequente signalen is de resolutie geringer. Laagfrequente geluidssignalen (33 kHz) kunnen wel worden gebruikt om de hoogteligging van de onderzijde van een sliblaag te meten, maar de mogelijkheden hiervan zijn in de praktijk beperkt.

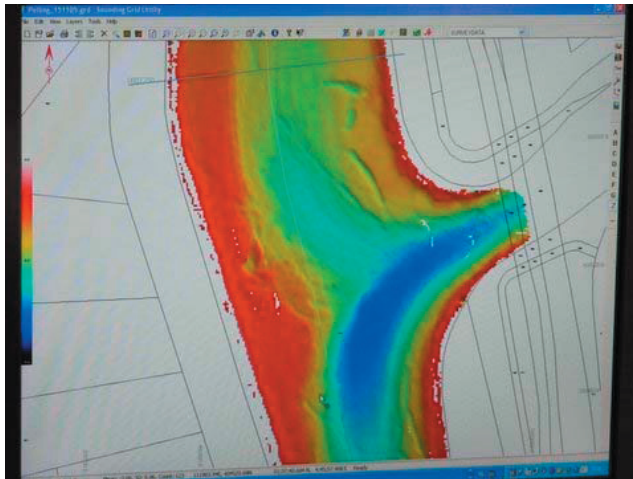
Singlebeam echolood geeft voor hydrografische doeleinden een nauwkeurige dieptemeting, gebruik makend van een geluidsmeter. De methode is het geschiktst voor een vlakke bodem, omdat het punt op de kortste afstand tot de geluidsmeter wordt gedetecteerd. De onnauwkeurigheid als gevolg van een talud of andere oneffenheden is groter naarmate de uitgezonden bundelbreedte groter is. Omdat een boot nooit helemaal stil zal liggen in het water, kan het bij de meting nodig zijn om voor de bewegingen van de boot te compenseren, met name bij een kleine bundelhoek. Het compenseren gebeurt met een bewegings- of motionsensor.

Multibeam echolood is een apparaat dat in de hydrografie gebruikt wordt om de afstand tot de bodem te bepalen. Het is in principe een samengestelde singlebeam. De multibeam zendt in één keer, in tegenstelling tot de singlebeam, meerdere geluidspulsen uit onder verschillende hoeken. Deze bundel van pulsen vormt een verticale waaier onder de boot. Door de bundel wordt een pad gemeten op de bodem. Dit pad wordt breder naarmate de diepte groter wordt.

Ook een multibeam kan in principe niet werken zonder een motionsensor en een geluidssnelheidsmeter. Een geluidssnelheidsmeter is cruciaal voor een multibeam survey, omdat een geluidspuls die onder een hoek wordt uitgezonden, zeer veel hinder ondervindt van verschillen in geluidssnelheid in het water. Een geluidspuls die in een andere laag water komt, met een andere geluidssnelheid, breekt. Deze brekingshoek is te berekenen met de Wet van Snellius.

FIGUUR 2

GRAFISCHE UITWERKING MULTIBEAM DATA



Het **Side Scan Sonar systeem** bestaat uit een processor, een elektronische transmissiekabel en sleepkabel en uit een “towfish”, die akoestische signalen uitzendt en ontvangt. In werking zweeft het systeem boven de waterbodem. De Side Scan Sonar zendt zijwaarts een akoestisch signaal uit. Dit signaal wordt door de bodem gereflecteerd en opgevangen door de “towfish”. Bepaalde frequenties werken beter dan andere. Hoge frequenties (500kHz tot 1MHz) geven een goede resolutie, maar werken alleen over een korte afstand. Lagere frequenties (50kHz tot 100kHz) reiken over een grotere afstand, maar geven een lagere resolutie.

De “towfish” genereert per keer één energiepuls en wacht op de reflectie. Het beeld dat verkregen wordt hangt af van het aantal pulsen dat uitgezonden wordt. Harde objecten reflecteren een sterker signaal dan zachte objecten, zoals slib. Het Side Scan Sonar systeem wordt sporadisch gebruikt voor het inmeten van de hoogteligging van de waterbodem. Het systeem is geschikter voor het detecteren van grof vuil (fietsen, autowrakken e.d.). Voor het inmeten van de hoogteligging geldt dat de echolood technieken nauwkeuriger zijn.

FIGUUR 3

SIDE SCAN SONAR (HOOGTE CIRCA 10 CM, LENGTE CIRCA 100 CM)



De **subbottom profiler** wordt ingezet voor de detectie van leidingen en objecten, maar kan ook gebruikt worden voor het detecteren van het grensvlak tussen een sliblaag en de onderliggende (hardere) waterbodem. De techniek is vergelijkbaar met singlebeam. Een transducer ("towfish") zendt een signaalbundel uit en vangt vervolgens de retour komende echo op. Voor subbottom profiling wordt een geluidspuls van lagere frequentie uitgezonden dan bij singlebeam waardoor de puls in de bodem penetreert. De lagere frequentie zorgt voor een geringer contrast in het opgevangen signaal.

De subbottom profiler is alleen geschikt voor het bepalen van de dikte van een slappe (waterige) sliblaag. Gasvorming in de bodem en een geluidsabsorberende bodem kunnen de echo verstoren. De nauwkeurigheid van de methode is vergelijkbaar met de andere akoestische technieken. Bij een proef in het Haringvliet bleek dat de methode bij een sliblaagdikte >0,5 m structureel te lage waarden weergeeft (RWS-DZH, 1999). Deze zouden gecorrigeerd moeten worden via ijking met boorprofielen.

FOUTENBRONNEN

De belangrijkste foutenbronnen bij meting van de hoogteligging van de bodem zijn: plaatsbepaling, diepgang, footprint, squat (zie begrippenlijst, bijlage 2), bootgeometrie, geluidsmodel, interpolatie en gebruikte referenties.

De akoestische technieken ondervinden niet of nauwelijks hinder van grof vuil in of op de bodem. Er is een duidelijkere reflectie waar te nemen bij aanwezigheid van grof vuil, omdat een harde laag een sterkere weerkaatsing te zien geeft. De hoeveelheid grof vuil die aanwezig is, is met akoestische technieken niet vast te stellen. Akoestische technieken zijn gevoelig voor variaties in geluidssnelheid die optreden door verschillen in saliniteit en temperatuur.

Er kunnen verschillen optreden tussen de gemeten diepte en de daadwerkelijke diepte, vooral veroorzaakt door bootgeometrie en plaatsbepaling. Verschillen als gevolg van de bootgeometrie worden in de (Rijkswaterstaat) praktijk geminimaliseerd door voorschriften. Daarnaast worden controlemetingen gedaan. Hierbij wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van een referentieplaat op een diepte van 1 tot 5 m onder de boot of van een sluisdrempel. Ook worden controles uitgevoerd door meerdere malen meten van dezelfde raai.

2.2.3 ELEKTROMAGNETISCHE TECHNIEK

Een elektromagnetische meettechniek die ingezet wordt voor het peilen van watergangen is georadar. Georadar (ook wel grondradar genoemd) maakt gebruik van het uitzenden van een korte elektromagnetische puls via een zendantenne. De puls reflecteert op inhomogeniteiten. Georadar is een niet-destructieve geofysische onderzoekstechniek en kan gebruikt worden voor meting van de waterdiepte in ondiepe (tot 3,5 m) zoete watergangen. De methode is niet geschikt voor zout of brak water (STOWA, 2000).

Georadar geeft een digitaal beeld van veranderingen in de bodem. Met georadar kan de aanwezigheid van kabels en leidingen, puinbestortingen en andere obstakels worden aangetoond. Belangrijk aandachtspunt is dat de radarmetingen altijd gecontroleerd moeten worden door fysieke metingen en controles. Een voordeel van georadar is dat de kosten relatief beperkt blijven indien de watergang goed bevaarbaar is. De kosten zijn dan geringer dan de kosten van het handmatig peilen met een peilstok.

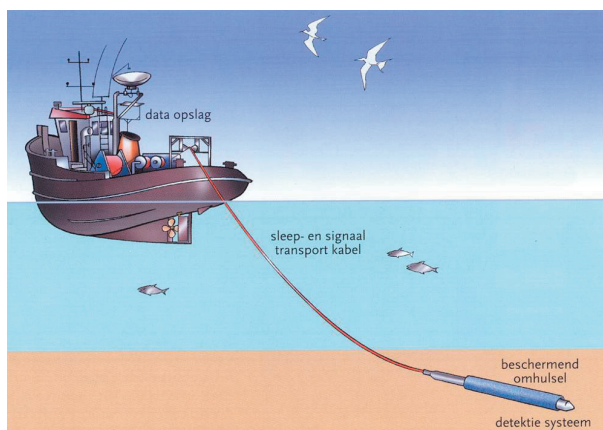
De techniek is voornamelijk geschikt voor het detecteren van grof vuil dan voor het bepalen van de waterdiepte. De techniek lijkt niet voor alle grondsoorten geschikt, met name niet voor metingen bij een ondergrond van veen. De techniek is gevoelig voor variërend geleidingsvermogen, door variërende concentraties zouten in het oppervlaktewater.

Vooralsnog wordt georadar alleen gebruikt voor indicatieve baggervolumebepalingen. De techniek is volop in ontwikkeling, zowel voor het meten van de bovenzijde van de sliblaag als van de onderzijde van de sliblaag.

2.2.4 WATERDRUK TECHNIEK

Een techniek waarbij gebruik wordt gemaakt van de waterdruk om de waterdiepte te bepalen is het zogenaamde 'Medusa systeem'. Dit systeem bestaat uit een torpedo-vormige dieptesensor die achter een vaartuig over de bodem van een watergang wordt gesleept. Het systeem maakt gebruik van het feit dat op de overgang van water naar de waterbodem de dichtheid van 1,2 ton/m³ wordt overschreden. De hoogteligging van deze overgang wordt bepaald door op de overgang met een zeer nauwkeurige waterdrukmeter de hoogte van de waterkolom te bepalen. Deze hoogte wordt vervolgens omgerekend naar waterdiepte t.o.v. NAP. Deze omrekening kan geschieden door tijdens de meting een RTK systeem mee te laten lopen, of er worden metingen of gegevens van het waterpeil voor gebruikt. De meting met het Medusa systeem geeft geen informatie over de positie van de onderkant van het slib.

FIGUUR 4 HET MEDUSA SYSTEEM (BRON: MEDUSA)



Het 'Medusa systeem' kan op alle bodems worden toegepast. Met de dieptesensor wordt de waterdiepte als het ware bepaald door 'omhoog te kijken'. Dit heeft als belangrijk voordeel dat geen ingewikkelde heave, pitch en roll correcties hoeven te worden toegepast. Daarnaast is ze ongevoelig voor variaties in geluidssnelheid door saliniteit en temperatuursgradiënten (zoals akoestische methoden), of voor variërend geleidingsvermogen (zoals GPR).

De nauwkeurigheid van de Medusa dieptesensor bedraagt 20 ppm van het maximale bereik van de dieptesensor. Voor een gebruikelijke sensor met een bereik van 10 m betekent dit een onzekerheidsinterval van 2 cm. Voor dieptes tot 100 m is de onzekerheid 20 cm (mededelingen H. Limburg, Medusa, 23 december 2005).

2.3 OVERZICHTSMATRIX

Uit de interviews is gebleken dat met de meeste praktijkervaringen bestaan met peilstok en peilhengel, echolood (singlebeam en multibeam), georadar en het Medusa systeem. Voor de twee laatstgenoemde typen meettechnieken geldt dat ze nog volop in ontwikkeling zijn en nog maar beperkt zijn toegepast. De eigenschappen van de genoemde meettechnieken zijn in de vorm van een overzichtsmatrix vermeld in tabel 1. De begrippen toepasbaarheid, geometrische spreiding en precisie, zoals gehanteerd in de tabel, worden in de hierna volgende subparagrafen toegelicht.

De precisie van de meting wordt mede bepaald door de gehanteerde methode van plaatsbepaling. In de overzichtsmatrix zijn, behalve gegevens over de precisie van de meting zelf, daarom ook gegevens over de precisie vermeld van het plaatsbepalingssysteem dat wordt ingezet. De waarden voor de precisie in de tabel betreffen door de leverancier opgegeven waarden.

TABEL 1 OVERZICHTSMATRIX VAN EIGENSCHAPPEN VAN BEWEZEN MEETTECHNIEKEN VOOR BAGGERVOLUME-BEPALINGEN

Meettechniek *1	Peilstok	Peil- hengel	Singlebeam echolood	Multibeam echolood	Georadar	Medusa dieptesensor
Toepasbaarheid						
type water						
Waterdiepte	< 5 m	< 2 m	> 1,5 m	> 1,5 m	0,3 – 8 m	>0,2 m
Waterbreedte	onbeperkt	onbeperkt / 8 m	> 3 m	> 3 m	> 3 m	onbeperkt
Bodemsamenstelling						
bovenkant slib	+	+	+	+	+/-	+
onderkant slib	+/-	+/-	+/-	-	?	--
Veen	+	+	+	+	-	+
Klei	++	++	++	++	+/-	++
Vand	++	++	++	++	+	++
zout / brak water	++	++	++	++	nvt	++
reactie op bodemvreemd materiaal	+	+	+	+	++	+
Geometrische spreiding						
Afstand tussen dwarsprofielen *2						
volume indicatie	100 - 200 m	100 - 200 m	100 - 200 m	vlakdekkend	100 – 200 m	100 – 200 m
onderhoud landelijk	100 - 200 m	100 - 200 m	100 - 200 m	vlakdekkend	100 – 200 m	100 – 200 m
onderhoud stedelijk	50 - 100 m	50 - 100 m	50 - 100 m	vlakdekkend	50 – 100 m	50 – 100 m
sanering stedelijk	25 - 50 m	25 - 50 m	25 - 50 m	vlakdekkend	25 – 50 m	25 – 50 m
Meetdichtheid op dwarsprofiel						
talud	0,5 m	0,5 m	continu	continu	continu	continu
breedte < 4 meter	0,5 m	0,5 m	continu	continu	continu	continu
breedte 4 tot 25 meter	1 m	1 m	continu	continu	continu	continu
breedte > 25 meter	2 m	2 m	continu	continu	continu	continu
Precisie³						
diepte (verticaal)						
tov waterpeil	1 - 3 cm	1 - 3 cm	2 cm	1 cm	2 – 4 cm	0,02% ⁵
tachymeter	2 cm	2 cm	nvt	nvt	nvt	nvt
RTK – GPS	2 cm		2 cm	2 cm	2 cm	2 cm
	+ 1 ppm ^{*4}	nvt	+ 1 ppm ^{*4}	+ 1 ppm ^{*4}	+ 1 ppm ^{*4}	+ 1 ppm ^{*4}
plaatsbepaling (horizontaal)						
zichtlijnen	50 cm	50 cm	nvt	nvt	nvt	nvt
uitzetwerk: meetlint, etc.	5 cm	5 cm	nvt	nvt	nvt	nvt
theodoliet	1 cm	1 cm	nvt	nvt	nvt	nvt
laser	1 cm	1 cm	nvt	nvt	nvt	nvt
tachymeter	1 cm	1 cm	nvt	nvt	nvt	nvt
GPS	5 m	nvt	5 m	5 m	5 m	5 m
(D)GPS	2 m	nvt	2 m	2 m	2 m	2 m
RTK – GPS	1 cm	nvt	1 cm	1 cm	1 cm	1 cm
	+ 1 ppm ^{*4}		+ 1 ppm ^{*4}	+ 1 ppm ^{*4}	+ 1 ppm ^{*4}	+ 1 ppm ^{*4}

*1 voor toelichting zie de beschrijving van de betreffende techniek

*2 in geval lokale onregelmatigheden of dynamische wateren kunnen frequenter dwarsprofielen worden gezet

*3 de weergegeven precisie betreft door de leveranciers van de apparatuur opgegeven waarden. Het betreft waarden voor de standaard-afwijking (σ) in de meting. In de praktijk wordt deze precisie niet gehaald, mede door lokale omstandigheden en weersomstandigheden. Daarnaast moet in de praktijk rekening worden gehouden met systematische fouten (zie paragraaf 2.3.3 en paragraaf 2.6).

