

**Kalibratie slibtransport- en
GEM-model**



Kalibratie slibtransport- en GEM- model

ir. L. Arentz
V. Harezlak M.Sc
dr. ir. T. van Kessel
ir. T. van der Kaaij

1205620-000

Titel

Kalibratie slibtransport- en GEM-model

Project
1205620-000**Kenmerk**
1205620-000-ZKS-0014**Pagina's**
72**Trefwoorden**

Slib, GEM, slibtransport, slibtransportmodel, buffermodel, bodem- water uitwisseling, buffercapaciteit, GEM model, modelinstrumentarium Noordzee, hoogfrequente metingen, Egmond, bodemmonsters, kalibratie, validatie.

Samenvatting


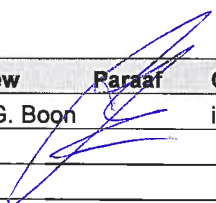




Het basismodel is in voorgaande studies afgeregeld voor 2007. In het huidige project worden 2009 en 2010 geanalyseerd. De nieuwe metingen zijn uitgevoerd voor de kust van Egmond in het voor- en najaar van 2010. Opvallend is de sterk afwijkende windrichting in de 1^e helft van 2010. De nieuwe meetgegevens zijn hoogfrequent en representatief voor de waterkolom nabij de bodem. Dit is een waardevolle aanvulling op de reguliere laagfrequente MWTL oppervlakte metingen. Daarnaast zijn er een aantal bodemmonsters genomen.

De resultaten van het slibtransportmodel zijn aardig robuust. Namelijk, de resultaten van de referentie sommen zijn zonder wijzigingen van instellingen al vrij goed voor een ander jaar (2009 en 2010) en voor de nieuwe metingen nabij Egmond. Door aan te sluiten bij modelontwikkelingen die vanuit het project MoS2 zijn geïnitieerd, diende het model ge(her)kalibreerd te worden. De belangrijkste ontwikkelingen betreffen een aanpassing in de modelschematisatie en een verbeterde weergave van de bodemschuifspanning door golven. Dit eerste heeft geresulteerd in een betere weergave de saliniteit. De tweede aanpassing zal met name bij Egmond tot uiting komen bij gebruik van SWAN golfvelden met hogere resolutie (ZUNO-DD in plaats van ZUNO-grof).

Er valt desondanks nog de nodige winst te behalen door een aantal beperkte concrete aanpassingen in het model. Naast de reguliere meetsets zijn in deze studie diverse nieuwe aanvullende datasets geanalyseerd en gebruikt in de afregeling van de modellen. Hiermee is het Noordzee modelinstrumentarium weer een belangrijke stap verder in haar ontwikkeling en voorspellende waarde voor toekomstige Noordzee MEP/MER studies voor beheers –en inrichtingsvraagstukken.

Referenties

Zaaknummer 31061236.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	dec. 2012	ir. L. Arentz		Ir. J.G. Boon		ir. T. Schilperoort	
		V. Harezlak M.Sc					
		dr. ir. T. van Kessel					
		ir. T. van der Kaaij					

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Kader	1
1.3 Achtergrond	1
1.4 Focus en doelstelling	2
1.5 Leeswijzer en projectteam	2
2 Aanpak	5
2.1 Analyse meetgegevens	5
2.2 Validatie en kalibratie van het slibtransport- en GEM-model	5
3 Analyse meetgegevens	7
3.1 Inleiding	7
3.2 Overzicht van de meetgegevens	7
3.3 MWTL	7
3.4 NIOZ Lander	13
3.5 MEDUSA	21
3.6 Eindbeschouwing	21
4 Beschrijving van het BASIS model	23
4.1 Definitie basismodel	23
4.2 Uitbreidingen / aanpassingen tov MER zandwinning	23
4.3 De modellentrein	23
4.4 Het waterbewegingsmodel	24
4.5 Het slibtransportmodel, ook wel slibmodel	27
4.6 Het nutriënttransport en primaire productie model GEM	30
5 Resultaten waterbeweging	33
5.1 Inleiding	33
5.2 Gevoeligheidsberekeningen	33
5.3 Modelresultaat versus metingen	33
6 Resultaten slibtransport	37
6.1 Inleiding	37
6.2 Aanpassingen basismodel nav kalibratie	37
6.3 Resultaten	42
6.3.1 Slibconcentratie waterkolom	42
6.3.2 Slibflux waterkolom	45
6.3.3 Bodemschuifspanning	46
6.3.4 Bodemsamenstelling	47
6.3.5 Bodem- water uitwisseling	49
6.4 Samenvatting	50
7 Resultaten GEM	51
7.1 Inleiding	51
7.2 Modelresultaat versus metingen	52
7.2.1 Referentie	52

7.2.2	Gekalibreerd slibveld	53
7.2.3	Extinctie	55
7.2.4	Cosinus	57
7.2.5	Hoogfrequente data	57
7.2.6	Lagere verticale dispersie	62
7.3	Vergelijking resultaten	63
7.4	Discussie	64
7.4.1	Model data onzekerheden en kalibratie	64
7.4.2	Random cosinus	65
7.4.3	Slibmodel en kalibratie	65
8	Samenvatting, conclusies en aanbevelingen	67
9	Referenties	71

Inhoud

Bijlage(n)

A The buffer bed model	A-1
References	A-3
B Beschikbaarheid van de meetgegevens	B-1
C MWTL data	C-1
C.1 Data beschikbaarheid	C-1
C.2 Saliniteit	C-5
C.3 Zwevend stof	C-7
C.4 Chlorofyl	C-9
D NIOZ Lander	D-1
D.1 Data bron	D-1
D.2 Data beschikbaarheid	D-1
D.3 Stroomsnelheid en –richting	D-2
D.4 Waterstand	D-7
D.5 Saliniteit	D-8
D.6 Slib	D-9
D.7 Chlorofyl	D-12
D.8 Periodiciteitsanalyse slib en algen	D-15
E MEDUSA	E-1
F Slib resultaten	F-1
F.1 Vergelijking modelresultaten met laagfrequente MWTL metingen	F-1
F.2 Target diagrammen: modelresultaat vs MWTL metingen	F-9
F.3 Vergelijking modelresultaten met hoogfrequente metingen bij Egmond (ALEC sensor op NIOZ Lander)	F-13
F.4 Ruimtelijke berekende slibconcentraties in de waterkolom nabij oppervlak en bodem	F-18
F.5 Tijdsreeks berekende slibfracties in de bodem	F-20
F.6 Samenvatting resultaten bodemonmonster analyse Egmond	F-23
G GEM resultaten	G-1
G.1 Referentie som 2009 (cosinus en extinctie op 0.025)	G-2
G.2 Referentie som 2010 (slibveld vanuit cosinus en extinctie op 0.025)	G-4
G.3 Kalibratie som 2009 (gekalibreerd slibveld en extinctie op 0.036)	G-6
G.4 Kalibratie som 2010 (gekalibreerd slibveld en extinctie op 0.036)	G-8
G.5 Kalibratie som 2009 (referentie slibveld en extinctie op 0.036)	G-10
G.6 Kalibratie som 2010 (referentie slibveld en extinctie op 0.036)	G-12
G.7 Kalibratiesom 2010 (gekalibreerd slibveld en extinctie op 0.025)	G-14
H Target diagrammen GEM berekeningen	H-1

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Uw offertevraag van 10 oktober 2011 met onderwerp “Kalibratie slibtransportmodel en GEM model” met zaaknummer 31061236” was de aanleiding voor deze studie. De werkzaamheden zijn uitgevoerd conform onze offerte met datum 21 oktober 2011 met titel “Offerte kalibratie slibtransportmodel” en kenmerk 1205620-000-ZKS-0002.

1.2 Kader

Deze rapportage maakt deel uit van het project 'Kalibratie slibtransportmodel en GEM-model' (zaaknummer 31061236). De werkzaamheden binnen dit project zijn opgesplitst in 2 delen, namelijk:

- 1 Een analyse van nieuwe meetgegevens en een verdere kalibratie en validatie van het slibtransportmodel en het GEM-model;
- 2 Een analyse van 31 bodemonsters op de voor uitspoeling en resuspensie beschikbare slibfractie (Blok en Arentz, 2012).

Onderdeel 1 is het hoofdonderwerp van het project. De resultaten van de analyse van de bodemonsters in onderdeel 2 worden gebruikt in onderdeel 1. Beide onderdelen zijn apart gerapporteerd. Dit rapport beperkt zich tot de rapportage van onderdeel 1.

1.3 Achtergrond

In de Noordzee wordt jaarlijks een grote hoeveelheid zand gewonnen om de Nederlandse kust door middel van onderwater- en strandsuppleties te beschermen tegen overstromingen vanuit zee. Deze activiteiten resulteren in een grotere hoeveelheid slib in de waterkolom langs de Nederlandse kustzone. De toename in troebelheid beïnvloedt het lichtklimaat en daarmee de hele effectenketen van primaire productie tot voedselaanbod voor hogere organismen (zoals vissen, zeezoogdieren en vogels).

Inzicht in de effecten van de zandwinning op bijvoorbeeld troebelheid en primaire productie. Is van belang omdat deze vraag vaak ten grondslag ligt aan diverse effectstudies in het kader van vergunningstrajecten in het kader van bijvoorbeeld MER- en MEP zandwinning.

Om (meer) inzicht te krijgen in het gedrag van slib en algen naar aanleiding van ingrepen zoals zandwinning en –suppleties is een slibtransport- en GEM model voor de Nederlandse kustzone ontwikkeld. Hierdoor zijn we beter in staat om dit gedrag te kunnen voorspellen.

Het slibtransport model bevat een bodemmodule voor de opslag van slib in een zandige bodem. Dit zogenaamde “buffer model” is gekalibreerd en gevalideerd voor de Nederlandse kustzone tijdens een reeks modelstudies naar de slibdynamica in de zuidelijke Noordzee: de *VOP-Slib*¹-projecten (bijv. Van Kessel et al., 2010). Het huidige buffermodel is redelijk goed in staat om de waargenomen variaties in troebelheid te reproduceren uitgaande van een dynamische evenwichtstoestand.

