



Resultaten Veldexperiment Luwtestructuur

Invulling kennisleemten en beantwoording onderzoeksvragen

Rijkswaterstaat IJsselmeer Gebied

15 januari 2013
Definitief rapport
9V6742.A2

Barbarossastraat 35
Postbus 151
6500 AD Nijmegen
(024) 328 42 84 Telefoon
info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoningdhv.com Internet
Almere 56515154 KvK

Documenttitel Resultaten Veldexperiment Luwtestructuur
Invulling kennisleemten en beantwoording
onderzoeksvragen
Verkorte documenttitel Resultaten Veldexperiment Luwtestructuur
Status Definitief rapport
Datum 15 januari 2013
Projectnaam Natuurlijker Markermeer IJmeer (NMIJ)
Projectnummer 9V6742.A2
Opdrachtgever Rijkswaterstaat IJsselmeer Gebied
Referentie 9V6742.A2/R0165/903718/MJANS/Nijm

Auteur(s) Thomas Vijverberg, Roel Knoben en Pascal Boderie
Collegiale toets Gert Jan Akkerman
Datum/paraaf 15 januari 2013
Vrijgegeven door Roelof Moll
Datum/paraaf 15 januari 2013




SAMENVATTING

In het kader van het onderzoeksproject Natuurlijk(er) Markermeer-IJmeer (NMIJ) van Rijkswaterstaat is van augustus 2011 tot september 2012 een grootschalig 'veldexperiment luwtestructuur' uitgevoerd. In het Markermeer heeft ter hoogte van Warder, aan de Noord-Hollandse kust, een stalen damwand met een lengte van 1800 meter in het meer gestaan. Het experiment is succesvol uitgevoerd en heeft waardevolle resultaten opgeleverd. Met deze samenvatting brengen we u op de hoogte van de uitkomsten van dit experiment.

Natuurlijk(er) Markermeer-IJmeer (NMIJ)

Rijkswaterstaat onderzoekt, samen met Royal HaskoningDHV en vele andere partners, hoe het Markermeer-IJmeer ecologisch gezien gezonder gemaakt kan worden. Het water in het Markermeer en het IJmeer is door de Houtribdijk afgesloten van het IJsselmeer. Het kan niet meer vrij stromen en bij harde wind wordt er veel slib van de bodem losgemaakt. Dat maakt het water troebel waardoor waterplanten niet goed kunnen groeien. Door het gebrek aan voedsel neemt ook het aantal plantenetende vissen en vogels af. De waterkwaliteit voldoet niet meer aan de Europese normen.

Het onderzoeksprogramma NMIJ voert tussen 2009 en 2015 verschillende experimenten uit. Daarmee bereiken we:

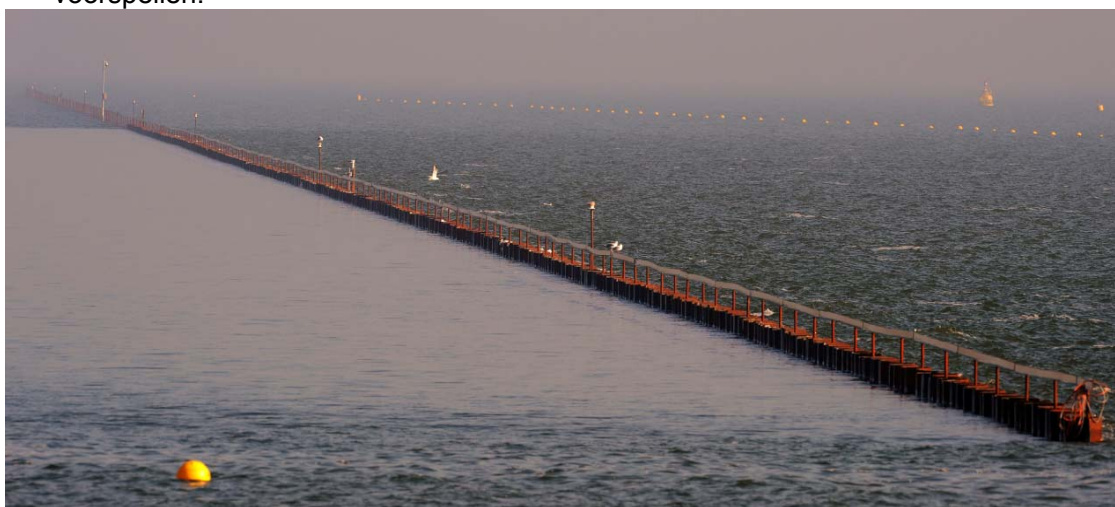
- een gedegen bijdrage aan het advies aan het kabinet over de natuurmaatregelen die genomen kunnen worden;
- een overzicht van maatregelen die effectief, haalbaar en betaalbaar zijn.

Het experiment met de luwtestructuur was een van de experimenten: www.rws.nl/nmij.

Doel Luwtestructuur

Het doel van het veldexperiment was tweeledig:

1. het veldexperiment moest bijdragen aan onze kennisontwikkeling over de werking van een dergelijke constructie op de stroming, golven en het slibgedrag.
2. het experiment moest data opleveren om rekenmodellen van het slibgedrag in het Markermeer te verbeteren. Dergelijke modellen worden gebruikt binnen het NMIJ project om effecten van luwtestructuren en andere inrichtingsmaatregelen te voorspellen.



Voor dit veldexperiment is een damwand geplaatst in het meer op het grondgebied van de gemeente Zeevang, voor de westelijke Markermeerkust, tussen Edam en Hoorn (zie foto). De luwtestructuur had een lengte van 1800 meter. Er is gekozen voor een damwand om de volgende redenen:

- De structuur was van tijdelijke aard, het veldexperiment zou een looptijd hebben van 1 jaar. Na dat jaar moest de constructie weer gemakkelijk kunnen worden verwijderd;
- De bouwtijd van de constructie mocht niet te lang zijn;
- Onderhoud aan de constructie moest eenvoudig zijn, bijvoorbeeld ook in de ijsperiode;
- De constructie moest voldoende star zijn om de golven en stroming te blokkeren.

Om de veiligheid voor de (plezier)vaart en kitesurfers te garanderen zijn rondom de damwand verschillende elementen aangebracht (zie foto), zoals:

- Lichtgevende boeien;
- Een ballenlijn;
- Reflecterende strip;
- Verlichting op de damwand.

Dit heeft er ook voor gezorgd dat er geen ongelukken zijn geweest rondom de structuur.

Verzamelen meetgegevens

De meetgegevens zijn op twee manieren ingewonnen.

1. Metingen op een vaste locatie. Deze metingen zijn uitgevoerd met behulp van 4 meetpalen van Rijkswaterstaat (zie foto hieronder). Er zijn twee palen geplaatst aan de noordzijde en twee aan de zuidzijde van de luwtestructuur. Deze palen hebben een jaar lang gegevens ingewonnen over waterstanden, golven, stroming en slib.
2. Metingen met behulp van een meetvaartuig in het gebied rondom de structuur. Met deze boot zijn tweewekelijks watermonsters en vierwekelijks bodemonsters genomen. Ook zijn er metingen verricht na een stormperiode. Zo is in kaart gebracht of er aanslibbing rondom de structuur optrad.

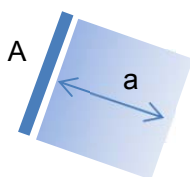


Resultaat

Het experiment heeft waardevolle informatie opgeleverd voor een beter begrip van de slibhuishouding in het Markermeer. Het uitvoeren van het experiment heeft tevens bijgedragen aan de maatschappelijke discussie rond nut en noodzaak van luwtmaatregelen in de Hoornse Hop. Op basis van de meetgegevens kan veel beter voorspeld worden wat de effecten van luwtstructuren zullen zijn op het slib op willekeurige plaatsen in het Markermeer-IJmeer.

Conclusies

- Oriëntatie van luwtmaatregelen t.o.v. overheersende windrichting is van groot belang voor de effectiviteit. Zowel golven als stroming spelen daarbij een rol;
- Stroming is vooral van belang bij langdurige perioden met sterke wind uit een zelfde richting. De stromingsrichting aan de bodem kan flink afwijken van de windrichting en kan bovendien door de luwtstructuur worden beïnvloed;
- De beïnvloedingslengte van de structuur aan de lei(luwte)zijde is globaal in dezelfde orde van grootte als de lengte van de structuur (bij dit ontwerp). Dus: het aantal meters dat de luwtstructuur lang is, is hetzelfde aantal meters waar het effect optreedt. Een luwtstructuur van 1800 meter lang, levert dwars op de structuur een vermindering van slib op in het water van ca. 1800 meter op, zie onderstaande figuur;



A = luwtstructuur
a = beïnvloedingslengte
Lengte A = lengte a

- Maximale aanslibbing rond de structuur is lokaal in de orde van grootte van centimeters per jaar;
- Luwtstructuren zijn het meest effectief als deze over de gehele waterhoogte en als starre constructie worden uitgevoerd;
- Langere structuren dienen bij voorkeur ook openingen te bevatten om verschillen in doorzicht te realiseren en toegankelijkheid mogelijk te maken voor bijvoorbeeld pleziervaart en reddingsbrigade.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding voor deze studie	1
1.2	Doel van het veldexperiment luwtestructuur	1
1.2.1	Invullen kennisleemten	2
1.2.2	Validatie Delft3D slibmodel	2
1.2.3	Beantwoording onderzoeksvragen	3
1.3	Doel van dit rapport	4
1.4	Leeswijzer	4
2	OPZET VELDEXPERIMENT	5
2.1	Luwtestructuur als constructie	5
2.2	Vaste metingen rondom de luwtestructuur	6
2.2.1	Hydraulische parameters	8
2.2.2	Slibmetingen	8
2.2.3	Meteorologische parameters (wind)	10
2.2.4	Ecologische parameters	10
2.3	Mobiele metingen rondom de luwtestructuur	10
2.3.1	Slibdikte	11
2.3.2	Sediment samenstelling	13
2.3.3	Waterkwaliteitsparameters	14
2.3.4	'Storm event' metingen	17
3	RESULTATEN HYDRAULISCHE METINGEN	19
3.1	Effect luwtestructuur op stroming	19
3.1.1	Stroomsnelheden per periode	19
3.1.2	Relatie stroomsnelheid en stroomrichting/windrichting	20
3.2	Effect luwtestructuur op golven	24
4	RESULTATEN SLIBMETINGEN	27
4.1	Effect luwtestructuur op gesuspendeerd sediment concentratie	27
4.1.1	Vaste locatie	27
4.1.2	Invloedsgebied (effect na een storm event)	34
4.2	Effect luwtestructuur op sedimentatie	44
4.2.1	Sediment vallen	44
4.2.2	Slibdikte – erosie / sedimentatie	47
4.3	Effect luwtestructuur op sediment samenstelling	53
4.3.1	Bodemsamenstelling	53
5	RESULTATEN ECOLOGISCHE METINGEN	61
5.1	Effect luwtestructuur op Chlorofyl	61
5.1.1	Mobiele metingen	61
5.1.2	Continue metingen	63
5.1.3	Conclusie	69
5.2	Effect luwtestructuur op samenstelling chlorofyl (flowcytometrie)	69
5.3	Effect luwtestructuur op CDOM (coloured dissolved organic matter)	77
5.4	Effect luwtestructuur op Fosfaat	78

6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	79
6.1	Algemene conclusie veldexperiment	79
6.2	Conclusie per onderzoeksvraag	79
6.2.1	Vragen kennisleemtes	79
6.2.2	Onderzoeksvragen	83
7	REFERENTIES	86

BIJLAGEN

- A. Folders meetsensoren
- B. Resultaten stromingsmetingen
- C. Resultaten golfmetingen
- D. Resultaten metingen slibconcentratie
- E. Windgegevens storm events
- F. Foto's bodemonsters

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding voor deze studie

Het voorliggende rapport is onderdeel van het onderzoeksprogramma Natuurlijk(er) Markermeer IJmeer (NMIJ). De doelstelling is om na afloop van dit 5 jarig onderzoeksprogramma een integraal inrichtingsadvies op te stellen en onderbouwde keuzes te kunnen maken voor de inrichting van een veerkrachtig en robuust watersysteem in het Markermeer – IJmeer. Dit wordt een Toekomst Bestendige Ecologische Situatie (TBES) genoemd.

Het programma kent drie hoofdthema's:

- vermindering van het slibgehalte;
- vergroting van de habitatdiversiteit en dynamiek;
- verbetering van ecologische verbindingen.

Voor elk hoofdthema worden een aantal maatregelen beschouwd, die voorafgaand aan het NMIJ programma zijn gedefinieerd. Voor het thema verminderen slibgehalte zijn dit de maatregelen:

- Luwtestructuren;
- Verdiepingen;
- Afdekken.

De effectiviteit van de maatregelen wordt onderzocht met verschillende middelen, waaronder veldexperimenten. Voor de maatregel luwtestructuren is een grootschalig veldexperiment uitgevoerd met een luwtestructuur bij de Noord-Hollandse Markermeerkust van september 2011 t/m september 2012. Dit rapport kan worden beschouwd als het eindrapport van dit veldexperiment.

Voorafgaand aan het veldexperiment luwtestructuur zijn er binnen NMIJ eerdere studies uitgevoerd naar het effect van luwtestructuren. Kennis uit deze studies is meegenomen in de opzet van het experiment. De belangrijkste studies hiervan zijn:

- *Initiële bureaustudie slib*. Deze studie is door Royal Haskoning in 2010 uitgevoerd bij de start van het NMIJ project. Hierin is het initiële kennisniveau over de effecten van luwtestructuren beschreven bij aanvang van het project.
- *Modelstudie geleidestructuren – Bepaling locatie en omvang*. Deze studie is in 2010 uitgevoerd door Deltares ten behoeve van de opzet van het veldexperiment luwtestructuur. De belangrijkste vragen die in deze studie zijn beantwoord zijn:
 - Welke afmetingen moet de luwtestructuur minimaal hebben? Wat is de optimale schaalgrootte?
 - Welke vorm moet de structuur minimaal hebben?
 - Hoe onderscheid je het effect van golven en stroming in de pilot?

1.2 Doel van het veldexperiment luwtestructuur

Het doel van het veldexperiment luwtestructuur is drieledig:

1. Invullen kennisleemten;
2. Validatie Delft3D slibmodel;
3. Beantwoording onderzoeksvragen.

Het veldexperiment heeft niet direct tot doel om de totale haalbaarheid van een maatregel luwtestructuur aan te tonen. Hiervoor zijn alle onderzoeken binnen NMIJ benodigd. Dit rapport is hierin dus een onderdeel. Alle kennis hiervoor wordt samengevoegd in de factsheets en zal in onze tussenadviezen en hypothesen terecht komen. Daarin is ook een belangrijke rol weggelegd voor het slibmodel, dat met dit veldexperiment is gevalideerd en verbeterd.

1.2.1 Invullen kennisleemten

De belangrijke vragen welke door het veldexperiment Luwtestructuur moeten worden beantwoord zijn:

1. Is er bij een veldexperiment (van wezenlijke omvang) een merkbaar effect op de afname van de slibconcentratie waar te nemen en daarmee van het gemiddeld doorzicht, en hoe groot is dat effect?
2. Is af te leiden of dat effect wordt veroorzaakt door de stroom/slibgeleiding, door golfwte of door beide effecten? In samenhang hiermee: wat is de optimale hoogte van de Luwtestructuur?
3. Hoe effectief werkt de structuur bij verschillende windrichtingen en windsterktes?

Daarnaast zijn er nog een tweetal andere aspecten met betrekking tot kennisleemten die een rol spelen bij het veldexperiment:

4. De sedimentsamenstelling kan verschillen tussen de winterperiode en de zomerperiode. Dit verschil heeft wellicht effect op doorzicht, sediment concentratie, ecologische / biologische parameters, etc en kan daarom de effectiviteit van de structuur beïnvloeden. Op dit moment is dit een kennisleemte en kan deze variabiliteit niet in het model worden gesimuleerd. Het veldexperiment kan helpen om te bepalen of dit verschil er is en of dit invloed heeft op de resultaten.
5. Het effect van de structuur op erosie en sedimentatie van slib moet worden bepaald. Wanneer aanzienlijke sedimentatie optreedt ter plaatste van de beoogde (permanente) locatie van de luwtestructuur, is dit wellicht ongunstig voor waterplanten en mosselen. Het is belangrijk om dergelijke processen met het veldexperiment in te schatten of dit voor de toekomst problemen zal geven.

Het beantwoorden van de vragen 1 t/m 3 met behulp van het veldexperiment luwtestructuur valt onder de eisen nrs. 3-UI-09 (Gebruik veldexperimenten) en 3.1-UI-03 (Gebruik Veldexperimenten) en 3.1.1.-UI-01 uit de vraagspecificatie deel 1.

Het bepalen van de effecten betreffende vragen 4 en 5 van het veldexperiment met betrekking tot de biologische parameters valt onder eis 3.1.1-fu-03 (secundaire effecten biologische maatregelen)

1.2.2 Validatie Delft3D slibmodel

Naast het vergroten van het inzicht in de werking van de structuren, zijn de uitkomsten ook van de metingen ook van belang voor het valideren van het slibmodel van Deltares. Bij het valideren van het slibmodel gaat het om toetsing van de abiotische grootheden die met het model worden berekend: naast golven en stroming met name de slibconcentratie, verbetering doorzicht en aanslibbing. Het slibmodel maakt daarbij geen onderscheid tussen organisch en anorganisch slib.

Het algemene idee bestaat dat (anorganische) slibconcentraties redelijk goed tot goed met het model kunnen worden voorspeld.

Niettemin is het van belang om dit daadwerkelijk te verifiëren en vast te stellen of de effecten van de structuur op het gehele beeld van de slibconcentraties voldoende juist worden voorspeld.

De belangrijkste vraag voor dit doel is uiteindelijk of het beschikbare modelinstrumentarium voldoende betrouwbare resultaten genereert om het toe te kunnen passen voor de advisering in het kader van NMIJ. Het model zal namelijk een belangrijke rol vervullen in de extrapolatie van de onderzoeksresultaten naar het gehele watersysteem van het Markermeer-IJmeer.

De validatie van het rekenmodel met behulp van het veldexperiment luwtestructuur valt onder de eis nr. 3.1.1-fu-04 (validiteit en betrouwbaarheid slibmodel) uit de vraagspecificatie deel 1.

Deze validatie is inmiddels succesvol uitgevoerd door Deltares en gerapporteerd in [Deltares, 2012]. In het voorliggende rapport zal daarom geen aandacht meer worden besteed aan de modelvalidatie.

1.2.3 Beantwoording onderzoeksvragen

De basis voor een adequate uitvoering van het programma NMIJ vormt een goed onderbouwde beantwoording van de in het programma opgenomen onderzoeksvragen per maatregel. In totaliteit zijn er 118 onderzoeksvragen geïdentificeerd. Het veldexperiment luwtestructuur draagt bij aan de uiteindelijke onderbouwing van de beantwoording van een aantal onderzoeksvragen en daarmee realisatie van de projectdoelstelling.

De volgende onderzoeksvragen worden middels het veldexperiment beantwoord. Gedeeltelijk zijn de vragen reeds beantwoord in de modelstudie (Deltares, 2010). Het veldexperiment geeft hierop een aanvulling.

Tabel 1.1: Onderzoeksvragen

Nr.	Onderzoeksvraag	Fase
S9aRH	Tot op welke hoogte in de waterkolom werkt de structuur als golfbreker / geleidingsstructuur. Hoe hoog moet de constructie worden.	Ontwerp & experiment
S9bRH	Kan met geleidingsstructuren / golfconstructies de bron van het slibprobleem aangepakt worden.	Modelstudie & experiment
S10	Tot welk gemiddeld doorzicht leiden de maatregelen om met geleidingsstructuren het slibgehalte te verminderen?	Modelstudie & experiment
S10aRH	Wat is het effect van een geleidingsstructuur op de slibconcentratie.	Modelstudie & experiment
S44RH	Zijn tijdelijke geleidingsstructuren / golfabsorberende maatregelen een optie (om gunstiger situatie te bewerkstelligen of alleen voor sturing bij bepaalde condities).	Modelstudie & experiment
S37aRH	Wat is de tijdschaal van de monitoring van de pilot (denk aan effecten in de waterkolom én in de bodem).	Ontwerp & experiment

Nr.	Onderzoeksvraag	Fase
S38aRH	Wat is de optimale schaalgrootte van de pilot.	Modelstudie & experiment
S38bRH	Hoe onderscheid je het effect van geleiding versus golfdemping in de pilot.	Ontwerp & experiment

1.3 Doel van dit rapport

Het voorliggende rapport heeft een aantal doelen:

- Beschrijven van de opzet van de pilot luwtestructuur;
- Beschrijven van de resultaten van de veldmetingen (zowel vaste, als mobiele metingen);
- Beantwoorden van de onderzoeksvragen en de vragen waar een kennisleemte aanwezig was.

Zoals al aangegeven gaat dit rapport niet in op de modelvalidatie. Dit was een tweede doel van de pilot luwtestructuur. Omdat de validatie al in een eerder rapport is beschreven (Deltares, 2012), zal dit geen onderdeel uitmaken van dit rapport.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de opzet van de pilot luwtestructuur. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen de opzet van de luwtestructuur zelf (paragraaf 2.1), de vaste metingen (paragraaf 2.2) en de mobiele metingen (paragraaf 2.3).

De resultaten van de metingen worden in 3 aparte hoofdstukken beschreven.

Hoofdstuk 3 beschrijft de hydraulische metingen (waterstanden, stromingen en golven). Hoofdstuk 4 behandelt de resultaten van de slibmetingen en hoofdstuk 5 de ecologische metingen.

Dit rapport wordt afgesloten met een integraal hoofdstuk waarin conclusies worden getrokken en aanbevelingen worden gedaan. In hoofdstuk 6 wordt, naast een integrale conclusie over het veldexperiment, ook een terugkoppeling gemaakt naar de onderzoeksvragen. Per vraag wordt aangegeven in hoeverre het experiment hier antwoord op kan geven.

2 OPZET VELDEXPERIMENT

Het veldexperiment luwtestructuur bestaat uit een aantal elementen:

- De luwtestructuur als constructie;
- De metingen die worden uitgevoerd rondom de constructie. De metingen kunnen worden onderverdeeld in 2 type metingen:
 - Vaste metingen;
 - Mobiele metingen.

Dit hoofdstuk beschrijft de totale opzet van het veldexperiment luwtestructuur.

2.1 Luwtestructuur als constructie

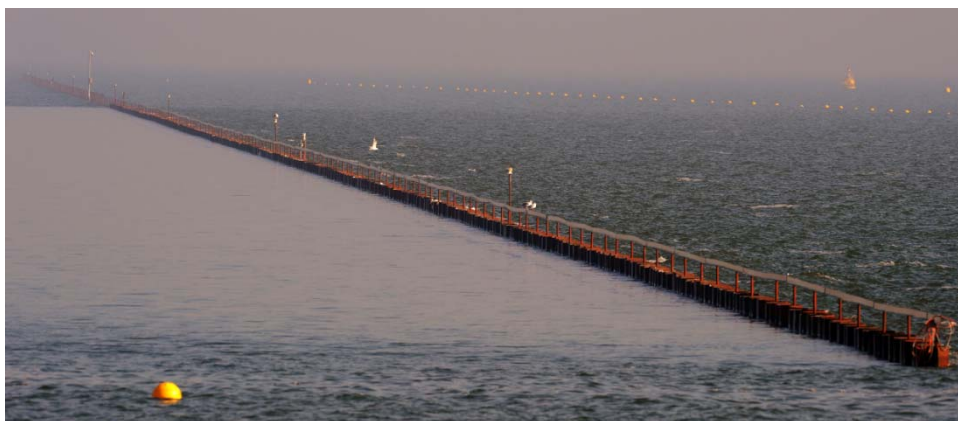
De luwtestructuur als element bestaat uit een damwand constructie met een totale lengte van 1800 m die in het Markermeer is geplaatst. De structuur is geplaatst op het grondgebied van de gemeente Zeevang, voor de westelijke Markermeerkust, tussen Edam en Hoorn.

De locatie van de structuur is weergegeven in figuur 2.2 en is bepaald aan de hand van een aantal criteria, zoals:

- Technische aspecten, zoals locatie / oriëntatie / lengte in relatie tot de verwachte effectiviteit;
- Kosten;
- Omgevingsaspecten, zoals veiligheid scheepvaart, archeologische vondsten, explosieven, gemeentegrenzen, afstand tot de kust, etc.

De structuur is aangelegd op twee hoogtes: het hoge gedeelte van de structuur is op een hoogte van NAP + 0,1 m aangelegd. Dit gedeelte betreft de helft van de lengte van de constructie en ligt het dichtst bij de kust. Het lage gedeelte is op een hoogte van NAP – 0,4 m aangelegd. De structuur is op deze twee hoogtes aangelegd om het verschil te kunnen zien van verschillende mate van golfdemping. Bij het hoge gedeelte worden de golven bijna geheel geblokkeerd (zie figuur 2.1). Bij het lage deel loopt een deel van de golven over de structuur heen.

Figuur 2.1 laat de structuur zien, zoals deze in het Markermeer aanwezig was. De luwtestructuur is aangelegd in de periode van 18-8 t/m 15-9-2011 en is verwijderd in de periode van 13-8 t/m 10-9-2012. De tussenliggende periode is ook de looptijd geweest van de pilot.



Figuur 2.1: Luwtestructuur in het veld

2.2 Vaste metingen rondom de luwtestructuur

Gedurende de looptijd van het veldexperiment zijn zowel metingen uitgevoerd op de vaste locatie, als mobiele metingen. Metingen op een vast locatie zijn uitgevoerd met behulp van 4 meetpalen van Rijkswaterstaat. Dit zijn dezelfde type meetpalen, zoals die al geruime tijd worden gebruikt door Rijkswaterstaat in het Markermeer. Figuur 2.3 laat een tekening en foto zien van een van de meetpalen. Figuur 2.2 laat de locatie zien en tabel 2.1 de exacte coördinaten van de meetpalen bij de Luwtestructuur. Twee palen zijn geplaatst aan de zuidzijde van de structuur en twee aan de noordzijde. De paal die eerst op locatie FL51 stond is na 12 oktober naar locatie FL 54 verplaatst.

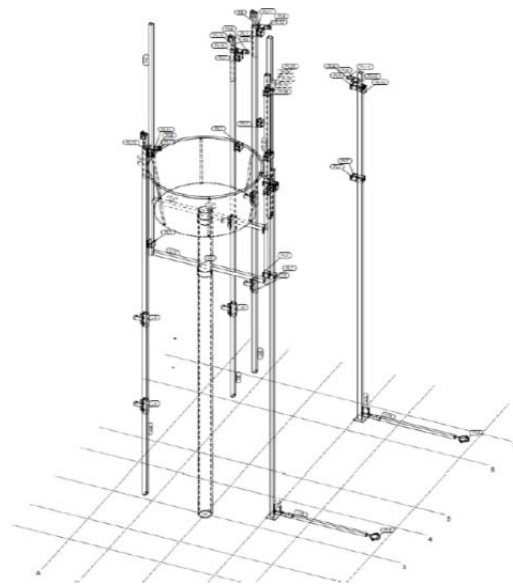


Figuur 2.2: Locatie luwtestructuur en meetpalen. Het rode gedeelte van de structuur ligt op een hoogte van NAP + 0,1 m, het oranje gedeelte op een hoogte van NAP – 0,4 m

Tabel 2.1: Coördinaten meetpalen

Meetpaal	X-coördinaat	Y-coördinaat	Bijzonderheden
FL50	132531	508867	
FL51	132262	507301	Tot 12-10-2011
FL52	132776	508285	
FL53	132842	507845	
FL54 (FL51a)	132865	507000	Vanaf 12-10-2011

Het experiment is in de in winterperiode onderbroken geweest als gevolg van ijs op het Markermeer. De meetpalen zijn in verband daarmee in de periode 27 januari 2012 t/m 20 maart 2012 verwijderd. In deze periode zijn ook geen mobiele metingen uitgevoerd.



Figuur 2.3: Technische tekening (links) en foto van een meetpaal (rechts)

Op de meetpalen zijn verschillende sensoren geïnstalleerd. Hierna volgt een overzicht van de geïnstalleerde apparatuur op de betreffende meetpalen:

Meetpalen 50 en 51

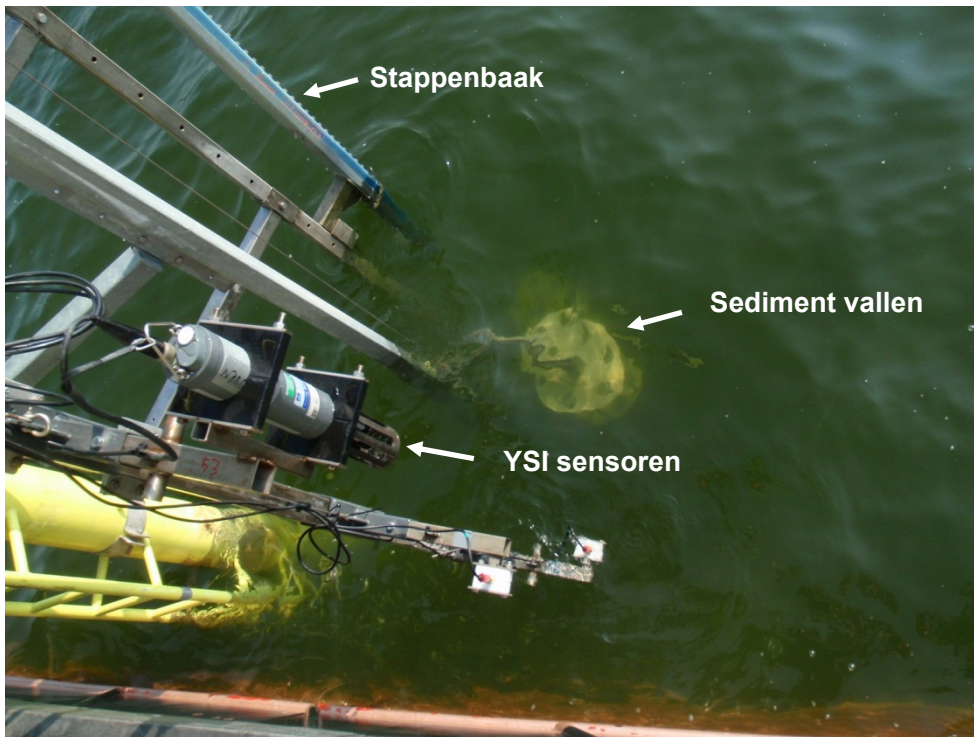
Stappenbaak
ADCP
YSI 1 bodem +30
OBS midden tussen YSI1 en YSI2
YSI 2 oppervlak -80 cm (is zomer NAP -100 cm)

Meetpalen 52 en 53

Stappenbaak
ADCP
Sedimentvallen
OBS 1 bodem +30 cm
OBS 2 midden tussen OBS 1 en YSI 2
YSI 2 oppervlak -80 cm (is zomer NAP -100 cm)

Op paal FL50 is tevens een windstation geplaatst om lokaal de windgegevens te meten.

Figuur 2.4 laat de bevestiging zien van de sensoren aan de meetpaal.



Figuur 2.4: Sensoren aan de meetpaal

2.2.1 Hydraulische parameters

Deze paragraaf beschrijft kort hoe de verschillende parameters zijn gemeten en met welke sensoren. Voor meer informatie over de sensoren, bijvoorbeeld de nauwkeurigheid en het meetbereik wordt verwezen naar bijlage A. In deze bijlage zijn de verschillende productfolders van de sensoren opgenomen.

Waterstanden en golven

Waterstanden en golven zijn gemeten met een stappenbaak, type Etrometa.

Stroming

Stroomsnelheden op alle vier de palen zijn gemeten met een ADCP, type RDI Workhorse Monitor ADCP 1200 ZedHed. Een ADCP meet de stroomsnelheid over de gehele waterdiepte.

De ADCP's zijn geplaatst op een hoogte 40 cm boven de bodem en kijken omhoog. De bin grootte (resolutie) van de ADCP is 25 cm en de blanking distance is 44 cm.

2.2.2 Slibmetingen

Troebelheid / sediment concentratie

Troebelheid wordt op de meetpalen met twee type sensoren gemeten:

YSI, type YSI 6600V2, YSI 6136 turbidity probe

OBS, type Seabed OBS-3+ turbidity sensor

Beide sensoren meten troebelheid (eenheid: Nephelometric Turbidity Unit, NTU). Troebelheid is een kwalitatieve meting die een waarde geeft aan de helderheid van het water. Omdat helderheid een optische waarneming is wordt troebelheid volgens een optisch meetprincipe bepaald. Zwevende stof concentratie is een kwantitatieve meting die aangeeft hoeveel massa droge stof zich in een hoeveelheid vloeistof bevindt. Zwevende stof concentratie moet daarom via een gewichtsbepaling gemeten worden. De ervaring leert dat er een relatie bestaat tussen troebelheid en zwevende stof concentratie. Per locatie en applicatie kan deze relatie echter verschillend zijn en in de loop van de tijd wijzigen. Dit is het gevolg van het feit dat veranderde eigenschappen van de onopgeloste deeltjes (vorm, grootte, structuur, transparantie) een ander effect op de optische meting heeft dan op de gewichtsmeting. Om de NTU waarden om te kunnen zetten naar slib concentratie, zijn watermonsters genomen nabij de sensoren. Deze monsters zijn geanalyseerd op sediment concentratie. Aldus is een relatie gelegd tussen NTU en mg/l, per sensor.

Sedimentvallen

De bruto sedimentatie is met behulp van sedimentvallen bepaald. Het ontwerp/aanschaf en aanbrengen van de sedimentvallen is door Mateboer Milieutechniek BV verzorgd en vastgelegd in de ontwerpnoot (Ontwerpnoot sedimentvallen en bepaling bruto sedimentatie, kenmerk: M-JPR-112082-SV6-002, d.d. 20 oktober 2011).

De sedimentvallen (4 in totaal) zijn gemonteerd op de dieptes van de twee bovenste meetpunten van de meetapparatuur van Rijkswaterstaat (OBS en YSI). In figuur 2.5 is de constructie van de sedimentvallen zichtbaar.



Figuur 2.5: Sedimentval, detail links en ophangconstructie rechts (Movares en Mateboer, 2012a)

De monsternamen van de sedimentvallen is vierwekelijks uitgevoerd door Movares / Materboer. De 1^e meetronde zijn de sedimentvallen nog niet bemonsterd aangezien ze slechts enkele dagen daarvoor gemonteerd zijn.

Tijdens de bemonstering zijn foto's gemaakt van de buizen. Tevens zijn de hoogtes van het ingevallen slib opgemeten en is het slib bemonsterd. Van het slib uit de sedimentvallen is het droge stofgehalte en de gloeirest bepaald.

Tijdens de 1^e meetronde zijn alle buizen sepeeraat geanalyseerd ten einde te valideren of de zes buizen van de sedimentval eenzelfde resultaat opleveren. Het ontwerp is ook zo gekozen dat de zes buizen gezamenlijk voldoende monsternormaal oplevert om de gewenste analyses conform de geldende normen te kunnen uitvoeren.

Op basis van de analysegegevens, sedimentvalspecificaties en meetperioden zijn de bruto sedimentatiesnelheden bepaald.

2.2.3 Meteorologische parameters (wind)

Windgegevens lokaal worden gemeten met een windstation op paal FL50. De windsensoren hangen op een hoogte van NAP + 10 m. De volgende sensoren zijn geïnstalleerd op het station: KNMI windvaan en anemometer. Deze sensoren meten windsnelheid en windrichting.

2.2.4 Ecologische parameters

Ecologische parameters zijn op de meetpalen gemeten met een YSI sensoren (type YSI 6600V2), met de volgende probes :

- YSI 6025 Chlorophyll probe
- YSI 6150 ROX optical DO probe (zuurstof).

2.3 Mobiele metingen rondom de luwtestructuur

Naast de vaste metingen zijn ook mobiele metingen met een vaartuig uitgevoerd. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de oorspronkelijke planning van deze mobiele metingen.

Tabel 2.2: Mobiele metingen (Movares en Mateboer, 2012a)

Par.	Deelproduct	Onderzoek specificatie	Meetpunten en parameters	Frequentie
-	Bepalen slibdikte	metingen met multibeam en singlebeam; datalevering & rapportage	12 raaien (6 aan elke zijde structuur)	5 per jaar
3.2	Sedimentsamenstelling waterbodem	nemen monsters waterbodem met Van VeenGrab; bepalen korrelgrootteverdeling; datalevering	6 punten (3 aan elke zijde); 6 x korrelgrootteverdelingen; 6 x droge stof en gloeiverlies	Vierwkelijks
3.3	Sedimentsamenstelling sedimentvallen	installeren, en uitlezen sedimentvallen, bepalen droogrest en gloeirest, bepaling bruto sedimentatie, datalevering	4 sedimentvallen (tpv 2 meetpalen op 2 dieptes), 4 x droge stof en gloeiverlies	Vierwkelijks
3.4	Waterkwaliteitsparameters	nemen monsters met niskin goflo bottels; waterkwaliteitsanalyse orthofosfaat, fosfor-totaal, CDOM, chlorofyl-a en zwevend stof (TSM, SOM). Afleveren watermonster lab RWS-WD t.b.v. flowcytometrie; datalevering	4 meetpunten (nabij elke meetpaal tpv sensoren); 4 x Chlorofyl-a (4 meetpalen, 1 diepte tpv bovenste YSI-sensor); 2 x Ortho-P en totaal-P (2 meetpalen, 1 diepte tpv middelste OBS-sensor); 2 x CDOM (2 meetpalen, 1 diepte tpv bovenste OBS-sensor); 12 x Zwevend stof (4 meetpalen, dieptes tpv OBS/YSI-sensoren); 4 x Flowcytometrie (4 meetpalen, 1 diepte tpv bovenste YSI-sensor.**	Tweewkelijks
3.5	Storm bemonstering	zwevend stof na storm; OBS & druksensor; rapportage conform Storm Event Procedure	16 meetpunten 32 x Zwevend stof (16 meetpunten , 2 dieptes OBS-sensoren) OBS en druksensor op 2 dieptes	5 per jaar*

Toelichting op tabel 3.1:

* Uitvoering afhankelijk van optreden van storm event. Uitvoering conform procedure Storm event procedure Luwtestructuur Markermeer, kenmerk: P2298_SEP_R02, d.d. 8 november 2011.

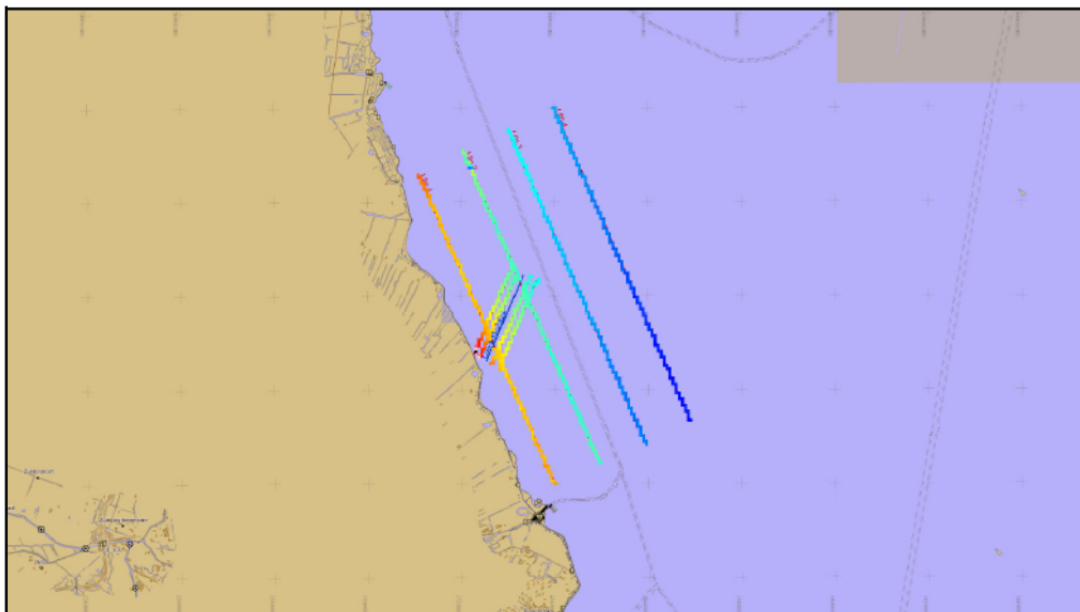
** Vanaf meetsessie 11 (week 13 2012) wordt de flowcytometrie eveneens uitgevoerd.

2.3.1 Slibdikte

Slibdikte metingen zijn gedurende de looptijd van het experiment (een jaar) 4 keer uitgevoerd op de volgende tijdstippen:

- Nulmeting: binnen één week na aanleg van de luwtestructuur;
- Herhaalde nulmeting: verificatie na 1 maand;
- Na 6 maanden;
- Eindmeting: eindsituatie, na 12 maanden.

Op onderstaande afbeelding is het werkgebied met de vaste meetraaien te zien.



Figuur 2.6: Raaien voor slibdikte metingen (Movares en Mateboer, 2012a)

Afhankelijk van de situatie gedurende de veldmetingen is afgeweken van dit vaste raaienpatroon.

Voor de diepte- en slibdikte metingen is de volgende apparatuur en software ingezet:

Positionering :	Novatel OEMV-RTK basis station Novatel OEMV-RTK ontvanger
Multibeam echolood (MB) :	Reson Seabat 8101 (240 kHz)
Singlebeam echolood (SB) :	Simrad EA400 met 700 kHz transducer
Sub-bottom profiler (SBP) : transducer	Odom Echotrack CV2 met 210/24 kHz
Koerssensor :	Ixsea Rovins INS Gyro
Bewegingssensor 1 (MB) :	Ixsea Rovins INS MRU
Bewegingssensor 2 (SB/SBP) :	TSS CMS-25
Geluidssnelheidmeter :	Reson SVP-15
Survey software :	QINSy v8.0
Dataverwerking software :	QINSy v8.0 Terramodel v10.3
Seismische software :	Silas

Alle metingen zijn uitgevoerd in Rijksdriehoek Grid op de Bessel 1841 ellipsoïde waarbij voor het omrekenen gebruik is gemaakt van de RDNAPTRANS2008 procedure. Alle hoogtes (dieptes) zijn ten opzichte van NAP.

Volgens fabrieksopgave zijn de nauwkeurigheden van de gebruikte apparatuur als volgt:

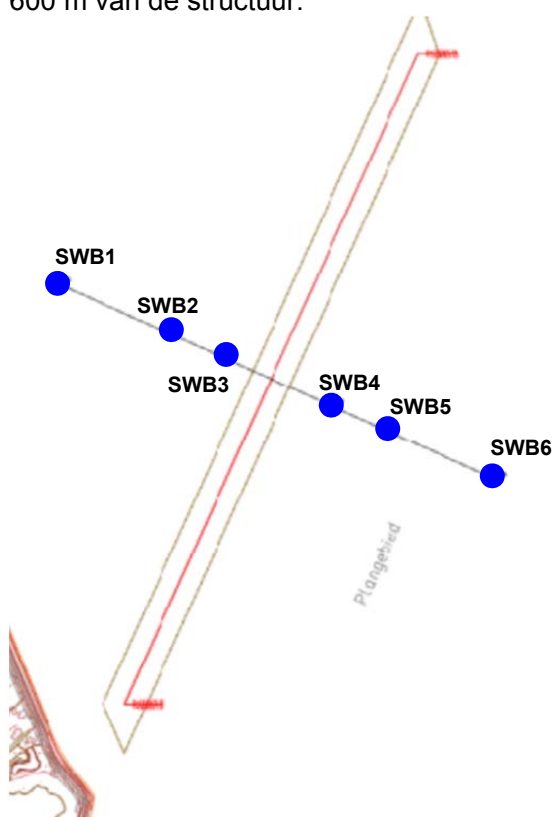
- RTK Positionering: 2 a 3 centimeter in X, Y en Z richting.
- Koers- en bewegingssensor: 0,1° voor de heading, 0,01° voor de roll en pitch.
- Singlebeam echolood: 0,01m bij 210kHz, 0,006m bij 700kHz.
- Multibeam echolood: 0,006 m bij 400kHz.
- Sub-bottom profiler: 0,007m bij 24kHz.

Meer informatie over de technische aspecten is te vinden in Movares en Mateboer (2012b).

2.3.2 Sediment samenstelling

Bodemmonsters

Met de Van Veen bodemhapper (type 2 liter, 125 x 200 mm) zijn (gestoorde) sedimentmonsters genomen in het profundaal. Er zijn per meetronde (voor sedimentsamenstelling waterbodembodem vierwekelijks) 6 waterbodemonsters genomen. Deze monsters zijn genomen in een lijn ter hoogte van de overgang van het hoge naar het lage deel van de luwtestructuur (halverwege) op een afstand van 150 m, 300 m en 600 m van de structuur.



Figuur 2.7: Locatie bodemonsters (Movares en Mateboer, 2012a)

In tabel 2.3 zijn de locatiecodes met RD-coördinaten aangegeven van de waterbodemonsters.

Tabel 2.3: Coördinaten locaties bodemonsters

Locatiecode	X-coördinaat	Y: coördinaat
SWB1	132347,2	507688,17
SWB2	132620,9	507565,29
SWB3	132757,8	507503,85
SWB4	133031,4	507380,97
SWB5	133168,3	507319,53
SWB6	133441,9	507196,65

De monstername van de waterbodem met behulp van de Van Veen bodemhapper is vierwekelijks uitgevoerd op de volgende momenten:

- 28-9-2011 week 39
- 28-10-2011 week 43
- 23-11-2011 week 47
- 19-12-2012 week 51
- 16-1-2012 week 3
- 12-4-2012 week 15
- 7-5-2012 week 19
- 4-6-2012 week 23
- 5-7-2012 week 27
- 2-8-2012 week 31

Alle monsters zijn gefotografeerd in een (witte) emmer direct na monstername, voorzien van monstercode alsmede van datum en tijd van opname.

De waterbodemmonsters zijn aan het laboratorium Envirocontrol aangeboden voor de bepaling van droge stof, gloeiverlies en korrelgrootteverdeling.

2.3.3 Waterkwaliteitsparameters

Monstername voor kalibratie monsters

De watermonsters zijn genomen met Niskin Bottles nabij de OBS/YSI-sensoren. De afstand van monstername is zo dichtbij mogelijk (minimaal 30 cm afstand) bij de sensoren zonder de metingen van de sensoren al te zeer te verstoren en/of schade te veroorzaken aan meetpalen en sensoren (zie figuur 2.8).



Figuur 2.8: Monstername met een Niskin go-flo bottle (Movares en Mateboer, 2012a)

De watermonsters zijn binnen 24 uur aangeboden aan het NEN-EN-ISO 17025 geaccrediteerde laboratorium Envirocontrol te Wingene (België).

De volgende analyses zijn uitgevoerd conform de vigerende (NEN) normen: chlorofyl-a, ortho-P en totaal-P, CDOM en zwevend stof (totaal gesuspendeerd materiaal (TSM), totaal gesuspendeerd organisch materiaal (SOM)).

Monstername voor flowcytometrie

Verder zijn er monsters genomen voor flowcytometrie. De monstername voor de Flowcytometrie wordt uitgevoerd conform het protocol: 'Protocol ten behoeve van Cytometrie' (kenmerk: 112082-PRCT-01-R01, Mateboer Milieutechniek B.V., d.d. 21 maart 2011).

In de periode maart t/m augustus 2012 zijn in het Markermeer monsters genomen aan beide van de luwtestructuur. In totaal zijn er op 4 meetpunten waarvan 2 aan de westzijde en 2 aan de oostzijde van de structuur 10 monsters genomen. Deze monsters zijn met behulp van een Cytosense flowcytometer geanalyseerd op de fytoplanktensamenstelling. De vraagstelling hierbij was of en in hoeverre er in het fytoplankton verschillen zouden ontstaan als functie van de positie ten opzichte van de luwtestructuur.

Flowcytometrie is een op lasertechnologie gebaseerde techniek, waarbij in het water voorkomende kleine deeltjes één voor één door een laserbundel geleid worden. Met behulp van optiek worden per deeltje diverse signalen gedetecteerd, die een maat zijn voor grootte, volume, morfologie en in een deeltje voorkomende pigmenten.

Fluorescentie afkomstig van chlorofyl-a, wordt gebruikt om een onderscheid te maken tussen autotrofe deeltjes en niet-autotrofe deeltjes. Met behulp van flowcytometrie kunnen algen zeer snel geteld worden (concentraties), kan zeer snel een indruk gekregen worden van de grootteverdeling en kunnen dominante soorten snel onderscheiden worden van de minder dominante algen. Door aanvullend gebruik te maken van image-in-flow (fotograferen van deeltjes die door de laserbundel zijn gegaan) en microscopie kan een indruk van de soortenverdeling gekregen worden.

Monsters 50 en 52 bevinden zich aan de westzijde van de structuur, de monsters 53 en 54 aan de oostzijde van de structuur. Alle monsters zijn binnen 24 uur na monstername flowcytometrisch geanalyseerd.

Tabel 2.4: Monstername Flowcytometrie

Aantal monsters	Monsterdatum	Locaties	FCM analysedatum
4	26 maart 2012	WKFL 50, 52, 53, 54	26 maart 2012
4	12 april 2012	WKFL 50, 52, 53, 54	12 april 2012
4	24 april 2012	WKFL 50, 52, 53, 54	24 april 2012
4	7 mei 2012	WKFL 50, 52, 53, 54	7 mei 2012
4	22 mei 2012	WKFL 50, 52, 53, 54	22 mei 2012
4	5 juni 2012	WKFL 50, 52, 53, 54	5 juni 2012
4	29 juni 2012	WKFL 50, 52, 53, 54	29 juni 2012
4	23 juli 2012	WKFL 50, 52, 53, 54	23 juli 2012
4	2 augustus 2012	WKFL 50, 52, 53, 54	2 augustus 2012
4	13 augustus 2012	WKFL 50, 52, 53, 54	13 augustus 2012
Som=40			

De CytoSense flowcytometer (CytoBuoy BV, Woerden, Nederland) was uitgerust met een groene en rode laser met een golflengte van respectievelijk 532 en 633 nm. Met behulp van diverse detectoren werden van iedere afzonderlijke alg o.a. voorwaartse lichtverstrooiing (FWS), zijwaartse lichtverstrooiing (SWS), rode fluorescentie (>640 nm) en oranje fluorescentie (550 < <620 nm) gemeten.

Elke deeltje dat de laser passeert, dient te voldoen aan triggercriteria, de beslissing om de deeltjessignalen wel of niet mee te tellen voor de totaalconcentratie en de gegevens ervan op te slaan. Deze triggercriteria is voor alle monsters, de zogeheten smart-triggering bij SWS HS 100 mV – FL Red-HS 10 mV. Monsters zijn in triplo gemeten bij een debiet van 1 tot 2 µl s⁻¹. Ook zijn foto's genomen met een image in flow camera. Van alle opgeslagen signalen worden signaalkenmerken bepaald zoals bijvoorbeeld de maximale hoogte de breedte en de integratiewaarde van het signaal. De gebruikte CytoUSB software was telkens de laatste release uit de periode maart-augustus 2012. De stabiliteit van het instrument wordt gemeten door gebruik van standaard bollen (488 nm en 633 nm CytoCal 3 µm beads), die in een calibratiekaart worden uitgezet.

EasyClus v1.17 software (TR Projects, Middelburg Nederland) is gebruikt voor de data-analyse. Deze software is speciaal ontwikkeld voor de verwerking van grote hoeveelheden multivariate data van flowcytometersystemen. Op grond van diverse optische kenmerken kunnen groepen fytoplankton onderscheiden worden. Dit onderscheid gebeurt door middel van 'expert judgement' of door bovenstaande EasyClus software.

De concentratie en alle signaalkenmerken zijn gebaseerd op de betreffende informatie zoals door de flowcytometer werd aangeleverd.

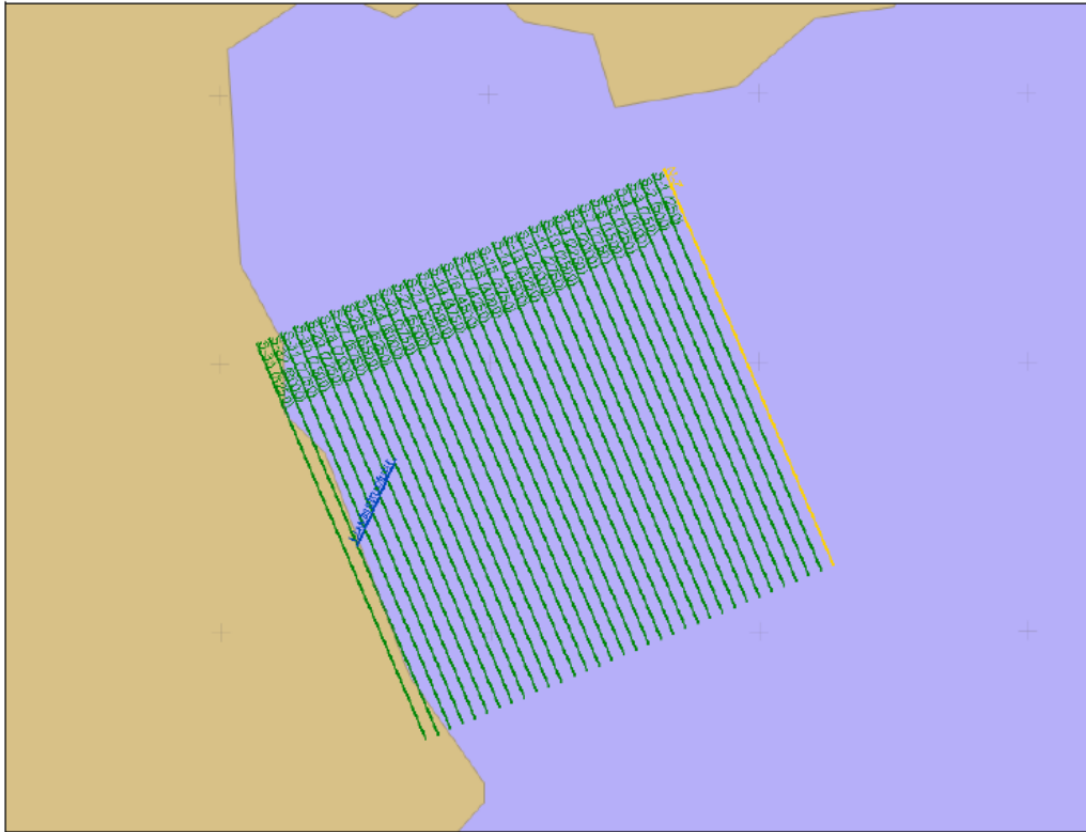
2.3.4 'Storm event' metingen

Gedurende de looptijd van het project is twee maal onderzoek verricht naar aanwezigheid van zwevend stof in de waterkolom na een periode van storm (windkracht 8 of harder). Details kunnen worden gevonden in Movares en Mateboer (2012c).