*4 de ppm-waarde is afhankelijk van de afstand tot het meetstation: stel afstand werkgebied tot meetafstand is 5 km (500.000 cm), dan is 1 ppm gelijk aan $500.000/1.000.000 = 0,5$ cm.

*5 percentage t.o.v. de waterdiepte.

2.3.1 TOEPASBAARHEID

De toepasbaarheid van peilmethoden hangt samen met de breedte en diepte van watergangen. Bij te grote waterdiepten zijn handmatige methoden (peilstok en peilhengel) niet meer toepasbaar. Echolood en georadar worden toegepast vanaf een vaartuig, zodat het water voldoende diep dient te zijn.

In de overzichtsmatrix is daarnaast vermeld in hoeverre het gebruik van de meettechnieken wordt gelimiteerd door de samenstelling van de waterbodem, het zoutgehalte van het oppervlaktewater en de aanwezigheid van bodemvreemd materiaal (grof vuil, obstakels e.d.).

Uit literatuuronderzoek en uit de interviews zijn voor de meettechnieken uit tabel 1 geen belangrijke arbotechnische complicaties naar voren gekomen. Voor de handmatige technieken is daarbij een voorwaarde dat de toepassing beperkt wordt tot de maximale waterdieptes zoals in de tabel zijn vermeld. Het gebruik van geavanceerde technieken (echolood, georadar) beperkt ten opzichte van handmatige technieken het til- en loopwerk. Bij til- en loopwerk moet men bedacht zijn op lichaamshouding tijdens werken en mag de maximale belasting niet meer dan 25 kg bedragen. Voor het werken met verontreinigde grond, baggerspecie en water dienen de aanwijzingen uit CROW publicatie 132 te worden opgevolgd (CROW, 2002).

Een VCA gecertificeerd surveybedrijf is verplicht erop te letten dat de uitvoerenden zich goed bewust zijn van de risico's. Algemene indruk is dat een VCA-gecertificeerd bedrijf een goed beeld heeft van de risicofactoren tijdens het peilen en gepaste veiligheidsmaatregelen zal nemen (nette werkvloer, zwemvest gebruiken op het water, enz).

2.3.2 GEOMETRISCHE SPREIDING METINGEN

Bij de geometrische spreiding van de metingen gaat het met name om de meettechnieken waarbij het bodemprofiel niet gebiedsdekkend wordt ingemeten. Bij het handmatig peilen, bij singlebeam echolood en bij georadar worden dwarsprofielen ingemeten. De afstand tussen de dwarsprofielen en de onderlinge afstanden tussen de meetpunten binnen het dwarsprofiel dienen dan zodanig gekozen te worden dat geïnterpoleerd kan worden naar een voldoende betrouwbaar gebiedsdekkend 3D-beeld van de waterbodem.

De betrouwbaarheid van de baggervolumebepaling en daarmee de onderlinge afstand van de dwarsprofielen is afhankelijk van:

- Type waterloop. In rechte, gegraven waterlopen (sloot, wetering, boezemwater, kanaal) en in plassen en meren varieert het bodemprofiel minder sterk dan in (semi)-natuurlijke waterlopen zoals beken.
- Type gebied. In landelijk gebied is de verstoring van het profiel minder sterk dan in stedelijk gebied (obstakels, verharde oppervlakken, e.d.). Daarnaast wordt door waterschappen vaak een onderscheid gemaakt tussen primaire en secundaire waterlopen.
- Doel van de peiling. Peilingen vinden plaats voor een indicatieve bepaling van het baggervolume en voor baggerbestekken. Aan de volumebepalingen voor baggerbestekken worden hogere eisen gesteld. Bij baggerbestekken kan een onderscheid worden gemaakt tussen onderhoudsbaggerwerk en saneringsbaggerwerk. Bij saneringsbaggerwerk wordt scherper gecontroleerd of daadwerkelijk het te verwijderen verontreinigde volume wordt weggenomen.

Vanwege bovenstaande varieert de afstand tussen de dwarsprofielen in de praktijk tussen 25-50 m bij saneringsbaggerwerk in stedelijk gebied en 200 m bij onderhoudsbaggerwerk in landelijk gebied. Een afstand van 200 m tussen de dwarsprofielen is te hoog voor onderhoudsbaggerwerk in beken. In beken wordt gewerkt met afstanden van 25-50 m (zie bijlage 1, interview Waterschap Rijn en IJssel).

Het Hoogheemraadschap van Rijnland heeft een geostatistisch onderzoek uitgevoerd naar de afwijkingen in bagger volumes in afhankelijkheid van de afstand tussen de dwarsprofielen. Het onderzoek heeft uitgewezen dat boezemwateren met breedtes > 10 m een duidelijk ander gedrag vertonen dan de boezemwateren met breedtes < 10 m. In smalle watergangen zijn de afwijkingen tussen de profielen klein. Een dwarsprofiel heeft daar voorspellende waarde over een afstand van maximaal 125 m. In bredere watergangen (>10 m) zijn de afwijkingen van profiel tot profiel veel groter, mede omdat sprake is van meer variatie in de breedte van de watergangen. De profielen hebben wel over een grotere afstand voorspellende waarde (Hoogheemraadschap van Rijnland, 2001).

Binnen het dwarsprofiel wordt normaliter gemeten op afstanden variërend van 0,5 m (op taluds en in watergangen < 4 m breed), 1 m (breedte watergang 4 – 25 m) en 2 m (breedte watergang > 25 m).

2.3.3 NAUWKEURIGHEID VAN DE METING

Het begrip *nauwkeurigheid* is een overkoepelend begrip voor het totaal van *precisie* en *betrouwbaarheid*. De betreffende begrippen zijn in de begrippenlijst (bijlage 2) toegelicht. Bij het meten wordt onderscheid gemaakt tussen toevallige fouten en systematische fouten. Onder de betrouwbaarheid wordt de controleerbaarheid van metingen en de gevoeligheid van het eindproduct voor onontdekte fouten verstaan.

In de overzichtsmatrix (tabel 1) is de precisie van de meting vermeld (x-, y- en z-coördinaat), ofwel de toevallige fout in de meting. Het betreft waarden die door leveranciers van de apparatuur zijn opgegeven en die meestal betrekking hebben op ideale omstandigheden. De waarden betreffen schattingen van de waarde van de standaardafwijking (σ) in een reeks metingen. De betreffende nauwkeurigheid is in de praktijk niet haalbaar, als gevolg van lokale omstandigheden (variatie in samenstelling bodem en water, aanwezigheid bebouwing, kabels, leidingen etc.) en weersomstandigheden.

Bij de geïnterviewde waterbeheerders (zie bijlage 1) bestaat geen goed inzicht in de nauwkeurigheid waarmee de (meestal handmatige) peilingen in de praktijk worden uitgevoerd. Door surveybedrijven zijn wel berekeningen gemaakt van de totale toevallige fout ('errorbudget') die in de praktijk bij meting met multibeam echolood en georadar worden gemaakt. Voor singlebeam en multibeam echolood is voor meting van de bovenkant van de sliblaag een 'errorbudget' (2σ) berekend van circa 10 cm (mededeling dhr. S. v.d. Brom, Baggermaatschappij Boskalis b.v.). Dit errorbudget is de resulterende toevallige fout als gevolg de effecten van plaatsbepaling, diepgang van de boot, footprint, squat, bootgeometrie, geluidsmodel, interpolatie en gebruikte referenties.

Voor het meten van de bovenkant van de sliblaag met georadar is, gebruik makend van gevoeligheidsanalyses en schattingen, een errorbudget (2σ) van maximaal 12 cm berekend (mededeling mw. P. Kruiver, CSO Adviesbureau). Dit errorbudget is de resulterende toevallige fout van plaatsbepaling, scheefstand en overige geometrie van de peilboot, voortplantingsnelheid van het signaal door water en interpretatie.

De bovenstaande errorbudgetten gelden niet voor afzonderlijke meetpunten (puntnauwkeurigheid), maar voor het meten van grotere vlakken (praktijkmeetnauwkeurigheid). Ook andere surveybedrijven melden dat het errorbudget in de praktijk een factor 5 à 10 hoger ligt dan in de overzichtsmatrix is aangegeven (mededelingen J. Loots, GeoPlus b.v.; R. Koomans, Medusa b.v.).

De precisie van de meting kan niet eenvoudig worden vertaald naar een precisie van de bepaling van het in-situ baggervolume. Op de precisie van de baggervolumebepaling wordt ingegaan in paragraaf 2.6.

Om te controleren op systematische fouten dienen controlemetingen te worden verricht, bijvoorbeeld metingen met een andere dan de gehanteerde meettechniek. Bij het meten van sliblaagdikten worden controlemetingen gedaan door boringen te zetten. Eventuele systematische fouten worden op deze wijze gekwantificeerd, zodat er rekening mee gehouden kan worden bij het berekenen van het baggervolume.

2.4 BESTAANDE MEETPROTOCOLLEN

Veel waterbeheerders en surveybedrijven beschikken over eigen meetprotocollen of -richtlijnen. Voorbeelden zijn het eerdergenoemde meetprotocol van GeoPlus B.V., het 'Meetprotocol uitmeting dwarsprofielen' (versie 2.1, 2005) van Waterschap Zeeuwse Eilanden 2004 en de 'Handleiding peilen waterbodems' en 'Toelichting voor het maken van dwarsprofielen' van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Ook zijn de 'Eisen voor inmeten van profielen voor INTWIS' in concept vastgelegd. Verder wordt de RAW gebruikt als meetprotocol (zie bijlage 1).

De betreffende meetprotocollen en -richtlijnen zijn ontwikkeld voor toepassing van één bepaalde meettechniek. Het betreft met name protocollen en richtlijnen voor handmatige peilingen met een peilstok of peilhengel. De protocollen/richtlijnen bevatten aanwijzingen over geometrische spreiding van de metingen (afstand tussen dwarsprofielen, afstand tussen meetpunten), de wijze van meting van de z-coördinaat en het vastleggen van de positie (X- en Y-coördinaat). Met betrekking tot de te gebruiken apparatuur worden specificaties (grootte voet van peilstok, plaatsbepalingssysteem etc.) en calibratie methoden vermeld.

In de protocollen/richtlijnen worden mogelijke bronnen van afwijkingen in baggervolumes genoemd. Opvallend is dat in de meetprotocollen wordt aangegeven dat bij in- en uitpeiling op dezelfde locaties dient te worden gemeten en dat de posities hiervoor vastgelegd dienen te worden. Verder wordt aangegeven dat de in- en uitpeiling door dezelfde persoon dient te worden uitgevoerd. Verder worden kwaliteitsborgingaspecten genoemd, zoals de ervaring van de surveyor.

In de bestaande meetprotocollen wordt niet of nauwelijks ingegaan op de wijze waarop controlemetingen van de hoogteligging van de waterbodem of van de slibdikte dienen te worden uitgevoerd. Uit de interviews is gebleken dat per raai of telkens na enkele raaien een controleboring wordt uitgevoerd, waarbij zowel de hoogteligging van de waterbodem als de dikte van de sliblaag wordt bepaald. De wijze waarop vastgesteld wordt of de resultaten van de controleboringen overeenkomen met de peilresultaten is – voor zover bekend - nergens beschreven.

2.5 VERWERKING MEETGEGEVENS

Bij inmeting van dwarsprofielen (handmatig peilen, singlebeam echolood, georadar) dient te worden geïnterpoleerd tot een gebiedsdekkend 3D-beeld om het baggervolume te berekenen. Deze interpolatie vormt een extra bron van onnauwkeurigheden in het berekende baggervolume.

2.5.1 HANDMATIGE PEILINGEN

Voor het berekenen van baggervolumes uit handmatige peilingen wordt in de praktijk veel gebruik gemaakt van spreadsheets, van een Geografisch Informatie Systeem (GIS) of van speciaal voor dit doel ontwikkelde programma's. In smallere, lijnvormige watergangen wordt in de praktijk meestal handmatig gepeild in dwarsraaien. Voor het berekenen van het baggervolume wordt dan aangenomen dat het gemeten dwarsprofiel representatief is voor een bepaalde lengte van de watergang. Dit vereist in het geval van veranderingen in de waterloop (plotselinge diepten bij beken, bochten, inhammen, etc.) dat ter plaatse de frequentie van het opnemen van dwarsprofielen voldoende wordt verhoogd.

Hieronder worden enkele voorbeelden gegeven van bestaande verwerkingsprogramma's voor handmatige peilingen. De basis voor het berekenen van de baggervolumes is daarbij telkens dat het gemeten dwarsprofiel representatief wordt gesteld voor een bepaalde lengte van een watergang. Dit vereist in het geval van veranderingen in de waterloop (plotselinge diepten bij beken, bochten, inhammen, etc.) dat ter plaatse de frequentie van het opnemen van dwarsprofielen voldoende wordt verhoogd.

DWP (DWARSPROFIELEN)

Watergangen kunnen worden ingepeild aan de hand van de DWP-methode van het Hoogheemraadschap van Delfland. Hierbij wordt de waterdiepte van kant tot kant bepaald met een vast meetinterval. Tevens wordt de breedte van het traject bepaald. Binnen het dwarsprofiel wordt de oppervlakte bepaald van de (slib)laag, voorzover deze zich boven het theoretische (onderhouds)profiel bevindt. Deze oppervlakte van het dwarsprofiel wordt met een voor- en nalengte representatief gesteld voor een bepaald lengtetraceut. Het baggervolume over dit lengtetraceut wordt berekend als de oppervlakte vermenigvuldigd met de lengte.

WDB (WATERBODEM DWARSPROFIELEN BEHEER)

Ook met het programma Waterbodem Dwarsprofielen Beheer (WDB) kunnen peilingen in dwarsraaien worden verwerkt. Verschil met DWP is dat de waterbodempligging ten opzichte van meerdere dieptes kan worden weergegeven. Behalve het theoretische (onderhouds)profiel kan in de dwarsdoorsnede ook bijvoorbeeld de diepte van de vaste bodem in beeld worden gebracht. Evenals met DWP wordt de oppervlakte van het slib (t.o.v. theoretisch profiel en/of t.o.v. de onderliggende vaste bodem) berekend. Deze oppervlakte wordt representatief gesteld voor een bepaald lengtetraceut, waarna het (te verwijderen) baggervolume berekend wordt.

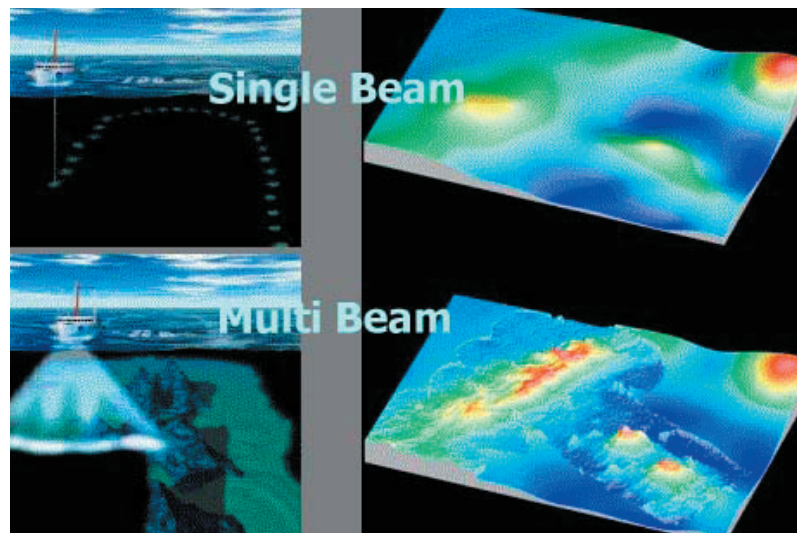
2.5.2 ECHOLOOD

Voor akoestische technieken zijn verwerkingsprogramma's van de meetgegevens beschikbaar. Daarbij wordt gecontroleerd op 'spikes' (uitschieters) en andere afwijkende data en wordt geverifieerd op overlaps. Dit kan veel tijd in beslag nemen. Met de technieken is het mogelijk om een 2D of een 3D beeld te verkrijgen van de hoogteligging van de waterbodem. Het baggervolume kan vervolgens worden berekend door vergelijking met de diepte die met het baggeren bereikt dient te worden (bijvoorbeeld de onderhoudsdiepte).

