

Eindrapport

Behorende bij het project:

Validatie Richtlijn baggervolumebepalingen

Projectnummer : Y14035
Kenmerk SIKB : PRJ 213



Opdrachtgever

Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging
Bodembeheer
Postbus 420
2800 AK GOUDA

Datum	Blz.	Versie	Status	Auteurs		Vrijgave	
Mei 2015	46	3	Definitief	Drs. G.P. Ruiter		Ir. J.M.H. Tjhuis	
				Ir. H. Hussem			
The kiwa logo consists of the word 'kiwa' in a bold, lowercase sans-serif font. Below it, the word 'Gecertificeerd' is written in a smaller font. To the right of 'Gecertificeerd' is a circular logo with 'ISO 9001' and 'Kwaliteit' written inside. Below the kiwa logo is the text 'KWALITEITSMANAGEMENT' in a small font. The logo for Hussem Consultancy features the company name 'Hussem Consultancy' in a bold, italicized red font. Below it, the words 'Hydrografie Consultancy Geodesie' are written in a smaller, blue sans-serif font. The logo for Tijhuis Ingenieurs is a stylized graphic of three curved lines in blue and green, meeting at a central point. Below the graphic, the text 'TIJHUIS INGENIEURS' is written in a blue sans-serif font.				Projectnummer		Archiefcode	
				Y14035		Y14035rp.definitief.0101	
				Tijhuis Ingenieurs BV Softwareweg 4A, 3821 BP Amersfoort Email: info@tijhuisingenieurs.nl			

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Samenvatting onderzoeksplan	2
2.1	Meetlocaties	2
2.2	Meettechnieken en meetploegen	2
2.3	Meetstrategie	3
3	Bevindingen veldwerk	6
3.1	Planning meetdagen	6
3.2	Bevindingen handmatige technieken	6
3.3	Bevindingen elektronische technieken	9
3.4	Bevindingen sonarbootjes	9
4	Analyse meetgegevens	11
4.1	Methode van analyse	11
4.2	Waterstanden en profielbreedten	13
4.3	Analyse meetgegevens per techniek	15
4.3.1	Techniek A: standaard peilstok	16
4.3.2	Techniek B: peilstok met GPS	18
4.3.3	Techniek C: zuigerboor	20
4.3.4	Techniek D: multibeam	20
4.3.5	Techniek E: grondradar	22
4.3.6	Techniek F: sonarbootjes	23
4.4	Vergelijking meettechnieken	26
4.4.1	Standaard peilstok en peilstok met GPS-bol	26
4.4.2	Peilstok met GPS t.o.v. waterlijn en coördinaten	27
4.4.3	Standaard peilstok en zuigerboor	28
4.4.4	Standaard peilstok en multibeam	29
4.4.5	Standaard peilstok en grondradar	29
4.4.6	Standaard peilstok en sonarbootjes	29
5	Hoeveelheden baggerspecie	31
5.1	Rekenmethoden	31
5.2	Baggervolume standaard peilstok	33
5.3	Baggervolume zuigerboor	35
5.4	Invloed reduceren aantal meetpunten per profiel	35
5.5	Invloed reduceren aantal profielen op locatie	36
5.6	Hoeveelheid slib elektronische metingen	39
5.7	Vergelijking hoeveelheden vlakdekkende metingen en profielen	40
5.8	Invloed bepaling ligging oever op hoeveelheid slib	41
6	Conclusies	43
7	Aanbevelingen	46

Bijlagen

- Bijlage 1 Profielbreedten
- Bijlage 2 Analyse metingen sliblaag, standaard peilstok
- Bijlage 3 Analyse dikte sliblaag, standaard peilstok
- Bijlage 4 Analyse metingen sliblaag, GPS t.o.v. waterlijn
- Bijlage 5 Analyse metingen bovenkant sliblaag, GPS t.o.v. xyz-coördinaten
- Bijlage 6 Vergelijking ligging onderkant sliblaag, standaard peilstok en zuigerboor
- Bijlage 7 Vergelijking ligging bovenkant sliblaag locatie 4, standaard peilstok met multibeam, grondradar en sonarbootjes
- Bijlage 8 Vergelijking ligging bovenkant sliblaag locatie 1, 2 en 3, standaard peilstok met sonarbootjes
- Bijlage 9 Hoeveelheden per bedrijf

Tekeningen

- Y14035-VW-0102 Overzicht Kleilocatie te Amstelveen
- Y14035-VW-0201 Overzicht Zandlocatie te Vreeland
- Y14035-VW-0301A Overzicht A Veenlocatie te Lekkerkerk
- Y14035-VW-0301B Overzicht B Veenlocatie te Lekkerkerk
- Y14035-VW-0401 Overzicht Leidsevaart te Noordwijk
- Y14035-RPR-0101 Representatief profiel per locatie
- Y14035-ZBPR-01 Zuigerboor profielen per locatie

1 Inleiding

Om te komen tot een goede en gedragen baggervolumebepaling is in 2012 door SIKB de Richtlijn baggervolumebepalingen op basis van handmatige metingen (hierna te noemen 'richtlijn') opgesteld. Het doel van deze richtlijn is de mate van overeenstemming over baggervolumebepalingen te vergroten. De afgelopen jaren zijn ervaringen opgedaan met de richtlijn. Om de richtlijn verder te verbeteren is een validatie-onderzoek uitgevoerd.

Voor de validatie van de richtlijn zijn twee sporen gevolgd:

- Spoor 1: de evaluatie van de huidige richtlijn,
- Spoor 2: het onderzoeken van meetmethoden.

Evaluatie huidige richtlijn

Voor de evaluatie van de huidige richtlijn zijn ervaringen met het gebruik van de richtlijn verzameld op basis van de bijeenkomsten van het SIKB en de binnengekomen reacties. De resultaten van de evaluatie zijn beschreven in een tussenrapportage¹. Deze resultaten worden meegenomen bij de actualisatie van de richtlijn. Mede op basis van het uitgevoerde onderzoek naar de meetmethoden² kunnen opmerkingen op de huidige richtlijn worden getoetst.

Onderzoeken van meetmethoden

Voor het onderzoeken van meetmethoden zijn de volgende fasen doorlopen:

1. Inventariseren, beoordelen en selecteren van meettechnieken, meetlocaties en rekenmethodieken,
2. Opstellen meetplan,
3. Uitvoeren metingen en analyseren meetresultaten.

De resultaten van de inventarisatie, beoordeling en selectie van meetmethoden (fase 1) zijn beschreven in de bovengenoemde tussenrapportage en besproken met de begeleidingscommissie. Op basis van dit overleg zijn in het meetplan³ de definitieve meetlocaties en -technieken geselecteerd. In het meetplan is tevens de werkwijze per techniek beschreven. Het meetplan is wederom besproken met de begeleidingscommissie, waarna de definitieve meetlocaties en -technieken zijn gekozen.

In het voorliggende rapport zijn de voorbereidingen van het veldwerk, de uitgevoerde metingen en de analyse van de meetgegevens beschreven. Hierbij zijn de volgende onderdelen uitgewerkt:

- ▶ Samenvatting onderzoeksplan,
- ▶ Bevindingen veldwerk,
- ▶ Verwerken en analyseren meetgegevens,
- ▶ Conclusies en aanbevelingen.

¹ Tussenrapportage Validatie Richtlijn baggervolumebepalingen, Y14035.tussenrapportage.0101, Tjhuis Ingenieurs BV, augustus 2014

² Meetmethode is gedefinieerd als: meetapparatuur, de wijze waarop die apparatuur wordt toegepast, de meetinspanning, de wijze van interpolatie (tussen meetpunten) en volumeberekening

³ Meetplan Validatie Richtlijn Baggervolumebepalingen, Y14035.meetplan.0102, Tjhuis ingenieurs BV, september 2014

2 Samenvatting onderzoeksanpak

In het meetplan is ingegaan op de onderzoeksanpak; de meetlocaties, de meettechnieken en de onderzoeksinspanning. De onderzoeksanpak is in het voorliggende hoofdstuk samengevat.

2.1 Meetlocaties

In de tussenrapportage¹ en het meetplan³ is de selectie van de meetlocaties nader onderbouwd. Samengevat is voor de selectie rekening gehouden met het volgende:

- ▶ Representatief voor waterschapswateren
Metingen met handmatige technieken worden met name verricht in regionale wateren. Voor de validatie zijn dan ook locaties geselecteerd die hiervoor representatief zijn, waarbij verschillende typen ondergrond (klei, zand, veen) aanwezig zijn.
- ▶ Referentielocatie met elektronische (multibeam en grondradar) meettechnieken
Om een vergelijking met vlakdekkende metingen te kunnen krijgen is tevens een locatie geselecteerd, die ook geschikt is voor elektronische technieken.
- ▶ Optimale meetomstandigheden
Het onderzoek richt zich op de nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid van handmatige meettechnieken. De invloed van overige factoren (bijvoorbeeld onregelmatige oeverlijn, aanwezigheid kunstwerken of waterplanten, slechte ontvangst GPS) is geminimaliseerd.

De vier geselecteerde meetlocaties zijn opgenomen in tabel 2.1. De locaties zijn over een afstand tussen de 225 en 250 meter ingemeten.

Tabel 2.1: Overzicht meetlocaties

Locatie		Samenstelling vaste bodem	Lengte (m)	Breedte (m)	Waterdiepte (m)	Dikte sliblaag (m)
Nr.	Adres					
1	Nesserlaan 8, Amstelveen	Klei	250	6 - 7	0,5 - 0,8	0,6 - 0,8
2	Kleizuwe 1, Vreeland	Zand/klei	225	3 - 5	0,3 - 0,5	0,15 - 0,25
3	Wetering Oost/Hoekseweg, Lekkerkerk	Veen	250	7 - 12	0,5 - 0,8	0,6 - 1,2
4	Leidsevaart 224, Noordwijk	Zand	250	20 - 21	1,3 - 2,3	0,5 - 1,1

Bij tabel 2.1 worden de volgende opmerkingen geplaatst:

- ▶ Locatie 1 wijkt af van de in het meetplan geselecteerde meetlocatie. De oorspronkelijk geselecteerde locatie was recent gebaggerd,
- ▶ Locatie 3 is opgesplitst in twee deeltrajecten. Vanwege de aanwezigheid van waterplanten (lilies) was het niet mogelijk om een ongestoord aaneengesloten traject samen te stellen.

2.2 Meettechnieken en meetploegen

Voor de validatie zijn in dit onderzoek de op dit moment meest gangbare technieken voor het inmeten van regionale wateren geselecteerd. Het onderzoek spitst zich toe op het gebruik van een reguliere peilstok (zonder en met RTK-GPS) en de zuigerboor (ter verificatie van de gemeten laagovergangen). Vanwege het opkomend gebruik zijn de locaties tevens ingemeten met op afstand bestuurbare peilbootjes uitgerust met singlebeam echolood. Deze worden in dit rapport ook wel aangeduid als sonarbootjes.

Om de gegevens van de handmatige technieken en de sonarbootjes goed te kunnen analyseren zijn op één locatie tevens vlakdekkende meettechnieken (multibeam en grondradar) ingezet. Hiermee ontstaat inzicht van de invloed van de lokale verschillen in de ligging van de waterbodem op de metingen en de volumebepaling. De gebruikte elektronische meettechnieken zijn goed doorontwikkelde technieken, waardoor metingen goed reproduceerbaar zijn.

In tabel 2.2 zijn de gebruikte technieken opgenomen. Hierbij zijn tevens de organisaties aangegeven, die de metingen hebben uitgevoerd. Per organisatie is een meetploeg geleverd. De ingezette meetploegen hebben in het algemeen ruime ervaring met het inmeten van waterbodems.

Tabel 2.2: Overzicht meettechnieken

Meettechniek		Organisaties
Code	Techniek	
A	Peilstok	- Certicon - Aquon/Waterschap Hollandse Delta
B	Peilstok met RTK-GPS	- RPS
C	Zuigerboor	- Waterschap Rivierenland - Ecoreest
D	Multibeam	- Deep BV - Deltamarking - Pro Linq
E	Grondradar	- AT-KB - Deep BV - Deltamarking
F	Sonarbootjes	- Intergeo - Meanders - Empec Survey

Bij tabel 2.2 worden de volgende opmerkingen geplaatst:

- ▶ De peilstok met RTK-GPS (techniek B) is gebruikt voor het meten van de ligging van de boven- en onderkant van de sliblaag in x-, y-, z-coördinaten. Daarnaast is deze peilstok tevens als normale peilstok gebruikt om daarmee de invloed van het gewicht van de GPS-bol te bepalen t.o.v. de reguliere peilstok (techniek A),
- ▶ Met de zuigerboor is per locatie een profiel gemeten om hiermee een uitspraak te kunnen doen over de nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid van de verificatieboringen. Daarnaast zijn bij het gebruik van de peilstok verificatieboringen verricht met een multisampler; één meetploeg heeft hiervoor ook de zuigerboor gebruikt,
- ▶ De multibeam is ingezet om een vlakdekkend beeld te krijgen van de ligging van de bovenkant van de sliblaag. Twee bedrijven hebben een bundelvormend multibeam-systeem gebruikt, één bedrijf heeft gebruik gemaakt van een interferometrisch echolood,
- ▶ De grondradar is ingezet voor het verkrijgen van metingen, waarbij de laagovergang wordt gemeten, onafhankelijk en niet door een persoon geïnterpreteerd. Indien dwarsprofielen worden gemeten is de datadichtheid in de profielen groter dan bij handmatige metingen. Er worden extra langs en langslijnen gevaren. Tevens heeft één bedrijf de onderkant sliblaag ingemeten met laagfrequent echolood. Uit de metingen met het laagfrequent echolood zijn geen bruikbare gegevens gekomen. Voor het verwerken van de grondradar metingen en de laagfrequent echolood metingen zijn verificatieboringen noodzakelijk,
- ▶ Eén meetbedrijf van de sonarbootjes heeft uiteindelijk geen metingen aangeleverd.

In het vervolg van dit rapport worden de namen van de deelnemende organisaties niet meer specifiek genoemd.

2.3 Meetstrategie

In het meetplan³ is per techniek de meetstrategie beschreven. Deze strategie is doorgeproken met vertegenwoordigers van de verschillende deelnemende organisaties en uitgewerkt in meetinstructies. De instructies zijn met de meetploegen doorgenomen. In deze paragraaf is de strategie per techniek(groep) samengevat.

Handmatige technieken

Met de handmatige technieken is de waterbodem met dwarsprofielen ingemeten. In tabel 2.3 zijn per locatie en techniek het aantal profielen en de afstand tussen de meetpunten in een profiel weergegeven.

Tabel 2.3 Overzicht onderzoeksinspanning handmatige technieken

Locatie	Aantal profielen per meettechniek			Afstand tussen meetpunten in profiel (m)
	Techniek A (peilstok)	Techniek B (peilstok + GPS)	Techniek C (zuigerboor)	
1	10	10	1	0,5
2	10	10	1	0,5
3	10	10	1	0,5
4	5	5	1	0,5-1

Bij tabel 2.3 worden de volgende opmerkingen geplaatst:

- ▶ Met techniek B is de ligging van de waterbodem ingemeten met RTK-GPS, maar ook ten opzichte van de waterspiegel,
- ▶ Op locatie 4 is vanwege de breedte van de watergang de afstand tussen de meetpunten groter: op het talud om de 0,5 meter, in het middendeel van de watergang om de 1,0 meter.
- ▶ Op alle locaties is de puntdichtheid groter dan is voorgeschreven in de huidige richtlijn.

Op de tekeningen Y14035-VW-0102, -0201, -0301A, -0301B en -0401 is de situatie met de ligging van de dwarsprofielen per locatie opgenomen.

Het nulpunt van de profielen is in het veld aangegeven met piketpaaltjes op de oever (zie onderstaande foto). Om de meetgegevens van de verschillende meetploegen goed te kunnen vergelijken en te voorkomen dat de metingen elkaar verstoren zijn per profiel 10 piketpaaltjes uitgezet met een onderlinge afstand van 0,5 meter (bij locatie 4 1,0 meter). Per profiel is hierbij de volgende meetvolgorde aangehouden:

- ▶ Meetploeg 1 meet bij piketpaaltje 1 (techniek A) en 2 (techniek B),
- ▶ Meetploeg 2 meet bij piketpaaltje 3 (techniek A) en 4 (techniek B),
- ▶ Et cetera.

Foto 3.1: De uitgezette piketpaaltjes



Op hoofdlijnen zijn door de meetploegen de volgende metingen verricht:

- ▶ Hoogte van vast punt met RTK-GPS,
- ▶ Waterstand t.o.v. het vaste punt en met RTK-GPS,
- ▶ Breedte van de watergang per profiel door het inmeten van het begin- en eindpunt (overgang land-water) met RTK-GPS en het meten met een meetlint,
- ▶ Ligging boven- en onderkant sliblaag per meetpunt,
- ▶ Verificatie ligging boven- en onderkant sliblaag met multisampler of zuigerboor.

Multibeam en grondradar

Voorafgaand aan de uitvoering van de handmatige metingen zijn de metingen met multibeam (bovenkant slib) en grondradar (boven- en onderkant slib/slibdikte) uitgevoerd. De metingen met multibeam en grondradar zijn uitsluitend uitgevoerd op locatie 4 (Noordwijk).

De metingen met de multibeam zijn vlakdekkend uitgevoerd met een frequentie van circa 250 kHz. Eén bedrijf heeft ook metingen uitgevoerd met 200, 300 en 400 kHz.

Oorspronkelijk was het uitgangspunt, dat metingen met de grondradar zouden worden uitgevoerd volgens de dwarsraaien. Door de grootte van het vaartuig heeft één bedrijf alleen langsprofielen ingemeten. De metingen met grondradar zijn uitgevoerd met een frequentie van circa 450 MHz.

Voor de interpretatie van de gegevens van de grondradar zijn aan de bedrijven verificatieboringen aangeleverd. De vlakdekkende metingen zijn uitgevoerd kort voordat de handmatige metingen zijn uitgevoerd.

Sonarbootjes

De metingen met de sonarbootjes zijn uitgevoerd voordat de handmatige metingen zijn verricht. Met de sonarbootjes is de ligging van de bovenkant van de sliblaag ingemeten, waarbij de volgende metingen zijn verricht:

- ▶ Per locatie 10 dwarsprofielen. De positie van de profielen komt overeen met de handmatige metingen. Op locatie 4 zijn 11 profielen gemeten (met de hand zijn hier 5 profielen gemeten),
- ▶ Lengteprofielen,
- ▶ Zigzag-gewijs gevaren metingen.

De instellingen van de apparatuur zijn overgelaten aan de meetbedrijven. Hierbij worden de volgende opmerkingen geplaatst:

- ▶ De waterbodem is door beide bedrijven ingemeten met een frequentie van circa 200 kHz,
- ▶ Het oorspronkelijke uitgangspunt was om de metingen te positioneren met een RTK-GPS-systeem. Eén bedrijf heeft echter niet de beschikking over dit systeem en heeft voor de plaatsbepaling gebruik gemaakt van een DGPS systeem (horizontale nauwkeurigheid orde grootte enkele meters). De diepte is vastgelegd t.o.v. de waterlijn. Het andere bedrijf heeft voor de plaatsbepaling wel een RTK-systeem gebruikt.

3 Bevindingen veldwerk

De bevindingen van het veldwerk zijn vastgelegd in dagrapporten, op foto en op film. In dit hoofdstuk is een samenvatting van de bevindingen opgenomen.

3.1 Planning meetdagen

De metingen zijn eind oktober en begin november 2014 uitgevoerd. In tabel 3.1 zijn de meetdata per locatie en techniek aangegeven.

Tabel 3.1: Overzicht meetdagen

Datum	Locatie 1	Locatie 2	Locatie 3	Locatie 4
22 oktober 2014	Sonarbootjes	Sonarbootjes		Multibeam, Grondradar
23 oktober 2014			Sonarbootjes	Sonarbootjes, Multibeam, Grondradar
28 oktober 2014	Handmatig			
29 oktober 2014		Handmatig		
4 november 2014			Handmatig	
5 november 2014				Handmatig

3.2 Bevindingen handmatige technieken

Algemeen

Bij de opzet van de meetstrategie en -instructie is steeds het uitgangspunt geweest de invloed van (externe) omstandigheden op de metingen zoveel mogelijk uit te sluiten, zodat de nauwkeurigheid en de reproduceerbaarheid met name afhankelijk is van de werkwijze van een meetploeg. Tijdens de meetdagen is gebleken, dat door meetploegen in de dagelijkse praktijk andere (maar vergelijkbare) werkwijzen worden toegepast. Voor de onderhavige validatie zijn de werkwijzen zoveel mogelijk gestandaardiseerd.

In het onderstaande zijn de bevindingen tijdens het veldwerk van de handmatige meet- en boortechnieken vastgelegd. Hierbij zijn met name de afwijkingen opgesomd.

Gewicht en afmetingen

In tabel 3.2 zijn de gewichten van de gebruikte meetapparatuur opgenomen; in tabel 3.3 de afmetingen van het gebruikte voetplaatje per locatie en waterbodemaag.