1. *VOP Slib: Voortschrijdend Onderzoeksprogramma Slib*

Het model is gekalibreerd aan de hand van beschikbare troebelsheidsmetingen uit DONAR en hoogfrequente 'CEFAS' troebelsheidsmetingen voor Noordwijk. Voor huidige studie hebben we nieuwe gelijktijdige metingen van slib in water en bodem tot onze beschikking. De metingen zijn uitgevoerd voor de kust van Egmond in het voor- en najaar van 2010. Deze metingen kunnen een belangrijke aanvulling zijn op de reeds gebruikte datasets. De metingen kunnen meer inzicht verschaffen in de bodem-uitwisseling van slib en de tijdschalen waarop dit plaatsvindt. Kort samengevat wordt dit gedrag bepaald door twee kerngrootheden, namelijk de partitionering welke de verblijftijd bepaald en de uitwisselingssnelheid (die zorgt voor de verblijftijdspreiding). In 2 "cadmium studies" (Oeveren-Theeuwes, 2011 en Van Kessel et al., 2012) is specifiek aandacht besteed aan dit onderwerp. Op basis van deze studies is geconstateerd dat de uitwisselingssnelheid nog niet goed worden afgeleid. Op basis van de nieuwe metingen bij Egmond kan de uitwisselingssnelheid nauwkeuriger bepaald worden en de verblijftijd in de bodem kan onafhankelijk van de cadmiummetingen, gebruikt als een indicator voor de verspreiding van slib, worden getoetst.

Het GEM model wordt gebruikt om de waterkwaliteit (onder andere nutriënt- en chlorofylconcentraties) van de zuidelijke Noordzee te simuleren (Los et al., 2008; Los en Blaas, 2010). GEM gebruikt invoer vanuit het hydrodynamische model en het slibmodel.

1.4 Focus en doelstelling

Het doel van dit project is een validatie van het bestaande slibtransport- en GEM model voor de Noordzee en Waddenzee op basis van nieuwe meetgegevens nabij Egmond en, indien hier aanleiding toe is, een verdere kalibratie.

1.5 Leeswijzer en projectteam

Het rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt de aanpak beschreven. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de meetgegevens welke gebruikt zijn in deze studie. De belangrijkste eigenschappen worden per bron en parameter besproken. Hoofdstuk 4 wordt het huidige modelinstrumentarium beschreven voor slibtransport- en GEM. Dit is het basismodel voor huidige studie. In hoofdstuk 5, 6 en 7 worden achtereenvolgens de resultaten van de berekeningen van waterbeweging, slibtransport en GEM gepresenteerd en besproken. Per onderdeel worden de aanpassingen aan het basismodel toegelicht. De modelresultaten worden vergeleken met de metingen. Dit is gedaan voor de resultaten berekend met het basismodel en met het gekalibreerde model. Tot slot geeft hoofdstuk 8 een samenvatting en de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

Het Deltares projectteam bestaat uit:

- data analyse: Bas Blok, Saskia Huisman, Joao Rego, Valesca Harezlak, Thijs van Kessel en Loana Arentz.
- Waterbeweging: Joao, Remco Plieger en Theo van der Kaaij.
- Slibtransport: Loana en Thijs.
- GEM: Valesca en Hans Los

De data analyse is uitgevoerd door Joao Rego, Valesca Harezlak, Thijs van Kessel en Loana Arentz. De analyse van de bodemmonsters, onderdeel 2 van het project, is uitgevoerd door Saskia Huisman onder leiding van Bas Blok. De rapportage van dit onderdeel is uitgevoerd door Bas en Loana.

Joao Rego en Remco Plieger hebben de waterbewegingsberekeningen uitgevoerd. Theo van der Kaaij is verantwoordelijk voor de begeleiding en rapportage van dit onderdeel. De berekeningen van slibtransport zijn uitgevoerd en gerapporteerd door Loana onder toezicht van Thijs. Valesca heeft de GEM sommen uitgevoerd en gerapporteerd. Hans Los heeft haar hierin begeleidt.

Johan Boon is verantwoordelijk voor de kwaliteitscontrole van het voorliggende rapport. Het project is geleid door Loana Arentz

2 Aanpak

Het onderzoek omvat de volgende hoofdactiviteiten:

1. Een analyse van nieuwe meetgegevens,
2. Verdere kalibratie en validatie van het slibtransportmodel en het GEM-model;

De aanpak van deze activiteiten wordt hieronder nader uitgewerkt.

2.1 Analyse meetgegevens

Allereerst wordt een overzicht gegeven van de meetgegevens per bron welke beschikbaar en bruikbaar zijn voor de analyse. Vervolgens worden de belangrijkste eigenschappen per bron en parameter besproken. De analyse van meetdata beperkt zich tot een analyse van beschikbare meetgegevens nabij Egmond.

De meetgegevens kunnen op basis van veel verschillende doelstellingen en methoden worden geanalyseerd. Voor het huidige onderzoek beperkt de analyse zich tot:

- de hoeveelheid slib en chlorofyl in de waterkolom;
- de hoeveelheid slib in de bodem (potentieel beschikbaar voor resuspensie).

Bij deze analyse wordt niet alleen gekeken naar tijdgemiddelde concentraties en fluxen, maar ook naar variaties in de tijd en de invloed hiervan op verblijftijd en verblijftijdspreiding lokaal in de bodem en in de kustzone. Alle data in grafiekvorm gepresenteerd zodat de rapportage een goed uitgangspunt vormt voor verdere analyse van de meetdata.

De analyse van de meetgegevens wordt beschreven in hoofdstuk 3.

2.2 Validatie en kalibratie van het slibtransport- en GEM-model

Het doel van dit project is een validatie van het huidige slibtransport- en GEM model voor de Noordzee en Waddenzee op basis van nieuwe meetgegevens nabij Egmond en, indien hier aanleiding toe is, een verdere kalibratie. Hiernaast is het de bedoeling om modelontwikkelingen zoveel mogelijk te stroomlijnen met parallelle projecten die gebruikt maken van dit instrumentarium.

De aanpak bestaat uit 3 stappen:

Allereerst wordt het bestaande slibtransport- en GEM model voor de Noordzee en Waddenzee (het basis model) gevalideerd van basis van metingen nabij Egmond. Naar dit model wordt in de huidige studie gerefereerd als het **basismodel**.

Het basismodel betreft een Zuidelijke Noordzee (ZUNO) model voor waterbeweging, slibtransport en GEM (primaire productie). Het model is in de afgelopen jaren specifiek ontwikkeld voor het berekenen van (slib)transport en primaire productie in de Nederlandse kustzone en de Waddenzee. Het model is een uitbreiding op het oorspronkelijke grovere ZUNO model ZUNO-grof, en is reeds gebruikt in een aantal eerdere studies zoals 'MoS²' (Blaas et al., 2012: MoS²) en 'Cadmium' (Oeveren-Theeuwes et al., 2011 en Van Kessel et al., 2012) en meest recentelijk de MER-zandwinning 2013-2017 (Keetels et al., 2012). Tijdens elke studie wordt het model verder aangepast en verbeterd, zo ook in deze studie.

Het MER-zandwinning model is afgeregeld voor het jaar 2007. In huidige studie zijn we specifiek geïnteresseerd in 2009 en 2010. De huidige studie loopt parallel met MoS²II, een groot commercieel project voor het Havenbedrijf Rotterdam waarin wordt gekeken naar het gedrag van slib in de Nederlandse kustzone en de impact van de aanleg van Maasvlakte-2 voor de jaren 2003 t/m 2007. Beide studies hebben als basis hetzelfde MER zandwinning "model". Voor wat betreft de slibmodellering is met de opdrachtgever afgesproken om zoveel mogelijk mee te gaan in de MoS²II ontwikkelingen voor wat betreft slibmodellering op de Noordzee. Dit betreft zowel waterbeweging als slibtransport.

Vervolgens wordt, als tweede stap, het model ge(her)kalibreerd indien hier aanleiding toe is als gevolg van een aanpassing aan het model en/of de validatie op basis van de nieuwe Egmond gegevens. Hierbij wordt gestreefd naar minimaal vergelijkbare kwaliteit van de modelvoorspellingen. In de (her)kalibratie zal allereerst het slibtransport model uitgevoerd worden. Vervolgens zal het GEM model gekalibreerd worden op de nieuwe slibvelden.

Als laatste stap wordt een hindcast gedaan voor de jaren 2009 en 2010 met het ge(her)kalibreerde model.

In termen van berekeningsstappen wordt de beschreven aanpak als volgt samengevat:

1. Validatie
Een referentieberekening voor waterbeweging, golven, slibtransport en GEM model met het basismodel voor de periode 1 januari 2009 – 1 januari 2011.
2. Kalibratie:
Kalibratieberekeningen met het aangepaste slibtransport- en het GEM-model voor de periode februari 2010 – april 2010.
3. Hindcast:
Berekeningen met het afgeregelde slibtransport- en het afgeregelde GEM model voor de periode 1 januari 2009 – 1 januari 2011.

3 Analyse meetgegevens

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de meetgegevens zoals gebruikt in deze studie. De belangrijkste eigenschappen per bron en parameter worden beknopt besproken. De analyse vorm een goede basis voor verdere analyse van de meetdata.