Silas is een software-systeem dat wordt gebruikt in samenhang met een akoestische meettechniek, met name singlebeam echolood. Bij gebruik van het *Silas* systeem vindt een handmatige controle plaats op alle met het echolood verzamelde data. Het laagfrequente echolood wordt daarbij standaard opgenomen en indien gewenst geïnterpreteerd. *Silas* wordt niet gebruikt voor bepalingen van de slibdikte.

FIGUUR 5

WEERGAVE MEETRESULTATEN VAN ECHOLOOD METINGEN MET SINGLE- EN MULTIBEAM



Op dieptegegevens van bijvoorbeeld singlebeam metingen in grotere (rijks)wateren worden ook andere interpolatietechnieken toegepast. Het betreft technieken op deterministische of geostatistische grondslag (RWS, 1998; AKWA, 2001). Het *SURFIS*-pakket (RIZA, 2000) is ontwikkeld voor dynamische, stromende wateren. *SURFIS* maakt gebruik van een deterministische methode waarbij de 'natuurlijke' lijnen in een watersysteem worden gevolgd: de vorm en de richting van oeverlijnen en geulen worden gebruikt als 'zoekrichting' voor de interpolatie. Geostatistische interpolatiemethoden houden rekening met de ruimtelijke afhankelijkheid van de waarnemingen. Om de optimale meetstrategie te bepalen wordt gebruik gemaakt van voorkennis, bijvoorbeeld uit eerdere metingen op dezelfde locatie.

2.6 AFWIJKINGEN IN BAGGERVOLUMES

De meetafwijkingen, zoals vermeld in tabel 1, werken samen met afwijkingen als gevolg van de interpolatie tussen de meetpunten, door in het berekende baggervolume. De grootte van de meetafwijking in het baggervolume is niet eenvoudig te berekenen uit de afwijkingen in de metingen op de individuele meetpunten. De grootte van de toevallige fout in het baggervolume (als % van het baggervolume) is behalve van de standaardafwijking in de individuele metingen, ook afhankelijk van:

- Het aantal metingen. Naarmate op meer punten wordt gemeten werkt een toevallige meetfout minder sterk door als fout in het baggervolume.
- De variatie in dikte van de te verwijderen (slib)laag. Bij een geringe variatie zijn minder metingen nodig om een goed beeld te krijgen van de sliblaag dan bij een grote variatie in dikte.
- De aanwezigheid van taluds. Op taluds dient intensiever te worden gemeten.
- De dikte van de te verwijderen (slib)laag. De meetfout werkt sterker door als percentuele afwijking in het baggervolume naarmate de laagdikte geringer is.
- De interpolatie tussen de meetpunten. Via interpolatie wordt een 3D-model van het te verwijderen baggervolume verkregen. De fout ten gevolge van de interpolatie is groter naarmate de variatie in dimensionering van de watergang ('bochtigheid') en in (te verwijderen) slibdikte groter is. Dit laatste is de reden dat in meanderende beken op kortere afstanden dwarsraaien worden gemeten dan in rechte, gegraven watergangen.
- De tijdsduur tussen inpeiling, uitvoering van het baggerwerk en uitpeiling. Vooral in dynamische, stromende wateren kan sediment snel worden verplaatst. Dit kan ertoe leiden dat de inpeiling niet representatief is voor het daadwerkelijk te verwijderen baggervolume bij de uitvoering of dat de uitpeiling niet representatief is voor hetgeen daadwerkelijk is verwijderd.

Een systematische meetfout leidt over het algemeen tot een systematische fout in het berekende baggervolume. Een uitzondering geldt voor de (theoretische) situatie dat het baggervolume wordt berekend via in- en uitpeiling van de watergang en bij de inpeiling exact dezelfde systematische fout wordt gemaakt als bij de uitpeiling. Controlemetingen of -boringen moeten ervoor zorgen dat voor de systematische fout wordt gecorrigeerd.

Om gevoel te krijgen voor de toevallige fout in de berekende baggervolumes als gevolg van meting en verwerkingsmethode zijn in het kader van de onderhavige inventarisatie praktijkgegevens doorgerekend. Het betreft praktijkgegevens van handmatige peilingen met een peilstok (boven- en onderzijde sliblaag) in een stadsgracht te Groningen, een gracht te Edam/Volendam en een sloot te Houten (zie tabel 2). Bijlage 3 bevat een beschrijving van de gebruikte meetgegevens en een technische verantwoording van de wijze waarop de toevallige fout in het gemeten baggervolume met een geostatistische benadering is berekend. De betreffende methode is eerder toegepast op de boezemwateren in Rijnland (Hoogheemraadschap van Rijnland, 2001). De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in tabel 2.

TABEL 2 KENMERKEN VAN DRIE WATERGANGEN EN INDICATIE VAN TOEVALLIGE FOUTEN BIJ BEREKENING VAN BAGGERVOLUMES UIT METINGEN IN DWARSRAAIEN IN DEZE WATERGANGEN. VOOR DE BEREKENINGEN ZIJN PRAKTIJKGEVEENS GEBRUIKT

Type watergang	Lengte (m)	Gemiddelde breedte (m)	Gemiddelde afstand tussen raaien (m)	Toevallige fout in dwarsraai (% van baggervolume)
Stadsgracht Groningen	1273	20,4	43,5	14 - 27
Gracht Edam/Volendam	1965	8,4	50,4	25
Sloot Houten	997	2,7	100	12

De toevallige fout die voor de drie watergangen is vermeld in tabel 2 heeft betrekking op de fout als gevolg van meting en interpolatie binnen een dwarsraai. De werkelijke toevallige fout bij het berekenen van het baggervolume in een baggervak is groter dan vermeld is in tabel 2, omdat ook een toevallige fout wordt gemaakt bij de interpolatie. Daar staat tegenover dat bij een berekening van het totale baggervolume in een watergang uit de baggervolumes van afzonderlijke baggervakken de toevallige fout in het totale volume wordt uitgedempt.

Niettemin wijzen de toevallige fouten zoals vermeld in tabel 2 (ordegrootte 10 à 20%) op een heel andere ordegrootte van de afwijkingen in de baggervolumes dan de precisie van de metingen zoals vermeld in de overzichtsmatrix (tabel 1) doet vermoeden. De toevallige fout in de onderzochte stadsgracht, gracht en sloot liggen in dezelfde ordegrootte als eerder door Rijnland berekend voor boezemwateren (circa 14%).

3

OVERWEGINGEN EN AANBEVELINGEN

3.1 ALGEMEEN

Uit de interviews blijkt dat er draagvlak bestaat voor het ontwikkelen van één of meerdere meetprotocollen. Deze protocollen zouden geschikt moeten zijn voor het voorbereiden en uitvoeren van baggerbestekken. Voorwaarde is dat de protocollen niet algemeen bindend worden verklaard, mede omdat de watergangen bij de verschillende waterbeheerders sterk verschillen in dynamiek en overige eigenschappen. Voor de in-situ metingen die plaatsvinden om bijvoorbeeld een indicatieve schatting van het baggervolume te maken, ten behoeve van de planvorming voor onderhouds- of saneringswerk, is geen behoefte aan standaardisering gebleken.

Bij de baggervolumebepalingen in het kader van de voorbereiding van baggerbestekken kunnen drie meetwijzen worden onderscheiden:

- Meten van de hoogteligging van de waterbodem voorafgaand (inpeiling) en na afloop (uitpeiling) van een baggerwerk. Voor deze strategie wordt met name gekozen bij saneringsbaggerwerk en bij andere baggerwerken waarbij de baggerspecie wordt afgevoerd naar een inrichting voor verwerking of berging.
- Meten van de dikte van de sliblaag, door de hoogteligging van de onder- en bovenzijde van de sliblaag te meten.
- Meten van uitsluitend de hoogteligging van het grensvlak water – waterbodem. Het baggervolume wordt dan berekend door vergelijking van de hoogteligging met een theoretisch profiel dat bij het onderhouds- of saneringsbaggerwerk opgeleverd dient te worden. Het theoretisch profiel wordt eventueel afgeleid uit de gegevens van boringen, met name bij saneringsbaggerwerk.

Voordat ontwikkeling van meetprotocollen plaatsvindt dient op volgende punten een keuze te worden gemaakt:

- Ontwikkeling van een afzonderlijk protocol voor de voorbereiding en uitvoering van baggerwerken, of uitsluitend ontwikkeling van één (uniform) protocol voor de uitvoering van baggerwerken. Bij uitvoering wordt met name gedoeld op projecten waarbij het in-situ baggervolume wordt bepaald via in- en uitpeiling.
- Ontwikkeling van een afzonderlijk protocol voor saneringsbaggerwerk, of uitsluitend ontwikkeling van een (uniform) protocol voor onderhoudsbaggerwerk.

Bij het ontwikkelen van één of meerdere protocollen moet er rekening mee worden gehouden dat de kosten van het meten in verhouding moeten staan tot de doelstelling en de grootte van het project. Daarnaast moeten de eisen aan de metingen ten aanzien van nauwkeurigheid etc. voor het betreffende watersysteem realistisch zijn.

3.2 PROTOCOL PER MEETTECHNIEK OF PER WATERTYPE

Er kan worden gekozen voor het ontwikkelen van één uniform protocol of voor afzonderlijke protocollen per (bewezen) meettechniek of bijvoorbeeld per watertype.

Het opstellen van één uniform protocol voor alle metingen in alle watertypen heeft enkele belangrijke nadelen:

- Verschillende meettechnieken vereisen toepassing van verschillende meetstrategieën.
- Het toepassen van handmatige meettechnieken vergt geheel andere kennis en vaardigheden van de uitvoerder dan het toepassen van echolood of georadar;
- Het kan ertoe leiden dat de ontwikkeling van nieuwe geavanceerde technieken wordt belemmerd.

Het opstellen van protocollen per watertype heeft als belangrijk nadeel dat de variatie in watertypen in Nederland groot is. Het is niet eenvoudig om een zinvol onderscheid naar watertype te maken in relatie tot baggervolumebepalingen.

Logischer lijkt het om de keuze van de meettechniek over te laten aan de waterbeheerder, die de lokale situatie qua watertype goed kent. Deze voorkeur is ook gebleken bij de BaggerNet dag in Groningen in 2004 (BaggerNet, 2004). Het sluit bovendien aan op de huidige praktijk, zoals blijkt uit de interviews. Groot voordeel is dat de voorkennis die de waterbeheerder over de variatie in ligging van de waterbodem bezit, bijvoorbeeld opgedaan bij voorgaand onderhoudsbaggerwerk, kan worden gebruikt bij de keuze van de meettechniek en de meetstrategie.

Overigens kunnen de verschillende meetprotocollen wel worden opgenomen in één document. In een algemeen deel van het document kan beschreven worden wat de toepasbaarheid van de verschillende meettechnieken is, eventueel gebruik makend van een overzichtsmatrix zoals tabel 1 in dit rapport. De meetprotocollen per meettechniek kunnen dan in het specifieke gedeelte opgenomen worden.

Voor de afzonderlijke meettechnieken (handmatig, echolood) kan worden vastgesteld of het ontwikkelen van meetprotocollen nodig en zinvol is. Uit de interviews komt als beeld naar voren dat waterbeheerders vaak zelf over eigen protocollen voor handmatig peilen beschikken. Voor echolood geldt dat de surveybedrijven zelf eigen protocollen hanteren. In de bestaande meetprotocollen wordt over het algemeen maar beperkt aandacht geschonken aan het aspect systematische fouten. De wijze waarop controlemetingen of -boringen dienen te worden geïnterpreteerd ten behoeve van de baggervolumebepalingen is in bestaande meetprotocollen beperkt uitgewerkt. In de interviews is diverse malen opgemerkt dat, teneinde interpretatieverschillen te voorkomen, de in- en uitpeiling door dezelfde persoon gedaan dienen te worden. Dit is illustratief voor het ontbreken van een goed instrumentarium voor controle op systematische fouten.

Bij de ontwikkeling van een landelijk geldend protocol per meettechniek moet er ten opzichte van bestaande meetprotocollen overigens wel rekening mee worden gehouden dat de diversiteit in wateren over heel Nederland aanmerkelijk groter is dan binnen het beheersgebied van één waterschap. Dit pleit ervoor om in de betreffende protocollen de toepasbaarheid duidelijk te vermelden en om verschillende 'varianten' op te nemen afhankelijk van het watertype: in dynamische en meanderende beken is intensiever meten nodig dan in nauwelijks stromende gegraven watergangen. Bij een onderzoek in boezemwateren van Rijnland

(Hoogheemraadschap van Rijnland, 2001) is gebleken dat ook de breedte van watergangen van invloed is op de maximale afstand tussen dwarsprofielen.

3.3 AANDACHTSPUNTEN VOOR PROTOCOL

Hieronder zijn aandachtspunten vermeld voor het ontwikkelen van meetprotocollen of praktijkrichtlijnen voor de technieken die zich in de praktijk bewezen hebben: handmatig peilen en echolood. De opsomming beperkt zich tot de meettechnische aspecten, zodat bij het maken van afspraken, in een contract of bestek, voor de meettechnische aspecten naar het meetprotocol kan worden verwezen.

Voor handmatig peilen met peilstok of peilhengel zijn er de volgende aandachtspunten:

- Bij in- en uitpeiling: maximale periode tussen inpeiling en uitvoering en tussen uitvoering en uitpeiling;
- Bij in- en uitpeiling: minimale periode tussen uitvoering en uitpeiling wegens benodigde tijd van bezinken van door baggerwerk opgewerveld sediment;
- Rekening houden met invloed van de periode van meten, in verband met invloed van bladval op de meting;
- Keuze van meet- en plaatsbepalingsapparatuur;
- Eisen aan de nauwkeurigheid van meting en plaatsbepaling;
- Calibratie van de apparatuur;
- Vastleggen van de grootte of het gewicht van de voet;
- Keuze van de meetstrategie, afhankelijk van het doel van de meting: besteksmeting, sanering/onderhoud;
- In meetstrategie rekening houden met onregelmatigheden in de waterloop (versmallingen, bochten, dammen, etc.), met de dynamiek, met taluds en met de bodemsamenstelling;
- Beschrijven van wijze waarmee omgegaan dient te worden met grof vuil, puin en andere obstakels in de waterbodem.
- Vastleggen op welke wijze en met welke intensiteit controleboringen gezet (en gerapporteerd) dienen te worden;
- Opnemen van aanwijzingen voor de wijze waarop de uitvoerder (statistisch verantwoord) kan aantonen of een systematische fout is gemaakt bij het peilen en hoe groot die systematische fout is, zodat hiermee bij het berekenen van het baggervolume rekening kan worden gehouden;
- Beschrijven van de wijze waarop uit de meetgegevens het baggervolume berekend dient te worden, eventueel inclusief de wijze waarop de marge (toevallige fout) in dit baggervolume bepaald kan worden.

Voor echolood gelden de volgende aandachtspunten:

- Bij in- en uitpeiling: maximale periode tussen inpeiling en uitvoering en tussen uitvoering en uitpeiling;
- Bij in- en uitpeiling: minimale periode tussen uitvoering en uitpeiling wegens benodigde tijd van bezinken van door baggerwerk opgewerveld sediment;
- Keuze van meet- en plaatsbepalingsapparatuur;
- Eisen aan de nauwkeurigheid van meting en plaatsbepaling;
- Calibratie van de meet- en plaatsbepalingsapparatuur;
- Vastleggen van de grootte of het gewicht van de voet;
- Keuze van de meetstrategie, afhankelijk van het doel van de meting: besteksmeting, sanering/onderhoud;

- Het omgaan met taluds en hellingen, grof vuil en puin, bestortingen en andere verstoringen. Voor singlebeam gelden daarnaast dezelfde aandachtspunten met betrekking tot de meetstrategie als hierboven voor handmatig peilen.
- Grootte van de hellingshoek (bij multibeam) en de celgroottes.
- Rekening houden met het voorkomen van 'waterig' slib.
- Het omgaan met controlemetingen, bijvoorbeeld op een sluisdrempel of een vaste ligplaats. Eventueel opnemen van aanwijzingen voor de wijze waarop de uitvoerder (statistisch verantwoord) kan aantonen of een systematische fout is gemaakt bij het peilen en hoe groot die systematische fout is, zodat hiermee bij het berekenen van het baggervolume rekening kan worden gehouden;
- Beschrijven van de wijze waarop uit de meetgegevens het baggervolume berekend dient te worden, eventueel inclusief de wijze waarop de marge (toevallige fout) in dit baggervolume bepaald kan worden.