Tabel 3.2: Overzicht gewichten meetapparatuur

Meetploeg	Gewicht gebruikte apparatuur (gram)		
	GPS-antenne	Rooster + 1 meterdeel peilstok	Meterdeel peilstok
1	450	690	690
2	500	680	480
3	1.400	918	477
4	909	660	561
5	800	860	610

Bij tabel 3.2 worden de volgende opmerkingen geplaatst:

- ▶ Door de meetploegen 3 en 5 is een zogenaamde doordrukstok ingezet. Hierbij is aan de peilstok voor het meten van de bovenkant van de sliblaag een losse vierkante voetplaat, of een voetplaat met rollagers, gemonteerd. Deze 'losse' voetplaat blijft bovenop het slib liggen. De peilstok zonder (of met een kleinere) voetplaat wordt doorgedrukt door de sliblaag tot de vast bodem,
- ▶ De lichtere GPS-antennes (meetploeg 1 en 2) hebben geen batterijen in de antenne, maar zijn verbonden met een kabel naar de handcomputer. De zwaardere antennes,

met geïntegreerde RTK-GPS hardware, hebben een draadloze verbinding met de handcomputer, waardoor batterijen nodig zijn in de antenne.

Tabel 3.3: Overzicht afmetingen (cm) gebruikte voetplaatje per locatie en meetploeg

Meetploeg	Locatie 1 (klei)		Locatie 2 (zand/klei)		Locatie 3 (veen)		Locatie 4 (zand)	
	Bovenkant	Onderkant	Bovenkant	Onderkant	Bovenkant	Onderkant	Bovenkant	Onderkant
1	Rooster 15x15	Dopje	Rooster 15x15	Dopje	Rooster 15x15	Rooster 15x15	Rooster 15x15	Dopje
2	Rooster 15x15	Dopje	Rooster 15x15	Dopje	Rooster 15x15	Dopje	Rooster 15x15	Dopje
3	Dichte plaat 15x15	Rooster 4x4	Dichte plaat 15x15	Rooster 4x4	Dichte plaat 15x15	Rooster 4x4	Dichte plaat 15x15	Rooster 4x4
4	Rooster 15x15; GPS 17x17	Rooster 7x7; GPS voetplaatje Ø2	Rooster 15x15; GPS 17x17	Rooster 7x7; GPS voetplaatje Ø2	Rooster 15x15; GPS 17x17	Rooster 7x7; GPS voetplaatje Ø2	Rooster 15x15; GPS 17x17	Rooster 7x7; GPS voetplaatje Ø2
5	Rooster 15x15; GPS 17x17	Voetplaatje Ø2	Rooster 15x15; GPS 17x17	Voetplaatje Ø2	Rooster 15x15; GPS 17x17	Voetplaatje Ø2	Rooster 15x15; GPS 17x17	Voetplaatje Ø2

Bij tabel 3.3 worden de volgende opmerkingen geplaatst:

- ▶ De bovenkant van de sliblaag is bij het gebruik van de peilstok zonder GPS ingemeten met een geperforeerde voetplaat van 15x15 cm; 1 meetploeg heeft een dichte voetplaat gebruikt. Bij het meten met GPS hebben 2 bedrijven een geperforeerde voetplaat van 17x17 cm gebruikt.
- ▶ Voor het meten van de ligging van de onderkant van de sliblaag heeft elke meetploeg naar eigen inzicht de afmetingen van het voetplaatje gekozen. Hieruit blijkt, dat de afmetingen per meetploeg over het algemeen verschillen en dat een meetploeg voor de verschillende ondergronden in het algemeen hetzelfde voetplaatje gebruiken. Alleen meetploeg 1 heeft bij de veenondergrond een grotere voetplaat gebruikt.

Metingen ligging sliblaag

In het algemeen is bij het inmeten van de ligging van de sliblaag opgevallen, dat de bovenkant van de sliblaag door de verschillende meetploegen op dezelfde wijze wordt ingemeten. Voor het inmeten van de onderkant van de sliblaag gebruiken een paar ploegen duidelijk de resultaten van de verificatieboringen (zie ook volgende tekststuk) voor het 'ijken' van de metingen met de peilstok. Andere meetploegen drukken de peilstok met (veel) kracht door tot de vaste bodem, zonder een duidelijke relatie met de boringen te leggen.

Daarnaast zijn tijdens het veldwerk de volgende zaken op gevallen:

- ▶ Het haaks plaatsen van het dwarsprofiel over de watergang wordt verschillend uitgevoerd. Eén meetploeg maakte gebruik van een hoekspiegel (dubbele pentagon prisma). Hiermee kan een profiel loodrecht op de oever worden uitgezet. De overige meetploegen zetten het profiel 'op het oog' uit,
- ▶ Bij locatie 1 te Lekkerkerk was de ligging van de onderkant van de sliblaag onduidelijk. Op een harde kleilaag bevond zich een moeilijk van slib te onderscheiden slappe kleilaag,
- ▶ Niet alle bureaus hadden een waterpas/belletje op de peilstok, zodat het niet mogelijk was om de peilstok precies verticaal te houden. Indien wel een belletje op de peilstok gemonteerd zat, was deze niet altijd af te lezen. Vooral niet bij het meten in de ondiepe oeverdelen bij diepere watergangen (grote stoklengtes),
- ▶ Bij de smallere watergangen werd door de bedrijven een meetlint gebruikt voor het vaststellen van de breedte van de watergang, soms in combinatie met een touw. Bij de bredere watergang (locatie 4) is ook soms een touw gebruikt met een markering op elke 0,5 meter. Eén bedrijf gebruikte een pootlijn (metalen draad met een markering met rode balletjes) met een lier om de lijn op spanning te trekken,
- ▶ Een aantal bedrijven zorgt er voor dat de nullijn van het meetlint op het nulpunt van het profiel ligt; andere bedrijven zetten het meetlint uit en trekken de aflezing op het nulpunt van de metingen af,

- ▶ Tijdens het veldwerk valt op dat een aantal keren 'meterfouten' worden gemaakt zowel bij het aflezen van de peilstokken als bij het invoeren van stokhoogtes in het GPS-systeem,
- ▶ De bovenkant van de sliblaag is door alle meetploegen ingemeten met RTK-GPS. De onderkant is slechts door 2 ploegen met GPS ingemeten (doordrukstok).

Verificatieboringen

Bij het verrichten van handmatige profielen worden conform de huidige richtlijn verificatieboringen gebruikt voor het 'ijken' van de metingen met de peilstok. In het algemeen kan worden aangegeven, dat het gebruik van een verificatie boring bij het peilen sterk verschilt tussen de bedrijven. Twee meetploegen gebruikten de boringen serieus voor de vergelijking met de meting van de ligging van de sliblaag.

Bij het verrichten van deze boringen is het volgende opgevallen:

- ▶ De verificatieboringen zijn voornamelijk uitgevoerd met behulp van een multisampler; één meetploeg gebruikte hiervoor een zuigerboor,
- ▶ De verificatieboringen zijn meestal na afloop van een gemeten profiel genomen op een willekeurig punt in het profiel. De gegevens van de boring (ligging onderkant sliblaag) werden vergeleken met de gemeten waarden met de peilstok. Hierdoor wordt de boring niet gebruikt om het 'gevoel te ijken', maar om achteraf te kijken of het klopt. Eén enkele meetploeg heeft naar aanleiding van de resultaten van de verificatieboring besloten een profiel nogmaals te meten, omdat de resultaten van de verificatieboring niet overeenkwam met de metingen met de peilstok,
- ▶ Eén meetploeg bepaalde de ligging van de sliblaag voorafgaand aan de profielmeting met een multisampler en vergeleek deze nauwkeurig met de meting met de peilstok,
- ▶ De verificatieboring werd in de meeste gevallen niet vastgelegd ten opzichte van het waterpeil. Over het algemeen werd op basis van de dikte van de sliblaag (na uitdrukken in een goot) en de gemeten waterdiepte de ligging van de onderkant van de sliblaag bepaald. Indien dit redelijk overeen kwam werd dit als akkoord genoteerd,
- ▶ Bij één meetploeg werd het uitdrukken van de sliblaag door de veldwerk assistent op de oever uitgevoerd, waarna de boormeester zelf het boorprofiel geheel (bewust) niet bekeek of vergeleek met de ingemeten waarden.

Profielmetingen met zuigerboor

Om ook inzicht te krijgen in de mogelijk te behalen nauwkeurigheid van de verificatieboringen is per locatie één profiel geheel ingemeten met een zuigerboor. In het algemeen kan worden aangegeven, dat de omstandigheden bij de locaties (grote waterdiepte en/of dikke sliblaag) niet ideaal waren voor het uitvoeren van deze metingen. Ook hadden sommige meetploegen relatief weinig ervaring in het gebruik van de zuigerboor voor het vastleggen van de ligging van de (dikkere) sliblaag.

Bij het gebruik van de zuigerboor voor het bepalen van de ligging van de sliblaag is verder het volgende opgevallen:

- ▶ Voor het bepalen van de ligging van de sliblaag met de zuigerboor werd de bovenkant ingemeten met een peilstok en de onderkant door de dikte van de (in een goot uitgedrukte) sliblaag te bepalen. Vooraf werd verwacht, dat de ligging van de onderkant van de sliblaag werd bepaald, door de diepte van de boring vast te leggen ten opzichte van het waterpeil (en daar de lengte van de vaste bodem in het boorprofiel vanaf te trekken),
- ▶ Op 3 van de 4 locaties was een dikke sliblaag aanwezig, waardoor de bepaling van de dikte (erg) onnauwkeurig was. Tevens vloeit het slappe slib weg bij het uitdrukken in een goot. Deze ervaring geldt voor alle meetploegen,
- ▶ Gezien de dikte van de sliblaag is op de locaties 1 en 4 door een aantal meetploegen een 2 meter zuigerboor gebruikt, omdat de standaard zuigerboor (circa 0,8 m) niet afdoende was om de gehele sliblaag in één keer te steken. Het gefaseerd steken van dikkere sliblagen werd door weinig meetploegen goed beheerst.

3.3 Bevindingen elektronische technieken

Voor de vergelijking van de handmatige meettechnieken met de elektronische (niet handmatige) technieken is locatie 4 ingemeten met een multibeam/interferometrisch echolood (bovenkant sliblaag) en grondradar (boven- en onderkant sliblaag). De multibeam en grondradar zijn gezien de afmetingen (breedte en/of diepte) niet geschikt om de watergangen van de overige locaties in te meten. De meetmethodieken van multibeam, (bundelvormend en interferometrisch) en grondradar zijn in de dagelijkse meetpraktijk goed uitgewerkt. De technieken worden al langere tijd gebruikt. Kalibraties en controles worden routinematig uitgevoerd. De bedrijven beschikken in de meeste gevallen over een (interne) methodiek van kwaliteitsbewaking.

Veel onderscheidend vermogen tussen de verschillende akoestische meetapparatuur wordt opgehangen aan de gebruikte signaalfrequenties. Lagere frequenties hebben in principe een groter penetrerend vermogen dan hoge frequenties. Om dit te toetsen heeft één bedrijf de multibeam metingen met meerdere signaal-frequenties uitgevoerd.

Verder zijn de volgende bevindingen aan te geven:

- ▶ Met de multibeam (bundelvormend en interferometrisch) was de watergang door het varen van drie langlijnen vlakdekkend in te meten,
- ▶ In de oevers is stortsteen aanwezig. Hierdoor ontstaan spikes (uitschieters) in de multibeamdata, die tijdens het processen dienen te worden verwijderd,
- ▶ Op de meetdag van één meetbureau was zeer sterke wind (stormachtig). Dit heeft mogelijk gevolgen voor de kwaliteit van de gegevens. Het was hierdoor niet mogelijk om dwarsprofielen te varen voor de grondradarmetingen en zijn langlijnen gevaren. Hierdoor heeft slechts één meetbedrijf de watergang in dwarsprofielen ingemeten met grondradar⁴,
- ▶ Voorafgaand aan de metingen met de grondradar was bij 2 van de 3 bedrijven een indicatie van de sliblaagdikte bekend. Hierdoor konden de instellingen van de gebruikte apparatuur worden afgestemd op de te verwachten resultaten. Dit levert een sterk verbeterde meting ten opzichte van een meting zonder 'voorkennis'. Voorkennis over de waterkolom, sliblaagdikte en kenmerken, zoals dichtheid, dichtheidsovergangen of geleidendheid is overigens een normale werkwijze bij het akoestisch of elektromagnetisch meten van sliblagen,
- ▶ De geleidbaarheid van het water bedroeg 850 μS . De meeste watergangen in Nederland hebben een geleidbaarheid van 800 μS . De aanwezige geleidbaarheid levert geen probleem op voor de elektromagnetische metingen.

3.4 Bevindingen sonarbootjes

Het gebruik van de van afstand bestuurbare peilbootjes (verder te noemen: sonarbootjes) voor het inmeten van regionale wateren neemt toe. Door het eenvoudige gebruik lijkt de techniek veelbelovend. De sonarbootjes zijn klein (vergeleken met normale, bemande peilboten), gemakkelijk verplaatsbaar en inzetbaar. Veel van de 'compacte' industrie-standaard hydrografische apparatuur is op deze sonarbootjes te installeren. Op grotere boten kan meer specialistische apparatuur worden geïnstalleerd. In het gebruik blijkt de techniek nog gevoelig voor storingen. Verder is het belangrijk, dat de gebruiker voldoende kennis heeft van de werking van de meettechniek. Kalibraties en controles worden, zo lijkt het, nog niet altijd (op locatie) toegepast.

Op basis van de bevindingen tijdens de metingen kan het volgende worden opgemerkt:

- ▶ Een meetset bestaat uit drie onderdelen: de boot met apparatuur, een bedieningspaneel voor het varen en een laptop, waarmee draadloos de meetgegevens worden ontvangen en opgeslagen,

⁴ Voor het meten met de grondradar moet de bodem worden gevolgd. Dit is met dwarsprofielen moeilijker.

- ▶ Met de sonarbootjes is de ligging van de bovenkant van de sliblaag op alle vier de locaties ingemeten. Hierbij zijn dwars- en lengteprofielen gevaren. Om ook tussenliggende delen in te peilen zijn aanvullend hierop zigzag profielen gevaren,
- ▶ De meetbedrijven beschikken niet over een geluidssnelheidsmeter. De geluidssnelheid wordt derhalve niet opgemeten. Standaard staat de geluidssnelheid in het echolood ingesteld op 1.500 m/s. Op locatie 4, waar de waterdiepte groter is en waar ook met de multibeam is gemeten, was de geluidssnelheid bekend, namelijk circa 1.455 m/s. Zonder correctie van de echoloodmetingen naar de juiste geluidssnelheid wordt een diepte van 2 meter ruim 5 cm te diep gemeten. Aan de meetbedrijven is op locatie 4 vóór het uitvoeren van de metingen de correcte geluidssnelheid doorgegeven. De bedrijven waren echter niet in staat om dit aan te passen. Bij één meetbedrijf is de correcte geluidssnelheid via postprocessing toegepast,
- ▶ Tijdens het gebruik worden de positie van de boot en de meetresultaten verschillend weergegeven. Bij één bedrijf zijn deze gegevens direct online (op de laptop) te volgen; bij een ander bedrijf is alleen een string met data te zien. Het uitzetten van de piketpaaltjes was dan ook noodzakelijk, omdat online de te varen profielen in de software niet zichtbaar waren,
- ▶ Tijdens het gebruik zijn diverse storingen opgetreden met diverse oorzaken: waterplanten in de schroeven, niet regenbestendig, gebruiksduur accu's, slechte positionering door slechte telefoonontvangst. Door de technische ontwikkelingen van deze meettechniek worden steeds meer problemen ondervangen.

Foto 3.2: De gebruikte sonarbootjes



4 Analyse meetgegevens

Voor een statistische analyse van de meetgegevens is het van belang, dat voldoende gegevens aanwezig zijn en dat de gemeten waarden bij voorkeur geen grote systematische fouten bevatten. De verrichte metingen hebben in algemeenheid geleid tot een grote hoeveelheid goed bruikbare gegevens. De spreiding in meetgegevens is bij een aantal meettechnieken te groot en onvoorspelbaar gebleken ten opzichte van het aantal beschikbare metingen, waardoor de resultaten van deze technieken beschouwend worden geïnterpreteerd zonder een statistische onderbouwing.

Bij de vergelijking van de meetgegevens is gebruik gemaakt van de standaarddeviatie. De standaarddeviatie is een maat om de spreiding van de metingen rondom het gemiddelde aan te geven. In paragraaf 4.1 worden deze termen toegelicht. Tevens is in deze paragraaf de methode van de analyse beschreven.

In paragraaf 4.2 worden de gemeten waterstanden en profielbreedten geanalyseerd en de invloed hiervan op het uiteindelijke baggervolume. Tevens wordt beschreven op welke wijze met deze verschillen is omgegaan bij het beoordelen van de meetgegevens van de ligging van de sliblaag.

In het vervolg van dit hoofdstuk wordt de analyse van de meetgegevens van de ligging van de sliblaag beschreven. De analyse van de metingen richt zich hierbij in eerste instantie op het vergelijken van de meetgegevens van de afzonderlijke technieken en bodemlagen. Hierbij zijn achtereenvolgens de metingen op puntniveau en de hoeveelheden op watergangniveau vergeleken. Op basis van deze vergelijking kunnen uitspraken worden gedaan over de reproduceerbaarheid van de metingen en de invloed op de hoeveelheden op watergangniveau.

Vervolgens zijn de metingen van een aantal technieken onderling vergeleken. Hiermee wordt bijvoorbeeld inzicht verkregen in de invloed van het gewicht van een GPS-bol op een peilstok, maar worden ook de verschillen tussen een multibeammeting en een handpeiling duidelijk. De meetgegevens kunnen op een groot aantal manieren worden vergeleken. Op basis van de analyse van de meetgegevens per techniek is een keuze gemaakt welke technieken onderling zijn geanalyseerd, zodat gefundeerde uitspraken kunnen worden gedaan over de nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid van handmatige meettechnieken.

4.1 Methode van analyse

Stappen bij de verwerking van de data

Standaardisatie meetgegevens

Voor de vergelijking van alle meetgegevens is het belangrijk, dat de gegevens van alle typen metingen op een eenduidige manier beschikbaar zijn. Hiervoor is een gestandaardiseerde database opgezet, waarbij de metingen op puntniveau worden opgeslagen. Hiervoor zijn alle meetgegevens van alle handmatige metingen ingevoerd in het profielenprogramma WDB (Waterbodembodemsprofielen Beheer) en uiteindelijk geïmporteerd in de database.

De elektronische metingen (multibeam, grondradar, sonarbootjes) zijn verwerkt met generieke 3D modellingssoftware zoals Surfer, Autocad, Bricscad. Waar nodig is de data geïnterpoleerd naar een vlakdekkend bodemprofiel. Voor de eenduidige vergelijking zijn ter plaatse van de gemeten handprofielen uitsneden van de vlakdekkende bodemprofielen gemaakt. Deze 'uitgesneden' profielen zijn geïmporteerd in de database.

Ten aanzien van de standaardisatie wordt het volgende opgemerkt:

- ▶ De meetgegevens van de handpeilingen zijn op verschillende manieren aangeleverd. Een deel van de bureaus hadden de gegevens al in WDB verwerkt; andere hebben de werkelijke meetgegevens aangeleverd, waarna de gegevens in WDB zijn verwerkt.

- Om hierbij typfouten zoveel mogelijk uit te sluiten zijn de ingevoerde gegevens door een ander persoon gecontroleerd.
- ▶ Over het algemeen zijn de handmetingen op de aangegeven afstanden in een profiel (elke 0,5 meter op locaties 1 t/m 3; op locatie 4: 0,5 m op de taluds en 1,0 m in het middendeel) gemeten. Eén bureau is hiervan afgeweken. Om deze meetgegevens om te vormen naar de standaard afstanden is tussen de naast elkaar liggende meetpunten rechtlijnig geïnterpoleerd.

Correctie data

In de ruwe data zijn duidelijke fouten zichtbaar. Zoals ook aangegeven in paragraaf 3.2 (Bevindingen handmatige technieken) zijn in het veld al 'meterfouten' (verkeerd aflezen, verkeerde stokhoogte van de GPS) geconstateerd. Ook bij het verwerken van de gegevens kunnen fouten zijn gemaakt. Deze fouten zijn ook duidelijk zichtbaar bij het vergelijken van de peilstokmetingen met en zonder GPS. De fouten zijn zo duidelijk, dat wordt verondersteld, dat deze bij de verwerking door het meetbureau zouden worden gecorrigeerd. De voor de hand liggende correcties zijn dan ook in de database doorgevoerd.

Verder is bij de vergelijking van de metingen t.o.v. het waterpeil uitgegaan van één vast waterpeil per locatie. Zoals uit paragraaf 4.2 blijkt, variëren de gemeten waterpeilen per meetploeg. De invloed van de afwijkingen in het gemeten waterpeil op het baggervolume worden in paragraaf 4.2 aangegeven. Om echter de verschillen in het meten van de ligging van de sliblaag te bepalen is uitgegaan van een vast waterpeil.

De metingen van profiel 10 op locatie 4 wijken onderling sterk af. Uit de elektronische metingen blijkt, dat deze profielen (de profielen van de verschillende meetploegen verschuiven steeds 1,0 meter) op een overgang van een gebaggerd en niet-gebaggerd deel van de watergang liggen. Hierdoor zijn de profielen onderling niet meer goed te vergelijken. In de analyse zijn derhalve de meetgegevens van dit profiel niet meegenomen.