3.2 Overzicht van de meetgegevens

De volgende meetgegevens nabij Egmond zijn beschikbaar voor de analyse:

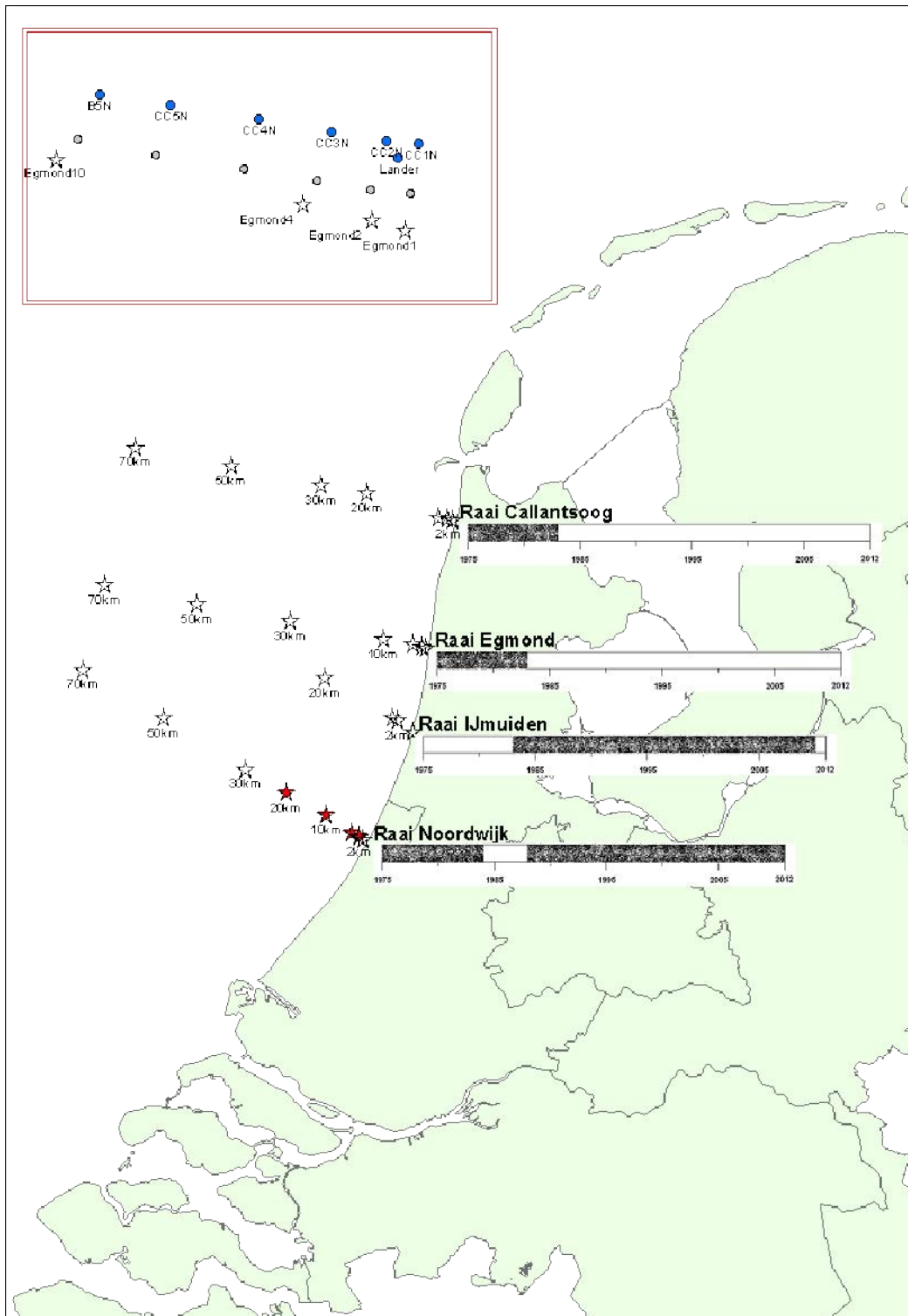
1. MWTL laagfrequente (2-wekelijks) metingen bij Egmond, Noordwijk, IJmuiden en Callantssoog in de periode 1974 – 2012 van:
 - saliniteit,
 - zwevend stof concentratie,
 - chlorofyl-a concentratie,
2. NIOZ-Lander: hoogfrequente (20 minuten) metingen op één positie bij Egmond (~1.5 km uit de kust, waterdiepte ongeveer 10 -11 m) op verschillende hoogtes in de waterkolom gemeten met diverse sensoren (ALEC, CTD, VECTOR en Aquadop, LISST) van:
 - stroomsnelheid en –richting (VECTOR en Aquadop),
 - waterstand (VECTOR),
 - saliniteit (CTD),
 - zwevend stof concentratie (ALEC),
 - chlorofyl-a concentratie (ALEC).
3. Medusa: 6 metingen op diverse kustdwarse en –langse raaien bij Egmond op verschillende tijdstippen in 2009 en 2010 van slibgehalte in de bodem.
4. Bodemonsters nabij Egmond. Als onderdeel 2 van deze studie (zie paragraaf 1.2). De afgeleide korrelgrootteverdelingen geven inzicht in de hoeveelheid slib in de bodem nabij Egmond en zijn in een apart rapport beschreven (Blok en Arentz., 2012).

Niet alle meetgegevens zoals beschreven in de offerte (zie paragraaf 1.1) waren beschikbaar of direct bruikbaar. Zie voor een overzicht Bijlage B. De beschikbare gegevens voor de analyse worden gepresenteerd in paragraaf 3.3 (MWTL), 3.4 (NIOZ Lander) en 3.5 (Medusa). De belangrijkste eigenschappen worden besproken.

3.3 MWTL

Ten behoeve van MWTL worden sinds 1975 in de Noordzee door RWS op diverse vaste meetraaien waterkwaliteitsparameters, zoals zwevend stof- en chlorofylconcentraties, gemeten. MWTL staat voor Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands. Een aantal raaien is maar voor een aantal jaar bemonsterd, zoals de raai Egmond aan Zee en Callantssoog (beide van 1975 tot en met 1983). Andere raaien worden nog steeds bemonsterd, zoals delen van de raai van Noordwijk (zie Figuur 3.1). Het gaat om laagfrequente metingen, waarin ongeveer 30 meettochten per jaar. De frequentie is: winter = 1x per maand, overig = 1x per twee weken.

In dit project bekijken we de meetraaien: Egmond, Noordwijk, IJmuiden en Callantsoog. In termen van data beschikbaarheid is de Noordwijk raai de meest volledige reeks. Zie Bijlage C.1 voor een overzicht van beschikbare metingen van zwevend stof en chlorofyl. In de analyse hebben we ons grotendeels beperkt tot de periode vanaf 2004. Dit is consistent met de aanpak in MER zandwinning (Keetels et al., 2012).



Figuur 3.1 Interessegebied.

Saliniteit

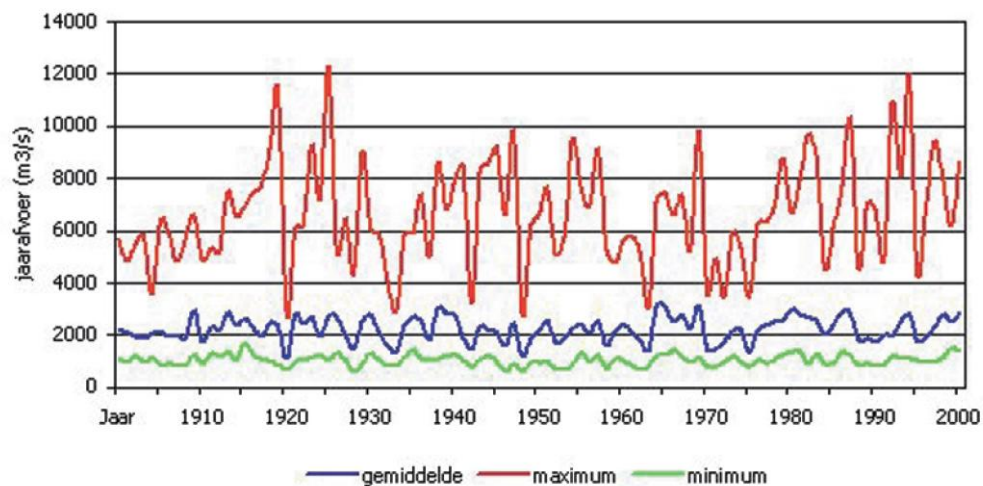
Zie Bijlage C2 voor het karakteristieke temporele verloop van de gemeten saliniteiten voor het interessegebied.

De saliniteit neemt af naar de kust toe ten gevolge van de zoetwaterafvoer van rivieren (met name de Rijn). Perioden met hoge zoetwaterafvoer gaan gepaard met een lagere saliniteit, perioden met lage zoetwaterafvoer met een hogere saliniteit. Ten gevolge van de reistijd van zoetwater langs de Hollandse kust is er sprake van een in noordelijke richting toenemende tijdvertraging tussen de piekafvoer en het saliniteitsminimum.

Er is een aanmerkelijke variabiliteit tussen de jaren, doordat droge jaren worden afgewisseld met natte jaren en gemiddelde jaren.

In het vroege voorjaar bereikt de saliniteit typisch de laagste waarden door de cumulatieve hoge afvoer van zoetwater tijdens de winter. Rond oktober bereikt de saliniteit typisch de hoogste waarden door de cumulatieve lage afvoer tijdens de zomer.

Uit de lange meetreeks bij Noordwijk blijkt geen opvallende langjarige trend op te treden, d.w.z. de saliniteit in het heden wijkt niet wezenlijk af van die 40 jaar geleden. Dit is ook niet te verwachten op basis van de historische zoetwaterafvoer van de Rijn (Figuur 3.2).



Figuur 3.2 Jaarafvoer bij Lobith in de 20^e eeuw (bron: RIWA).

Zwevend stof concentratie

Zie Bijlage C3 voor de karakteristieke temporele verloop en statistische kentallen van de gemeten zwevend stof concentraties voor de Noordwijk raai voor periode 2004 t/m 2009/2010.

Voor de concentratie zwevend stof (slib) geldt dat deze sterk toeneemt in de richting van de kust. Dit is te verklaren door de optredende restcirculatie in de kustzone onder invloed van saliniteitsgradiënten en het getij. Hierdoor is de transportrichting nabij de bodem, waar de slibconcentratie het hoogste is, kustwaarts gericht. Dit leidt tot een accumulatie van slib dicht tegen de kust.

Een uitgebreide beschrijving van deze gegevens en transportmechanismen wordt gegeven in de slibatlas en aanvullende rapportage (Suijlen en Duin, 2001 en 2002).