3.4 AANBEVELINGEN

Zowel uit het verslag van de BaggerNet dag in Groningen in 2004 als uit de interviews is gebleken dat er behoefte bestaat aan meer inzicht in de haalbare (realistische) nauwkeurigheid bij baggervolumebepalingen, in relatie tot de gehanteerde meettechniek en meetstrategie (afstand tussen dwarsraaien, afstand tussen meetpunten). In een rapportage met betrekking tot de verklaring van baggervolumes (RWS-AGI, 2005) is het belang van realistische en toetsbare nauwkeurigheidseisen benadrukt.

In de praktijk is, onder meer als gevolg van lokale omstandigheden en weersomstandigheden, de meetprecisie (toevallige fout in de meting) die vermeld is in tabel 1 niet haalbaar. Onvoldoende bekend is welke precisie in de praktijk wel haalbaar is. Daarnaast is meer inzicht gewenst in de systematische fouten die optreden als gevolg van toepassing van de meettechnieken, zodat daarvoor bij het berekenen van baggervolumes kan worden gecorrigeerd. Tot slot bestaat er meer behoefte aan inzicht in de doorwerking in het baggervolume van meetfouten en fouten als gevolg van interpolatie tussen meetpunten voor verschillende watertypen en -omstandigheden. Op de genoemde aspecten kan praktijkonderzoek meer licht werpen.

Als meer bekend is over de toevallige en systematische fouten die bij in-situ baggervolumebepalingen worden gemaakt, wordt het mogelijk om in afspraken tussen opdrachtgever en uitvoerder (contracten, bestekken) scherpe, maar haalbare eisen te stellen.

GERAADPLEEGDE LITERATUUR

AKWA, 2001

Richtlijn nader onderzoek, ernst- en urgentiebepaling van verontreinigde waterbodems. AKWA-rapport 01.005. RIZA-nota 2001.052.

AKWA, 2003

De baggerketen: van waterbodem tot bestemming.
AKWA / DWW –rapport, DWW-2003-135, december 2003.

AKWA, 2005

Handreiking onderzoek bodemvreemde materialen in waterbodems Onderzoek. Fractie 2-200 cm.
AKWA rapport 05.001, januari 2005.

BAGGERNET, 2004

Baggervolume bepalen: is meten zeker weten?
Verslag themadag Baggernet 8 juni 2004 in Groningen.

CROW, 2002

Werken in of met verontreinigde grond en verontreinigd (grond)water.
CROW publicatie 132, oktober 2002.

CUR, 1997

Geofysische technieken te water. CUR-rapport 97-4, augustus 1997

GeoPlus, 2003

Slibdiktemetingen Pekelderhoofddeep te Pekela, bijlage meetprotocol en controle aspect.
Opgesteld door GeoPlus B.V.

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Eisen voor inmeten van profielen voor INTWIS. Auteur: C. Stavast.
Registratienummer 05.27421. Concept, 3 november 2005.

Hoogheemraadschap van Rijnland, 2001

Oriënterend geostatistisch onderzoek naar de variatie in de nauwkeurigheid van baggerhoeveelheden met de meetafstand, Hoogheemraadschap van Rijnland, maart 2001 & Geostatistisch onderzoek naar de variatie in de nauwkeurigheid van baggerhoeveelheden met de meetafstand, Hoogheemraadschap van Rijnland, mei 2001.

RIZA, 2000

De nauwkeurigheid bij het ruimtelijk interpoleren (met SURFIS), auteur: A. Fioole, RIZA rapport 2000.003. 38 p.

RWS, 1998

Toepassing van geostatistiek bij waterbodems, Programmabureau Meetstrategie 2000+, auteurs: C. Kruyt en L. Hazelhoff, rapport MS2000+.98.09, 24 november 1998.

RWS, 2001

Richtlijn nader onderzoek, ernst en urgentiebepaling van verontreinigde waterbodems, AKWA-rapport 01.005, RIZA-nota 2001.052.

RWS, 2002

Onderzoek naar het verschil tussen multibeam / singlebeam op de rivieren, Meetkundige Dienst, rapport MD-GAM-2001-34, april 2002.

RWS-AGI, 2001

Uniform begrippenkader voor het hydrografische werkproces, Werkgroep Hydrografie, RWS-AGI, versie 9, november 2001.

RWS-AGI, 2005

Verklaren van verschillen in baggervolumes, verbeteringen voor nauwkeurigheds- en toetsingseisen bij baggerbestekken en gerelateerde documenten, AGI-rapport nr. 2005 – GPMP-016, 29 juni 2005.

RWS-DZH, 1999

Slibdiktekaart Haringvliet, De Straat Milieu-adviseurs in opdracht van Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland, projectnummer B6372, 1999.

STOWA, 2000

Waterbodemonderzoek met georadar (GPR). Mogelijkheden en randvoorwaarden voor het bepalen van hoeveelheden baggerspecie met georadar. STOWA-rapport 2000-11, ISBN 90.5773.091.x.

STOWA, 2000

Aanwasselheid van regionale baggerspecie en verkenning van mogelijkheden tot baggerpreventie. STOWA-rapport 2000-23, ISBN 90.5773.101.0.

STOWA, 2001

Inventarisatie kleinschalige baggertechnieken. STOWA-rapport 2001-30, ISBN 90.5773.147.9.

Waterschap Zeeuwse Eilanden, 2005

Slibdikte metingen waterlopen versie 2.1. Waterschap Zeeuwse Eilanden 13 januari 2005.

Waterschap Zeeuwse Eilanden, 2005

Meetprotocol inmeting dwarsprofielen versie 1. Waterschap Zeeuwse Eilanden 18 januari 2005.

Waterschap Zeeuwse Eilanden, 2005

Meetprotocol uitmeting dwarsprofielen versie 2.1. Waterschap Zeeuwse Eilanden 20 oktober 2005.

BIJLAGEN

BIJLAGE 1: SAMENVATTING INTERVIEWS

BIJLAGE 2: BEGRIPPENLIJST

BIJLAGE 3: GEOSTATISTISCHE AFLEIDING AFWIJKINGEN IN BAGGERVOLUMES

BIJLAGE 1

SAMENVATTING INTERVIEWS

INTERVIEW 1: WATERSCHAP HUNZE EN AA'S

Datum: vrijdag 4/11/05
 Plaats: Veendam
 Aanwezigen: Roel Voetberg Waterschap Hunze en Aa's
 Remco Drewes Royal Haskoning

BEHEERSGEBIED WATERSCHAP HUNZE EN AA'S

Het Waterschap Hunze en Aa's ligt deels in de Provincie Groningen en deels in de provincie Drenthe. Het omvat een gevarieerd gebied: veen rondom het Schildmeer, klei in het noorden, keileem in het zuiden en zand aan de kant van Drenthe. De wateren binnen het gebied betreffen de stadswateren in de stad Groningen, een paar vaarwegen, vele hoofdwatgangen en sloten en daarnaast nog een enkele (ondiepe) plas. Het waterschap beheert een oppervlakte van 213.000 ha en beheert 3.525 km sloten en kanalen

MEETTECHNIEKEN

Vanwege het type wateren wordt bij het waterschap voornamelijk handmatig gepeild. Sporadisch wordt voor grotere wateren gebruik gemaakt van de multibeamtechniek (1 ervaring: Diepenring Groningen). Met het gebruik van georadar bestaan (tot nu toe) slechte praktijkervaringen (2 ervaringen).

Hoofdvaarwegen worden door de provincie gepeild. Momenteel wordt het Winschoterdiep met de multibeamtechniek ingemeten. Recreatieve vaarwegen met een diepte tot 5 m, worden in eerste instantie met singlebeam echolood gepeild (lengteprofielen bovenkant slib) en bij constatering van knelpunten wordt er handmatig gepeild.

BETROUWBAARHEID, NAUWKEURIGHEID EN GEOMETRISCHE SPREIDING

Voor handmatig peilen werkt het waterschap met verschillende bedrijven. Deze bedrijven hanteren verschillende methoden. Eigen ervaring en ervaring met verschillende survey-bedrijven zijn:

Surveybedrijf	Maat voet bovenkant slib	Maat voet onderkant slib	Nauwkeurigheid/afwijking
Waterschap	Rond 15 cm	baak	Niet bekend
A	10 cm x 10 cm	Idem met doordrukken	+/- 3 cm
B	16 cm x 16 cm	Achterkant peilstok	Niet bekend
C	18 cm x 18 cm	8 cm x 8 cm	+/- 1 cm

Controle metingen worden uitgevoerd met een zuigerboor of multisampler.

Bij het handmatig peilen wordt voor nauwkeurige metingen ten behoeve van bestekken (rekening houdend met stortkosten bij saneringswerk) een afstand tussen de dwarsprofielen van 50 m aangehouden. Binnen de dwarsprofielen wordt op elke meter een meting gedaan. Bij een zachte bodem (geen zand) is de onderkant van de sliblaag moeilijk te bepalen, omdat er geen duidelijke scheiding is tussen het slib en het onderliggende materiaal. In dit geval zijn controleboringen met de zuigerboor nodig, die de laagopbouw van de bodem laten zien. Voor indicatieve metingen in hoofdvaarwegen wordt een afstand tussen de dwarsraaien van 100 m aangehouden.

Bij handmatig peilen vormen de breedte van kanalen en de obstakels (woonboten etc.) in stadswateren een complicatie. De overgang van klei naar veen is eveneens een lastig probleem. Een zandbodem levert geen problemen op met inmeten.

Bij saneringswerken (klasse 4) is een (verticale) maaknauwkeurigheid gewenst van + 5 cm en van -5% op volumebasis. Onderhoudswerk (klasse 2) kent een ruimere tolerantie van -10% op volumebasis.

Per dwarsprofiel, die representatief wordt gesteld voor een bepaalde lengte, wordt het volume bepaald. Extreme afwijkingen in de meetreeksen worden vooraf uit de dataset gefilterd.

RANDVOORWAARDEN TOEPASSINGEN

De vorm van het water is bepalend voor de toegepaste techniek. Handpeilingen zijn mogelijk tot een diepte van ongeveer 4,5 meter. Bij grote oppervlakken zal men eerder overwegen multibeam toe te passen. Voor multibeam is een waterdiepte van tenminste 1,5 m vereist.

Bij objecten die in de weg liggen (incl. grof vuil) of bij uitlopende vormen van het water kan de surveyploeg extra metingen verrichten. Met multibeam is er een mogelijkheid om onder woonboten te meten. De huidige nauwkeurigheid voldoet aan de wensen. Scherpere nauwkeurigheden zijn mogelijk, maar niet noodzakelijk.

Om bij *handmatig peilen* afwijkingen te voorkomen is het goed om dezelfde personen de in- en uitpeiling te laten verrichten. Bij het meten is een controlemeting gewenst, door hetzelfde dwarsprofiel twee keer in meten. In het geval van het bepalen van de sliblaagdikte kunnen extra peilingen met de zuigerboor worden geplaatst. Controlemetingen vinden plaats per meetvak. Voor de controle is het ook een optie om lengteprofielen in te meten. In het geval van een verstoring in de meting door bodemvreemd materiaal wordt een extra meting verricht.

Multibeam wordt gebruikt naast handmatig peilen, maar heeft een waterdiepte van meer dan 1,5 meter nodig. De metingen met multibeam komen goed overeen met de handpeilingen.

Het waterschap heeft (tot nu toe) slechte ervaringen met *georadar* voor het bepalen van baggervolumes. Voor het indicatief bepalen kan het wel worden gebruikt. De onderkant van de sliblaag is niet goed te bepalen. Bij het inmeten van de bovenkant van de sliblaag is sprake van een hoog ruisniveau. In vergelijking met handmatige peilingen is een afwijking in het baggervolume van ca. 15% geconstateerd. Dit komt voornamelijk doordat de betrouwbaarheid van het resultaat onbekend is en de metingen niet 'tastbaar' zijn zoals bij handpeilingen. Ook de vertoning van veel ruis rond de ingemeten lijn geeft twijfels.

Voor de plaatsbepaling wordt gebruik gemaakt van DGPS, laser, piketten, touw en markeringen. Afwijkingen en nauwkeurigheden zijn niet bekend.

MEETPROTOCOLLEN

Het document 'Slibdiktemetingen Pekelderhoofddiep te Pekela' (GeoPlus B.V, juli 2003) is door Hunze en Aa's voor het project ter beschikking gesteld. Dit document bevat een meetprotocol (aspecten als afstand raaien, meetnauwkeurigheid, fouten in plaatsbepaling e.d.).

OVERIGE ASPECTEN

Bij het gebruik van een techniek moet men de nauwkeurigheid en de bijkomende kosten/investering meenemen. Een te hoge nauwkeurigheidseis kan leiden tot bovenmatige kosten bij de opdrachtgever en geeft nieuwkomers op de markt geen gelegenheid toe te treden en zich te bewijzen.

Bij het uitbesteden van meetwerk gaat men vooral uit van zekerheid van de methode en het vertrouwen dat men heeft in een meettechniek en een meetbureau. De inpeilingen moeten altijd worden geaccordeerd door de opdrachtnemer (uitvoerende aannemer).

Voor de uitkomst van dit NEN-project ziet men graag welke meetmethode te gebruiken is onder welke omstandigheden en de daarbij behorende nauwkeurigheid. Men ziet meer in een handleiding met aandachtspunten die doorlopen moeten worden tijdens het meetproces, dan in een oplegging van regels in een prtoco.

INTERVIEW 2: DOSCO

Datum: maandag 7/11/05
 Plaats: Zwaag
 Aanwezigen: Hans Tijhuis Dosco

MEETTECHNIEKEN DOSCO

Dosco is een aannemer/adviesbureau met een eigen meetdienst. De meetwerkzaamheden worden voornamelijk uitgevoerd in kleinere wateren. Daarbij wordt zowel in landelijk als in stedelijk gebied de peilstok gehanteerd. De peilstok wordt veelal gehanteerd vanuit een boot. Er wordt gewerkt met touw met maatverdeling of met een meetlint. Vanuit de kant met een hengel heeft men een bereik van 6 meter. De hengel heeft uitschuifbare stukken van een meter en wordt als niet nauwkeurig gezien vanwege de afstand. De afstand zorgt ervoor dat men een slecht gevoel krijgt voor de bodemdichtheid. De verwerking van meetgegevens wordt gedaan met het zogenaamde WDB-programma.

Voor brede wateren, havens en kanalen wordt ook echolood toegepast. Het echolood, zowel single- als multibeam, wordt gehanteerd door het varen van langs- en dwarsraaien. De meetgegevens kunnen worden omgezet naar 3D tekeningen.

BETROUWBAARHEID, NAUWKEURIGHEID EN GEOMETRISCHE SPREIDING

Dwarsprofielen worden (met peilstok of singlebeam echolood) ingevaren om de 150-200 meter voor onderhoudswerk in landelijk gebied en om de 25-50 meter voor saneringswerk in stedelijk gebied.

Voor het vaststellen van de onderkant van de sliblaag wordt bij elke raai een controleboring met een zuigerboor gedaan. In onderstaande tabel is ingegaan op de toepasbaarheid en de precisie van de toegepaste peil- en plaatsbepalingsmethoden.

peilmethode	Materiaal	Maximale precisie	Type water
Peilstok	Aluminium meterstok met voetplaat	2 tot 3 cm	Stedelijk en buitengebied
Peilstok	Zelfgemaakt met 10 cm verdeling	5 cm	Stedelijk en buitengebied
Echolood	210 (bovenkant slib) of 33 kHz (onderkant slib), RTK-GPS voor plaatsbepaling	Ca. 10 cm onafhankelijk van golflengte	Brede wateren, havens, kanalen
Plaatsbepalingsmethode			
RTK- GPS	Ontvangststation op stok (Rover) met 06-GPS	Hor: 1 cm, vert 2 cm	Stedelijk en buitengebied
RTK- GPS	Ontvangststation op stok (Rover) met basisstation	Hor: 1 cm, vert 2 cm	Stedelijk en buitengebied
Tachymeter	Tachymeter en peilstok	Hor: 1 cm, vert 2 cm	Stedelijk en buitengebied

Bij meten en plaatsbepalen in stedelijk gebied met elektrische apparatuur doen zich vaak storingen voor. Dit is het gevolg van bijvoorbeeld bomen en stalen damwanden. Meten in stedelijk gebied wordt daarnaast bemoeilijkt door oevers die niet of slecht toegankelijk zijn en grof vuil in het water of op de waterbodem.