Statistische analyse van de data

Voor de analyse van de data (per punt, profiel of locatie) is gebruik gemaakt van de standaarddeviatie. De standaarddeviatie is een statistische maat voor de spreiding van de getallen rondom het gemiddelde. Voor het berekenen van de standaarddeviatie wordt de formule zoals aangegeven in figuur 4.3 gebruikt. Voor de berekening wordt eerst het gemiddelde van een getallenreeks bepaald. Vervolgens wordt het verschil van alle getallen in de reeks met het gemiddelde bepaald, gekwadrateerd en gesommeerd. De uitkomst wordt gedeeld door het aantal getallen in de reeks minus 1. Door de wortel te trekken wordt de standaarddeviatie bepaald.

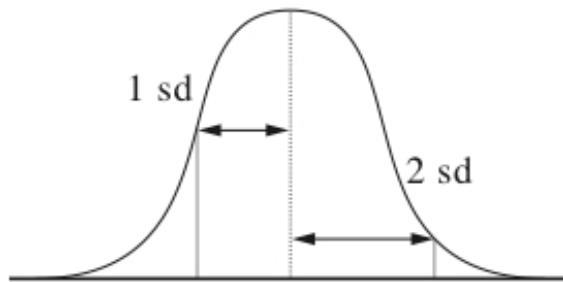
Figuur 4.3: formule voor berekenen standaarddeviatie

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Waarin: s = de standaarddeviatie van getallenreeks
 x_i = de waarde van een getal in de reeks
 \bar{x} = het gemiddelde van alle getallen in de reeks
 n = het aantal getallen in de reeks

Bij deze proefneming is een zeer groot aantal metingen genomen. Aangenomen dat deze metingen (per meetmethode, -punt, per locatie en bedrijf) onafhankelijk en correct zijn, komt het gemiddelde van de metingen op een willekeurig meetpunt uit op de 'juiste' waarde en hangen de onderlinge afwijkingen tussen de meetmethoden/bedrijven alleen af van 'toevallige' meetfouten, de zogenaamde meetruis. We verwachten dan een zogenaamde 'normale verdeling' van de metingen (zie figuur 4.4).

Figuur 4.4: Normaalverdeling metingen



Het 'midden' van de bovenstaande verdeling komt overeen met het gemiddelde van een serie metingen. De breedte van de grafiek is een maat gekoppeld aan de grootte van de meetruis. De standaarddeviatie (sd) is daarvoor een maat. Bij een normaal verdeelde meetreeks ligt:

- ▶ 68% van alle waarden tussen het gemiddelde plus/minus één maal de standaarddeviatie,
- ▶ 95% tussen het gemiddelde plus/minus tweemaal de standaarddeviatie,
- ▶ meer dan 99% tussen het gemiddelde plus/minus driemaal de standaarddeviatie.

De standaarddeviatie is derhalve een maat voor welk percentage waarnemingen hoe ver van het gemiddelde af kan liggen. Deze theorie kan ook 'andersom' worden gebruikt. Als veel waarnemingen verder dan (bijvoorbeeld) driemaal de standaarddeviatie van het gemiddelde af liggen, is dat een aanwijzing dat in de data uitschieters zitten. Het kan ook betekenen dat de waarnemingen niet 'zuiver' zijn of dat de metingen behept zijn met systematische fouten en/of afhankelijkheden.

In dit rapport wordt de combinatie van gemiddelde, verdeling van de gegevens en de standaarddeviatie (waar mogelijk) gebruikt om vast te stellen hoe goed, hoe reproduceerbaar, de ligging van de boven- en onderkant van de sliblaag kan worden vastgesteld.

Uit de analyse van de meetgegevens is het volgende gebleken:

- ▶ De meetgegevens van de profielen met de zuigerboor lijken niet normaal verdeeld te zijn. De spreiding per punt is erg groot en onregelmatig,
- ▶ Van de sonarbootjes zijn slechts metingen van twee bedrijven te gebruiken. De meetgegevens geven onderling een zeer grote spreiding. Dit is in ieder geval deels te wijten aan een slechte positionering ('gewone' GPS dan wel DGPS) van één van de twee leveringen. Hierdoor passen de datasets niet netjes boven de overige metingen. Dit levert grote systematische fouten van één van de datasets. De andere levering sluit redelijk goed aan bij de multibeammetingen op locatie 4.

4.2 Waterstanden en profielbreedten

Waterstanden

De waterstanden op de verschillende locaties is op de volgende manieren bepaald:

- ▶ Inmeten vast punt t.o.v. N.A.P. met RTK-GPS en het meten van het waterpeil t.o.v. dit vaste punt,
- ▶ Inmeten van de waterstand met RTK-GPS.

De ingemeten hoogte van het vaste punt, de gemeten afstand en berekende hoogte van het waterpeil t.o.v. dit vaste punt en de met RTK-GPS ingemeten hoogte van de waterpeil zijn per locatie en per meetploeg opgenomen in de tabellen 4.1 t/m 4.3.

Tabel 4.1: hoogte ingemeten vast punt per locatie en meetploeg

Locatie	Gemeten hoogte vast punt (m t.o.v. N.A.P) per meetploeg						Maximale verschil (cm)	Standaarddeviatie (cm)
	1	2	3	4	5	Gemiddelde hoogte		
1	-5,39	-5,35	-5,37	-5,37	n.b.	-5,37	4	1,41
2	-0,62	-0,60	-0,67	-0,64	-0,62	-0,63	7	2,37
3	-1,85	-1,85	-1,89	-1,89	n.b.	-1,87	4	2,00
4	n.b.	0,23	0,18	0,20	0,22	0,21	5	1,92

Tabel 4.2: gemeten afstand tussen vast punt en waterpeil per locatie en meetploeg

Locatie	Gemeten afstand (m) tussen vast punt en waterpeil per meetploeg						Maximale verschil (cm)	Standaarddeviatie (cm)
	1	2	3	4	5	Gemiddelde hoogte		
1	0,24	0,89	0,35	0,25	n.b.	0,25	1	0,50
2	0,63	0,61	0,61	0,62	0,62	0,62	2	0,75
3	0,35	0,35	0,32	0,35	n.b.	0,34	3	1,30
4	n.b.	0,85	0,95	0,80	0,88	0,87	15	5,43

Opmerking: rood aangegeven en getallen wijken sterk af en zijn buiten beschouwing gelaten

Tabel 4.3: (gemiddelde) waterstand volgens RTK-GPS meting per locatie en meetploeg

Locatie	Gemeten waterstand (m t.o.v. N.A.P) per meetploeg						Maximale verschil (cm)	Standaarddeviatie (cm)
	1	2	3	4	5	Gemiddelde hoogte		
1	-5,63	-5,59	-5,63	-5,63	-5,60	-5,62	4	1,74
2	-1,24	-1,23	-1,26	-1,28	-1,24	-1,25	5	1,79
3	-2,20	-2,18	-2,21	-2,22	-2,17	-2,20	5	1,85
4	-0,65	-0,67	-0,70	-0,66	-0,65	-0,67	5	1,85

Uit de tabellen 4.1 t/m 4.3 blijkt het volgende:

- ▶ De verschillen tussen de hoogtemetingen van de vaste punten met een RTK-GPS liggen tussen de 4 en 7 cm,
- ▶ De verschillen tussen de hoogtemetingen van de waterstand met een RTK-GPS liggen tussen de 4 en 5 cm,
- ▶ De metingen van de afstand tussen de vaste punten en het waterpeil vertonen grote afwijkingen. Indien de extreme afwijkingen (uitbijters) buiten beschouwing worden gelaten liggen de verschillen tussen 1 en 15 cm. Ook de verschillen in de meetwaarden bij locatie 4 zijn het grootst. Op basis van de standaarddeviatie van de waterstandsmetingen op de overige locaties kan aangenomen worden dat op locatie 4 uitschieters in de metingen van meerdere bedrijven zitten.
- ▶ De hoogte van het vaste punt minus de afstand tot het waterpeil moet in principe gelijk zijn aan de ingemeten waterstand. Dit komt bij de locaties 1, 2 en 3 zeer goed overeen (afwijking 1 à 2 cm). Bij locatie 4 liggen de verschillen tussen de 1 en 6 cm,

Gerealiseerd moet worden, dat de invloed van elke centimeter verschil in de waterstand op het berekende volume baggerspecie voor de locaties 1 t/m 4 respectievelijk 16, 10, 26 en 50 m³ bedraagt. De daadwerkelijke invloed wordt vanzelfsprekend mede bepaald door de wijze van het berekenen van de hoeveelheden (totale hoeveelheid slib, hoeveelheid t.o.v. legger, etc.). Relatief gezien ten opzichte van het volume in de legger (tabel 5.3) bedraagt de afwijking bij een centimeter waterstandsverschil respectievelijk 5%, 14%, 21% en 8%.

De waterstanden zijn door de betrokken meetbedrijven ook gebruikt bij de verwerking in het profielenprogramma WDB (Waterbodembod Dwarsprofielen Beheer). De waarde die hiervoor wordt gebruikt komt veelal overeen met de eerste waarde conform de inmeting van de waterstand met de RTK-GPS. De bedrijven gebruiken ook veelal de gemiddelde waterstand van alle profielen samen of één meetpunt.

Eénduidige waterstand

Voor de analyse en vergelijkingen van de handmetingen in dit rapport is per locatie/dag voor alle bedrijven dezelfde waterstand gebruikt. Systematische verschillen in de uitkomsten als gevolg van de verschillende ingemeten waterstand worden zo vermeden. Wel worden deze verschillen, vanzelfsprekend, meegenomen in de conclusies. De hoogte van de vaste punten zijn onafhankelijk gemeten gedurende circa 10 minuten met behulp van RTK-GPS. Tijdens de uitvoering van de metingen is, onafhankelijk, gecontroleerd of de waterstand op de locaties variabel was. Dit is in geen geval geconstateerd. De onafhankelijk bepaalde waterstanden zijn voor de locaties 1 t/m 4 respectievelijk N.A.P. -5,64 m, -1,28 m, -2,23 m en -0,66 m. Deze waarden wijken 1 tot 3 cm af van de gemeten gemiddelde hoogte door de meetploegen.

Profielbreedten

In bijlage 1 zijn de gemeten breedten van de profielen opgenomen en zijn per profiel de gemiddelde, minimale en maximale waarden aangegeven. Hierbij is per profiel de standaarddeviatie van de breedte berekend. In tabel 4.4 zijn deze gegevens samengevat.

Tabel 4.4: Breedten gemeten met meetlint met standaarddeviatie per locatie

Locatie	Gemiddeld gemeten breedte (m)	Verschil in breedte per profiel (m)		Gemiddelde standaarddeviatie (m)
		Minimaal	Maximaal	
1	6,50	0,20	0,80	0,19
2	3,84	0,00	0,60	0,14
3	10,58	0,20	1,00	0,24
4	20,10	0,80	1,40	0,44

Uit bijlage 1 en tabel 4.4 blijkt het volgende:

- ▶ De verschillen in de gemeten breedten zijn aanzienlijk. Het maximale verschil ligt tussen de 7 en 16 % van de gemiddelde breedte; de percentuele afwijking loopt op naar mate de watergang smaller wordt,
- ▶ Zoals aangegeven in paragraaf 3.2 maakte één meetploeg gebruik van een hoekspiegel bij het uitzetten van het profiel om het profiel loodrecht op de oever uit te zetten. Opvallend is, dat deze ploeg in bijna de helft van de gemeten profielen de minimale breedte meet.

Bij het meten van de breedten ontstaat dus een afwijking, doordat een profiel niet loodrecht op de watergang wordt gemeten. Echter dit verklaart waarschijnlijk niet alleen de geconstateerde verschillen in de breedten. Een verschuiving van het eindpunt t.o.v. het nulpunt van een profiel met een afwijking van 10% van de breedte van de watergang resulteert slechts in een afwijking in de profielbreedte van de locaties 1 t/m 4 van respectievelijk 3, 1, 5 en 10 cm. De verschillen in de gemeten breedten worden naar verwachting vooral veroorzaakt door de onduidelijkheid van de ligging van het nul- en eindpunt (ingetrapte oevers, rietzones) en een afwijking in het meetlint of touw (niet strak gespannen, niet maatvast). Of dit uiteindelijk ook resulteert in andere hoeveelheden is onder andere afhankelijk van de hoeveelheid baggerspecie in de taluds en of er sprake is van een legger.

4.3 Analyse meetgegevens per techniek

Voor het analyseren van de meetgegevens zijn in eerste instantie de metingen van de 5 meetploegen op puntniveau vergeleken. Van ieder punt in een profiel zijn 5 meetwaarden beschikbaar. Bij een eerste analyse van deze meetgegevens bleek het volgende:

- ▶ De spreiding in meetgegevens op de taluds is aanzienlijk groter dan in het middendeel van de watergang. Dit wordt naar verwachting onder meer veroorzaakt door afwijkingen in de positionering van de meting,
- ▶ Door de verschillende profielbreedten (zie paragraaf 4.2) zijn de metingen aan het einde van een profiel niet bruikbaar voor de onderlinge vergelijking van meetpunten.

Gezien het bovenstaande is bij de analyse van de gegevens onderscheid gemaakt in een linker talud (bij nulpunt profiel), een middendeel en een rechter talud (bij einde profiel). Om een uitspraak te doen over de reproduceerbaarheid van de metingen op puntniveau zijn alleen de metingen in het middendeel van de watergangen meegenomen. Voor de vergelijking van de volumes zijn de metingen in de taluds vanzelfsprekend wel meegenomen. Ook bij de elektronische meettechnieken zijn de verschillen tussen de metingen in de taluds duidelijk groter dan in het middendeel. Deze verschillen worden deels veroorzaakt door de verschillende eigenschappen, zoals 'bundelhoeken', van de gebruikte apparatuur. Voor de vergelijkingen op puntniveau zijn derhalve ook voor de elektronische technieken alleen de metingen in het middendeel van de watergang geanalyseerd.

In de paragrafen 4.3.1 t/m 4.3.6 worden de resultaten van de vergelijking met de metingen op puntniveau in het middendeel van de watergang per meettechniek beschreven.

4.3.1 Techniek A: standaard peilstok

Ligging sliblaag

De resultaten van de analyse van de metingen met de standaard peilstok zijn opgenomen in bijlage 2. In de tabellen 4.5 en 4.6 zijn de resultaten van de metingen in het middendeel van de watergang samengevat.

In de bijlagen zijn de volgende gegevens gepresenteerd:

- ▶ Locatie van de peilingen met type ondergrond (overeenkomstig tabel 2.1),
- ▶ Profielnummer met toevoeging (z = standaard peilstok; m = peilstok met GPS-bol t.o.v. waterpeil; v = peilstok met GPS-meting),
- ▶ Gemeten laag (gemiddelde van bagger = bovenkant sliblaag; gemiddelde van vast = onderkant sliblaag),
- ▶ Standaarddeviatie linker talud en aantal metingen in linker talud,
- ▶ Standaarddeviatie (SD) middendeel en aantal metingen in middendeel,
- ▶ Standaarddeviatie rechter talud en aantal metingen in rechter talud,
- ▶ Grens linker- en rechtertalud: op welke afstand van het nulpunt is de grens tussen het linker talud, het middendeel en het rechter talud gelegd,
- ▶ Minimale en maximale waterdiepte in het middendeel,
- ▶ Maximale verschil in de gemeten waarden op hetzelfde meetpunt in het middendeel.

Tabel 4.5: Spreiding en standaarddeviatie puntmetingen bovenkant sliblaag, standaard peilstok

Locatie	Type ondergrond	Spreiding verschil meetpunten (cm)		Standaarddeviatie meetpunt (cm)
		Gemiddeld	Maximaal	
1	Klei	3	9	1,4
2	Zand	4	11	1,8
3	Veen	10	30	3,9
4	Zand	11	31	4,8

Tabel 4.6: Spreiding en standaarddeviatie puntmetingen onderkant sliblaag, standaard peilstok

Locatie	Type ondergrond	Spreiding verschil meetpunten (cm)		Standaarddeviatie meetpunt (cm)
		Gemiddeld	Maximaal	
1	Klei	53	95	21,9
2	Zand	8	26	3,1
3	Veen	41	101	16,9
4	Zand	43	108	18,7

In de tabellen 4.5 en 4.6 zijn de volgende waarden opgenomen:

- ▶ Locatie en type ondergrond,
- ▶ Gemiddelde spreiding in meetpunten (het gemiddelde verschil op puntniveau van alle meetpunten op een locatie),

- ▶ Maximale spreiding in meetpunten (het grootste verschil op puntniveau van alle meetpunten op een locatie),
- ▶ Standaarddeviatie van alle meetpunten op een locatie.

Uit de tabellen 4.5 en 4.6 blijkt het volgende:

- ▶ De standaarddeviatie van de meetpunten van de bovenkant van de sliblaag in het middendeel van de watergang ligt tussen de 1,4 en 4,8 cm. Dit betekent, dat ongeveer 95% van de waarnemingen minder dan 2,8 tot 9,6 cm van het gemiddelde afwijkt (plus/minus tweemaal de standaarddeviatie). De standaarddeviatie is het grootst op locatie 4 (Leidsevaart) en wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de grotere waterdiepte. Door de toenemende stoklengtes zijn subtiele overgangen moeilijker voelbaar. Ook op de veenlocatie is de standaarddeviatie relatief groot. Dit komt mogelijk door een dunnere moeilijk voelbare ligging van de bovenkant van de sliblaag.
- ▶ De gemiddelde spreiding van het verschil tussen alle meetpunten van de bovenkant van de sliblaag op de locaties 1 en 2 bedraagt respectievelijk 3 en 4 cm met een maximum van 9 en 11 cm. Dit is niet de standaarddeviatie, maar het gemiddelde verschil van alle metingen per punt. Dit houdt dus in, dat van alle meetpunten op een locatie in het middendeel van de watergang het gemiddelde verschil per meetpunt 3 of 4 cm bedraagt en dat op één meetpunt een maximaal verschil van 9 of 11 cm is gemeten. Voor de locaties 3 en 4 is de gemiddelde spreiding van de meetpunten duidelijk groter (10 en 11 cm); het maximale verschil op één meetpunt op de locatie bedraagt zelfs 30 en 31 cm.
- ▶ De standaarddeviatie van de meetpunten van de onderkant van de sliblaag in het middendeel van de watergang bedraagt voor locatie 2 (zandondergrond) 3,1 cm. De standaarddeviatie voor de ondergrond van de overige locaties ligt tussen de 17 en 22 cm.
- ▶ De gemiddelde spreiding van alle meetpunten van de onderkant van de sliblaag op locatie 2 bedraagt 8 cm; de maximum spreiding op één punt 26 cm. Op de overige locaties liggen de gemiddelde verschillen tussen de 41 en 53 cm en het maximale verschil zelfs rond de 1,0 meter.

Ter illustratie is op tekening Y14035-RPR-0101 per locatie een representatief profiel weergegeven. Dit betreft de metingen met de standaard peilstok van de boven- en onderkant van de sliblaag door de 5 meetploegen. Ook uit deze profielen blijkt het hiervoor geanalyseerde beeld:

- ▶ De metingen van de bovenkant van de sliblaag op de locaties 1 en 2 in het middendeel van de watergang komen goed overeen; op locatie 3 nog redelijk. Op locatie 4 vertonen de metingen van de bovenkant van de sliblaag al grote verschillen.
- ▶ De metingen van de onderkant van de sliblaag komen bij de zandondergrond (locatie 3) nog redelijk tot goed overeen. De metingen van de onderkant van de sliblaag op de andere locaties vertonen grote verschillen.

Slibdikte

De resultaten van de analyse van de slibdikten met de standaard peilstok zijn opgenomen in bijlage 3. In tabel 4.7 zijn de standaarddeviatie, het gemiddelde en maximale verschil van de sliblaagdikte samengevat.

De dikte van de sliblaag vertoont een vergelijkbaar beeld als de ligging van de onderkant van de sliblaag. De variaties in de dikte sliblaag worden grotendeels veroorzaakt door de grotere spreiding in de bepaling van de onderkant van de sliblaag.

Tabel 4.7: Spreiding en standaarddeviatie slibdikte per punt, standaard peilstok gerelateerd aan tabellen 4.5 en 4.6

Locatie	Type ondergrond	Spreiding verschil slibdikte (cm)		Standaarddeviatie slibdikte (cm)
		Gemiddeld	Maximaal	
1	Klei	53	96	21,5
2	Zand	8	19	3,1
3	Veen	42	109	17,1
4	Zand	44	83	19,1

Volume slib

Per locatie is per meetploeg het volume baggerspecie in-situ berekend. Hierbij is van elke meetploeg per profiel het volume (m³ per strekkende meter) berekend en vervolgens vermenigvuldigd met de bijbehorende lengte van de watergang. Bij de berekening van de volumes is het gehele profiel (linker talud, middendeel, rechter talud) meegenomen.

In tabel 4.8 zijn per locatie de volumes slib (minimum, maximum, gemiddeld) en de standaarddeviatie (m³, %) opgenomen. Om inzicht te krijgen in de afwijking van het gemiddelde volume is de standaarddeviatie naast het volume ook in een percentage van het gemiddelde volume uitgedrukt. Uit tabel 4.8 blijkt, dat de standaarddeviatie voor de locaties 2 en 3 respectievelijk 6 en 8% bedraagt van het gemiddelde volume; voor de locaties 1 en 4 circa 20%.