De slibconcentratie kent een duidelijke seizoensdynamiek, met hoge waarden in de winter en lage waarden in de zomer. Dit is niet alleen gekoppeld aan de zoetwaterafvoer, maar ook aan het golf/windklimaat. Onder stormachtige condities treedt resuspensie van slib vanaf de bodem op, waardoor de slibconcentratie in de waterkolom toeneemt. Tijdens langdurige perioden met rustig weer zet het meeste slib zich weer af op de bodem, waardoor de concentratie in de waterkolom afneemt. Tenslotte is ook het getij een belangrijke actor, met hogere slibconcentraties tijdens springtij en lagere concentraties tijdens doodtij. Kortom, de slibconcentratie wordt bepaald door het samenspel van getij, golven en zoetwaterafvoer.

Hierbij zijn niet alleen de actuele condities van belang, maar ook de historische. Vergelijkbare condities wat betreft getij, golven en saliniteit hoeven niet te resulteren in vergelijkbare slibconcentraties, omdat de beschikbaarheid van slib voor transport kan afwijken. Indien veel slib op de bodem aanwezig is, treedt bij gelijke condities een hogere concentratie op in de waterkolom dan wanneer weinig slib op de bodem aanwezig is.

Een veelgenoemd verschijnsel (bijv. Van Kessel et al., 2010) is dat de resuspensiesnelheid tijdens de eerste storm van het seizoen lager is dan tijdens de volgende storm. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat slib na verloop van tijd wordt omgewerkt in de zandige zeebodem en hierdoor minder makkelijk beschikbaar is voor resuspensie. Na de eerste storm zet het opgewervelde slib zich af op de bodem, dat tijdens een eerstvolgende storm veel makkelijker transporteerbaar is.

Naast fysische oorzaken voor de seizoensdynamiek van de slibconcentratie zijn er ook biologische oorzaken, met name wat betreft de organische fractie. In het voorjaar treedt algenbloei op waardoor de fractie organisch slib toeneemt. Anderzijds kan deze fractie door de aanwezigheid van organische plakstoffen vlokvorming stimuleren, waardoor het slib sneller bezinkt en de helderheid van de waterkolom toeneemt.

Evenmin als voor saliniteit treden er voor zwevend stof in het oog springende langjarige trends op. De variabiliteit tussen de jaren is groot en maskeert een eventueel aanwezige langjarige trend. Bij het opzetten van een model is het belangrijk om je bewust te zijn van de grote jaarlijkse variabiliteit in slibdynamiek. De berekende resultaten kunnen behoorlijk verschillen van jaar tot jaar.

Chlorofyll-a

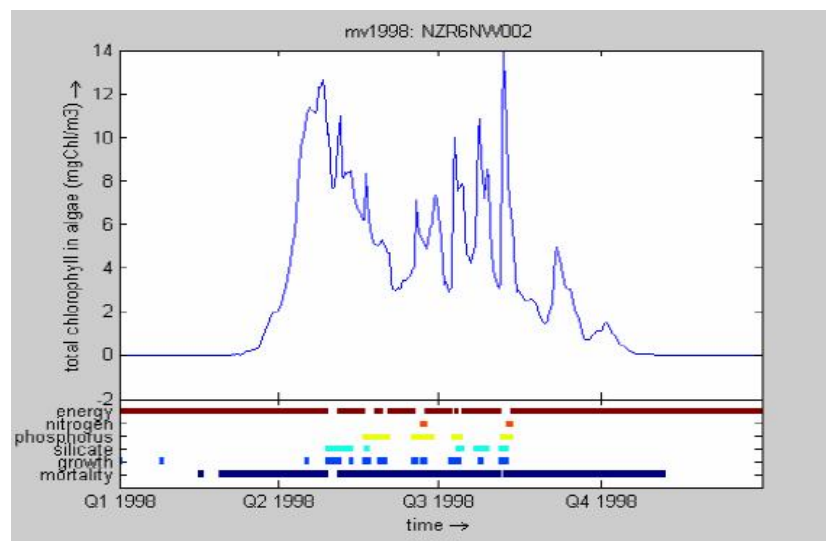
Chlorofylconcentratie worden onder andere gebruikt als proxy voor de primaire productie van fytoplankton als indicatie van de productiviteit van een gebied. Echter, chlorofylconcentraties zijn de netto resultante van de primaire productie op de gemeten plaats en transportprocessen. Dit kan betekenen dat ergens de primaire productie laag is, zoals dicht langs de Hollandse Kust, maar de chlorofylconcentraties relatief hoog zijn door aanvoer van fytoplankton uit andere gebieden en vice versa.

De mate van primaire productie zelf hangt af van de beschikbaarheid van nutriënten (de belangrijkste zijn N, P en Si en zonlicht. Als de gehalten aan opgeloste nutriënten (zeer) laag zijn, dan wordt de primaire productie waarschijnlijk begrensd door de beschikbaarheid van nutriënten. Lichtlimitatie van primaire productie treedt op als de hoeveelheid energie die beschikbaar is voor groei net genoeg is om de verliestermen (respiratie, sterfte, sedimentatie) te compenseren. Anders dan voor nutriënten geldt voor licht dat de beschikbaarheid sterk

varieert over de diepte (de lichtsterkte dooft exponentieel uit over diepte) en in de tijd (dag - nacht cyclus). De waarde van de lichtuitdovingscoëfficiënt wordt bepaald door de eigenschappen van het water en de daarin opgeloste stoffen, zoals slib. In de Noordzee bestaan er duidelijke ruimtelijke en temporele verschillen in de beschikbare hoeveelheden nutriënten en licht en daarmee in de limitaties van fytoplankton. In de Noordzee zijn deze twee karakteristieken in limitatie van primaire productie terug te zien:

- (1) Primaire productie is bijna het hele jaar licht gelimiteerd (van Prooijen et al., 2007). Dit leidt tot een sinus-achtig beeld van de algenbiomassa omdat deze wordt aangestuurd door de jaarlijkse cyclus van de instraling. Verlaging van zwevend stof in de zomermaanden en een verlaging van de bijdrage van zoet water in de zomer versterkt dit beeld.

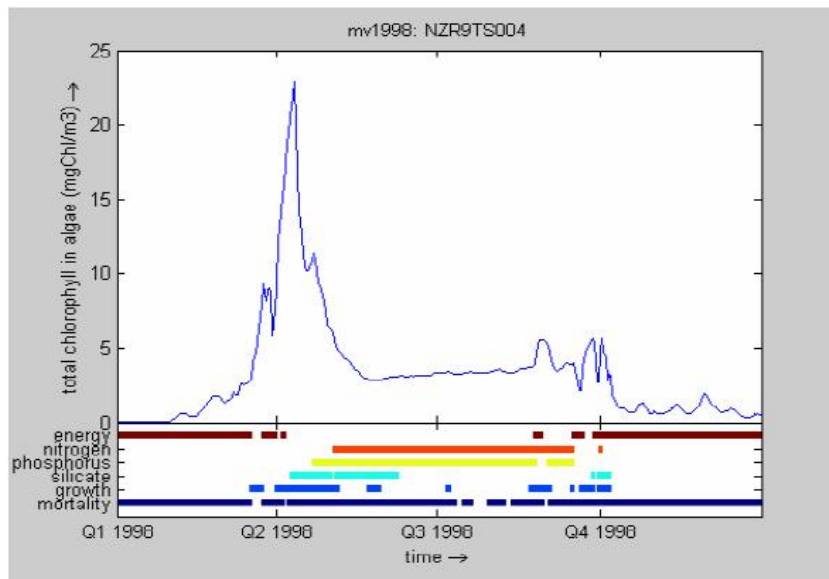
Noordwijk 2 km is een typisch voorbeeld van een dergelijke locatie. Echter, jaarlijkse fluctuaties in onder andere zwevend stof en instraling zorgen ervoor dat de lichtlimitatie het ene jaar dominanter is dan het andere jaar. Figuur 3.3 laat aan de hand van modelresultaten van Van Prooijen et al. (2007) zien hoe limitaties inwerken op chlorofylconcentraties.



Figuur 3.3 Chlorofylconcentratie (in $\mu\text{g/l}$) en limiterende factoren op station Noordwijk 2 km in 1998. Limiterende factoren: licht (bruin), stikstof (rood); fosfor (geel); silicium (licht blauw); groei (blauw); sterfte (donker blauw) (van Prooijen et al., 2007).

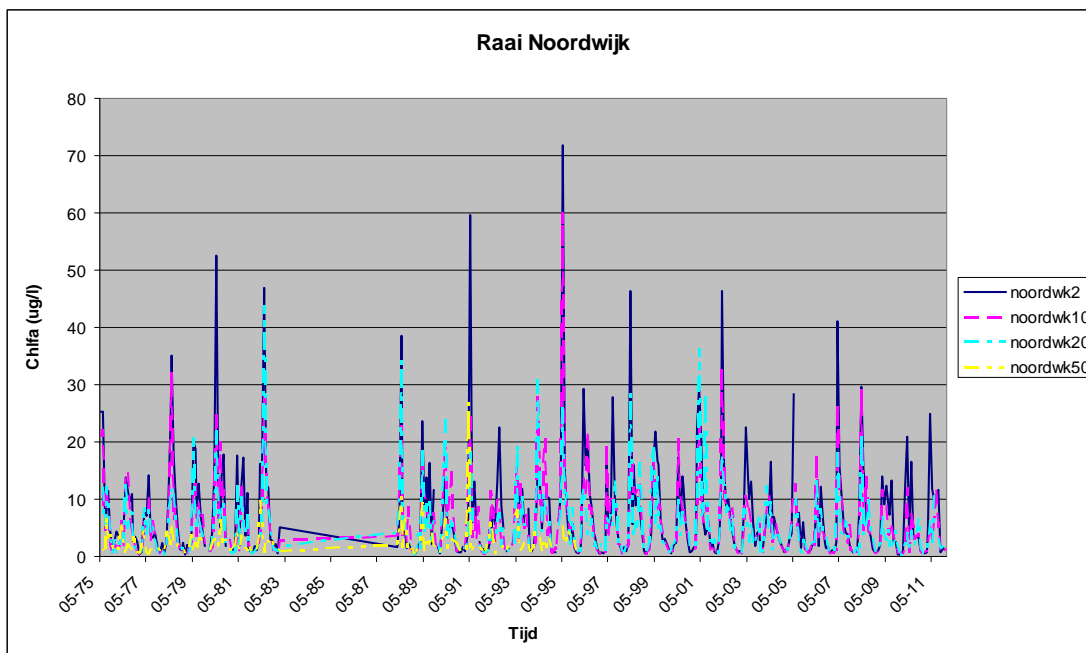
- (2) Primaire productie wordt in de zomer bepaald door de beschikbaarheid van nutriënten en voorjaar- en herfstniveaus worden mede bepaald door de lichtintensiteit.