De plaatsbepaling met RTK-GPS zonder basisstation is in werkelijkheid minder nauwkeurig dan door de leverancier wordt aangegeven. Zonder basisstation is er slechte ontvangst. RTK – GPS is een langzaam systeem dat het werk aanzienlijk vertraagt (tot 4x zo lang). In landelijk gebied is er ook regelmatig sprake van slecht bereik. De precisie van een RTK-GPS systeem is

niet noodzakelijk voor onderhoudswerk, maar RTK-GPS zou eventueel wel ingezet kunnen worden bij saneringswerk.

Het gebruik van een tachymeter is arbeidsintensief en wordt als omslachtig ervaren en daarom weinig gebruikt.

RANDVOORWAARDEN TOEPASSINGEN

De keuze van meetapparatuur hangt sterk af van de eisen van de opdrachtgever, de lokale omstandigheden en de grootte/diepte van het water. Bij strenge bestekseisen is de rol van de opzichter bepalend voor het omgaan met de eisen.

RAW stelt een (verticale) baggernauwkeurigheidseis van +/- 10 cm. Deze tolerantie is ruim voldoende om binnen te kunnen werken. Sommige opdrachtgevers stellen de eis dat het opgeleverde profiel (maakprofiel) tussen 0 en - 2 cm afwijkt van het gevraagde profiel. Volgens Dosco is een maaknauwkeurigheid van +/- 5 cm is haalbaar.

MEETPROTOCOLLEN

Dosco maakt over het algemeen gebruik van eigen meetprotocollen. In bestekken worden soms extra eisen vastgelegd, bijvoorbeeld aan de peilstokken en de wijze van inmeten.

INTERVIEW 3: HOOGHEEMRAADSCHAPPEN RIJNLAND EN DELFLAND

Datum:	donderdag 10/11/05	
Plaats:	Pijnacker	
Aanwezigen:	Rik Lam	Rijnland
	Aad Verboon	Delfland
	Jan v.d. Koeve	Delfland
	Michiel Raggars	Delfland
	Leontien van den Aker	Delfland
	Henk van Heyningen	Delfland

DELFLAND

Delfland heeft ca. 4.500 km aan waterlopen in beheer waarvan per jaar 1/8 deel gebaggerd wordt om onderhoudsredenen. Eénderde van deze totale lengte (het zgn. hoofdstramien) wordt door Delfland zelf gebaggerd en daarom vantevoren in opdracht van Delfland ingepeild. De rest (bijstramien) wordt door aangelanden gebaggerd en dus niet in opdracht van Delfland ingepeild. De meeste waterlopen in Delfland zijn “recht toe recht aan” sloten. De sloten van het hoofdstramien worden meestal eerst bemonsterd en dan ingepeild.

MEETTECHNIEKEN: BETROUWBAARHEID, NAUWKEURIGHEID EN GEOMETRISCHE SPREIDING

Over het algemeen wordt gepeild met de hengel. Georadar is een keer uitgeprobeerd.

De *hengel* heeft een bereik van 8 meter en er kan dus een watergang van 17 meter breed ingepeild worden vanaf de kant. De gebruikte hengel is een lichtgewicht (+/- 1 kg) en heeft aan de onderkant een rond plaatje met een diameter van ca. 10 cm. Alleen de bovenkant van de waterbodem (slib) wordt ingemeten. In het geval dat een bredere watergang of een oever slecht begaanbaar is, wordt met de hengel ook vanuit een boot gemeten.

Bij afvoer van slib en onregelmatige watergangen wordt bij gebruik van de hengel per 50 m een dwarsprofiel gezet. In het landelijk gebied wordt per 100 m een raai gemeten en af en toe tussen de raaien een controlemeting verricht. Het dwarsprofiel geldt voor de lengte aan watergang die een vaste breedte heeft. In geval van grillig verloop van de breedte wordt er vaker een dwarsprofiel ingemeten.

Inmeten dwarsprofielen met hengel:

- taluds worden per 0,5 m ingemeten;
- watergangen tot 3,5 m breed worden per 0,5 m ingemeten;
- watergangen > 3,5 m worden per m ingemeten.

In stedelijk gebied worden landmarkeringen (lantaarnpaal, hoeken van woningen etc.) gebruikt voor de plaatsbepaling. Om de locatie van de dwarsprofielen vast te stellen, is het systeem veld-GIS een toekomstplan. Hiermee kan men digitaal de posities van de profielen vastleggen.

Het peilen met de hengel wordt altijd gedaan met twee man. Er wordt geen meetlint gebuikt tussen de dwarsprofielen, maar er wordt “afgepast”. Ongeveer dezelfde afwijking wordt verwacht met gebruik van GPS. Door de grote regelmaat van de watergangen in het landelijk gebied verwacht Delfland nauwelijks verschil in resultaat. GPS geeft gemiddeld 2 m horizontale afwijking en geeft in het kassengebied een horizontale afwijking van 7 m.

De precisie van de dieptemeting is +/- 1 cm. De tolerantie voor meet- en maaknauwkeurigheid is 10 cm.

Georadar is een keer uitgeprobeerd in (breed) boezemwater. De mogelijkheden met georadar zijn gecontroleerd door een vergelijkende handpeiling te doen. Daarbij bleek het gebruik van georadar geen succes. De grootte van de afwijking is bij Delfland niet bekend. Bekend is wel dat de bovenkant van de sliblaag (waterbodem) moeilijk met georadar te bepalen is. Dit geldt des te sterker bij aanwezigheid van veen en planten, hetgeen in Delfland vaak het geval is. Georadar geeft veel ruis en is minder / niet geschikt voor de zachte bodems die veel voorkomen in Delfland. De handpeiling wordt betrouwbaarder geacht.

Delfland weet dat georadar ook is toegepast in de Hollandse Delta op groot water met een harde ondergrond. Dit gaf daar wel een goed resultaat.

Er zijn geen concrete cijfers bekend over de afwijkingen tussen de gemeten bagger volumes in-situ en de afgevoerde volumes naar depot.

MEETPROTOCOLLEN

Delfland gebruikt als meetprotocol de RAW handleiding/norm.

De meetgegevens worden verwerkt met de zogenaamde DWP (dwarsprofielen)-methode. DWP is gemaakt door en aangepast aan de wensen van Delfland. In het programma wordt uitgegaan van het onderhoudsprofiel dat in de legger is vastgelegd. Dit betekent dat het niet noodzakelijk is de onderkant van het slib te bepalen. Deze methode is vooral goed toepasbaar bij onderhoud. Bij sanering moet de gehele verontreinigde (slib)laag ingemeten worden, ook de delen die buiten het leggerprofiel vallen.

RIJNLAND

Rijnland heeft net fusie achter de rug. De planning is om de bagger achterstanden in 15 jaar in te lopen. Rijnland heeft een groot scala aan watergangen van kleine slootjes tot grote vaarwegen.

MEETTECHNIEKEN: BETROUWBAARHEID, NAUWKEURIGHEID EN GEOMETRISCHE SPREIDING

DATADICHTHEID

Voor de bagger volumebepalingen in grote watergangen wordt echolood gebruikt en voor de bagger volumebepalingen in kleine watergangen de peilstok.

Multibeam en singlebeam worden veel gebruikt bij Rijnland. De meetfrequentie in het stedelijk gebied is per 100 m een dwarsprofiel, in het landelijk gebied is dat per 200 m een dwarsprofiel. Bij het gebruik van multi-/singlebeam ontstaat er nogal eens discussie bij de afrekening. Bij handmatige peiling is dit niet het geval. Bij handmatige peiling is de grens concreet, terwijl bij multi-/singlebeam de grens van de bodem niet altijd duidelijk naar voren komt. Er is bij echolood sprake van ruis door "dik water" (water met een hoge concentratie zwevende deeltjes).

Bij toepassing van echolood worden de bagger volumes bepaald door het ingemeten profiel te vergelijken met de legger. Voor de verwerking van meetgegevens wordt gebruik gemaakt van DWP en van GIS 6 (een digitaal verwerkingsprogramma).

MEETPROTOCOLLEN

Rijnland heeft de volgende documenten overhandigd:

- een overzicht van de in te zetten meettechnieken en plaatsbepalingssystemen afhankelijk van het watertype (breedte \leq 10 m, waterdiepte \leq 1m) bij de uitvoering van het baggerbeleid van Rijnland (2002).
- een nadere uitwerking voor opname en levering van gegevens van dwarsprofielen, ten behoeve van baggervolumebepalingen.

ALGEMENE ASPECTEN UIT DISCUSSIE MET DELFLAND EN RIJNLAND

Aandachtspunten bij de opstelling van een handleiding / protocol zijn:

- in- en uitpeiling moet op dezelfde positie plaatsvinden en door dezelfde persoon plaatsvinden
- grootte/gewicht voet
- meetmethode niet vastleggen aan traject
- nauwkeurigheidseis moet redelijk zijn
- kosten van de meting zijn een belangrijk punt en moeten in verhouding staan tot de uitvoeringskosten van het gehele navolgende proces inclusief het baggerwerk.
- geen regels vastleggen, maar een open handleiding/richtlijn
- vastleggen wat te doen bij onregelmatigheden in de waterloop (versmallingen, bochten, dammen, etc.)

INTERVIEW 4: WATERSCHAP RIJN EN IJSSEL

Datum:	woensdag 16/11/05	
Plaats:	Doetinchem	
Aanwezigen:	Joost van der Plicht	Waterschap Rijn en IJssel
	Martin Laarakker	Waterschap Rijn en IJssel

BEHEERSGEBIED WATERSCHAP RIJN EN IJSSEL

Een afstromend gebied van 400.000 ha komt samen in het beheersgebied van Waterschap Rijn en IJssel. Onder de waterlopen binnen het gebied is 2.000 km van de in totaal 3.000 km aan waterlopen smaller dan 7 meter. De grootste waterloop door het gebied is de Oude IJssel, daarnaast omvat het gebied vele beken. Op de grens van Nederland en Duitsland bevindt zich van oorsprong een moerassengebied, als gevolg van een 'knik' in de verhanglijnen van de beken. Door deze plotselinge overgang van steiler naar vlakker gebied vindt hier veel sedimentatie plaats. Aanwas wordt in het gebied veel ondervangen met zandvangen.

MEETTECHNIEKEN: BETROUWBAARHEID, NAUWKEURIGHEID EN GEOMETRISCHE SPREIDING

De peilstok wordt in het gebied het meeste toegepast (kleinere wateren, stedelijk gebied) voor nauwkeurige metingen. Voor een indicatie van de diepte wordt een baak zonder voet gebruikt. Voor grotere wateren wordt ook wel gebruikt gemaakt van echolood.

Voor nauwkeurige metingen met de *peilstok* wordt gebruik gemaakt van een peilstok met een voet van 10 x 10 cm. Hiermee wordt de bovenkant van de waterbodem ingemeten. Een gesloten buis wordt gebruikt om de onderkant van de sliblaag te bepalen. Met een zuigerboor of steekhevel (een zuigerboor die half open is) wordt de sliblaagdikte gecontroleerd. De Beekersampler is te arbeidsintensief en wordt niet gebruikt.

In dwarsprofielen met een breedte van meer dan 3 meter wordt op elke meter gepeild. In kleinere watergangen worden extra metingen gedaan. De frequentie van metingen binnen een dwarsprofiel is niet afhankelijk van de vraag of sprake is van onderhouds- of saneringswerk. Daar waar stroming optreedt worden stalen kabels gespannen, waar men met een boot van ca. 2 m x 2 m langs vaart.

Echolood is een relatief duur systeem, maar er kunnen grote oppervlakken relatief snel gebiedsdekkend mee worden ingemeten. De meetnauwkeurigheid voor bagger volumes is voor zand 2 tot 3% en voor slib 5 tot 10% gebleken. Met multibeam vaart men lengteprofielen om een gebiedsdekkende dieptekaart te verkrijgen. Met singlebeam worden dwarsprofielen gevaren. Bij aanwezigheid van een 'zwevende sliblaag' vormt dit een complicatie voor toepassing van echolood.

Zowel bij gebruik van peilstok als bij gebruik van singlebeam is een dwarsprofiel per 100 m in de lengterichting in het beheersgebied van Rijn en IJssel vaak een te ruime maat, omdat zich tussen twee dwarsprofielen dan vaak 'diepe' putten, meanders of diepe kruisingen (tussen kanaal en meanderende rivier) bevinden. Bij rechte stukken plaatst men wel op elke 100 m een dwarsprofiel. Bij bochten en 'kommen' wordt per 25 - 50 m een dwarsprofiel ingemeten. Tussen de dwarsprofielen wordt een controlemeting uitgevoerd.

Het tijdstip van meten ten opzichte van de uitvoering van het baggerwerk is een belangrijk punt. Als tussen de besteksmeting en de uitvoering veel tijd zit, is er kans op verplaatsing (erosie, gevolgd door sedimentatie elders) van sediment. Met name extreme regenval kan extra erosie veroorzaken, waardoor een verandering van het profiel optreedt.

Bij Rijn en IJssel wordt de dikte van de te verwijderen sliblaag bepaald teneinde het te verwijderen baggervolume te berekenen. Voor de berekening wordt dus niet uitgegaan van de hoogteligging ten opzichte van het theoretische onderhoudsprofiel. Na de baggerwerkzaamheden wordt niet uitgepeild maar worden alleen controlemetingen met een zuigerboor uitgevoerd op de aanwezigheid van slib.

MEETPROTOCOLLEN

De RAW geeft een goede indicatie voor een protocol. Waterschap Rijn en IJssel heeft als voorbeeld het volgende document overhandigd:

GBW 03.2001 RAW 1072: Project onderhoudsbaggerspecie Groenlo. Opdracht van gemeente Groenlo. Bestek WRIJ 2005-042.

De bestekshoeveelheden mogen bij een controle van de aannemer maximaal 10% afwijken (RAW), dan heeft de aannemer een acceptatieplicht.

ASPECTEN STANDAARDISERING:

Belangrijke aspecten bij standaardisering zijn:

- de wijze van meten (meetprotocol) is afhankelijk van de functie van het meetwerk (wel/geen besteksmeting, sanering, onderhoud), de samenstelling van de (onderliggende) bodem en de dynamiek van de watergang.
- de periode van meten is belangrijk. Als er meer blad in de watergangen ligt wordt er meer 'slib' gemeten.
- dezelfde personen / dezelfde meetploeg dienen (dient) het in- en uitpeilen uit te voeren.
- raaien moeten voor het in- en uitpeilen op dezelfde plek worden ingemeten. Dit betekent dat de posities goed vastgelegd moeten worden, bijvoorbeeld door middel van landmarkeringen of piketten of door gebruik van vaste punten.
- maximaal 5 tot 10 dagen tussen uitvoering en uitpeiling.
- men pleit voor een keurmerk voor aannemers en surveyers (een erkende meter / bevoegd gezag).

Waterschap Rijn en IJssel wijst erop dat er verschillen kunnen bestaan tussen het vaarwegprofiel (verantwoordelijkheid van provincie) en het keurprofiel (verantwoordelijkheid van het waterschap). Bij saneringen kan verontreinigd sediment verwijderd worden die onder het vaarweg- of keurprofiel voorkomt.

De ervaring van Waterschap Rijn en IJssel is dat bestaande kaarten van dwarsprofielen niet altijd overeen komen met de werkelijkheid.