Tabel 4.8: Spreiding en standaarddeviatie volume slib per locatie, standaard peilstok

Locatie	Hoeveelheid slib (m ³ in-situ)			Standaarddeviatie hoeveelheid	
	Minimum	Maximum	Gemiddeld	Hoeveelheid (m ³)	% van gemiddelde
1	644	1.064	836	163	19,5%
2	99	112	104	6	5,6%
3	1.200	1.416	1.301	101	7,7%
4	1.398	2.306	1.922	390	20,3%

Een uitgebreidere vergelijking van de hoeveelheden volgt in hoofdstuk 5.

4.3.2 Techniek B: peilstok met GPS

De metingen met de peilstok met GPS zijn op de volgende manieren verricht:

- ▶ B1: Vastleggen ligging sliblaag, overeenkomstig techniek A, t.o.v. het waterpeil. Hiermee wordt inzicht gekregen in de invloed van het extra gewicht van de GPS-bol,
- ▶ B2: Vastleggen ligging sliblaag in x-, y-, z-coördinaten.

Peilstok met GPS t.o.v. waterlijn

In bijlage 2 zijn de resultaten van de berekeningen van de analyse van de metingen met de peilstok met GPS t.o.v. de waterlijn (techniek B1) opgenomen. In de tabellen 4.9 en 4.10 zijn de resultaten van de metingen in het middendeel van de watergang samengevat.

Tabel 4.9: Spreiding en standaarddeviatie puntmetingen bovenkant sliblaag, peilstok met GPS t.o.v. waterpeil

Locatie	Type ondergrond	Spreiding verschil meetpunten (cm)		Standaarddeviatie meetpunt (cm)
		Gemiddeld	Maximaal	
1	Klei	3	7	1,2
2	Zand	5	12	1,9
3	Veen	8	21	3,5
4	Zand	10	22	4,4

Tabel 4.10: Spreiding en standaarddeviatie puntmetingen onderkant sliblaag, peilstok met GPS t.o.v. waterpeil

Locatie	Type ondergrond	Spreiding verschil meetpunten (cm)		Standaarddeviatie meetpunt (cm)
		Gemiddeld	Maximaal	
1	Klei	46	84	19,8
2	Zand	8	27	3,5
3	Veen	38	68	16,3
4	Zand	37	97	16,4

De resultaten van de metingen (standaarddeviatie, de gemiddelde spreiding van alle meetpunten op een locatie en de maximale spreiding op één meetpunt) met de peilstok met GPS-bol gemeten t.o.v. de waterlijn komt goed overeen met de resultaten van de standaard peilstok. De metingen met de GPS-bol lijken zelfs iets nauwkeuriger dan zonder GPS-bol, maar de verschillen zijn minimaal. In paragraaf 4.4.1 worden beide technieken met elkaar vergeleken.

Ook bij de meting met de GPS bol t.o.v. de waterlijn vertoont de dikte van de sliblaag een vergelijkbaar beeld als de ligging van de onderkant van de sliblaag. In tabel 4.11 zijn de standaarddeviatie en het gemiddelde en maximale verschil van de dikte van de sliblaag opgenomen.

Tabel 4.11: Spreiding en standaarddeviatie slibdikte per punt, peilstok met GPS t.o.v. waterpeil

Locatie	Type ondergrond	Spreiding verschil slibdikte (cm)		Standaarddeviatie slibdikte (cm)
		Gemiddeld	Maximaal	
1	Klei	46	86	19,7
2	Zand	9	27	3,7
3	Veen	39	69	16,5
4	Zand	35	78	15,4

In tabel 4.12 is per locatie het volume slib (minimum, maximum, gemiddeld) en de standaarddeviatie (m³, %) opgenomen volgens de metingen met een peilstok met GPS-bol t.o.v. het waterpeil. Deze gemiddelde volumes komen goed overeen met de volumes bepaald met de standaard peilstok. De standaarddeviatie lijkt iets uit te vlakken, maar wordt voor locatie 2 (zandondergrond) groter.

Tabel 4.12: Spreiding en standaarddeviatie volume slib per locatie, peilstok met GPS t.o.v. waterpeil

Locatie	Hoeveelheid slib (m ³ in-situ)			Standaarddeviatie hoeveelheid	
	Minimum	Maximum	Gemiddeld	Hoeveelheid (m ³)	% van gemiddelde
1	669	1.055	871	138	15,9%
2	92	123	108	13	12,0%
3	1.188	1.422	1.308	93	7,1%
4	1.592	2.347	1.899	309	16,3%

Peilstok met GPS t.o.v. x, y, z

De analyse van de metingen met de RTK-GPS beperkt zich tot de bovenkant van de sliblaag op de locaties 1 en 2. De ruwe meetgegevens op de locaties 3 en 4 vertoonden grote afwijkingen, mogelijk door 'meter-fouten', en zijn niet verder verwerkt. De onderkant van de sliblaag is slechts door 2 bedrijven ingemeten met GPS. Ook deze ruwe gegevens vertoonden aanzienlijke afwijkingen.

De meetgegevens van de bovenkant van de sliblaag met de peilstok met GPS t.o.v. x-, y-, z-coördinaten (techniek B2) op de locaties 1 en 2 zijn wel geanalyseerd. De berekeningen van deze analyse zijn opgenomen in bijlage 5. In de tabel 4.13 zijn de resultaten van de metingen in het middendeel van de watergang samengevat.

Tabel 4.13: Spreiding en standaarddeviatie puntmetingen bovenkant sliblaag, peilstok met GPS t.o.v. xyz

Locatie	Type ondergrond	Spreiding verschil meetpunten (cm)		Standaarddeviatie meetpunt (cm)
		Gemiddeld	Maximaal	
1	Klei	7	14	2,7
2	Zand	7	17	2,9
3	Veen	n.b.	n.b.	n.b.
4	Zand	n.b.	n.b.	n.b.

Uit tabel 4.13 blijkt, dat de resultaten van de metingen met de GPS t.o.v. xyz-coördinaten minder nauwkeurig zijn dan de metingen t.o.v. het waterpeil. De standaarddeviatie van alle meetpunten op een locatie bedraagt 2,7 tot 2,9 cm. Ten opzichte van het waterpeil bedraagt de standaarddeviatie 1,2 tot 1,9 cm. Ook het verschil tussen de metingen per punt (gemiddeld, maximaal) liggen bij het meten met de GPS in xyz-coördinaten verder uit elkaar dan bij het meten t.o.v. de waterlijn.

4.3.3 Techniek C: zuigerboor

Per locatie is de ligging van de sliblaag in één profiel met een zuigerboor gemeten. Het aantal waarnemingen is derhalve veel kleiner dan bij de overige meettechnieken. Hierdoor is de invloed van zogenaamde uitbijters (uitschieters) groot. De gemeten profielen zijn op tekening Y14035-ZBPR-01 opgenomen bij deze rapportage.

De resultaten van de gemeten profielen met de zuigerboor is niet als aparte techniek beoordeeld, maar alleen vergeleken met de metingen met een standaard peilstok. Deze vergelijking is in paragraaf 4.4.3 uitgewerkt.

4.3.4 Techniek D: multibeam

Op locatie 4 (Leidsevaart in Noordwijk) is de bovenkant van de sliblaag akoestisch ingemeten met behulp van:

- ▶ Multibeam systemen (2 typen bundelvormend),
- ▶ Interferometrisch echolood (multibeam met interferometrische techniek),
- ▶ Echolood op van afstand bestuurbaar peilbootje (zie paragraaf 4.3.6).

De multibeam systemen kunnen voor dit onderzoek als eenzelfde vlakdekkend systeem worden gezien. Alhoewel principieel verschillend qua meetprincipe, leveren de systemen vergelijkbare resultaten voor wat betreft de bepaling van de ligging van de bovenkant van de sliblaag. Waarbij opvalt dat interferometrische systemen weliswaar, naar verhouding, per individueel meetpunt meer ruis hebben, maar een (veel) grotere padbreedte mogelijk maken. Hiermee heeft een interferometrisch systeem in potentie een groot voordeel in ondiep water ten opzichte van de meer klassieke multibeam systemen. Dit onderzoek richt zich echter niet op het onderscheidende vermogen van verschillende vlakdekkende akoestische systemen en is derhalve niet nader onderzocht.

Op locatie 4 zijn de volgende metingen beschikbaar:

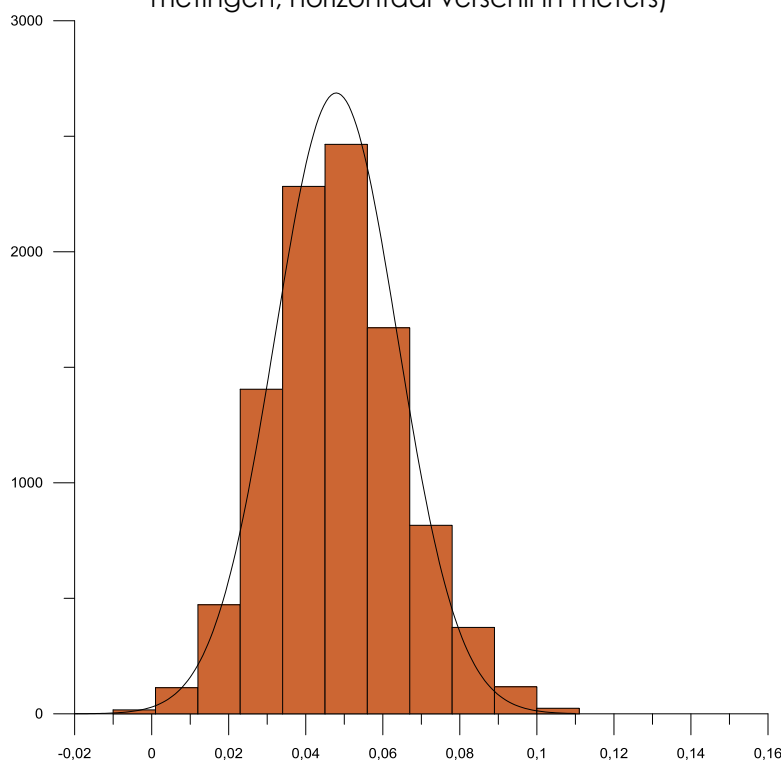
- ▶ Multibeam systeem 1: 240 kHz,
- ▶ Multibeam systeem 2: 200, 250, 300 en 400 kHz,
- ▶ Interferometrisch systeem: 250 kHz.

Het idee achter het gebruik van verschillende frequenties is de algemene perceptie dat verschillende frequenties, verschillende penetraties in zacht bodemmateriaal (bovenkant slib) hebben. In de praktijk blijkt dit gegeven slechts ten dele waar. Bij deze akoestische metingen wordt de volledige positie (hoogte en diepte) rechtstreeks gekoppeld aan de RTK-GPS meting. De fout in deze meting lijkt een significant grotere invloed te hebben dan de invloed van de verschillende frequenties bij multibeam systeem 2 op locatie 4. Daarom is dit effect verder buiten beschouwing gelaten.

De verschillende akoestische systemen leveren tientallen tot duizenden metingen per vierkante meter. Dit is in de praktijk niet zinvol. De data is opgeschoond (onder andere uitschieters) en in een regelmatig grid omgezet. Dat grid is 25x25 cm of 50x50 cm.

De leveringen van de drie akoestische vlakdekkende systemen zijn op basis van de geleverde grids onderling vergeleken. Deze vergelijkingen laten zien dat de data mooi 'stochastisch' is. In figuur 4.5 is het verschil tussen het interferometrische systeem en één multibeam systeem in een histogram weergegeven. Het histogram geeft aan hoeveel van de in dit geval bijna 10.000 waarnemingen afwijken van het gemiddelde.

Figuur 4.5: Verschil metingen interferometrisch en multibeam systeem (verticaal aantal metingen, horizontaal verschil in meters)



Uit figuur 4.5 blijkt, dat het gemiddelde verschil tussen de twee gekozen vlakdekkende meetssystemen bijna 5 cm bedraagt. De standaarddeviatie bedraagt ongeveer 1,5 cm. De verdeling kan gezien worden als een normale verdeling.

In tabel 4.14 is een overzicht van de onderlinge vergelijking van de vlakdekkende systemen opgenomen. Hierbij is het interferometrische systeem vergeleken met de twee multibeam systemen. Het vergelijk is gemaakt in een 10 meter brede strook over de volle lengte rond het midden van locatie 4. Hiermee zijn de invloeden van oevers en taluds zo veel mogelijk uitgesloten.

Tabel 4.14: Vergelijking vlakdekkende systemen

Systeem	Frequentie (kHz)	Verskil t.o.v. interferometrie (m)	
		Gemiddeld	Standaarddeviatie
1	240	-0,02	0,03
2	200	0,03	0,02
2	250	0,07	0,02
2	300	0,05	0,02
2	400	0,06	0,02

Uit tabel 4.14 blijkt, dat de standaarddeviatie van het verschil en hiermee de 'meetruis' in het algemeen erg laag is. De gemiddelde verschillen zijn relatief hoog, wat duidt op de aanwezigheid van systematische fouten. Aannemelijk is, dat dit wordt veroorzaakt door:

1. Apparaat (hardware/frequentie) gebonden verschillen,
2. Verschillen in de RTK-GPS posities/hoogtes tijdens de meting,
3. Verschillen uit kalibratie/scheepsgeometrie.

Voor de vergelijking met de overige meettechnieken is van de bovenkant van de sliblaag één referentievlak samengesteld uit de gemiddelde diepte (per gridcel) van het interferometrisch systeem en beide multibeam systemen (systeem 2, 300 kHz). Door het samenstellen van een gemiddeld referentievlak worden de systematische fouten uitgemiddeld.

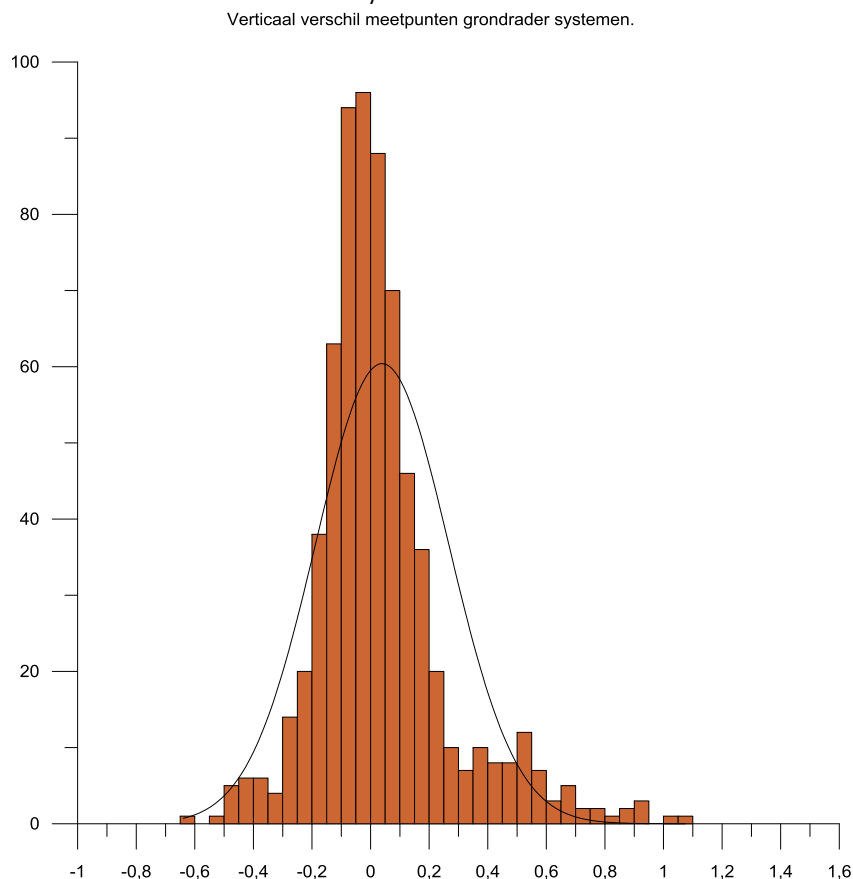
4.3.5 Techniek E: grondradar

De grondradar is gebruikt om een vlakdekkend beeld van de ligging van de onderkant van de sliblaag te verkrijgen. De metingen zijn in dwarsprofielen en/of langsprofielen uitgevoerd en daarna in een grid geïnterpoleerd. Twee van de drie bedrijven, die de grondradar hebben ingezet (locatie 4), hebben een resultaat geleverd. Bij de evaluatie van de resultaten van de grondradar valt op:

- ▶ Beide grondradarsystemen leveren, in het middendeel van locatie 4, resultaten die redelijk goed overeenkomen met resultaten van de handmetingen (onderkant sliblaag). Speciaal één bureau vertoont een relatief goede gelijkens bij het (subjectief) vergelijken van dwarsprofielen,
- ▶ De twee grondradarsystemen leveren in het middendeel zeer vergelijkbare resultaten. Het gemiddelde verschil is minder dan 4 cm.

In figuur 4.6 is de verdeling van de verticale verschillen van circa 700 meetpunten van de twee grondradarsystemen weergegeven.

Figuur 4.6: Verschil metingen grondradarsystemen (verticaal aantal metingen, horizontaal verschil in meters)

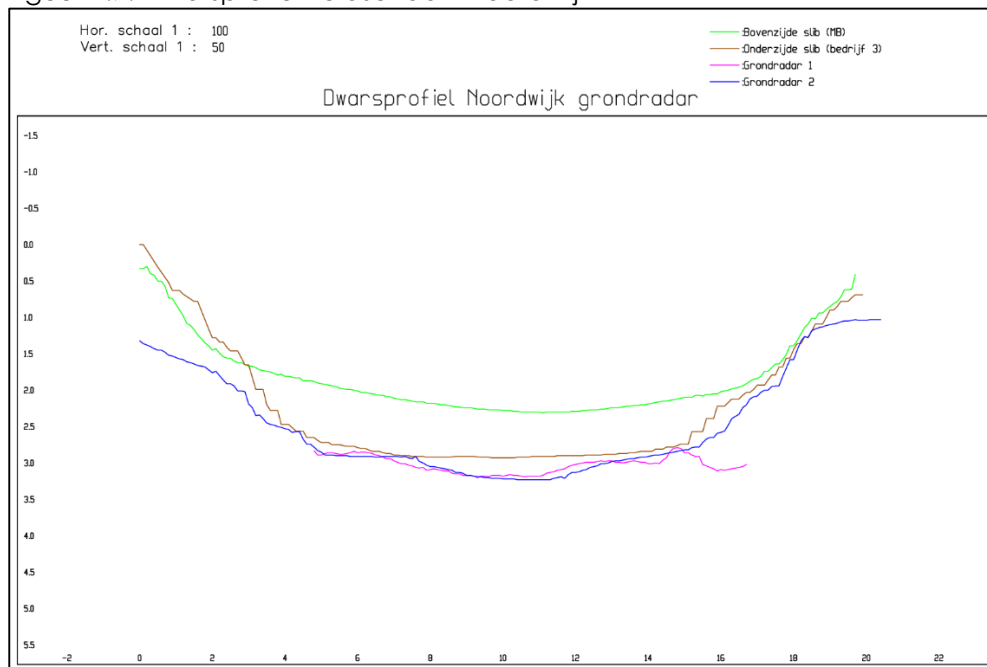


Uit figuur 4.6 blijkt, dat de verschillen van de metingen van de twee systemen relatief veel uitschieters bevatten, tot zelfs iets meer dan een meter. Als dit deel van de data wordt weggelaten, is de data zeer netjes stochastisch (normaal) verdeeld. De toepasbaarheid van de grondradarsystemen lijkt dus uitstekend, mits aandacht wordt gegeven aan het identificeren en elimineren van uitschieters in de meetgegevens. Maar zelfs zonder dit soort fouten te elimineren geven de twee grondradarsystemen veel consistentere resultaten dan de handmetingen. Als op locatie 4 voor de volumeberekeningen hetzelfde gebied wordt genomen als bij de handmetingen bedraagt het verschil circa 65 m³ tussen de twee grondradarsystemen. Dit betreft het verschil in het overlappende gedeelte tussen de twee leveringen, exclusief de oevers.

In figuur 4.7 is een voorbeeld weergegeven van een dwarsprofiel in de Leidsevaart (locatie 4). In dit dwarsprofiel zijn de volgende lijnen weergegeven:

- ▶ Bovenkant van de sliblaag: het samengestelde profiel uit de multibeam metingen,
- ▶ Onderkant van de sliblaag bepaald met de standaard peilstok door één van de meetploegen (willekeurig gekozen),
- ▶ Onderkant van de sliblaag door beide grondradarsystemen.

Figuur 4.7: Dwarsprofiel Leidsevaart Noordwijk



Het dwarsprofiel laat duidelijk zien, dat één van de bedrijven grondradargegevens heeft geleverd die vrijwel van oever tot oever lopen, terwijl het andere bedrijf metingen tot ongeveer 1 meter waterdiepte heeft geleverd. Opvallend is, dat de meting die niet tot de oevers loopt de neiging heeft om dieper weg te lopen aan de zijkant van de meting. De resultaten van één grondradarsysteem 'duikt' aan de rechterzijde van het profiel onder de andere levering. Dit verschijnsel is bij verschillende profielen te zien. Dit verschijnsel verklaart de eenzijdige uitschieters in figuur 4.6.