Terschelling 4 km is een typisch voorbeeld van een dergelijke locatie. Wederom, door jaar tot jaar variaties in de sturende factoren van primaire productie is het ene jaar er duidelijk sprake van nutriëntlimitatie en in het andere jaar minder (Figuur 3.4).



Figuur 3.4 Chlorofyl concentratie (in $\mu\text{g/l}$) en limiterende factoren op station Terschelling 4 km in 1998. Limiterende factoren: licht (bruin), stikstof (rood); fosfor (geel); silicium (licht blauw); groei (blauw); sterfte (donker blauw) (van Prooijen et al., 2007).

Langjarige meetreeksen (Figuur 3.5 en Bijlage C.4) laten zien dat er een grote, natuurlijke variatie bestaat in chlorofylconcentraties tussen jaren. De hoogste concentraties komen meestal voor in de maanden april en mei: de voorjaarsbloei. De voorjaarsbloei ontstaat doordat er voldoende licht (energie) beschikbaar is, zodat licht niet langer beperkend is voor fytoplanktongroei. Wanneer nutriënten beperkend worden, daalt de chlorofylconcentratie weer.



Figuur 3.5 Gemeten chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) voor een aantal punten op de raai van Noordwijk voor de periode 1975 tot en met 2011.

Doordat nutriënten met name door rivieren worden aangevoerd, zijn over het algemeen de chlorofylconcentraties nabij de kust hoger dan verder zeewaarts, waar de nutriëntlimitatie dus sterker is. Verder zorgt de noordoostelijk gerichte reststroom ervoor dat nutriënten die door rivieren worden aangevoerd, langs de kust wordt getransporteerd.

3.4 NIOZ Lander

Door het NIOZ zijn hoogfrequente metingen beschikbaar gesteld van 4 sensoren voor 4 perioden in 2010. Periode 1 en 2 zijn vrijwel aaneengesloten en beslaan half maart tot en met april. Periode 3 en 4 sluiten ook aan en lopen van half september tot en met oktober. De gemeten parameters zijn: stroomsnelheid, temperatuur, saliniteit, zwevend stof concentratie en chlorofyl concentratie. Zie Bijlage D.1 voor de data bron en Bijlage D.2 voor een overzicht van gemeten parameters per sensor en de perioden waarin deze sensor heeft gemeten. Er volgt een bespreking van de metingen per parameter:

Opmerking vooraf: tijdens de vierde meetperiode is een visnet in de NIOZ-lander verstrikt geraakt (Blok 2012; VECTOR). Op 20 oktober om circa 10 uur heeft zich een gebeurtenis voorgedaan. Hierdoor zijn enkele metingen na dit voorval onbruikbaar geworden.

Stroomsnelheid en –richting

Metingen van stroomsnelheid en –richting zijn beschikbaar van de sensoren VECTOR en Aquadop. De VECTOR snelheidsmetingen zoals ontvangen van NIOZ zijn gecorrigeerd voor de 1^e en 2^e meetperiode voor een verschil in oriëntatie tussen de meetkop van de snelheidsmeter en het kompas (zie Blok 2012: VECTOR). De Aquadop metingen zijn gepresenteerd zoals aangeleverd door NIOZ.

De VECTOR snelheden zijn gemeten op 0,3 meter boven de bodem. De diepte waarop Aquadop is gemeten is aangenomen op 1,3 meter boven de bodem naar aanleiding van de foto in Bijlage D.3. De eenheid van de Aquadop snelheden is aangenomen als m/s.

De gekozen locatie van de VECTOR sensor op het Lander frame is ongelukkig voor het meten van stroomsnelheden en –richting. De stromingspatronen worden namelijk beïnvloed door de vorm van het frame en de daaraan bevestigde attributen (zie foto in Bijlage D.3). De Aquadop sensor hangt vrijer en zal hier naar verwachting minder last van hebben.

In Bijlage D.3 is per periode de snelheidscomponent in noordelijke richting (Vn) en in oostelijke richting (Ve) uitgezet voor de 2 sensoren. Het getijsignaal is duidelijk zichtbaar. Daarnaast meten beide sensoren duidelijk een hogere Vn dan Ve. Dit is conform verwachting. In de Nederlandse kustzone domineert de langsstroming de dwarsstroming. Gezien de oriëntatie van de kustlijn bij Egmond (orde 10% North) is de Vn redelijk representatief voor de langsstroming en de Ve voor de dwarsstroming.

De Aquadop snelheden zijn over het algemeen aanzienlijk hoger zijn dan de Vector snelheden. Dit lijkt logisch, namelijk uitgaande van een parabolisch snelheidsprofiel in de vertikaal verwacht je hogere snelheden Ve en Vn naarmate je hoger in de waterkolom meet (verder van de bodem).

Opvallend in periode 1 is dat de Aquadop Vn zijn zwaartepunt in de negatieve waarden heeft. Dit duidt op een netto restsnelheid van noord naar zuid. Dit is strijdig met de netto restsnelheid in noordelijke richting die je in de Nederlandse kustzone mag verwachten.

Periode 4 is voor beide sensoren erg rommelig in de tweede helft. Dit is als gevolg van het verstikt raken van het visnet. Hierdoor zijn de stroomsnelheid metingen vanaf 20 oktober om ongeveer 10 uur onbruikbaar geworden (zie Blok 2012: VECTOR).

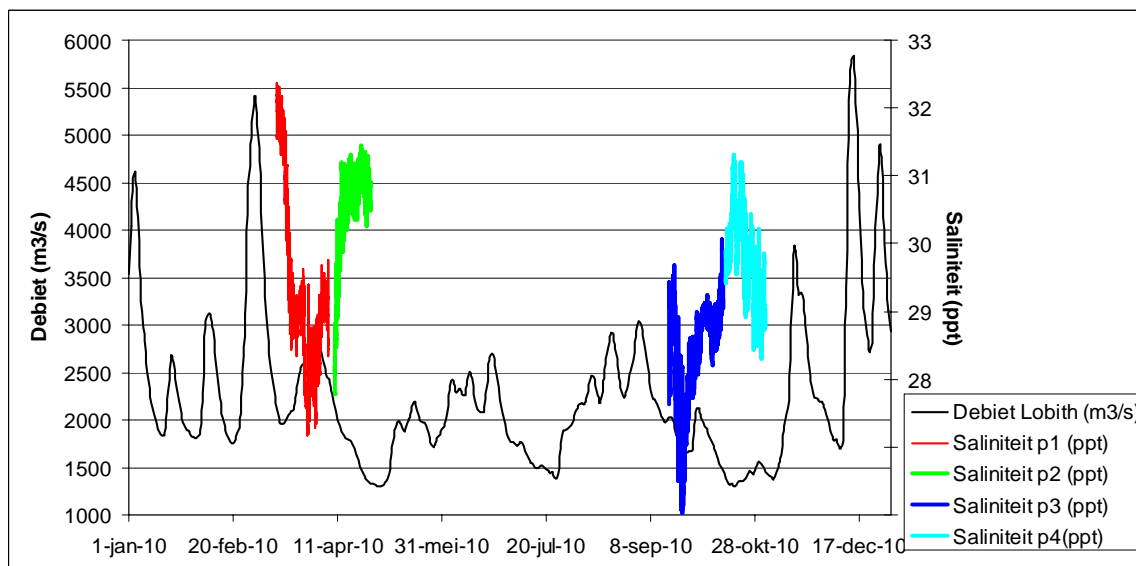
Een belangrijke conclusie is dat de 2 meetsets onderling niet consistent zijn. Voor de ene periode lijken de Vector metingen realistischer, voor een andere periode de Aquadop metingen. Gegeven de onzekerheid/onduidelijkheid in de snelheidsmetingen is op dit moment een vergelijking met modelberekeningen niet zinvol.

Waterstand

Een presentatie van de waterstanden zoals gemeten door de VECTOR sensor vindt u in Bijlage D.4. Voor meer info zie Blok 2012: VECTOR. Een springtij- doodtij cyclus is duidelijk te onderscheiden in periode 1 en 2. Periode 3 en 4 duiden op wat onstuimiger weer.