Om het slibgehalte in de waterkolom te meten is gebruik gemaakt van twee optical backscatter of OBS sensoren. De OBS sensoren (uitgevoerd met twee MCVAN Analite Nep9000 OBS sensoren) maken gebruik van een lichtpuls die wordt uitgezonden in de waterkolom. Vervolgens wordt (een deel van) deze puls gereflecteerd door sediment in suspensie en weer opgevangen door de sensor. Het apparaat meet de sterkte van de weerkaatste puls en berekent aan de hand van deze sterkte de turbiditeit of troebelheid van het water in Nephelometric Turbidity Units of NTU. Door de hoogte van de GPS antenne aan gemeten NTU-waarde toe te voegen zijn alle metingen direct in NAP vastgelegd.

Bij deze storm event meting zijn een 12-tal watermonsters genomen met behulp van een zogenaamde 'Niskin Go Flo bottle'. De watermonsters worden gebruikt om de gemeten NTU waarde te kalibreren met de werkelijke hoeveelheid materiaal in suspensie. De monsters zijn genomen op locaties waar op het moment van meten weinig veranderende NTU waardes voorkwamen (i.e. stabiele NTU plateau's). Er is gepoogd monsters te nemen van zoveel mogelijk verschillende (en uiteenlopende) gemeten NTU waardes. Uit de monsterrange en de actuele meetwaarden van de OBS sensoren is dan een zo goed mogelijke kalibratielijne worden gemaakt. Per locatie zijn twee watermonsters genomen, die respectievelijk corresponderen met de waterdieptes van de OBS-sensoren. De watermonsters zijn binnen 24 uur aangeboden aan het NEN-EN-ISO/IEC 17025 geaccrediteerde laboratorium Envirocontrol te Wingene (België). De watermonsters worden geanalyseerd op het gehalte aan zwevend stof en gloeirest conform NEN6484.

Om een goed beeld te krijgen van de invloed van de luwtestructuur op het, in de waterkolom aanwezige stof, zijn gedurende een periode van acht uur lijnen nabij de luwtestructuur gevaren met de twee OBS sensoren. De resolutie (lengte en aantal raaien) van het meetgrid hing af van wat er binnen 1 specifieke meetdag kon worden uitgevoerd. De vaarlijnen zijn van te voren gedefinieerd en weergegeven in figuur 2.9.



Figuur 2.9: Raaien storm event metingen (Movares en Mateboer, 2012a)

Storm event metingen zijn uitgevoerd op de volgende data:

- 9 december 2011;
- 6 januari 2012;
- 22 februari 2012.

De laatste meting is eigenlijk geen storm event meting. Deze meting is namelijk uitgevoerd vlak na een lange ijsperiode in de winter van 2012. De metingen geven in dat geval geen effect van storm weer, maar laten de achtergrond concentratie zien die aanwezig is als er gedurende lange tijd geen belasting (wind) op het meer is uitgeoefend.

3 RESULTATEN HYDRAULISCHE METINGEN

3.1 Effect luwtestructuur op stroming

Rondom de luwtestructuur zijn stroomsnelheden en stroomrichtingen gemeten. Metingen zijn verricht voor FL50 en FL 51 (zie figuur 2.2) en na de plaatsing van de structuur voor alle palen. De metingen hebben betrekking op drie waterdieptes. De exacte diepte waarop de waarneming plaatsvindt, hangt van een aantal factoren af: lokale waterdiepte, installatiediepte van het meetinstrument en specifieke omstandigheden, waaronder de golfhoogte. In deze rapportage worden de resultaten als functie van de waterdiepte gepresenteerd in termen van 'boven' (circa -1m onder het wateroppervlak) en 'onder' (circa -1m boven de bodem) en 'midden' (tussen boven en onder in).

De volgende vragen zijn belangrijk bij de interpretatie van deze metingen:

- Welke zijn de kenmerkende stromingspatronen op de locatie van de luwtestructuur vóór plaatsing van de structuur?;
- Welke invloed heeft de luwtestructuur op de stroomsnelheid- en stroomrichting?.

De analyse van de stromingsdata is complex. Het Markermeer is een zwak dynamisch systeem, dat wil onder andere zeggen dat de stroomsnelheden in het algemeen laag zijn en vaak in de buurt van de meetnauwkeurigheid van het meetinstrument liggen. Bij deze analyse is alleen rekening gehouden met gemeten stroomsnelheden groter dan orde 5 cm/s. Hierdoor neemt de zeggingskracht van de metingen toe.

3.1.1 Stroomsnelheden per periode

Ter illustratie is een deel van de gemeten data als tijdserie gepresenteerd in figuren B.1-B.4 (bijlage B). Daarbij zijn de volgende vier perioden geselecteerd:

- 14 oktober 2011 – 18 november 2011;
- 13 november 2011 – 23 december 2011 (incl. 9 december stormmeting);
- 13 december 2011 – 22 januari 2012 (incl. 6 januari stormmeting);
- 12 januari 2012 -28 januari 2012.

De selectie is deels arbitrair maar (1) vertegenwoordigt alle windrichtingen en (2) bevat de periode met de meeste stormen, inclusief de stormen waarbij storm event metingen zijn uitgevoerd (9 december 2011 en 6 januari 2012). De overige meetgegevens worden wel gebruikt bij de analyses meetpaal, zie paragraaf 3.1.2.

Periode Oktober-November 2012

De wind is in deze periode meestal 5-10 m/s met een dominante ZO richting.

De stroomsnelheden ten noorden van de structuur (FL50 en 52) blijven rond de 5 cm/s, zowel in boven- als onderlaag. Ten zuiden van de structuur (FL53 en 54) zijn de stroomsnelheden duidelijk hoger, met pieken tot 20 cm/s. FL54 is de enige locatie waar er een groot verschil optreedt tussen bovenste en onderste waterlaag.

Voor FL50 stroomt het water vooral naar het westen toe. Dit is goed te verklaren met de ZO wind. Bij FL52 zijn de stroomrichtingen moeilijker te relateren aan de windrichtingen (zie ook paragraaf 2.2).

Voor de locaties FL53 en 54 die dicht bij de structuur liggen is weinig invloed van de wind op de stroomrichting te verwachten. FL53 stroomt vooral naar het ZW en FL54 naar het NO, evenwijdig met de structuur dus.

Rond 7 november 2011 komt de wind plots uit het N/NO. Dit komt overeen met de oriëntatie van de structuur waardoor alle meetlocaties beïnvloed worden.

Periode 12-28 Januari 2012

De wind is in deze periode dominant westelijk met snelheden tot boven 15 m/s.

Qua stroomsnelheden lijkt het beeld erg op dat voor de periode oktober-november. Snelheden voor FL50 en 52 zijn meestal iets lager dan voor FL53 en 54. FL53 en 54 tonen vergelijkbare snelheidspatronen in de bovenste laag, maar niet in de onderste laag. FL54 toont grote verschillen tussen boven en onderlaag, met relatief grotere snelheden in de onderste laag (tot meer dan 30 cm/s). Deze snelheden treden op aan de bodem en op momenten dat de stroomrichting naar het NO is, evenwijdig aan de structuur.

Onder invloed van een westenwind stroomt FL50 naar het ZO toe. FL52 toont afwisselende stroomrichtingen tijdens de W wind periode en een meer constante stroom naar het O toe rond 26 januari, met een ZO wind.

FL53 stroomt vooral naar het NO, langs de structuur. FL54 toont weer een groot verschil tussen boven en onderlaag. De onderlaag stroomt bijna uitzonderlijk naar het N/NO toe terwijl de bovenlaag naar het Z stroomt tijdens de W wind periode.

Periode 13 november 2011 – 23 december 2011

Rond de 1^e storm-event (9 december) is de wind westelijk met snelheden van 15-17m/s. Het is opvallend dat op alle palen de stroomrichting aan het oppervlak tussen 90 en 180 komt te liggen, gemiddeld een ZO stroming.

Periode 13 december 2011 – 18 januari 2012

Rond de 2^e storm-event (6 januari) is de wind zuidwestelijk, ruimend naar noordwest met snelheden van 15-17 m/s. Ook gedurende deze stormgebeurtenis gaat de stroomrichting voor alle palen naar tussen 90 en 180, gemiddeld een ZO stroming zowel aan het oppervlak als aan de bodem.

3.1.2 Relatie stroomsnelheid en stroomrichting/windrichting

Figuur 3.1 laat per meetlocatie de stroomsnelheid als functie van de stroomrichting zien. Daaruit (y-as waarden) blijkt dat maximale stroomsnelheden aan de zuidkant van de structuur (FL53 en FL54) hoger (30-50 cm/s) zijn dan op de andere locaties. Op de andere palen zijn de maximale stroomsnelheden lager dan 20 cm/s. Uit de figuur is verder af te lezen (de pieken) bij welke stroomrichting significante (>10 cm/s) stroomsnelheden optreden.

Vóór plaatsing van de structuur (FL51) blijken er drie preferente stroomrichtingen nabij de kust, te weten 330 (langs de kust naar het noorden), 140 (langs de kust naar het zuiden) en 40 (loodrecht van de kust af naar het noordoosten).

Na plaatsing van de structuur is op bijna dezelfde locatie (FL54) ten zuiden van de structuur de situatie veranderd. De stromingen parallel aan de kust (140 en 330) zijn verdwenen. De hoogste stroomsnelheden treden nu op in richting 0-10 (bijna pal Noord richting de structuur).

De stroming met richting 40 (loodrecht van de kust af naar noordoosten) stroomt nu met minder hoge snelheden geleid door de structuur in min of meer dezelfde richting. Door de oriëntatie van de structuur wordt de stroming dwars op de kust nauwelijks verstoord.

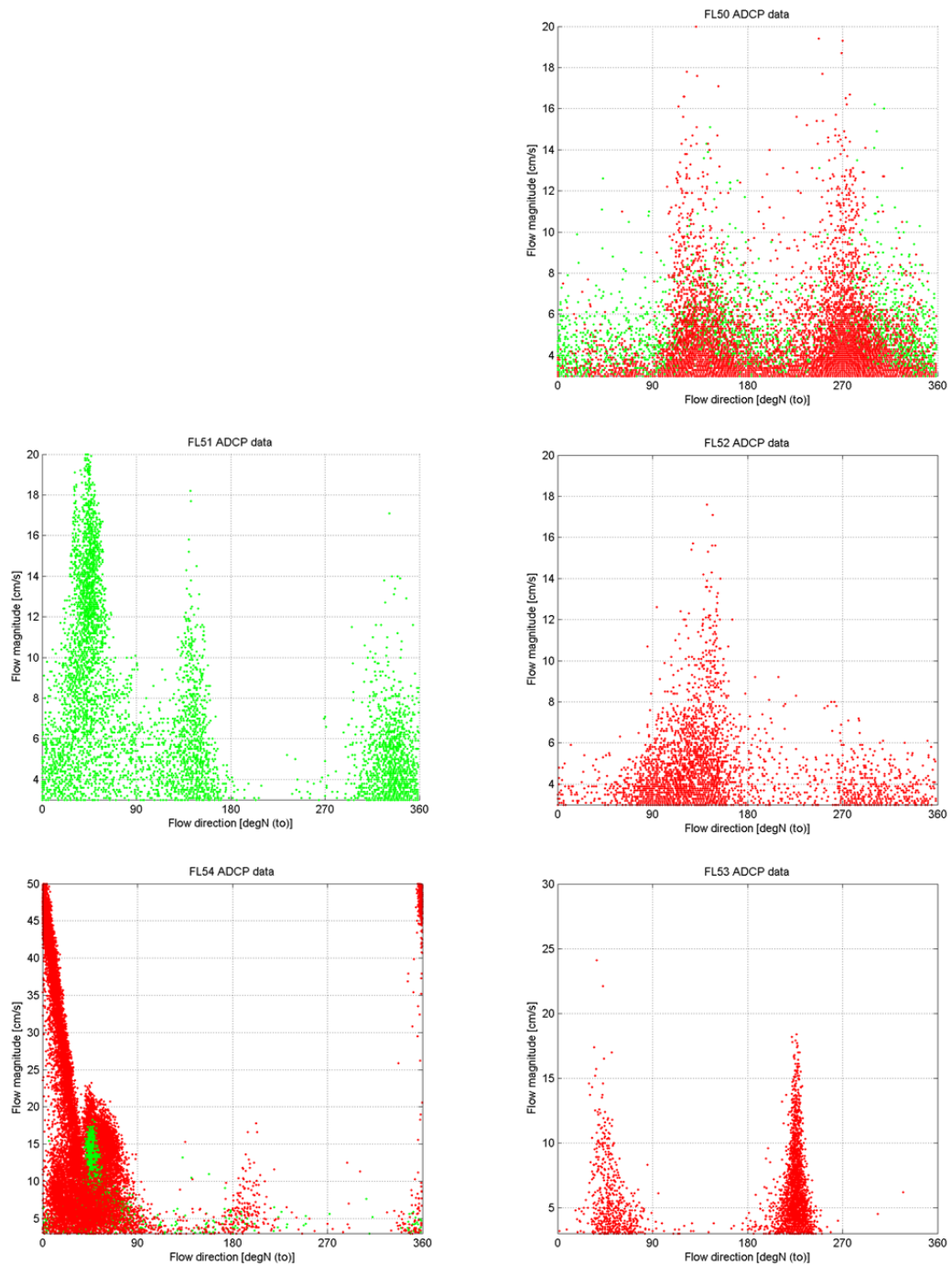
Voor de referentiepaal (FL50) zijn vóór plaatsing van de structuur minder metingen beschikbaar dan voor FL51 waardoor op dit moment nog niet kan worden geconcludeerd in hoeverre de stroming op deze paal door plaatsing van de structuur is beïnvloed. Uit Figuur 3.1 blijkt dat de stroming op FL50 na plaatsing van de structuur minder vrijheidsgraden kent, er komen nu twee relevante stroomrichtingen voor, te weten 130 naar het zuidoosten en 270 naar het westen (deze waren ook voor de structuur aanwezig, maar toen kende de stroming veel meer richtingen). De structuur dwingt de stroming op FL50 dus in twee preferente richtingen: naar het zuidoosten of naar het westen. Dat wil zeggen dat FL50 dus voor golven wel een referentiepaal is (niet beïnvloed) is maar waarschijnlijk niet voor stroming.

De stromingsbeïnvloeding op FL52 en FL53, respectievelijk aan lage noord- en zuidzijde, is minder uitgesproken omdat de structuur de stroming maar gedeeltelijk blokkeert. FL52 kent als enige dominante stroomrichting 130, naar het zuidoosten (gelijk aan FL50), bij andere stroomrichtingen treden er geen grote stroomsnelheden op. De stroming op FL53 kent (vanzelfsprekend) twee dominante stroomrichtingen: 40 (evenwijdig aan de structuur naar het noordoosten) en 220 (evenwijdig aan de structuur naar het zuidwesten).

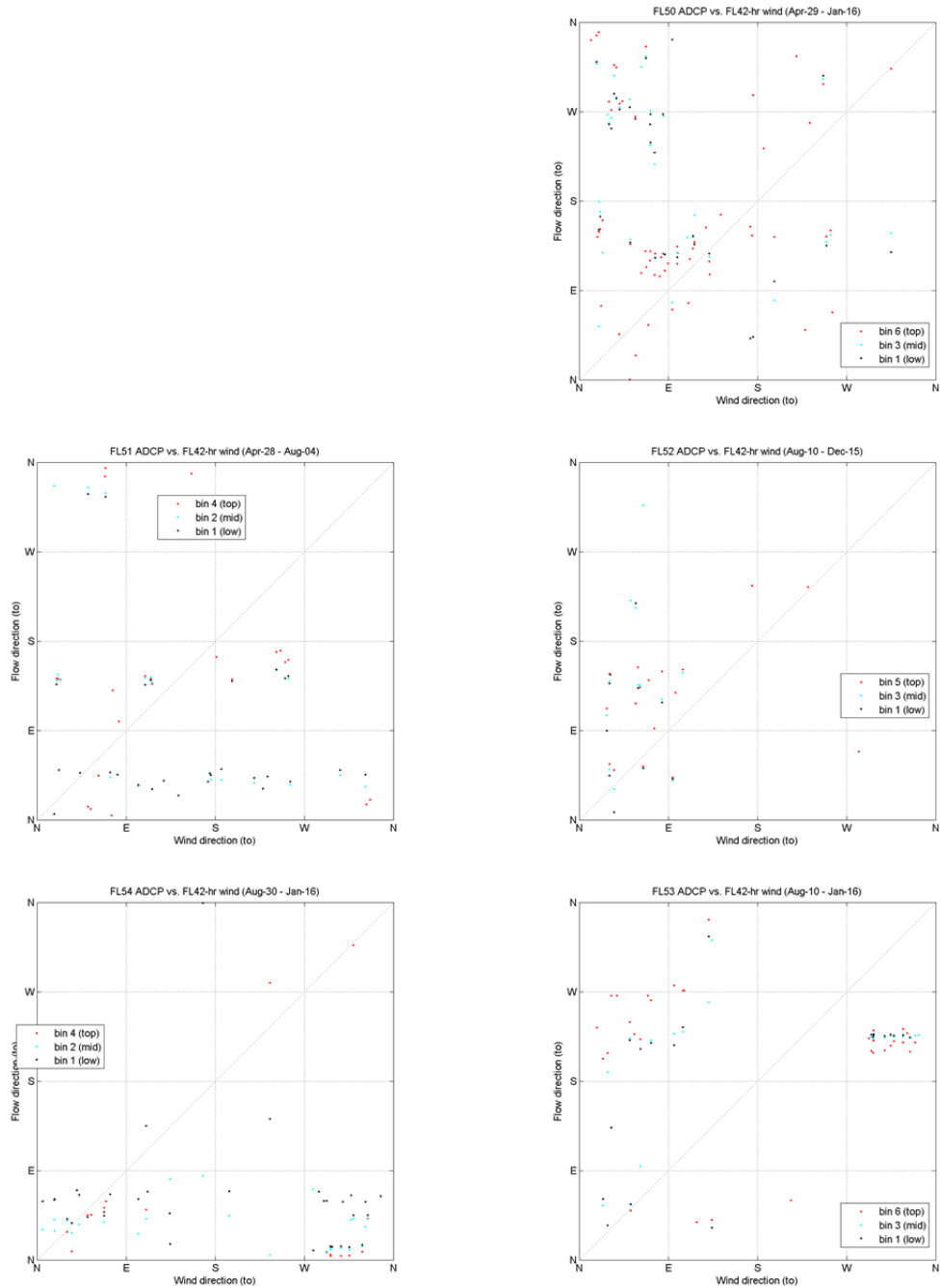
Figuur 3.2 laat per meetlocatie de stroomrichting zien, als functie van de windrichting. Voor metingen die op de 1:1 lijn in de grafiek liggen geldt dat de stroomrichting gelijk is aan de richting waarin de wind waait (let op: de 'naar' richting van de wind is gebruikt). Dat is bij hogere stroomsnelheid (groter dan 8 cm/s) bijna nooit het geval op de locatie van de structuur, ook niet voordat de structuur geplaatst werd (zie bv FL51). Voor FL51 zijn de drie preferente stroomrichtingen NO (NE), ZO (SE) en NW (NW) als horizontale wolken van punten te herkennen. De stroomrichtingen zijn nauwelijks met windrichting gecorreleerd, met andere woorden: ze komen voor bij een breed scala aan windrichtingen. Verschillende winden leveren dus vergelijkbare circulatiestromingen. Voor lagere stroomsnelheden (orde 4-8 cm/s) komen de stroomrichtingen in de toplaag goed overeen met de *naar* windrichting.

Ook voor meetpaal FL54 geldt dat de twee dominante stroomrichtingen terug te zien zijn, stroomrichting N-NO komt zowel voor bij wind naar het NO (ZW wind) en NW (ZO wind). Voor FL53 wordt de preferente stroming richting ZW veroorzaakt door wind uit ofwel ZW of ZO.

Voor palen verder van de kust en de structuur (FL50, FL52) correleert de stroomrichting slecht met de windrichting: bij zuidwesten wind (naar NO) komen vele stroomrichtingen voor.



Figuur 3.1 Stroomsnelheid (y-as, cm/s) als functie van de *naar* stroomrichting (x-as, graden tov N) voor de vijf palen in de nabijheid van de structuur. Groen: metingen van voor de plaatsing van de structuur voor september 2011 en rood na september 2011



Figuur 3.2 Stroomrichting (y-as, graden tov N) voor drie waterlagen (rood=toplaag, zwart=bodemlaag, blauw=middenlaag) als functie van de windrichting (x-as, graden tov N) voor de vijf palen in de nabijheid van de structuur. Groen: metingen van voor de plaatsing van de structuur voor september 2011 en rood na september 2011. Alleen meetgegevens met een stroomsnelheid groter dan 8 cm/s zijn afgebeeld!

Conclusies van de stroommetingen

- De stroomsnelheden kunnen flink toenemen (tot 30-40 cm/s) ten opzichte van de natuurlijke situatie (maximaal 20 cm/s). Dit is vooral ten zuiden van de structuur.
- De stromingspatronen zijn in aanwezigheid van de structuur drastisch gewijzigd. Ten zuiden van de structuur wordt de stroming afgebogen.
- Gedurende situaties waarin het water behoorlijk stroomt (meer dan 8cm/s) is de stroomrichting van het water gestuurd door circulatiestroming en niet direct oor de windrichting op dat moment. Bij lagere stroomsnelheden stroomt het water aan het oppervlak wel in de richting van de wind (dit is te verwachten, maar is een indicatie aan dat metingen correct zijn).
- Alleen voor locatie FL54 is er een sterke gradiënt met de diepte te zien; dit heeft mogelijk te maken met de nauwe doorstroomopening tussen de structuur en de kust; door de nauwe doorgang nabij de bodem kunnen stroomsnelheden oplopen.
- Aan het lage deel van de structuur zijn de stroomsnelheden voor FL52 diffuus, met veel afwisselende stroomrichtingen, maar wél uniform in de diepte.

3.2 Effect luwtestructuur op golven

Rondom de luwtestructuur zijn de veranderingen van de waterstand met een stappenbaak gemeten. Met behulp van software (Waves toolbox, version 3.22) zijn uit deze hoogfrequente metingen golfkarakteristieken afgeleid¹.

Golfmetingen rondom de luwtestructuur hadden als belangrijk doel het valideren van de golfmodule in het slibmodel, daartoe zijn vooral gegevens van de meetpalen midden Markermeer (FL42) en nabij de kust (FL50, referentiepaal van de luwtestructuur) gebruikt.

Daarnaast dienen de metingen van de golfkarakteristieken ook om de invloed van de luwtestructuur op golven vast te stellen, gediifferentieerd naar windrichting. Ook is de vraag relevant hoe de hoogte van de structuur doorwerkt (+0.4 m en -0.1 m NAP) in de reductie van golven.

De geanalyseerde data hebben betrekking op de significante golfhoogte (H_{m0}) over de periode 1 september 2011 tot 1 september 2012. Andere golfkarakteristieken zijn beschouwd in de rapportage van de validatie van het slibmodel (Deltares, 2012).

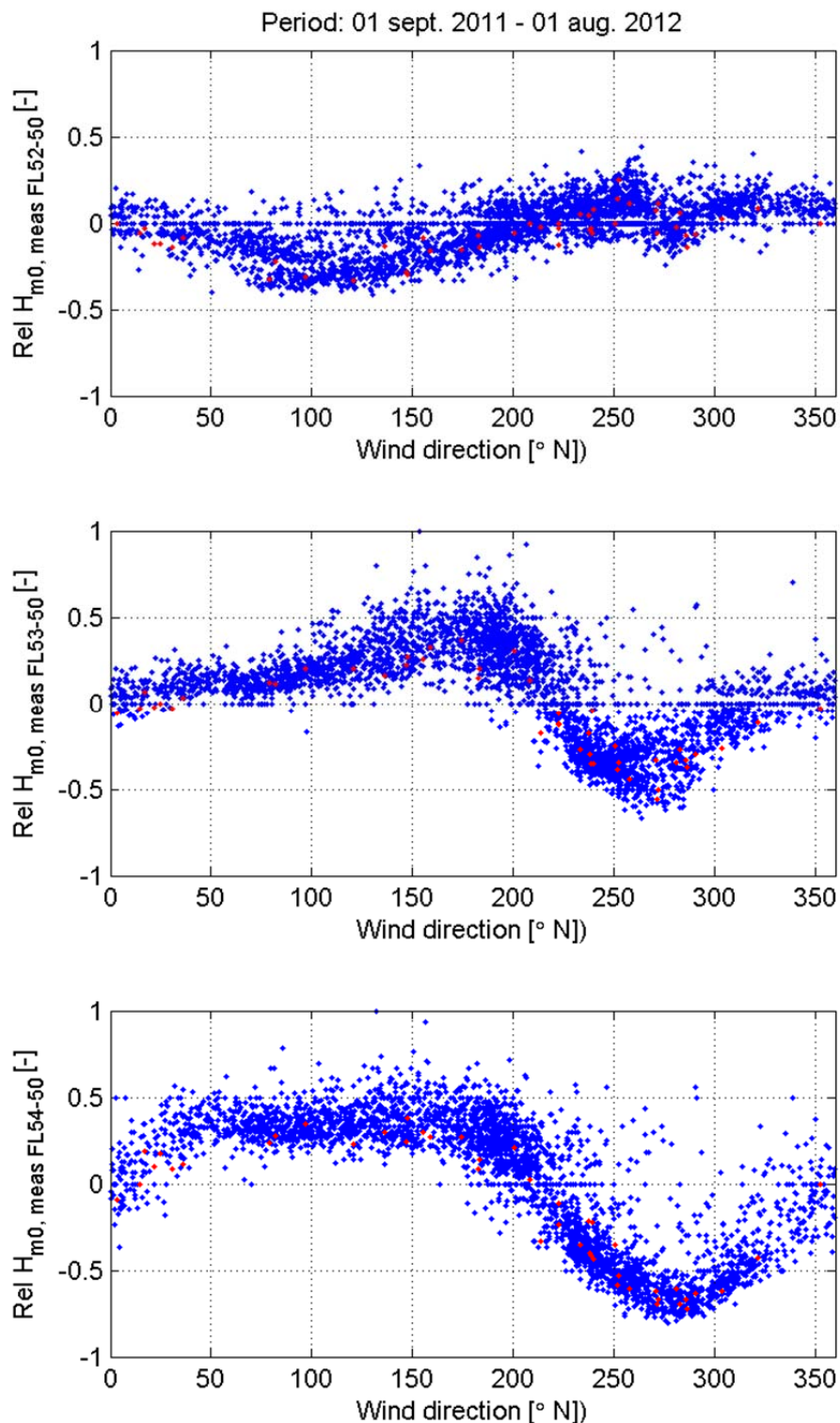
Alle meetgegevens van de golfhoogte zijn gepresenteerd in bijlage C, analoog aan de presentatiewijze die voor slibgehalten (zie paragraaf 4.1) is gehanteerd zodat de golfmetingen toegankelijk en behulpzaam zijn bij de interpretatie van de slibmetingen. In deze paragraaf beschrijven we per meetpaal het effect van de luwtestructuur op basis van alle geaggregeerde golfhoogtemetingen . Dat gebeurt aan de hand van figuur 3.3.

¹ Het moet worden opgemerkt dat voor deze conversie bepaalde instellingen nodig zijn die bepaald worden door de meetapparatuur. Deze instellingen zijn gebaseerd op voorbeeld instellingen van Rijkswaterstaat, maar deze zijn niet geverifieerd. De golfresultaten zullen daarom zorgvuldig moeten worden gebruikt. Het wordt aanbevolen deze golfresultaten te vergelijken met de resultaten van Rijkswaterstaat, als deze op een gegeven moment beschikbaar komen.

Figuur 3.3 toont de verandering van de golfhoogte ten opzichte van de referentielocatie (FL50). Deze meetpaal vormt de basis voor de beoordeling van de effectiviteit van de structuur. Negatieve waarden (golfhoogte rond de structuur lager dan op de referentie locatie) duiden op een door de luwtestructuur gecreëerde luwte. Positieve waarden geven aan dat de golfhoogte als gevolg van de structuur toeneemt.

Samengevat is uit figuur 3.3 is het volgende af te lezen:

- De effectiviteit van de structuur wat betreft de golfhoogte hangt sterk af van de windrichting;
- De structuur genereert luwte met een maximale reductie van de golfhoogte tot -60 à -70 cm;
- Reflectie van golven tegen de structuur zorgt er voor dat er hogere golven ten opzichte van de referentie locatie ontstaan, daardoor neemt de golfhoogte toe met maximaal 40 cm;
- De locaties aan de zuidkant van de structuur (FL53 en FL54) laten het grootste effect op golfhoogte zien, de variatie aan de lage zijde van de structuur (FL52) is kleiner (-30 tot +10 cm);
- Aan de zuidzijde geeft de structuur golfhoogte voor windrichtingen tussen 200 en 30° (ZW-NO). Dit klopt exact met de verwachting op basis van de oriëntatie van de structuur: de punten liggen in de golfschaduw van de structuur;
- De reductie van golfhoogte aan de zuidkant van de structuur bij NW wind bedraagt orde -70 cm voor FL54 aan de hoge kant van de structuur en orde -50 cm voor FL53 aan de lage kant. De hoge kant van de structuur is dus merkbaar effectiever voor golfhoogte;
- Aan de noordzijde van de structuur ontstaat golfhoogte bij windrichtingen tussen 30 en 200°;
- De reductie in golfhoogte aan de noordzijde (FL52) bij ZO wind is -30 cm en daarmee beperkter dan aan de zuidzijde (FL53: -50 cm). Dat komt omdat winden uit ZO doorgaans minder sterk zijn en er dus minder hoge golven worden gegenereerd en daarmee ook minder potentiële reductie van golfhoogte.



Figuur 3.3: Gemeten verandering van de golfhoogte (H_{m0}) op de drie meetpalen FL52, FL53 en FL54 rondom de luwtestructuur ten opzichte van de referentiepaal buiten de invloed van de luwtestructuur (FL50). De relatieve golfhoogte is uitgezet als functie van de windrichting (van richting t.o.v. N). De rode punten zijn momenten in de tijd waarop gemeten slijbgehalten hoog ($>30\text{mg/l}$) zijn, de blauwe punten zijn alle meetpunten in de beschouwde periode van een jaar (september 2011-september 2012)

4 RESULTATEN SLIBMETINGEN

4.1 Effect luwtestructuur op gesuspendeerd sediment concentratie

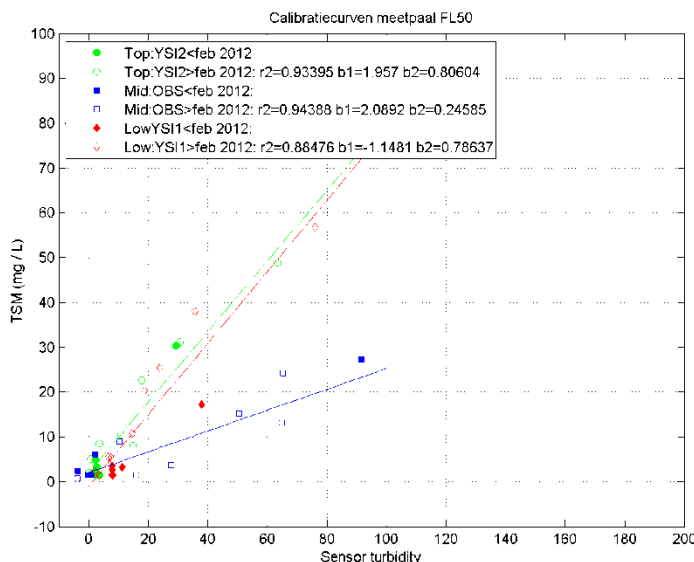
4.1.1 Vaste locatie

Validatie meetsignaal & kalibratie sensoren slib

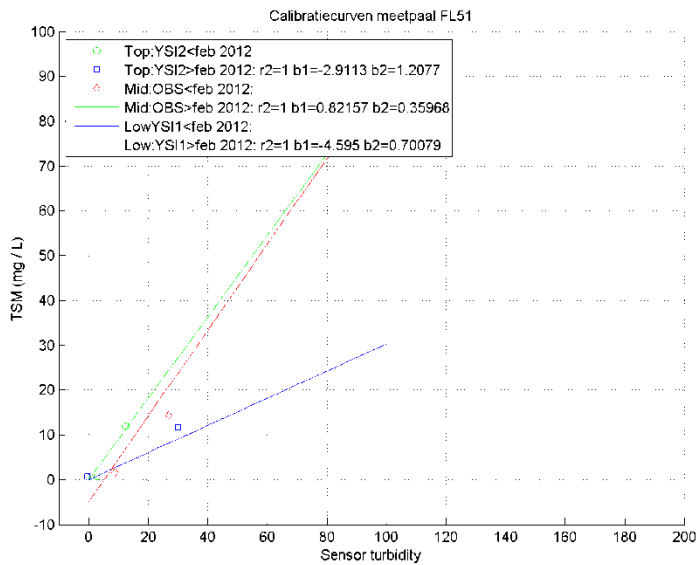
Slib is rondom het luwtestructuur op 5 locaties op elk drie dieptes gemeten. Metingen zijn uitgevoerd met verschillende typen sensoren (YSI en OBS). Van elk type sensor zijn meerdere exemplaren gebruikt, kenmerkend is dat voor en na de ijsperiode (januari-februari 2012) waarin de meetpalen zijn verwijderd, verschillende exemplaren gebruikt.

Voordat het meetsignaal is geanalyseerd is het eerst gevalideerd door het te ontdoen van onrealistisch hoge (> 300) en lage (<-10) waarden en zijn 'uitbijters' verwijderd. Dat is gedaan door iteratief (5x) afwijkende waarden, die groter waren dan 5 keer de standaardafwijking van het lopende gemiddelde van het afgelopen uur, te verwijderen.

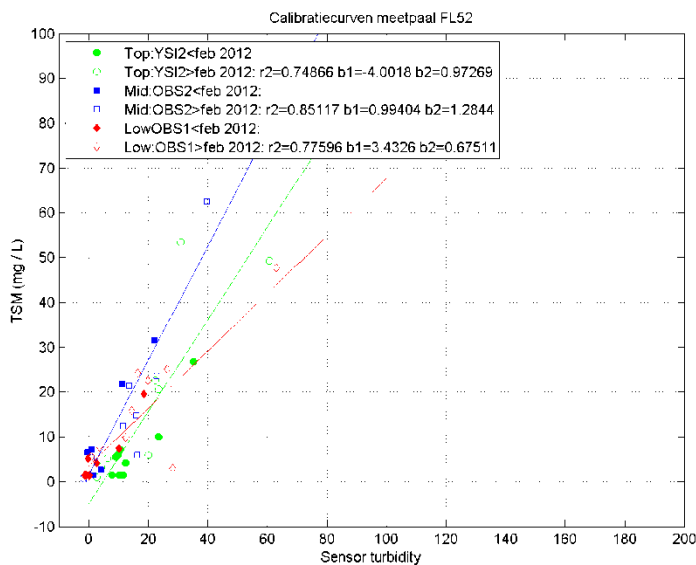
De gevalideerde meetsignalen van troebelheid (turbiditeit) zijn vervolgens tweewekelijks op verschillende momenten vergeleken met slibgehalten (mg/L), gemeten in veldmonsters nabij de meetpalen. Hierrmee is een ijklijn van de sensoren (relatie tussen signaal en slibgehalte) per sensor is vastgesteld. De ijklijn is een lineaire relatie waarvan de correlatie tussen slibgehalte en sensor signaal doorgaans hoog ($r^2 \approx 0,85-0,95$) is. De resultaten van deze kalibratie van de sensoren is te vinden in figuren 4.1-4.5. Bij de vertaling van het meetsignaal naar slibgehalte is waar mogelijk één kalibratielijn per sensor gebruikt (niet afgebeeld in de figuren).



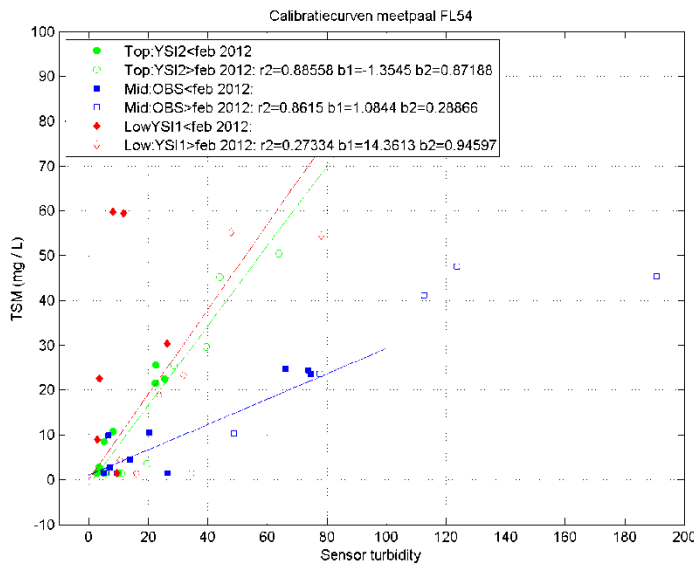
Figuur 4.1. Gemeten slibgehalte (mg/l) als functie van het meetsignaal (sensor turbidity) voor drie dieptes op meetpaal FL50 voor (dichte symbolen) en na (open symbolen) de ijsperiode (half januari – begin maart 2012)



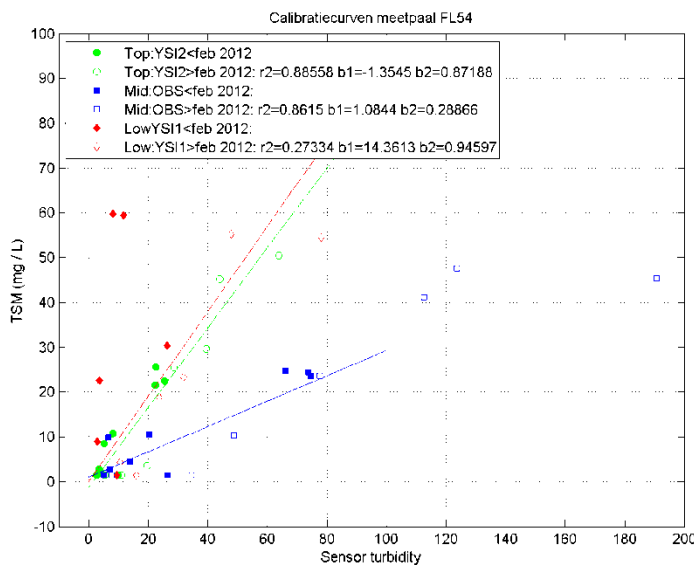
Figuur 4.2. Gemeten slibgehalte (mg/l) als functie van het meetsignaal (sensor turbidity) voor drie dieptes op meetpaal FL51 voor (dichte symbolen) en na (open symbolen) de ijsperiode (half januari – begin maart 2012)



Figuur 4.3. Gemeten slibgehalte (mg/l) als functie van het meetsignaal (sensor turbidity) voor drie dieptes op meetpaal FL52 voor (dichte symbolen) en na (open symbolen) de ijsperiode (half januari – begin maart 2012)



Figuur 4.4. Gemeten slibgehalte (mg/l) als functie van het meetsignaal (sensor turbidity) voor drie dieptes op meetpaal FL53 voor (dichte symbolen) en na (open symbolen) de ijsperiode (half januari – begin maart 2012)

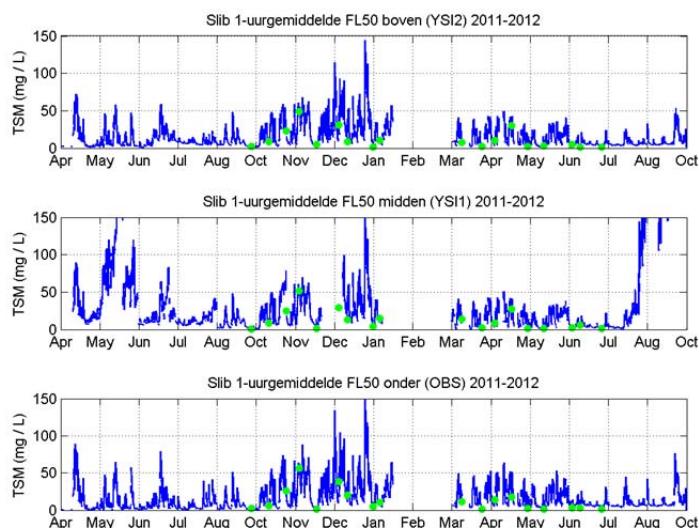


Figuur 4.5. Gemeten slibgehalte (mg/l) als functie van het meetsignaal (sensor turbidity) voor drie dieptes op meetpaal FL54 voor (dichte symbolen) en na (open symbolen) de ijsperiode (half januari – begin maart 2012)

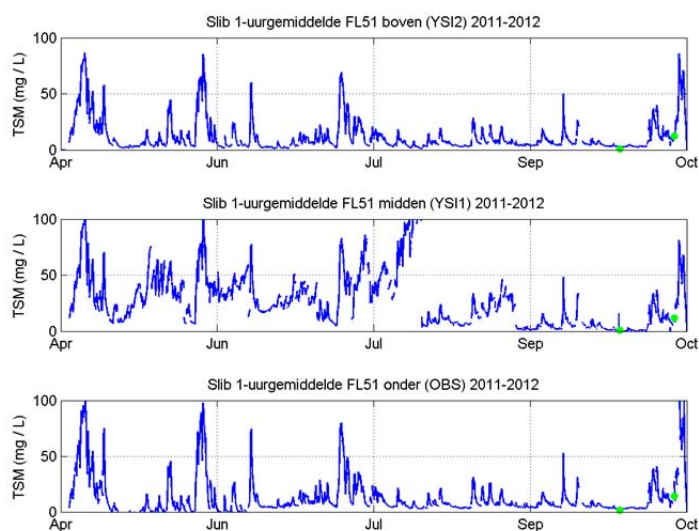
Slibmetingen

In de figuren 4.6 tot en met 4.10 is het gemeten slibgehalte (mg/l) per paal weergegeven. Te zien is dat het meetsignaal na kalibratie meestal goed door de puntmetingen loopt. Het signaal ontbreekt gedurende de vorstperiode begin 2012 en voor momenten waarop het signaal onbetrouwbaar is. Het gepresenteerde meetsignaal is een uurgemiddelde waarde gebaseerd op de oorspronkelijke 10-minuten waarden.

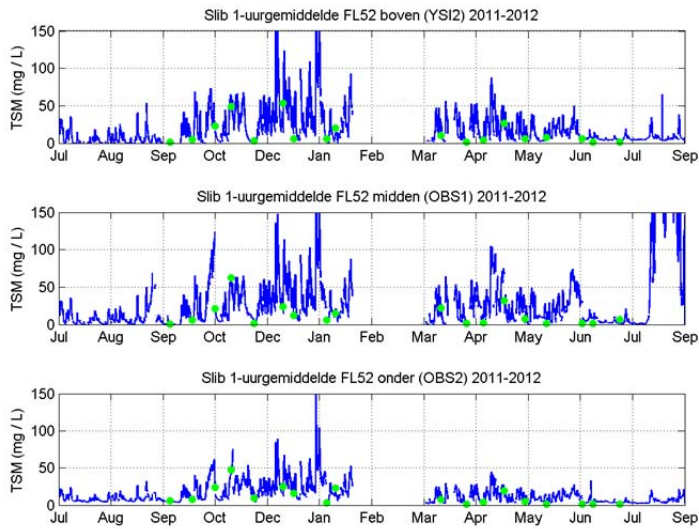
Dit geeft in een grafiek een duidelijker beeld van het verloop van de slibconcentratie in de tijd dan het originele 10-minuten signaal. Voor verdere analyse van het effect van de luwtestructuur wordt wél met het originele 10-minuten signaal gewerkt.



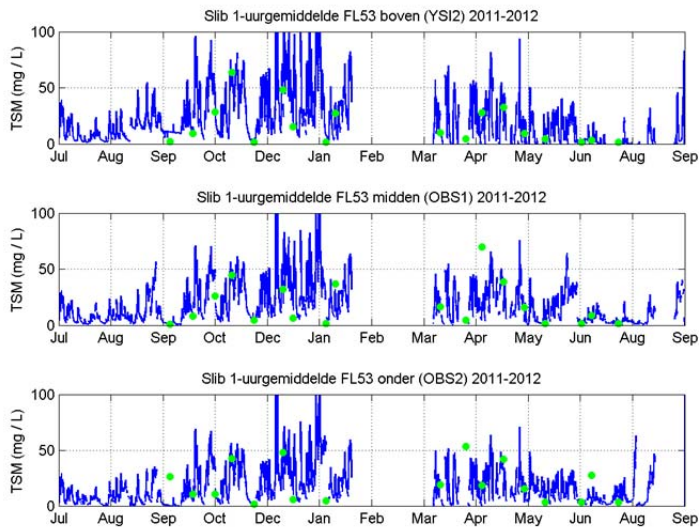
Figuur 4.6. Gemeten slibgehalte (mg/l) voor paal FL50 op drie dieptes (boven, midden en onder), sensormeting (lijn) en tweewekelijkse monsters (punten)



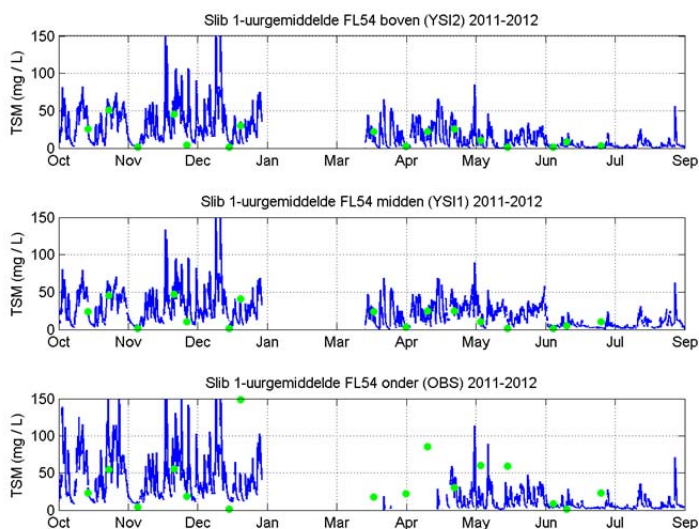
Figuur 4.7. Gemeten slibgehalte (mg/l) voor paal FL51 op drie dieptes (boven, midden en onder), sensormeting (lijn) en tweewekelijkse monsters (punten)



Figuur 4.8 Gemeten slibgehalte (mg/l) voor paal FL52 op drie dieptes (boven, midden en onder), sensormeting (lijn) en tweewekelijkse monsters (punten)



Figuur 4.9 Gemeten slibgehalte (mg/l) voor paal FL53 op drie dieptes (boven, midden en onder), sensormeting (lijn) en tweewekelijkse monsters (punten)



Figuur 4.10. Gemeten slibgehalte (mg/l) voor paal FL54 op drie dieptes (boven, midden en onder), sensormeting (lijn) en tweewekelijkse monsters (punten)

Slib analyse

Om de het effect van de luwtestructuur op slib te bepalen is gekeken hoe de gemeten slibconcentratie tussen twee palen verschillen. Daartoe zijn de volgende “paren” bekeken:

- FL51, FL52, FL53, FL54 vs FL50 (alle palen t.o.v. de referentie);
- FL52-FL53 (noord- zuidkant van het lage deel van de structuur);
- FL54-FL53 (zuidkant van de structuur hoge deel vs lage deel van de structuur);
- FL51-FL52 (noordkant van de structuur hoge deel vs lage deel van de structuur).

Voor elk van deze paren zijn de volgende grafieken beschikbaar (zie bijlage D):

1. tijdserie van het verschil in slibconcentratie als functie van de tijd;
2. scatter plot van gemeten slib;
3. verschilconcentratie slib als functie van windrichting;
4. verschilconcentratie slib als functie van windsnelheid.

De grafieken van punten 2 - 4 zijn bovendien gesplitst in de periode voor en na het plaatsen van de luwtestructuur (september 2011). De figuren geven het volgende weer: verschil slibgehalte (FLx-FLy) in mg/l als tijdserie (boven) en voor de periode voor de structuur (links) en met de structuur (rechts): scatterplot, als functie van windsnelheid en windrichting.

In bijlage C is voor dezelfde paren van meetpalen op dezelfde manier het effect van de luwtestructuur op de golfhoogte uitgezet

De resultaten zijn als volgt:

FL51-FL50 Ondiep voor aanleg van de structuur en hoge noordzijde t.o.v. referentie

FL51 heeft grotendeels voor de aanleg van de structuur gefunctioneerd en heeft van alle palen dus meeste data van de nulsituatie.

In de nulsituatie zijn de golven op FL51 (ondiep) bijna altijd lager dan op de referentielocatie (FL50, dieper, verder van de kust). Het grootste verschil treedt op bij winden met een oost-west component.

Het effect van minder hoge golven op locatie FL51 in de nulsituatie is ook te zien in de slibgegevens, vooral voor SW wind zijn de slibconcentraties lager.

Voor NO wind zijn de golven op FL51 gelijk (of zelfs enkele cm) hoger dan op FL50, in combinatie met ondieper water op FL51 leidt dit waarschijnlijk tot extra erosie, het effect daarvan is terug te zien in de slibmetingen: bij NO wind zijn de concentraties bij FL51 verhoogd zijn. Het verschil tussen beide locaties kan oplopen tot 20-30 mg/l. Uit de analyse van de stroomsnelheden blijkt dat bij NO wind op FL51 stroomsnelheden tussen 10 en 20 cm/s kunnen optreden. Deze dragen ook bij aan de erosie van bodemslib. Het is op basis van de metingen niet te zeggen welk van de twee processen overheersend is.

In aanwezigheid van de structuur zijn de slibconcentraties niet meer verhoogd bij NO wind, maar is de verhoging in slib bij ZO wind waar te nemen. Er zijn op dat moment geen golfmetingen beschikbaar maar aangenomen mag worden dat FL51 golfloos is, de verhoging van slib t.o.v. FL50 moet dus het gevolg van stroming zijn. Bij ZO wind is de stroomrichting op FL51 NO langs de structuur [zie paragraaf ADCP] met stroomsnelheden tot 20 cm/s.

Er zijn geen observaties van de nulsituatie voor paal FL54. Palen 53 en 52 hebben maar weinig data van voor de aanleg van de structuur.

FL54 t.o.v. FL50 – Hoge zuidzijde t.o.v. referentie

Golfreductie is sterk geprononceerd op deze locatie. Bij winden die van de noordzijde van de structuur komen is de golfhoogte sterk gereduceerd (tot -40 cm), voor de winden die van de zuidzijde komen geldt dat de golfhoogte toeneemt (tot +20 cm). Voor winden uit het NO (parallel aan de structuur) is er nauwelijks effect op golfhoogte.

De extra golfhoogte en versterkte stroomsnelheden (tot 50 cm/s!) leiden tot fors (50 mg/l) hogere slibconcentraties. Uitzondering zijn westenwinden waarbij de golfreductie zorgt voor flinke reductie van slib (ook meer reductie dan in de situatie voor de structuur op vergelijkbare locatie FL51). Op deze locatie verschilt de toplaag niet erg van de metingen in diepere waterlagen.

FL 53 t.o.v. FL50 - Lage Zuidzijde t.o.v. referentie

Voor wat betreft golfreductie lijkt FL53 op FL54, beiden bevinden zich aan de zuidzijde. Het effect van de lage zijde van de luwtestructuur is geringer. Dat blijkt duidelijk als voor beide palen paren de scatterplots van de golfhoogte worden vergeleken. Bij westenwind neemt de golfhoogtereductie af van -40 á -50 cm tot orde -30 cm op paal FL53. Bij ZO winden is de toename van golfhoogte voor beide zijden gelijk, order +20 cm.

De slibgehaltenes in de toplaag laten geen duidelijk patroon zien. Aan de bodem lijken de slibconcentraties vrijwel altijd verhoogd ten opzichte van FL50.

FL 52 t.o.v. FL50 - Lage Noordzijde t.o.v. referentie

FL52 aan de lage noordzijde van de structuur laten de golfmetingen zien dat golfreductie daar optreedt waar deze verwacht mag worden: reductie bij oostenwind (-20 cm) en toename (+10 cm) voor westenwinden. Het effect van de structuur op golven t.o.v. FL50 is gespiegeld aan het effect voor de lage zuidzijde en het effect is kleiner.

FL52 laat een verschillend beeld voor bodem en toplaag zien.