4.3.6 Techniek F: sonarbootjes

De op afstand bestuurbare peilbootjes, sonarbootjes, zijn op alle vier de locaties ingezet om de bovenkant van de sliblaag in te meten. De bootjes hebben langs-, dwars- en 'zig-zag'-profielen gevaren. De gevaren dwarsprofielen liggen op dezelfde locaties als de dwarsprofielen van de handmetingen.

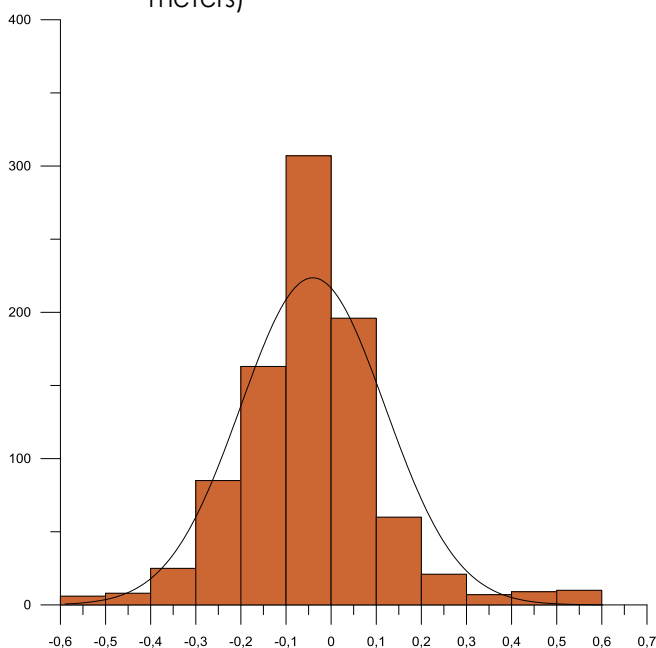
Uit de resultaten blijkt, dat deze techniek veelbelovend is, maar nog wel diverse kinderziektes kent. Daarnaast is de kennis van de gebruikers bepalend voor de resultaten. Een aantal van de metingen/bedrijven leveren resultaten die goed aansluiten op de akoestische metingen en/of de handmetingen van de bovenkant van de sliblaag. Daarentegen zijn vaak (systeem)fouten in de data aanwezig door de volgende oorzaken:

1. Geen gebruik RTK-GPS, maar (D)GPS positionering
Door één deelnemend bedrijf is geen RTK positionering gebruikt, maar voor een groot deel van de metingen gewone GPS of DGPS. Veel van de peilgegevens van de bovenkant van de sliblaag liggen bij projectie op een kaart buiten de watergang,
2. Foute of gebrekkige kalibratie en controle van het systeem:
 - o Transducer diepte onjuist,
 - o Geen correctie voor geluidssnelheid,
 - o Mogelijk fouten met de juiste tijdsregistratie (timing).Van één deelnemend bedrijf is achteraf een correctie op de data toegepast in verband met de transducerdiepte. Daarnaast hebben de bedrijven van de sonarbootjes geen apparatuur om de geluidssnelheid te bepalen. Voor de geluidssnelheid is gebruik gemaakt van de gemeten snelheid tijdens de multibeam metingen.

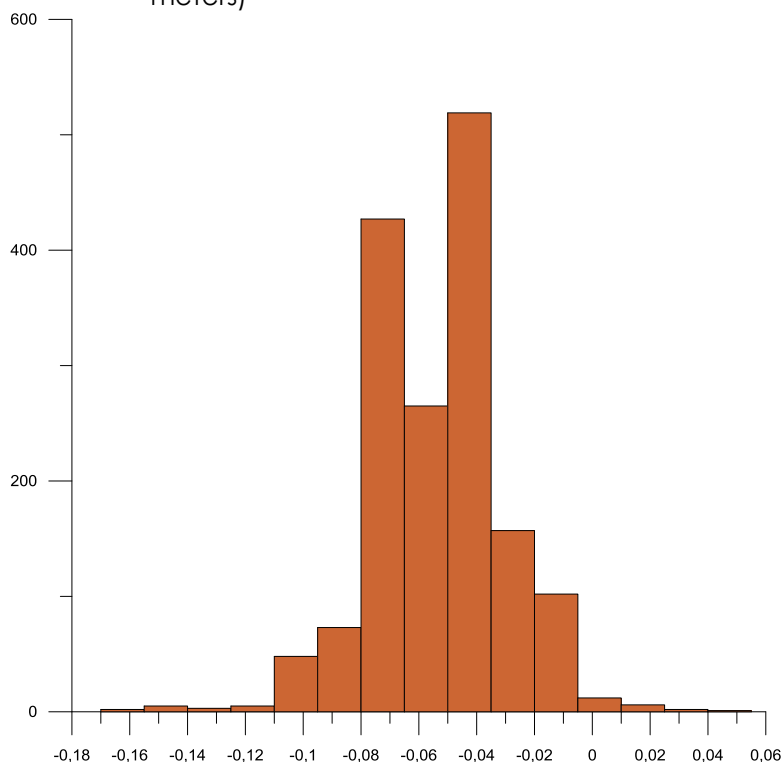
De gegevens van de sonarbootjes zijn op locatie 4 vergeleken met de metingen van de vlakdekkende systemen. Op de overige locaties konden deze alleen vergeleken worden met de handmetingen. Alhoewel uitdrukkelijk voorgeschreven voor de proefneming, blijkt het erg lastig te zijn om met een sonarbootje, nauwkeurig een dwarsprofiel te varen. Om de metingen van de sonarbootjes toch te kunnen vergelijken met de handpeilingen zijn alle gegevens van de sonarbootjes per locatie geïnterpoleerd. De interpolatie heeft plaatsgevonden met een voorkeursrichting in de lengterichting van het gebied. Uit deze geïnterpoleerde data is op de dwarsprofielen, om de halve meter, een diepte 'gesneden', om zo een rechtstreekse vergelijking te kunnen maken met de handmetingen.

De meting van de ligging van de bovenkant van de sliblaag met sonarbootjes komt goed overeen met de vlakdekkende metingen (multibeam/interferometrie). In onderstaande figuren 4.8 en 4.9 is het verschil aangegeven van de meting in het middendeel van locatie 4 met de sonarbootjes van respectievelijk bedrijf 9 en 10 ten opzichte van de samengestelde multibeammeting. Gemiddeld verschilt bedrijf 9 6 cm van de samengestelde multibeammeting; bij bedrijf 10 is dit 4 centimeter. Echter hier zijn de afwijkingen veel groter.

Figuur 4.8: Verschil metingen sonarbootjes en samengesteld multibeamprofiel, middendeel watergang locatie 4, bedrijf 9 (verticaal aantal metingen, horizontaal verschil in meters)

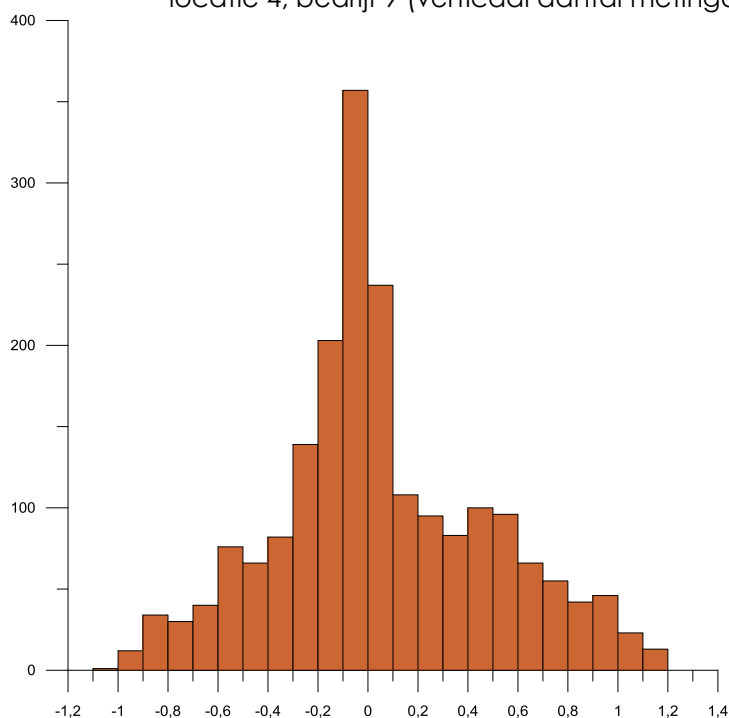


Figuur 4.9: Verschil metingen sonarbootjes en samengesteld multibeamprofiel, middendeel watergang locatie 4, bedrijf 10 (verticaal aantal metingen, horizontaal verschil in meters)

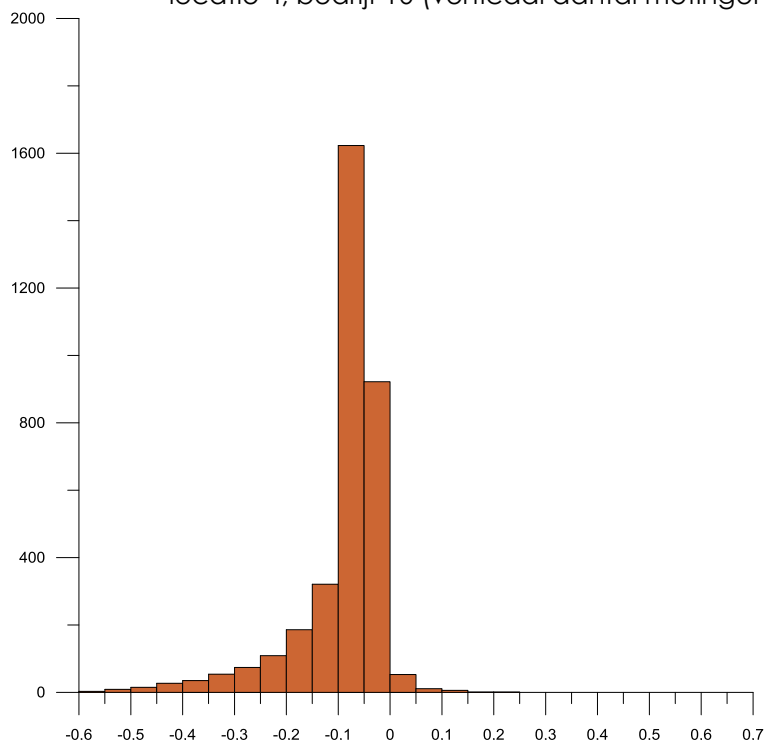


Als ook de taluds betrokken worden in de vergelijking van de meetgegevens van de sonarbootjes en het samengestelde multibeamprofiel veranderen de histogrammen (zie figuren 4.10 en 4.11). Het laatste histogram, van bedrijf 10 laat een meer eenzijdige afwijking zien. Dit duidt op de aanwezigheid van systematische fouten in (vooral) de taluds. Dit wordt naar alle waarschijnlijkheid veroorzaakt door fouten in de positionering (DGPS) en/of de onderlinge timing van signalen.

Figuur 4.10: Verschil metingen sonarbootjes en samengesteld multibeamprofiel, alle data locatie 4, bedrijf 9 (verticaal aantal metingen, horizontaal verschil in meters)



Figuur 4.11: Verschil metingen sonarbootjes en samengesteld multibeamprofiel, alle data locatie 4, bedrijf 10 (verticaal aantal metingen, horizontaal verschil in meters)



4.4 Vergelijking meettechnieken

De volgende vergelijkingen van de metingen van de verschillende technieken zijn gemaakt:

- ▶ Standaard peilstok (A) met peilstok met GPS-bol t.o.v. waterpeil (B1). Hiermee ontstaat inzicht in de invloed van het extra gewicht van de GPS-bol,
- ▶ Peilstok met GPS t.o.v. waterpeil (B1) met peilstok met GPS in x-, y-, z-coördinaten (B2). Hiermee ontstaat inzicht in de verschillen die ontstaan door het meten met RTK-GPS,
- ▶ Standaard peilstok (A) met zuigerboor (C),
- ▶ De gemiddelde ligging van de bovenkant van de sliblaag volgens de standaard peilstok (A-gemiddeld) is op locatie 4 vergeleken met de profieluitsneden van de gemiddelde multibeam (D-gemiddeld), de grondradar (E) en de sonarbootjes (F),
- ▶ De gemiddelde ligging van de bovenkant van de sliblaag volgens de standaard peilstok (A-gemiddeld) is op alle locaties vergeleken met de profieluitsneden van de sonarbootjes (F),
- ▶ De gemiddelde ligging van de onderkant van de sliblaag volgens de standaard peilstok (A-gemiddeld) is op locatie 4 vergeleken met de profieluitsneden van de grondradar (E).

Deze vergelijkingen zijn in de paragrafen 4.4.1 t/m 4.4.6 uitgewerkt.

4.4.1 Standaard peilstok en peilstok met GPS-bol

Het vermoeden bestaat, dat de metingen met GPS-apparatuur worden beïnvloed door het extra gewicht van de GPS-bol. Het profiel met peilstok zonder GPS-bol (z) en met GPS-bol (m) is door elke bedrijf op circa 50 cm van elkaar ingemeten. De hypothese is, dat de waterbodem hetzelfde is, maar dat door het gewicht van de GPS-bol een systematische fout ontstaat. In paragraaf 4.3.1 zijn de resultaten van de metingen van de standaard peilstok besproken en in paragraaf 4.3.2 van de peilstok met GPS-bol. Hierbij is al geconstateerd, dat de verschillen in de meetresultaten bij eenzelfde bedrijf niet groot zijn.

Om verder inzicht in de verschillen te krijgen zijn in de tabellen 4.15 en 4.16 het gemiddelde verschil van de boven- en onderkant van de sliblaag per locatie en meetploeg opgeno-

men. Het gemiddelde verschil is hierbij bepaald door het berekenen van het gemiddelde van de verschillen van alle metingen op een locatie van een meetploeg. Een waarde van -0,10 cm duidt erop, dat de metingen met de standaard peilstok gemiddeld 1 mm dieper liggen dan de metingen met de peilstok met GPS (t.o.v. het waterpeil). Voor het berekenen van de gemiddelde afwijking per meetploeg en locatie is het gemiddelde berekend van de absolute gemiddelden van de betreffende meetploeg of locatie.

Tabel 4.15: Gemiddeld verschil bovenkant sliblaag tussen standaard peilstok en peilstok met GPS t.o.v. waterlijn

Locatie	Type ondergrond	Gemiddeld verschil bovenkant sliblaag per meetploeg (cm)*					Gemiddeld afwijking per locatie
		1	2	3	4	5	
1	Klei	-0,10	0,30	0,30	-0,70	-5,90	1,46
2	Zand	-0,60	0,20	-0,10	1,50	0,50	0,58
3	Veen	0,00	1,90	0,80	-0,10	-5,40	1,64
4	Zand	1,90	1,00	4,80	-1,70	-12,60	4,40
Gemiddeld afwijking per meetploeg		0,65	0,85	1,50	1,00	6,10	2,02

* verschil is berekend als gemiddelde waarde meting peilstok met GPS - meting standaard peilstok

Tabel 4.16: Gemiddeld verschil onderkant sliblaag tussen standaard peilstok en peilstok met GPS t.o.v. waterlijn

Locatie	Type ondergrond	Gemiddeld verschil onderkant sliblaag per meetploeg (cm)*					Gemiddeld afwijking per locatie
		1	2	3	4	5	
1	Klei	-2,00	0,70	4,00	11,70	-18,10	7,30
2	Zand	0,10	-0,80	0,10	2,10	2,80	1,18
3	Veen	-1,20	-0,40	1,60	6,30	-10,00	3,90
4	Zand	-0,20	-7,90	2,20	6,60	-16,00	6,58
Gemiddeld afwijking per meetploeg		0,88	2,45	1,98	6,68	11,73	4,74

Uit de tabellen 4.15 en 4.16 blijkt, dat de verschillen tussen de bovenkant van de sliblaag van de locaties 1 t/m 3 tussen de 0,6 en 1,6 cm liggen. Ook het verschil van de metingen van de onderkant van de sliblaag op locatie 2 geven een kleine afwijking. De bovenkant van de sliblaag op locatie 4 en de onderkant van de sliblaag op de locaties 1, 3 en 4 geven een verschil van bijna 4 tot 7 cm te zien.

Het grotere verschil in onderkant bij meetploeg 4 is mogelijk te verklaren, doordat de metingen met en zonder GPS-bol door twee verschillende personen zijn uitgevoerd. De aanzienlijke verschillen bij meetploeg 5 zijn niet te verklaren. Deze persoon lijkt de eigen metingen slecht te kunnen reproduceren.

Aangezien de verschillen van de technieken per locatie en per meetploeg zowel negatief als positief zijn, kan hiermee geen uitspraak worden gedaan over de invloed van het gewicht van de peilstok met GPS. Uit de resultaten per techniek blijkt het extra gewicht van de GPS geen systematische afwijking van de resultaten te geven; de peilingen met het extra gewicht van de GPS zijn niet aantoonbaar dieper. Wel kan geconcludeerd worden dat een meetploeg het eigen profiel in het algemeen goed kan reproduceren.

4.4.2 Peilstok met GPS t.o.v. waterlijn en coördinaten

Om de invloed van het meten met RTK-GPS te bepalen zijn de verschillen van de metingen tussen de peilstok met GPS met vastlegging t.o.v. x-, y, en z-coördinaten en t.o.v. het waterpeil (wp) geanalyseerd. Zoals aangegeven in paragraaf 4.3.2 zijn van de metingen t.o.v. de coördinaten slechts van twee locaties van de bovenkant van de sliblaag de gegevens goed te gebruiken.

De resultaten van de vergelijking van de twee meettechnieken zijn samengevat in tabel 4.17. In deze tabel is het gemiddelde verschil per locatie en meetploeg opgenomen. Het gemiddelde verschil is hierbij bepaald door het berekenen van het gemiddelde van de verschillen van alle metingen op een locatie van een meetploeg. Voor het berekenen van de gemiddelde afwijking per meetploeg en locatie is het gemiddelde berekend van de absolute gemiddelden van de betreffende meetploeg of locatie.

Tabel 4.17: Gemiddeld verschil bovenkant sliblaag tussen peilstok met GPS t.o.v. waterlijn en peilstok met GPS t.o.v. x, y, z

Locatie	Type ondergrond	Gemiddeld verschil bovenkant sliblaag per meetploeg (cm)*					Gemiddeld afwijking per locatie
		1	2	3	4	5	
1	Klei	2,30	3,90	-1,30	-0,10	-2,40	2,00
2	Zand	3,80	5,50	1,40	0,30	5,60	3,32
3	Veen	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
4	Zand	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Gemiddeld afwijking per meetploeg		3,05	4,70	1,35	0,20	4,00	2,66

* v verschil is berekend als gemiddelde waarde meting peilstok met GPS t.o.v. waterlijn - meting volgens de GPS t.o.v. xyz

Uit tabel 4.17 blijkt, dat de gemiddelde afwijking van alle locaties en meetploegen circa 2,7 cm bedraagt en varieert tussen de 0,1 en 5,6 cm.

4.4.3 Standaard peilstok en zuigerboor

De zuigerboor wordt conform de richtlijn gebruikt voor de verificatie van de ligging van de sliblaag van de handpeilingen. In de praktijk blijkt de zuigerboor met name te worden gebruikt voor de verificatie van de ligging van de onderkant van de sliblaag. Voor de vergelijking van de metingen met de standaard peilstok en de zuigerboor is dan ook nagegaan welke verschillen in de meting van de onderkant van de sliblaag zijn opgetreden. Deze verschillen zijn per locatie en meetploeg opgenomen in tabel 4.18.

Tabel 4.18: Gemiddeld verschil onderkant sliblaag tussen standaard peilstok en zuigerboor

Locatie	Type ondergrond	Profiel	Gemiddeld verschil onderkant sliblaag per meetploeg (cm)*					Gemiddeld afwijking per locatie
			1	2	3	4	5	
1	Klei	5	1,70	26,50	-1,00	10,70	6,20	9,22
2	Zand	5	0,80	1,80	-26,00	1,30	5,00	6,98
3	Veen	5	38,10	0,20	13,50	67,10	4,20	24,62
4	Zand	6	3,40	-7,20	19,60	6,00	44,80	16,20
Gemiddeld afwijking per meetploeg			11,00	8,03	15,03	21,28	15,05	14,08

* v verschil is berekend als gemiddelde waarde meting zuigerboor - meting standaard peilstok

Uit tabel 4.18 blijkt, dat de metingen van de ligging van de onderkant van de sliblaag gemeten met de standaard peilstok en de zuigerboor zeer grote verschillen geven. Gemiddeld bedraagt het verschil over alle locaties ruim 14 cm. Opvallend is, dat de metingen tussen de twee technieken op veel locaties goed overeenkomen, maar dat de meeste meetploegen wel op één (schijnbaar willekeurige) locatie zeer grote verschillen hebben gemeten. Dit sluit aan bij de bevindingen tijdens het veldwerk dat het zetten en interpreteren van de boringen moeizaam en niet volledig foutloos verliep.

4.4.4 Standaard peilstok en multibeam

Voor het vergelijken van de metingen van de bovenkant van de sliblaag van de standaard peilstok en de multibeam metingen is het gemiddelde van alle handpeilingen met de standaard peilstok vergeleken met het samengestelde multibeamprofiel. De vergelijking is uitgevoerd voor locatie 4, profielen 2, 4, 6 en 8.