Saliniteit

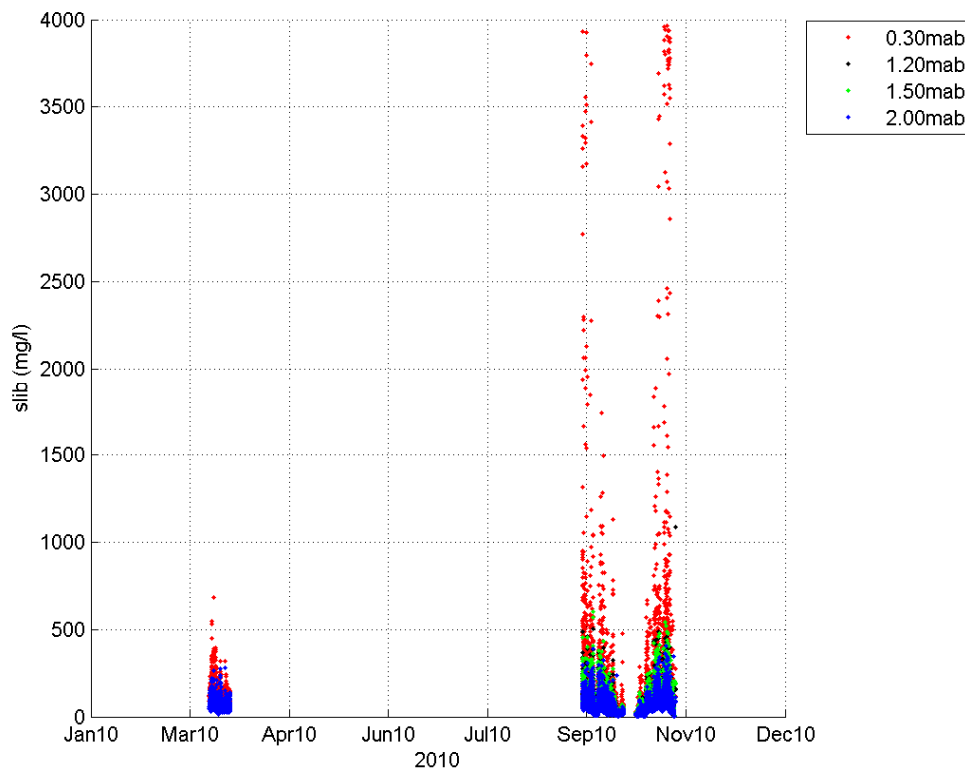
Een presentatie van de zoutgehalten zoals gemeten door de CTD sensor vindt u in Bijlage D.5. In maart neemt de saliniteit af van 32 tot 27 ppt, om in april weer toe te nemen tot 31 ppt. In september neemt de saliniteit af van 30 tot 26 ppt, om in oktober weer toe te nemen tot 31 ppt. Gezien de lokatie van het meetframe (in de kustrivier) zijn de saliniteitswaarden sterk gecorreleerd met de zoetwater afvoer van de rivieren. In Figuur 3.6 staat de daggemiddelde afvoer bij Lobith (m^3/s) in 2010 tegen de gemeten saliniteit door geplot. Na een periode van hoge zoetwaterafvoer zie je de saliniteit zakken en vice versa. Periode 1 toont een sterke dip in gemeten saliniteit na een periode van piekafvoer. De vertraging tussen debiet bij Lobith en het effect op de saliniteit bij Egmond valt te verklaren uit de reistijd van het zoete water tussen deze 2 lokaties.



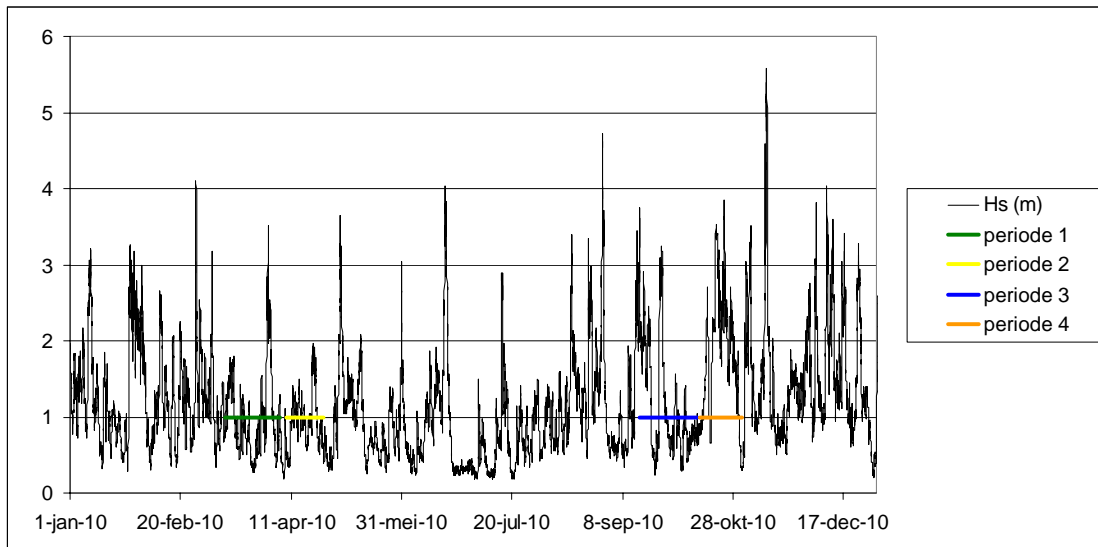
Figuur 3.6 Daggemiddelde afvoer bij Lobith (m^3/s) in 2010 en gemeten saliniteit door CTD aan Lander frame (~1.5 km uit de kust) in periode 1 t/m 4.

Zwevend stof (slib) concentratie

In Bijlage D.6 vindt u de hoogfrequente slibmetingen met de ALEC sensor op diverse waterdiepten. De gemeten slibconcentratie (Figuur 3.7) correleert sterk met de opgetreden golfhoogte (Figuur 3.8): zowel medio september als eind oktober treden de hoogste concentraties op, wanneer de significante golfhoogte gedurende langere tijd tussen 2 en 3.5 m is.



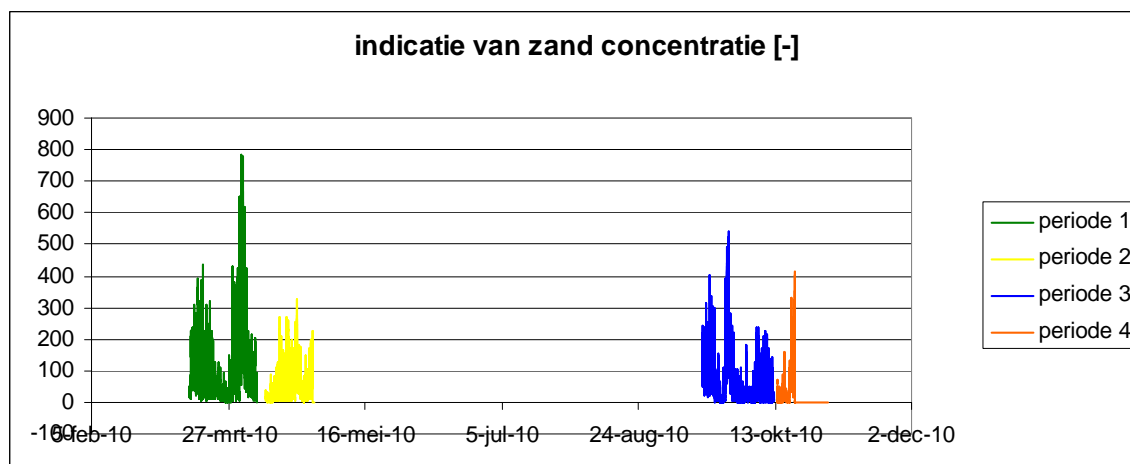
Figuur 3.7 Gemeten slibconcentratie met de ALEC op 0.3, 1.2, 1.5 en 2 m boven de bodem (mab).



Figuur 3.8 Opgetreden significante golfhoogte (m) bij munitiestortplaats IJmuiden in 2010.

Het is opvallend hoeveel hoger de troebelheid is op 30 cm boven de bodem ten opzichte van de troebelheid hoger in de waterkolom. Voor zand is een dergelijke gradiënt normaal, voor slib wordt gewoonlijk (in gematigde omstandigheden) een meer uniform profiel in de vertikaal waargenomen.

Met de VECTOR sensor zijn zandconcentraties geschat op basis van signaalamplitude op 0.3 meter boven de bodem (zie Figuur 3.9). De waarde daarvan is o.a. afhankelijk van de deeltjes concentratie in het meetvolume. Nortek geeft een formule voor het schatten van concentratie op basis van de signaal amplitude (Blok 2012: VECTOR). Deze concentraties zijn slechts indicatief, maar correleren zeer goed met de standaard deviatie van de gemeten druk bij de bodem. Dit is conform de verwachting, namelijk als er veel energie wordt aangeboden, komt veel materiaal in suspensie. Uit de schattingen blijkt inderdaad dat in de 3 bemeten ALEC perioden er relatief veel zand op 0.3 meter boven de bodem in waterkolom aanwezig is. Dit lijkt het vermoeden dat ALEC zand voor slib aanziet nabij de bodem te bevestigen.

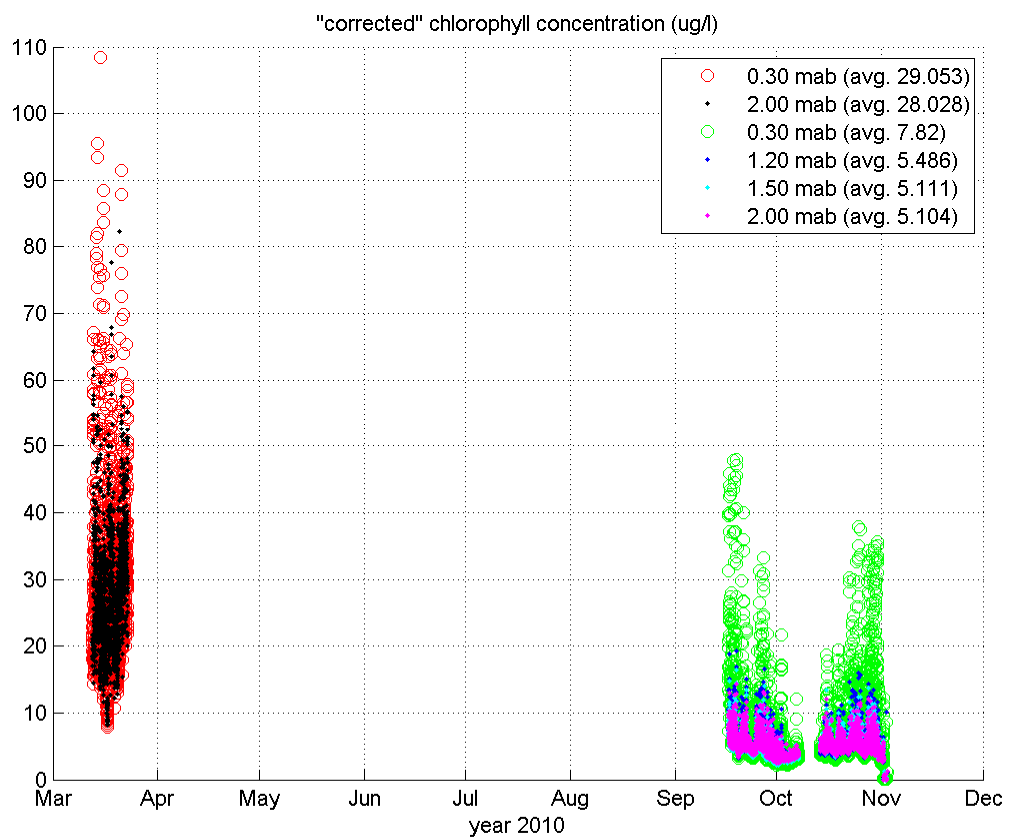


Figuur 3.9 Schatting van zand concentratie op basis van VECTOR metingen (Blok 2012: VECTOR).