In de toplaag is het effect van de structuur sterker windrichtingafhankelijk, bij veel windrichtingen (van zuidoost tot noordwest) zijn slibconcentraties bij de structuur hoger dan op de referentie locatie FL50. De structuur is daarmee dus niet effectief in het verminderen van slibgehalte ter plaatse. Vóór de aanleg van de structuur was/leek er geen verschil tussen beide locaties (hoewel het windklimaat verschilt). Nabij de bodem is de structuur wel effectief: de slibconcentraties op FL 52 zijn lager dan op de referentielocatie, het verschil neemt toe met de windsnelheid. Het effect is met orde 30-tot maximaal 50 mg/l groter dan het effect aan de oppervlakte. Het midden van de waterdiepte lijkt op de bovenlaag.

FL52 t.o.v. FL51

Er is maar beperkt overlap tussen beide locaties in aanwezigheid van de structuur maar de data laten een interessant fenomeen zien. Vóór plaatsing van de structuur zijn de patronen zoals verwacht wordt, weinig verschil in slibconcentratie en hogere concentraties voor FL52 bij afluwindige wind met hogere windsnelheid (>10 m/s). Ná plaatsing van de structuur treden er bij lagere windsnelheden al grotere verschillen op (vanaf windsnelheid 3-4 m/s). Bovendien zijn de slibconcentraties bij FL51 nu hoger dan bij FL52. Dat moet dus veroorzaakt zijn door de sterke stroming op FL51, en niet het gevolg van golven.

FL 52 t.o.v. FL53

Vóór de plaatsing van de structuur (zie scatterplot) lijken deze locaties sterk op elkaar. Ook na plaatsing is dat zo. Wel is er veel meer ruis in de scatterplot maar het lijkt nog steeds min of meer op een 1:1 relatie. Als functie van de wind blijkt voor de toplaag dat de structuur de concentraties bij westenwind aan de zuidkant verlaagt (FL53<FL52), bij zuid en zuidoosten wind laat de noordkant juist wat minder slib zien (FL 52<FL53). Merk op dat t.o.v. de referentie FL50 het slibgehalte verhoogd is! Aan de bodem verschillen FL52 en FL53 niet, t.o.v. de referentie zijn deze lager.

Het lijkt er dus op dat het lage deel van de structuur aan de bodem altijd luwte biedt en het slibgehalte verlaagt (aan beide zijden van de structuur), terwijl in de toplaag van het water de slibgehalten juist zijn verhoogd. Afhankelijk van de windrichting is er relatieve luwte in te oplaag aan de lijzijde.

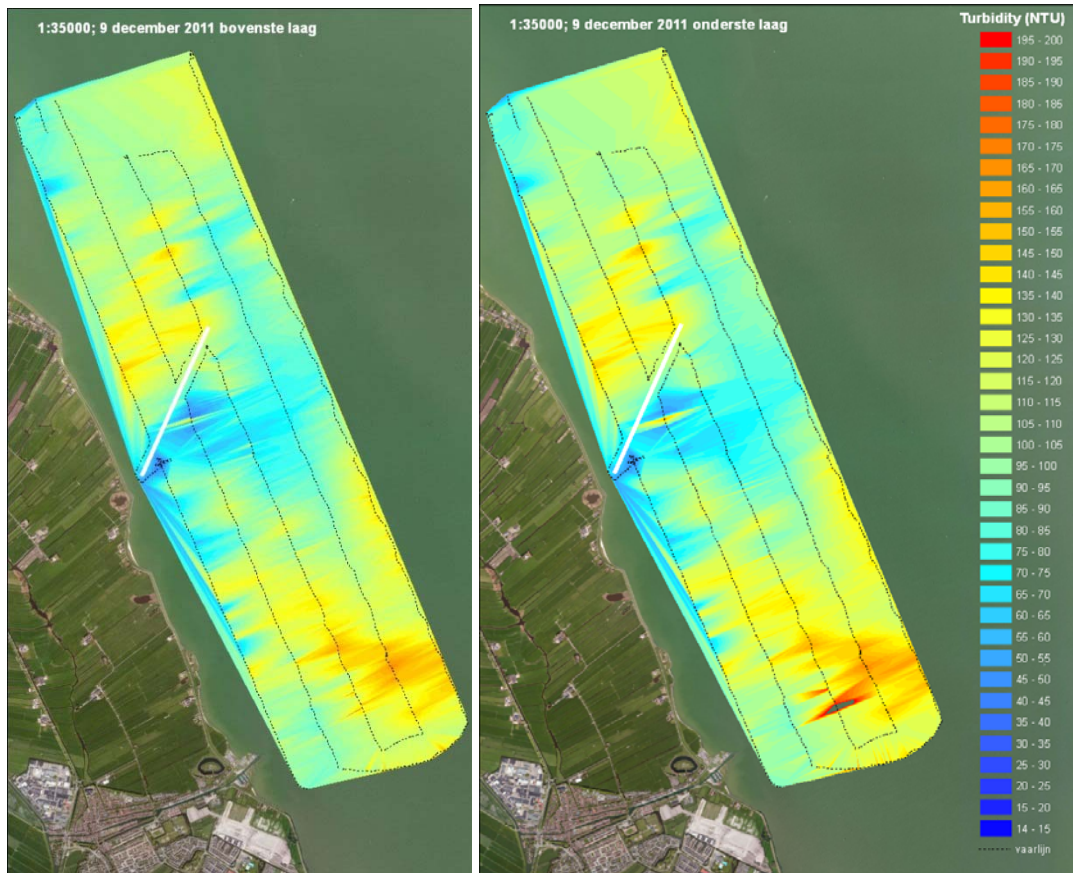
Waarschijnlijk zorgt golfuwte aan beide zijden ervoor dat minder opwerveling plaatsvindt met een overwegend positief effect op slib in diepere waterlagen. Door verhoogde stroomsnelheden (FL54 en FL53) komt van elders ongewerveld slib op deze locaties terecht dat er zonder luwtestructuur minder vaak zou komen.

FL 53 t.o.v. FL54

Er is geen analyse van voor en na de structuur mogelijk. De signalen voor bodem en middenlaag vertonen veel scatter en zijn daarom moeilijk te vergelijken. De toplaag geeft niet veel verschil tussen beide locaties.

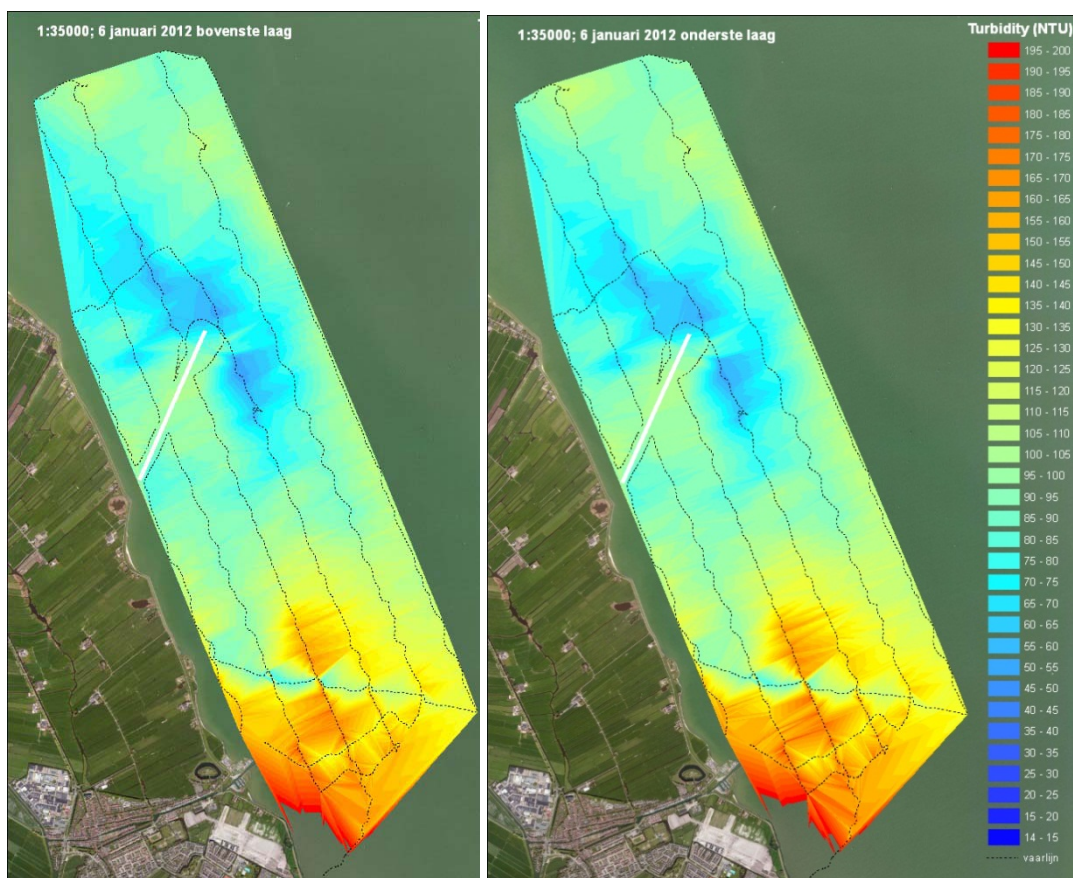
4.1.2 Invloedsgebied (effect na een storm event)

Gedurende de drie stormperiodes zijn OBS metingen verricht langs vaarlijnen. De sensoren hangen op een diepte van 0,8 m en 1,5 m ten opzichte van het schip, hierna genoemd bovenste en onderste laag. De figuren 4.11 t/m 4.13 geven een (geïnterpoleerd) beeld van de NTU waarden (Nephelometric Turbidity Unit).



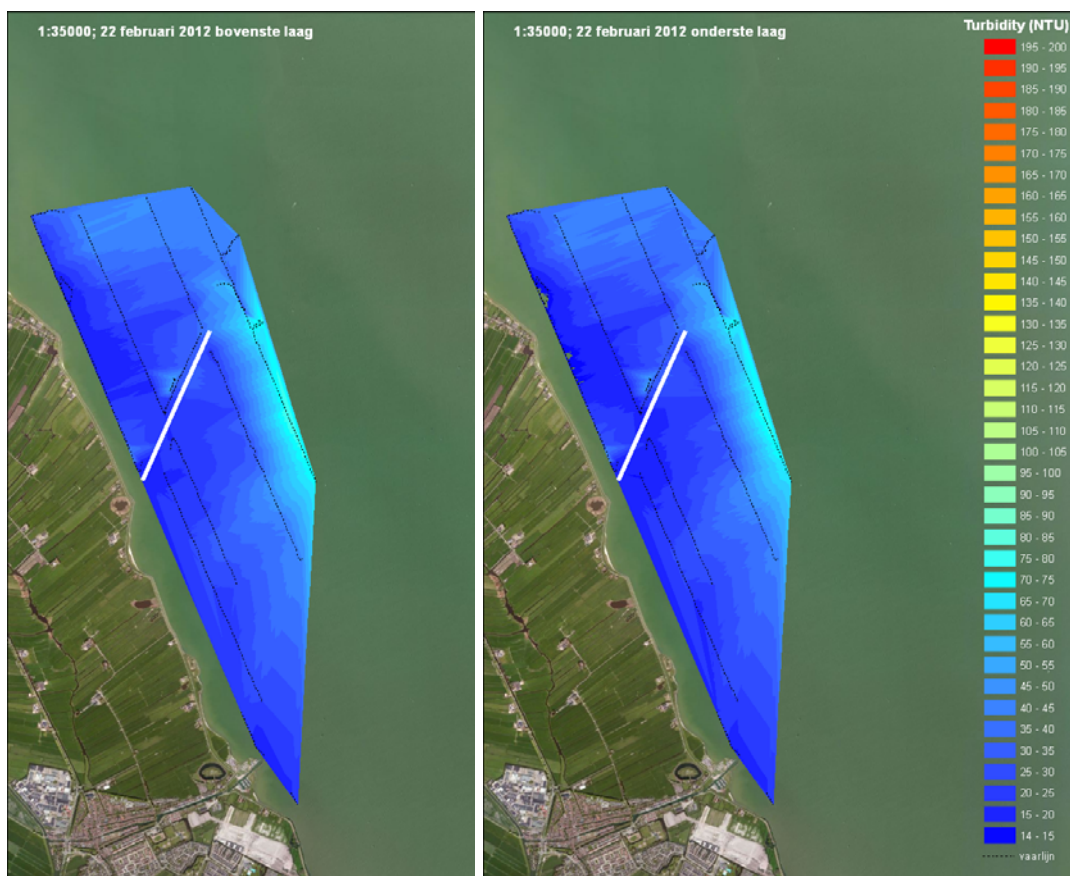
Figuur 4.11: NTU metingen voor 9 december 2011 met vaarlijnen in het zwart. De windrichting is 260°, de maximale windsnelheid is 21 m/s (10 minuten waarde)

De NTU metingen zijn volgens vaarlijnen verzameld, wat betekent dat een exact beeld in de tijd niet te bepalen is. De tijd tussen eerste en laatste meting is ca. 6 uur. Op 9 december 2011 is te zien dat de NTU waarden aan de oostzijde van de luwtestructuur lager zijn dan aan de westzijde. Het effect lijkt zichtbaar tot op een afstand van ruim 1 à 2 km van de structuur, oftewel in dezelfde orde als de lengte van de structuur. De windrichting uit het westen lijkt hierbij een bepalende factor. Appendix C geeft de windgegevens voor de periode rondom de storm event metingen. Verschillen tussen de bovenste en onderste laag zijn klein te noemen. De onderste laag laat iets hogere waarden zien. Dit is ook wat wordt verwacht.



Figuur 4.12: NTU metingen voor 6 januari 2012 met vaarlijnen in het zwart. De windrichting is 310°, de maximale windsnelheid is 23 m/s (10 minuten waarde)

Uit het beeld op 6 januari 2012 in de bovenstaande figuur is op te maken dat bij noordelijke wind het effect van de luwtestructuur minder duidelijk naar voren komt. Hogere NTU waarden zijn zichtbaar in het zuidelijk deel, onder meer te verklaren door golfgroei. Door de sterk noordelijke wind zou te verwachten zijn dat het zuidelijk deel achter de luwtestructuur een lagere NTU waarde zou laten zien, dit is echter niet direct zichtbaar.



Figuur 4.13: NTU metingen voor 22 februari 2012 met vaarlijnen in het zwart. De windrichting is geschat² op 210°

Het beeld voor 22 februari 2012 laat zien dat over het algemeen lage NTU waarden worden gemeten. Dit is te verklaren door de aanwezigheid van ijs kort voor de meting. In februari 2012 waren er 13 ijsdagen³. Door de ijslaag die tot enkele dagen voor de meting aanwezig was, is de turbiditeit afgenomen tot lage waarden in vergelijking met de normale situatie. Het onderscheid tussen de onderste en bovenste laag is nauwelijks zichtbaar. De situatie op 22 februari kan worden beschouwd als een “evenwichtssituatie” vanwege de ijsperiode.

In de bovenstaande figuren zijn de meetpunten op de vaarlijnen direct naar elkaar toe geïnterpoleerd. Een verdere analyse van de gegevens langs de vaarlijnen (figuur 4.14) geeft het onderstaande beeld.

² <http://www.grandix.nl/historisch/het-weer-op/22-02-2012/>

³ <http://www.weerstatistieken.nl/2012/februari>



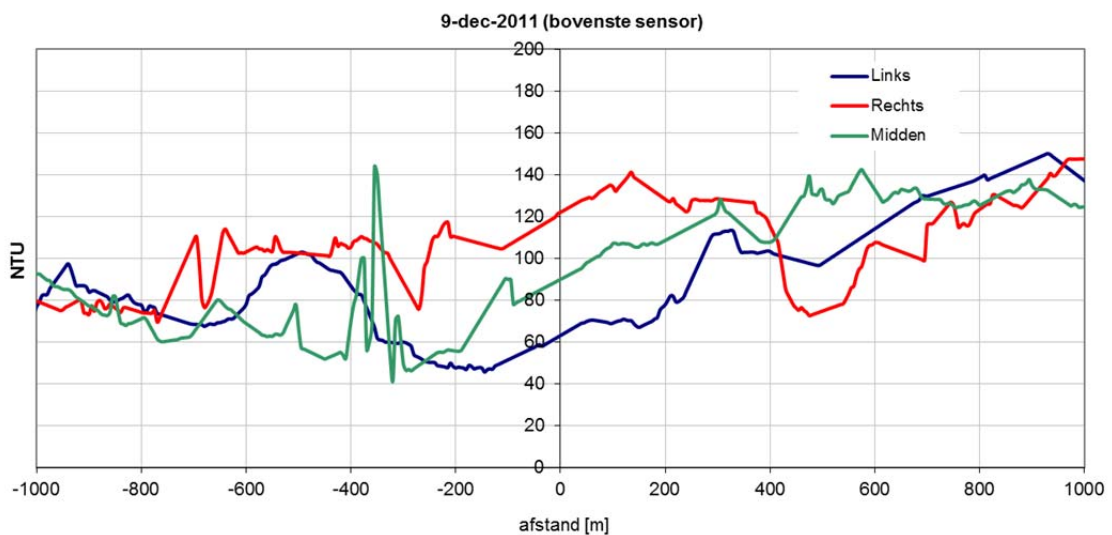
9 december 2011

6 januari 2012

22 februari 2012

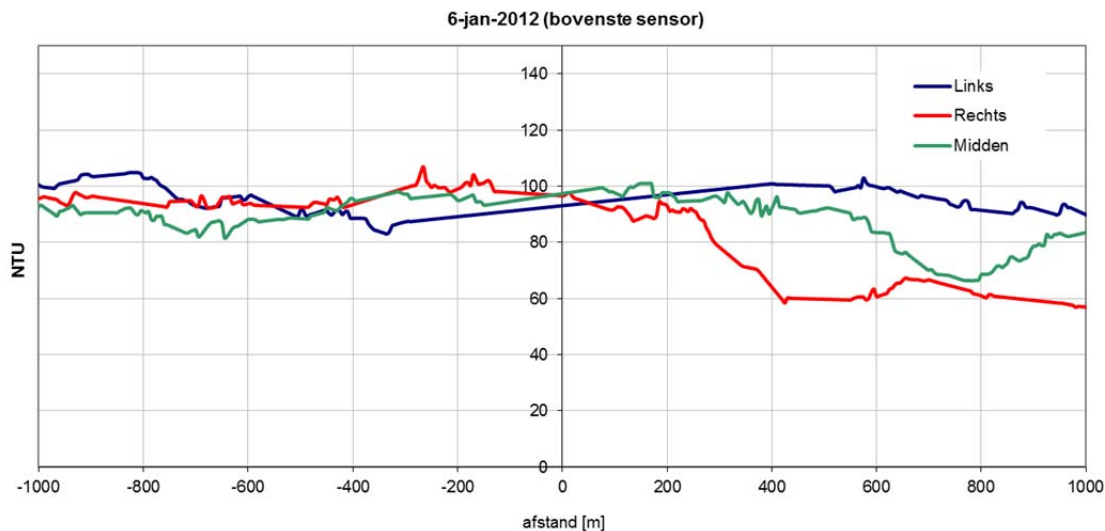
Figuur 4.14: Vaarlijnen en dwarsdoorsneden (blauw)

De dwarsdoorsneden zijn bepaald zoveel mogelijk op de vaarlijn om een meer gedetailleerd beeld te krijgen van zuid naar noord. Het resultaat voor 9 december is onderstaand weergegeven, de luwtestructuur ligt op afstand 0.



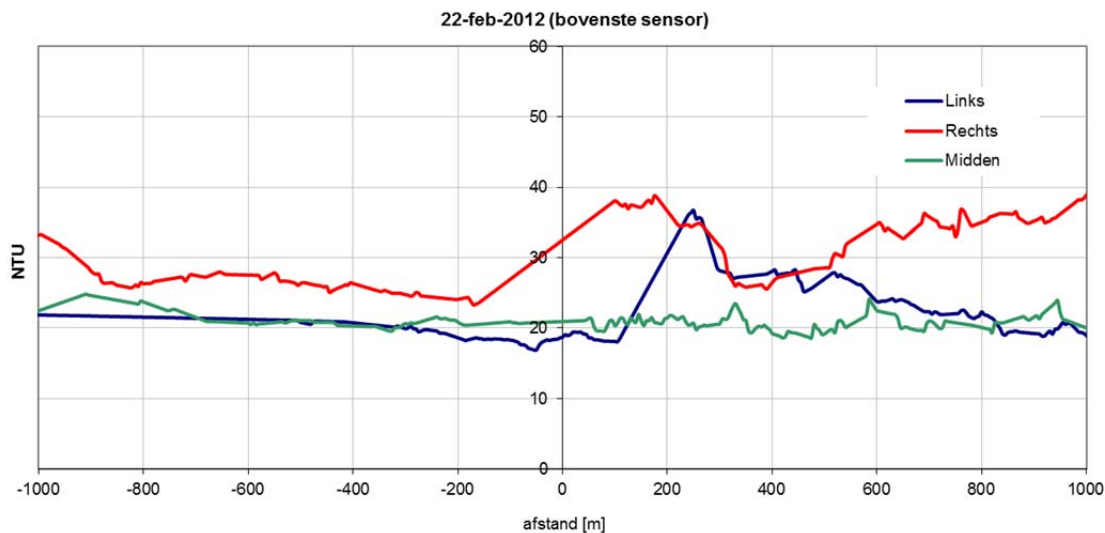
Figuur 4.15: Dwarsdoorsnede voor 9 december 2011 van zuid (negatief) naar noord (positief), afstand t.o.v. luwtestructuur

Uit de figuur is te zien dat aan de zuidkant van de luwtestructuur een lagere NTU waarde is gemeten. De windrichting is 260 graden, zodat verwacht mag worden dat net aan de zuidkant van de luwtestructuur een lagere NTU waarde optreedt. Dit is enigszins terug te zien in de figuur.



Figuur 4.16: Dwarsdoorsnede voor 6 januari 2012 van zuid (negatief) naar noord (positief), afstand t.o.v. luwtestructuur

In de dwarsdoorsnede voor 6 januari is niet direct een duidelijk verschil aan te wijzen in de NTU waarden. Dit kan worden verklaard door de windrichting van 310 graden en aanhoudend sterke wind, waardoor een grootschalig circulatie patroon wordt gegenereerd. Dit zorgt voor hogere stroomsnelheden aan de zuidkant van de structuur. Hierdoor wordt het effect van golfwte mogelijk teniet gedaan. De meest rechtse en midden dwarsdoorsnede laat wel een lagere NTU waarde zien dan aan de noordzijde.



Figuur 4.17: Dwarsdoorsnede voor 22februari 2012 van zuid (negatief) naar noord (positief), afstand t.o.v. luwtestructuur

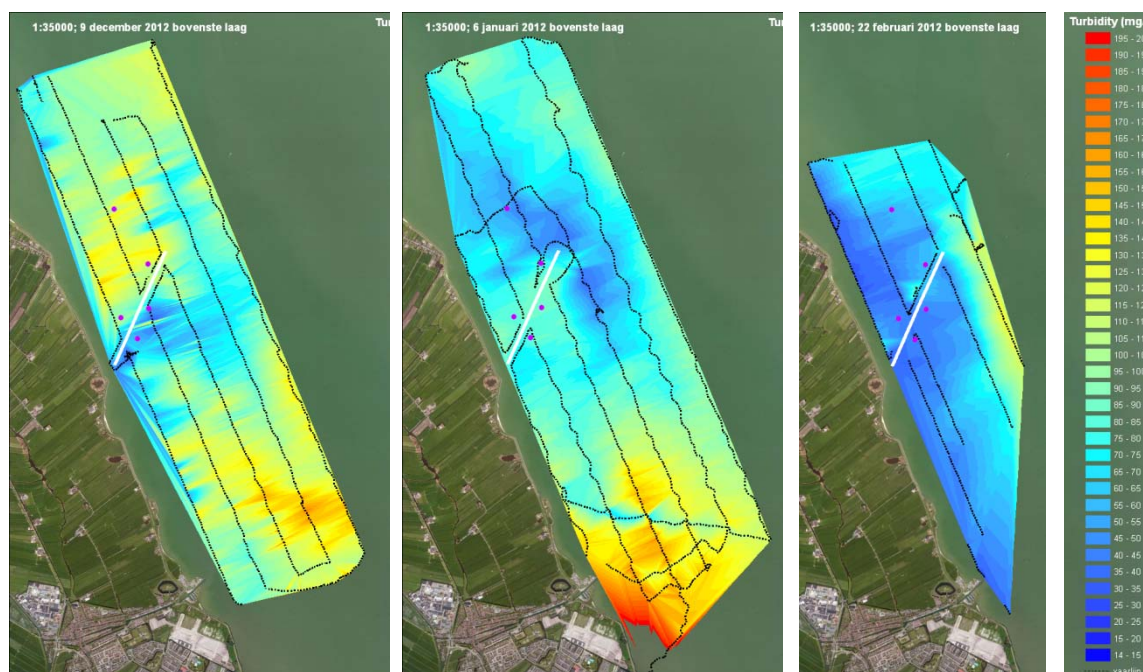
De dwarsdoorsneden voor 22 februari 2012 laten relatief lage NTU waarden zien. Ook hier geldt dat de windrichting van 210 graden ervoor zorgt dat de windgolfrichting nagenoeg parallel loopt aan de luwtestructuur, en dat daarom weinig verschil tussen de noord- en zuidkant te zien is.

Omzetting van NTU naar mg/l

Om een vergelijking te kunnen maken tussen de troebelheidswaarnemingen van de sondes op de meetpalen en de gevaren lijnen is de NTU waarde minder geschikt. Een betere vergelijking kan worden gemaakt als gebruik wordt gemaakt van de mg/l waarden. In de vergelijking wordt alleen gekeken naar de YSI2 sonde metingen voor de meetpalen, voor de vaarlijnen wordt alleen de bovenste laag beschouwd. Op basis van de meetgegevens van Deep B.V. en de analysesresultaten van de watermonsters (eveneens genomen door Deep B.V.) is een calibratielijijn opgesteld voor de bovenste sensor.

Voor de vaarlijnen gelden de volgende (lineaire) relaties met de fractie verklaarde variantie (R^2). Hierin is y: de troebelheid in mg/l en x de troebelheid in NTU.

9 december 2011	:	$y = 1.0735x - 11.951$, $R^2 = 0.9237$	(1)
6 januari 2012	:	$y = 1.0296x - 14.508$, $R^2 = 0.8532$	(2)
22 februari 2012	:	$y = 1.4808x + 10.189$, $R^2 = 0.9879$	(3)



Figuur 4.18: Weergave van troebelheidswaarden in mg/l, omgezet via de formules 1, 2 en 3. De meetpalen zijn weergegeven in het paars

Voor de paalmetingen geldt dat alleen de YSI2 sonde wordt beschouwd. De volgende relaties zijn afgeleid voor de paalmetingen (YSI2 sonde, bovenste laag), met y de troebelheid in mg/l en x de troebelheid in NTU:

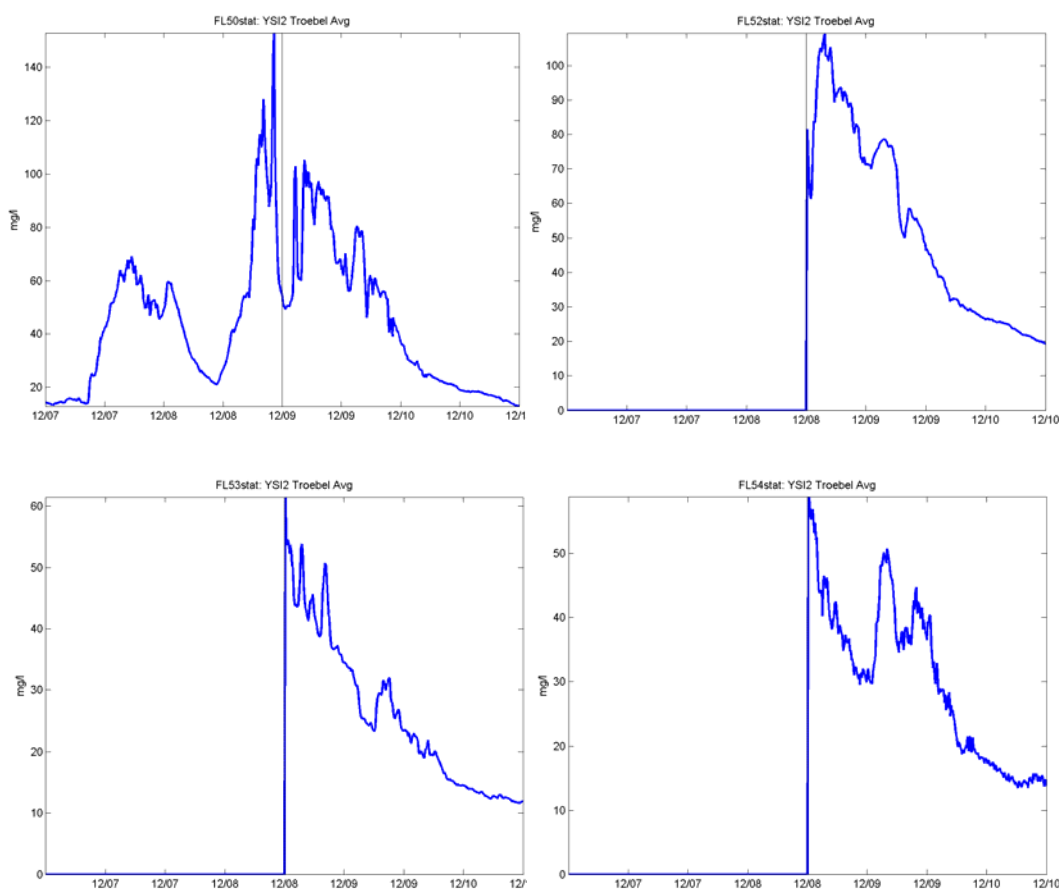
$$\text{FL50: } y=0.8358x, \quad R^2=0.8498 \quad (4)$$

$$\text{FL52: } y=0.8346x, \quad R^2=0.7359 \quad (5)$$

$$\text{FL53: } y=0.7611x, \quad R^2=0.8386 \quad (6)$$

$$\text{FL54: } y=0.8376x, \quad R^2=0.8090 \quad (7)$$

Voor alle meetpalen behalve FL51 zijn YSI2 sonde metingen aanwezig in de stormperiodes december 2011 en januari 2012. Deze metingen in NTU zijn omgezet via de bovenstaande formules.



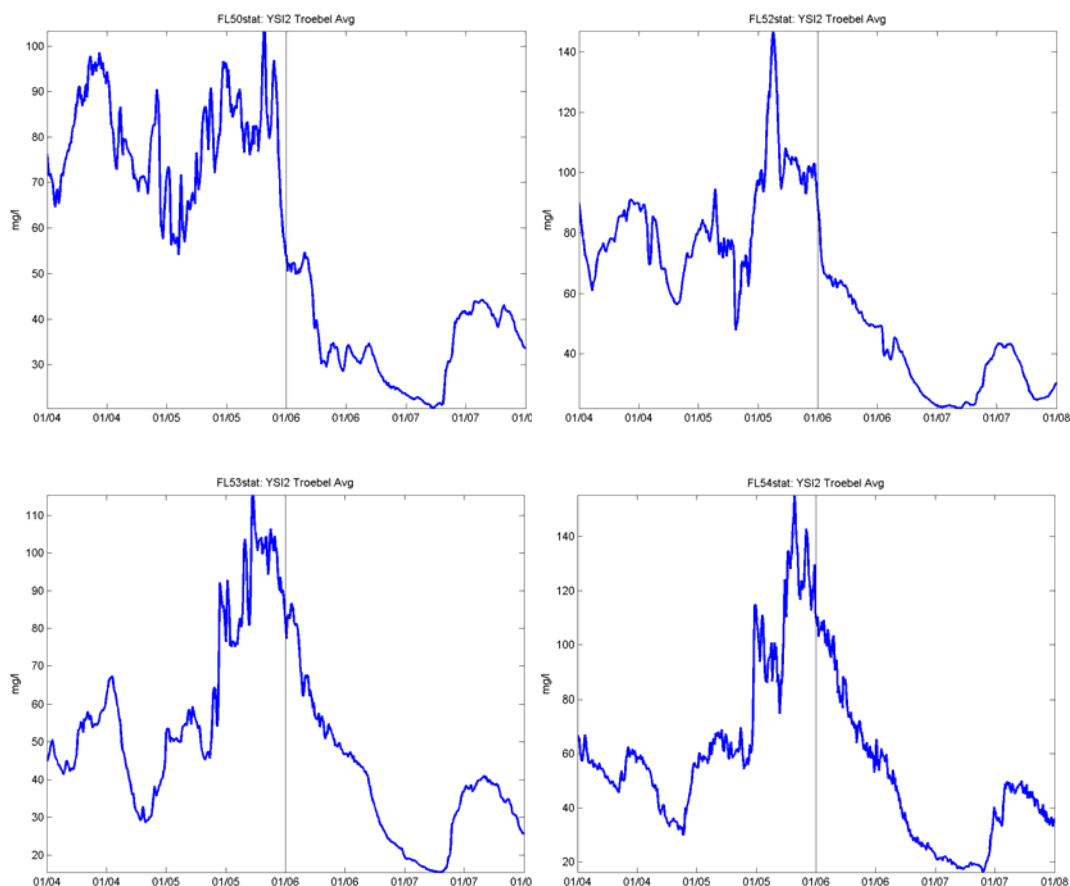
Figuur 4.19: Weergave van gesuspendeerd sediment concentratie in mg/l voor de storm op 9 december 2011 voor de meetpalen FL50, 52-54

Een selectie van metingen op paal FL50 tijdens de stormen op 9 december 2011 en 6 januari 2012 geeft het volgende beeld. De turbiditeit lijkt af te nemen direct na de storm. Dit kan worden verklaard door vlokvorming; voor de meting op 6 januari 2012 lijkt de turbiditeit zich langzaam te herstellen over de periode van enkele dagen.

Meetpaal FL50 ligt aan de noordzijde van de luwtestructuur, de wind- en golfrichting op 6 januari was 10 graden. Effecten van beschutting door de luwtestructuur zijn daarom niet te verwachten. Ditzelfde geldt voor de storm op 9 december, waar de wind- en golfrichting 260 graden was.

Voor meetpaal FL54, aan de zuidzijde van de luwtestructuur lijkt ook een daling in de NTU waarden op te treden na de storm. Een herstel naar normale waarden duurt enkele dagen.

Op 6 januari zou te verwachten zijn dat er een beschuttend effect te zien is door de aanwezigheid van de luwtestructuur. Dit effect is niet direct af te lezen uit de data.



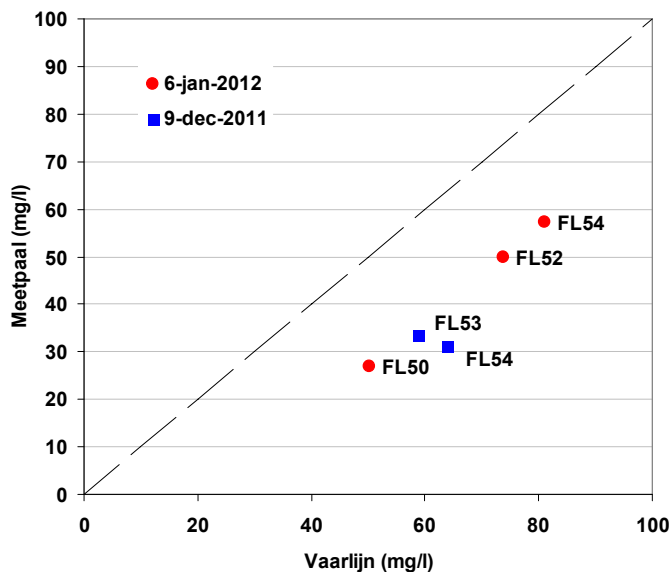
Figuur 4.20: Weergave van gesuspendeerd sediment concentratie in mg/l voor de storm op 6 januari 2012 voor de meetpalen FL50, 52-54

De onderstaande tabel geeft een vergelijking tussen concentraties slib in mg/l tussen de meetpalen en de vaarlijnen. De waarde voor de vaarlijnen (links) is hierbij het gemiddelde in een straal van 200 meter rond iedere meetpaal. De waarde van de YSI2 sonde is bepaald uit de bovenstaande grafieken op de tijd dat het schip bij de betreffende meetpaal was.

9 dec. 2011	Gem. concentratie (mg/l) Vaarlijnen (200 meter radius) Bovenste laag	Gem. concentratie (mg/l) YSI2 sonde, meetpalen
FL50	113.51, $\sigma = 12.90$	68
FL52	114.77, $\sigma = 10.53$	79
FL53	58.90, $\sigma = 18.31$	33.6
FL54	63.85, $\sigma = 3.71$	31.2

6 jan. 2012	Gem. concentratie (mg/l) Vaarlijnen (200 meter radius) Bovenste laag	Gem. concentratie (mg/l) YSI2 sonde, meetpalen
FL50	50.16, $\sigma = 4.99$	27
FL52	73.83, $\sigma = 11.25$	49.9
FL53	Geen vaarlijnen in buurt van paal	
FL54	81.08, $\sigma = 3.46$	57.2

Een vergelijking van de metingen, zoals weergegeven in figuur 4.21, laat zien dat de vaarlijnmetingen hogere waarden laten zien dan de meetpalen. Dit kan worden veroorzaakt doordat een verschillend type sensor is gebruikt, een YSI op de meetpalen en een OBS op de boot. Daarnaast zijn de metingen met de boot niet direct nabij de palen genomen, echter zou dit niet kunnen verklaren waarom de palen structureel lagere waarden laten zien. Een andere mogelijkheid is dat de OBS sensoren toch wat last hebben gehad van luchtbellens. De sensoren zaten vast aan een paal, die aan de boot bevestigd is. Bij het varen kunnen dan luchtbellens ontstaan, ondanks dat de vaarsnelheid beperkt was. De OBS sensor ziet de luchtbellens als troebelheid en kan daarom hogere waarden laten zien. Voor de absolute waarden van de concentratie heeft dit effect, echter zullen de patronen van concentraties rondom de luwtestructuur hetzelfde zijn.



Figuur 4.21: Vergelijking tussen de gemeten slibconcentraties van vaarlijnen en meetpalen in mg/l

4.2 Effect luwtestructuur op sedimentatie

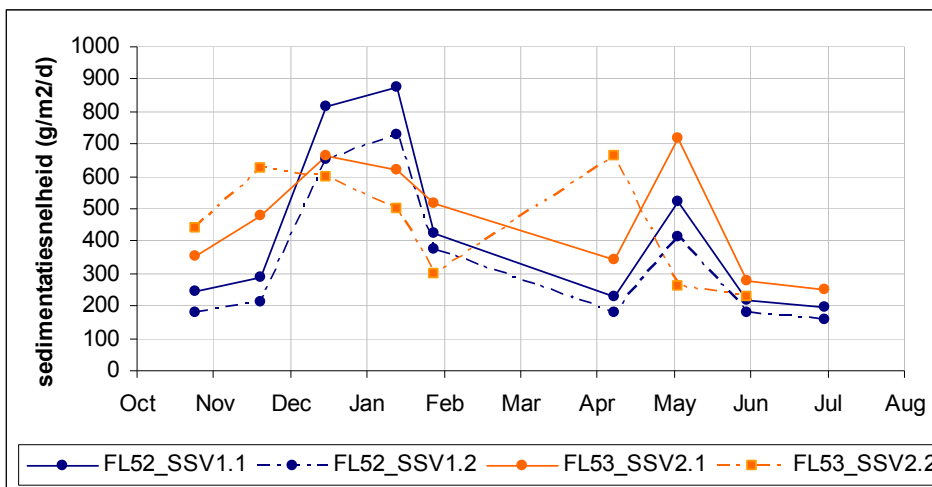
4.2.1 Sediment vallen

De bruto aanslibbing rondom de luwtestructuur is gedurende de looptijd van het experiment op 9 momenten bepaald door de hoeveelheid slib in zes identieke langwerpige sedimentkokers (lengte 60 cm, diameter 6 cm) op te vangen. Deze kokers zijn in een symmetrische carrousel bevestigd (zie figuur 4.25) aan twee meetpalen (FL52 en FL53), aan weerszijden van de lage kant van de luwtestructuur. Op beide palen hangen twee sedimentvallen, op -100 cm onder de waterspiegel (SSV1.2 en SSV2.2) en dieper op -150 cm (SSV1.1 en SSV2.1).

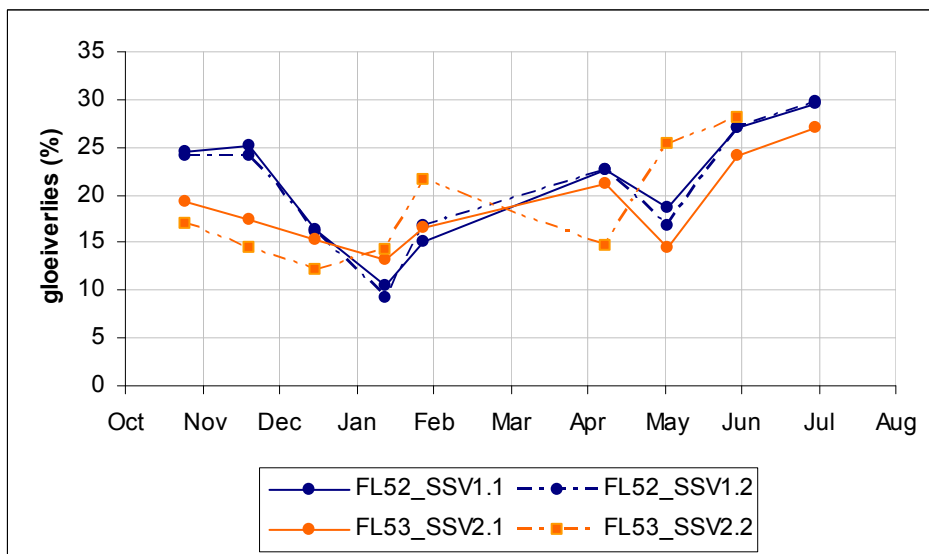
Na ongeveer een maand (zie tabel 4.1 voor het exacte aantal dagen) is voor elke val het volgende bepaald: slibdikte (cm), hoeveelheid ingevangen droge stof (g) en het percentage gloeirest (%) van dit slib. Uit deze metingen is de snelheid van sedimenteren ($\text{g/m}^2/\text{d}$) berekend. De cilinders zijn zo ontworpen dat resuspensie van ingevangen materiaal niet mogelijk wordt geacht. De zo bepaalde snelheid is dus een bruto sedimentatiesnelheid.

Figuur 4.22 laat de bruto sedimentatiesnelheid in de tijd zien. Hierbij valt het volgende op:

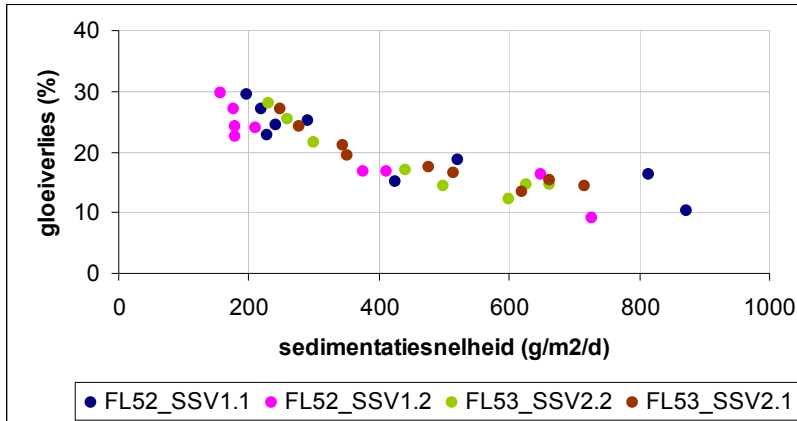
- De sedimentatiesnelheid die is bepaald is op -1 m verschilt niet erg van die op -1.5 m; dit geldt voor beide palen en stemt overeen met de verwachting, immers de slibconcentratie verschilt niet sterk over de diepte.
- De bruto sedimentatiesnelheid verschilt sterk over het jaar ($200\text{-}800 \text{ g/m}^2/\text{d}$) en is niet consequent hoger voor een van beide locaties. Dat betekent dat de combinatie van windrichting en positie van de meetlocatie ten opzichte van de structuur bepalend is voor de hoeveelheid ingevangen slib.
- De gloeirest fractie is een indicatie voor de hoeveelheid organisch stof in het sediment. Figuur 4.23 laat lage winterwaarden (10%) zien en waarden tot 25-30% voor de zomer. Figuur 4.24 laat zien dat hoge gloeirestwaarden (zomer) horen bij slib met een kleinere dichtheid.



Figuur 4.22: Bruto sedimentatiesnelheid op verschillende momenten gemeten in sedimentvallen op de meetpalen FL52 en FL53 op twee dieptes (SSV1.1 en SSV2.1 op x m –NAP en SSV1.2 en SSV2.2 op y m –NAP)



Figuur 4.23: Gloeirest in sediment ingevangen op verschillende momenten in sedimentvallen op de meetpalen FL52 en FL52 op twee dieptes (SSV1.1 en SSV2.1 op x m –NAP en SSV1.2 en SSV2.2 op y m –NAP)



Figuur 4.24: Gloeirest als functie van de sedimentatiesnelheid. Bepaald voor alle sedimentval data (hele periode, palen FL52 en FL53 voor beide dieptes)



Figuur 4.25 Voorbeeld van een sedimentval. Observaties van de 6 individuele buizen worden gemiddeld

Tabel 4.1: Meetresultaten sedimentvallen. Gemeten slib en sliblaag dikte in kolommen 6-7 en daaruit berekende gegevens in kolommen 8-10

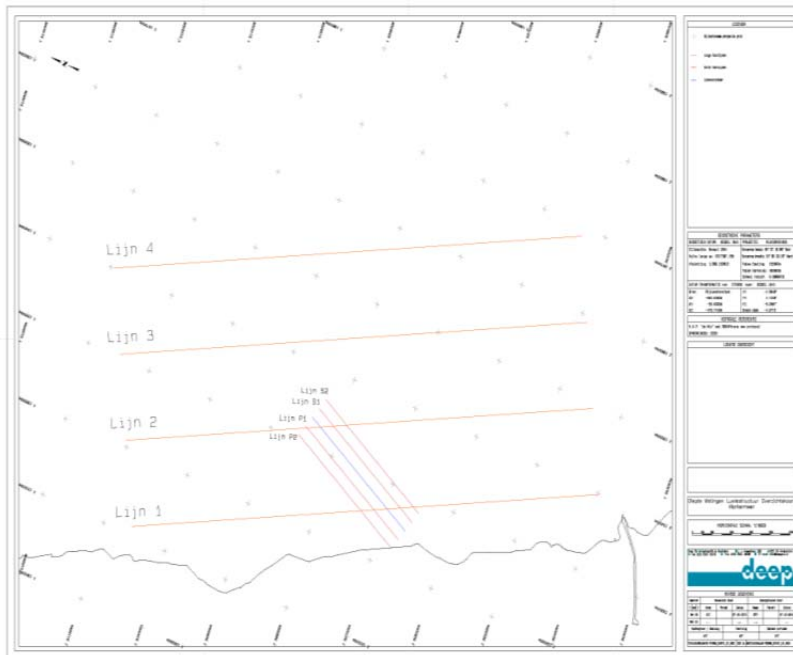
Paal	Sediment val	Datum van	Datum tot	Aantal dagen	Slib cm	Fluv cm	Sedimentatie snelheid g/m ² /d	Gloei verlies %	Dichtheid g/l
FL52	SSV1.1-M	22/09/2011	28/10/2011	36	2.6	4.9	242	24.5	14.1
FL52	SSV1.1-M	28/10/2011	23/11/2011	26	5.2	0.7	290	25.1	12.2
FL52	SSV1.1-M	23/11/2011	19/12/2011	26	8.0	0.5	815	16.4	34.3
FL52	SSV1.1-M	19/12/2011	16/01/2012	28	7.5	0.5	873	10.4	39.6
FL52	SSV1.1-M	16/01/2012	31/01/2012	15	2.5	0.5	425	15.1	10.3
FL52	SSV1.1-M	21/03/2012	12/04/2012	22	4.0	0.5	229	22.7	10.4
FL52	SSV1.1-M	12/04/2012	07/05/2012	25	6.7	1.2	522	18.6	21.1
FL52	SSV1.1-M	07/05/2012	04/06/2012	28	5.2	0.8	220	27.0	10.0
FL52	SSV1.1-M	04/06/2012	05/07/2012	31	5.7	0.9	197	29.5	9.9
FL52	SSV1.2-M	22/09/2011	28/10/2011	36	1.0	4.1	178	24.1	10.4
FL52	SSV1.2-M	28/10/2011	23/11/2011	26	3.2	0.7	210	24.0	8.9
FL52	SSV1.2-M	23/11/2011	19/12/2011	26	6.2	0.5	650	16.2	27.4
FL52	SSV1.2-M	19/12/2011	16/01/2012	28	5.9	0.5	726	9.2	32.9
FL52	SSV1.2-M	16/01/2012	31/01/2012	15	1.5	0.5	376	16.8	9.1
FL52	SSV1.2-M	21/03/2012	12/04/2012	22	3.0	0.5	179	22.6	8.1
FL52	SSV1.2-M	12/04/2012	07/05/2012	25	5.0	0.5	411	16.8	16.6
FL52	SSV1.2-M	07/05/2012	04/06/2012	28	3.7	0.5	177	27.1	8.0
FL52	SSV1.2-M	04/06/2012	05/07/2012	31	4.7	0.8	156	29.7	7.9
FL53	SSV2.1-M	22/09/2011	28/10/2011	36	1.5	8.0	352	19.4	20.5
FL53	SSV2.1-M	28/10/2011	23/11/2011	26	5.7	1.1	477	17.4	20.1
FL53	SSV2.1-M	23/11/2011	19/12/2011	26	7.1	0.5	662	15.4	27.9
FL53	SSV2.1-M	19/12/2011	16/01/2012	28	7.0	0.5	619	13.3	28.1
FL53	SSV2.1-M	16/01/2012	31/01/2012	15	3.0	0.5	515	16.5	12.5
FL53	SSV2.1-M	21/03/2012	12/04/2012	22	5.0	0.5	343	21.1	12.2
FL53	SSV2.1-M	12/04/2012	07/05/2012	25	6.9	2.5	716	14.4	29.0
FL53	SSV2.1-M	07/05/2012	04/06/2012	28	5.6	0.5	278	24.1	12.6
FL53	SSV2.1-M	04/06/2012	05/07/2012	31	6.5	1.0	249	27.1	12.5
FL53	SSV2.2-M	28/10/2011	23/11/2011	26	2.0	0.5	440	17.1	10.0
FL53	SSV2.2-M	23/11/2011	19/12/2011	26	5.8	0.5	626	14.5	26.4
FL53	SSV2.2-M	19/12/2011	16/01/2012	28	6.5	0.5	599	12.1	27.2
FL53	SSV2.2-M	16/01/2012	31/01/2012	15	2.5	0.5	499	14.3	12.1
FL53	SSV2.2-M	21/03/2012	12/04/2012	22	4.0	0.5	299	21.6	10.6
FL53	SSV2.2-M	12/04/2012	07/05/2012	25	6.6	1.8	662	14.6	26.8
FL53	SSV2.2-M	07/05/2012	04/06/2012	28	5.0	1.0	259	25.4	11.7
FL53	SSV2.2-M	04/06/2012	05/07/2012	31	6.0	1.0	231	28.1	11.6

4.2.2 Slibdikte – erosie / sedimentatie

Voor de bepaling van de erosie en sedimentatie in de omgeving van de luwtestructuur zijn gegevens van drie lodingen gedurende de looptijd van het experiment gebruikt: één in 2011 (week 39 / 26 september) en twee in 2012 (week 12 / 20 maart en 33 / 17 augustus). We refereren aan deze opnamen als 'nulmeting', 'na 6 maanden' en 'eindmeting' (zie paragraaf 2.3.1). Zie figuur 4.26 voor een overzicht van de acht raaien die zijn gevaren.

De data zijn op twee manieren geanalyseerd:

1. statistiek van alle data per raai; en
2. ruimtelijk voor alle raaien.



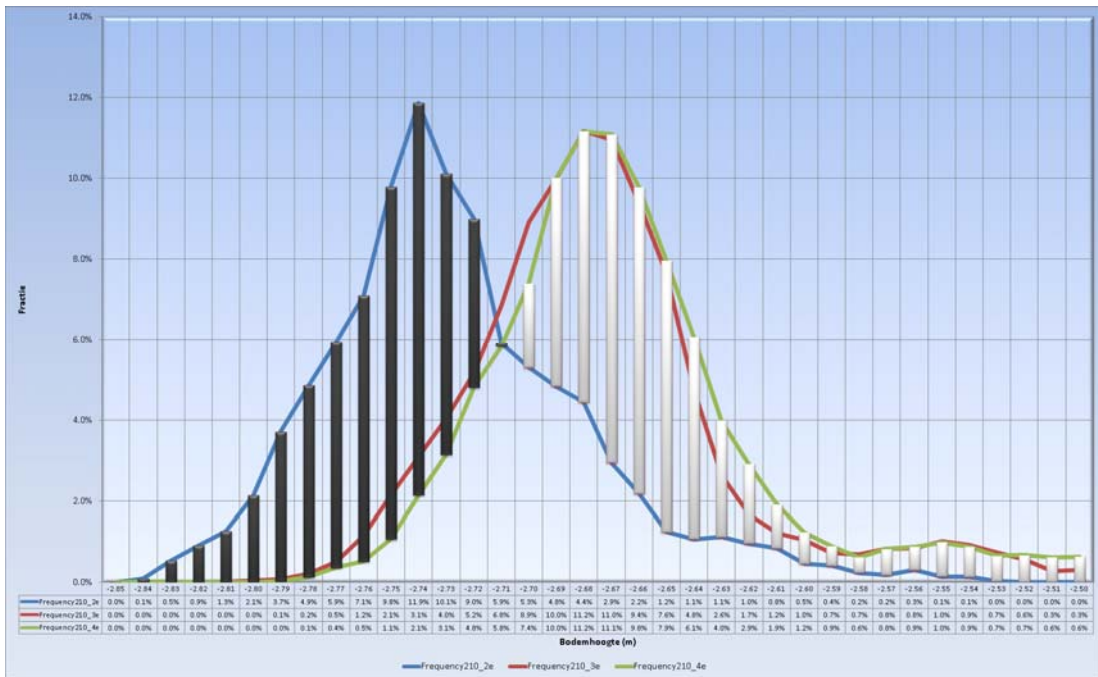
Figuur 4.26: Ligging van de raaien (kustlangs 1 t/m 4, rondom de luwtestructuur P1 en P2 (noordelijk) en S1 en S2 (zuidelijk))

De onzekerheid in de verschilbepalingen van de bodemdiepte is van een grootteorde van 7 cm (zie disclaimer). De meeste gemeten verschillen die in deze paragraaf worden beschreven zijn echter kleiner dan deze onzekerheid!