In bijlage 7 zijn de resultaten van de vergelijking van de profielen opgenomen. De resultaten zijn in tabel 4.19 samengevat. Uit de tabel blijkt, dat de bovenkant van beide profielen zeer goed overeenkomt met een kleine standaarddeviatie. De vergelijking toont aan, dat de systemen beiden geschikt zijn voor het bepalen van de ligging van de bovenkant van de sliblaag. Wel blijken de metingen van het samengestelde multibeamprofiel dieper te liggen dan de handmatige peilingen.

Tabel 4.19: Vergelijking standaard peilstok en multibeam

Locatie	Profiel	Spreiding verschil bovenkant slib (cm)	
		Gemiddeld	Standaarddeviatie
4	2	-3,9	3,4
4	4	-4,3	1,4
4	6	-1,7	1,1
4	8	-1,7	2,4

* verschil is berekend als gemiddelde waarde meting standaard peilstok - samengesteld profiel multibeam

4.4.5 Standaard peilstok en grondradar

Voor het vergelijken van de metingen van de bovenkant van de sliblaag van de standaard peilstok en de grondradarmetingen is het gemiddelde van alle handpeilingen met de standaard peilstok vergeleken met beide grondradarmetingen. De vergelijking is uitgevoerd voor locatie 4, profielen 2, 4, 6 en 8.

In bijlage 7 zijn de resultaten van de vergelijking van de profielen opgenomen. De resultaten zijn in tabel 4.20 samengevat. Uit de tabel blijkt, dat de bovenkant van de gemiddelde peilingen van de standaard peilstok slecht overeenkomen met de metingen met de grondradar. Meetbedrijf 6 geeft een ondiepere ligging van gemiddeld 16 cm; meetbedrijf 8 geeft een diepere ligging van gemiddeld 7 cm. De verschillen zijn dus groot. De grondradar lijkt dan ook niet geschikt voor het bepalen van de ligging van de bovenkant van de sliblaag.

Tabel 4.20: Vergelijking standaard peilstok en grondradar

Locatie	Profiel	Spreiding verschil bovenkant slib (cm)			
		Meetbedrijf 6		Meetbedrijf 8	
		Gemiddeld	Standaarddeviatie	Gemiddeld	Standaarddeviatie
4	2	14,7	2,5	-7,3	2,1
4	4	13,5	5,3	-8,4	5,0
4	6	18,6	4,0	-6,6	1,3
4	8	16,4	2,1	-4,6	0,9

* verschil is berekend als gemiddelde waarde meting standaard peilstok - waarde grondradar

4.4.6 Standaard peilstok en sonarbootjes

Voor het vergelijken van de metingen van de bovenkant van de sliblaag van de standaard peilstok en de metingen van de sonarbootjes is het gemiddelde van alle handpeilingen met de standaard peilstok vergeleken met beide metingen van de sonarbootjes. De vergelijking is uitgevoerd voor locatie 4, profielen 2, 4, 6 en 8. Dit om de uitkomsten te relateren aan de verschillen met de multibeam- en de grondradarmetingen.

In bijlage 7 zijn de resultaten van de vergelijking van de profielen opgenomen. De resultaten zijn in tabel 4.21 samengevat. Uit de tabel blijkt, dat de bovenkant van de gemiddelde peilingen van de standaard peilstok goed overeenkomen met de metingen van bedrijf 10 (gemiddeld absoluut verschil van 2,1 cm, gemiddelde standaarddeviatie 2,6 cm), maar slecht met bedrijf 9 (zeer grote standaarddeviatie, gemiddeld 19 cm).

Tabel 4.21: Vergelijking standaard peilstok en sonarbootjes

Locatie	Profiel	Spreiding verschil bovenkant slib (cm)			
		Meetbedrijf 9		Meetbedrijf 10	
		Gemiddeld	Standaarddeviatie	Gemiddeld	Standaarddeviatie
4	2	2,3	13,5	-1,7	1,9
4	4	-2,7	21,7	-2,6	5,6
4	6	12,6	18,5	1,8	1,5
4	8	0,3	22,3	2,3	1,3

* v verschil is berekend als gemiddelde waarde meting standaard peilstok - waarde sonarbootjes

Deze bevindingen sluiten aan op de eerdere analyse aan de hand van de histogrammen van deze metingen van de sonarbootjes. Daarmee kan deze meettechniek worden gekwalificeerd als veelbelovend voor de vaststelling van de bovenkant sliblaag. De resultaten kunnen kwalitatief van dezelfde orde grootte zijn als wat met handmetingen kan worden bereikt. Wel dienen zaken als positionering, kalibraties en controles dan op orde te zijn. Daarnaast is het belangrijk dat de apparatuur door een deskundige wordt bediend. Het risico bestaat anders dat de resultaten ogenschijnlijk geschikt zijn, maar dit niet zo is.

5 Hoeveelheden baggerspecie

In het voorgaande hoofdstuk zijn de ligging van de boven- en onderkant van de sliblaag tussen dezelfde technieken en de verschillende meettechnieken onderling vergeleken. In het onderhavige hoofdstuk zijn de volgende analyses op het baggervolume uitgevoerd:

- ▶ Verschillen tussen rekenmethoden,
- ▶ Baggervolumes op basis van standaard peilstok,
 - Verschillen in hoeveelheden per locatie,
 - Verschillen in hoeveelheden tussen bedrijven,
- ▶ Baggervolume op basis van zuigerboor,
- ▶ Invloed van het reduceren van het aantal meetpunten per profiel,
- ▶ Invloed van het reduceren van het aantal profielen op een locatie,
- ▶ Hoeveelheid slib elektronische metingen,
- ▶ Vergelijking hoeveelheden vlakdekkende metingen en profielmetingen,
- ▶ Invloed van de bepaling van de ligging van de oever.

De hoeveelheden baggerspecie zijn voor diverse analyses berekend. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- ▶ Voor de berekening van de hoeveelheden is WDB versie 3.0.201 gebruikt,
- ▶ Elk profiel heeft een vastgestelde bepalende lengte, die voor elk bedrijf hetzelfde is,
- ▶ Voor elk bedrijf is hetzelfde waterpeil ten opzichte van NAP aangehouden. De doorgegeven waterpeilen van de bedrijven zijn niet gebruikt,
- ▶ De hoeveelheden zijn tevens binnen een legger berekend. De gebruikte leggers zijn opgenomen in tabel 5.1.

Tabel 5.1: Gebruikte leggers

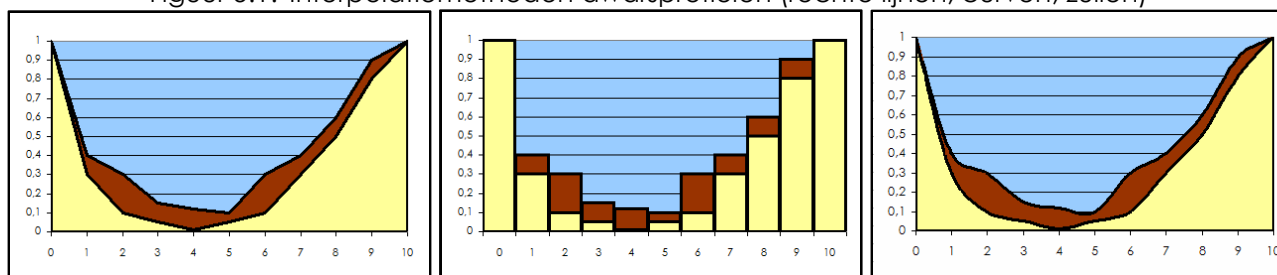
Locatie	Leggertype	Bodemhoogte (m-NAP)	Bodembreedte (m)	Talud	Opmerking
1	Talud vanuit de walkant	-6,4	-	1:2	De onderkant van de legger bevindt zich boven de veronderstelde vaste bodem.
2	Talud vanuit de walkant	-2,05	-	1:2	De legger eindigt in een punt
3	Talud vanuit de walkant	-3,15	-	1:1	De onderkant van de legger bevindt zich boven de veronderstelde vaste bodem.
4	Hoogte, breedte, talud	-3,14	7,5	1:2,5	De onderkant van de legger bevindt zich boven de veronderstelde vaste bodem.

5.1 Rekenmethoden

Theoretische rekenmethode hoeveelheden binnen profiel

De volumes baggerspecie zijn berekend door het volume per profiel te berekenen en dat te vermenigvuldigen met de werkende lengte voor het betreffende profiel. Theoretisch zijn verschillende interpolatiemethoden tussen meetpunten mogelijk om het baggervolume in een dwarsprofiel te berekenen. Dit zijn de rechte lijnenmethode, op basis van curven en de zuilenmethode. In figuur 5.1 zijn deze methoden weergegeven.

Figuur 5.1: Interpolatiemethoden dwarsprofielen (rechte lijnen, curven, zuilen)



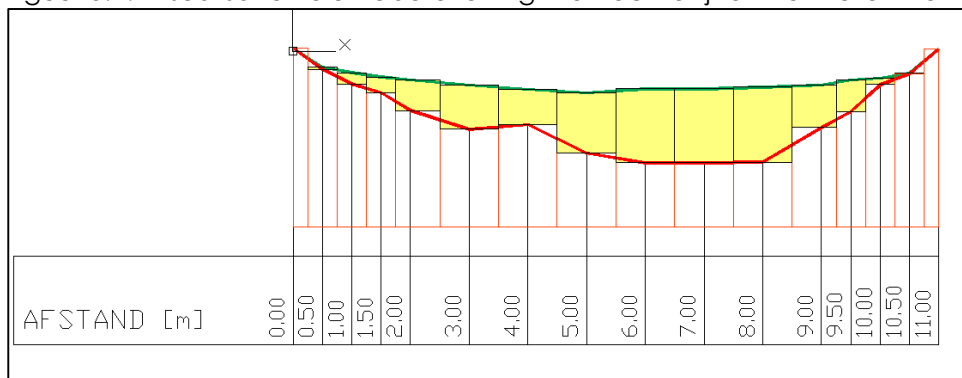
In de praktijk wordt de curvenmethode bij handmatige metingen niet toegepast, vandaar dat deze buiten beschouwing wordt gelaten. Bij de rechte lijnen methode worden de

metingen met rechte lijnen met elkaar verbonden. De oppervlakte tussen de bovenste en onderste lijn geeft het baggervolume. Bij de zuilenmethode wordt een zuil rondom het meetpunt opgesteld. De breedte van een zuil is afhankelijk van de afstand tussen de meetpunten. Het volume wordt per zuil berekend op basis van de oppervlakte van de zuil.

Om te onderzoeken of de resultaten bij de rechte lijnen methode en de zuilenmethode dezelfde resultaten opleveren, is in autocad de berekening met beide methode uitgevoerd (zie figuur 5.2). Als afstand tussen de meetpunten is op het talud 0,5 m aangehouden; in het midden 1,0 m. De zuilen hebben vervolgens de volgende breedten:

- ▶ 0,25 meter: eerste en laatste meting,
- ▶ 0,5 meter: metingen in talud,
- ▶ 0,75 meter: overgangen talud naar middendeel,
- ▶ 1,0 meter: in het middendeel.

Figuur 5.2: Visualisatie volumeberekening met rechte lijnen - en zuilenmethode



De resultaten van beide berekeningen, namelijk het oppervlakte tussen de groene en rode lijn en de som van de geel gearceerde stukken (zuil bovenkant slib – zuil onderkant slib) is gelijk. Beide rekenmethoden leiden, mits de correcte zuilbreedten worden toegepast tot hetzelfde resultaat.

Gebruikte rekenmethode bedrijven handmatige metingen

De bedrijven, die de handmatige metingen hebben uitgevoerd, hebben de berekeningen van de hoeveelheden op de volgende manieren uitgevoerd:

1. Berekening in WDB: 3 bedrijven,
 2. Berekening in oppervlaktes in profiel in Autocad: 1 bedrijf,
 3. Berekening in Excel: 1 bedrijf.
1. Berekening in WDB
De volumeberekening binnen een profiel in WDB berust op de rechte lijnen methode. De profielen zijn vanuit WDB te exporteren naar Autocad (dxf-bestand). De weergave in Autocad is een weergave als in linkerafbeelding van figuur 5.1 (rechte lijnen methode). Het in WDB berekende volume komt overeen met de oppervlakte in het Autocad bestand.
 2. Berekening in Autocad
De hoeveelheden zijn gebaseerd op oppervlakten in de dwarsprofielen in Autocad. De methode komt overeen de rechte lijnen methode.
 3. Berekening in Excel
Eén meetbedrijf heeft de berekening uitgevoerd in Excel. Per meting wordt een volume berekend en per profiel gesommeerd. De uitgevoerd berekening is:

$$m^2 = dX_{(x2-x1)} * ((Z_{ok2}-Z_{bk2}) + (Z_{ok1}-Z_{bk1}))/2$$

Waarin: m^2 = oppervlakte in profiel voor meetpunt 2,
 $dX_{(x2-x1)}$ = afstand tussen meetpunt 1 en 2,
 Z_{bk1} = diepte bovenkant sliblaag bij meetpunt 1,
 Z_{ok2} = diepte onderkant sliblaag bij meetpunt 2.

Deze berekening in Excel komt ook overeen met de rechte lijnen methode.

De volumeberekening wordt door de deelnemende handmatig metende bedrijven op drie verschillende methoden uitgevoerd. De achterliggende interpolatiemethode tussen de meetpunten is echter hetzelfde, namelijk de rechte lijnen methode. Verder kan worden geconcludeerd dat de zuilenmethode, mits de correcte breedten voor de zuilen worden toegepast, hetzelfde resultaat oplevert als de rechte lijnen methode.

5.2 Baggervolume standaard peilstok

Bij de analyse van de meetgegevens zijn de verschillen in de ligging van de boven- en onderkant van de sliblaag inzichtelijk gemaakt. In onderhavige paragraaf is de invloed hiervan op de verschillen in baggervolumes beschreven.

Verschillen in hoeveelheden per locatie

In tabel 4.8 (paragraaf 4.3.1) zijn per locatie de volumes slib (minimum, maximum, gemiddeld) en de standaarddeviatie (m³, %) opgenomen. Hierbij is de totale hoeveelheid slib (verschil boven- en onderkant sliblaag) berekend. De standaarddeviatie voor de locaties 2 en 3 bedraagt respectievelijk 6% (6 m³) en 8% (101 m³) van de gemiddelde hoeveelheid slib; voor de locaties 1 en 4 circa 20% (respectievelijk 163 en 390 m³). Op basis van de analyse van de meetgegevens worden deze verschillen hoofdzakelijk verklaard door de verschillen in de ligging van de onderkant van de sliblaag.

Om de invloed van de onnauwkeurige bepaling van de onderkant van de sliblaag uit te sluiten zijn de hoeveelheden tevens berekend ten opzichte van het leggerprofiel. De gehanteerde leggerprofielen zijn opgenomen in tabel 5.1. De berekende hoeveelheden slib (minimum, maximum, gemiddeld) en de standaarddeviatie (m³, %) zijn opgenomen in bijlage 9 en samengevat in tabel 5.2.

Tabel 5.2: Hoeveelheid slib binnen de legger

Locatie	Hoeveelheid slib (m ³ in-situ)			Standaarddeviatie hoeveelheid	
	Minimum	Maximum	Gemiddeld	Hoeveelheid (m ³)	% van gemiddelde
1	318	383	344	28	8,1%
2	62	79	71	6	8,5%
3	94	160	122	26	21,3%
4	542	640	591	42	7,1%

Uit tabel 5.2 blijkt, dat de hoeveelheden per locatie in absolute zin beter overeenkomen. De verschillen in baggervolume tussen de bedrijven nemen af. De standaarddeviatie voor de locaties 1, 2 en 4 is lager dan 10%; bij locatie 3 is deze afwijking toegenomen naar 21%. De toename van de relatieve afwijking voor locatie 3 is te verklaren, doordat weinig slib binnen de legger aanwezig is en hierdoor het relatieve verschil groter wordt.

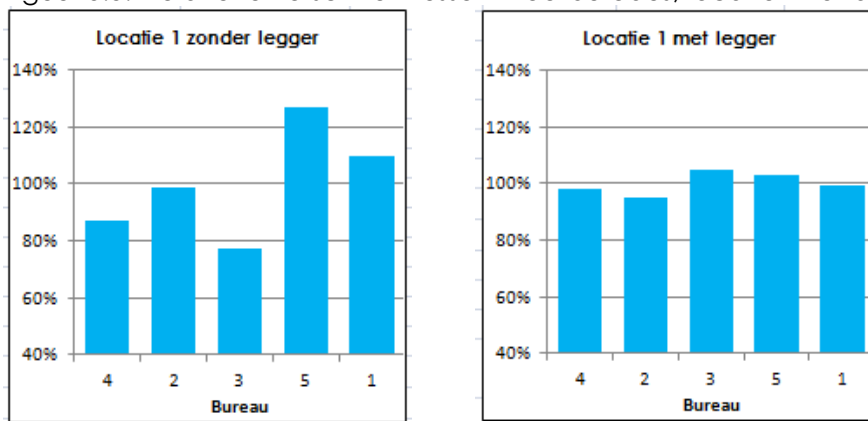
Verschillen in hoeveelheden tussen bedrijven

Uit de analyse van de meetpunten tussen de bedrijven blijken onderlinge verschillen aanwezig. Soms meet een bedrijf dieper dan gemiddeld en soms ondieper. Om de gevolgen hiervan op het volume te berekenen is de volgende analyse uitgevoerd: per locatie is het gemiddelde baggervolume berekend en vervolgens is de relatieve afwijking van elk bedrijf ten opzichte van dit baggervolume bepaald. Deze analyse is gedaan voor het totale volume slib (tabel 4.8) en het volume slib binnen de legger (tabel 5.2).

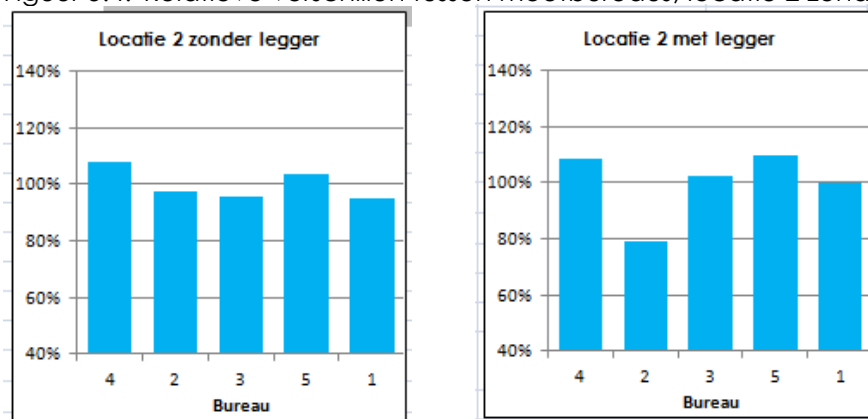
De resultaten van deze analyse zijn in de figuren 5.3 t/m 5.6 grafisch weergegeven. Uit de figuren blijkt het volgende:

- ▶ De totale hoeveelheid slib (zonder legger) van meetploeg 2 komt op de locaties 1 t/m 3 goed overeen met de gemiddelde hoeveelheid. Meetploeg 5 ligt steeds boven het gemiddelde en meetploeg 4 veelal er onder,
- ▶ Bij de hoeveelheden ten opzichte van de legger blijken de hoeveelheden zich meer rond het gemiddelde te bevinden. Bij locatie 2 vormt meetploeg 2 hierop een uitzondering; relatief meet bedrijf 2 op locatie 2 ruim 20% minder dan de overige bedrijven.

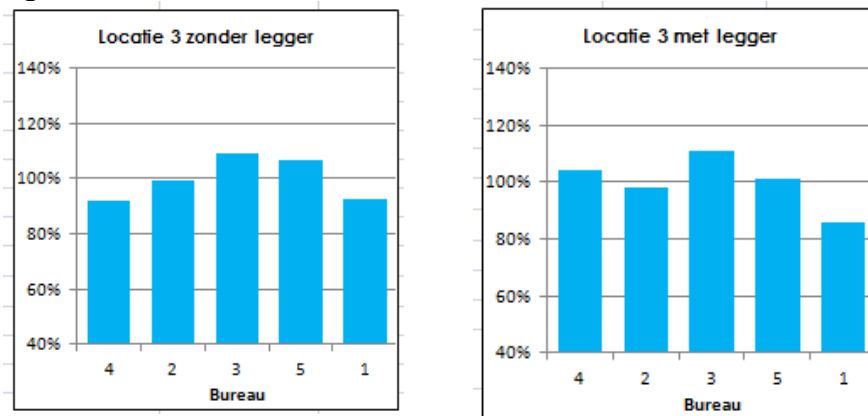
Figuur 5.3: Relatieve verschillen tussen meetbureaus, locatie 1 zonder en met legger



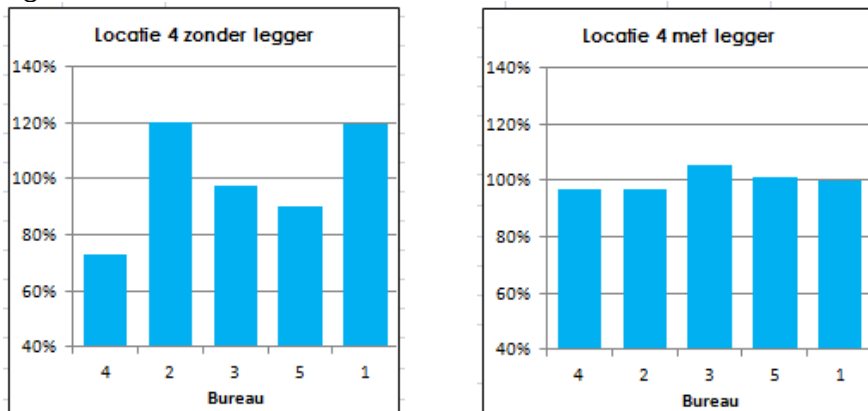
Figuur 5.4: Relatieve verschillen tussen meetbureaus, locatie 2 zonder en met legger



Figuur 5.5: Relatieve verschillen tussen meetbureaus, locatie 3 zonder en met legger



Figuur 5.6: Relatieve verschillen tussen meetbureaus, locatie 4 zonder en met legger



5.3 Baggervolume zuigerboor

In de praktijk worden zuigerboormetingen niet gebruikt voor het inmeten van dwarsprofielen en het berekenen van hoeveelheden, maar wel voor de verificatie van de ligging van de (onderkant van de) sliblaag. In het onderzoek is ervoor gekozen om per locatie elk bedrijf in één profiel met de zuigerboor de ligging van de sliblaag in te meten om hiermee inzicht te krijgen in de nauwkeurigheid van deze techniek.