INTERVIEW 5: PROVINCIE ZUID-HOLLAND

Datum:	woensdag 23/11/05	
Plaats:	Bunnik	
Aanwezigen:	Martijn van Randwijk	Provincie Zuid-Holland
	John van Wensveen	Provincie Zuid-Holland
	Jeroen Rijnbeek	CSO adviesbureau
	Hein Seegers	CSO adviesbureau
	Joubert Ockeloen	CSO adviesbureau
	Pauline Kruiver	CSO adviesbureau

PROVINCIE ZUID-HOLLAND

De Provincie Zuid Holland heeft een aantal grote waterlopen (vaarwegen) in onderhoud. De kleinste waterlopen hebben een breedte van ca. 20 m, de grotere vaarwegen zijn tussen de 40 en 50 meter breed. Dit laatste betreft met name oude rivieren die gekanaliseerd zijn, waaronder de Oude Rijn.

MEETTECHNIEKEN

De provincie heeft zelf de beschikking over *singlebeam*, maar gebruikt deze alleen voor controlemetingen. De provinciale wateren worden meestal door een extern bureau ingemeten met *multibeam*. Multibeam wordt als een beproefde techniek ervaren, is geschikt voor grote waterlopen en levert een gebiedsdekkend beeld. Multibeam is te gebruiken vanaf een diepte van ca. 1,5 meter en is pas interessant bij grotere dieptes. Bij ondieptes voegt multibeam niets toe ten opzichte van *singlebeam*.

BETROUWBAARHEID, NAUWKEURIGHEID EN GEOMETRISCHE SPREIDING

Multi-/singlebeam wordt gebruikt voor het bepalen van besteksvolumes middels in- en uitpeiling. Het is niet mogelijk om met behulp van single-/multibeam de overgang van slib naar vaste bodem vast te stellen. Beide technieken hebben geen penetrerend vermogen en reflecteren alleen op de water-naar-bodem overgang. Voor het vaststellen van de overgang slib-naar-vast worden daarom geofysische of handmatige metingen gedaan. Geofysische metingen vereisen steekproefsgewijze controle met de prikstok.

Met multi-/singlebeam in combinatie met RTK is in de praktijk een verticale nauwkeurigheid (precisie+betrouwbaarheid) van 5 cm het hoogst haalbare. Een hogere nauwkeurigheid is haalbaar, maar dat vereist nauwkeurige ijking van de meet- en plaatsbepalingsapparatuur. Een hogere nauwkeurigheid leidt daarom tot aanzienlijk hogere kosten.

Het RTK positionering systeem heeft een precisie van 2 tot soms meer dan 5 cm. De onnauwkeurigheid van het echolood en de eventuele bewegings- en gyrosensoren komen daar nog bovenop. Belangrijk bij het aspect 'meetnauwkeurigheid' is dat de nauwkeurigheid betrekking heeft op een meetpunt. In de praktijk wordt op één locatie op vele meetpunten gemeten. De toevallige fout in één enkele meting werkt maar beperkt door in het resultaat. Singlebeam is per meetpunt nauwkeuriger dan multibeam. Door het grotere aantal metingen per oppervlakte-eenheid (singlebeam bijvoorbeeld 4 per m², multibeam 50 per m²) kan de algehele meetnauwkeurigheid bij multibeam toch gunstiger uitpakken. Uiteindelijk gaat het om de nauwkeurigheid van het baggervolume. Bij de nauwkeurigheid in de berekening daarvan speelt ook de interpolatie (bijv. in een GIS, bij maken van een DTM) een rol.

MEETPROTOCOLLEN

De provincie is actief bezig protocollen op te stellen. CSO hanteert per meettechniek eigen meetprotocollen. CSO merkt op dat de opdrachtgever de in te zetten meettechniek meestal zelf bepaalt en daarbij vertrouwt op de deskundigheid van het meetbureau.

AANDACHTSPUNTEN STANDAARDISERING

Men acht het handig als een standaardprotocol beschikbaar is voor de baggervolumebepalingen. Voor bijvoorbeeld de peilstok wordt het wenselijk geacht dat gewicht, grootte plaat, gebruik, etc. worden vastgelegd. De verwachting is overigens wel dat er ook met een protocol of richtlijn nog discussie zal blijven bestaan over baggervolumes. Daarnaast is men bang dat een te strak protocol de ontwikkeling van nieuwe technieken tegenwerkt en dat men altijd blijft terugvallen op de al beproefde methodes. Een protocol mag in ieder geval niet kostenverhogend werken. Het doel en de inspanning moeten in verhouding blijven.

Aandachtspunten voor standaardisatie van echolood-technieken zijn:

- de calibratie zou goed beschreven moeten worden. Vastgelegd zou moeten worden wat gecalibreerd moet worden en op welke manier (gebruik van bekende inmeet drempel, boot, gyros, offset, etc). Dit is al over het algemeen bij survey bedrijven redelijk gestandaardiseerd en ook uniform tussen de bedrijven en instellingen
- rekening houden met taluds/hellingen, grof vuil en puin, bestortingen en waterig slib. Ook de hellingshoek (bij multibeam) en de celgroottes zijn van belang. Daarnaast moet rekening gehouden worden met verstoringen/objecten in het theoretisch profiel.

Om te bepalen welke techniek geschikt is voor welk soort watergang en onder welke omstandigheden, zou er onderzoek gedaan moeten worden naar de eigenschappen van verschillende meettechnieken en door verschillende uitvoerenden. Bij de nauwkeurigheidseisen moet men vaststellen welke nauwkeurigheid haalbaar is, in relatie tot het doel waarvoor gebaggerd wordt (onderhouds-/saneringswerk) en de orde grootte van het werk.

INTERVIEW 6: HOOGHEEMRAADSCHAP HOLLANDS NOORDERKWARTIER

Datum: woensdag 9/11/05
 Plaats: Amsterdam
 Aanwezigen: Karsten Hopman Hoogheemraadschap Hollands
 Noorderkwartier, district Zuid-Oost

HOOGHEEMRAADSCHAP HOLLANDS NOORDERKWARTIER

Het hoogheemraadschap voert een jaarlijkse meetcampagne uit. Hiervoor wordt het beheersgebied opgedeeld in blokken. Grote waterlopen worden ingemeten volgens de INTWIS-methode, hetgeen inhoudt dat op een dwarsprofiel zowel waterbodems als oevers (tot 5 m uit de waterlijn) worden ingemeten. In het district Zuid-Oost worden veel veenbodems aangetroffen.

BETROUWBAARHEID, NAUWKEURIGHEID EN GEOMETRISCHE SPREIDING

De waterlopen worden ingemeten met een *peilstok* met een brede voet van 10 cm x 10 cm. Deze 'v.d. Pol' baak is beschreven in de RAW. Bij onderhoudswerk in landelijk gebied worden dwarsprofielen op elke ca. 200 meter ingemeten. In verband met extra stortkosten bij saneringswerk, worden de dwarsprofielen bij saneringswerk dichter bij elkaar geplaatst. Voor saneringswerk in landelijk gebied hanteert men dwarsprofielen op elke 25-50 meter. In stedelijk gebied worden bij onderhoudswerk dwarsprofielen op elke 50 meter ingemeten en bij saneringswerk op elke 25 meter.

Extra peilingen worden gezet bij veranderingen in de watergang (inhammen, bochten). Ter plaatse wordt de opbouw van de waterbodems geverifieerd. Of extra peilingen nodig zijn wordt beoordeeld door de veldwerker.

Binnen de dwarsprofielen wordt op taluds en in smalle sloten (breedte < 5 m) elke 50 cm gepeild. In watergangen met een breedte van 5 tot 25 m wordt op elke meter gepeild. In watergangen breder dan 25 meter wordt op elke 2 meter gepeild.

In vier plassen, allen dieper dan 1 meter, is ingemeten met *echolood*, waarbij voor de plaatsbepaling DGPS wordt gebruikt. Er wordt met de multibeamtechniek gewerkt, hetgeen een gebiedsdekkend beeld oplevert. Veen en opwoeling veroorzaken storingen in de meting. De taluds, waar veel slib kan liggen, kunnen vanwege de ondiepte (< 1 m) niet met multibeam worden ingemeten. De resultaten van de metingen met echolood zijn middels boringen en handpeilingen gecontroleerd en geeft dmv interpolatie een volledig beeld van de waterbodems. De meetresultaten van beide methodes komen goed overeen.

RANDVOORWAARDEN TOEPASSINGEN

Bij het inmeten van de hoogteligging van de sliblaag moet men bedacht zijn op het doorsteken in het 'slappe' slib. Als men met de zuigerboor de bovenkant van de sliblaag wil bepalen komt men al op een fout van 20 – 30 cm, doordat de zuigerboor te zwaar is.

Bij gebruik van een slibbaak met voet verkleint men de kans op doorsteken. De zuigerboor is wel te gebruiken voor controlemetingen van de dikte van de sliblaag. Al kunnen meetafwijkingen optreden door de compactie die optreedt bij het uitdrukken van het materiaal en door de verschillende manieren waarmee de boor wordt gehanteerd. De multisampler geeft voor controlemetingen een beter beeld, omdat deze doorzichtig is. De diktes kunnen met de multisampler eerst opgemeten worden voordat het materiaal uit de sampler wordt gedrukt.

Hollands Noorderkwartier wordt de peilhengel gebruikt voor het inmeten van de bovenkant van de sliblaag in kleine sloten. Hierbij dient men wel op de hoogte te zijn van de beperkingen van een peilhengel. Bij gebruik van de hengel moet een maximum aan de breedte van de watergang worden gesteld. De uitvoerder moet, om bij het peilen goed te voelen of er weerstand optreedt, goed boven de meting staan. Als met een hengel op grotere afstand wordt gemeten, vermindert de weerstand en daarmee de nauwkeurigheid van de meting. De peilhengel is niet geschikt voor het meten van de slibdikte.

ASPECTEN STANDAARDISERING

Een eventueel protocol bestaat idealiter uit een simpele norm die eenduidig is per gebied. Het kan een goed middel zijn om de surveyor bewust te maken van de mogelijke fouten. Dit geldt zowel voor onervaren als voor ervaren meters (routinegevaar).

Verandering van gebied is bij het meten ook een aandachtspunt. Als men ervaring heeft met het meten van kleibodems, weet men nog niet welke weerstanden te verwachten zijn bij veenbodems. Gebiedskennis is dus noodzakelijk voor een surveyor. Het kost tijd om voldoende ervaring te krijgen voor het inmeten van een waterbodem.

De ervaringen van Hollands Noorderkwartier wijzen uit dat een opdrachtgever niet altijd kan blindgaan op een bekend surveybedrijf waar het al ervaring mee heeft. Ook bij erkende surveybedrijven gaan onervaren mensen aan het werk.

De eisen aan de nauwkeurigheid moeten in verhouding staan tot de kosten van het type baggerwerk. Ook moet het doel van de meting meegenomen worden (globale peiling t.b.v. baggerplan, bestek in-/uitpeiling, sanering of onderhoud).

Grof vuil, puin en stortsteen kunnen consequenties hebben voor de verwerking en het storten van de baggerspecie. Dit pleit ervoor om in de standaard op te nemen dat de surveyploeg een beschrijving dient te maken van het verloop van de meting en van wat er lokaal wordt aangetroffen.

Bij het toepassen van de meetstrategie volgens INTWIS moet men volgens Hopman duidelijk onderscheid maken tussen personen die gespecialiseerd zijn in landmeten en personen die gespecialiseerd zijn in het inmeten van de waterbodem. Dit zijn twee aparte vakgebieden.

Door Hopman zijn de volgende documenten ter beschikking gesteld:

- Toelichting voor het maken van dwarsprofielen. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, contactpersoon: Nico Roskam.
- Handleiding peilen waterbodems. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.
- Eisen voor inmeten van profielen voor INTWIS. Auteur: C. Stavast. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Registratienummer 05.27421. Concept, 3 november 2005.

BIJLAGE 2:

BEGRIPPENLIJST

BRONNEN

- Uniform begrippenkader voor het hydrografische werkproces, Werkgroep Hydrografie, RWS-AGI, versie 9, 2001
- Verklaren van verschillen in baggervolumes, verbeteringen voor nauwkeurigheids- en toetsingseisen bij baggerbestekken en gerelateerde documenten, RWS-AGI-rapport nr. 2005 – GPMP-016, 29 juni 2005.

BETROUWBAARHEID

Controleerbaarheid van metingen (of gegevens in een dataset) en de gevoeligheid van het eindproduct voor onontdekte fouten. Er wordt onderscheid gemaakt tussen:

- interne betrouwbaarheid: mate waarin fouten (in waarnemingen en model) kunnen worden gedetecteerd;
- externe betrouwbaarheid: de gevoeligheid van het eindproduct voor onontdekte fouten.

dGPS-NAVIGATIE (DIFFERENTIAL GLOBAL POSITIONING SYSTEM).

Positiesysteem gebruik makend van satellieten en een speciaal opgesteld referentiestation voor XY bepaling.

dGP-RTK NAVIGATIE

Positiesysteem gebruik makend van satellieten en een speciaal opgesteld referentiestation voor zeer preciese X,Y en Z bepaling.

ERRORBUDGET

De resulterende fout als gevolg van het totaal aan foutenbronnen.

Bodemgebied dat door één bundel is aangestraald.

FOUT

Het verschil tussen een benaderde/gemeten waarde en de echte waarde.

GEOMETRISCHE SPREIDING METINGEN

Verdeling van de metingen over het oppervlak.

GYRO

Een instrument dat de hoek aangeeft van de langs-as van het vaartuig ten opzichte van het astronomische noorden (noordelijk deel van de as waar onze aarde om draait).

HEAVE

Verticale afwijkingen, veroorzaakt door golven en deining, van de akoestische transducer ten opzichte van de waterspiegel in rust.

LEGGERPROFIEL

Onderhoudsprofiel zoals vastgelegd in de legger van het waterschap.

MULTIBEAM

Een echolood dat meet met behulp van series benedenwaarts gerichte akoestische bundels in de breedte richting van het vaartuig.

NAUWKEURIGHEID

Dit is een overkoepelend begrip voor het totaal van precisie en betrouwbaarheid.

PITCH + ROLL

De scheefstand van een vaartuig ten opzichte van het waterpasvlak in dwarsrichting (roll) en in de langsrichting (pitch).

PRECISIE

Spreading van een stochastische grootte ten opzichte van het te verwachten gemiddelde. Precisie wordt beschreven door een covariantiematrix. Een maat voor de precisie van een enkele grootte is de standaardafwijking (1σ).

SINGLEBEAM

Een echolood dat meet doormiddel van één enkelvoudige benedenwaarts gerichte akoestische bundel.

STANDAARDAFWIJKING (= STANDAARDDEVIATIE)

Spreadingsmaat $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$. σ is de spreading ten opzichte van het gemiddelde \bar{x} .

Variantie is σ^2 .

SQUAT

De vaartuiginzinking ten opzichte van de waterspiegel veroorzaakt door vaart door het water.

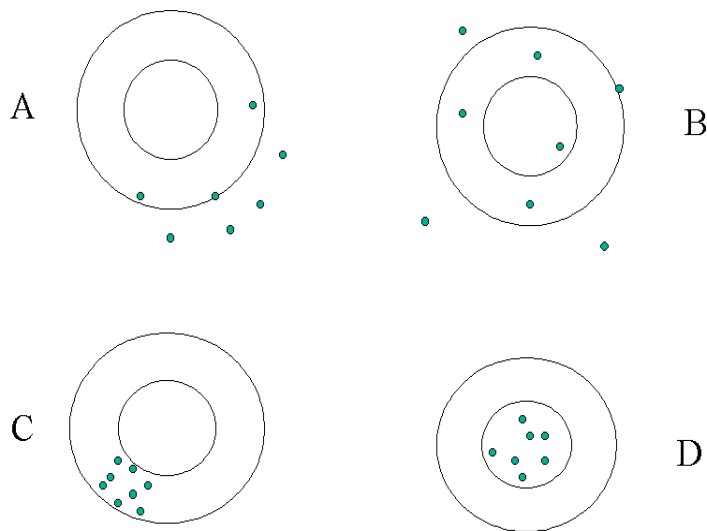
SYSTEMATISCHE FOUT

Systematische fouten zijn fouten die door een nader te bepalen functie kunnen worden beschreven.