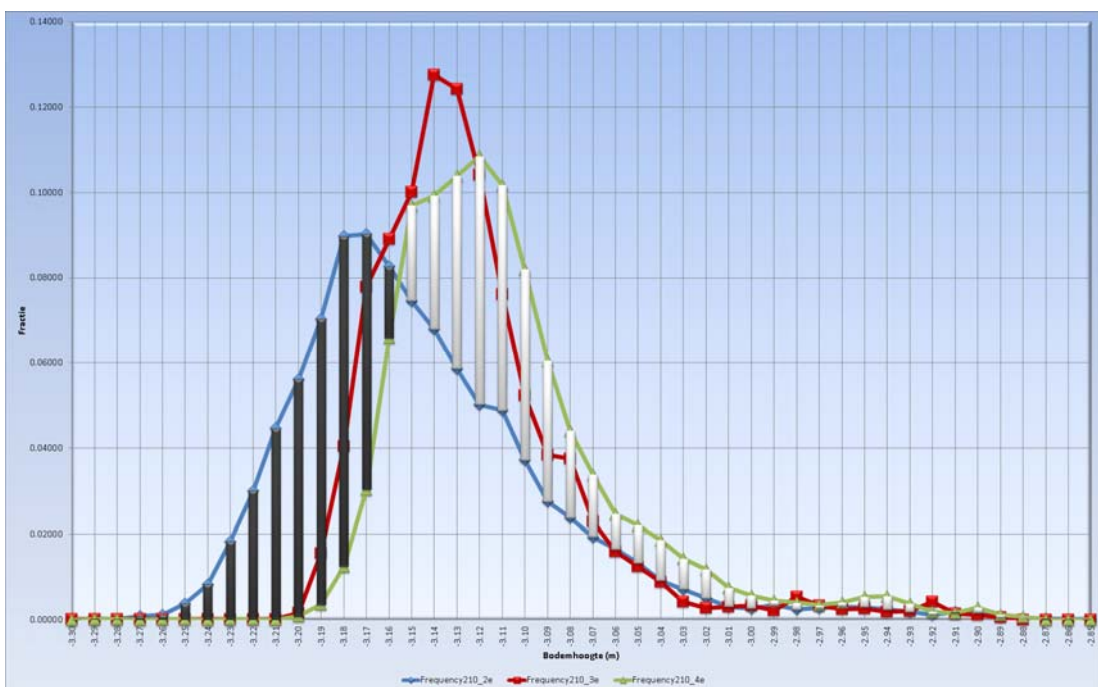
Statistische analyse

Voor deze analyse zijn acht datasets (de raaien uit figuur 4.26) bekeken. Voor elke raai is gekeken naar de frequentieverdeling van de gemeten dieptes. De verschuiving van de frequentieverdeling geeft aan of er op die raai verdieping (erosie) of verondieping (sedimentatie) plaatsvindt.

Een voorbeeld voor raai1 is weergegeven in figuur 4.27. Te zien is dat de gemiddelde diepte in deze raai varieert van -2,85 tot -2,50 m, de data zijn normaal-verdeeld. De figuur laat zien dat de bodemhoogte gedurende het experiment verschuift: de piek (diepteklasse die het vaakst voorkomt) verschuift van -2.74 naar -2.68m, een verondieping van 7 cm. Deze bodemhoogteverdeling verandert gedurende de eerste zes maanden van het experiment (verschil van de eind- en de nulmeting wordt gerealiseerd tussen de nulmeting en de meting na 6 maanden). Het patroon voor raai 2 (figuur 4.28) is vergelijkbaar met dat van raai 1, omdat de raai verder van de kust ligt is het water er dieper (-3.25 tot -2.90m). De verandering van de bodemhoogte gedurende de looptijd van het experiment bedraagt ongeveer - 5 cm. De veranderingen verder van de kust, en buiten de directe invloedssfeer van de structuur, zijn veel kleiner en patronen onduidelijker (raaien 3 en 4, niet gepresenteerd).

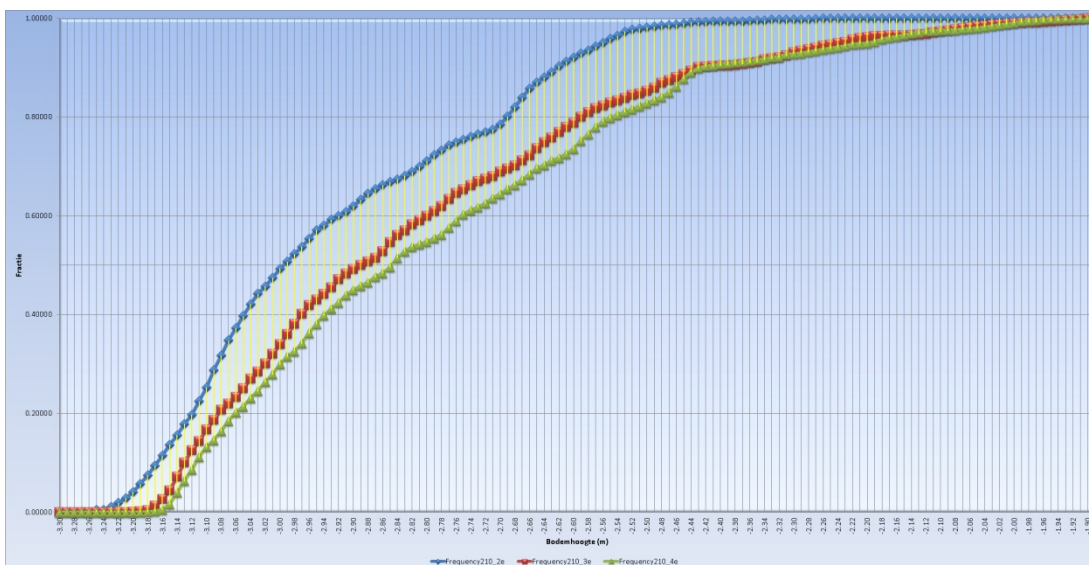


Figuur 4.27 Verdeling van de bodemhoogte (m –NAP) van drie vaartochten (blauw=nulmeting, rood=na 6 maanden en groen=eindmeting) voor raai 1 (kustlangs en –nabij). Zwarte en grijze balken geven verschil tussen eind en begin van het experiment

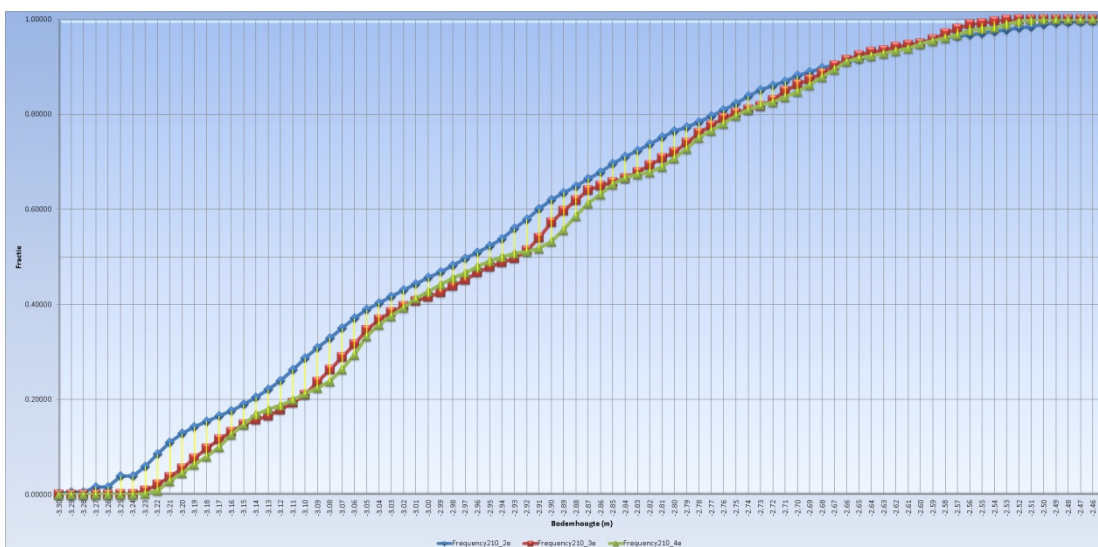


Figuur 4.28: Verdeling van de bodemhoogte (m –NAP) van drie vaartochten (blauw=nulmeting, rood=na 6 maanden en groen=eindmeting) voor raai 2 (kustlangs en ter hoogte van het uiteinde van de structuur). Zwarte en grijze balken geven verschil tussen eind en begin van het experiment

In figuur 4.29-4.30 zijn de resultaten voor de raaien rondom de structuur gegeven. De verondieping aan de zuidzijde van de structuur is kleiner (0,05 m) in vergelijking met de verondieping in de vergelijkbare raai aan de noordzijde (0,06-0,12 m).



Figuur 4.29: Cumulatieve verdeling van de bodemhoogte (m –NAP) van drie vaartochten (blauw=nulmeting, rood=na 6 maanden en groen=eindmeting) voor raai P1 (parallel aan de structuur, noordzijde)



Figuur 4.30 Cumulatieve verdeling van de bodemhoogte (m –NAP) van drie vaartochten (blauw=nulmeting, rood=na 6 maanden en groen=eindmeting) voor raai S1 (parallel aan de structuur, zuidzijde)

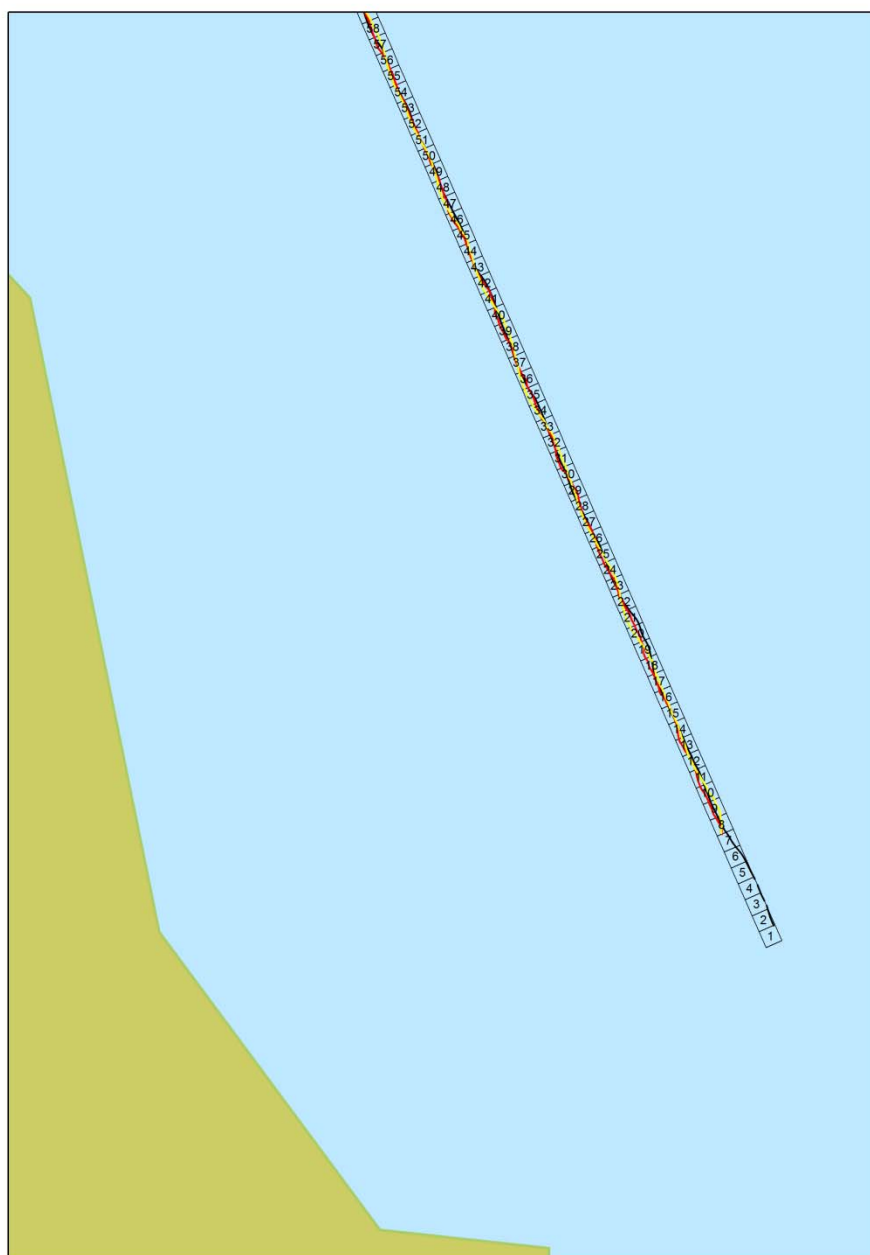
Ruimtelijk beeld van de veranderingen van de bodemhoogte

In figuur 4.31 is voor lijn 2 het verloop van de koers te zien tijdens de meting. Voor alle individuele hoogfrequente metingen zijn per roostercel (20 x 20 m) samengevat.

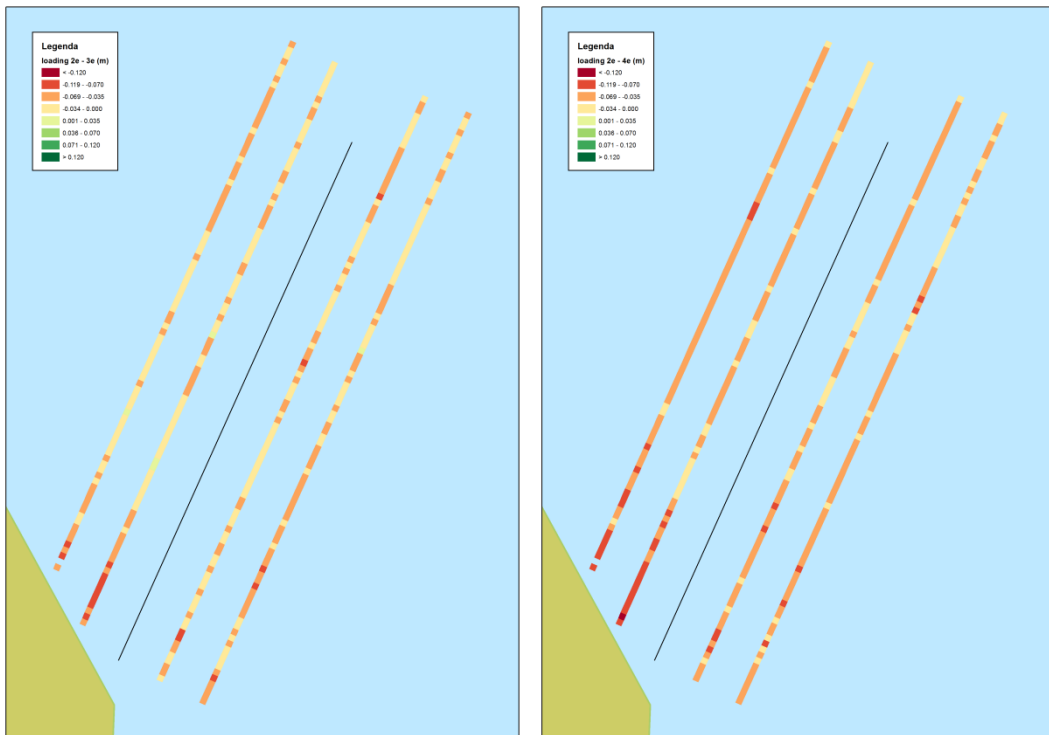
Uit de analyse van raaien lijkt een ruimtelijk patroon zichtbaar, zie figuur 4.31 (rondom de structuur) en figuur 4.32 (vaarlijnen langs de kust). Hoewel de gemeten verschillen dicht in de buurt de foutmarge van de meetinstrumenten liggen (zie disclaimer verder in het rapport) lijken de patronen wel consistent. Let op: de kleuren geel (aanslibbing 3 tot 5 cm) en grijs (erosie tot 3 cm) zijn mogelijk niet significant.

De volgende observaties kunnen worden gemaakt:

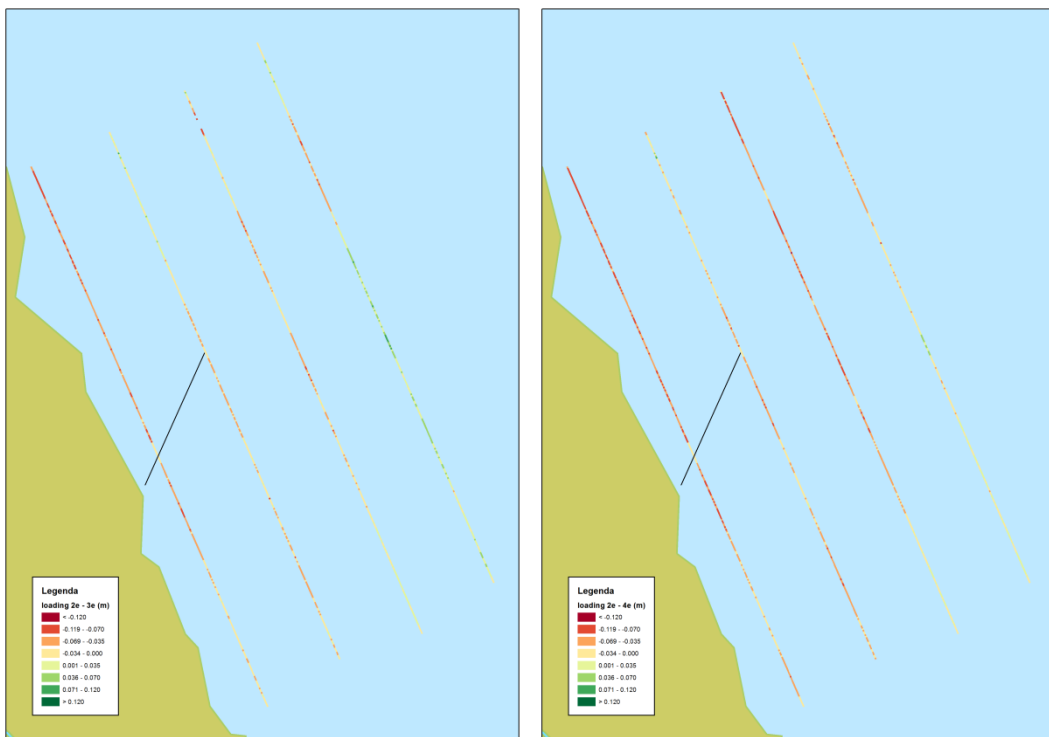
- De veranderingen en in tussen de nulmeting en de eerste zes maanden zijn rond-om de structuur (figuur 4.31) ongeveer even groot als de veranderingen in de 2^e helft van het experiment. In de raaien langs de kust wordt de verandering (zoals ook uit de statistische analyse, figuren 4.27 en 4.28) bleek gedurende de eerst helft van het experiment gerealiseerd.
- Verondieping aan de hoge zijde van de structuur (noord en zuid) lijkt groter dan aan de lage zijde van de structuur (figuur 4.31).
- Langs de kust nabije raai vindt aan de noordzijde van de structuur verondieping plaats. In de meest veraf gelegen raai vindt aan de zuidzijde van de structuur erosie van dezelfde orde grootte plaats.



Figuur 4.31: Details van de vaartocht en afbeelding ervan op een ruimtelijk rooster



Figuur 4.32: Bodemverandering op de raaien parallel langs de luvtestructuur. Figuur links situatie na half jaar t.o.v. vlak na aanleg. Figuur rechts situatie na 1 jaar t.o.v. vlak na aanleg



Figuur 4.33: Bodemverandering op de raaien parallel aan de kust. Figuur links situatie na half jaar t.o.v. vlak na aanleg. Figuur rechts situatie na 1 jaar t.o.v. vlak na aanleg

Conclusie

Opgetreden veranderingen van de bodemdiepte zijn met de gebruikte meettechniek in ieder geval niet nauwkeuriger dan ± 7 cm vast te stellen. Op de meeste plaatsen zijn de gemeten veranderingen kleiner dan deze onzekerheidsrange. Aan de noordzijde van de hoge kant de structuur is de gemeten verondieping groter dan de meetonzekerheid en aan de zuidzijde van de lage kant is de gemeten erosie groter dan de meetonzekerheid. Een conclusie is ook dat gemeten veranderingen in bodemdiepte gedurende de looptijd van het experiment kleiner dan 5 cm per jaar zijn.

Disclaimer

Volgens Deep is de overall nauwkeurigheid afhankelijk van de gebruikte apparatuur maar wordt voornamelijk bepaald door de RTK positionering (2 a 3 centimeter in X, Y en Z richting).

De totale prestatie van het gebruikte systeem (Movares en Mateboer (2012b)) bedraagt 0,035 m. De gemeten verschillen zijn ten opzichte van de verwachte meetfout dus klein. Omdat er door omstandigheden geen herhalingsmeting op één moment is uitgevoerd is de actueel gerealiseerde fout niet te achterhalen.

Indien de meetnauwkeurigheid van een individuele dieptebepaling 3.5 cm is bedraagt, betekent dit dat de absolute fout van een diepteverandering (bepaling van het verschil tussen twee dieptemetingen) ± 7 cm bedraagt. Omdat de geclaimde meetnauwkeurigheid in het veld bij de herhaalde nulmeting niet is aangetoond kan de onzekerheid in de verschilmeting nog groter zijn dan ± 7 cm.

4.3 Effect luwtestructuur op sediment samenstelling

4.3.1 Bodemsamenstelling

De effecten van de luwtestructuur op de bodemsamenstelling zijn bepaald aan de hand van de analyse van de bodem monsters.

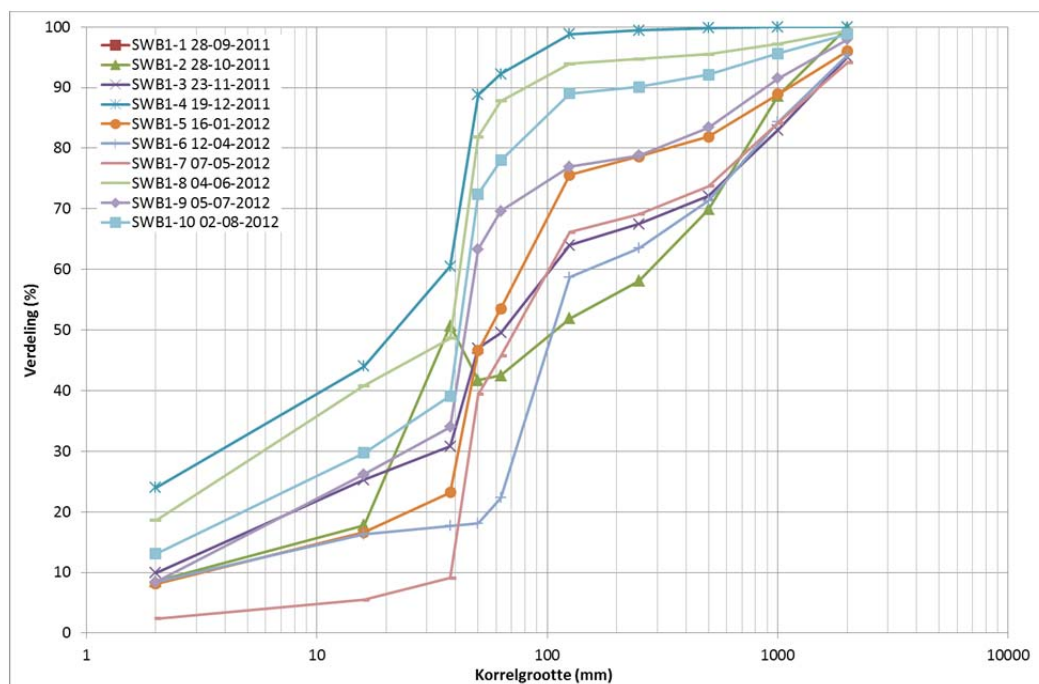
Van elk monster is een foto gemaakt, vlak na monsternamen. Deze foto's zijn opgenomen in appendix F.

Op basis van de foto's van de monsters zijn geen conclusies te trekken over veranderingen in de samenstelling. In enkele foto's zijn wel aanwijzingen te zien van de aanwezigheid van een oxische laag doordat een massa met een typisch bruine kleur aanwezig is. Het is echter niet zo dat op welke locatie dan ook op basis van de foto's een duidelijke tendens in ruimte of tijd is te zien in de samenstelling van de monsters.

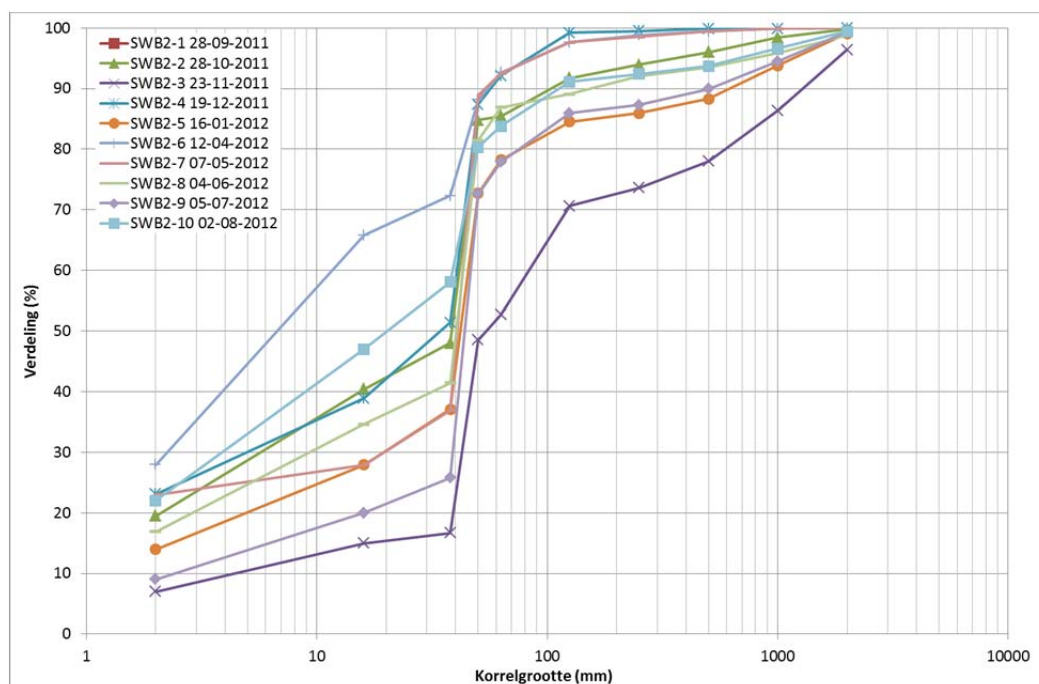
Korrelgrootte verdeling

Van de waterbodemmonsters zijn korrelgrootteverdelingen bepaald. Per locatie zijn in principe tien meetmomenten geweest in de tijd. Met deze informatie kan worden bepaald of er bepaalde veranderingen optreden qua korrelgrootte. Van de locaties SWB1, SWB2, SWB4 en SWB6 ontbreken gegevens van korrelgrootteverdeling met meetdatum 28 september 2011 doordat deze monsters uit schelpen bestaan.

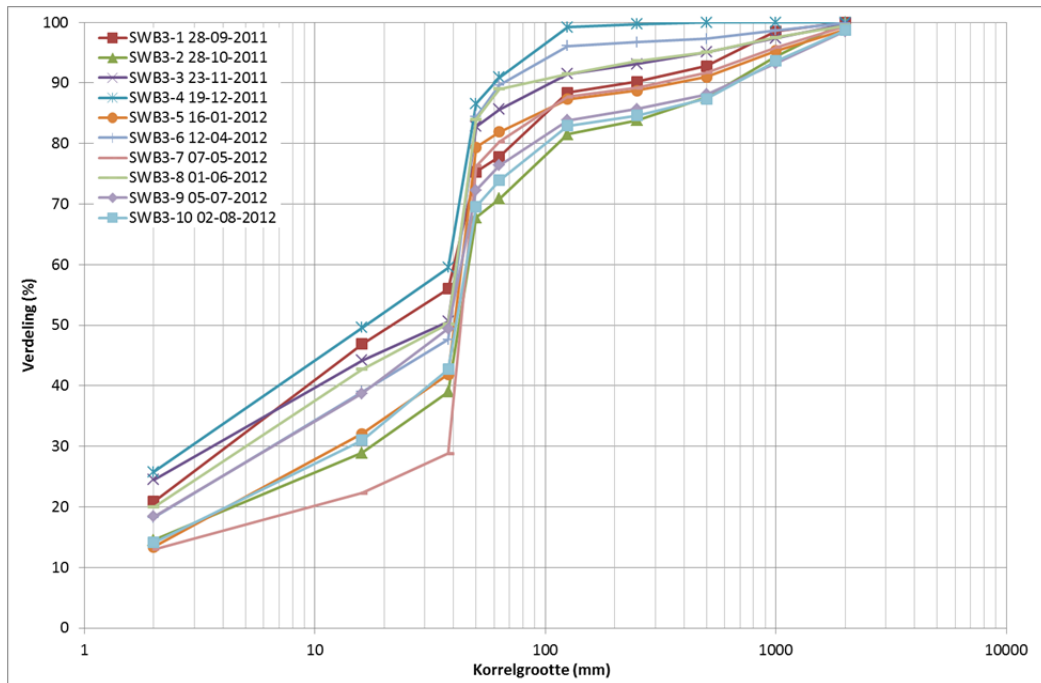
Figuur 4.34 tot en met figuur 4.39 laten de korrelgrootte verdeling op verschillende momenten in de tijd zien op de zes meetlocaties. In de tijd is te zien dat de korrelgrootte verdeling wisselt, er zijn geen duidelijke trends waar te nemen in een vergroving of verfijning wat betreft de samenstelling van de bodem. Op alle locaties valt op dat de slibfractie (<math> < 16 \mu\text{m}</math>) en de fractie tussen de 38 en 50 $\mu\text{m}</math> een groot aandeel hebben binnen de verdeling. Wat betreft de slibfractie komen deze waarnemingen ongeveer overeen met eerdere bevindingen (P. Kelderman et al., 2011).$



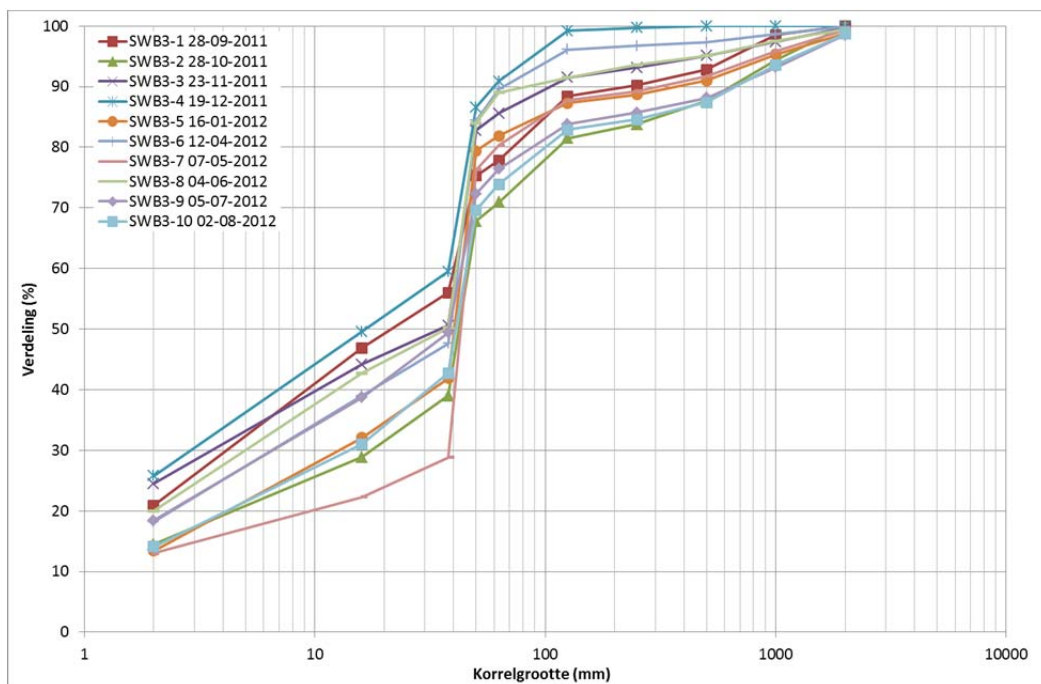
Figuur 4.34: Korrelgrootteverdeling locatie SWB1 op verschillende momenten in de tijd



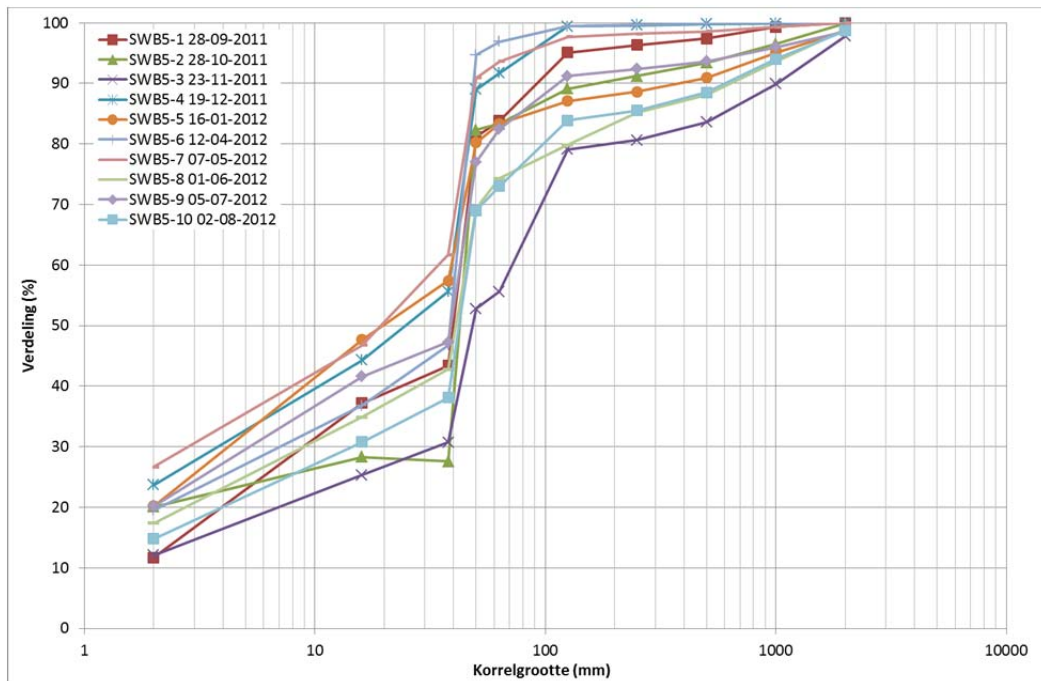
Figuur 4.35: Korrelgrootteverdeling locatie SWB2 op verschillende momenten in de tijd



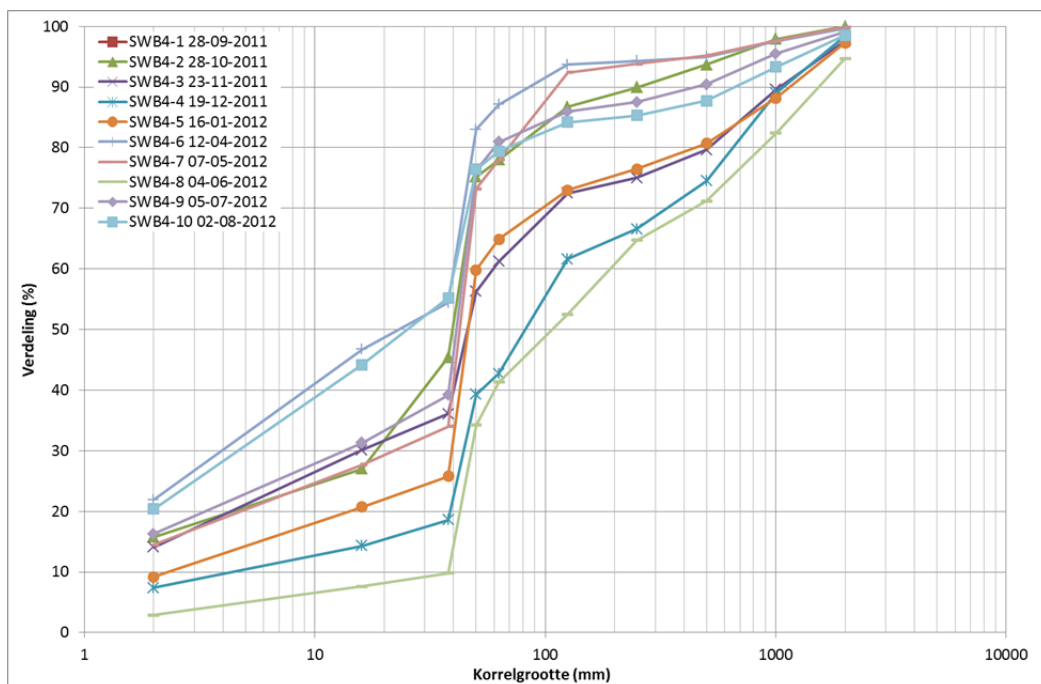
Figuur 4.36: Korrelgrootteverdeling locatie SWB3 op verschillende momenten in de tijd



Figuur 4.37: Korrelgrootteverdeling locatie SWB4 op verschillende momenten in de tijd

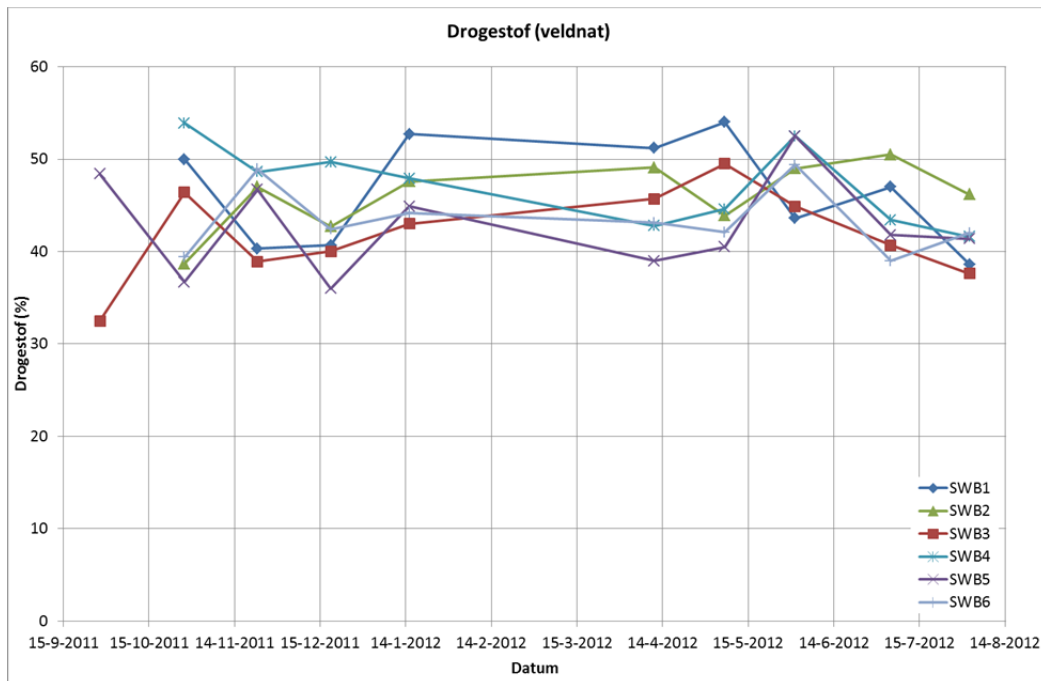


Figuur 4.38: Korrelgrootteverdeling locatie SWB5 op verschillende momenten in de tijd

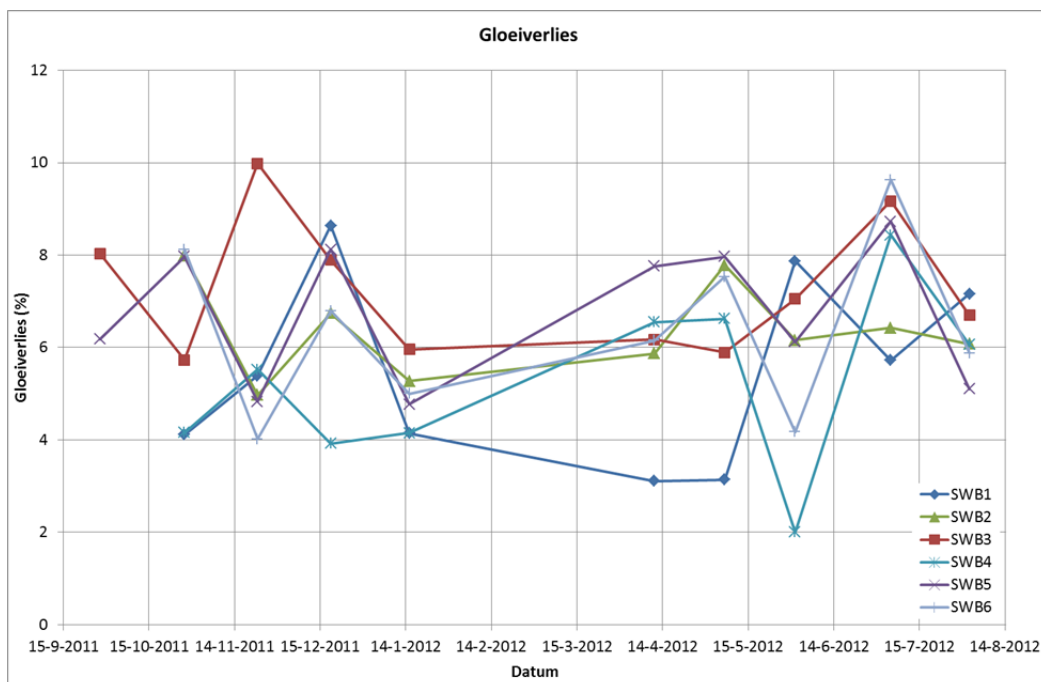


Figuur 4.39: Korrelgrootteverdeling locatie SWB6 op verschillende momenten in de tijd

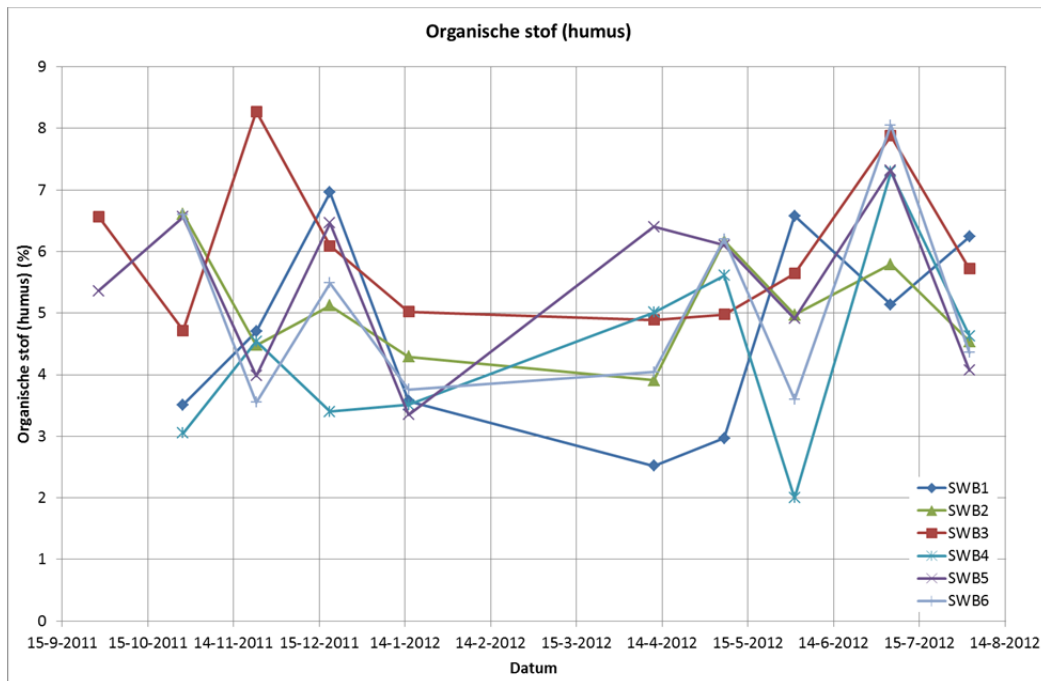
Per meting is ook apart het percentage van droge stof (figuur 4.40), het gloeiverlies (figuur 4.41), organische stof (figuur 4.42) en lutum (figuur 4.43) bepaald. Ook bij deze parameters is geen duidelijke trend te zien in de tijd.



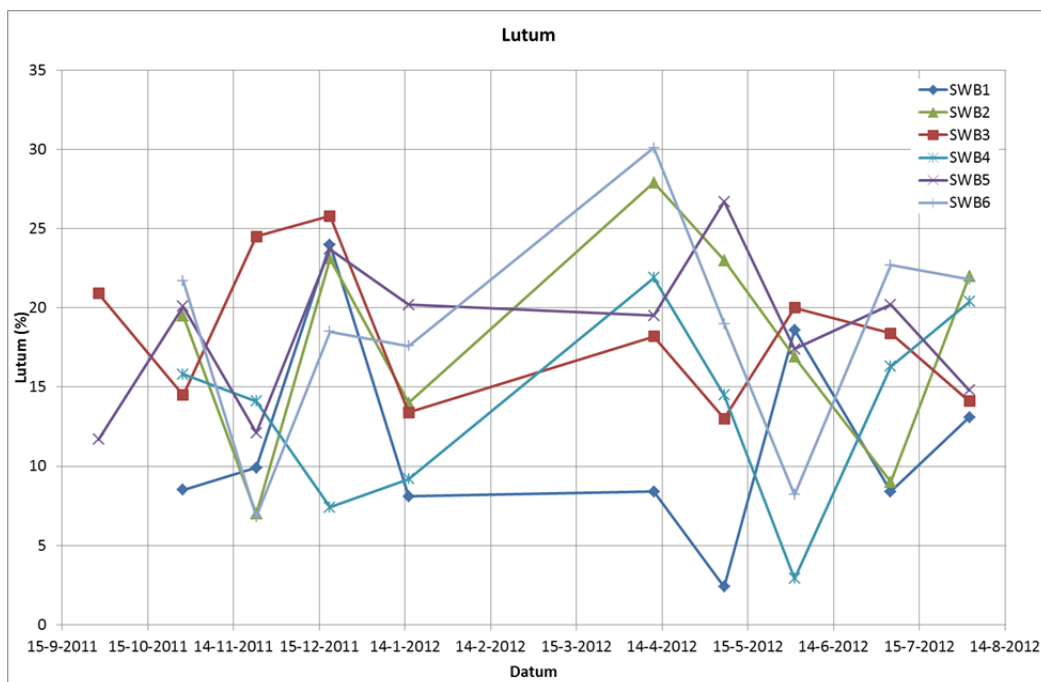
Figuur 4.40: Verdeling droge stof per meetlocatie in de tijd



Figuur 4.41: Verdeling gloeiverlies per meetlocatie in de tijd



Figuur 4.42: Verdeling organische stof (humus) per meetlocatie in de tijd



Figuur 4.43: Verdeling lutum per meetlocatie in de tijd

Afwijkende patronen

Op verschillende locaties zijn wel fluctuaties in de metingen te zien die afwijken van het gemiddelde patroon, bijvoorbeeld bij SWB1 op $t=2$ (28 oktober 2011) en $t = 4$ (19 december 2011) (zie figuur 4.34). Voor deze min of meer afwijkende metingen is gekeken naar de windrichting, windsnelheid en golfhoogte in een periode van enkele dagen voor de metingen om te bepalen of de metingen zijn te correleren aan bepaalde events. Over het algemeen is er geen duidelijke relatie te zien tussen de bodemonsters en de heersende condities. Sommige metingen zijn wel in overeenstemming met de heersende condities, echter deze worden vaak tegengesproken door metingen op een andere locatie. De twee genoemde voorbeelden worden hier toegelicht:

Voorbeeld 1: SWB1 op 28 oktober 2011

Wat betreft het eerste voorbeeld is een relatief laag slibgehalte te zien met een hoog gehalte aan grover materiaal (zie figuur 4.34). Op basis hiervan is te verwachten dat de condities relatief ruw zijn ter hoogte van het meetpunt. Figuur F.1, figuur F.2 en figuur F.3 geven respectievelijk de windsnelheid, windrichting en de golfhoogte weer rond 28 oktober 2011. Zoals te zien neemt de windsnelheid van 25 oktober af van 10 m/s naar minder dan 5 m/s op 28 oktober. De windrichting is overwegend zuid tot zuidoost, waarbij de golfhoogte afneemt van ongeveer 0,3 m tot 0,1 m ten noorden van de luwtestructuur.

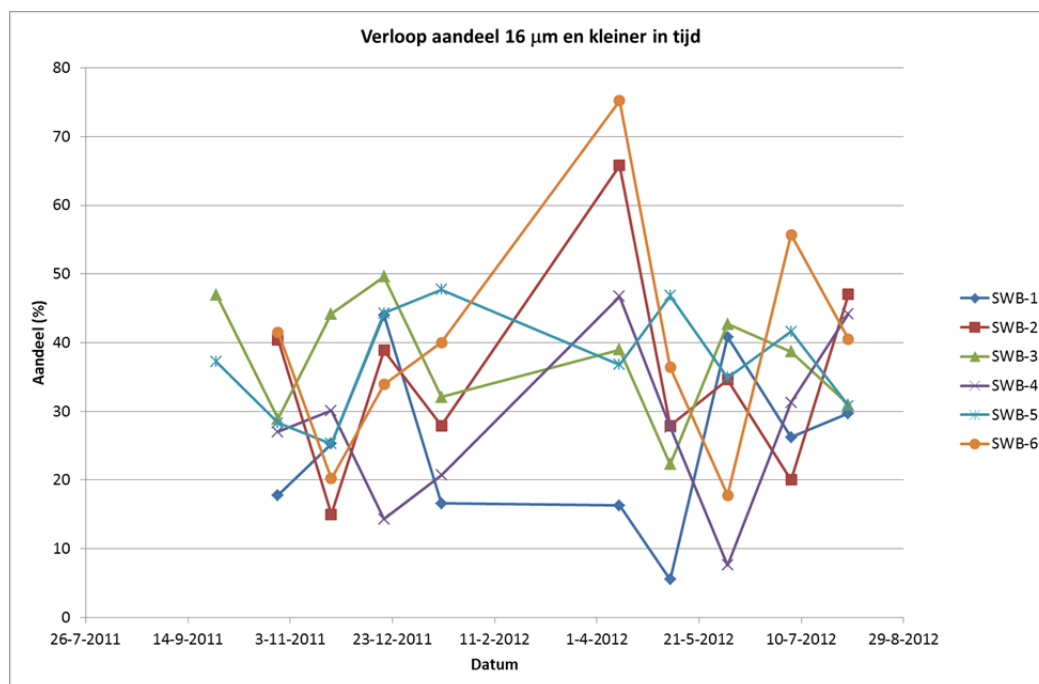
Als gevolg van de windrichting mag een luwte-effect aan de noordzijde van de luwtestructuur worden verwacht, zoals ook aan de relatief lage golfhoogte is te zien. Echter het tegenovergestelde is het geval. Ook locaties SWB2 (figuur 4.35) en SWB3 (figuur 4.36) laten geen luwte-effect zien met min of meer een gemiddeld slibgehalte. Op locaties SWB4 (figuur 4.37), SWB5 (figuur 4.38) en SWB6 (figuur 4.39) valt op basis van deze gegevens een laag slibgehalte te verwachten wat niet het geval is. In dit voorbeeld is dus geen relatie te zien tussen de bodemsamenstelling en de heersende condities.