In paragraaf 4.4.3 is een vergelijking gemaakt tussen de meting van de onderkant van de sliblaag met de standaard peilstok en de zuigerboor. Hieruit bleek, dat de metingen van beide technieken op veel locaties goed overeenkomen en op een andere locatie (verschillend per bedrijf) zeer grote verschillen gaven. Om de invloed van deze verschillen op het uiteindelijke verschil in volume te bepalen zijn in tabel 5.3 van het ingemeten profiel per locatie de gemiddelde hoeveelheid van de 5 meetploegen gepresenteerd zowel van de meting met de zuigerboor als van de meting met de standaard peilstok.

Tabel 5.3: Gemiddelde hoeveelheid slib met zuigerboor en standaard peilstok

Locatie	Bepalende lengte (m)	Gemiddelde hoeveelheid slib (m ³)	
		Zuigerboor	Standaard peilstok
1 (profiel 5)	22,5	66	83
2 (profiel 5)	24,5	5	6
3 (profiel 5)	25	124	142
4 (profiel 6)	50	516	507

Uit tabel 5.3 blijkt, dat met de zuigerboor (met uitzondering van locatie 4) gemiddeld minder slib wordt gemeten dan met de standaard peilstok. Alhoewel gemiddelde waarden worden vergeleken van slechts één profiel per locatie lijken de waarden redelijk overeen te komen. Het gebruik van een zuigerboor is niet geschikt voor het bepalen van volumes, maar lijkt bij juist gebruik wel een goed hulpmiddel voor de verificatie van de handmatige peiling.

5.4 Invloed reduceren aantal meetpunten per profiel

Om inzicht te krijgen in de invloed van de afstand tussen de meetpunten in een profiel op het baggervolume is voor het validatie-onderzoek een kortere afstand tussen de meetpunten aangehouden dan volgens de huidige richtlijn is voorgeschreven. Dit geeft de mogelijkheid om te 'spelen' met het weglaten van meetwaarden en de gevolgen hiervan op het volume te berekenen. Hiervoor zijn drie scenario's uitgewerkt. In tabel 5.4 is de afstand tussen de meetpunten per scenario opgenomen. Bij een dubbele waarde in een cel is de afstand op de taluds en in het middendeel van de watergang aangegeven.

Tabel 5.4: Afstand tussen meetpunten in profiel per scenario

Locatie	Breedte watergang (m)	Afstand tussen meetpunten in profiel (m)		
		Validatie-onderzoek	Conform Richtlijn	Verdere reductie
1	6 - 7	0,5	1,0	1,0 - 2,0
2	3 - 5	0,5	0,5	1,0
3	7 - 12	0,5	1,0 - 2,0	2,0 - 5,0
4	20 - 21	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 5,0

In tabel 5.5 is per scenario de totale hoeveelheden slib opgenomen; in tabel 5.6 de hoeveelheid slib boven de legger.

Uit de tabellen blijkt, dat het volume slib (totale hoeveelheid, hoeveelheid boven legger) nauwelijks varieert indien het aantal meetpunten wordt teruggebracht tot het voorgeschreven aantal in de richtlijn. Ook indien het aantal meetpunten nog verder wordt teruggebracht verandert het volume slib nauwelijks.

Tabel 5.5: Totale hoeveelheid slib per scenario

Locatie	Totale hoeveelheid slib (m ³)		
	Validatie-onderzoek	Conform Richtlijn	Verdere reductie
1	833	833	803
2	104	104	98
3	1.300	1.297	1.282
4	1.921	1.871	1.864

Tabel 5.6 Totale hoeveelheid slib boven legger per scenario

Locatie	Hoeveelheid slib boven legger (m ³)		
	Validatie-onderzoek	Conform Richtlijn	Verdere reductie
1	324	329	330
2	65	64	68
3	524	536	539
4	592	600	658

5.5 Invloed reduceren aantal profielen op locatie

De hoeveelheid baggerspecie wordt berekend door een dwarsprofiel representatief te stellen voor een bepaalde lengte. Door een grotere dichtheid aan dwarsprofielen wordt het daadwerkelijk volume beter benaderd. Bij een te lage dichtheid bestaat de kans dat de gemeten profielen niet voldoende representatief zijn en het berekende volume sterk afwijkt van het daadwerkelijke volume.

Voor de 4 locaties zijn de gevolgen van het weglaten van profielen op de hoeveelheid baggerspecie berekend. Hiervoor zijn de volgende berekeningen uitgevoerd:

1. Het berekenen van het volume op basis van het profiel met het hoogste en laagste volume slib. Immers in theorie kan een dwarsprofiel op een willekeurige locatie worden ingemeten,
2. Het berekenen van het baggervolume op basis van een afnemend aantal dwarsprofielen, die logisch (eerlijk verdeeld over de watergang) worden gekozen.

Minimale en maximale volume per locatie

Voor het berekenen van de minimale en maximale hoeveelheid slib is per locatie het aantal profielen aangehouden, dat volgens de richtlijn ingemeten zou moeten worden (zie tabel 5.7). Zoals uit tabel 5.7 blijkt, dienen op locatie 4 volgens de richtlijn 4 profielen te worden ingemeten. Aangezien op deze locatie slechts 4 profielen zijn gemeten, kan voor de onderhavige analyse niet tussen de beschikbare profielen worden gevarieerd en is deze locatie buiten beschouwing gelaten.

Tabel 5.7: Bepaling profielafstand en aantal profielen volgens richtlijn

Locatie	Lengte (m)	Hoeveelheid slib (m ³ /m1)	Bestemming	Eisen richtlijn	
				Profielafstand	Aantal profielen
1	250	> 3	Verspreiden	100	2
2	225	< 3	Verspreiden	200	1
3	250	> 3	Verspreiden	100	2
4	200	> 3	Toepassen	50	4

Om de maximale variatie in de hoeveelheid slib te bepalen zijn per locatie (uit alle gemeten profielen) profielen geselecteerd met de kleinste en grootste hoeveelheid slib. Deze profielen zijn representatief gesteld voor een locatie. In tabel 5.8 is de minimale en maximale totale hoeveelheid slib per locatie opgenomen; in tabel 5.9 de hoeveelheden boven de legger.

Tabel 5.8: Minimale en maximale totale hoeveelheid slib per locatie

Locatie	Aantal profielen	Hoeveelheid slib (m ³)		Verschil (%)
		Minimaal	Maximaal	
1	2	695	1.007	45
2	1	57	280	391
3	2	686	2.005	192

Tabel 5.9 Minimale en maximale hoeveelheid slib binnen legger per locatie

Locatie	Aantal profielen	Hoeveelheid slib (m ³)		Verschil (%)
		Minimaal	Maximaal	
1	2	263	402	53
2	1	30	137	357
3	2	353	662	88

Uit de tabellen 5.8 en 5.9 blijkt, dat de locatie van de profielen zeer bepalend is voor de hoeveelheid slib. Op locatie 2 bedraagt het verschil tussen de minimale en maximale hoeveelheid bijna 400%. Op deze locatie bleek de reproduceerbaarheid van de metingen tussen de bureaus onderling hoog. Het nu berekende verschil in hoeveelheid slib wordt dus verklaard door de heterogeniteit in de ligging van de sliblaag in de watergang.

Reduceren aantal profielen

Om verder inzicht te krijgen in de invloed van het aantal ingemeten profielen op de uiteindelijke hoeveelheid slib zijn 5 scenario's doorgerekend, waarbij het aantal profielen steeds verder is gereduceerd. De profielen zijn hierbij steeds gelijkmatig verdeeld over de watergang gesitueerd. In tabel 5.10 is het aantal profielen per scenario opgenomen.

Tabel 5.10: Aantal profielen per scenario

Locatie	Aantal profielen per scenario				
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
1	10	5	3	2*	1
2	10	5	3	2	1*
3	10	5	3	2*	1
4	-	4*	3	2	1

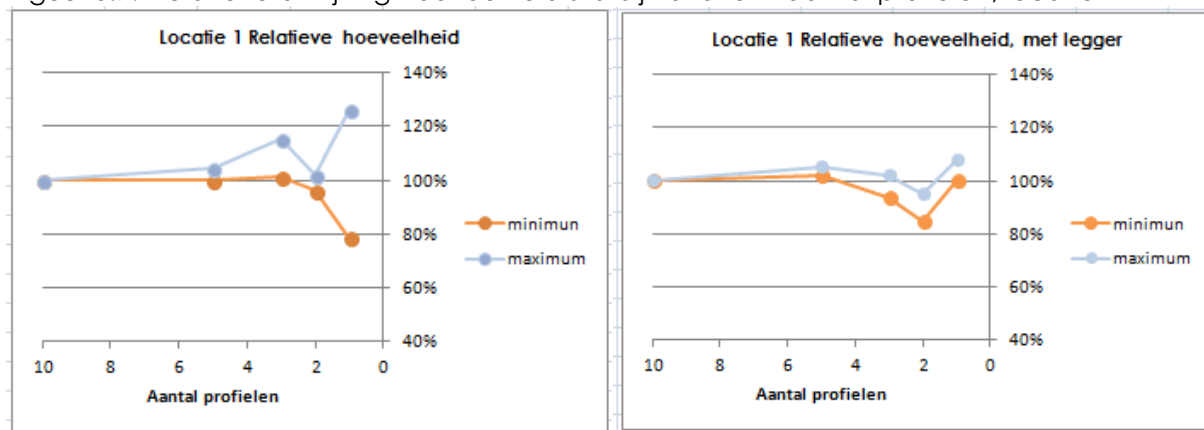
* aantal in te meten profielen conform richtlijn

De resultaten van de analyse zijn in de figuren 5.7 t/m 5.10 gepresenteerd. In de figuren is de hoeveelheid slib op basis van 10 profielen (voor locatie 4, 4 profielen) per bedrijf beschouwd als 100%. Het volume bij minder profielen is per bedrijf per locatie uitgedrukt als percentage van de hoeveelheid bij het maximaal aantal profielen. In de figuren is per scenario het laagste en hoogste percentage weergegeven. In het onderstaande worden de resultaten per locatie beschouwd.

Locatie 1

Conform de richtlijn volstaat op deze locatie het inmeten van 2 profielen. Bij 2 profielen blijkt het volume bij alle bedrijven nagenoeg gelijk te zijn als het volume op basis van 10 profielen. Indien het volume op basis van 1 profiel wordt berekend wijken de hoeveelheden aanzienlijk af. Bij de berekening t.o.v. een legger liggen de verschillen in hoeveelheden bij een reductie van het aantal profielen dicht bij elkaar.

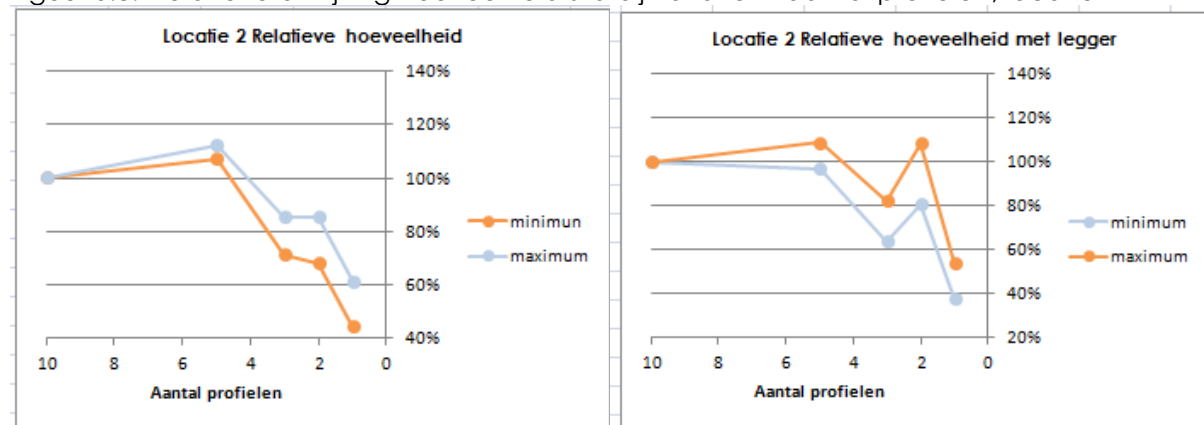
Figuur 5.7: Relatieve afwijking hoeveelheid slib bij variatie in aantal profielen, locatie 1



Locatie 2

Op locatie 2 dient conform de richtlijn 1 profiel te worden ingemeten. Bij 1 profiel bedraagt het minimale volume slechts 41% van het volume op basis van 10 profielen. Ook bij het toevoegen van een legger verandert het baggervolumes bij minder profielen aanzienlijk.

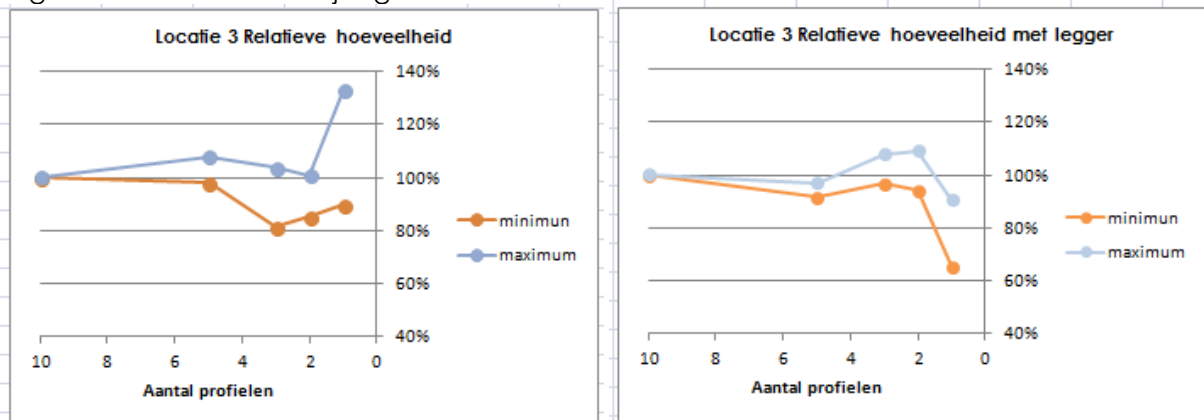
Figuur 5.8: Relatieve afwijking hoeveelheid slib bij variatie in aantal profielen, locatie 2



Locatie 3

Conform de richtlijn volstaat op locatie 3 het inmeten van 2 profielen. Bij 2 profielen varieert de hoeveelheid slib tussen de 80 en 100% van de hoeveelheid op basis van 10 profielen. Bij de berekening t.o.v. een legger is de variatie bij 2 profielen minder groot. Bij het meten van 1 profiel worden de afwijkingen duidelijk groter.

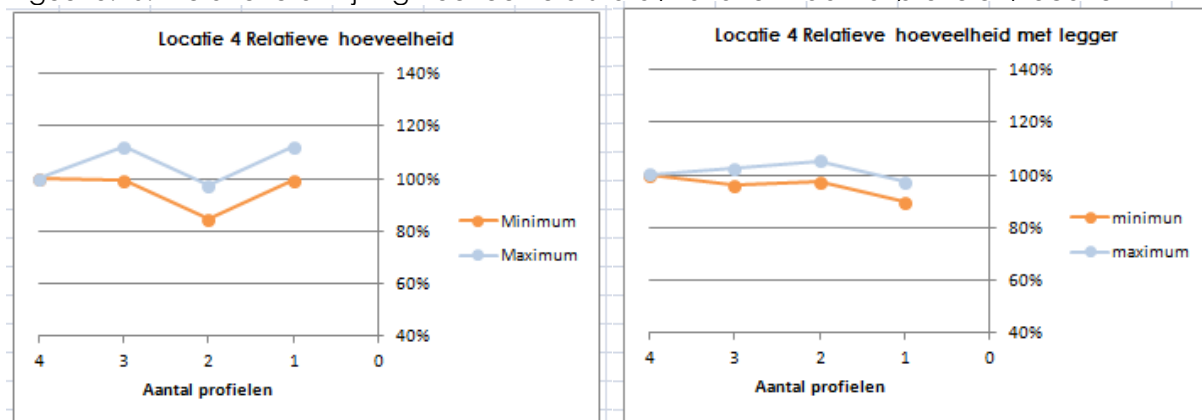
Figuur 5.9: Relatieve afwijking hoeveelheid slib bij variatie in aantal profielen, locatie 3



Locatie 4

Op locatie 4 dienen conform de richtlijn 4 profielen te worden ingemeten. Op deze locatie zijn dit alle profielen die bruikbaar zijn. Indien minder profielen worden gebruikt om het baggervolume te berekenen blijft het volume zeer goed overeenkomen. Ditzelfde geldt ook bij het berekenen van de hoeveelheden t.o.v. een legger.

Figuur 5.10: Relatieve afwijking hoeveelheid slib bij variatie in aantal profielen, locatie 4



5.6 Hoeveelheid slib elektronische metingen

Voor het bepalen van de hoeveelheid slib uit de elektronische metingen zijn de metingen van de sonarbootjes en de multibeam vergeleken met een vaste diepte (legger).

Sonarbootjes

Voor het berekenen van de hoeveelheden zijn per locatie per bedrijf de dieptemetingen van de sonarbootjes vlakdekkend geïnterpoleerd. Voor deze handelingen en berekeningen is gangbare (hydrografische) software zoals Qinsy en Surfer gebruikt. De berekende hoeveelheden t.o.v. de legger zijn opgenomen in tabel 5.11

Tabel 5.11: Hoeveelheid slib binnen de legger volgens sonarbootjes

Locatie	Hoeveelheid slib boven legger (m ³)		
	Bedrijf A	Bedrijf B	Gemiddeld
1	172	54	113
2	190	515	353
3	608	-	-
4	2.389	2.561	2.475

Uit tabel 5.11 blijkt, dat de berekende volumes op basis van de metingen van beide bedrijven sterk verschillen en dus onbetrouwbaar zijn. Dit wordt veroorzaakt, doordat in een aantal gevallen niet dekkend gemeten is en fouten zijn gemaakt met bijvoorbeeld de transducerdiepte, geluidssnelheid en ook de positionering.

Multibeam

De volumebepaling uit de vlakdekkende systemen (multibeam, interferometrisch) laten een consistente uitkomst zien (zie tabel 5.12). De verschillen laten zich verklaren uit de mate waarin een systeem in staat is om volledig van oever tot oever te meten. De hoeveelheden zijn met een andere legger berekend dan de hoeveelheden in tabel 5.11 en zijn derhalve niet vergelijkbaar.

Tabel 5.12: Hoeveelheid slib binnen de legger volgens multibeam

Locatie	Hoeveelheid slib boven legger (m ³)			
	Bedrijf A	Bedrijf B	Bedrijf C	Gemiddeld
4	460	459	525	481

5.7 Vergelijking hoeveelheden vlakdekkende metingen en profielen

De klassieke wijze van volumebepaling in het soort watergangen dat betrokken is bij deze validatie is het inmeten van profielen. Hierbij wordt aangenomen dat de bodemligging tussen twee profielen, min of meer, lineair geïnterpoleerd mag worden. In de volumeberekening wordt geen rekening gehouden met de lokale variaties in bodemligging tussen de profielen zoals die zich werkelijk voordoet.

In het onderzoek zijn op een aantal locaties ook (semi)vlakdekkende metingen uit elektronische metingen beschikbaar. Deze technieken worden steeds beter toepasbaar in ook kleinere en ondiepere watergangen. Met de gegevens uit het onderhavige onderzoek kan worden nagegaan of een volumebepaling uit een vlakdekkende meting een betrouwbaarder volume geeft dan interpolatie tussen profielen. De ene techniek 'negeert' de lokale variaties in bodemligging tussen profielen en de mogelijk variatie in het begin en einde van het profiel. De andere techniek betreft (bijna) iedere variatie in bodemligging in de berekening.