TOEVALLIGE FOUT

Een fout waarvan de waarde statistisch onafhankelijk is van voorgaande of latere waarden.

Onderstaande figuur geeft een toelichting op de begrippen precisie, afwijking en nauwkeurigheid. Een lage precisie betekent een grote toevallige fout, een lage nauwkeurigheid betekent een grote systematische fout.



A: Lage precisie, kleine afwijking

Lage nauwkeurigheid

B: Lage precisie, grote afwijking

Lage nauwkeurigheid

C: Hoge precisie, grote afwijking

Lage nauwkeurigheid

D: Hoge precisie, kleine afwijking

Hoge nauwkeurigheid

TRANSDUCER

De sensor, die de akoestische bundel(s) het water in stuurt en ontvangt.

WATERSTAND

De stand in verticale zin van de waterspiegel ten opzichte van een referentievlak zoals NAP.

YAW

De hoek tussen de voorwaartse as van een multibeamstelsel en de langsas van het vaartuig.

BIJLAGE 3

GEOSTATISTISCHE AFLEIDING

AFWIJKINGEN IN BAGGERVOLUMES

INLEIDING

De inventarisatie van meettechnieken heeft gegevens opgeleverd van toevallige meetfouten in de meet- en plaatsbepalingsapparatuur zoals opgegeven door de leverancier. Het betreft dan toevallige fouten onder ideale omstandigheden. Bekend is dat de meetafwijkingen in de praktijk groter zijn, door variaties in de bodemsamenstelling en andere lokale omstandigheden en door weersomstandigheden. Gezien deze oorzaken van de meetafwijkingen verschilt de afwijking qua grootte van locatie tot locatie.

De meetafwijkingen werken door in het berekende baggervolume. Naast de meting (in een dwarsprofiel) zorgt de toegepaste interpolatie tussen meetpunten (dwarsprofielen) voor extra onnauwkeurigheid in het berekende baggervolume.

Om beter inzicht te krijgen in de doorwerking van toevallige meetfouten in het baggervolume zoals dat in de praktijk wordt berekend, zijn voor drie verschillende watergangen berekeningen van de afwijking in het baggervolume uitgevoerd:

- een stadgracht in Groningen;
- een gracht in de gemeente Edam-Volendam;
- een sloot in landelijk gebied in de gemeente Houten.

De systematische fouten bij het bepalen van de baggervolumes in deze watergangen zijn in de analyse niet meegenomen. De resultaten zijn vergeleken met de resultaten van berekeningen voor boezemwateren die eerder door Rijnland zijn uitgevoerd (Hoogheemraadschap van Rijnland, 2001).

METHODE

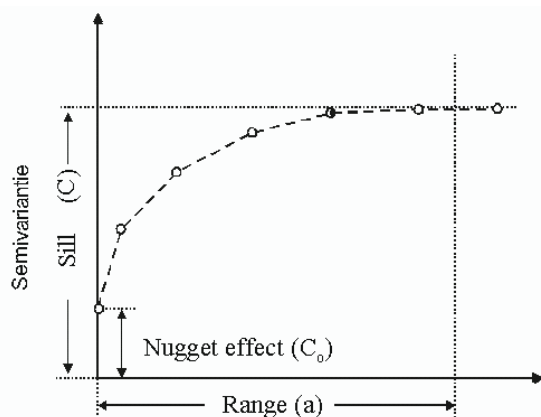
Voor het berekenen van de toevallige fout in het baggervolume is een methode toegepast op basis van geostatistiek. Het betreft dezelfde methode als eerder toegepast op boezemwateren in Rijnland. De betreffende methode verdisconteert zowel de afwijking die ontstaat ten gevolge van het meten in een dwarsraai, als de afwijking die het gevolg is van de interpolatie tussen dwarsraaien.

De toepassing van geostatistiek houdt in dat een *semivariogram* (vaak korter aangeduid met variogram) wordt opgesteld. In een semivariogram wordt de ruimtelijke afhankelijkheid tussen punten op verschillende afstanden van elkaar gekwantificeerd door de zogenaamde 'semivariantie' op de Y-as uit te zetten tegen de afstand tussen (meet)punten of bijvoorbeeld de afstand tussen afzonderlijke dwarsprofielen op de X-as. Bij het berekenen van de semivariantie worden telkens twee meetpunten (puntenpaar), die op een bepaalde afstand van elkaar liggen, met elkaar vergeleken. De semivariantie is het gekwadrateerde verschil tussen de meetwaarden op beide punten. Vervolgens wordt de wiskundige functie afgeleid die zo goed mogelijk langs de punten loopt.

Bij een sterke ruimtelijke afhankelijkheid tussen de meetpunten is de semivariantie laag, bij een geringe ruimtelijke afhankelijkheid is de semivariantie hoger. Een karakteristiek patroon wordt verkregen als punten tot op een bepaalde afstand (bijv. 300 m) nog ruimtelijke afhankelijkheid vertonen en daarboven niet meer. In de grafiek waarin de semivariantie is uitgezet tegen de afstand neemt de semivariantie dan tot een afstand van 300 m geleidelijk toe, om vervolgens af te vlakken (zie figuur A). Het punt waar de grafiek begint af te vlakken wordt de 'range' genoemd. Overigens zal ook bij een afstand tussen meetpunten van 0 m de semivariantie niet gelijk zijn aan nul. Dit is het gevolg van meetfouten en de variatie op zeer korte afstanden: 2x meten op dezelfde plek levert niet 2x hetzelfde meetresultaat op. Het betreffende punt op de Y-as in het semivariogram wordt de 'nugget' genoemd.

FIGUUR A

VOORBEELD VAN EEN SEMIVARIOGRAM. OP DE X-AS IS DE AFSTAND TUSSEN DE PUNTENPA-REN UITGEZET
DE SEMIVARIANTIE IS AANGEGEVEN OP DE Y-AS



Een semivariogram wordt normaliter gebruikt om, indien meetwaarden op bepaalde punten bekend zijn, tussen deze punten te interpoleren tot een gebiedsdekkend beeld. Dit wordt 'kriging' genoemd. Van elke door interpolatie geschatte waarde kan tevens de toevallige fout worden afgeleid. Bij kriging wordt de voorspelde waarde beïnvloed door de bekende meetwaarden voorzover deze qua afstand binnen de 'range' liggen (zie figuur A). De statistisch te verwachten toevallige afwijking van de voorspelling ten opzichte van de werkelijke waarde neemt af naarmate de afstand tussen het betreffende punt en het punt met bekende meetwaarde kleiner is.

Bij de toepassing van geostatistiek op de metingen in dwarsprofielen is het semivariogram niet gebruikt om tussen de meetwaarden tussen de dwarsprofielen te interpoleren. Dit zou niet in overeenstemming zijn met de wijze waarop meetgegevens van dwarsraaien in de praktijk worden verwerkt. In de praktijk wordt gemeten in dwarsraaien en wordt de oppervlakte van de (te verwijderen) slibdikte (in m²) in een dwarsraai bepaald. Er wordt vanuit gegaan dat deze oppervlakte over een bepaald lengtetraject (afstand tussen dwarsprofielen) constant is, zodat het volume berekend kan worden door vermenigvuldigen van de oppervlakte met de lengte van het traject.

In de praktijksituatie met metingen in dwarsprofielen kan de 'nugget' van het semivariogram worden gebruikt om de meetfout bij meting van oppervlakte van een dwarsprofiel in te schatten. De totale toevallige fout in het berekende baggervolume hangt behalve van de meetfout ook af van de fout als gevolg van de interpolatie. De semivariantie in het sliboppervlak zal meestal toenemen met toenemende afstand tussen meetpunten (zie figuur A), omdat zich variaties in het profiel (breedte, slibdikte) voordoen. Voor de praktijksituatie, overeenkomstig

de werkwijze in de studie van Rijnland, de (semi)variantie als gevolg van meting en interpolatie ingeschat uit het semivariogram. De semivariantie is ingeschat uitgaande van de afstand tussen twee dwarsprofielen die in de praktijk is gehanteerd.

VERZAMELDE GEGEVENS

Om de toevallige fout ten gevolge van meting en interpolatie bij het berekenen van bagger volumes te bepalen, zijn praktijkgegevens verzameld van drie – als representatief te beschouwen – watergangen: een stadsgracht in Groningen (Diepenring), een gracht in de bebouwde kom van Edam/Volendam en een sloot in landelijk gebied in de gemeente Houten. De praktijkgegevens van de stadsgracht in Groningen zijn afkomstig van Waterschap Hunze en Aa's, de overige gegevens zijn beschikbaar gesteld door Dosco. In alle gevallen betreft het gegevens van handmatige metingen in dwarsraaien.

In alle drie gevallen is min of meer van een standaard meetstrategie gebruik gemaakt. In dwarsraaien op onderlinge afstanden van 50 tot 100 m is met een peilstok op elke 0,5 m (taluds, smalle watergangen) tot 1 m met een peilstok de boven- en onderzijde van de sliblaag ingemeten. In de sloot en de gracht te Edam-Volendam is tevens de breedte van de watergang ter plaatse van de dwarsraai, met een meetlint, opgemeten. Bij de stadsgracht in Groningen is de breedte (evenals de lengte) afgelezen van een topografische kaart.

Om de bagger volumes te berekenen is allereerst per meetpunt het verschil tussen boven- en onderzijde van de sliblaag berekend. Vervolgens is de sliblaagdikte over het dwarsprofiel berekend (in m^2). De resultaten van de metingen zijn hierbij representatief gesteld voor breedtetrajecten ter grootte van de afstand tussen de individuele meetpunten (0,5 m of 1,0 m). Om het bagger volume te berekenen zijn baggervakken gedefinieerd, die in de lengterichting op de halve afstand tussen twee dwarsraaien zijn begrensd.

Voordat de geostatistische analyse is uitgevoerd zijn de gegevens allereerst gecontroleerd op uitbijters. Hiervoor is gebruik gemaakt van histogram en boxplots. De controle op uitbijters is noodzakelijk om te verifiëren of er aan de stationariteitsaannname wordt voldaan. Deze aannahme houdt in dat geen sprake mag zijn van een discontinuïteit, bijvoorbeeld een plotselinge overgang naar een bredere watergang. In dat geval moet het gebied in deelgebieden worden gesplitst. Gedeelten van meettrajecten waarin dwarsprofielen voorkwamen waarvoor niet aan de voorwaarde van stationariteit werd voldaan, zijn niet gebruikt voor het opstellen van het semivariogram.

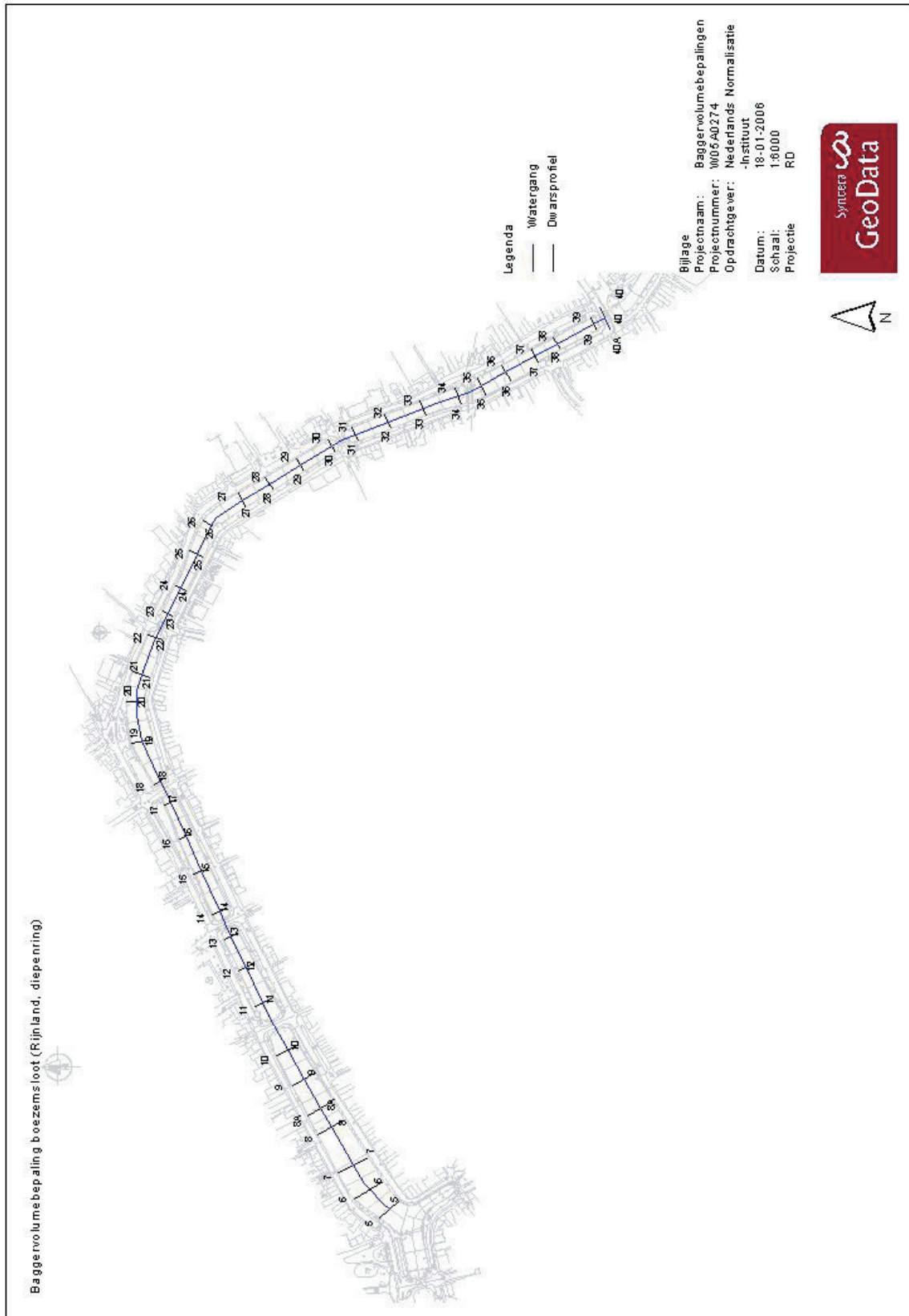
De kenmerken van de onderzochte watergangen zijn vermeld in tabel A. De ligging van de onderzochte trajecten is op kaart weergegeven in figuur B t/m D.

TABEL A KENMERKEN VAN DE (DELEN VAN) WATERGANGEN DIE GEBRUIKT ZIJN OM DE AFWIJKINGEN IN BAGGERVOLUMES TE BEREKENEN

Type watergang	Locatie	Baggervak / profiel	Lengte (m)	traject Gemiddelde breedte (m)	Aantal dwarsprofielen
Diepenring	Groningen	Profiel 10 t/m 39	1273	20,35	30
Gracht	Edam/Volendam	Vak 3 (profiel 1-13 en 18-22), Vak 28 (profiel 1-18)	1965	8,36	36
Sloot	Houten	Vak 29 (profiel 3 en 11-20)	997	2,69	11

In de tabellen B t/m D zijn per profiel de afstand tot het (gekozen) nulpunt en de oppervlakte van het slib (in m^2) vermeld.