De VECTOR meet acoustisch en reageert beter op zand. De ALEC is optisch en reageert meer op slib. Metingen met de LISST kunnen hopelijk verder uitsluitel geven over de samenstelling van het materiaal vlak boven de bodem. Deze metingen zijn voor huidige studie nog niet beschikbaar (zie Bijlage B). De verwachting is dat uit de LISST gegevens blijkt dat er veel zand (of grote slibvlokken) in het gemeten ALEC signaal nabij de bodem zit.

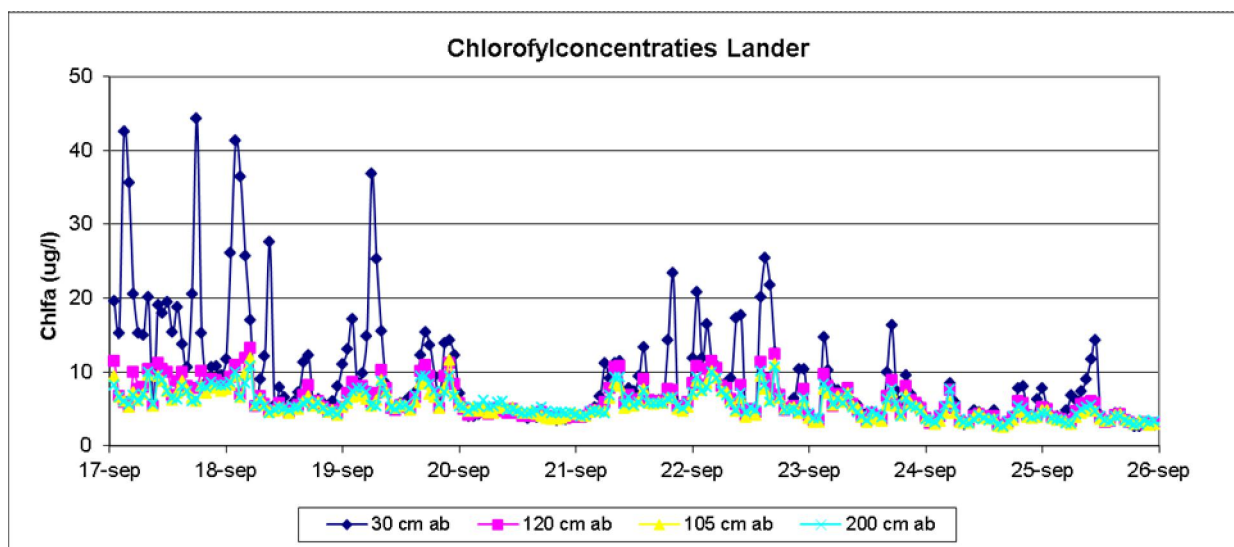
Chlorofyl concentratie

In Figuur 3.10 en Bijlage D.7 zijn de beschikbare chlorofylmetingen gemeten met de ALEC sensor aan het NIOZ Lander frame getoond. Opvallend is dat in maart de concentraties chlorofyl aanzienlijk hoger zijn dan in het najaar. Een logische verklaring is de voorjaarsbloei. Verder valt op dat hoe dichterbij het sediment, hoe hoger de chlorofylconcentraties.



Figuur 3.10 De beschikbare hoogfrequente chlorofylmetingen van het Landerframe. In maart twee verschillende diepte metingen beschikbaar (rode open cirkel voor 30 cm boven het sediment en een zwarte punt voor 200 cm boven het sediment). In het najaar is op vier verschillende hoogten gemeten: 30 cm (open groene cirkel), 120 cm (blauwe punt), 150 cm (turquoise punt) en 200 cm boven het sediment (rode punt).

Dag-nacht cyclus komt niet naar voren in de hoog-frequente metingen. Zoals eerder aangegeven is chlorofylconcentratie een netto resultante van primaire productie en *transport*. In deze metingen is dus het effect van transport op de gemeten chlorofylconcentraties duidelijk zichtbaar waarbij de getijde-bewegingen van belang zijn (zie onderstaande subparagraaf).



Figuur 3.11 Uitlichting van chlorofylconcentraties in de periode 17/09/2010 tot en met 25/09/2010.

De beschikbare MWTL data van Egmond 1 km uit de kust (beschikbaar van 1975 tot en met 1983) toont structureel lagere chlorofyl concentraties dan de hoogfrequente data in met name het voorjaar (zie Figuur 3.12). De hoge chlorofylconcentraties suggereren een zeer hoge voorjaarsbloei. Echter, de historische MWTL data laten zien dat de voorjaarsbloei nabij Egmond als regel vanaf april en meestal pas in mei plaats vindt (Figuur 3.14).

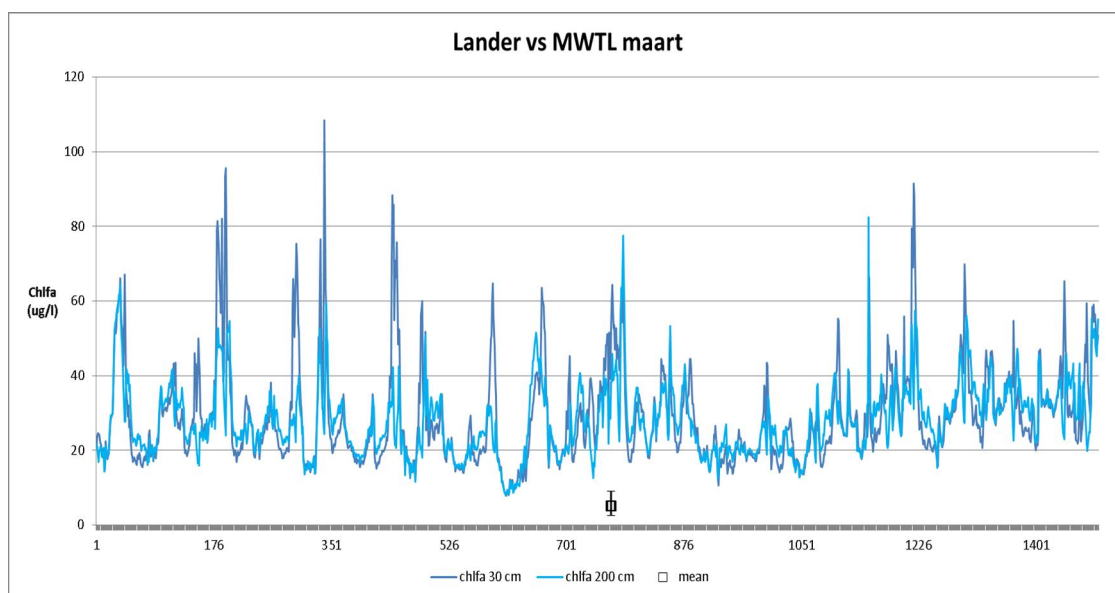
Verder houden hoge chlorofylconcentraties ook in dat er voldoende nutriënten beschikbaar moeten zijn. In maart kan men veronderstellen dat diatomeeën en *Phaeocystis* aanwezig zijn, met elk een eigen nutriënt:chlfa ratio. Wanneer men uitgaat van een 50%-50% verdeling van deze algensoorten, dan betekent dit dat bij een chlorofylconcentratie van 90 µg chl/l, er, detritus vorming in acht nemend, zo'n 1,4 mgN/l en 0,16 mgP/l aanwezig moet zijn in algen en hun restproducten. In de beschikbare MWTL data van Egmond 1 km uit de kust worden voor N en P de volgende Maart-gemiddelde concentraties (mg/l) gevonden:

Totaal N	1,41
Nitraat	0,89
Ammonium	0,17
Totaal P	0,16
Opgelost P	0,08

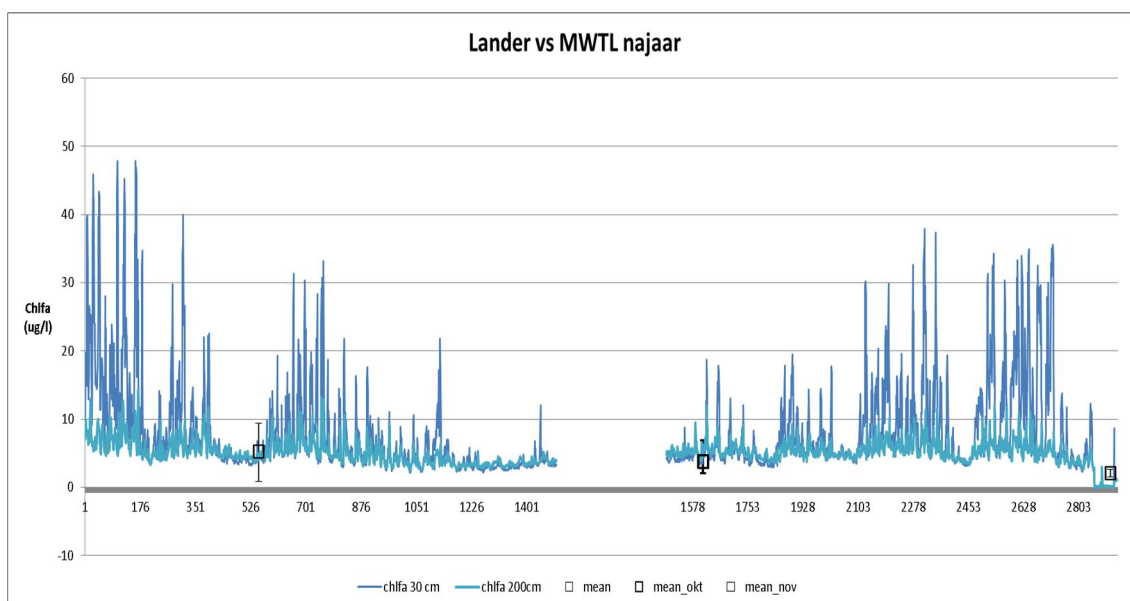
Dit betekent dat er hooguit 0,35 mgN/l en 0,08 mgP/l in algen en hun restproducten kan zitten. Dit is fors minder dan de benodigde 1,4 mgN/l en 0,16 mgP/l concentraties om 90 µg chl/l te kunnen maken. Nu is het wel zo dat MWTL data worden bemonsterd in de bovenste halve meter van de waterkolom, maar nabij de Nederlandse kust kan men uitgaan van een redelijk goed gemengde waterkolom, de hoeveelheid verticale variatie in stofconcentraties die nodig is om in de diepere waterlagen bijvoorbeeld stikstofconcentraties van 1.0 mgN/l aan te treffen lijkt onaannemelijk.