Op locatie 4 (Noordwijk) zijn meerdere vlakdekkende metingen van oever tot oever beschikbaar van de bovenkant van de sliblaag. Van één van deze metingen is op de volgende manieren het volume bepaald ten opzichte van een (verdiepte) legger:

1. Volledig vlakdekkend over het gehele oppervlakte van het eerste t/m het laatste profiel. Elektronische metingen van de bovenkant van de sliblaag ten opzichte van de legger,
2. Met alleen de waarde voor de bovenkant van de sliblaag en de legger gesneden uit dezelfde dwarsprofiellocaties als gebruikt voor de handmatige metingen. Voor 5 profielen. Iedere halve meter in talud, om de meter in het middendeel van de watergang,
3. Als bij 2, maar dan: met weglaten van het tweede en voorlaatste profiel. Dus met 3 profielen,
4. Als bij 2 maar dan: met alleen het eerste en het laatste profiel.

Bij de andere volumebepalingen in deze evaluatie zijn alleen 4 profielen meegenomen, omdat als gevolg van baggerwerkzaamheden profiel 10 niet betrouwbaar bleek te zijn (sterk bodemverloop aan weerszijden van het profiel). In de onderhavige berekening is dit profiel, bewust, wel meegenomen om hiermee het verschil met het vlakdekkend inmeten aan te tonen.

Tabel 5.13: Vergelijking hoeveelheid slib t.o.v. legger, vlakdekkend versus profielmetingen

Locatie	Hoeveelheid slib boven legger (m ³)				
	Vlakdekkend	5 profielen	3 profielen	2 profielen	Gemiddeld
4	2.206	2.063	1.980	1.967	2.003
Vershil	Referentie	-6%	-10%	-11%	-9%

In tabel 5.13 zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven. Opvallend is dat de volumeberekeningen met profielen altijd een lagere waarde opleveren dan de vlakdekkende berekening (in deze situatie). Dit wordt veroorzaakt, doordat de profielen niet representatief gekozen zijn voor de verdieping van de bovenkant van de sliblaag bij profiel 10.

Deze resultaten zijn een duidelijk bewijs dat vlakdekkende berekeningen een betrouwbaardere uitkomst kunnen leveren, afhankelijk van de locatie. Onzekerheden van orde grootte 10% in het volume worden geïntroduceerd bij volumes uit profielen. De grootte en mate van de afwijking/onbetrouwbaarheid hangt in zeer sterke mate af van het verloop van de ligging van de bovenkant van de sliblaag, aanwezigheid van kunstwerken, etc.

5.8 Invloed bepaling ligging oever op hoeveelheid slib

Bij de validatie is gebleken, dat het bepalen van de ligging van de oever niet eenduidig is. De gemeten breedten van de profielen per watergang verschillen significant (zie paragraaf 4.2). Verwacht wordt echter, dat langs de oevers relatief weinig slib aanwezig is. Aan de hand van een vlakdekkende elektronische meting op locatie 4 is onderzocht welke invloed het niet meenemen van het volume langs de oevers heeft op het totale volume slib.

Voor deze analyse zijn de hoeveelheden slib t.o.v. een (verdiepte) legger berekend voor de volgende situaties:

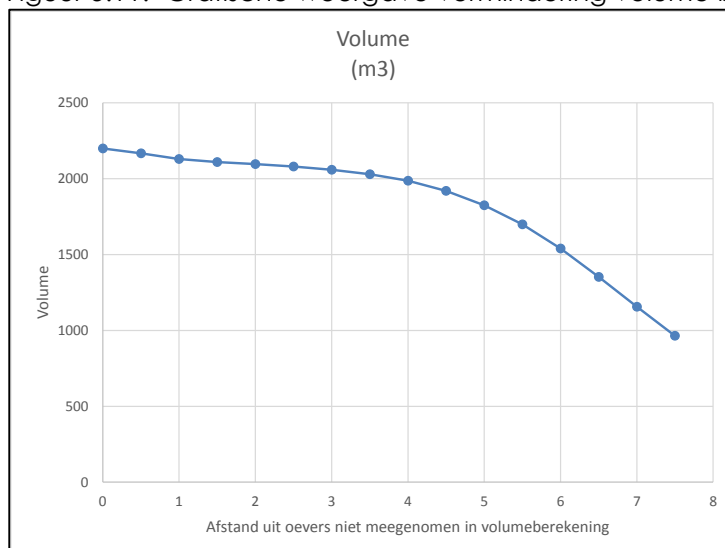
- ▶ Het gehele gemeten gebied van oever tot oever,
- ▶ Als boven, maar dan de eerste halve meter vanaf de oevers niet,
- ▶ Als boven, maar dan de eerste meter niet,
- ▶ Et cetera.

Locatie 4 betreft een watergang van circa 20 meter breedte. Voor de berekening is een wat verdiepte legger gebruik, zodat ook onder de oevers materiaal is te verwijderen. De uitkomsten van de berekening zijn opgenomen in tabel 5.14 en weergegeven in figuur 5.11.

Tabel 5.14: Bepaling vermindering volume slib bij weglaten deel oevers

Afstand uit oever (m)	Hoeveelheid slib (m ³)	Vermindering volume (%)
0	2.200	0
0,5	2.167	1,5
1	2.130	3,2
1,5	2.110	4,1
2	2.096	4,7
2,5	2.081	5,4
3	2.060	6,4
3,5	2.029	7,8
4	1.986	9,7
4,5	1.921	12,7
5	1.826	17,0
5,5	1.699	22,8
6	1.540	30,0
6,5	1.353	38,5
7	1.157	47,4
7,5	965	56,1

Figuur 5.11: Grafische weergave vermindering volume bij weglaten deel oevers



Het initiële volume is 2.200 m³. Uit tabel 5.14 en figuur 5.11 blijkt, dat door het achterwege laten van 1 meter aan weerszijden van de watergang het baggervolume met slechts 3 % afneemt. Verder blijkt uit de resultaten, dat ruim de helft van het volume in het middelste 'één-derde' deel van de watergang zit.

Geconcludeerd kan worden, dat op deze locatie het nauwkeurig bepalen van de ligging van de oevers niet kritisch is. In het gegeven voorbeeld is de legger verdiept. Hierbij is er ook materiaal te verwijderen nabij de oever. Als de eerste meter watergang vanuit de oevers wordt weggelaten, is de invloed relatief klein. 10% vermindering van de breedte van de watergang levert zo'n 3% vermindering in volume. De conclusies uit dit rekenvoorbeeld gaan ook op voor volumes bepaald uit profielen. Rekenkundig maakt dat geen verschil. Het doorvertalen naar andere locaties is sterk afhankelijk van de situatie ter plaatse.

6 Conclusies

In de validatie is onderzoek gedaan naar de mate van reproduceerbaarheid van handmatige meetmethoden voor het bepalen van volumes baggerspecie. De watergangen, waarin het onderzoek is uitgevoerd, worden representatief geacht voor de waterschapswateren. Daarnaast is een grotere watergang in het onderzoek meegenomen om een relatie te kunnen leggen met elektronische meetmethoden. Getracht is de omstandigheden voor het meten te optimaliseren, zodat met het onderzoek uitspraken kunnen worden gedaan over de verschillen die ontstaan door de uitvoering van de metingen door verschillende meetploegen. De grote hoeveelheid vergelijkbare meetdata geeft de mogelijkheid de belangrijkste foutenbronnen te bepalen die optreden bij het meten en berekenen van baggervolumes. Gerealiseerd moet worden dat de exacte waarden zoals gepresenteerd in dit onderzoek locatie-afhankelijk kunnen zijn, maar wel een duidelijke aanwijzing zijn voor de reproduceerbaarheid en/of nauwkeurigheid van de onderzochte technieken.

De belangrijkste foutenbron is de onbetrouwbaarheid, waarmee de onderkant van de sliblaag kan worden vastgesteld. Uitgezonderd bij een duidelijk hardere vaste bodem, zoals bij de overgang van slib op zand, kan met een handmatige methode niet betrouwbaar de onderkant van de sliblaag worden vastgesteld. Opvallend hierbij is, dat de herhaalbaarheid door een persoon voor de bepaling van de onderkant van de sliblaag op een locatie vaak wel redelijk tot goed is, terwijl de verschillen tussen personen op dezelfde locatie groot zijn. Dit geeft aan dat de afwijkingen in de metingen persoonsgebonden zijn.

Waterstanden vormen een belangrijke foutenbron voor systematische afwijkingen. Vooral als de volumebepaling wordt berekend uit metingen die op verschillende momenten worden uitgevoerd of voor een hoeveelheidsbepaling ten opzichte van een leggerdiepte.

Verder kunnen, meer in detail, op basis van de bevindingen tijdens het veldwerk en de analyse en vergelijking van de meetdata de onderstaande conclusies worden getrokken.

1. Waterpeil en waterbreedte

Met een standaard peilstok wordt de ligging van de sliblaag ingemeten t.o.v. het waterpeil. Voor het bepalen van de ligging t.o.v. N.A.P. wordt het waterpeil vastgesteld t.o.v. N.A.P. Om de nauwkeurigheid van de hoogtebepaling van het waterpeil vast te stellen zijn de volgende twee methoden getoetst:

- ▶ Inmeten hoogte vast punt met RTK-GPS en afstand tussen vast punt en waterpeil,
- ▶ Inmeten waterpeil met RTK-GPS.

Conclusie:

- ▶ De maximale verschillen van het ingemeten waterpeil door de verschillende meetploegen bedragen voor beide methoden gemiddeld circa 5 cm. De verschillen tussen de twee methoden gemeten door hetzelfde bedrijf liggen veelal tussen de 1 à 2 cm.

Voor de analyse van de gemeten waterbreedten zijn de breedten zoals bepaald met een meetlint/touw gehanteerd. De meetploegen hebben zelf de ligging van het nul- en eindpunt van een profiel moeten bepalen. Tevens is de invloed van het niet meenemen van de hoeveelheden langs de oevers op de totale hoeveelheid geanalyseerd.

Conclusies:

- ▶ Het maximale verschil in gemeten breedte ligt voor de 4 meetlocaties tussen de 0,60 en 1,40 meter. Deze afwijkingen bedraagt 7 tot 16% van de gemiddelde breedte op een locatie. Gezien de grootte van deze afwijking worden de verschillen waarschijnlijk veroorzaakt door onduidelijkheid in de ligging van begin- en eindpunt van het profiel,
- ▶ Op de onderzochte locatie (locatie 4) is het nauwkeurig bepalen van de ligging van de oevers niet kritisch voor het bepalen van het volume slib. Het weglaten van 10% van de breedte van de watergang (langs de oevers) leidt in de onderhavige situatie tot slechts 3% vermindering van het volume.

2. Metingen met standaard peilstok en verificatieboringen

Met een standaard peilstok is de ligging van de boven- en onderkant van de sliblaag t.o.v. het waterpeil in profielen gemeten. De metingen van de 5 meetploegen zijn op puntniveau vergeleken voor het middendeel van de watergang. Voor het vergelijken van de hoeveelheden baggerspecie zijn de taluds wel meegenomen.

Conclusies:

- ▶ De ligging van de bovenkant van de sliblaag ten opzichte van de waterlijn is op alle locaties goed reproduceerbaar. De gemiddelde spreiding van alle meetpunten bedraagt voor de locaties 1 (klei) en 2 (zand) 3 en 4 cm; voor de locaties 3 (veen) en 4 (zand; groter water) 10 en 11 cm,
- ▶ De ligging van de onderkant van de sliblaag is op locatie 2 (zandondergrond) goed reproduceerbaar. De gemiddelde spreiding van de meetpunten bedraagt 8 cm. De spreiding in de metingen van de onderkant van de sliblaag op de andere locaties is groot en slecht reproduceerbaar. De metingen van de onderkant van de sliblaag zijn door dezelfde meetploeg overigens wel redelijk tot goed reproduceerbaar,
- ▶ Het berekende volume slib wordt voor de locaties 2 (zand) en 3 (veen) met een afwijking van 6 tot 8 % van het gemiddelde volume per locatie bepaald; voor locatie 1 (klei) met een afwijking van circa 20%. Locatie 1 geeft ook de grootste spreiding in de gemiddelde slibdikte te zien. De definitie van de vaste bodem bleek hier in het veld lastig. Ook de afwijking van het gemiddelde volume slib voor locatie 4 (groter water; zandondergrond) bedraagt circa 20%

Conform de richtlijn worden de metingen met de peilstok 'geijkt' met verificatieboringen. Om een relatie tussen de boringen en de peilingen te kunnen leggen zijn in het onderzoek de volgende werkzaamheden verricht:

- ▶ Per profiel een boring met een multisampler of zuigerboor,
- ▶ Meten van één profiel per locatie met een zuigerboor.

Conclusie:

- ▶ Het verifiëren van de ligging van de onderkant van de sliblaag met een multisampler of zuigerboor levert in het algemeen geen goede relatie op met de handpeilingen. Het zetten en interpreteren van de boringen wordt in het veld als lastig ervaren en door meetploegen op verschillende manieren uitgevoerd.

3. Metingen met RTK-GPS

Om de invloed op de meetresultaten van het gebruik van RTK-GPS te bepalen is het volgende onderzocht:

- ▶ Invloed van het gewicht van de GPS,
- ▶ Extra afwijkingen door de positionering (x, y, z) met RTK-GPS. Het bereik op de onderzoekslocaties was overigens optimaal.

Conclusies:

- ▶ Het extra gewicht van de gebruikte GPS-bollen heeft in dit onderzoek geen aantoonbare invloed op het inmeten van de ligging van de sliblaag en het volume slib,
- ▶ De metingen met de RTK-GPS liggen in het algemeen iets hoger (ordegrootte 1 à 2 cm) dan de metingen met de standaard peilstok.

4. Relatie met elektronische metingen

Om de gegevens van de handmatige technieken goed te kunnen analyseren zijn op locatie 4 tevens vlakdekkende meettechnieken ingezet. De gebruikte elektronische meettechnieken zijn goed doorontwikkeld, waardoor metingen goed reproduceerbaar zijn. Uit de verschillende meettechnieken (multibeam, interferometrisch echolood) is een vergelijkingsvlak voor de ligging van bovenkant van de sliblaag bepaald. De ligging van de vaste bodem is op locatie 4 met behulp van grondradar gemeten. Dit type meting blijkt meer consistente resultaten te geven dan de handmatige metingen van de vaste bodem. De toepasbaarheid van dit soort technieken in ondiepere, kleinere watergangen is niet onderzocht. De resultaten van de grondradar hangen sterk af van de kwaliteit van de verificatieboringen.

Conclusies:

- ▶ De gemiddelde ligging van de bovenkant van de sliblaag van alle handpeilingen komt zeer goed overeen met de ligging van het vergelijkingsvlak van de multibeam-metingen. Beide methoden zijn dan ook goed geschikt voor het vaststellen van de ligging van de bovenkant van de sliblaag.
- ▶ De ligging van de vaste bodem zoals bepaald met de grondradar komt redelijk tot goed overeen met de handpeilingen. Wel zijn duidelijke verschillen tussen de bedrijven aanwezig.

5. Op afstand bestuurbare bootjes

Het gebruik van op afstand bestuurbare bootjes voor het inmeten van regionale wateren is in opkomst. De bootjes zijn klein, gemakkelijk verplaatsbaar en inzetbaar. Veel van de 'compacte' industriestandaard hydrografische apparatuur is op deze sonarbootjes te installeren. Op grotere boten kan meer specialistische apparatuur worden geïnstalleerd. In het gebruik blijkt de techniek nog gevoelig voor storingen. Verder is voor het zinvol gebruik van deze bootjes een basis hydrografische kennis vereist. Tijdens de validatie bleek het daar soms aan te ontbreken.

Conclusie:

- ▶ De resultaten van de metingen met de op afstand bestuurbare bootjes variëren veel. De mogelijkheden van deze techniek voor de vaststelling van de bovenkant van de sliblaag zijn wel veelbelovend. De resultaten kunnen kwalitatief van dezelfde orde-grootte zijn als de handmetingen. Wel dienen zaken als positionering, kalibraties en (kwaliteits)controles op orde te zijn.

6. Invloed hoeveelheidsberekening bij gebruik legger

Per locatie zijn de totale hoeveelheden baggerspecie en de hoeveelheden binnen de legger berekend. Uit de meetpuntanalyse blijkt de onderkant van de sliblaag slecht reproduceerbaar. Door het invoeren van een legger zijn de hoeveelheden beter reproduceerbaar.

Conclusies:

- ▶ Per locatie bedraagt het minimale totale volume tot wel 60% van het maximale bepaalde volume. Door de introductie van een legger liggen de hoeveelheden van de bedrijven duidelijk dicht bij elkaar,
- ▶ De standaarddeviatie van het baggervolume bedraagt maximaal 20% van het gemiddelde baggervolume. Door het invoeren van een legger neemt deze variatie af tot minder dan 10%.

7. Dichtheid metingen

De invloed van de dichtheid van de metingen op de uiteindelijke hoeveelheid baggerspecie is geanalyseerd door het variëren van het aantal profielen per locatie, het aantal metingen per profiel en door de vergelijking van de vlakdekkende metingen met de profielmetingen.

Conclusies:

- ▶ Het volume slib varieert sterk afhankelijk van het aantal gemeten profielen per watergang. Het aantal profielen conform de richtlijn lijkt een representatief volume te genereren. Het meten van één profiel per watergang kan tot grote afwijkingen in het volume leiden,
- ▶ Het aantal meetpunten in een profiel conform de richtlijn blijkt een goed uitgangspunt voor de bepaling van het baggervolume. Door het meten van meer meetpunten verandert het volume baggerspecie binnen een profiel nauwelijks. Bij minder meetpunten treden wel volumeverschillen op. Dit kan overigens tot meer of minder baggerspecie leiden, een trend is niet waargenomen,
- ▶ Met het vlakdekkend inmeten van een watergang worden onregelmatigheden in de bodemligging vastgesteld. Hierdoor geven deze metingen een betrouwbaarder resultaat in de volumebepaling dan het meten met profielen.

7 Aanbevelingen

Op basis van het validatie onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- ▶ Het verbeteren van het protocol voor het zetten en interpreteren van verificatieboringen en het koppelen van de boorresultaten aan de handmetingen. Door een verificatieboring moet de ligging van de vaste bodem worden bepaald en niet de dikte van de sliblaag. De praktijkresultaten geven aan dat hiermee een behoorlijke winst te behalen is in de kwaliteit en reproduceerbaarheid van de bepaling van de ligging van de vaste bodem.
- ▶ Uit het onderzoek blijkt, dat een ervaren veldwerker heel goed dezelfde laag kan 'voelen'. De discussie ontstaat over de definitie van de ondergrond. In de richtlijn moet worden aangegeven, dat tussen alle partijen in de voorbereiding en uitvoering consensus over de definitie van de vaste bodem moet worden verkregen en dit goed wordt vastgelegd.
- ▶ De profielafstand laten afhangen van meer variabelen dan de voorgenomen bestemming en het verwachte volume baggerspecie. De uniformiteit van de watergang (of het ontbreken daarvan) is zeer bepalend voor het uiteindelijke volume baggerspecie.
- ▶ De waterstand bepalen op basis van meerdere metingen, zodat de toevallige fout afneemt. Uit het onderzoek blijkt dat één enkele meting (van een vast punt, van het vaste punt tot de waterlijn of van de waterlijn) tot aanzienlijke afwijkingen kan leiden.
- ▶ Het gebruik van een kalibratieprotocol voor GPS-systemen. In de praktijk kunnen systematische fouten optreden door systeeminstellingen of drift (van het apparaat of van satellieten). Deze fouten kunnen worden gekwantificeerd door het kalibreren van GPS-systemen.
- ▶ De foutenbronnen expliciet opnemen in de richtlijn. Denk daarbij aan de extra fouten door het inpeilen op basis van GPS-systemen, het vastleggen van de waterlijn, etc.
- ▶ Toevoegen van elektronische methoden als multibeam en singlebeam als mogelijke techniek voor de bepaling van de ligging van de bovenkant van de sliblaag. Dit vanwege de toenemende inzetbaarheid van kleine systemen op bijvoorbeeld sonarbootjes. Een goede kwaliteitsborging is hierbij echter essentieel.
- ▶ Onderzoek naar de verdere toepasbaarheid van elektronische technieken voor het bepalen van de ligging van de vaste bodem. De resultaten van de grondradar in de validatie wijzen op de mogelijkheid om nauwkeurig de ligging van de vaste bodem te bepalen. Allereerst zou de toepasbaarheid van dergelijke meetsystemen in ondiepere, smallere watergangen moeten worden onderzocht. Bij het gebruik van grondradar is het gebruik van voldoende en kwalitatief goede verificatieboringen van belang.
- ▶ Aangezien met de huidige methodiek en richtlijn de onderkant van de sliblaag op zachte ondergrond in veel gevallen onbetrouwbaar wordt bepaald, moet worden gezocht naar een geschikte verrekenswijze of contractvorm. Hierbij kan worden gedacht aan het baggeren tot een vastgesteld diepte of het gebruik van prestatiegerichte contracten. De invulling hiervan ligt niet in de doelstelling van dit onderzoek. Hier wordt volstaan met het aanduiden van de oplossingsrichting.
- ▶ Bij nieuwe of veelbelovende technieken is het belangrijk om een vergelijkbaar validatie onderzoek naar de reproduceerbaarheid van de betreffende technieken uit te voeren.

Tijhuis Ingenieurs BV
Hussem Consultancy
Amersfoort, mei 2015