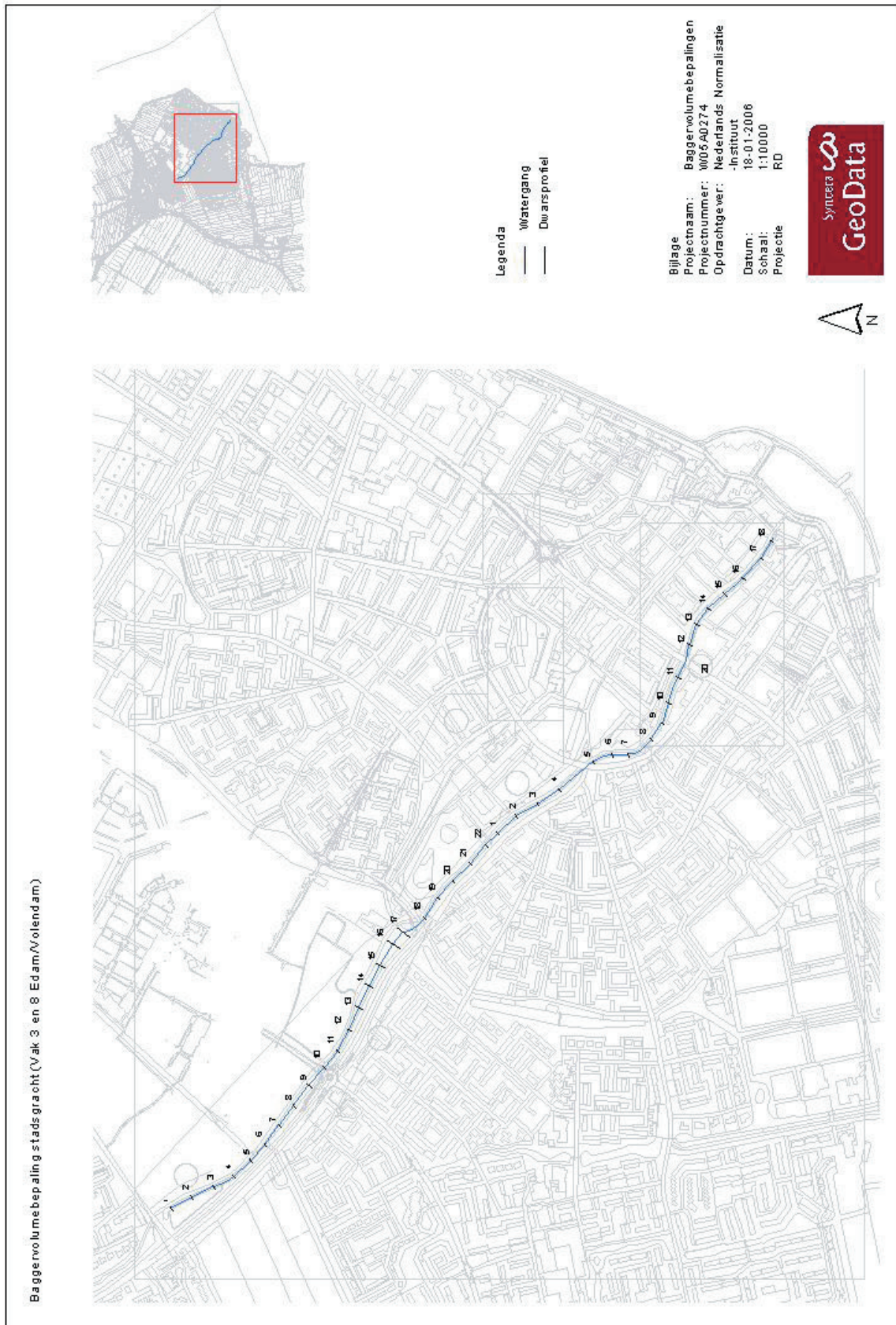
FIGUUR B LOCATIE VAN DE ONDERZOCHE STEADSGRACHT IN GRONINGEN



FIGUUR C: LOCATIE VAN ONDERZOCHE SLOOT (HOUTEN)



FIGUUR D LOCATIE VAN ONDERZOCHE GRACHT IN EDAM/VOLEMDAM



TABEL B STADSGRACHT IN GRONINGEN, GEMETEN BAGGERHOEVEELHEDEN PER DWARSPROFIEL

Vak	Profiel	X	Y	Bagger (m ²)
4	10	0	240.59	26.158
5	11	0	308.21	25.542
5	12	0	357.51	21.344
5	13	0	400.17	13.26
6	14	0	435.65	15.732
6	15	0	491.08	16.59
6	16	0	539.69	15.006
6	17	0	586.66	9.454
7	18	0	616.81	10.99
7	19	0	670.95	26.319
7	20	0	721.77	21.146
7	21	0	756.63	18.088
7	22	0	806.9	21.8
8	23	0	840.68	12.324
8	24	0	876.59	10.281
8	25	0	923.97	18.711
9	26	0	964.53	14.508
9	27	0	1015.74	19.928
9	28	0	1055.79	16.878
9	29	0	1101.32	14.508
9	30	0	1147.52	16.02
10	31	0	1180.68	10.36
10	32	0	1224.93	12.596
10	33	0	1272.35	15.471
10	34	0	1319.61	16.863
11	35	0	1351.44	22.072
11	36	0	1386.59	21.894
11	37	0	1428.98	10.26
11	38	0	1460.9	6.498
11	39	0	1513.34	13.148

TABEL C

GRACHT IN EDAM/VOLENDAM, VAK 3 (PROFIEL 1 T/M 13 & 18 T/M 22), VAK 28 (PROFIEL 1 T/M 18)

Vak	Profiel	X	Y	Bagger (m ²)
3	1	0	0	5.31
3	2	0	49.72	2.43
3	3	0	100.13	1.216
3	4	0	149.14	3.541667
3	5	0	199	1.736429
3	6	0	242.94	3.1789
3	7	0	294.02	2.7224
3	8	0	344.65	2.872727
3	9	0	398.65	5.188077
3	10	0	448.61	2.8466
3	11	0	494.64	1.990625
3	12	0	544.62	2.717455
3	13	0	594.79	4.41
3	18	0	836.28	0.918
3	19	0	886.39	2.166667
3	20	0	935.84	1.87
3	21	0	986	2.072
3	22	0	1037.16	2.985889
28	1	0	1072.54	2.061
28	2	0	1127.33	1.82
28	3	0	1178.01	1.9488
28	4	0	1233.87	1.795556
28	5	0	1326.81	0.9625
28	6	0	1370.32	1.718444
28	7	0	1404.88	2.272
28	8	0	1465.61	4.502692
28	9	0	1506.24	1.785
28	10	0	1551.81	3.267333
28	11	0	1606.68	4.05125
28	12	0	1681.13	2.845714
28	13	0	1726.302	3.209091
28	14	0	1768.502	2.739286
28	15	0	1814.192	2.3275
28	16	0	1865.852	2.42125
28	17	0	1922.802	0.308571
28	18	0	1964.922	0.449167

TABEL D

SLOOT IN HOUTEN, VAK 29 (PROFIEL 3, 11 T/M 20)

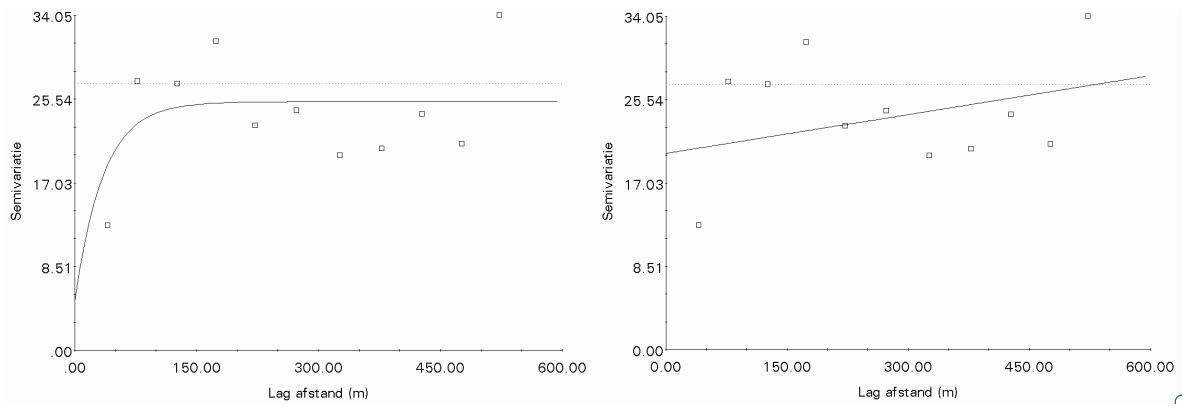
Vak	Profiel	Y	X	Bagger (m ²)
29	3	0	0	0.163333
29	11	0	101.82	0.2975
29	12	0	192.75	0.370286
29	13	0	292.57	0.339714
29	14	0	393.64	0.55275
29	15	0	491.2	0.8265
29	16	0	591.8	0.514643
29	17	0	691.4	0.476667
29	18	0	791.99	0.513
29	19	0	894.67	0.605083
29	20	0	997.55	0.248

Voor het opstellen en interpreteren van semivariogrammen geldt als vuistregel dat 30 à 50 meetpunten benodigd zijn. Voor de watergangen (vooral de sloot) is dit aantal – binnen de voorwaarde van stationariteit - niet gehaald. Bij de geostatistische interpretatie van de gegevens is hiermee rekening gehouden.

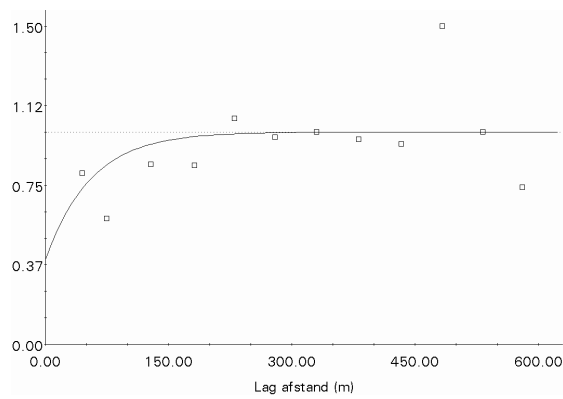
RESULTATEN

In figuur E, F en G zijn de semivariogrammen van elk van de watergangen opgenomen. Hiervoor zijn de baggerhoeveelheden (in m²) uit tabel B t/m D gebruikt. Als vuistregel geldt dat het semivariogram vooral bruikbaar is voor afstanden (lag) tussen dwarsprofielen tot 1/5 van de lengte van het totale onderzochte traject. Daarom is alleen dat deel van het variogram in de figuur weergegeven. Bij grotere afstanden tussen dwarsprofielen is het aantal paren waarmee de semivariantie berekend wordt te gering om een betrouwbaar beeld van de semivariantie te geven.

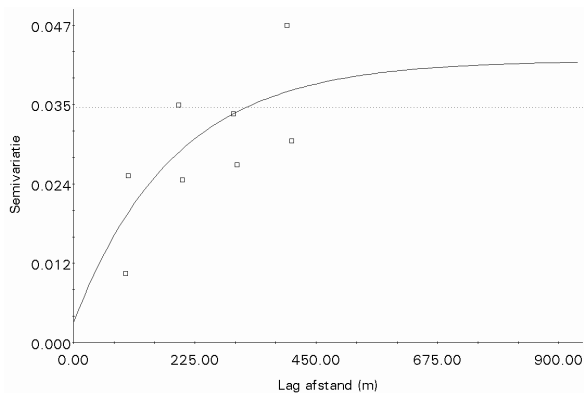
FIGUUR E EXPONENTIEEL EN LINEAIR SEMIVARIOGRAM STADSGRACHT (GRONINGEN)



FIGUUR F EXPONENTIEEL SEMIVARIOGRAM GRACHT IN EDAM/VOLENDAM



FIGUUR G EXPONENTIEEL SEMIVARIOGRAM SLOOT IN HOUTEN



De semivariogrammen van de gracht in Edam/Volendam en de sloot in Houten voldoen min of meer aan het ideaalbeeld uit figuur A. Ondanks het gebrek aan gegevens voor de sloot komt uit het semivariogram een duidelijk beeld naar voren van de semivariantie in relatie tot de afstand. Dit betekent dat uit het semivariogram een schatting van de toevallige fout in het berekende baggervolume kan worden gemaakt.

Het semivariogram voor de stadsgracht voldoet minder goed aan het ideaalbeeld uit figuur A. Naast een exponentieel verband kan voor deze stadsgracht ook worden aangenomen dat sprake is van een lineair verband. Een verklaring voor dit bijzondere gedrag is niet gevonden.

Voor het vervolg is voor alle drie watergangen een exponentieel semivariogram afgeleid. Voor de stadsgracht in Groningen is daarnaast een lineair semivariogram berekend.

In tabel E zijn de resulterende variogramparameters vermeld. De proportion is een waarde die aangeeft hoeveel procent van de (ruimtelijke) variatie door het model verklaard wordt. De maximale waarde hiervoor is 1. De proportion is bij het exponentiële variogram voor alle watergangen hoog te noemen (0,7-0,9).

TABEL E OVERZICHT VARIOGRAM PARAMETERS

Type watergang	Model	Nugget (Co)	Sill (Co + C)	Range	Proportion
Stadsgracht Groningen	LIN	20.04	32.90	973	0.391
Stadsgracht Groningen	EXP	5.00	25.270	105	0.802
Gracht Edam/Volendam	EXP	0.40	1.389	165	0.712
Sloot Houten	EXP	0.003	0.042	525	0.929

LIN = lineair EXP= exponentieel

De wortel uit de semivariantie – bij de geteerde afstanden tussen dwarsprofielen – geeft een indicatie van de toevallige fout (in m²) als gevolg van meting en interpolatie.

Bij het berekenen van de baggervolume uit de dwarsprofielen wordt aangenomen dat de oppervlakte van de dwarsdoorsnede voor het gehele baggervak geldt dat begrensd wordt op de halve afstand tussen twee dwarsraaien. Aangenomen is daarom dat de toevallige fout in de dwarsdoorsnede van de bagger (in m²) gelijk is aan de toevallige fout in het berekende volume (in m³). De toevallige fout in een dwarsdoorsnede kan worden ingeschat uit de 'nugget' (afstand tussen dwarsprofielen = 0) van de semivariogrammen. Overigens geeft de toevallige fout in de voorbeelden slechts een indicatie. Voor een betrouwbare waarde van de 'nugget' moeten raaien op kortere afstanden of meerdere malen dezelfde raai worden gemeten.

In tabel F zijn de resultaten van de berekeningen van de toevallige fout (op basis van de nugget) in het berekende volume weergegeven.

TABEL F KENMERKEN WATERGANGEN EN RESULTATEN VAN BEREKENINGEN TOEVALLIGE FOUT IN BEREKENING BAGGERVOLUME OP BASIS VAN OPPERVLAKTES VAN DWARSDOORSNEDES

Type watergang	Model	Lengte (m)	Gem. breedte (m)	Gem. afstand tussen raaien (m)	Gem. bagger- oppervlak per raai (m ²)*	Semi- variantie o.b.v. nugget (m ⁴)	Standaard- afwijking o.b.v. nugget (m ²)	Toevallige meetfout o.b.v. nugget (%)
Stadsgracht (Groningen)	LIN	1273	20,35	43,5	16,45	20,04	4,48	27
Stadsgracht (Groningen)	EXP	1273	20,35	43,5	16,45	5,00	2,24	14
Gracht (Edam/Volendam)	EXP	1965	8,36	50,4	2,51	0,4	0,63	25
Sloot (Houten)	EXP	997	2,69	100,2	0,44	0,003	0,05	12

Op basis van de nugget bedraagt de toevallige meetfout in een raai (zie tabel F):

- voor de stadsgracht in Groningen circa 14% bij het exponentiële model en circa 27% bij het lineaire model;
- voor de gracht in Edam/Volendam circa 25%;
- voor de sloot in Houten circa 12%.

Uit de semivariogrammen blijkt dat de toevallige fout bij grotere afstanden dan de nugget (afstand =0) nog aanzienlijk toeneemt. In de praktijk wordt het baggervolume berekend uit dwarsraaien op onderlinge afstanden van 50 tot 100 m. Daarbij wordt aangenomen dat een raai representatief is voor het volledige traject. Dit leidt tot een extra toevallige fout in het berekende baggervolume.

In de studie van het Hoogheemraadschap van Rijnland is op basis van de nugget een toevallige fout bij metingen in boezemwateren berekend van circa 14%. In de studie is geconstateerd dat de toevallige fout in het baggervolume aanzienlijk kan worden verkleind door bij elke raai een correctie op de breedte van de watergang uit te voeren. Omdat bij Rijnland de breedtes niet in het veld gemeten zijn, hebben zij deze correctie uitgevoerd op basis van de breedte van het leggerprofiel. Voor de gecorrigeerde waarden (in meters in plaats van m²) hebben zij nieuwe semivariogrammen afgeleid. Voor de stadsgracht en de sloot zijn de baggervolumes (en afwijkingen daarin) gebaseerd op meetgegevens van de breedte, zodat een 'breedtecorrectie' niet dezelfde uitwerking zal hebben als bij het boezemwater.