Voorbeeld 2: SWB1 op 19 december 2011

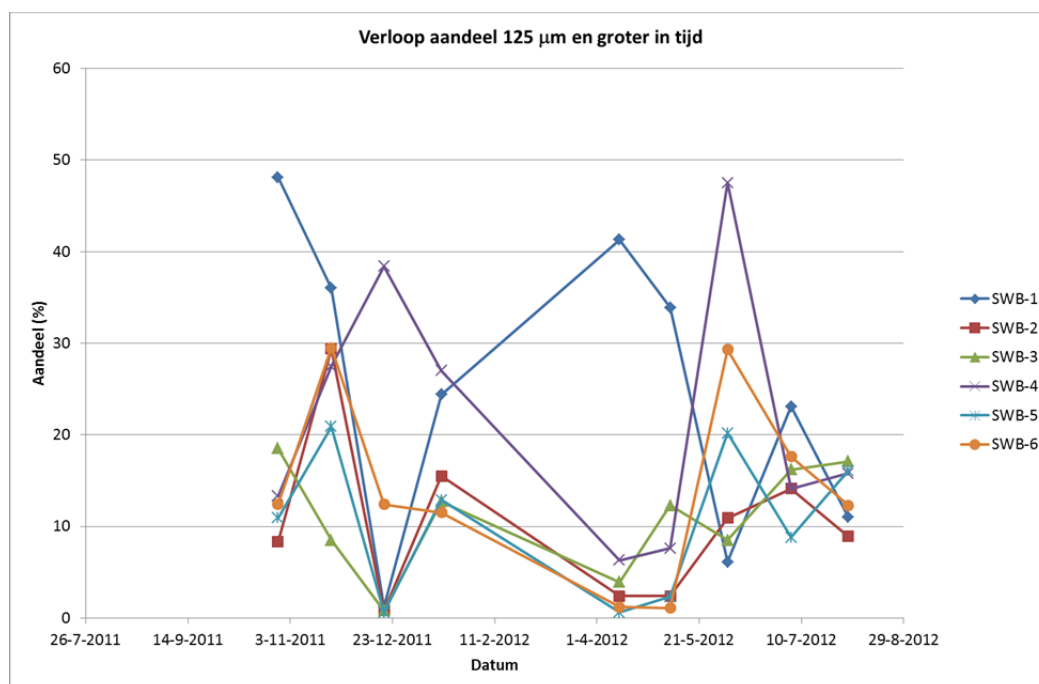
Dit voorbeeld laat een relatief hoog slibgehalte zien wat kan duiden op relatief luwe omstandigheden. Figuur F.4, figuur F.5 en figuur F.6 geven respectievelijk de windsnelheid, windrichting en golfhoogte rond deze periode. De windsnelheid varieert tussen de 3 m/s en 13 m/s met een gemiddelde van minder dan 10 m/s en afnemend naar 19 december. De windrichting is voornamelijk west tot noordwest voorafgegaan door een periode van zuidwest. De golfhoogte neemt af maximaal 0,5 m tot 0,1 m. Gezien de windrichting mag een kustluwte-effect verwacht worden. Dit komt overeen met het relatief hoge slibgehalte. Het is te verwachten dat alle locaties een relatief hoog slibgehalte hebben vanwege dit effect. Dit geldt voor SWB3 en SWB5 in minder mate. SWB6 laat dit effect echter niet zien en SWB4 geeft zelfs een zeer laag slibgehalte. Zoals in dit voorbeeld is te zien lijkt het effect als gevolg van kustluwte op een aantal locaties door te werken in de bodemsamenstelling. Echter niet voor alle locaties. Merk op dat gloeiverlies in bodem en in de sedimentvallen (figuur 4.23) een overeenkomstig seizoenspatroon laat zien met hogere waarden in de zomermaanden. Daarbij is het gehalte in de bodem (4-10%) veel lager dan dat in de sedimentvallen (10-30%).

Fracties in de tijd

Figuur 4.44 en figuur 4.45 geven het verloop in de tijd van de fracties $\leq 16 \mu\text{m}$ en $\geq 125 \mu\text{m}$. Hier vallen de hoge slibconcentraties op 12 april op. Dit weerspiegelt de aanwezigheid van ijs in de voorafgaande periode. Door de aanwezigheid van ijs is opwoeling als gevolg van golven niet mogelijk waarbij fijn materiaal uit kan zakken. Zoals te verwachten is het aandeel van de fractie $\geq 125 \mu\text{m}$ dan laag.



Figuur 4.44: Verloop van de fractie $\leq 16 \mu\text{m}$ in de tijd



Figuur 4.45: Verloop van de fractie $\geq 125 \mu\text{m}$ in de tijd

5 RESULTATEN ECOLOGISCHE METINGEN

Om de effecten van de luwtestructuur op de waterkwaliteit in beeld te brengen zijn metingen verricht met behulp van vier meetpalen en incidentele, mobiele metingen. Gedurende de hele proefperiode zijn tweewekelijks waterkwaliteitsmetingen verricht (september 2011 t/m augustus 2012). Verder zijn in het groeiseizoen (maart t/m augustus 2012) chlorofylmonsters genomen specifiek om de samenstelling te analyseren. In onderstaande paragrafen worden de resultaten van deze metingen gerapporteerd.

Voor de waterkwaliteit is gekeken naar de mobiele metingen (palen FL50 t/m FL54), gesitueerd rondom de luwtestructuur. Locaties FL50, 51 en 52 bevinden zich aan de westzijde van de luwtestructuur. De verwachting is dat aan deze zijde de watercirculatie door het plaatsen van de luwtestructuur verandert. De hypothese luidt dat de windwerking vermindert, waardoor opwerveling minder voor zal komen. Dit zou tot uiting moeten komen in het doorzicht, mogelijk verminderd fosfaat en verhoogd chlorofyl gehalte. Locatie FL54 en FL53 bevinden zich aan de oostzijde van de luwtestructuur. Hier functioneert de luwtestructuur als wand, waarbij in eerste instantie ophoping en vervolgens mogelijk een sedimentstroming wordt bewerkstelligd. De volgende parameters zijn bemeaten:

- CDOM metingen uit watermonsters (gemeten bij paal FL52 en FL 53);
- Fosfaat metingen uit watermonsters (gemeten bij paal FL52 en FL 53);
- Chlorofyl-a metingen uit watermonsters (gemeten bij alle palen en koppeling met sensor op de paal).

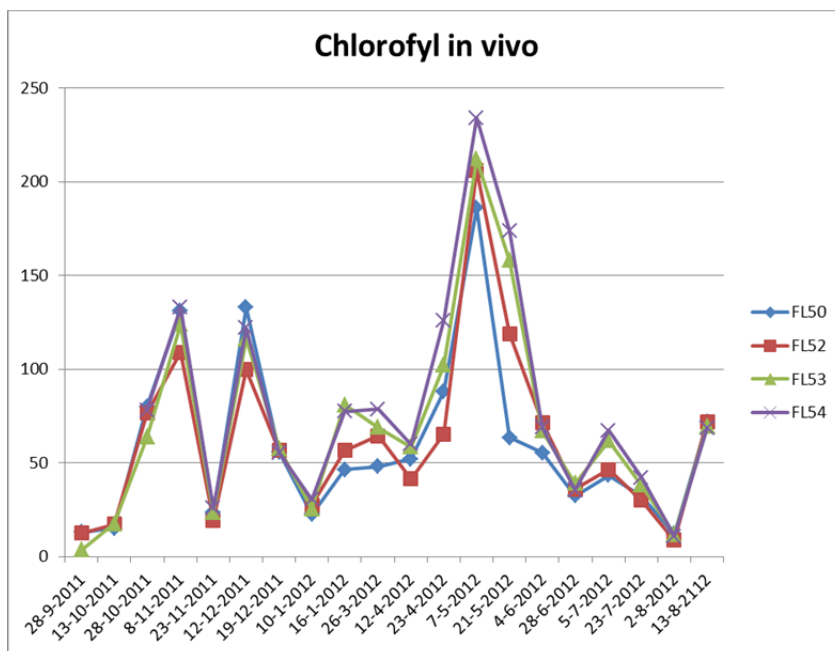
5.1 Effect luwtestructuur op Chlorofyl

Met behulp van sensoren op de vier meetpalen zijn vanaf 28-9-2011 tot en met 4-9-2012 chlorofyl metingen verricht. Door de ijsgang is de meetreeks onderbroken en door problemen met de calibratie zal alleen het deel van de metingen dat bruikbaar is worden gepresenteerd.

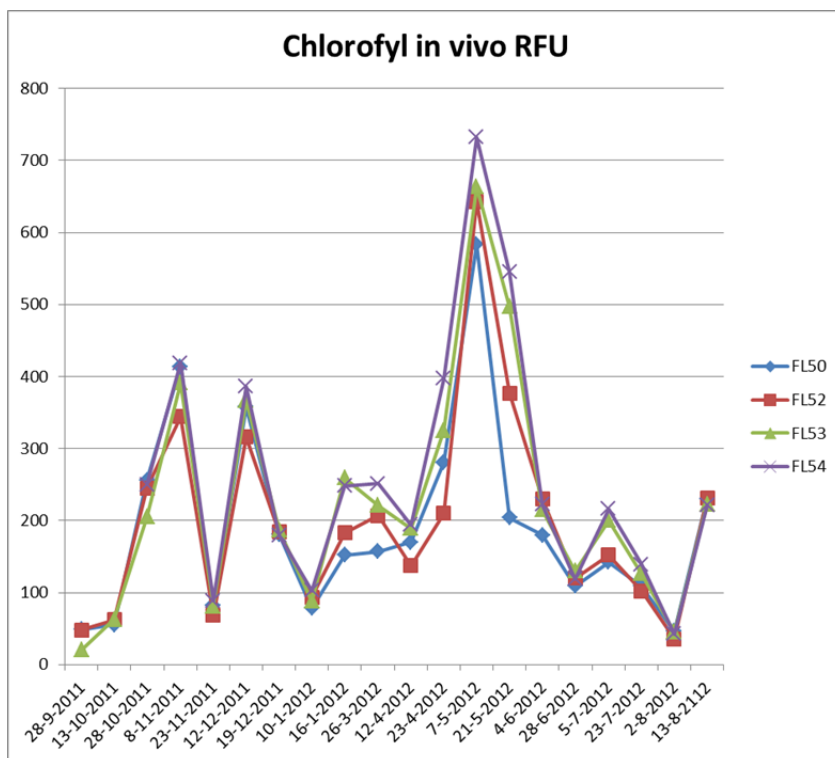
Naast de continue metingen zijn ook mobiele metingen uitgevoerd. Tijdens deze metingen zijn watermonsters genomen vlakbij de chlorofylsensoren. Deze monsters zijn vervolgens geanalyseerd in het laboratorium. Paragraaf 5.1.1. geeft de resultaten van deze analyses weer.

5.1.1 Mobiele metingen

In onderstaande grafieken (figuur 5.1 en 5.2) zijn chlorofylmetingen te zien, waarbij gebruik is gemaakt van twee verschillende meetmethoden (in vivo en in vivo RFU). De eerste methode meet het chlorofylgehalte, de tweede meetmethode meet de relatieve toe- of afname in fluorescentie.



Figuur 5.1 Chlorofyl in vivo metingen op vier meetlocaties in het Markermeer



Figuur 5.2 Chlorofyl in vivo RFU metingen op vier meetlocaties in het Markermeer

In mei is op alle vier de meetlocaties een piek te zien. Dit wordt verklaard doordat dan de top van de bloeiperiode van chlorofyl is aangebroken. Er is geen verschil in trend te zien tussen de vier meetlocaties. Ook tussen de twee chlorofyl meetmethoden is qua trends geen verschil zichtbaar.

Meetlocatie 52 laat over het algemeen wel minder hoge pieken zien en heeft diverse malen de laagste meting van alle meetlocaties. In de volgende paragraaf (samenstelling chlorofyl) wordt hier nog nader op ingegaan.

5.1.2 Continue metingen

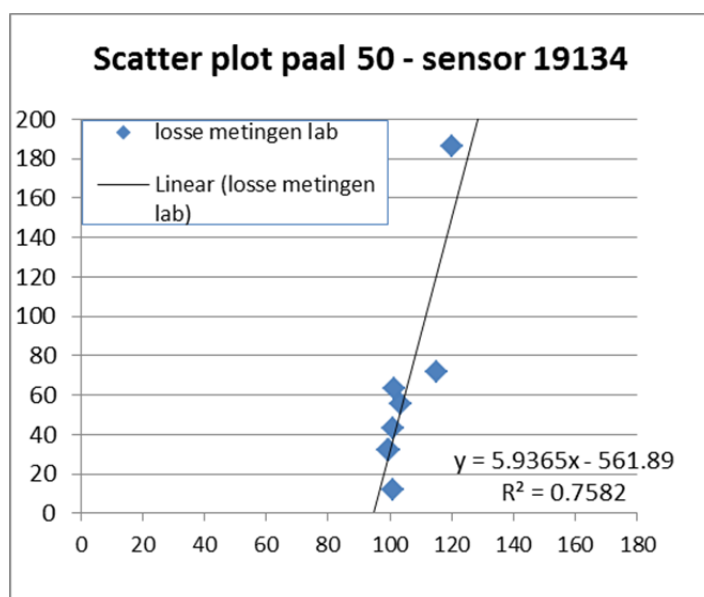
Meetpaal F50

Aan meetpaal 50 hebben twee sensoren gehangen gedurende de looptijd van de pilot:

Tabel 5.1: Chlorofylsensoren meetpaal FL50

Meetpaal	Begindatum	Einddatum	Sensor nummer
50	18-1-2011	25-12-2011	29181
50	3-5-2012	19-9-2012	19134

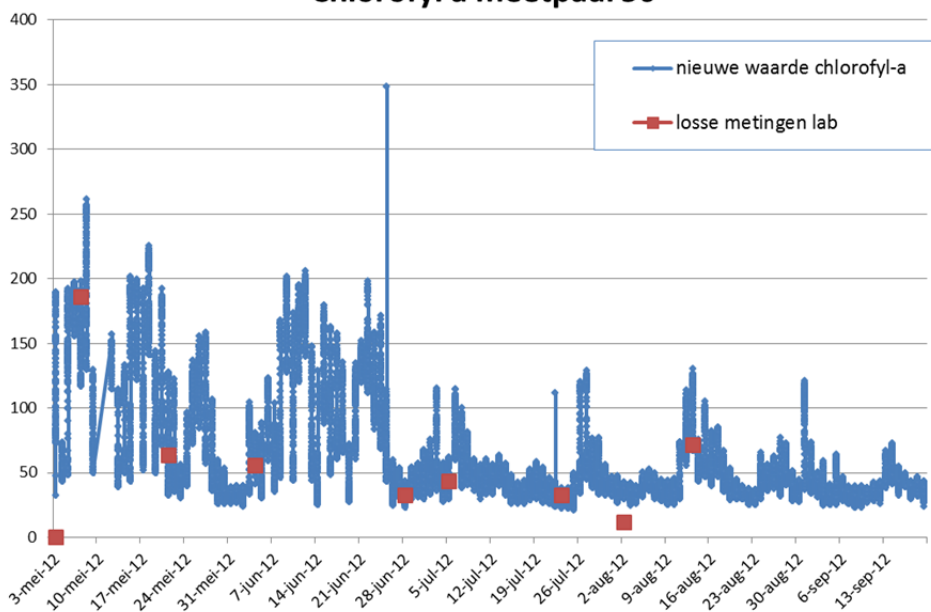
De mobiele metingen bij meetpaal 50 (n (aantal watermonsters)=20, lab analyses) en de continu metingen (fluorescentie) zijn tegen elkaar uitgezet. Wanneer de relatie hiertussen hoog is ($R^2 > 0,7$) is deze herijking gebruikt om alle continu gemeten waarden van de sensor te herberekenen. Voor meetpaal 50 geldt dat alleen sensor 19134 een hoge relatie geeft tussen de continue metingen en de watermonsters (figuur 5.3). Daarom wordt voor deze paal alleen deze sensor gebruikt voor de analyse.



Figuur 5.3: Scatter plot paal 50 – sensor 19134

De continu meetwaarden van deze sensor zijn vervolgens herberekend en uitgezet in de tijd. Het gaat hierbij om de tijdsperiode 3-5-2012 tot en met 19-9-2012 (figuur 5.4)

Chlorofyl a meetpaal 50



Figuur 5.4: Metingen van chlorofyl a op meetpaal 50 van mei tot september 2012

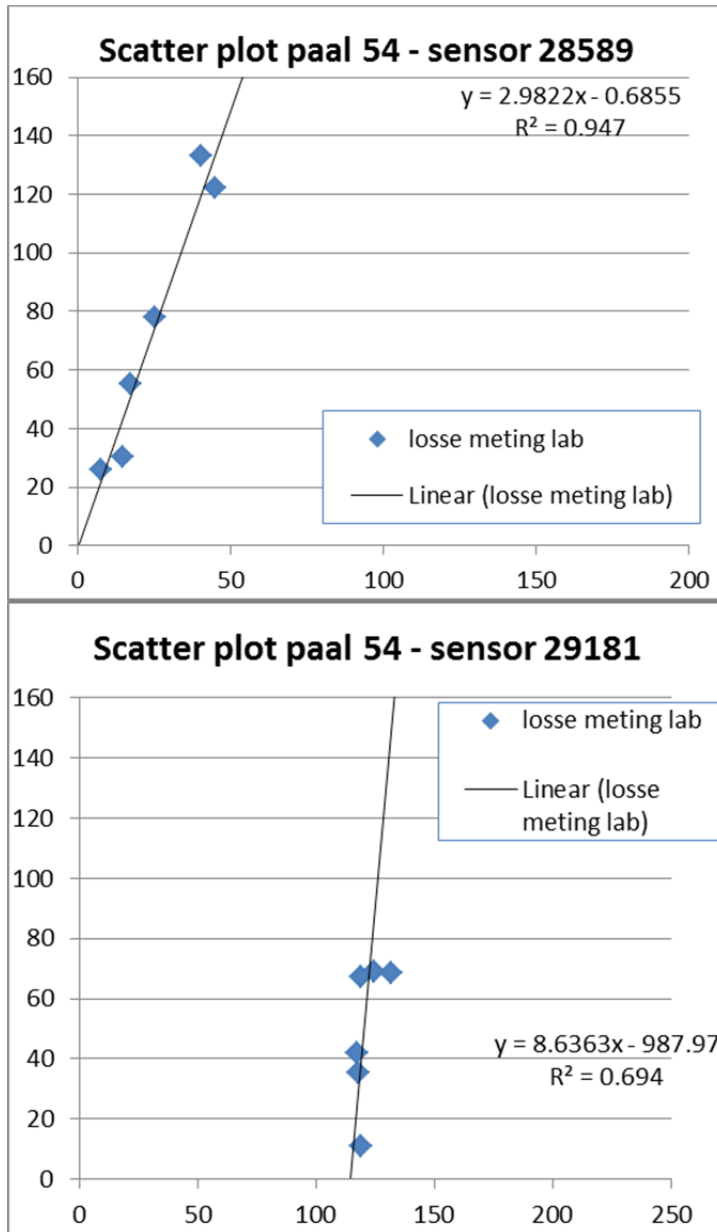
Uit de grafiek komt naar voren dat in het einde van de lente een hoger gehalte aan chlorofyl a wordt gemeten, dat afneemt in het najaar. Dat is in lijn met de groeicurve van chlorofyl (piek in lente/zomer). Het vroege voorjaar ontbreekt in de meetserie. Dit komt doordat de meetpaal als gevolg van ijs sinds 20 maart is geplaatst en betrouwbare metingen pas vanaf mei aanwezig zijn.

Meetpaal F51-54

Meetpaal 51 (noordzijde structuur) is na 12 oktober 2011 verplaatst naar de zuidzijde van de luwtestructuur en hernoemd als meetpaal 54. Gedurende de looptijd van de pilot hingen er vier sensoren aan deze meetpaal:

Meetpaal	Begindatum	Einddatum	Sensor
51	30-5-2011	6-7-2011	19175
51	4-8-2011	30-8-2011	28589
54	17-10-2011	13-1-2012	28589
54	3-5-2012	29-8-2012	29181

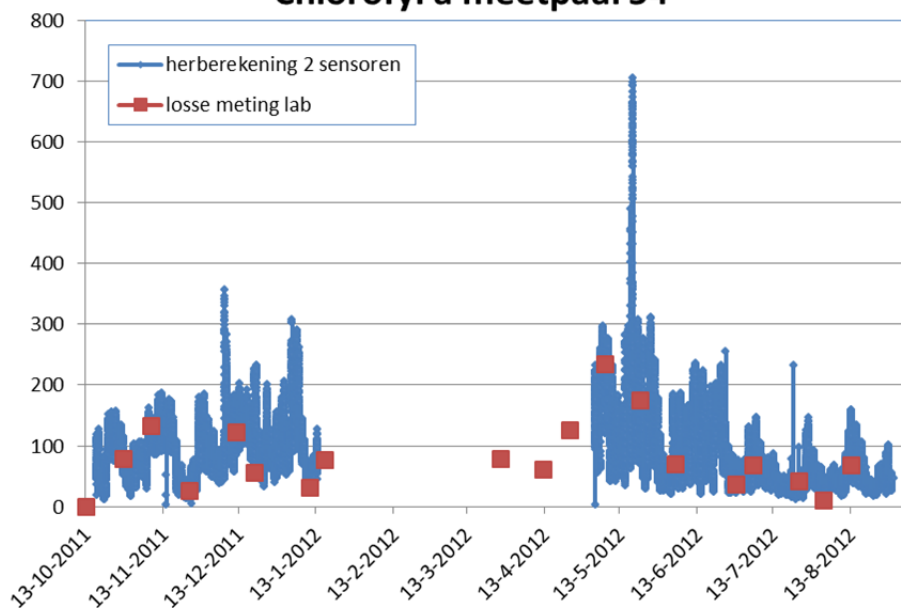
De mobiele metingen bij meetpaal 51 (n=2) en 54 (n=18) en de continu metingen (fluorescentie) zijn tegen elkaar uitgezet. Bij een hoge relatie ($R^2 > 0,7$) is deze gebruikt om alle gemeten waarden van de bijbehorende sensor te herberekenen. Door het geringe aantal losse metingen (lab analyses) bij meetpaal 51, is hier geen scatter plot gemaakt.



Figuur 5.5: Scatter plot paal 54 – sensors 28589 (najaar 2011) en 29181 (voorjaar/zomer 2012)

Uit de plots komt naar voren dat beide sensoren gehangen aan meetpaal 54 een hoge relatie hebben tussen de metingen en de watermonsters. De continue metingen van de sensoren zijn per tijdsreeks herberekend en uitgezet in de tijd. Sensor 28589 heeft in het najaar van 2011 gemeten, sensor 29181 in het voorjaar van 2012.

Chlorofyl a meetpaal 54



Figuur 5.6: Metingen van chlorofyl a op meetpaal 54 van oktober 2011 tot september 2012

In de figuur is leegte in datareeks te zien ten tijde van ijs op het Markermeer. De meetpaal is destijds verwijderd en op 30 maart 2012 opnieuw geplaatst. Vanaf 3 mei 2012 zijn er betrouwbare metingen aanwezig. Opvallend is dat de waarden in het najaar van 2011 in dezelfde bandbreedte liggen als het voorjaar/zomer van 2012. De verwachting is dat chlorofyl-a, dat in het voorjaar een groeicurve heeft, dan in veel hogere gehalten gemeten zou worden.

Verder vallen enkele uitschieters op. Zo zijn er op 18 mei in de vroege uren (0.00-8.00) relatief hoge chlorofyl a waarden gemeten. Tevens valt de uitschieter op 21-7-2012 (18.20 uur) op. De mobiele meting voorafgaand hieraan (7-5-2012) is met 234 ook het hoogst gemeten gehalte van alle mobiele metingen. De mobiele meting erna (21-5-2012) is met 174 een stuk lager. De troebelheid is in deze periode ook hoger in vergelijking met andere data.

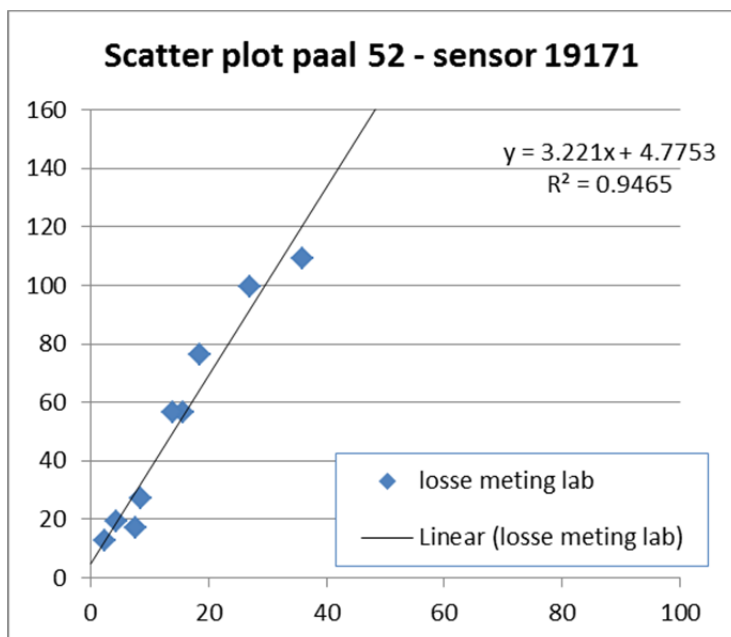
Zowel het logboek van Deltares (continu metingen) alsmede de veldwerkformulieren van de mobiele metingen (Movares) geven geen mogelijke verklaring voor de uitschieter(s).

Meetpaal F52

Aan meetpaal 52 (noordzijde structuur) hingen gedurende de looptijd van de pilot twee sensoren:

Meetpaal	Begindatum	Einddatum	Sensor
52	10-8-2011	18-1-2012	19171
52	3-5-2012	29-8-2012	29344

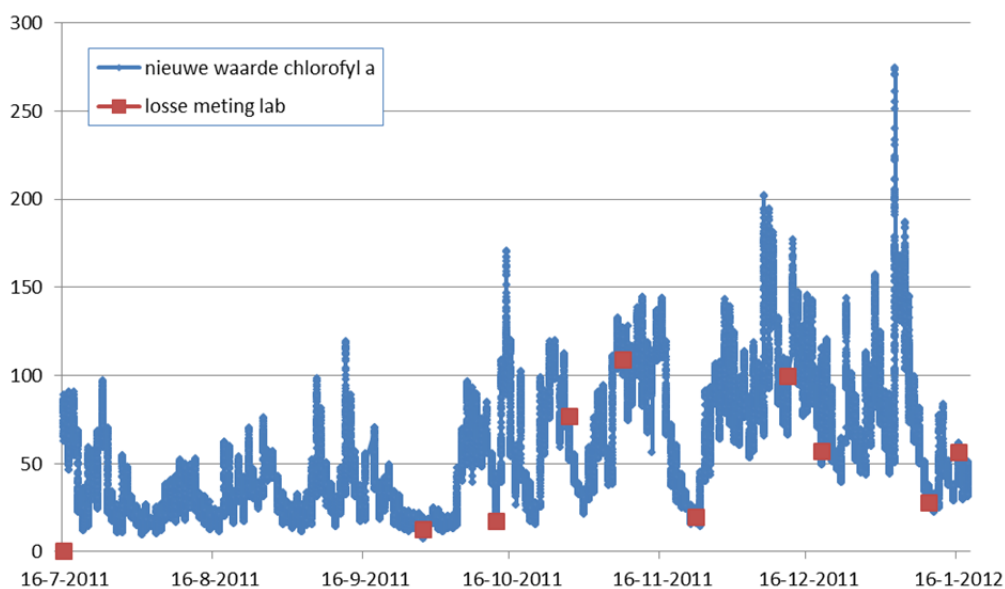
De mobiele metingen bij meetpaal 52 (sensor 19171 n=12; sensor 29344 n=8) en de continu metingen (fluorescentie) zijn tegen elkaar uitgezet. Bij een hoge relatie ($R^2 > 0,7$) is deze gebruikt om alle gemeten waarden van de bijbehorende sensor te herberekenen.



Figuur 5.7: Scatter plot paal 52 – sensors 19171

Uit de plots komt naar voren dat alleen sensor 19171 een hoge relatie heeft. De metingen van deze sensor zijn voor de bijbehorende tijdsreeks herberekend en uitgezet in de tijd. Deze sensor heeft in de periode 10-8-2011 tot en met 18-1-2012 gemeten.

Chlorofyl a meetpaal 52



Figuur 5.8: Metingen van chlorofyl a op meetpaal 52 van oktober 2011 tot januari 2012

In de figuur is in het najaar een toename van het chlorofyl-a gehalte zichtbaar.

Meetpaal 53

Aan meetpaal 53 (zuidzijde structuur) hingen gedurende de pilot twee sensoren:

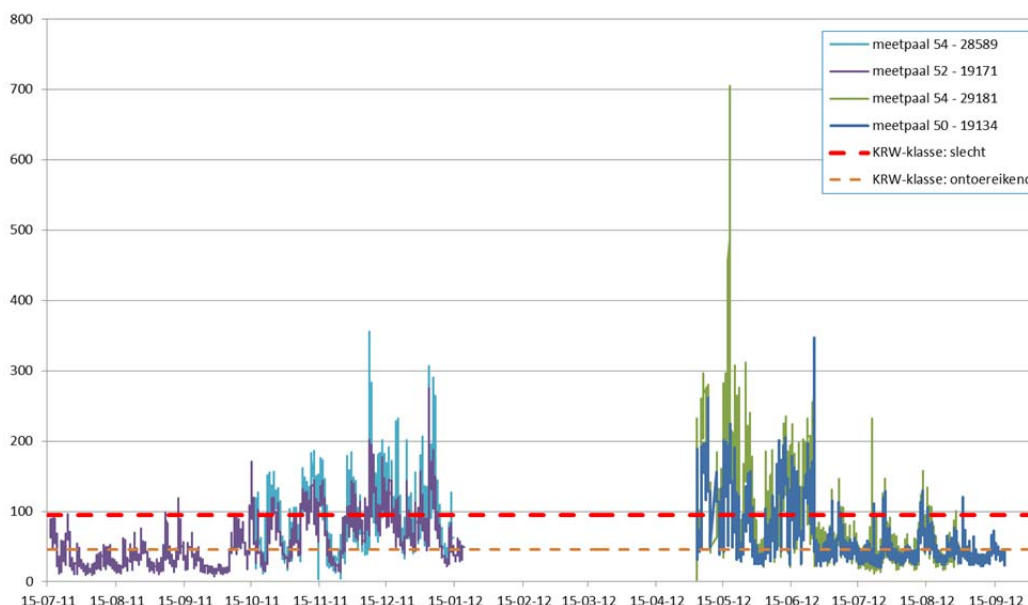
Meetpaal	Begindatum	Einddatum	Sensor
53	15-7-2011	10-8-2011	19169
53	1-9-2011	1-3-2012	28587
53	3-5-2012	29-8-2012	28587

De mobiele metingen bij meetpaal 53 (sensor 19169 n=0; sensor 28587 n=20) en de continue metingen (fluorescentie) zijn tegen elkaar uitgezet. Hieruit blijkt dat er geen goede relatie gevonden kan worden tussen de watermonsters en de continue metingen. Chlorofyl metingen op deze paal zijn dus niet bruikbaar voor de analyse.

Alle meetpalen

In onderstaande figuur (5.9) zijn de herijkte datasets van de sensoren in één grafiek samen weergegeven.

Te zien is dat twee sensoren een beeld van het najaar van 2011 geven: meetpaal 52 (noordzijde) en meetpaal 54 (zuidzijde). Twee andere sensoren geven een beeld van de zomermaanden in 2012: meetpaal 50 (noordzijde) en meetpaal 54 (zuidzijde). In de figuur zijn ook de KRW normen weergegeven. Voor het Markermeer (M21 Grote Diepe Gebufferde Meren) gelden de klassengrenzen 'slecht' >95 - 95 µg/l en 'ontoereikend' 46 - 95 µg/l voor zomergemiddelden chlorofyl-a.



Figuur 5.9: Tijdsree chlorofyl meetpalen 50, 52 en 54, september 2011 – september 2012

Uit de figuur komt naar voren dat meetpaal 54 (ten zuiden van de luwtestructuur) hogere chlorofyl-a waarden meet dan de meetpalen ten noorden van de luwtestructuur (meetpalen 50 en 52).

Verder blijkt dat wanneer naar de KRW-normen voor chlorofyl a gekeken wordt, het merendeel van de metingen in de klasse 'slecht' valt (score > 95 µg/l). Voor chlorofyl-a dient echter uitgegaan te worden van het zomergemiddelde chlorofyl-a gehalte. Kijkende naar de maanden maart-september, valt op dat het merendeel van de metingen van meetpaal 52 (ten noorden van de luwtestructuur) in de klasse ontoereikend valt, terwijl het merendeel van de metingen van meetpaal 50 (noorden) en meetpaal 54 (zuiden) in de klasse slecht valt.

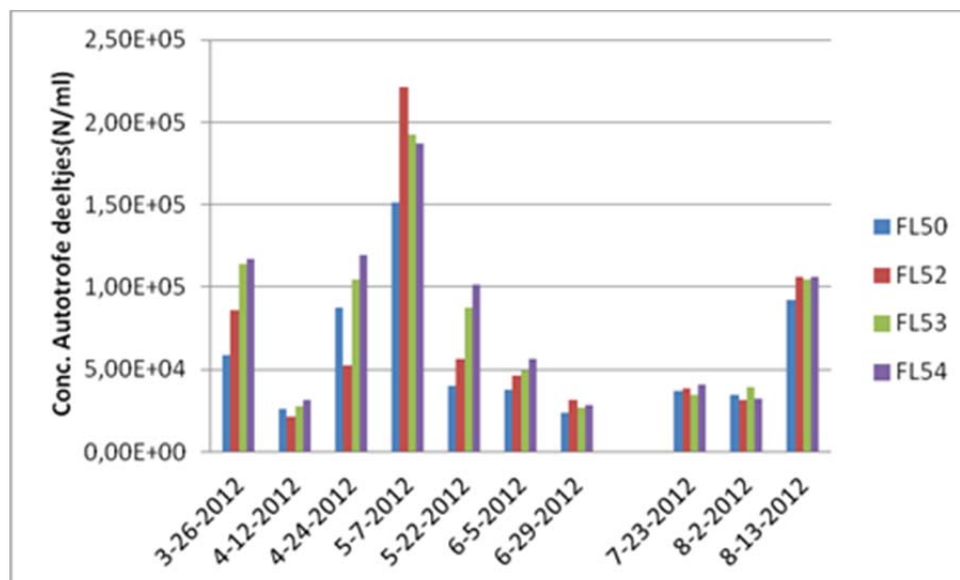
Wat betreft trend is er geen duidelijk verschil is tussen de meetpalen en/of locaties. De sensoren die in het najaar van 2011 meten, geven een sterk overeenkomend beeld met een toenemend chlorofyl gehalte in tijd. Meetpaal 54 lijkt meer en hogere uitschieters te hebben. Voor het voorjaar en de zomer van 2012 geldt dat beide sensoren eenzelfde patroon laten zien: beginnend met een hoog chlorofyl-a gehalte, dat afneemt in de tijd. Meetpaal 54 (29181) lijkt met name in de meimaand hogere waarden te meten dan meetpaal 50.

5.1.3 Conclusie

Gebaseerd op de waterkwaliteitsgegevens van zowel de watermonsters als de continue metingen is er geen duidelijk verschil zichtbaar tussen de meetlocaties en kan daarmee ook geen uitspraak worden gedaan over een significant verschil tussen de beide zijden van de luwtestructuur.

5.2 Effect luwtestructuur op samenstelling chlorofyl (flowcytometrie)

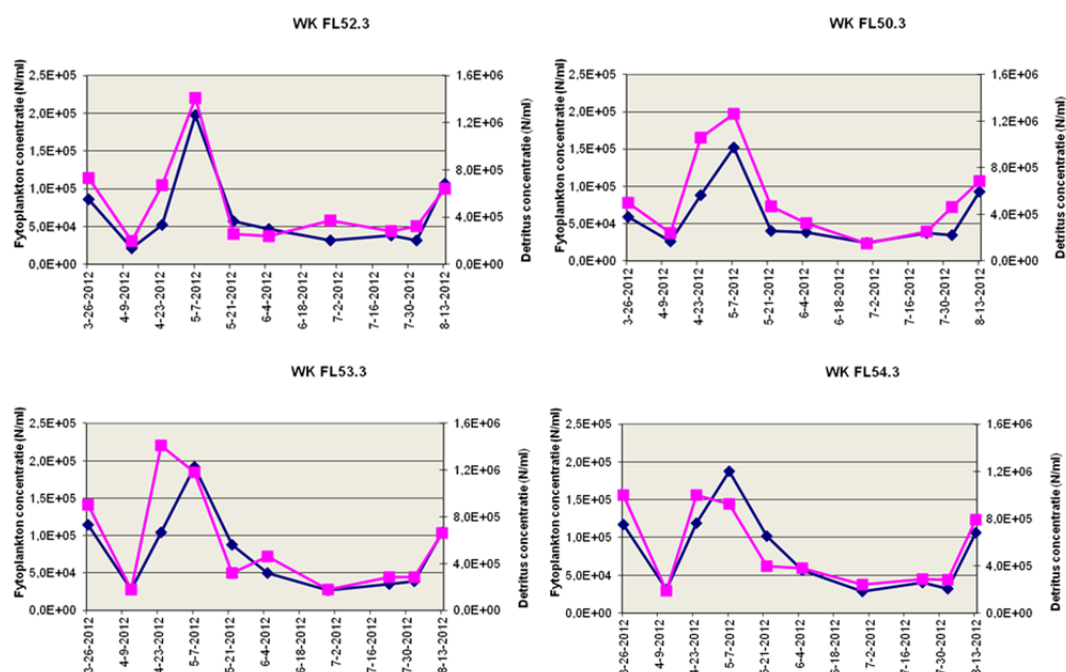
De resultaten van de flowcytometrie metingen zijn als volgt:



Figuur 5.10: Gemiddelde totaal concentratie van fluorescerende deeltjes

Figuur 5.10 geeft de totale concentratie (gemiddelde van 3 metingen) van de fluorescerende deeltjes voor de diverse locaties in de tijd weer. Er blijken geen significante verschillen op te treden tussen de locaties aan de oostzijde van de structuur. Locatie FL53 en FL 54 vertonen gedurende de hele meetperiode een overeenkomstig beeld in de gemeten concentraties. Er is wel variatie in de tijd als gevolg van fytoplanktonsuccessie. De locaties FI50 en FI52 aan de westzijde vertonen meer variatie, zowel onderling als ten opzichte van de oostzijde locaties in de periode 24 april t/m 22 mei.

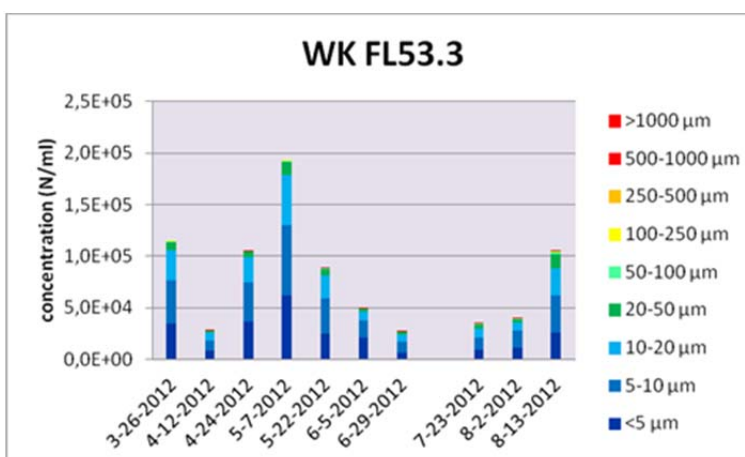
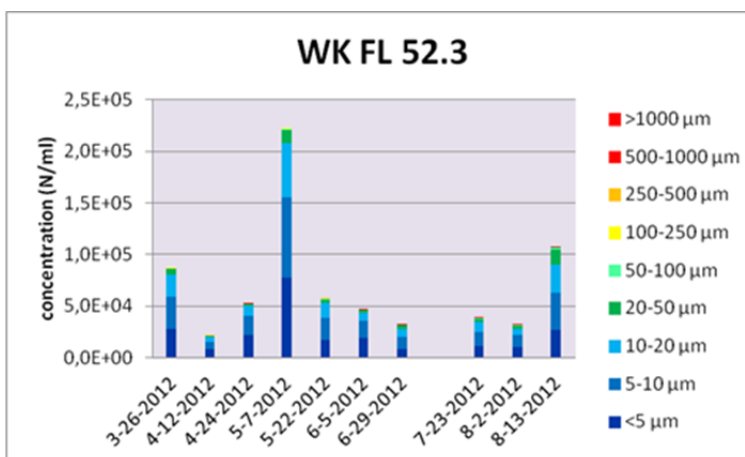
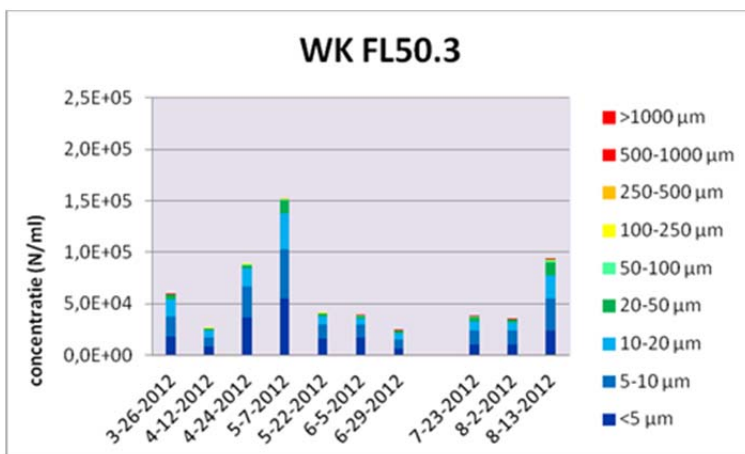
Een aantal uitgevoerde significantietesten (T-toets) tussen de locaties, die zijn gebaseerd op de tabellen uit de bijlagen, duiden op significante verschillen tussen FI50 en FL52 onderling voor deze voorjaarsperioden. Om te kijken of er duidelijke verschillen optraden in de verhouding tussen het aantal detritusdeeltjes en het aantal algen zijn deze in onderstaande figuren uitgezet.

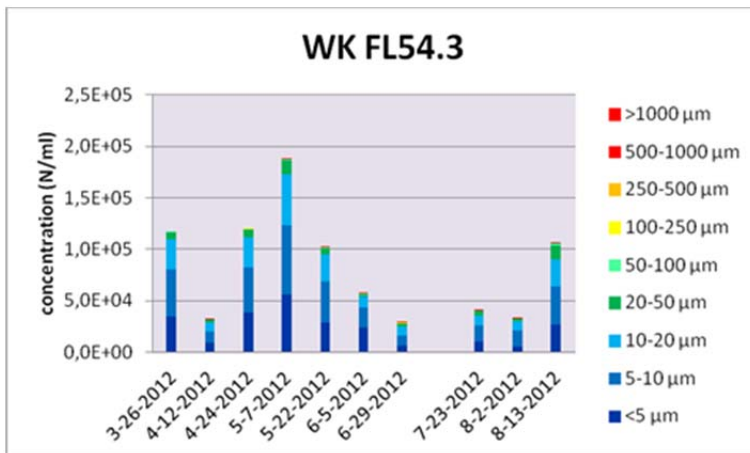


Figuur 5.11: De gemiddelde totaal concentratie (triplo metingen) van de deeltjes per locatie en verdeeld in een fluorescerend (algen: blauw) en een niet fluorescerend (detritus/slib: paars) fractie

In figuur 5.11 zijn de concentratie van zowel algen als de detritus/slib deeltjes uitgezet. Ook op grond van deze figuren is geen duidelijk verschil aan te geven in concentratie deeltjes met betrekking tot de locaties. Het aandeel fytoplankton varieert wat over de tijd (8-15% van het totaal aantal deeltjes betreffen algen). In de periode 24 april t/m 23 mei lijkt er wederom een stijging van de totaal concentratie van deeltjes. Er is geen sprake van een verschil in detritus/slib deeltjes ten gevolge van de plaatsing van de structuur.

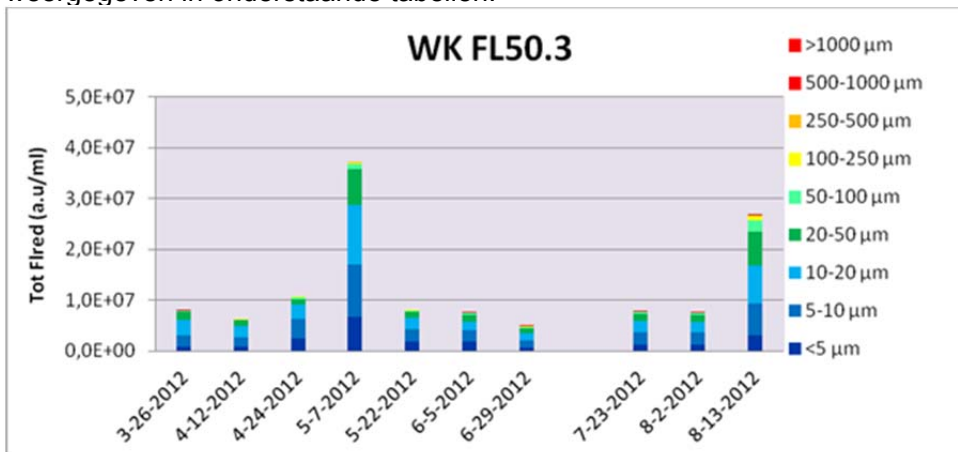
De concentratie van de fluorescerende deeltjes kunnen verder uitgesplitst worden per grootteklasse gebaseerd op de lengte meting zoals gemeten met de flowcytometer.



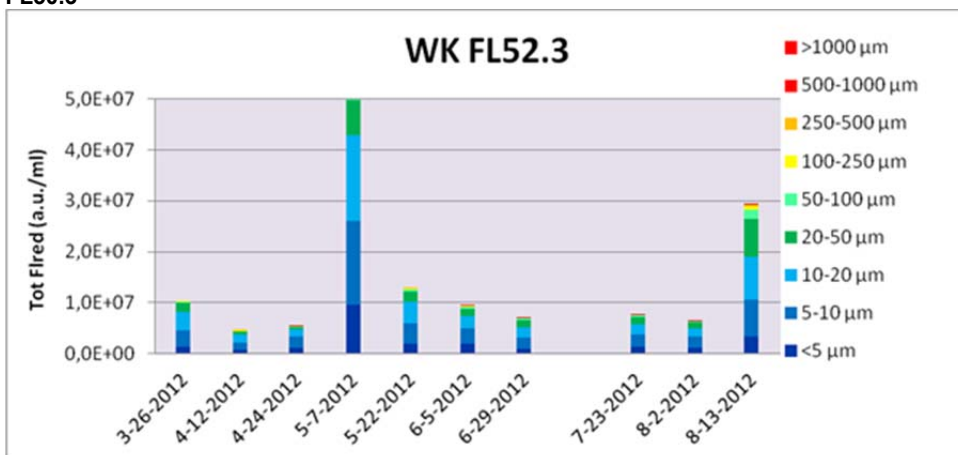


Figuur 5.12: De concentratie van fluorescerende deeltjes (fytoplankton) verdeeld over diverse grootteklassen per locatie.

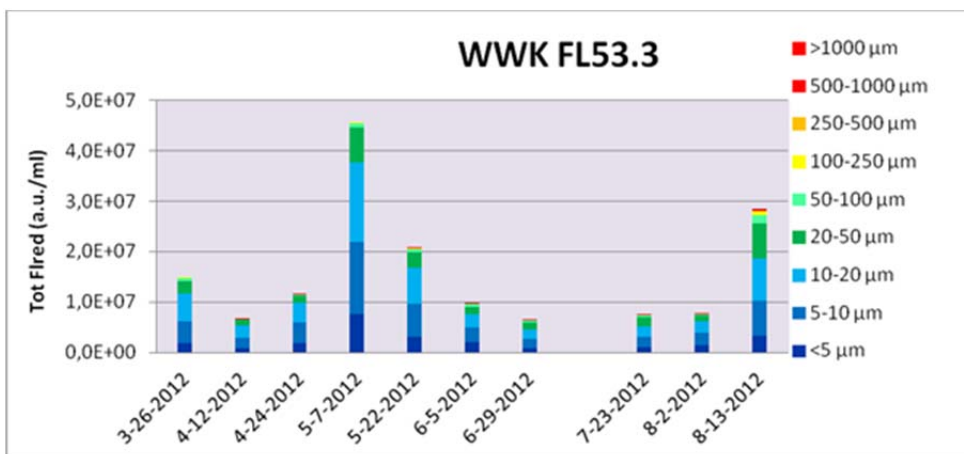
De opspitsing van Chlorofyl-a gerelateerde rood fluorescentie in grootteklassen is weergegeven in onderstaande tabellen.



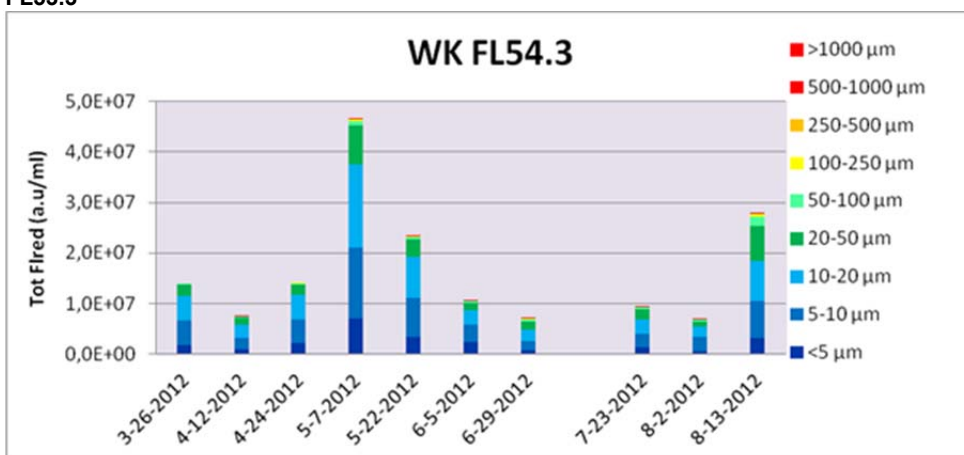
Figuur 5.13 A: De chlorofyl-a gerelateerde FLred fluorescentie (a.u/ml) per grootteklasse op locatie FL50.3



Figuur 5.13 B: De chlorofyl-a gerelateerde FLred fluorescentie (a.u/ml) per grootteklasse op locatie FL52.3



Figuur 5.13 C: De chlorofyl-a gerelateerde FLred fluorescentie (a.u/ml) per grootteklasse op locatie FL53.3

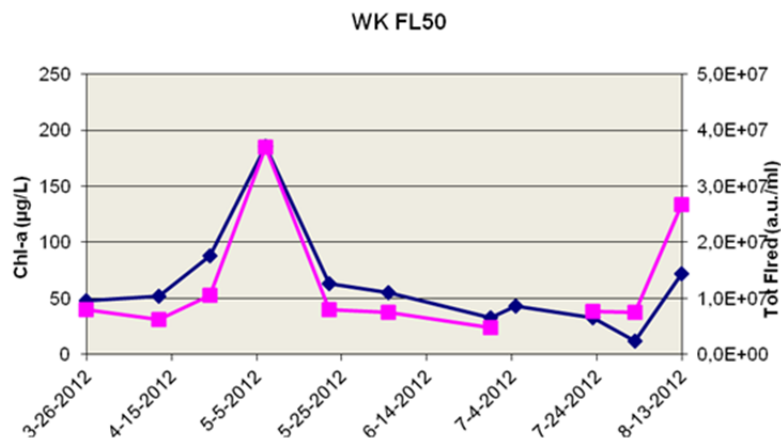


Figuur 5.13 D: De chlorofyl-a gerelateerde FLred fluorescentie (a.u/ml) per grootteklasse op locatie FL54.3

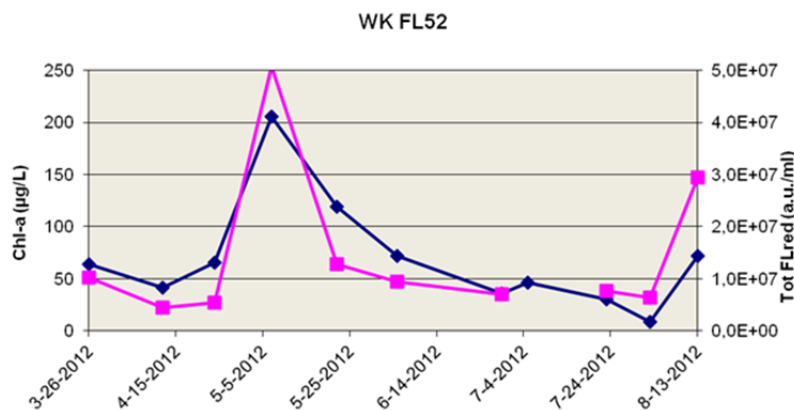
Uit bovenstaande figuren (5.12 en 5.13) blijken er ook in aantallen en biomassa per grootteklasse geen grote verschillen op te treden tussen de diverse locaties. Het grootste aandeel aan de totaal concentratie wordt gevormd door de relatief kleinere deeltjes (<20 µm). Voor alle metingen geldt dat meer dan 85 % van het aantal autotrofe deeltjes afkomstig zijn uit de grootteklassen < 20 µm. De verdeling van de grootteklassen tot en met 20 µm is uniform verdeeld. De bijdragen van de grootteklassen >20 µm is relatief laag als we kijken naar concentratie van deeltjes.

Voorals in biomassa (uitgedrukt in chlorofyl-a gerelateerde fluorescentie) is het de verwachting dat de grotere klassen hieraan fors bijdragen. Dit wordt hier niet geconstateerd. De percentuele bijdrage aan de totale chlorofyl-a gerelateerde fluorescentie is in de grootteklassen 5-10 µm en 10-20 µm samen meer dan 60 % van de totale bijdrage. De grootte klasse 20-50 µm draagt gemiddeld minder dan 20% bij aan het totaal. In de fracties > 50 µm is de bijdrage aan de totale rood fluorescentie gemiddeld gereduceerd tot minder dan 5 %. Dit beeld is kenmerkend voor Markermeerfytoplankton.

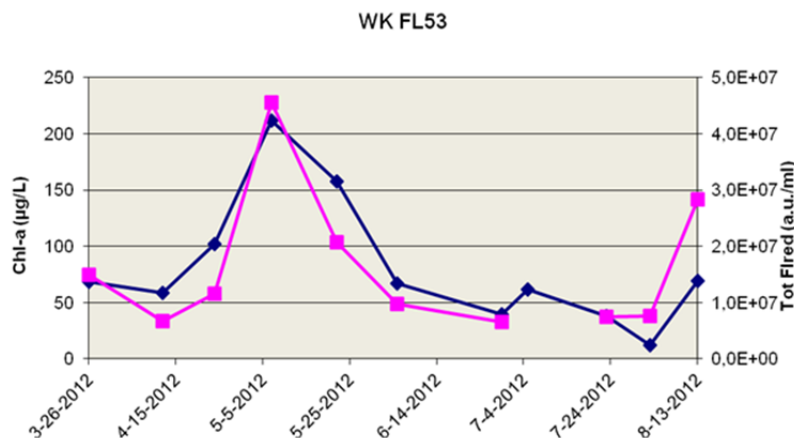
In onderstaande figuren is de Chl-a (µg/L) verkregen met de YSI fluoroprobe vergeleken met de FRed fluorescentie gemeten met de flowcytometer.



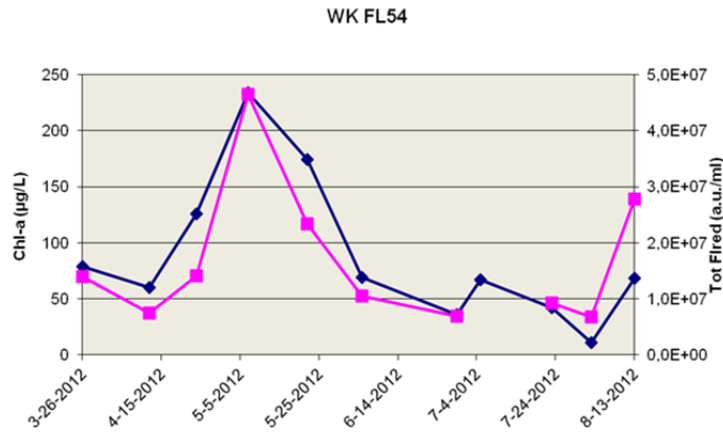
Figuur 5.14A: De *in situ* gemeten Chl-a waarden (volgens EPA 445.0) (µg/L: blauw vierkant) met de YSI fluoroprobe op locatie FL50 en de totaal chlorofyl-a gerelateerde FLred fluorescentie (a.u./ml: roze vierkant) gemeten met de flowcytometer



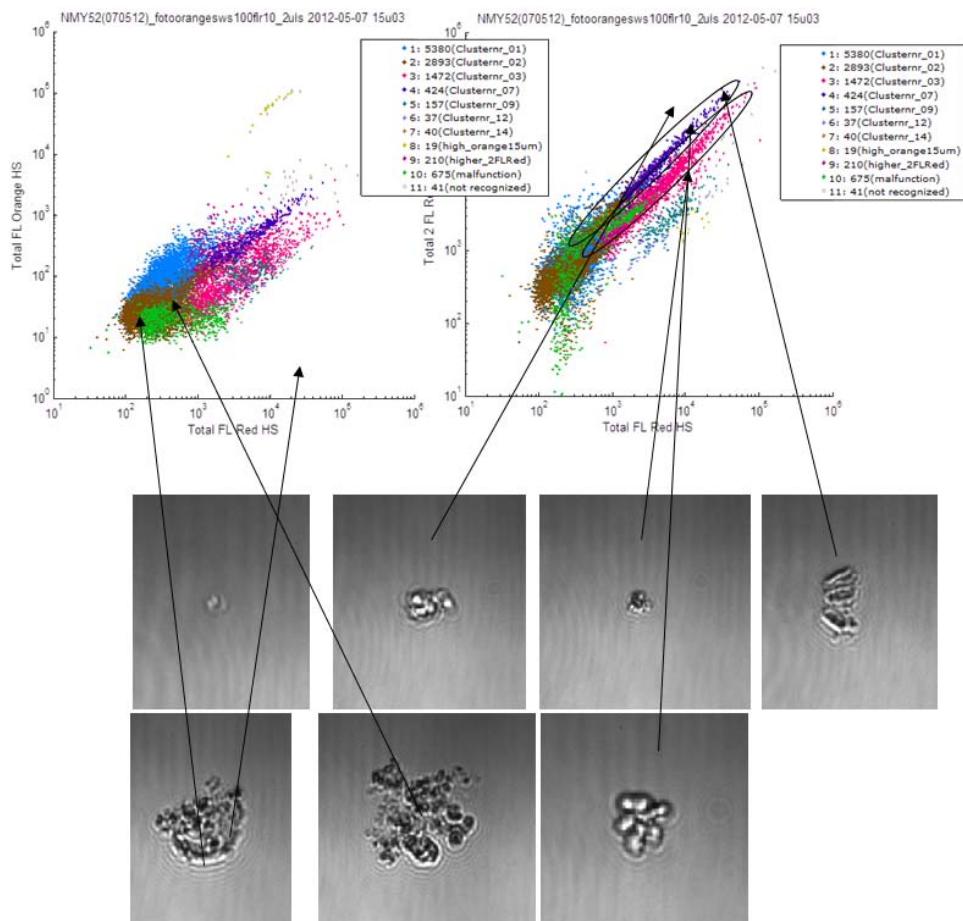
Figuur 5.14B: De *in situ* gemeten Chl-a waarden (volgens EPA 445.0) (µg/L: blauw vierkant) met de YSI fluoroprobe op locatie FL52 en de totaal chlorofyl-a gerelateerde FLred fluorescentie (a.u./ml: roze vierkant) gemeten met de flowcytometer



Figuur 5.14C: De *in situ* gemeten Chl-a waarden (volgens EPA 445.0) (µg/L: blauw vierkant) met de YSI fluoroprobe op locatie FL53 en de totaal chlorofyl-a gerelateerde FLred fluorescentie (a.u./ml: roze vierkant) gemeten met de flowcytometer



Figuur 5.14D: De *in situ* gemeten Chl-a waarden (volgens EPA 445.0) ($\mu\text{g/L}$: blauw vierkant) met de YSI fluoroprobe op locatie FL54 en de totaal chlorofyl-a gerelateerde FLred fluorescentie (a.u./ml: roze vierkant) gemeten met de flowcytometer



Figuur 5.15A Scatter plot of Rode-Oranje fluorescentie fluorescentie

Figuur 5.8B Scatter plot of Rode-Rode2 fluorescentie

Uit figuur 5.14 blijkt dat de Chl-a gerelateerde afgeleidenvan de YSI fluorobrobe waarden als de FRed fluorescentie gemeten met de flowcytometer goed met elkaar overeenkomen. De totaal chlorofyl-a gerelateerde FLred fluorescentie gemeten met flowcytometer dient nog gecalibreerd te worden met Chl-a waarden gemeten volgens de klassieke chlorofyl extractie waarden.

Op grond van diverse optische kenmerken kunnen groepen fytoplankton onderscheiden worden. Opvallend is de geringe diversiteit in de Markermeer monsters, die gekenmerkt worden door een groot dominant uniform cluster (blauw&bruin) met kleinere lastig onderscheidbare clusters daaromheen. De optische verschillen tussen de deeltjes zijn erg klein, waardoor het moeilijk is een onderscheid tussen soorten te maken. Dit onderscheid is in vergelijking met bijvoorbeeld mariene monsters gering. Het groene cluster omvat artefact events.

De scatterplots met daarin de clusters die onderscheiden worden, zijn gebaseerd op een monster (WKFL52 – 7 mei) dat relatief veel onderscheid laat zien. De foto's die zijn genomen, zijn gebaseerd op een selectie van de grotere deeltjes in het monster. De deeltjes op de foto zijn allen kleiner dan 50 µm. De grootte van de deeltjes loopt sterk uiteen, waarschijnlijk omdat ze uit een verzameling van kleinere deeltjes en slib bestaan, waardoor geïsoleerde clusters rond één gemiddelde waarde nauwelijks aanwezig zijn.

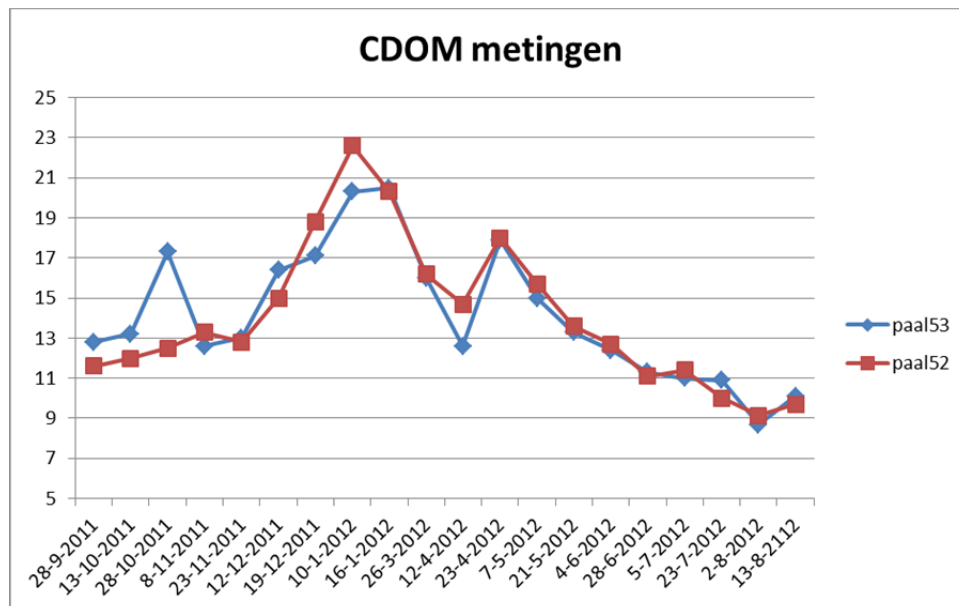
Er zijn softwarematig in EasyClus diverse clustermechanismen getest, maar geen van allen leverden systematische goede resultaten over de gehele dataset. Hier moet nog verder naar gekeken worden. Uit het clusteronderzoek kan tot nu toe geconcludeerd worden dat door de gehele dataset geen opvallende uitschieters of monsters met afwijkende clusters zijn aangetroffen. Over de gehele dataset lijken de monsters homogeen verdeeld qua pigmentsamenstelling. Ook op grond van microscopische waarnemingen werden geen verschillen in soortensamenstelling geconstateerd voor de diverse locaties onderling. Wel trad er op alle locaties een vergelijkbare verschuiving in fytoplanktonsamenstelling op van een voorjaarsperiode (april-mei) naar een zomerperiode.

Conclusies

De aanname bij dit deelonderzoek was dat de veranderingen in de watercirculatie de fytoplanktonsamenstelling zou beïnvloeden. Voorlopig moet echter geconcludeerd worden dat de luwtestructuur op de fytoplanktonsamenstelling geen significante invloed heeft gehad. De plaatsing van de luwtestructuur in relatie tot de in de periode heersende windsnelheid en richting heeft de turbulentie in het water niet voldoende eenzijdig beïnvloed.

5.3 Effect luwtestructuur op CDOM (coloured dissolved organic matter)

In onderstaande grafiek zijn de trends te zien van de metingen van coloured dissolved organic matter (cdom).

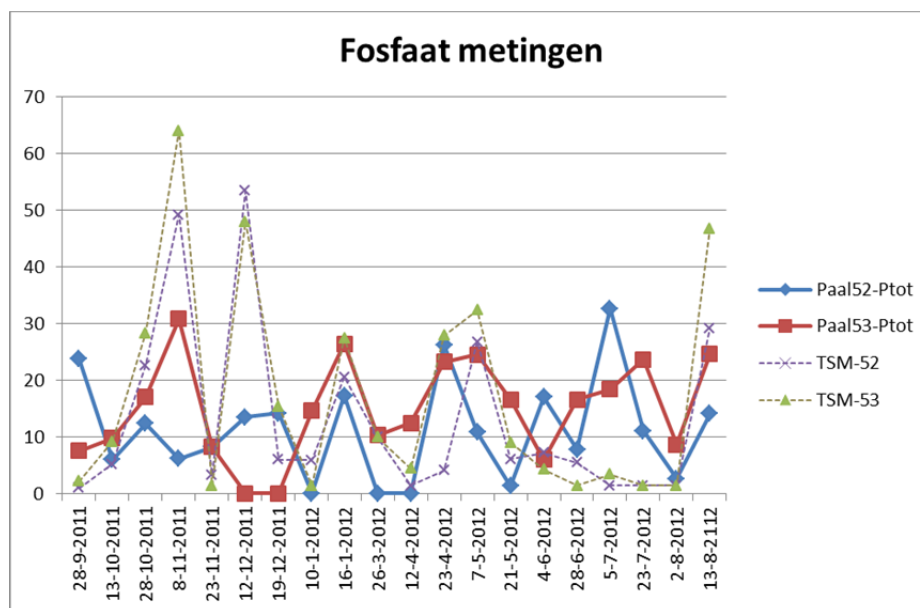


Figuur 5.16: Coloured dissolved organic matter metingen op twee meetlocaties in het Markermeer

Tussen de twee meetpalen is een gelijkwaardig patroon te zien. In de maanden september tot en met januari is een toenemende trend zichtbaar, die vervolgens daalt tot iets lager dan het oorspronkelijke niveau van september. In eerste instantie (metingen september en oktober) zijn de gehalten CDOM bij paal 53 nog hoger, maar vanaf november ligt het erg dicht bij elkaar. Er is geen duidelijk verschil tussen beide meetlocaties waar te nemen.

5.4 Effect luwtestructuur op Fosfaat

In onderstaande figuur is fosfaat als fosfaat-totaal weergegeven. De ortho-fosfaat gehalten laten voor beide meetlocaties op alle data geen onderscheid zien in meetwaarden zien. Alle meetwaarden zijn gelijk en liggen op het niveau van de detectiegrens van de meetmethode: $<0.035 \mu\text{g/l}$.



Figuur 5.17 Fosfaat-totaal ($\mu\text{g/l}$) en zwevend stof metingen (TSM) bij twee meetpalen rond de luwtestructuur

De metingen van totaal fosfaat laten een schommelend beeld zien. De gehalten fosfaat fluctueren gedurende de totale meetperiode tussen de 0 en $33 \mu\text{g/l}$, waarbij gemiddeld om de 2 maanden een piek waarneembaar is. De pieken worden zijn te koppelen aan de pieken van het zwevend stof, dat in dezelfde periode is verhoogd. Deze pieken nemen op meetlocatie 53 gedurende de meetperiode langzaam af. (van $30,8$ naar $24,6$), terwijl de pieken op meetlocatie 52 juist toenemen (van $12,4$ tot $32,6$). Over het algemeen zijn beide meetreeksen vergelijkbaar (dalen en stijgen in dezelfde periode). Opvallend zijn de lage metingen eind 2011 bij meetlocatie 53 en begin 2012 bij meetlocatie 52, (meetwaarden < 0.035).

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Algemene conclusie veldexperiment

In het kader van het onderzoeksprogramma Natuurlijker Markermeer IJmeer is van september 2011 t/m september 2012 het veldexperiment luwtestructuur uitgevoerd. Uit de verkregen resultaten kan worden geconcludeerd dat met de gekozen opzet en configuratie de doelen van het veldexperiment zijn gehaald. Het veldexperiment kan succesvol worden genoemd.

Het doel van het veldexperiment was drieledig:

1. Invullen kennisleemten;
2. Validatie Delft3D slibmodel;
3. Beantwoording onderzoeksvragen.

In februari 2012 heeft de validatie van het slibmodel plaatsgevonden. Op basis van de velddata is het model op een aantal belangrijke punten verbeterd, waaronder het beschrijving van de golven. De nieuwste versie van het model kan nu met vertrouwen worden gebruikt voor de analyse van de effecten van diverse maatregelscenario's.

De resultaten van het veldexperiment hebben ook ons inzicht vergroot in de werking van de maatregel luwtestructuur. Vooral in het gedrag van de luwtestructuur op stroming- en golfuwte zijn bepaalde kennisleemten opgevuld. Verder toont het experiment aan dat de slibconcentratie wordt verminderd aan de luwtzijde van de structuur.

De precieze werking van de luwtestructuur is echter sterk afhankelijk van de meteorologische omstandigheden, voornamelijk de windrichting en –snelheid. Daarmee kan op dit moment nog geen uitspraak worden gedaan over.

In de paragraaf hierna worden de conclusies behandeld per onderzoeksvraag.

6.2 Conclusie per onderzoeksvraag

6.2.1 Vragen kennisleemtes

Is er bij een veldexperiment (van wezenlijke omvang) een merkbaar effect op de afname van de slibconcentratie waar te nemen en daarmee van het gemiddeld doorzicht, en hoe groot is dat effect?

De slibmetingen die zijn uitgevoerd (vlak) bij de luwtestructuur laten zien dat de structuur een merkbaar, maar diffuus, effect heeft op de slibconcentratie. Het effect van de structuur op de slibconcentratie is sterk afhankelijk van de combinatie tussen golfuwte en stromingsluwte en kan voor verschillende windrichtingen en windsnelheden anders zijn.

Over het algemeen kan worden geconcludeerd dat aan de zuidzijde van de structuur de stroming en golven flink kunnen toenemen (bij zuiden en oosten wind) en daardoor kunnen zorgen voor een toename van de slibconcentratie tot 50 mg/l. Dit wordt vooral gevonden aan de hoge kant van de structuur, bij de lage kant is dit minder. Wij westen wind worden er aan de zuidzijde lagere concentraties gevonden in de top van de waterkolom (tot 50 mg/l). Aan de bodem zijn de concentraties altijd hoger, dit kan worden verklaard door een continu hogere stroomsnelheid aan de zuidkant.

De noordzijde van de structuur laat een verschillend beeld voor bodem en toplaag zien, vooral aan de lage zijde van de structuur. In de toplaag is het effect van de structuur sterker windrichtingafhankelijk. Bij veel windrichtingen (van zuidoost tot noordwest) zijn slibconcentraties bij de structuur hoger dan op de referentie locatie FL50. De luwtestructuur is daarmee dus niet enigermate effectief in het verminderen van slibgehalte ter plaatse van de structuur. Nabij de bodem is de structuur wel effectief: de slibconcentraties op FL 52 zijn lager dan op de referentielocatie, het verschil neemt toe met de windsnelheid. Het effect is met orde 30-tot maximaal 50 mg/l groter dan het effect aan de oppervlakte. Het midden van de waterdiepte lijkt op de bovenlaag.

De storm event metingen bevestigen dit beeld. Als er vermindering van slibconcentratie wordt gevonden is dit merkbaar over een gebied in de orde grootte van de lengte van de structuur. Verder laten de metingen na de ijsperiode zien dat de minimale slibconcentratie in het meer orde 30 mg/l is. Er kan dan ook worden verwacht dat de effecten van een luwtestructuur nooit lagere slibconcentratie kunnen geven dan orde 30 mg/l.

In het veldexperiment is de doorzicht niet gemeten. Er kan wel een theoretische vertaling worden gemaakt van slibconcentratie naar doorzicht. Dit zal echter nog moeten worden uitgevoerd het kader van NMIJ.

Is af te leiden of dat effect wordt veroorzaakt door de stroomgeleiding, door golfuwte of door beide effecten? In samenhang hiermee: wat is de optimale hoogte van de Luwtestructuur?

Zoals is aangegeven bij de beantwoording van de vraag hierboven wordt het effect van de luwtestructuur of de verandering van de slibconcentratie veroorzaakt door een complex samenspel van stroming- en golfuwte, afhankelijk van windrichting en snelheid.

Met name aan de bodem wordt het effect van golfuwte gevonden en aan de top het effect van stroming. Aan de lage zijde van de structuur lijkt de stroming over de structuur heen te gaan, waardoor slib van elders wordt aangevoerd. Paal FL54 laat een veel beter correlatie zien tussen golfvermindering en slibvermindering. Hieruit kunnen we opmaken dat het hoge gedeelte veel effectiever is als luwtestructuur.

Er kan worden geconcludeerd dat de structuur golfuwte creëert met reducties van de golfhoogte tot -60 a -70 cm. Reflectie van golven tegen de structuur zorgt er voor dat er hogere golven ten opzichte van de referentie locatie ontstaan, in dat geval neemt de golfhoogte lokaal toe met maximaal 40 cm. Aan de zuidzijde geeft de structuur golfuwte voor windrichtingen tussen 200 en 30° (ZW, ruimend naar NO). De reductie van golfhoogte aan de zuidkant van de structuur bij NW wind bedraagt orde 70 cm voor FL54 aan de hoge kant van de structuur en orde 50 cm voor FL53 aan de lage kant. De hoge kant van de structuur is dus effectiever voor golfuwte. Aan de noordzijde van de structuur ontstaat golfuwte bij windrichtingen tussen 30 en 200° De reductie in golfhoogte aan de noordzijde (FL52) bij ZO wind is -30cm en daarmee beperkter dan aan de zuidzijde (FL53, -50 cm). Dat komt omdat winden uit ZO minder sterk zijn en dus minder hoge golven genereren en daarmee ook minder potentiële reductie van golfhoogte.

Stroming wordt afgebogen aan de zuidzijde van de structuur. Stroomsnelheden kunnen aan de zuidkant tot orde 2x zo hoog worden (tot 30-40 cm/s ten opzichte van de natuurlijke situatie, maximaal 20 cm/s), met name stroming parallel aan de structuur. Gedurende situaties waarin het water behoorlijk stroomt (meer dan 8 cm/s) is de stroomrichting van het water gestuurd door circulatiestroming en niet direct door de wind op dat moment. Bij lagere stroomsnelheden stroomt het water aan het oppervlak wel in de richting van de vigerende wind.

Om optimaal gebruik te kunnen maken van het luwte-effect dient de structuur geheel boven het wateroppervlak te worden aangelegd. Hierdoor ontstaat zowel golfuwte als stromingsluwte: slib van elders kan niet aan de luwzijde van de structuur terecht komen door stroming. Bij het lage deel van de structuur was dat namelijk nu wel het geval.

Hoe effectief werkt de luwtestructuur bij verschillende windrichtingen en windsterktes?

In het antwoord op de vraag hierboven is al grotendeels antwoord gegeven op deze vraag. Golfuwte wordt direct gevonden aan de luwzijde van de structuur in relatie tot de windrichting. Qua stroming ontstaat er een ander beeld.

Als de grootschalige circulatiestroom op gang is, dit gebeurt bij hogere windsnelheden, dan wordt de stroming rondom de structuur vooral daardoor bepaald, en daarmee ook de stromingsluwte. Verandering van windrichting heeft daarop weinig invloed, terwijl de golfuwte wel direct daaraan gekoppeld is. Stromingsluwte en golfuwte kunnen in dit geval of samenwerken (zie storm event 9 dec) of tegenwerken (storm event 6 jan).

Een verdergaande analyse voor de werking van de luwtestructuur bij verschillende windrichtingen zal moeten worden uitgevoerd met het verbeterde slibmodel. Hiermee kan voor verschillende situaties (stationair) worden bepaald wat het effect is, ook op de verdere omgeving. Dit kan alleen worden bepaald met het model. (zie ook aanbevelingen).

Qua bruto sedimentatie is er weinig verschil waar te nemen tussen de locaties ten noorden en zuiden van de luwtestructuur. Dat betekent dat de combinatie van windrichting en positie van de meetlocatie ten opzichte van de structuur bepalend is voor de hoeveelheid sedimentatie. Er kan wel worden opgemaakt dat de sedimentatie in de stormperiode (herfst en winter) hoger is dan in de zomer. Dit komt doordat de slibconcentratie in deze periode ook hoger is door frequentere opwoeling. Hierdoor kan ook meer slib bezinken.

Effect luwtestructuur op sediment samenstelling?

Sedimentvallen laten geen duidelijk verschil zien in samenstelling zwevend sediment voor en achter de luwtestructuur. Er is echter wel verschil te zien in samenstelling van het zwevend sediment tussen winter- en zomerperiode. In de winterperiode is de hoeveelheid organisch stof (gloeiverlies) duidelijk lager (10%) dan in de zomer (25-30%). Het organisch stof gehalte van het ingevangen slib correleert negatief met de sedimentatiesnelheid (relatief hoge sedimentatie met laag organisch stof in de herfst en winter, relatief lage sedimentatie met hoog organisch stof in de zomer).

De metingen aan de sediment samenstelling op de bodem laten ook geen duidelijk verschil zien tussen de locaties aan de noordzijde en zuidzijde van de structuur.

Hoewel de sedimentatie aan de noordzijde hoger was (zie vraag hieronder), en daardoor een groter percentage fijn sediment wordt verwacht, blijkt dit niet uit de metingen. Blijkbaar is het sediment dat via de waterkolom wordt verspreid en weer sedimenteert qua korrelverdeling vergelijkbaar. Dit kan ook worden verklaard doordat alleen het sediment uit de directe omgeving aan de luwzijde terecht komt. Na de ijsperiode is er wel op een aantal locaties een lichte toename te zien van het percentage zeer fijn materiaal in de bodem. Dit kan worden verklaard doordat bij ijsgang zelfs de meest fijne fractie uit de waterkolom kan uitzakken.

Effect luwtestructuur op ecologische parameters?

De luwtestructuur heeft binnen één jaar weinig effect op de ecologische parameters.

Gebaseerd op dechlorofyl gegevens is er geen duidelijk verschil zichtbaar tussen de meetlocaties en kan daarmee ook geen uitspraak worden gedaan over een significant verschil tussen de beide zijden van de luwtestructuur.

Ook de fytoplanktensamenstelling verschilt weinig tussen de noord- en zuidzijde van de structuur. De plaatsing van de structuur in relatie tot de in de periode heersende windsnelheid en richting heeft de turbulentie in het water niet voldoende eenzijdig beïnvloed.

Dit betekent dat de plaatsing van de structuur geen effect lijkt te hebben op de algengroei. Dit is aan de ene kant gunstig, omdat het risico op verhoogde algenconcentraties aan de luwtezijde klein lijkt. Echter dit betekent ook dat voor waterplanten het lichtklimaat om te groeien niet verbetert.

De CDOM metingen laten weinig verschil zien na aanleg van de structuur. Dit maakt echter niet veel uit, omdat deze metingen vooral waren uitgevoerd om het in later stadium mogelijk te maken remote sensing beelden te gebruiken (zie aanbeveling).

Effect luwtestructuur op sedimentatie en erosie?

Sedimentatie treedt in het hele gebied rondom de luwtestructuur op. Aan de noordzijde is dit echter meer (orde 6 tot 12 cm) dan aan de zuidzijde (orde 5 cm). Dit kan te maken hebben met verhoogde stroomsnelheid aan de zuidzijde. Door het effect van golfwulve aan beide zijden, afhankelijk van de windrichting, zal er netto aanslibbing plaatsvinden over het hele gebied.

Een belangrijke conclusie is wel dat de sedimentatie rondom de structuur beperkt blijft tot orde cm's per jaar. Dit betekent dus niet dat er grote hoeveelheden slib (decimeters of meters) terecht komen aan de luwtezijde van de structuur. Vooral de omgeving was hier bang voor. Wat deze sedimentatie echter betekent voor de ecologische effecten aan de bodem, wordt nog wel worden bepaald in het kader van NMIJ.

6.2.2 Onderzoeksvragen

Nr.	Onderzoeksvraag
S9aRH	<i>Tot op welke hoogte in de waterkolom werkt de structuur als golfbreker / geleidingsstructuur? Hoe hoog moet de constructie worden?</i>
Antwoord	<p>Uit het veldexperiment luwtestructuur kan niet precies worden opgemaakt tot op welke hoogte de structuur werkt als golfbreker en tot welke hoogte als geleidestructuur. Zoals is aangegeven bij de beantwoording van de bovenstaande vragen werkt de structuur zowel als golfbreker en als geleidingsstructuur. Indien de wind sterk is voor langere tijd ontstaat er een grotere circulatie stroom, welke wordt afgebogen door de structuur. In dit geval ontstaat stromingsluwte achter de structuur. Verandering van windrichting heeft daarop weinig invloed, terwijl de golfuwte wel direct daaraan gekoppeld is.</p> <p>In dit geval laten de resultaten van het experiment zien dat het gedeelte van de structuur dat onder water is, minder effectief werkt dan het gedeelte dat boven water uitsteekt. Stroming kan nog deels over de structuur heen stromen. Waardoor slibrijk water nog achter de structuur kan komen. Verder laten de resultaten ook zien dat golven beter worden gebroken / tegengehouden als de structuur helemaal boven water uitsteekt.</p> <p>Daarom kan worden geconcludeerd dat de structuur het meest effectief werkt, als deze helemaal boven water uitsteekt.</p> <p>De hoogte van een eventuele definitieve structuur zal dan moeten worden ontworpen op de maximaal optredende waterstanden ter plaatse. De structuur moet voor die gevallen dan nog boven water uitsteken om het meest effectief te zijn.</p>
S9bRH	<i>Kan met geleidingsstructuren / golfconstructies de bron van het slibprobleem aangepakt worden?</i>
Antwoord	Deze vraag is in de factsheets inmiddels vervallen (zie factsheet 25 maart 2011). Het is onduidelijk wat precies de bron van het slibprobleem is / er is niet een oorzaak te noemen. Vraag heeft geen meerwaarde voor het NMIJ onderzoek en komt daarom te vervallen.
S10	<i>Tot welk gemiddeld doorzicht leiden de maatregelen om met geleidingsstructuren het slibgehalte te verminderen?</i>
Antwoord	Bij het veldexperiment zijn alleen de effecten bepaald op slibconcentratie. Resultaten en werking van de luwtestructuur is beschreven in bovenstaande paragraaf. De vertaling naar doorzicht moet nog worden uitgevoerd in het kader van NMIJ.
S10aRH	<i>Wat is het effect van een geleidingsstructuur op de slibconcentratie?</i>
Antwoord	Zie antwoord hierop in paragraaf 6.2.1.
S44RH	<i>Zijn tijdelijke geleidingsstructuren / golfabsorberende maatregelen een optie (om gunstiger situatie te bewerkstelligen of alleen voor sturing bij bepaalde condities)?</i>
Antwoord	<p>Voor de beantwoording van deze vraag is het van belang om te bepalen wat er wordt bedoeld met de term tijdelijk. Het antwoord hangt sterk samen met het antwoord op de vraag hieronder.</p> <p>Het veldexperiment luwtestructuur laat zien dat er nauwelijks effecten worden waargenomen op de ecologie. Als een eventuele definitieve structuur tijdelijk moet worden aangelegd, maar wel tot doel moet hebben om de vestiging van waterplanten te vergroten, dan moet de structuur wel meerdere groeiseizoenen in het Markermeer aanwezig zijn.</p>

Nr.	Onderzoeksvraag
S37aRH	<i>Wat is de tijdschaal van de monitoring van de pilot (denk aan effecten in de waterkolom én in de bodem)?</i>
Antwoord	<p>Bij de opzet van het veldexperiment is gekozen voor een uitvoeringstermijn van een compleet jaar. Dit was toen gekozen, om vooral de effecten bij verschillende seizoenen te kunnen zien.</p> <p>Op basis van de metingen kan voor tijdschaal het volgende worden geconcludeerd:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Voor de bepaling van de effecten op golven, stroming en slib, is een jaar aan de lange kant. De dynamica wordt vooral bepaald door de optredende windveranderingen, er dus ook op deze tijdschaal (orde een week). Echter: om bij alle condities te kunnen meten, is het nodig om een langere meetperiode te hebben. Sterke oostenwinden komen bijvoorbeeld voornamelijk in de winter voor. • Voor de storm events was de meetperiode van een jaar wellicht iets aan de korte kant. Er zijn nu maar 2 perioden geweest die aan de eisen voldeden. De resultaten van deze metingen zijn echter zeer zinvol. Meer perioden, met ook verschillende windrichtingen, zou mooi zijn geweest. Weerseffecten kunnen echter niet in de hand worden gehouden. Langer doormeten vergroot wel de kans op meer events. • Voor de bepaling van de sedimentatie aan de bodem en in de sedimentvallen lijkt de periode van een jaar een minimum. Vooral de bodemveranderingen zijn beperkt van grootte en vallen beide binnen de onnauwkeurigheidsmarge. Langer doormeten zou de betrouwbaarheid van de sedimentatiemetingen hebben vergroot. • Effecten op ecologie en sedimentsamenstelling worden verwacht voor een tijdschaal langer dan een jaar. Voor deze parameters kan de meetperiode dus te kort zijn geweest. <p>Al met al kan echter worden geconcludeerd dat de meetperiode van een jaar een goed compromis is geweest voor de bepaling van de diverse parameters. Langer doormeten hadden de resultaten voor bepaalde parameters betrouwbaarder kunnen maken. Echter was dit qua budget niet haalbaar. Voor de effecten op golven, stroming en slib (hoofddoelen van het experiment) was de periode zeker lang genoeg.</p>
S38aRH	<i>Wat is de optimale schaalgrootte van de pilot?</i>
Antwoord	<p>Deze vraag is al grotendeels beantwoord in de studie van Deltares (2010) ten behoeve van het veldexperiment luwtestructuur. Deze modelstudie toont aan dat een luwtestructuur van minimaal 1200 m nodig was om significante verlagingen van de sediment concentratie te laten zien (5 à 10 mg/l). Een 2x zo lange structuur (2400 m) zal een groter effect laten zien (verlaging 10 mg/l). Het oppervlak van verlaging van een 2x langere structuur zal 4x groter zijn. Een optimale schaalgrootte is door Deltares geschat op 2400 m. Uiteindelijk is een structuur van 1800 m aangelegd voor het veldexperiment.</p> <p>De resultaten van het experiment laten inderdaad zien dat de effecten van de structuur op golven, stroming en slib goed te bepalen zijn bij een structuur van 1800 m.</p> <p>Echter vanuit technisch oogpunt zou het beter zijn geweest om de structuur iets groter te maken, zoals ook al eerder aangegeven door Deltares.</p> <p>De gradiënten in de effecten op golven, stroming en slib zouden duidelijker zijn geweest, waardoor de interpretatie van de data makkelijker zou zijn.</p> <p>Voor golfuwte is de structuur groot genoeg, het signaal is duidelijk. Voor stroming is de data echter te diffuus om makkelijk conclusies te kunnen trekken.</p> <p>Ook hier geldt echter dat qua budget een grotere structuur niet haalbaar was. Daarom was een structuur met een lengte van 1800 m achteraf gezien een juiste oplossing.</p>

S38bRH	<i>Hoe onderscheid je het effect van geleiding versus golfdemping in de pilot?</i>
Antwoord	<p>Ook deze vraag is al grotendeels door Deltares in 2010 beantwoord. Deltares geeft aan dat het effect van golfdemping en geleiding van elkaar kunnen worden onderscheiden wanneer in het experiment beide fenomenen onafhankelijk van elkaar gevarieerd kunnen worden en het effect van deze verschillende situaties gemeten kan worden. Een pilot zou dus het effect van (1) geleiding zonder golfdemping kunnen onderzoeken of (2) het effect van golfdemping zonder geleiding. Beperkingen daarbij zijn dat optie 1 technisch in het veld niet realiseerbaar lijkt (denk aan doek dat golven doorgaat en stroming afbuigt) terwijl optie 2 technisch wel realiseerbaar is maar iets meer eisen stelt aan de omvang en of monitoring (denk aan versprongen planken) van de pilot omdat het effect van een stroming doorlatende structuur minder intens over groter gebied zichtbaar is. Door in de pilot een constructie in hoogte te variëren, variëren golfdemping en geleiding niet onafhankelijk van elkaar waardoor de interpretatie van metingen moeilijker wordt. Het succes van de monitoring wordt dan mede afhankelijk van de variatie die tijdens de meetperiode optreedt in wind-, stromings- en golfcondities. Een voldoende lange meetperiode verhoogt in dat geval de kans op succes.</p> <p>In het veldexperiment luwtestructuur is dus uiteindelijk gekozen voor optie 2, versprongen planken op een hoogte van + 0,1 m NAP (eerste 900 m nabij de kust) en – 0,4 m (laatste 900 m).</p> <p>De resultaten laten zien dat hiermee het effect van stroming en golven gescheiden kan worden met deze configuratie van de structuur. Echter, voor het helemaal juist bepalen van het effect van stroming, hadden nog extra meetlocaties moeten worden toegevoegd verder van de structuur af. Circulatie patronen op de schaal van het hele Markermeer zijn van belang bij de verspreiding van het slib. Om zulke patronen te bemeten is FL50 alleen niet voldoende. Deze locatie was vooral als referentiepunt voor golven gekozen, en deze bleek hiervoor geschikt. Voor het meten van grootschalige stromings- en circulatiepatronen zijn metingen buiten de scope van het experiment nodig, bijvoorbeeld met meerdere palen geplaatst in een raai in de richting van het of metingen aan drijvers of tracers in het water. Dit was echter binnen het budget niet mogelijk. Ook hiervoor geldt dat de gekozen strategie een goed compromis was. Het globale effect kan namelijk ook goed worden bepaald met het gevalideerde slibmodel of remote sensing beelden.</p>

7 REFERENTIES

Kelderman, P., R.O. Ang'weya, P. De Rozari, T. Vijverberg. Sediment characteristics and wind-induced sediment dynamics in shallow Lake Markermeer, the Netherlands. *Aquatic Sciences* 74, pp. 301-313.

Movares en Mateboer (2012a). Voortgangrapportage Mobiele monitoring luwtestructuur Markermeer - Meetronde 17 t/m 21, kenmerk 112082-VR-05-R00.

Movares en Mateboer (2012b). Meetrapport t.b.v. diepte monitoring Luwtestructuur Markermeer Meting na 6 maanden. Kenmerk P2298-BAT-03-R00.

Movares en Mateboer (2012c). Waterbemonstering luwtestructuur Markermeer, meetrapport storm event 02. Kenmerk P2298-OBS-02-R02.

Deltares (2010). Modelstudie geleidestructuren – Bepaling locatie en omvang. Projectnr. 1201198.

Deltares (2012). Validation suspended sediment model Markermeer – version II & Application to silt screen, kenmerk 1201198-010-ZWS-0001

Appendix A

Folders meetsensoren

OBS[®]-3+

Sediment Instruments for all Environments

NEW in 2005!

Probe Dimensions (including connector):

L.O.A.: 141 mm

O.D.: 25 mm

F E A T U R E S

- Measures turbidity and suspended solids
- Compact low-power probe
- Integral voltage clamp and 4–20 mA current loop
- MCBH-5-FS, wet-pluggable connector

A P P L I C A T I O N S

- River and stream gauging
- Add-on sensor for CTDs, data loggers, and current meters
- Monitor dredging and mining operations
- Permit compliance
- Control water quality in settling ponds and tanks
- Sediment transport research
- Laboratory measurements

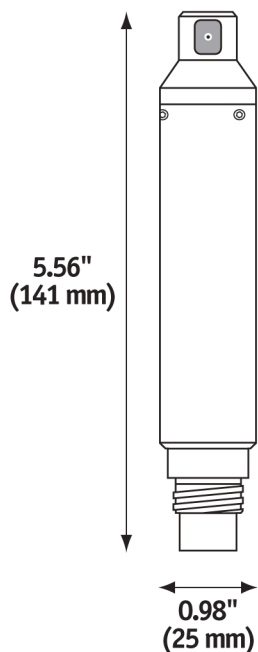
D E S C R I P T I O N

The OBS[®]-3+ sensor measures suspended solids and turbidity by the optical backscatter method (ASTM). It features a micro-size probe that responds almost linearly over a 1,000-fold change in sediment concentration (SSC) and turbidity.

Field-proven suspended solids and turbidity monitor.



OBS[®]-3+



ORDERING INFORMATION

- Consult the manufacturer about your application.
- Specify cable length.
- Choose voltage-clamp or current-loop options.

PAYMENT AND SHIPPING TERMS

VISA and MasterCard accepted. COD, prepay, or LC without credit approval; Net 30 Days otherwise. EXW Port Townsend, Washington, USA

Represented by:



RANGES

Turbidity		0-2,000 NTU
SSC ¹	Mud	0-2,500 mg/l
	Sand	0-50 g/l

¹ Range depends on sediment type.

ACCURACY

Turbidity		0.25 NTU or 1% of reading ²
Concentration	Mud	0.5 mg/l or 1% of reading ²
	Sand	0.25 g/l or 1% of reading ²

² Whichever is larger.

OTHER DATA

Output	0-1.25 V, 0-2.50 V, (4-20 mA optional)
Maximum data rate	10 Hz
Infrared wavelength	850 nm
Maximum depth	500 m
Drift	< 2% / year
Power	5 V / 12 mA
Housing Material	316 stainless steel or titanium
Dimensions	141 x 25 mm
Daylight rejection	-28 dB (re: 48 mW cm ⁻²)
Connector	MCBH-5-FS, wet-pluggable



6-series multiparameter

water quality sondes



long-term monitoring
profiling & spot sampling
sensor guide



Why YSI?

Top photo: Mike Lizotte (left), YSI's US applications specialist, takes oxygen measurements to spot check sensor performance on a submerged monitoring platform in Biscayne Bay, Florida.

Bottom: Rigor Ma (right), YSI China applications specialist, trains a customer on the operation of a continuous monitoring station in Xiamen, China.



For 60 years YSI, an employee-owned company, has pioneered the development of water quality sensors for use in natural waters.

Our technology saves you time: We know that meeting the global need for improved environmental monitoring requires fewer technical personnel and a lower cost of ownership. YSI provides turn-key monitoring solutions, easier to use and install equipment, and intuitive interfaces.

Our reliability improves efficiency: Successful monitoring efforts depend on accurate and defensible data. We deliver reliable instruments and continuously develop safeguards and system checks to ensure you obtain the highest quality data as quickly as possible.

Our employees understand your challenges: Our technical support staff has extensive field experience which helps them provide hands-on support for your monitoring challenges.

Our customers can reach us: We have 12 global offices and 250 employees on 3 continents.

Our experience is proven: We have the largest installed base of multiparameter sondes with over 20,000 instruments in use worldwide.



Choosing YSI

helps you reduce operating costs
without sacrificing data accuracy.

Environmental monitoring takes significant investments in time and money. This investment is jeopardized when something goes wrong. Our instruments are reliable and make your data collection as problem-free as possible.

Reduce labor costs through longer maintenance intervals and fewer system failures.

Do it right the first time with our easy-to-use software and superior technical support.

Obtain quality data through features such as zero calibrations on our oxygen sensors and post-processing features in our software.

multiparameter sondes for long-term monitoring

YSI's upgraded 6-Series family includes versatile, multiparameter sondes designed for real-time environmental monitoring and extended deployment.

V2 Sondes

All Version 2 (V2) sondes accept our V2 optical sensors and have a rugged design for long-term monitoring. These sensors feature anti-fouling wipers as well as an improved wiping algorithm to prevent mis-parking.

Seven V2 sondes are offered with sensor payloads ranging from 5-9 sensors and multiple memory and power options to accommodate many different applications. In addition to the sensor options, YSI software calculates up to five additional parameters.



Virtually maintenance-free Integrated wiped fouling protection for DO, pH, ORP, turbidity, blue-green algae, and chlorophyll or rhodamine sensors.



Applications (suggested uses but not limited to)



Source water monitoring



Short-term studies or spot sampling with complete sensor suite



Dredging studies



Integration into buoys or vertical profiling system



Long-term unattended monitoring



Underway sampling with flow cell for horizontal mapping



6600 V2

6600 V2 sonde features the largest sensor payload capability and longest battery life. Choose between 2 and 4 optical ports. The 6600 V2 and **6600EDS V2** are also available with a pH wiping system.



6600 V2-4 with four ports for any combination of these optical sensors: ROX dissolved oxygen, blue-green algae, turbidity, chlorophyll, or rhodamine

6920 V2

6920 V2 sonde is an economical, 15-parameter logging system; battery powered for long-term, in situ monitoring and profiling. Choose between 1 and 2 optical ports.



600OMS V2

600OMS V2 sonde is our smallest V2 sonde, perfect for applications such as turbidity or oxygen monitoring. Accepts 1 optical sensor as well as conductivity, temperature, and depth.



6820 V2

6820 V2 sonde is a cost-effective sampling system with up to 15-parameter reporting capability, ideal for profiling and spot-checking. Choose between 1 and 2 optical ports.



multiparameter sondes for monitoring, sampling & logging

600 Sondes

YSI 600 sondes are designed for specific applications where a fewer number of parameters is required and size, ease-of-use, and price are of primary concern. All five 600 sondes offer a small and economical package for water quality sampling purposes.



Compact 600 sondes have diameters less than 2". The sensors are of the same high quality offered on YSI 6000 sondes.

Applications (suggested uses but not limited to)



Source water monitoring

Spot sampling

Short-term, unattended studies

Surface and groundwater monitoring

Water level monitoring

600 Sondes

600LS is our simplest sonde, designed for spot sampling level measurements and tide gauge measurements.



600R includes conductivity and temperature sensors and options to add pH and Rapid Pulse™ dissolved oxygen. Ideal for large monitoring programs and educational applications.

The **600QS** system includes a 600R, 650 display logger, field cable, and additional sensor options such as ORP and vented level.



600XL and 600XLM sondes are more versatile, ideal for water level monitoring as well as ground water and surface water monitoring. Both sondes include DO, temperature, and conductivity sensors and options to add pH or pH/ORP, depth, and vented level measurements. The XLM offers batteries for unattended, *in situ* monitoring.

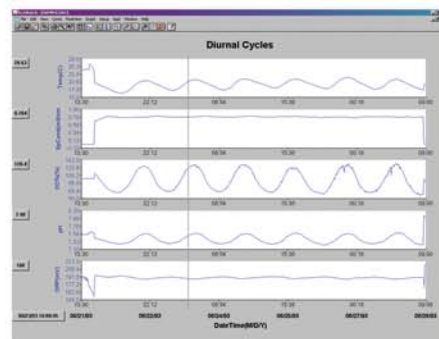
The new **V2** version of both sondes has an optical sensor port.



EcoWatch®

EcoWatch® for Windows®

Standard with all YSI sondes, EcoWatch software makes communication with water quality sensors and data analysis simple. EcoWatch works with any YSI 6-Series sonde or 650 handheld display logger.



drinking water protection



Agriculture and well water

Reservoir monitoring

Water towers and urban areas

Drinking Water Sondes

Gather baseline knowledge and detect events with YSI drinking water sondes. These specialized sondes provide process and quality control throughout a distribution network, helping you deliver safe drinking water.

600DW-B

600DW-B sonde measures temperature, conductivity, pH, ORP, and free chlorine. Portable and powered by batteries or AC.

6920DW

6920DW sonde measures parameters above plus turbidity. Portable and powered by batteries or AC.



sonde interfaces

650MDS

All YSI 6-Series sondes work with the versatile **650MDS** (Multiparameter Display System).

- Easily log real-time data, calibrate, and set up sondes for deployment
- Designed for reliable field use featuring a waterproof IP-67, impact-resistant case
- Upload data to a PC
- Optional barometer and GPS interface



6500 Environmental Process Monitor

6500 Environmental Process Monitor continuously monitors DO, conductivity, temperature, and pH with uninterrupted data. The compact, cost-effective monitor will connect to any 6-Series multiparameter instrument.

By replacing multiple instruments, it reduces labor for installation and operation. Includes 8 scaleable 4-20 mA current loop channels and 4 SPDT relays. Allows calibration in the field or lab.



YSI 6-series quick select guide

Features/Parameters	V2 Sondes					600 Sondes				Drinking Water	System	
	6600	6600EDS	6920	6820	600OMS	600R	600XL	600XLM	600LS	6920DW	600DW-B	600QS
Field-replaceable probes	●	●	●	●	●		●	●		●	●	
RS-232 & SDI-12 standard	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Fits 2" wells					●	●	●	●	●		●	●
Internal memory	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Internal power (batteries)	●	●	●		■			●	■	●	●	
Flow cell	■	▲	■	■		■	■	■		■	■	■
Ammonium/ammonia*	□		■	■			▲	▲				
Blue green algae	■	■	■	■	■		□	□				
Chloride*	□		■	■			▲	▲				
Chlorophyll	■	■	■	■	■		□	□				
Conductivity	●	●	●	●	●	●	●	●	■	●	●	●
Depth	■	■	■	■	■		■	■				■
Dissolved oxygen	□	■	□	□		■	■	■				■
Dissolved oxygen, optical	■	■	■	■	■		□	□				
Free chlorine										■	■	
Nitrate*	□		■	■			▲	▲				
Open channel flow**	■	■	■	■	■		■	■	●			
ORP	■	■	■	■			■	■		■	■	■
PAR (Photosynthetically Active Radiation)	▲	▲										
pH	■	■	■	■		■	■	■		■	■	■
Resistivity**	●	●	●	●	●	●	●	●	■	●	●	●
Rhodamine	■	■	■	■	■		□	□				
Salinity	●	●	●	●	●	●	●	●	■	●	●	●
Specific conductance**	●	●	●	●	●	●	●	●	■	●	●	●
Temperature	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Total dissolved solids**	●	●	●	●	●	●	●	●	■	●	●	●
Turbidity	■	■	■	■	■		□	□		■		
Vented level	■	■	■	■	■		■	■	●			

* Freshwater only. ** Calculated parameters.

● Standard

■ Customer Selectable

▲ Special Order

□ Available only on 6600 V2-2 □ Available only on 6920 V2-1 or 6820 V2-1

□ Available only on 600XL V2 or 600XLM V2

high accuracy sensors

Sensors

Quality data is the product of quality sensors and we have built our reputation on providing the highest performance, most reliable water quality sensors available. Our engineers give as much attention to sensor performance in the laboratory as they do to performance under the harshest environmental conditions for extended periods. Additionally, all YSI sensors are field replaceable, helping you with maintenance and unexpected situations.

Optical



Our optical sensors are designed and manufactured by YSI. Their excellent performance, coupled with integrated extended deployment wipers, offer the longest deployment times in the industry – saving you time and money. Additionally, user adjustable data filtering capabilities allow optimized response time or detection limits.

ROX™ Optical Dissolved Oxygen The most reliable, accurate, and maintenance-free DO sensor available for worry-free oxygen measurement.

Blue-green Algae Fluorescence sensors monitor blue-green algae biomass in freshwater or marine environments in real-time.

Turbidity Superior linearity, 1-, 2-, or 3-point calibration.

options and excellent agreement with the industry standard benchtop instrument (Hach 2100AN).

Chlorophyll Accurately monitor total algal biomass without interference from turbidity, ambient light, or dissolved organics.

Rhodamine Conduct dye-tracing studies (flow, transport, mixing) with this sensitive fluorescence sensor.

Electrochemical



Rapid Pulse™ Dissolved Oxygen The most advanced polarographic technology available, Rapid Pulse DO is virtually insensitive to flow rate and exhibits large range (0-50mg/L). EPA approved method.

pH/ORP Excellent performance in low ionic water. Field-replaceable and includes integrated reference electrode. Extended-deployment versions with wipers available (*shown at bottom left*).

Ion-selective electrodes

Measure **ammonia**, **nitrate**, and **chloride**. Designed for short-term monitoring and spot sampling.



Physical



Conductivity Superior linearity and easy one-point calibration.

Temperature Extremely accurate, field-replaceable temperature sensor.

Integrated



Depth & Vented Level Excellent accuracy through calibration to extremely high precision through temperature compensation over the entire operating range.

PAR Integrate the industry-standard LI-COR® PAR (Photosynthetically Active Radiation) sensor for biological studies. Wiped PAR also available.

Typical performance specifications

	Range	Resolution	Accuracy
Rapid Pulse dissolved oxygen % air saturation	0 to 500%	0.1%	0 to 200%: $\pm 2\%$ of reading or 2% air saturation, whichever is greater; 200 to 500%: $\pm 6\%$ of reading
Rapid Pulse dissolved oxygen mg/L	0 to 50 mg/L	0.01 mg/L	0 to 20 mg/L: $\pm 2\%$ of reading or 0.2 mg/L, whichever is greater; 20 to 50 mg/L: $\pm 6\%$ of reading
ROX optical dissolved oxygen[#] % air saturation	0 to 500%	0.1%	0 to 200%: $\pm 1\%$ of reading or 1% air saturation, whichever is greater; 200 to 500%: $\pm 15\%$ of reading; relative to calibration gases
ROX optical dissolved oxygen[#] mg/L	0 to 50 mg/L	0.01 mg/L	0 to 20 mg/L: $\pm 1\%$ of reading or 0.1 mg/L, whichever is greater; 20 to 50 mg/L: $\pm 15\%$ of reading; relative to calibration gases
Conductivity⁺	0 to 100 mS/cm	0.001 to 0.1 mS/cm (range-dependent)	$\pm 0.5\%$ of reading + 0.001 mS/cm
Temperature	-5 to 50°C	0.01°C	$\pm 0.15^\circ\text{C}$
pH	0 to 14 units	0.01 unit	± 0.2 unit
Shallow depth	0 to 9.1 m (0 to 30 ft)	0.001 m (0.001 ft)	± 0.018 m (± 0.06 ft)
Medium depth	0 to 61 m (0 to 200 ft)	0.001 m (0.001 ft)	± 0.12 m (± 0.4 ft)
Deep depth	0 to 200 m (0 to 656 ft)	0.001 m (0.001 ft)	± 0.3 m (± 1 ft)
Vented level	0 to 9.1 m (0 to 30 ft)	0.001 m (0.001 ft)	± 0.003 m (± 0.01 ft)
Open-channel flow	Calculated measurement, requires vented level		
Free chlorine	0 to 3 mg/L	0.01 mg/L	$\pm 15\%$ of reading or 0.05 mg/L, whichever is greater
ORP	-999 to +999 mV	0.1 mV	± 20 mV in Redox standard solutions
Salinity	0 to 70 ppt	0.01 ppt	$\pm 1\%$ of reading or 0.1 ppt, whichever is greater
Nitrate/nitrogen[*]	0 to 200 mg/L-N	0.001 to 1 mg/L-N (range dependent)	$\pm 10\%$ of reading or 2 mg/L, whichever is greater
Ammonium/ammonia/nitrogen[*]	0 to 200 mg/L-N	0.001 to 1 mg/L-N (range dependent)	$\pm 10\%$ of reading or 2 mg/L, whichever is greater
Chloride[*]	0 to 1000 mg/L	0.001 to 1 mg/L (range dependent)	$\pm 15\%$ of reading or 5 mg/L, whichever is greater
Turbidity[#]	0 to 1,000 NTU	0.1 NTU	$\pm 2\%$ of reading or 0.3 NTU, whichever is greater in YSI AMCO-AEPA Polymer Standards
Rhodamine WT[#]	0-200 $\mu\text{g/L}$	0.1 $\mu\text{g/L}$	$\pm 5\%$ of reading or ± 1 $\mu\text{g/L}$, whichever is greater
Chlorophyll^{# ++}	Range 0 to 400 $\mu\text{g/L chl } a$ 0 to 100 RFU	Resolution 0.1 $\mu\text{g/L chl } a$ 0.1% FS; 0.1 RFU	Linearity $R^2 > 0.9999$ for serial dilution of Rhodamine WT solution from 0 to 500 $\mu\text{g/L}$
Blue-green algae[#] phycocyanin	Range 0-280,000 cells/mL	Detection limit 220 cells/mL [§]	Linearity $R^2 = 0.9999$ for serial dilution of Rhodamine WT from 0 to 400 $\mu\text{g/L}$
Blue-green algae[#] phycoerythrin	0-200,000 cells/mL	450 cells/mL ^{§§}	$R^2 = 0.9999$ for serial dilution of Rhodamine WT from 0 to 8 $\mu\text{g/L}$
PAR	Range 400-700 nm waveband Linearity Max. deviation of 1%	Calibration $\pm 5\%$ Sensitivity Typically 3 μA per 1000 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ in water	Stability < $\pm 2\%$ change over 1 year

[#] Maximum depth rating for optical probes is 61 m (200 ft). ^{*} Freshwater only. Maximum depth rating of 15.2 m (50 ft). ⁺ Report outputs of specific conductance (conductivity correct to 25°C), resistivity, and total dissolved solids are also provided. These values are automatically calculated from conductivity according to algorithms found in *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (ed 1989). ^{**} To maintain accuracy specification, flow must be at least 500 mL/min and pH should not change by more than ± 0.3 units if mean pH is between 8.5 and 9.3. ⁺⁺ Specification determined using monocultures of *Isochrysis* sp. and fluorometric extraction of chlorophyll *a*. Actual detection limits will vary depending on natural algae assemblage. [§] Estimated from cultures of *Microcystis aeruginosa*. ^{§§} Estimated from cultures of *Synechococcus* sp.

Y S I Environmental

Pure Data for a Healthy Planet.®



To order or for more information,
contact YSI Environmental.

800 897 4151
www.YSI.com

YSI Environmental
1700/1725 Brannum Lane
Yellow Springs, Ohio 45387
+1 937 767 7241
+1 937 767 9353 fax
environmental@ysi.com

SonTek/YSI
+1 858 546 8327
+1 858 546 8150 fax
inquiry@sontek.com

YSI Integrated Systems & Services
+1 508 748 0366
+1 508 748 2543 fax
systems@ysi.com

YSI Hydrodata
European Support Centre
+44 1462 673581
+44 1462 673582 fax
europe@ysi.com

YSI (Hong Kong) Limited
+852 2891 8154
+852 2834 0034 fax
hongkong@ysi.com

YSI Middle East
+973 17536222
+973 17536333 fax
halsalem@ysi.com

YSI/Nanotech (Japan)
+81 44 222 0009
+81 44 221 1102 fax
nanotech@ysi.com

YSI China
+86 10 5203 9675
+86 10 5203 9679 fax
beijing@ysi-china.com



Third-Party Sensor Verification You Can Trust

YSI is the only company in its field to apply for and receive verification from the US EPA's Environmental Technology Verification Program. Independent tests on the following sensors demonstrated the accuracy of YSI sensor technology when compared to established standards in saltwater and freshwater:

- 6025 Chlorophyll
- 6560 Conductivity
- 6562 Dissolved Oxygen
- 6561 pH
- 6560 Temperature
- 6136 Turbidity

Sensors listed above were submitted to ETV program on YSI 6600EDS. Find information on performance characteristics of YSI water quality sensors at www.epa.gov/etv or call YSI at +1 937 767 7241 for ETV Verification Report. Use of the ETV name or logo does not imply approval or certification of this product nor does it make any explicit or implied warranties or guarantees as to product performance.

ISO 9001
ISO 14001
(Yellow Springs facility)

Pure Data for a Healthy Planet and Who's Minding the Planet? are registered trademarks and ROX and Rapid Pulse are trademarks of YSI Incorporated. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation. LI-COR is a registered trademark of LI-COR Biosciences.

©2007 YSI Incorporated
E23-06 0207 Printed in the USA

ENVIRONMENTAL BENEFITS STATEMENT				
NEW LEAF PAPER™				
YSI, Inc. saved the following resources by using New Leaf Reincarnation, made with 100% recycled fiber, 50% post-consumer waste, and processed chlorine free.				
trees	water	energy	solid waste	greenhouse gases
5 fully grown	972 gallons	2 million BTUs	213 pounds	359 pounds
Calculations based on research by Environmental Defense and other members of the Paper Task Force.				
©2006 New Leaf Paper www.newleafpaper.com				



YSI incorporated
Who's Minding the Planet?®

Impressions of ETROMETA

stepgauge installations



Summary of the key features of the stepgauge:

- Combined wave- and waterlevel measurement.
- Measurement based on difference in electrical conductivity between air and water.
- Based on distinct measurements instead of incremental values - robust concept.
- Measures the actual waterlevel – direct sensing.
- High sample rate up to 10,24Hz, standard 2,56 Hz.
- Suitable for measurement of all waves with $T > 0,5s$.
- Small, constant footprint all along the measurement range.
- Clear distinction between green and white water.
- Uninfluenced by temperature, humidity or rain.
- Measuring accuracy of the waterlevel $\pm 5mm$ from $H_s > 50$ mm.
- No recalibration required, no zero-drift.



- No moving parts, no electrical underwater connections thanks to inductive couplings.
- Extreme low power consumption, very suitable for remote locations and long unattended operation.
- Easy transport and mounting in sections of 3m, measuring range up to 21 m.
- Simple maintenance (brush cleaning once a year recommended); no other need for visits to the installation.
- Total system supply including dedicated mounting supports and webbased monitoring software based on highest hydrographical standards.
- System can be extended with dedicated wind- and atmospheric pressure sensors.
- Telemetry solutions by phone or radio.
- High reliability and long lifetime.
- Long established trackrecord.



Area's of application:

- harbour accessibility (tide and waves)
- flood warning/coastal defence
- wave modelling/environmental research

References:

- Rijkswaterstaat (NL)
- Taihu Basin Authority (China)
- Channel Coast Observatory (UK)
- ANP Mohammedia and El Jorf (Maroc)
- Maersk (DK)





Workhorse Monitor

DIRECT-READING 1200, 600, 300 kHz ADCP

Real-time Current Monitoring

The **Monitor** is Teledyne RD Instruments' most popular direct-reading Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). The unit is typically bottom frame-mounted and hard-wired to shore to provide real-time monitoring of coastal currents. The Monitor's high data accuracy and reliability make it a favorite for deployments in high-volume traffic areas such as ports and harbors, where the data is often integrated into a Vessel Traffic Monitoring System. In fact, the Monitor has been selected for most major port programs undertaken in the United States.

The Monitor offers a choice of three frequencies and ranges, to meet a wide array of data requirements. The unit also offers a flexible upgrade path, which includes an external battery pack, pressure sensor, bottom tracking capability for moving boat applications, and directional wave measurement.



The Workhorse Monitor offers:

- **Extreme accuracy and reliability:** *The Monitor is ideally suited for the most demanding environments, including high traffic areas such as ports and harbors.*
- **Versatility:** *This direct reading unit can easily be upgraded to tackle a wide variety of coastal applications. Typical upgrades include pressure sensor, external battery pack, bottom tracking, and directional wave measurement—a single instrument can do it all!*
- **Precision data:** *Teledyne RDI's Broadband signal processing delivers very low-noise data, resulting in unparalleled data resolution and minimal power consumption.*
- **A four-beam solution:** *Teledyne RDI's 4-beam design improves data reliability by providing a redundant data source in the case of a blocked or damaged beam; improves data quality by delivering an independent measure known as error velocity; and improves data accuracy by reducing variance in your data.*



TELEDYNE
RD INSTRUMENTS
Everywhereyoulook™

MEASURING WATER IN MOTION IN WATER

Workhorse Monitor

DIRECT-READING 1200, 600, 300 kHz ADCP



Technical Specifications

Water Profiling

Depth	Typical Range ² 12m		Typical Range ² 50m		Typical Range ² 110m	
	Cell Size ¹	1200kHz	600kHz	300kHz		
Vertical Resolution (m)	Range ³ (m)	Std. Dev. ⁴ (cm/s)	Range ³ (m)	Std. Dev. ⁴ (cm/s)	Range ³ (m)	Std. Dev. ⁴ (cm/s)
0.25	11-14	12.9				
0.5	13-16	6.1	39	12.9	see note ¹	
1	14-18	3.0	43	6.1	92-71	12.8
2	15-20 ²	2.0	47	3.0	102-78	6.1
4	see note ¹		52 ²	2.0	113-86	3.0
8					126-95 ²	2.0

¹User's choice of depth cell size is not limited to the typical values specified.

²Longer ranges available.

³Profiling range based on temperature values at 5°C and 20°C, salinity = 35ppt.

⁴Broadband mode single-ping standard deviation (Std. Dev.).

Long Range Mode

	Range (m)	Depth Cell Size (m)	Std. Dev. (cm/s)
1200kHz	24	2	3.8
600kHz	70	4	4.2
300kHz	165	8	4.2

Profile Parameters

Velocity accuracy:

- **1200, 600:** 0.3% of the water velocity relative to the ADCP ± 0.3 cm/s
- **300:** 0.5% of the water velocity relative to the ADCP ± 0.5 cm/s

Velocity resolution: 0.1cm/s

Velocity range: ± 5 m/s (default)
 ± 20 m/s (maximum)

Number of depth cells: 1-255

Ping rate: Up to 10Hz

Echo Intensity Profile

Vertical resolution: Depth cell size

Dynamic range: 80dB

Precision: ± 1.5 dB

Transducer and Hardware

Beam angle: 20°

Configuration: 4-beam, convex

Internal memory: Two PCMCIA card slots; no memory card included

Communications: Serial port selectable by switch for RS-232 or RS-422. ASCII or binary output at 1200-115,200 baud.

Standard Sensors

Temperature (mounted on transducer):

Range: -5° to 45°C

Precision: ± 0.4 °C

Resolution: 0.01°

Tilt: Range: ± 15 °

Accuracy: ± 0.5 °

Precision: ± 0.5 °

Resolution: 0.01°

Compass (fluxgate type, includes built-in field calibration feature):

Accuracy: ± 2 °⁵

Precision: ± 0.5 °⁵

Resolution: 0.01°

Maximum tilt: ± 15 °

⁵ $\leq \pm 1.0$ ° is commonly achieved after calibration

Power

Input power: 20-50VDC

Environmental

Standard depth rating:

200m; optional to 6000m

Operating temperature: -5° to 45°C

Storage temperature

without batteries: -30° to 60°C

Weight in air: 7.0kg

Weight in water: 3.0kg

Software

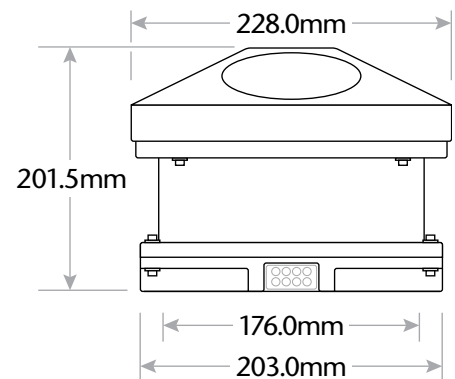
Teledyne RDI's Windows™-based software included:

- WinSC—Data Acquisition System
- WinADCP—Data Display and Export

Available Options

- Memory: 2 PCMCIA slots; total 4GB
- Pressure sensor
- External battery case
- High-resolution water-profiling modes
- Bottom tracking or surface reference track
- AC/DC power converter, 48VDC output
- Conversion kit for internal power supply and memory
- Directional Waves Array

Dimensions



TELEDYNE
RD INSTRUMENTS
Everywhereyoulook™

www.rdinstruments.com



Free 24/7 emergency support

Teledyne RD Instruments

14020 Stowe Drive, Poway, CA 92064 USA

Tel. +1-858-842-2600 • Fax +1-858-842-2822 • E-mail: rdisales@teledyne.com

Les Nertieres 5 Avenue Hector Pintus 06610 La Gaude France

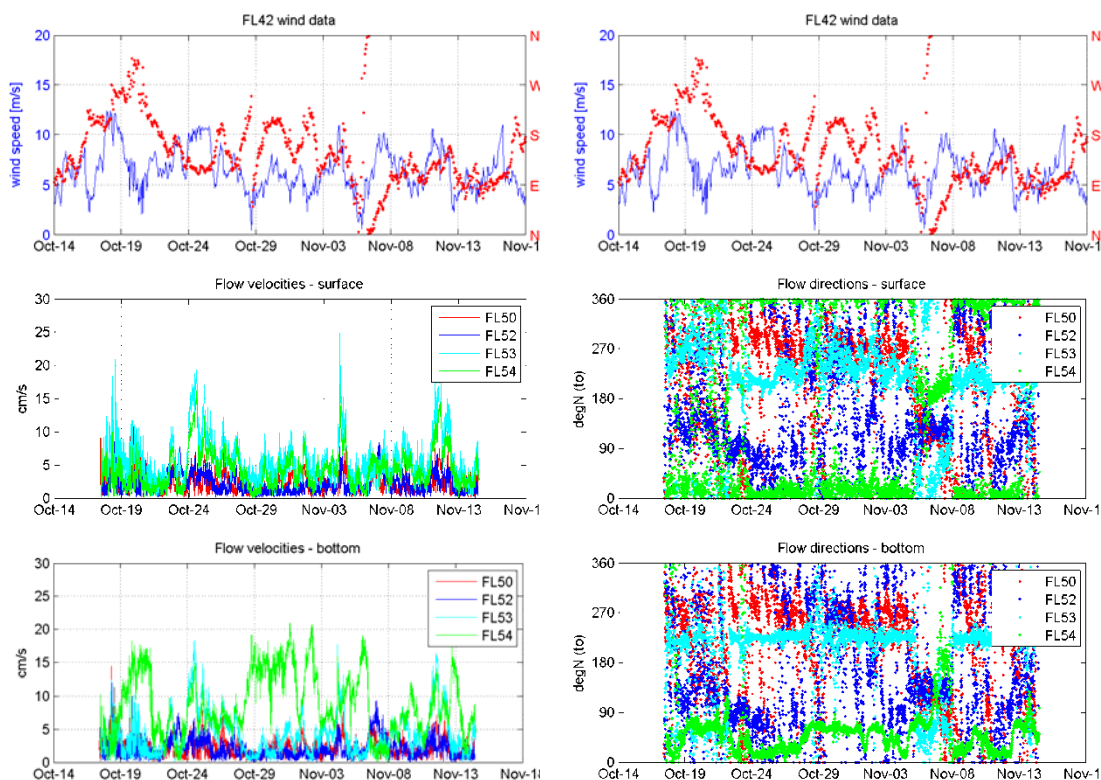
Tel. +33-49-211-0930 • Fax +33-49-211-0931 • E-mail: rdie@teledyne.com



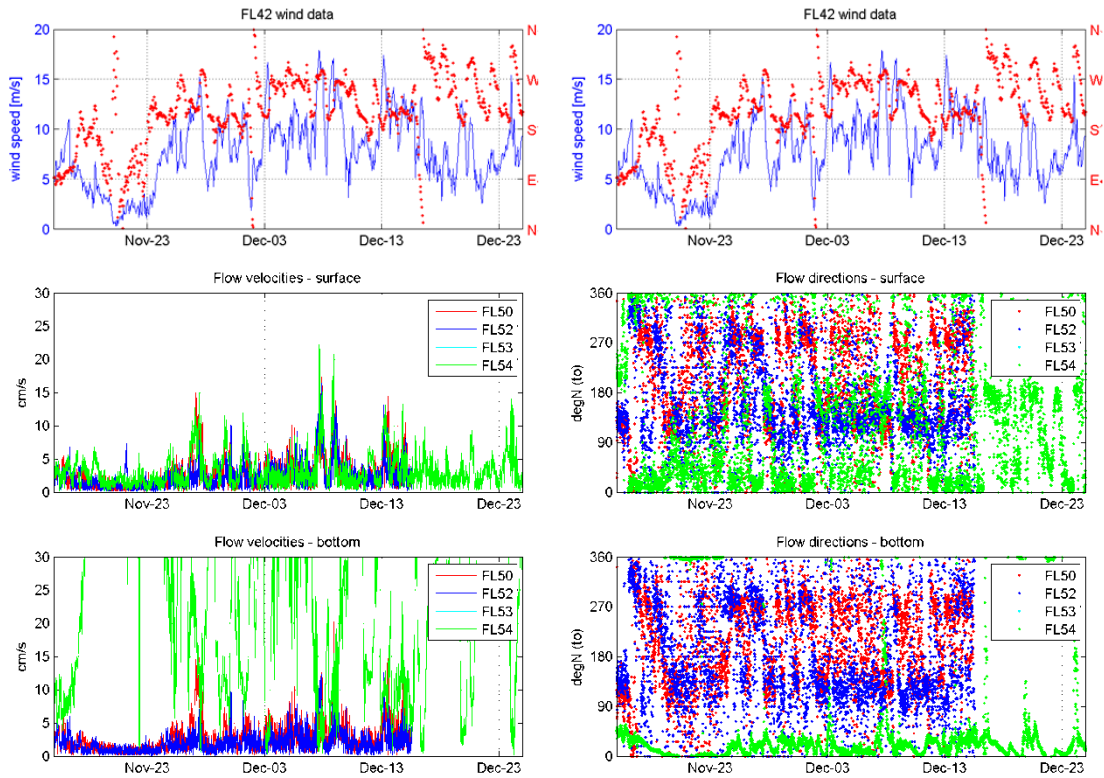
Specifications subject to change without notice. ISO 9001:2008 certification applicable to Poway, CA facility only.
© 2009 Teledyne RD Instruments, Inc. All rights reserved. MM-1017, Rev. 12/11

Appendix B

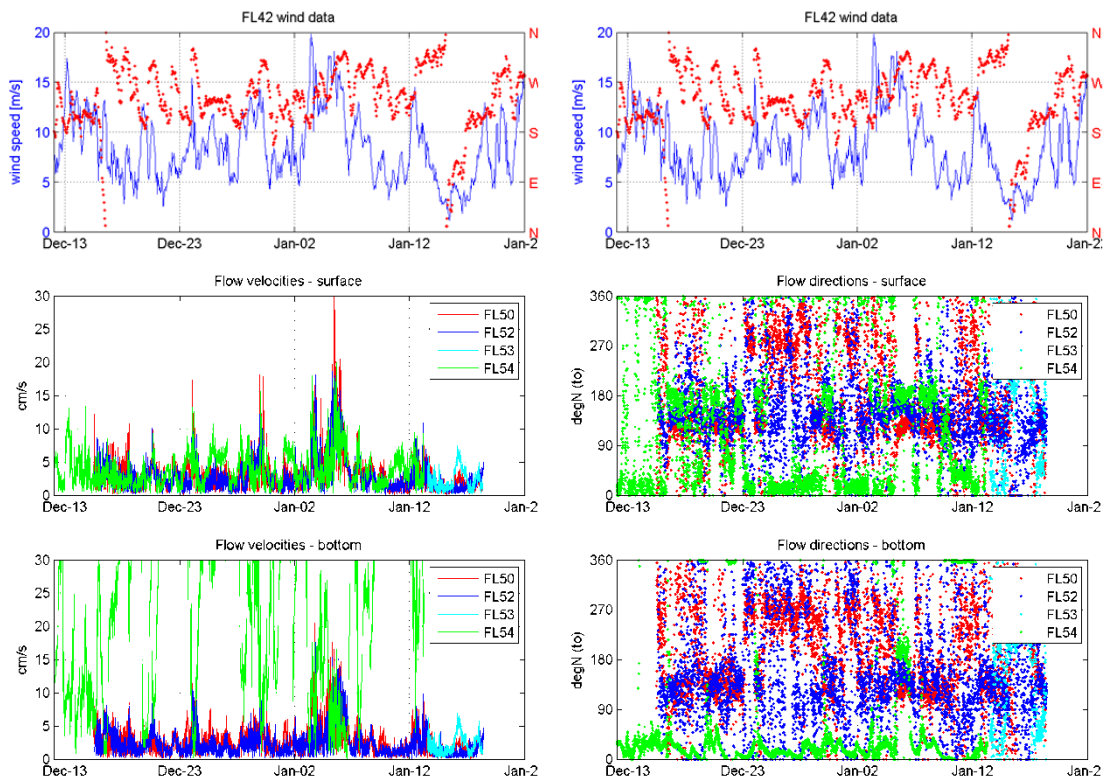
Resultaten stromingsmetingen



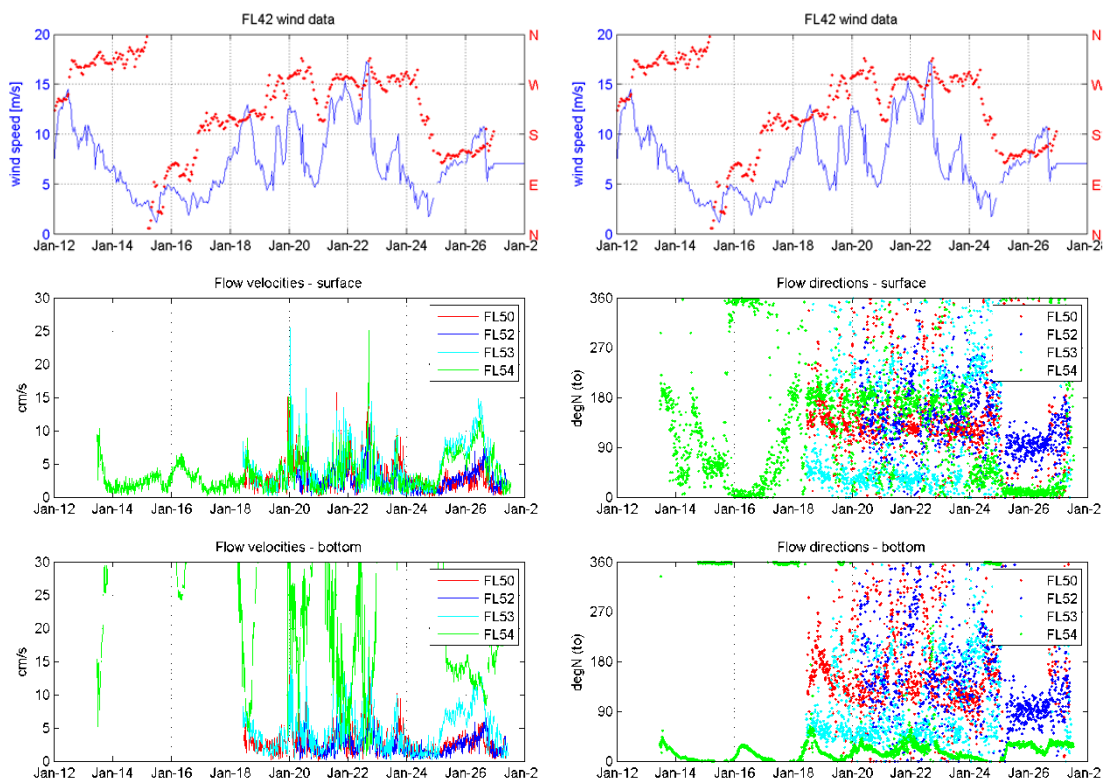
Figuur B.1: Windsnelheid en richting (*van*) midden van het Markermeer(boven), gemeten stroomsnelheid (cm/s) in de bovenste waterlaag (links midden) en nabij de bodem (links onder) gemeten *naar* stroomrichting (graden tov Noord) in de bovenste waterlaag (rechts midden) en nabij de bodem (rechts onder) op de vier meetpalen. Periode oktober-november 2011



Figuur B.2 Windsnelheid en richting (van) midden van het Markermeer(boven), gemeten stroomsnelheid (cm/s) in de bovenste waterlaag (links midden) en nabij de bodem (links onder) gemeten naar stroomrichting (graden tov Noord) in de bovenste waterlaag (rechts midden) en nabij de bodem (rechts onder) op de vier meetpalen. Periode november – december 2011



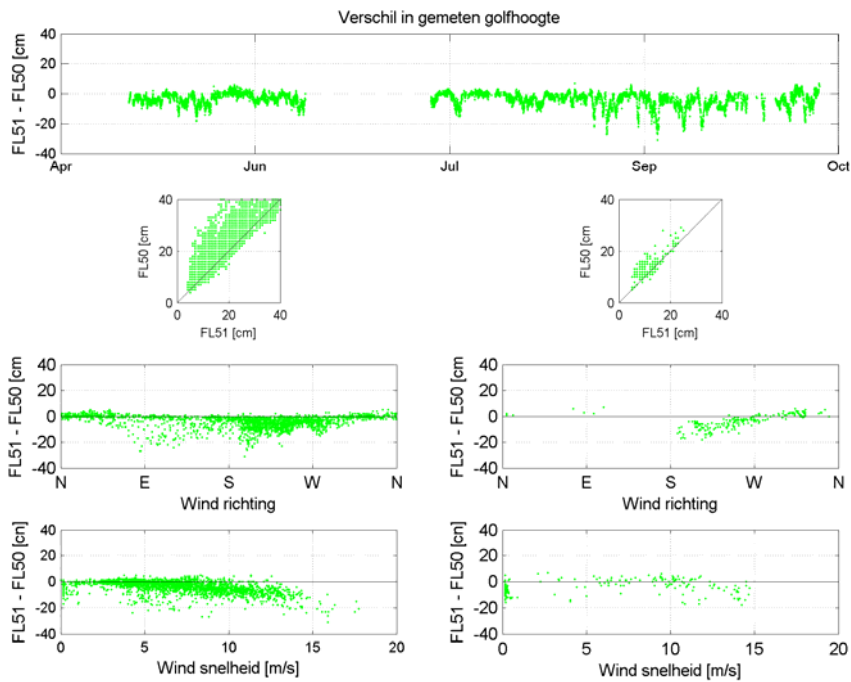
Figuur B.3: Windsnelheid en richting (van) midden van het Markermeer(boven), gemeten stroomsnelheid (cm/s) in de bovenste waterlaag (links midden) en nabij de bodem (links onder) gemeten naar stroomrichting (graden tov Noord) in de bovenste waterlaag (rechts midden) en nabij de bodem (rechts onder) op de vier meetpalen. Periode december –januari 2011



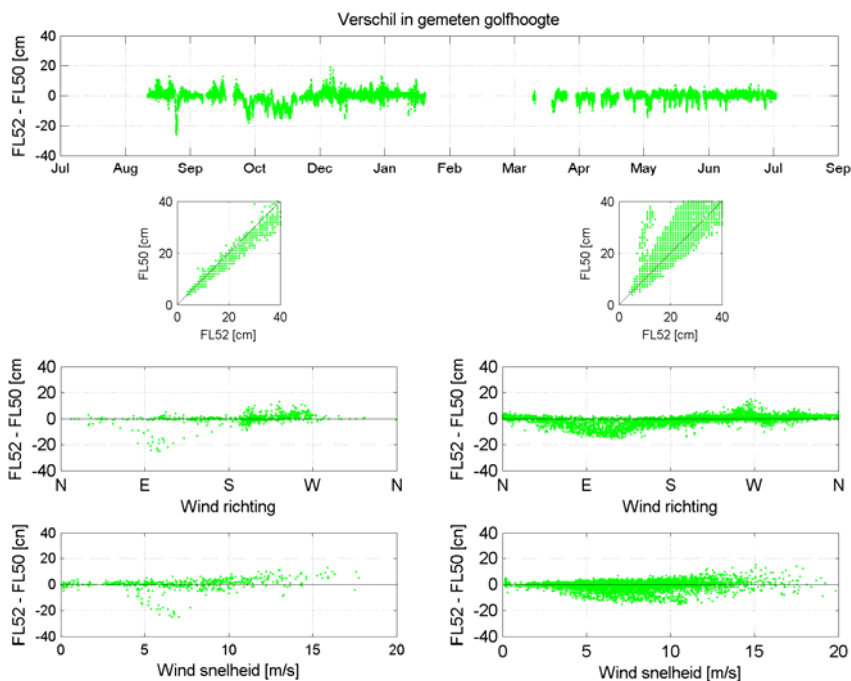
Figuur B.4: Windsnelheid en richting (*van*) midden van het Markermeer(boven), gemeten stroomsnelheid (cm/s) in de bovenste waterlaag (links midden) en nabij de bodem (links onder) gemeten *naar* stroomrichting (graden tov Noord) in de bovenste waterlaag (rechts midden) en nabij de bodem (rechts onder) op de vier meetpalen. Periode januari 2011

Appendix C

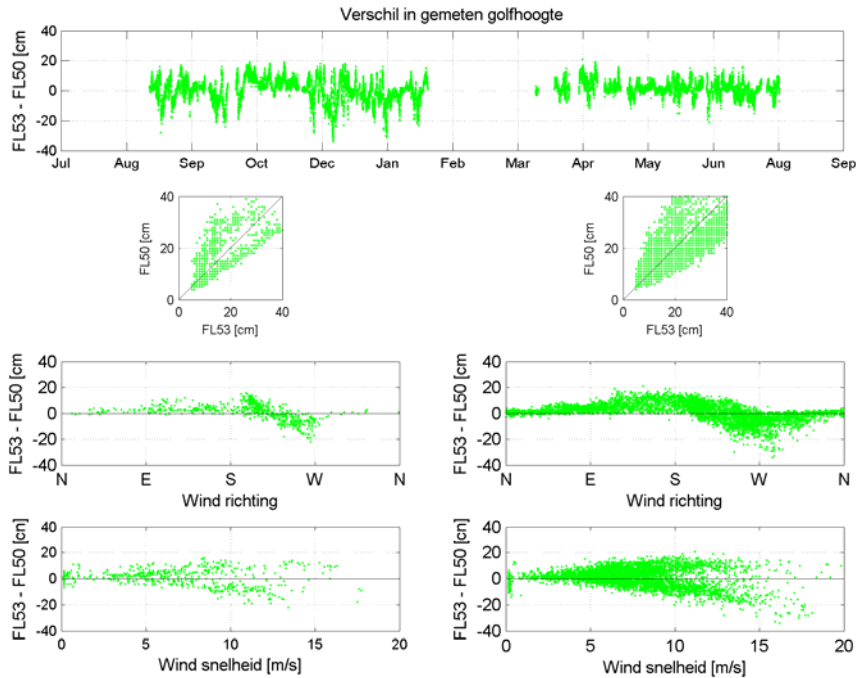
Resultaten golfmetingen



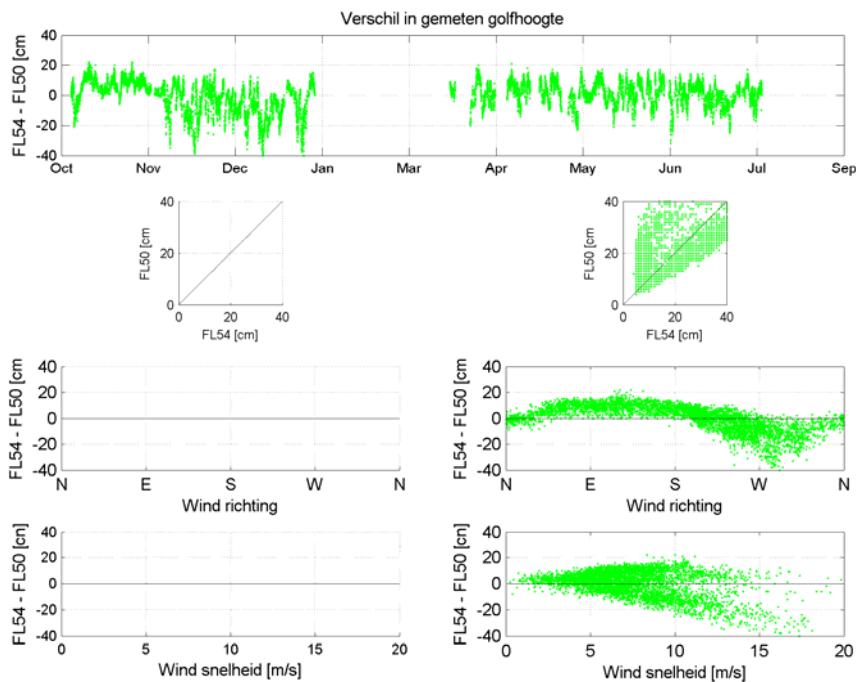
Figuur C.1: Verschil in gemeten golfhoogte. Vergelijking FL51 en FL50 voor alle windrichtingen. Links voor de plaatsing van de luwtestructuur, rechts na plaatsing van de structuur



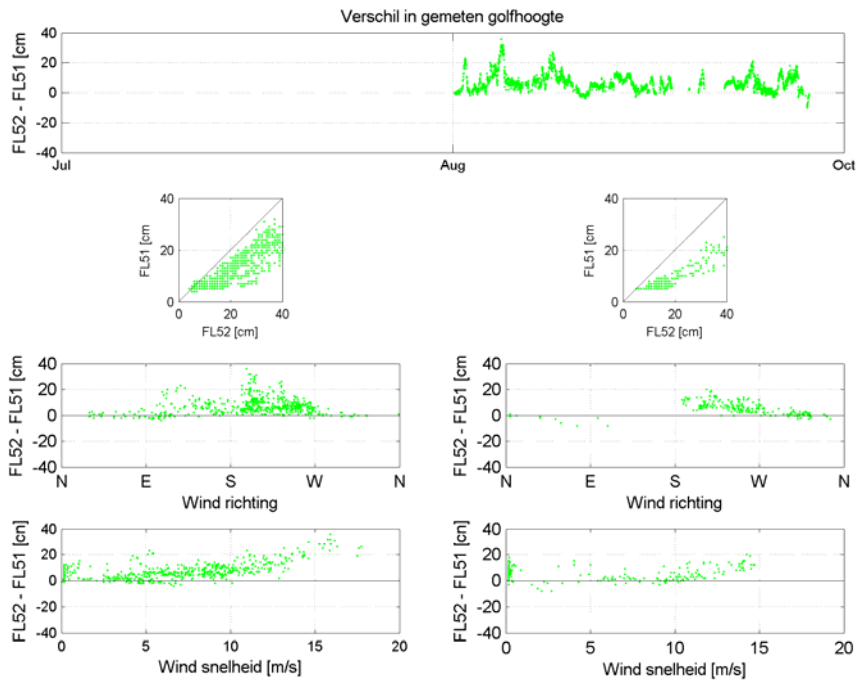
Figuur C.2: Verschil in gemeten golfhoogte. Vergelijking FL52 en FL50 voor alle windrichtingen. Links voor de plaatsing van de luwtestructuur, rechts na plaatsing van de structuur



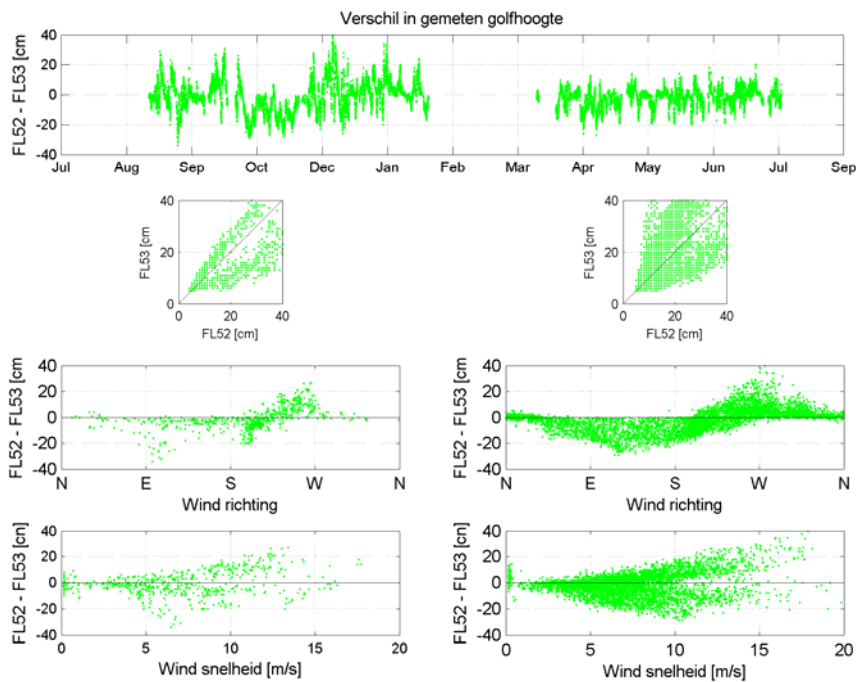
Figuur C.3: Verschil in gemeten golfhoogte. Vergelijking FL53 en FL50 voor alle windrichtingen. Links voor de plaatsing van de luwtestructuur, rechts na plaatsing van de structuur



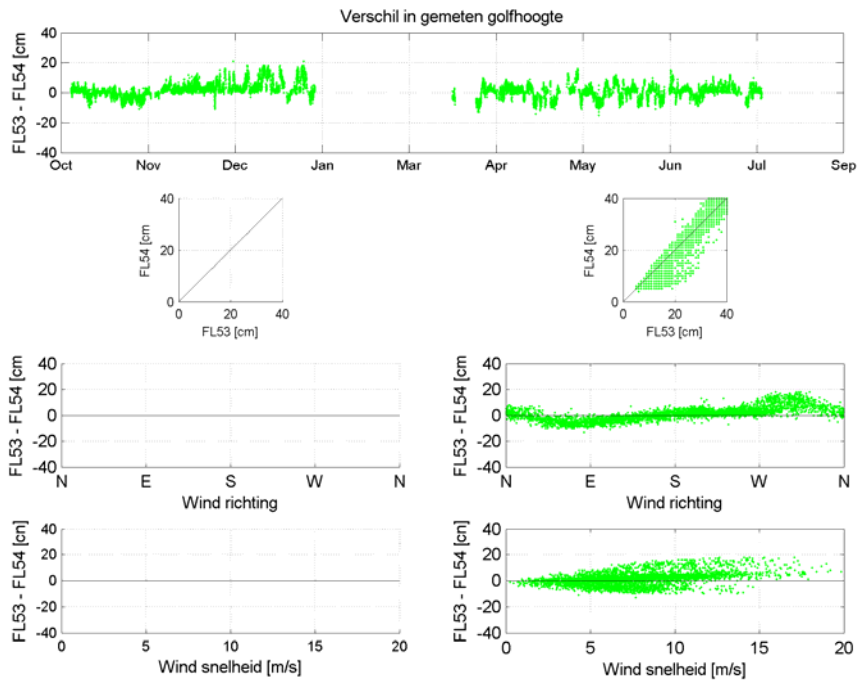
Figuur C.4: Verschil in gemeten golfhoogte. Vergelijking FL54 en FL50 voor alle windrichtingen. Links voor de plaatsing van de luwtestructuur, rechts na plaatsing van de structuur



Figuur C.5: Verschil in gemeten golfhoogte. Vergelijking FL52 en FL51 voor alle windrichtingen. Links voor de plaatsing van de luwtestructuur, rechts na plaatsing van de structuur



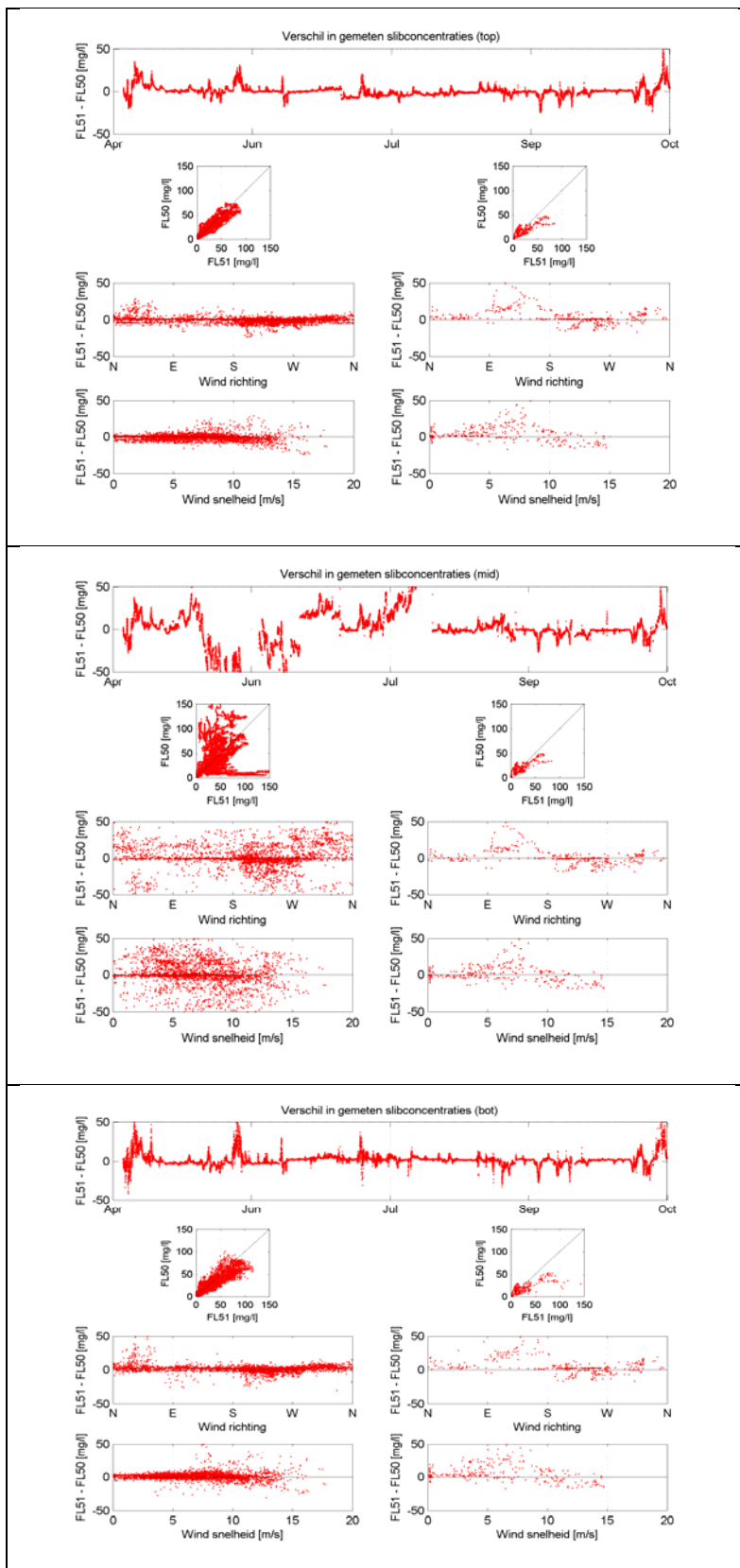
Figuur C.6: Verschil in gemeten golfhoogte. Vergelijking FL52 en FL53 voor alle windrichtingen. Links voor de plaatsing van de luwtestructuur, rechts na plaatsing van de structuur



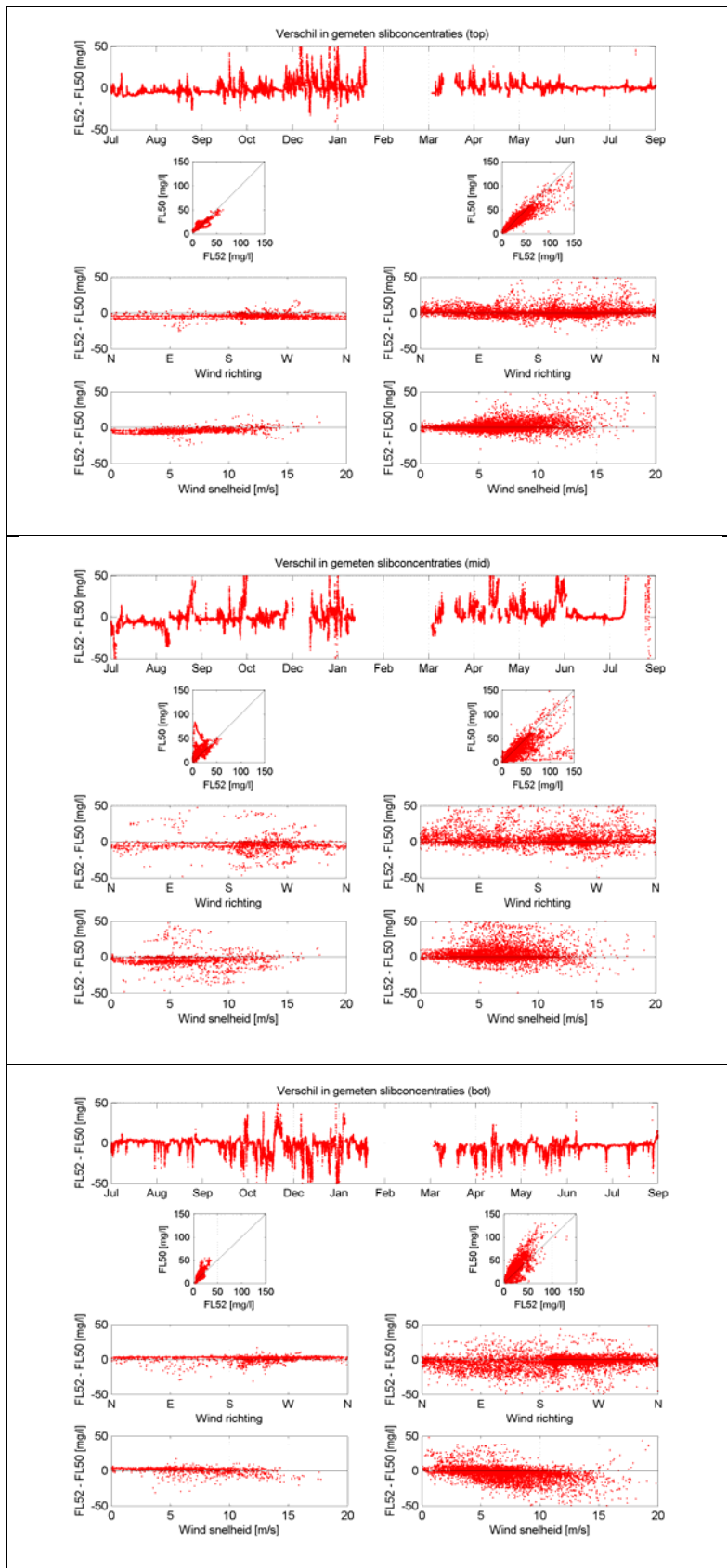
Figuur C.7: Verschil in gemeten golfhoogte. Vergelijking FL53 en FL54 voor alle windrichtingen. Links voor de plaatsing van de luwtestructuur, rechts na plaatsing van de structuur

Appendix D

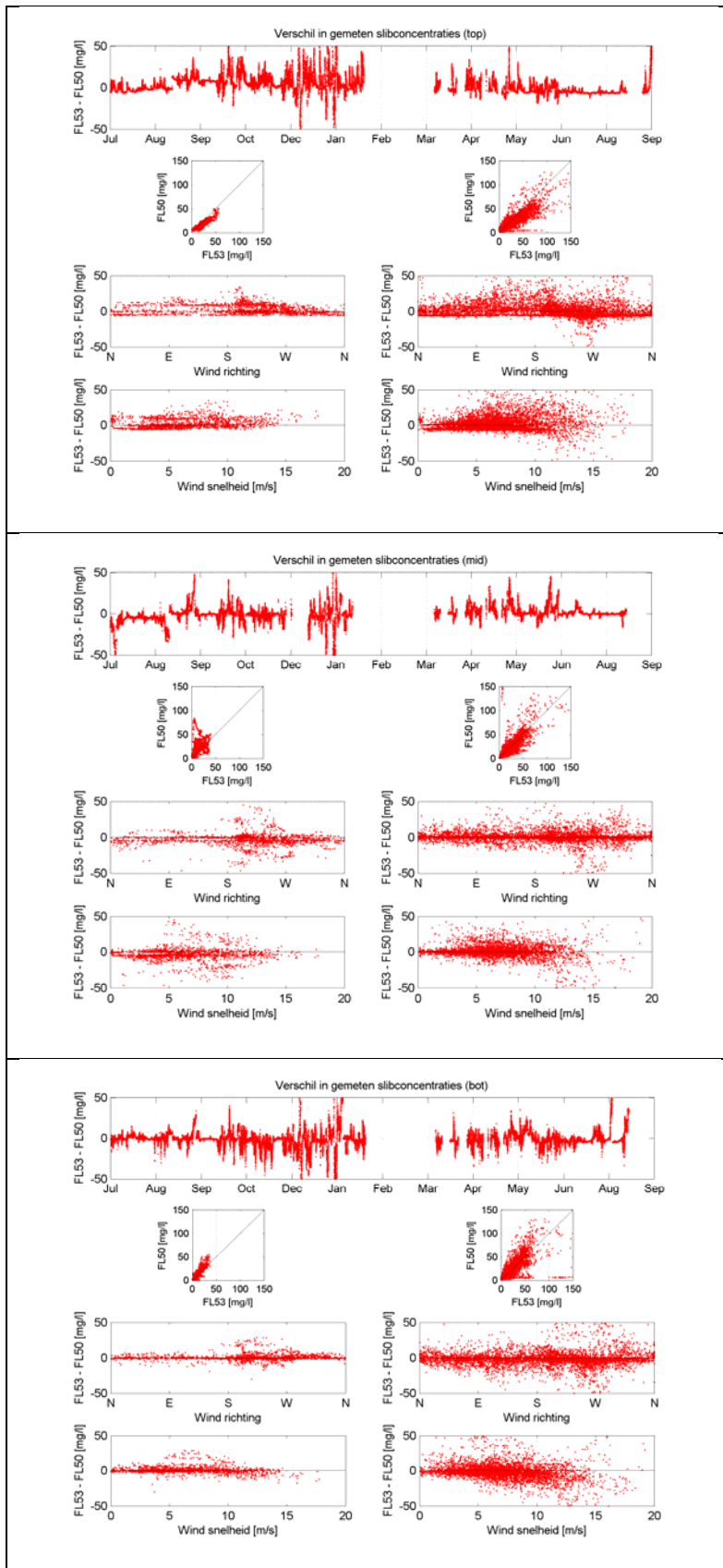
Resultaten metingen slibconcentratie



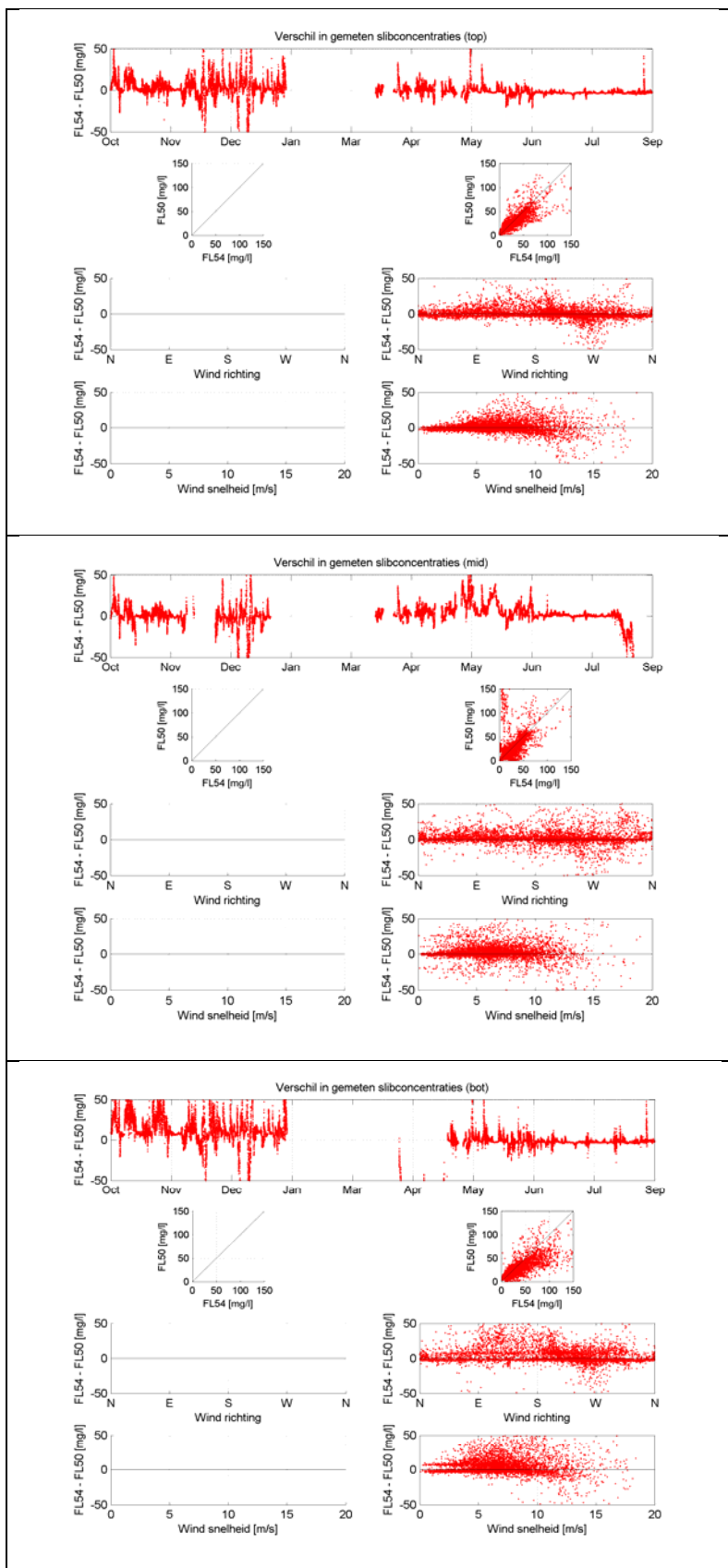
Figuur D.1: Resultaten slibconcentratie metingen. Vergelijking FL 51 en FL 50



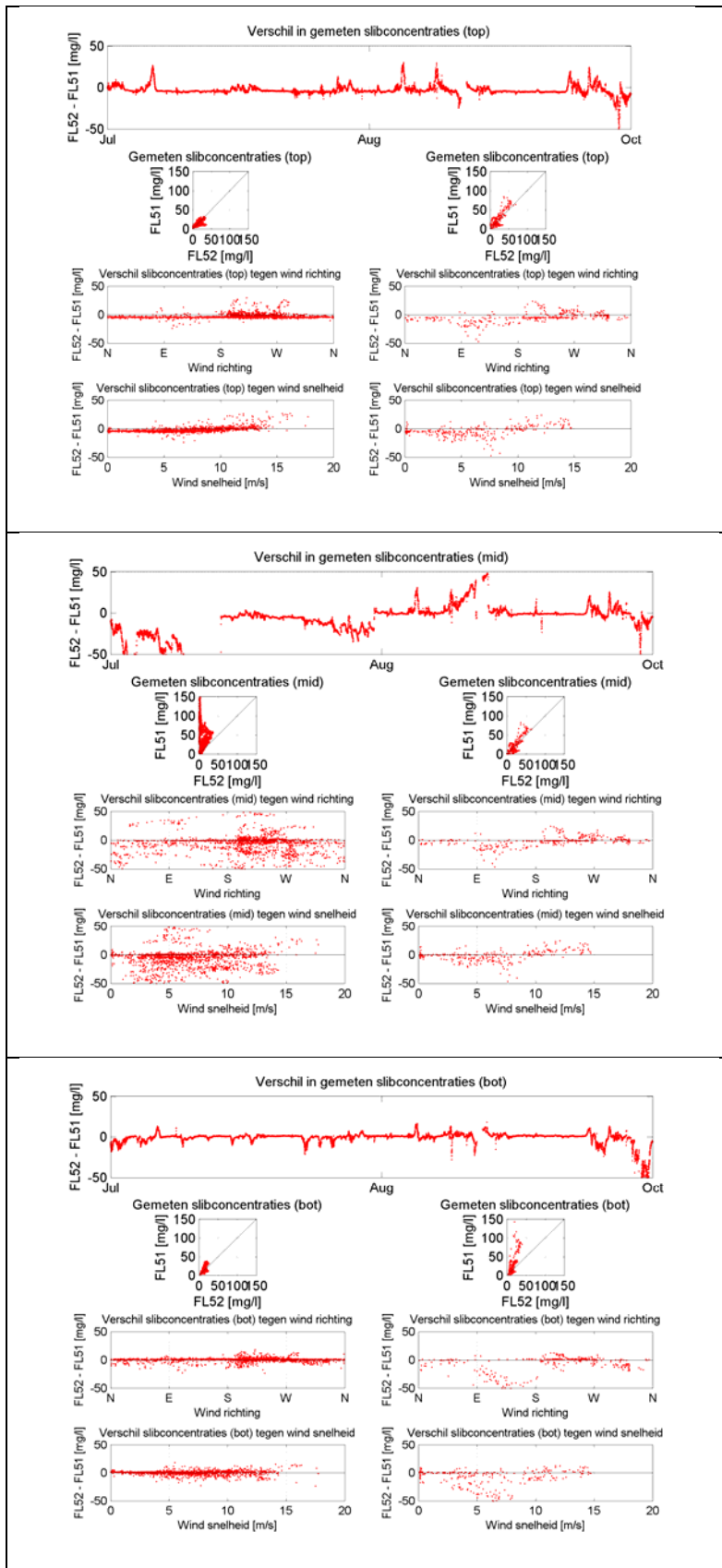
Figuur D.2: Resultaten slibconcentratie metingen. Vergelijking FL 52 en FL 50



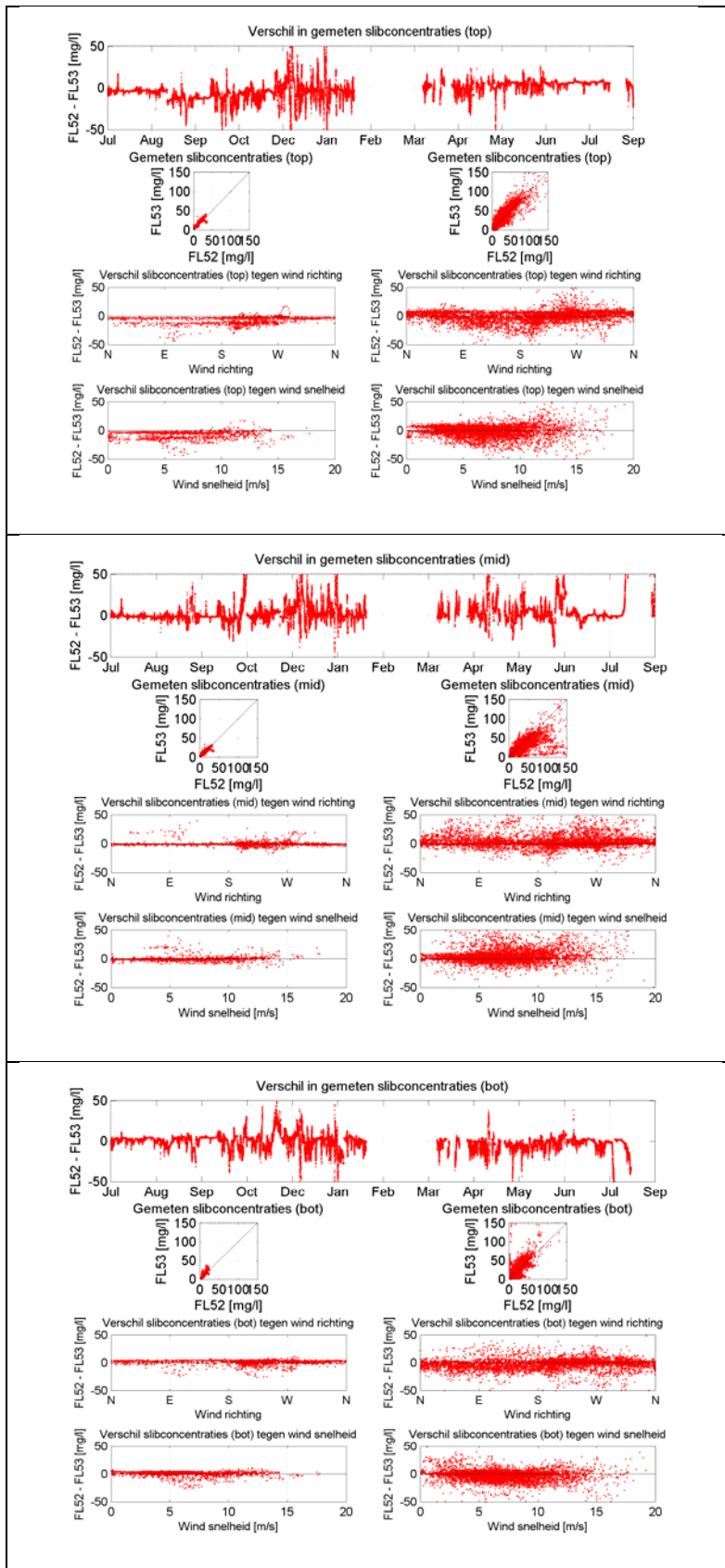
Figuur D.3: Resultaten slibconcentratie metingen. Vergelijking FL 53 en FL 50



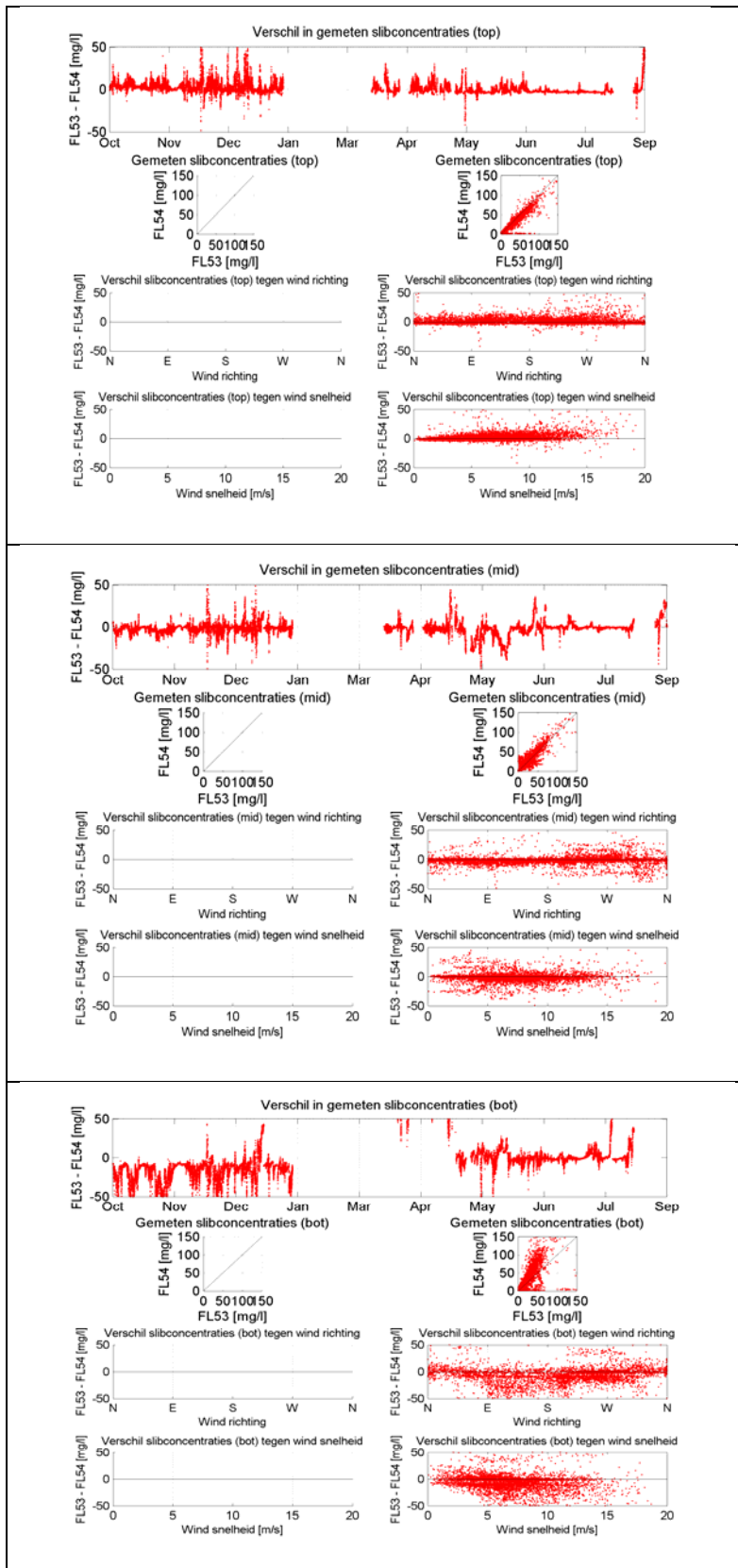
Figuur D.4: Resultaten slibconcentratie metingen. Vergelijking FL 54 en FL 50



Figuur D.5: Resultaten slibconcentratie metingen. Vergelijking FL 52 en FL 51



Figuur D.6: Resultaten slibconcentratie metingen. Vergelijking FL 52 en FL 53

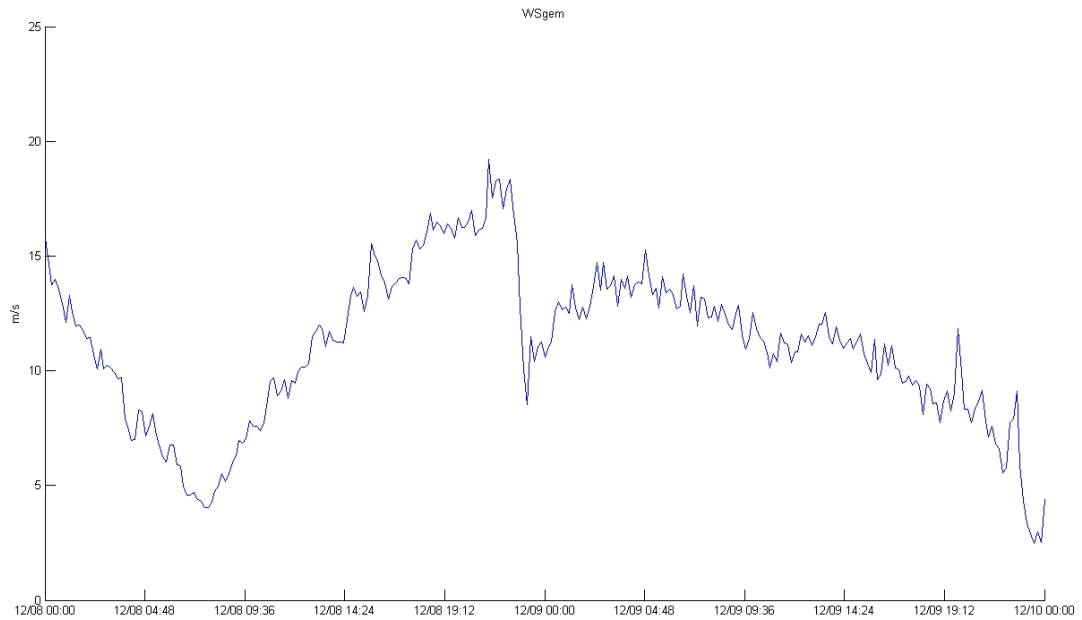


Figuur D.7: Resultaten slibconcentratie metingen. Vergelijking FL 53 en FL 54

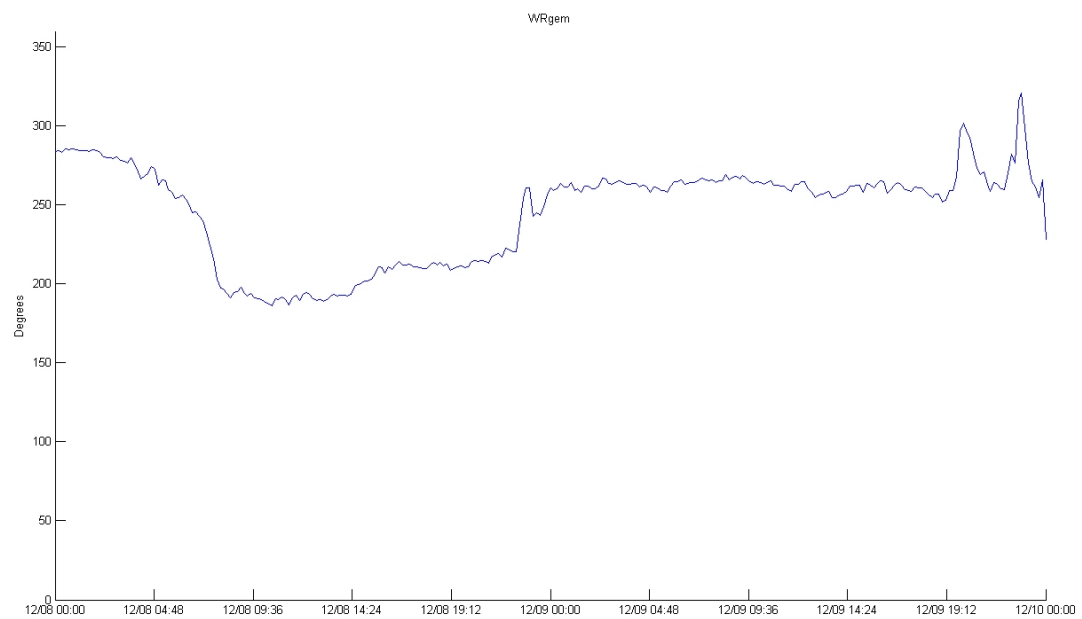
Appendix E

Windgegevens storm events

9 December 2012

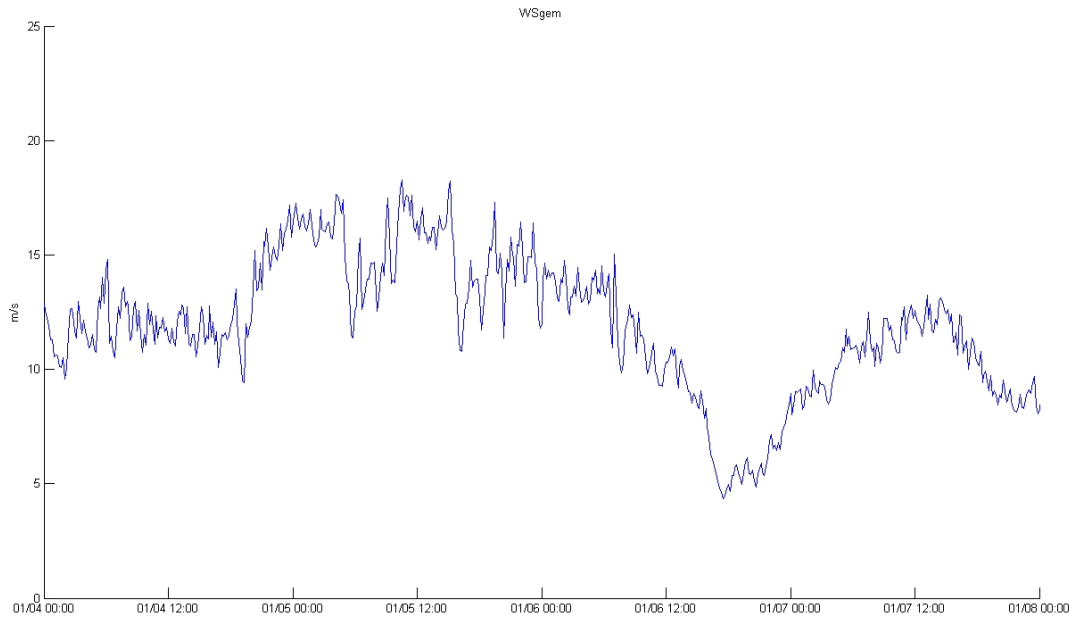


Windsnelheid 8 – 10 dec 2011



Windrichting 8 – 10 dec 2011

6 januari 2012



Windsnelheid 4 – 8 jan 2012

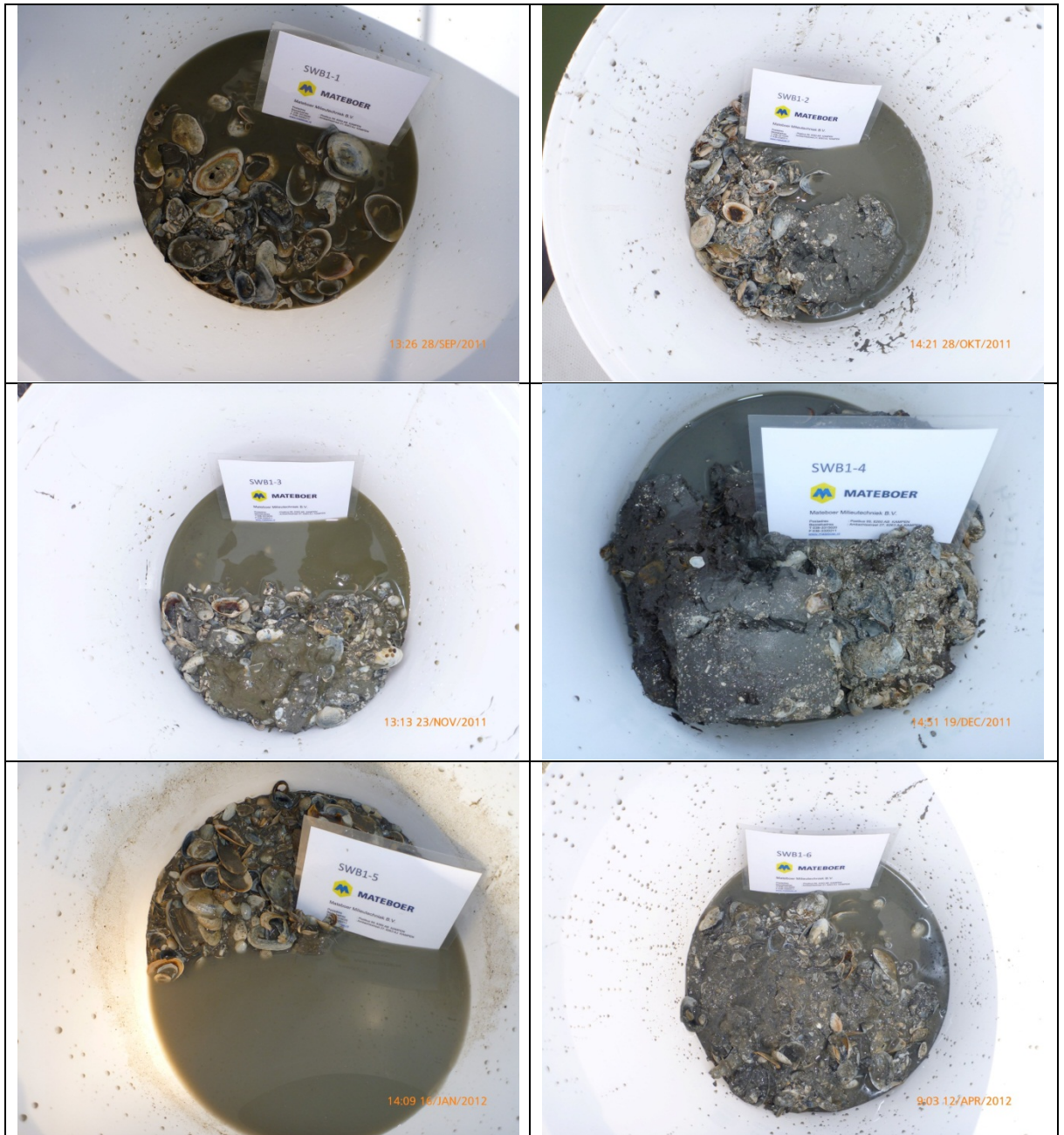


Windrichting 4 – 8 jan 2012

Appendix F

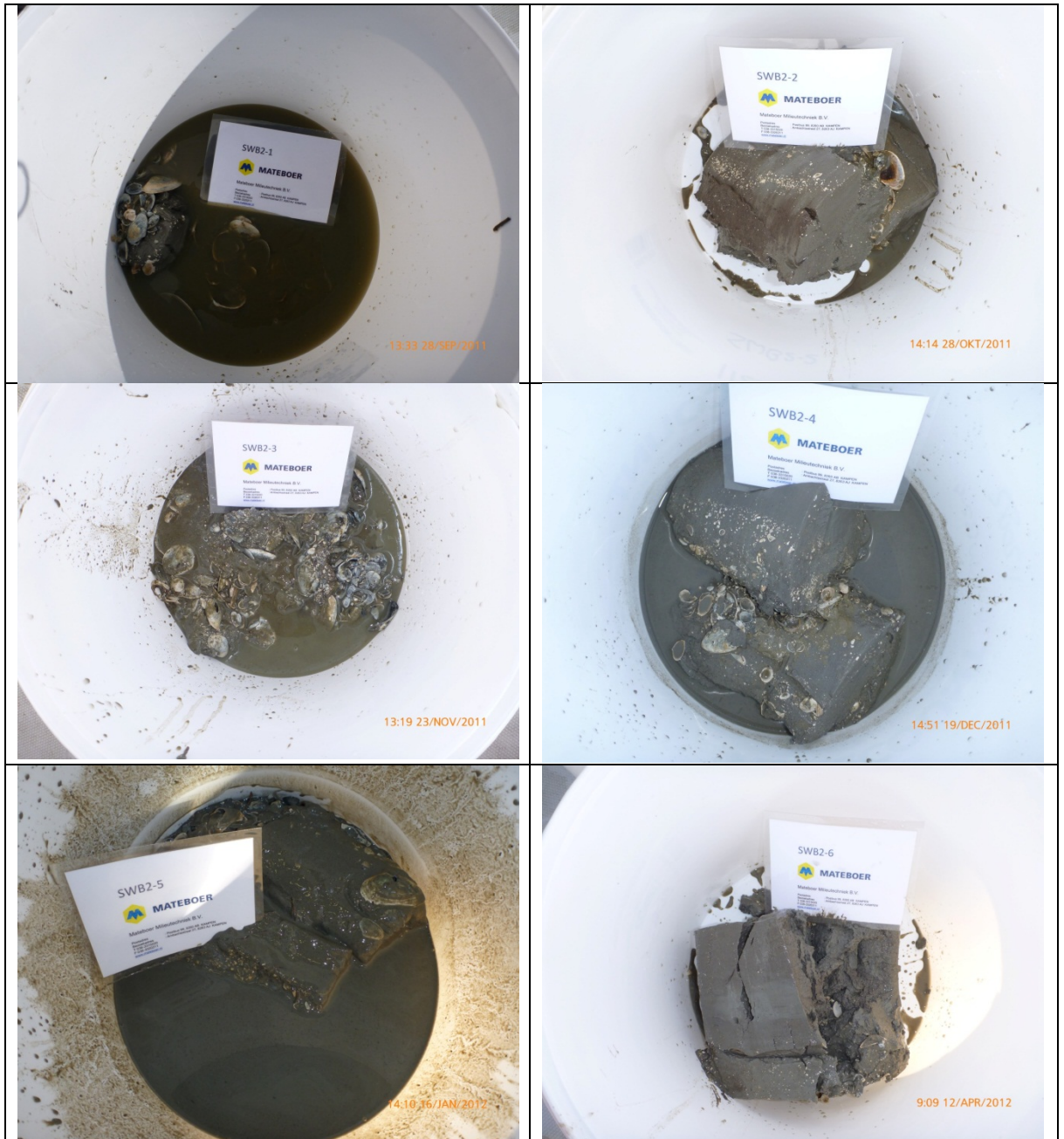
Foto's bodemmonsters

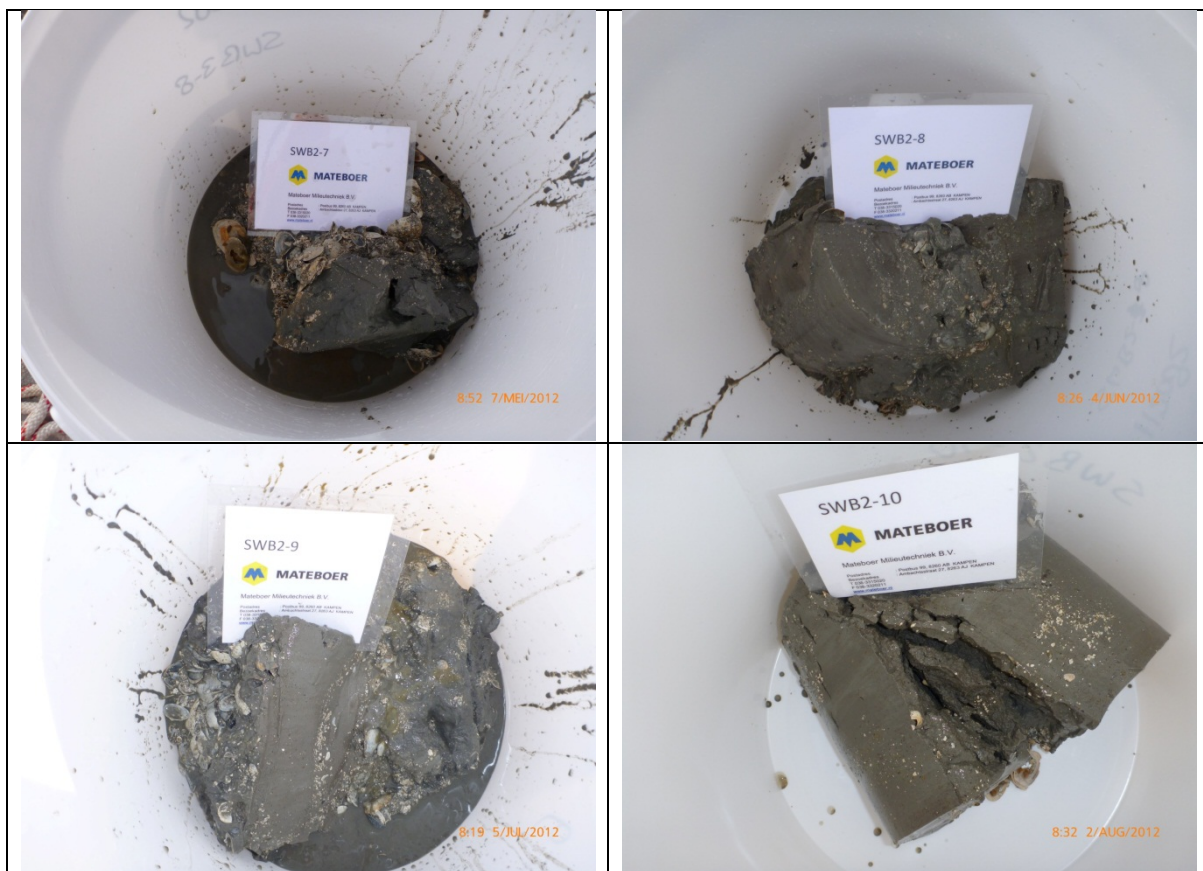
SWB1



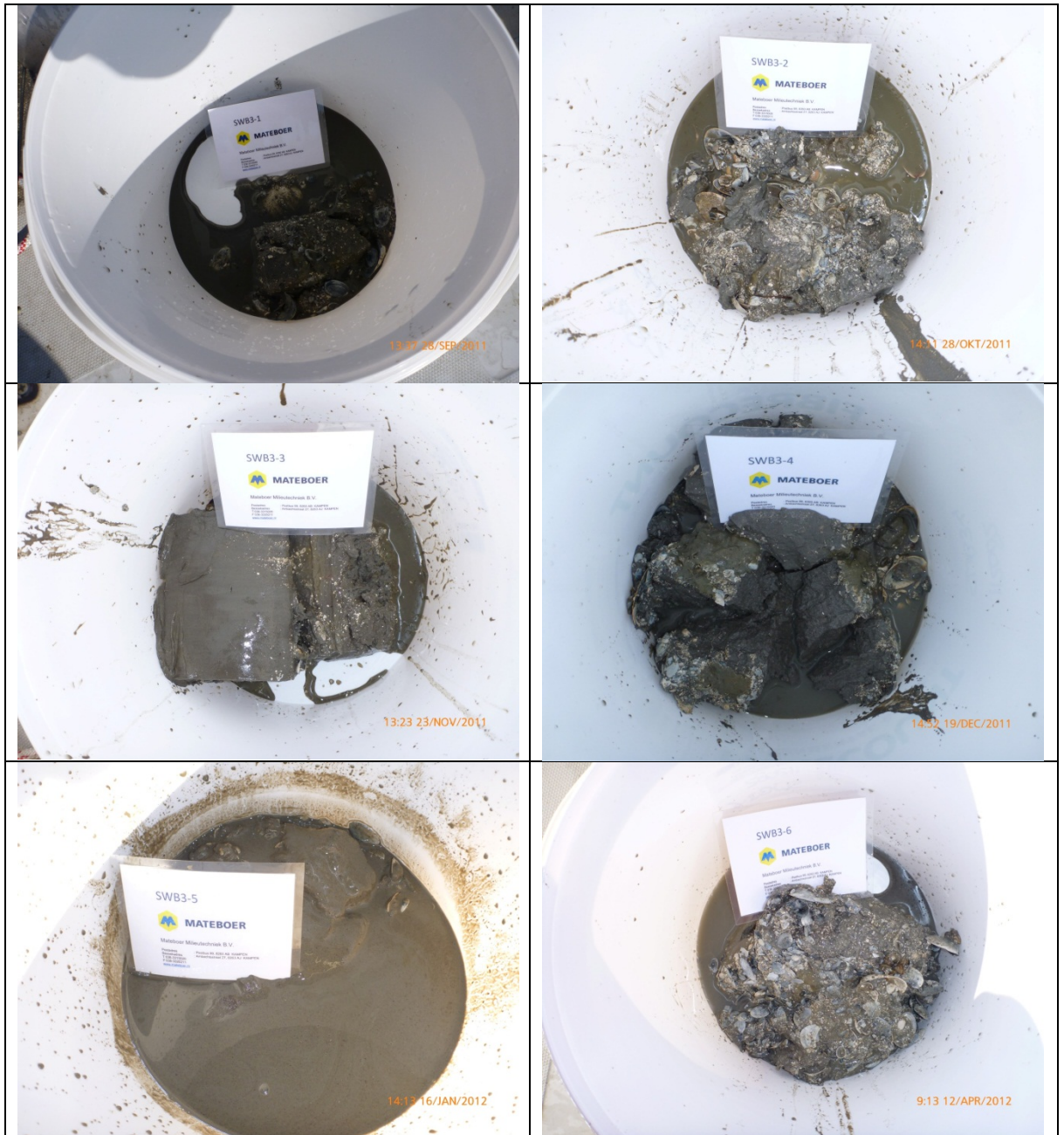


SWB2



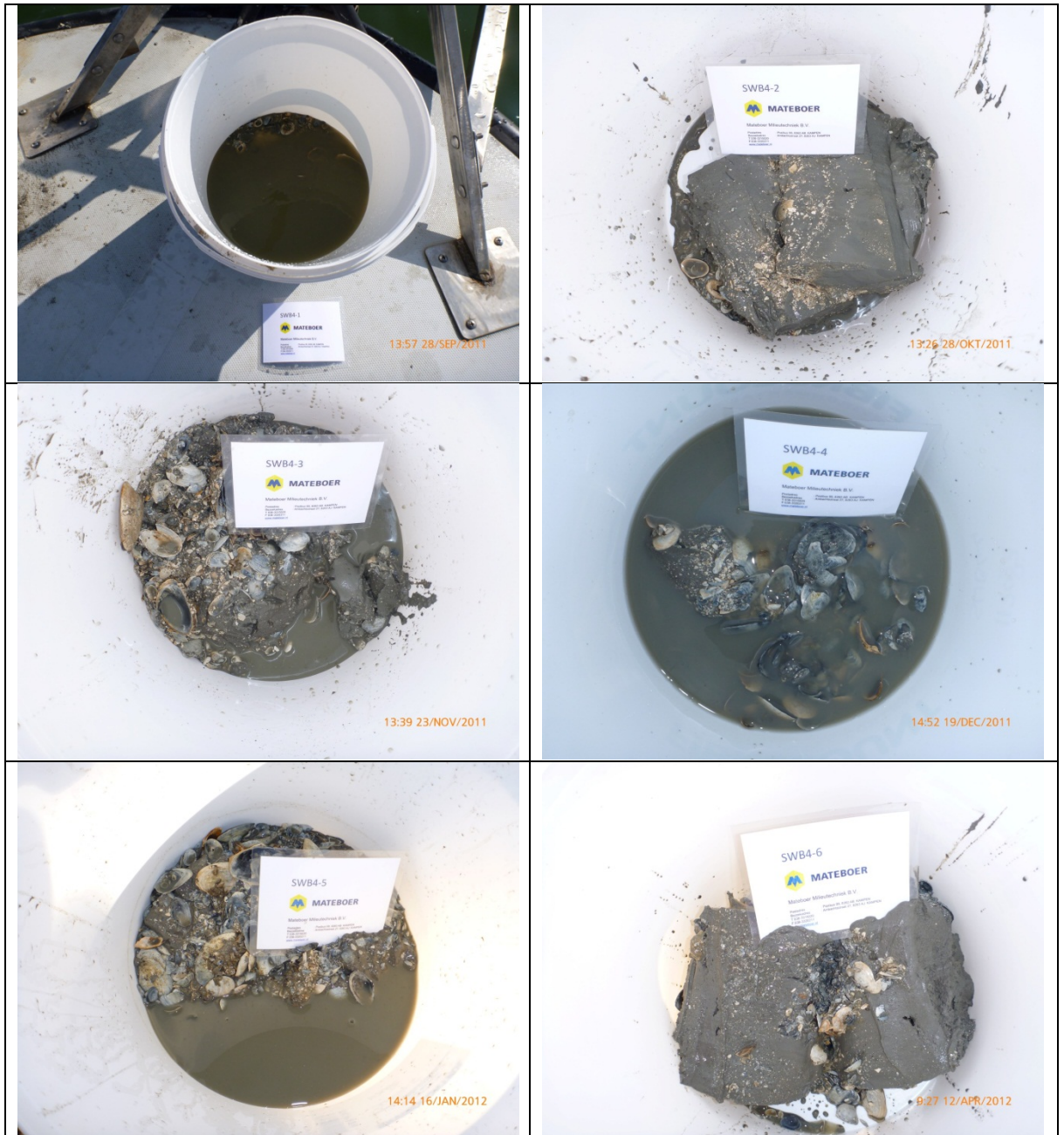


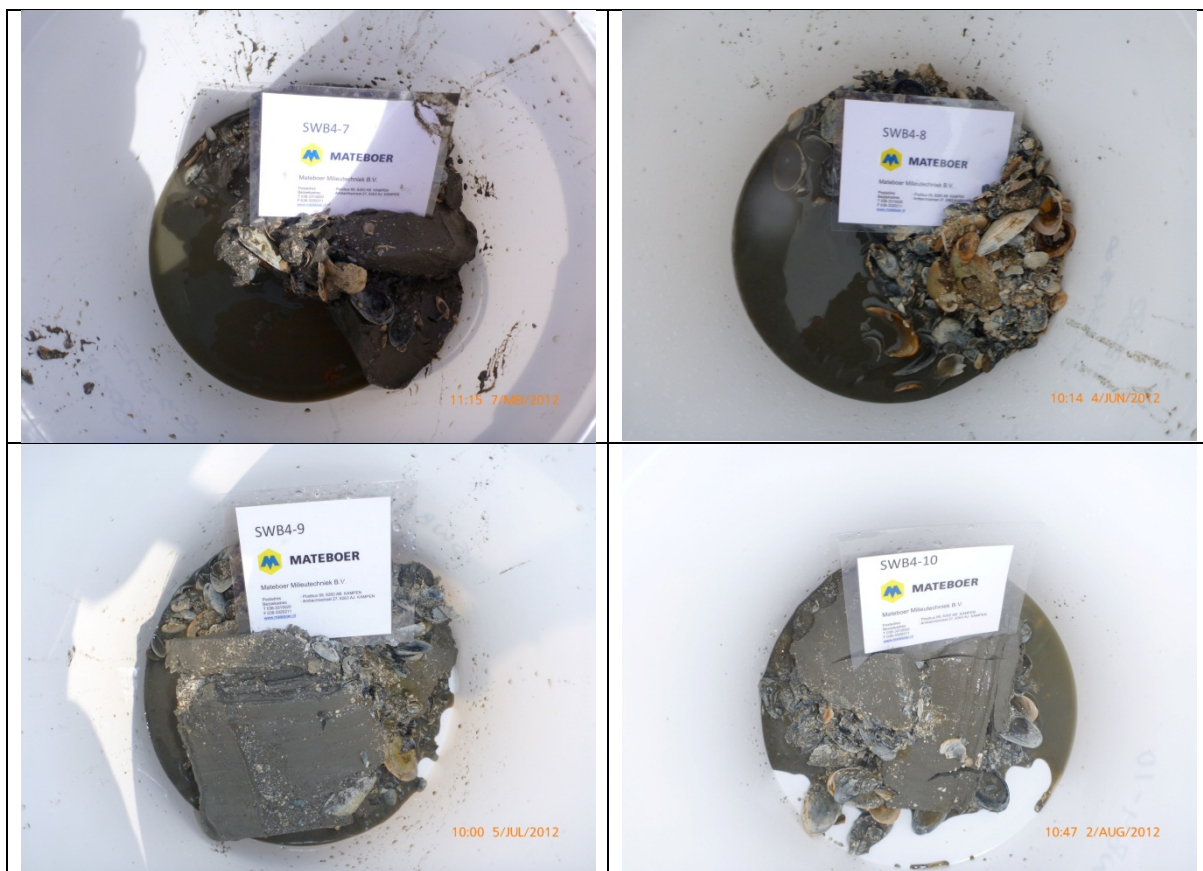
SWB3



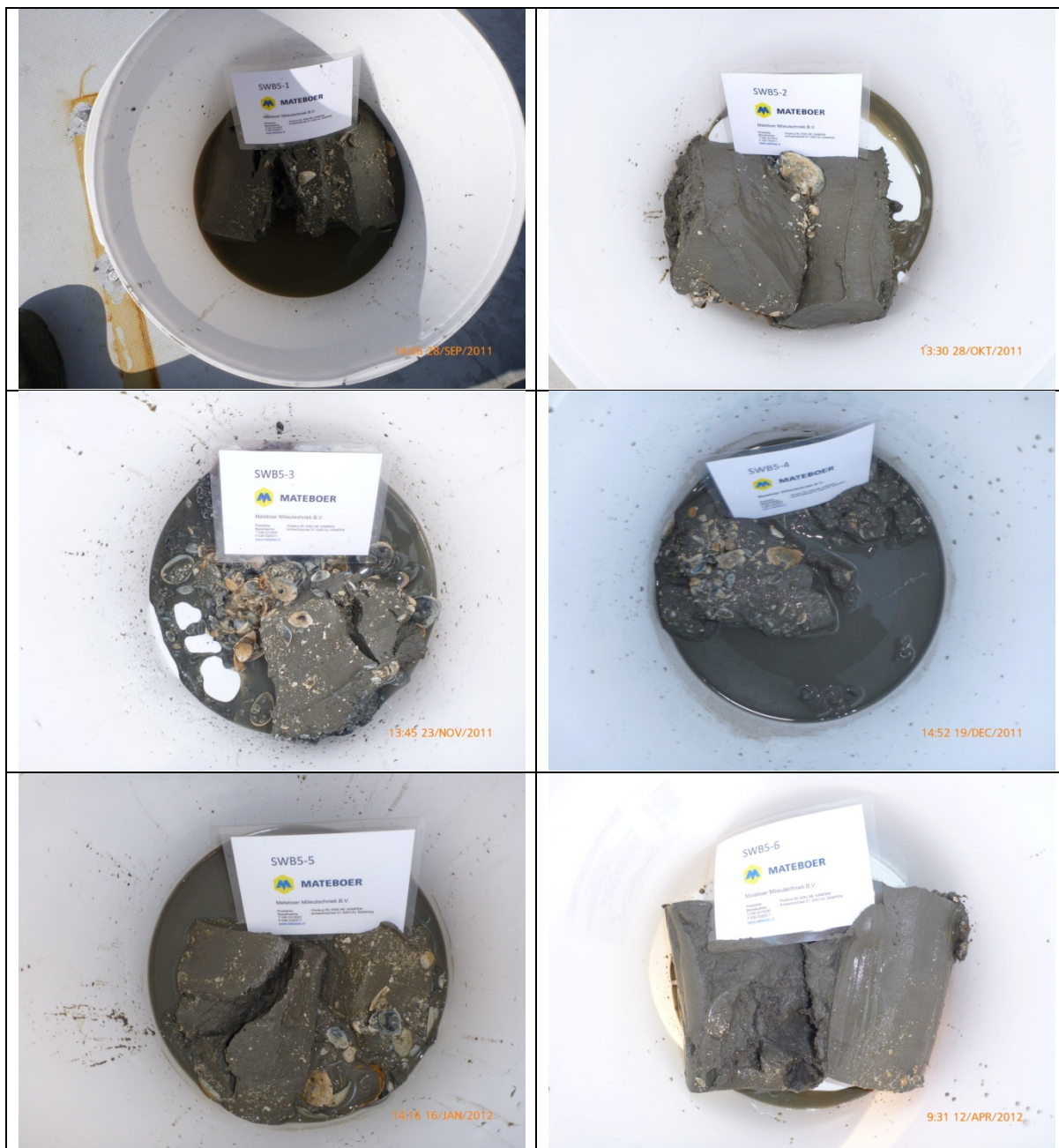


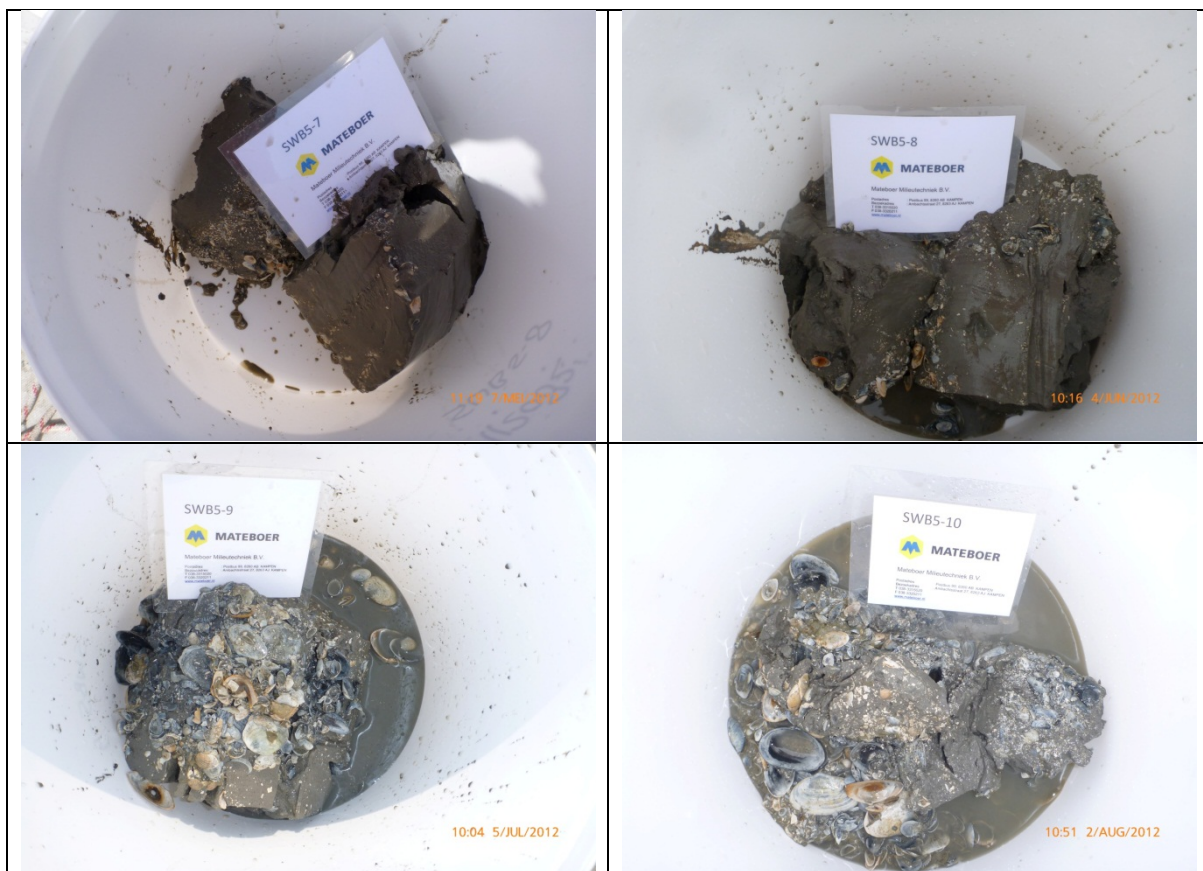
SWB4





SWB5



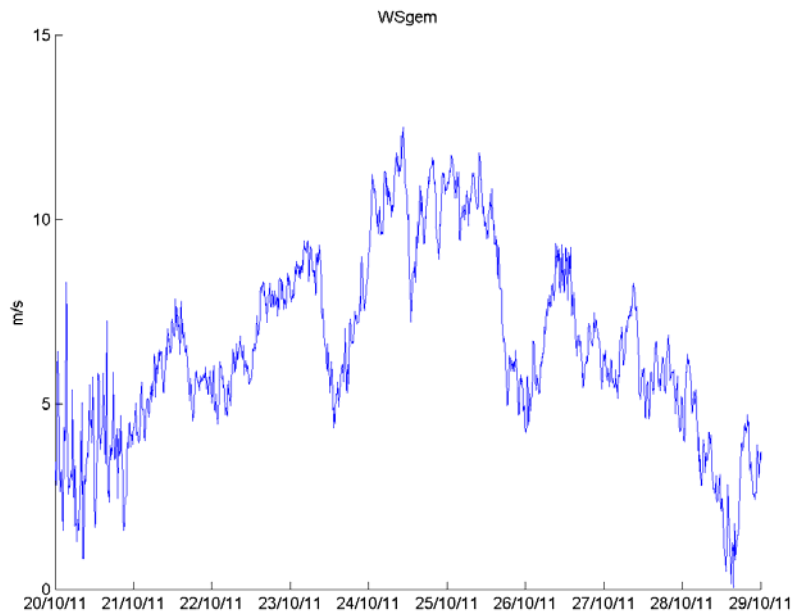


SWB6





Conditie monstername



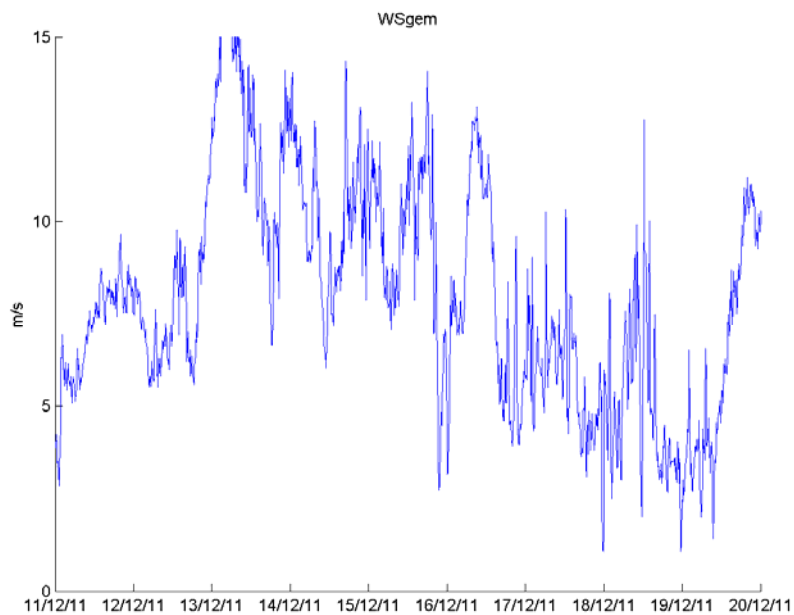
Figuur F.1: Windsnelheid in m/s rond 28 oktober 2011.



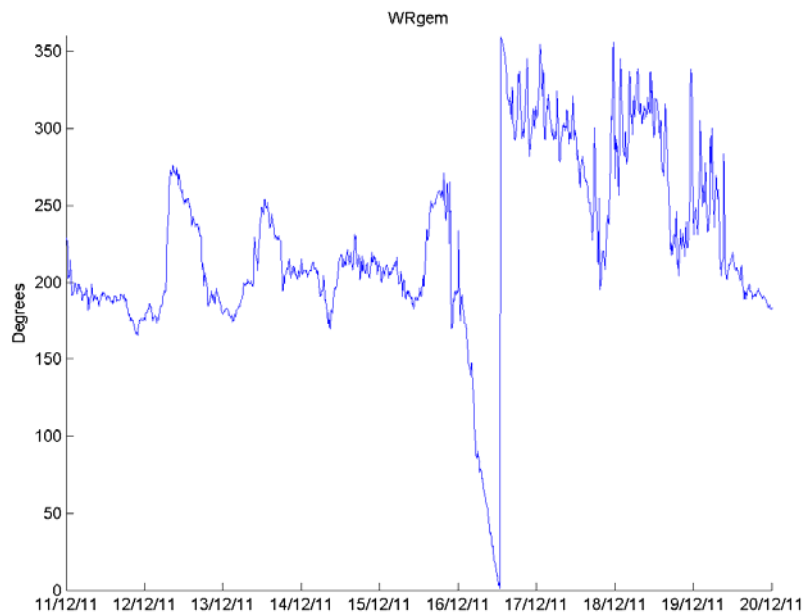
Figuur F.2: Windrichting in graden rond 28 oktober 2011



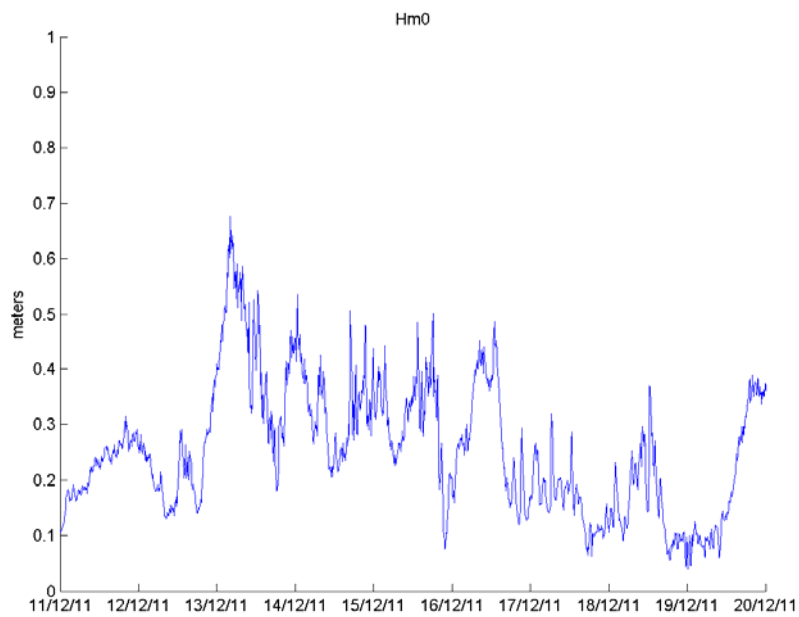
Figuur F.3: Golfhoogte in m rond 28 oktober aan de noordzijde van de luwtestructuur



Figuur F.4: Windsnelheid in m/s rond 19 december 2011



Figuur F.5: Windrichting in graden rond 19 december 2011



Figuur F.6: Golfhoogte in m rond 19 december aan de noordzijde van de luwtestructuur