Voor de najaarsmetingen is het beeld minder extreem. De MWTL meetdata liggen op de ondergrens van de hoogfrequente metingen. De errorbars geven wel weer dat de hoge chlorofylconcentraties gemeten met het Landerframe, niet voorkomen in de MWTL data (Figuur 3.13).

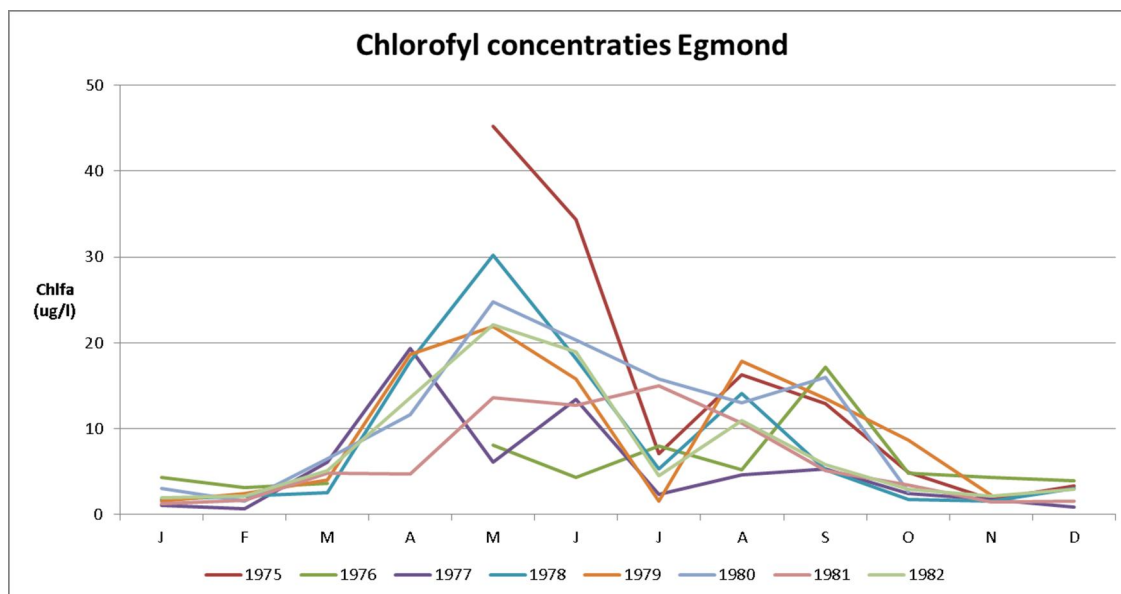
Bovenstaande leidt tot de vraag hoe betrouwbaar de verschillende datasets zijn en hoe goed deze te vergelijken zijn. Omdat het GEM model is gekalibreerd op MWTL data om zo de waterkwaliteit in de Nederlandse kustzone goed te kunnen simuleren, is het essentieel te weten hoe de Lander data zich verhouden tot de MWTL data voordat er op Lander data gekalibreerd kan worden zonder elders verslechtingen (getoetst aan MWTL data) in het model te krijgen.



Figuur 3.12 Vergelijking hoogfrequente chlorofylmetingen (Landerframe) met gemiddelde MWTL chlorofylmetingen in de periode 12 maart tot en met 22 maart voor de jaren 1975 tot en met 1983 in Egmond 1 km uit de kust.



Figuur 3.13 Vergelijking hoogfrequente chlorofylmetingen (Landerframe) met gemiddelde MWTL chlorofylmetingen in de periode 16 september tot en met 2 november voor de jaren 1975 tot en met 1983 in Egmond 1 km uit de kust.



Figuur 3.14 MWTL chlorofyl-a concentraties ($\mu\text{g/l}$) per maand voor de beschikbare periode.

Periodiciteitanalyse slib en chlorofyl

De uurgemiddelde slib en chlorofyl concentraties zoals gemeten door de ALEC sensor zijn onderworpen aan een wavelet analyse. Dit is een methode waarmee zowel de frequentie (periodiciteit) als de timing van een fluctuatie in een gemeten signaal geanalyseerd kan worden. De resultaten staan gepresenteerd in Bijlage D.8. De gepresenteerde resultaten zijn representatief voor de onderste 2 meter van de waterkolom welke gemiddeld zo'n 10 a 11 meter bedraagt (zie Bijlage D.4). Voor een meer gedetailleerde beschrijving van deze methode en resultaten hiervan elders in de Noordzee verwijzen we naar Blauw et al (in press).

De 3 gemeten tijdseries (panels A) omvatten zowel perioden met sterke fluctuaties in concentratie als perioden met minder sterke fluctuaties. De wavelet power spectra (panels B, D, F en H) laten zien wanneer significante periodiciteit optreedt (tijd langs de x-as) en wat de karakteristieke periode is van die periodiciteit (periode langs de y-as). Significante periodiciteit wordt in deze power spectra weergegeven als hoge power (rode kleur) met een zwarte lijn eromheen. De global power spectra (panels C, E, G en I) vatten de power spectra over de gehele meetperiode samen. Als de power bij een bepaalde periode hoger is dan de stippellijn dan is de periodiciteit bij die periode significant. Voor zowel slib als chlorofyl worden significante periodiciteiten gevonden van 6 uur 12 min en 12 uur 25 min. Het moment in de tijd waarop de periodiciteit zich manifesteert, is consistent over de bemeeten waterdiepten.

Deze 6-uurlijkse en 12-uurlijkse periodiciteit worden veroorzaakt door het semi-diurnale getij wat kenmerkend is voor de Noordzee. Enerzijds zorgt dit voor een horizontale verplaatsing van watermassa's met een periodiciteit van 12 uur en 25 minuten. Algen en slib worden zo heen en weer verplaatst rondom een vast meetpunt. Anderzijds, genereert deze horizontale beweging van watermassa's variërende stroomsnelheden en daaraan gekoppeld meer of minder menging. Dit "tidal mixing" fenomeen heeft een periodiciteit van 6 uur en 12 minuten. Bij grote getij stroomsnelheden neemt de beweging naar boven (mixing in de vertikaal) van slib en chlorofyl toe. Bij lage getijsnelheden zakken de deeltjes weer uit naar de bodem. In de meeste gevallen is de 6-uurlijkse periodiciteit sterker nabij de bodem, dan hoger in de waterkolom.

3.5 MEDUSA

De Medusa-metingen zijn uitgebreid gerapporteerd in De Vries (2011). Bijlage E geeft een overzicht van de gevaren raaien en het op een zestal tijdstippen bepaalde slibgehalte in de bodem. Ook is het verband getoond tussen het gemeten slibgehalte en de voorafgaand aan de meting opgetreden golfhoogte.

Tijdens de Medusa-metingen zijn ook 44 boxcores genomen om het slibgehalte onafhankelijk te bepalen. Slibgehalten in de bodem nabij Egmond zijn laag. Gebiedsgemiddeld variëren ze tussen circa 0.5 en 2%. Het slibgehalte is bovendien afhankelijk van het tijdstip van meting.

Deze data kan worden gebruikt om de met het slibmodel berekende slibgehalte in de bodem als functie van plaats en tijd te valideren.

3.6 Eindbeschouwing

De nieuwe metingen bij Egmond beschreven als de NIOZ Lander data vormen een belangrijke aanvulling op de reeds bestaande data. De beschikbare meetperiodes bieden een rijk palet aan condities: spring/doodtij; rustig/stormachtig weer; veel/weinig zoetwaterafvoer). In alle 4 perioden komen golven voor van meer dan 3.5 m (Figuur 3.8). De tweemaandelijks perioden zijn bovendien voldoende lang om de invloed van de springtij-doodtij cyclus goed in beeld te brengen. Kortom, de beschikbare meetperiodes bieden een rijk palet aan condities (spring/doodtij; rustig/stormachtig weer; veel/weinig zoetwaterafvoer). Dit vergroot de betrouwbaarheid van de modelkalibratie.

Voor de modelstudie zullen we maken van de volgende data:

- MWTL beschikbare metingen van zwevend stof en chlorofyl voor 2009 en 2010.
- NIOZ Lander: we maken gebruik van de data aangegeven in onderstaande Tabel 3.1 en Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Overzicht van de NIOZ Lander meetgegevens per sensor welke gebruikt zullen worden in de modelstudie

sensor	mab	parameter	periode1	periode 2	periode 3	periode 4
ALEC	0,3	slib (mg/l); chlorofyll (ug/l), temperatuur (degr C)				
	1,2	"				
	1,5	"				
	2,0	"				
CTD	?	saliniteit (ppt) en temperatuur (degr C)				

Tabel 3.2 Data behorende bij de meetperioden in bovenstaande tabel.

	ALEC		CTD	
periode 1	12-03-2010	- 23-03-2010	12-03-2010	- 06-04-2010
periode 2			09-04-2010	- 26-04-2010
periode 3	16-09-2010	- 07-10-2010	16-09-2010	- 12-10-2010
periode 4	13-10-2010	- 02-11-2010	13-10-2010	- 01-11-2010

- Slibpercentages in de bodem zoals bepaald door MEDUSA en in de analyse van de 31 bodemonsters als onderdeel van deze studie (zie paragraaf 1.2)

4 Beschrijving van het BASIS model

4.1 Definitie basismodel

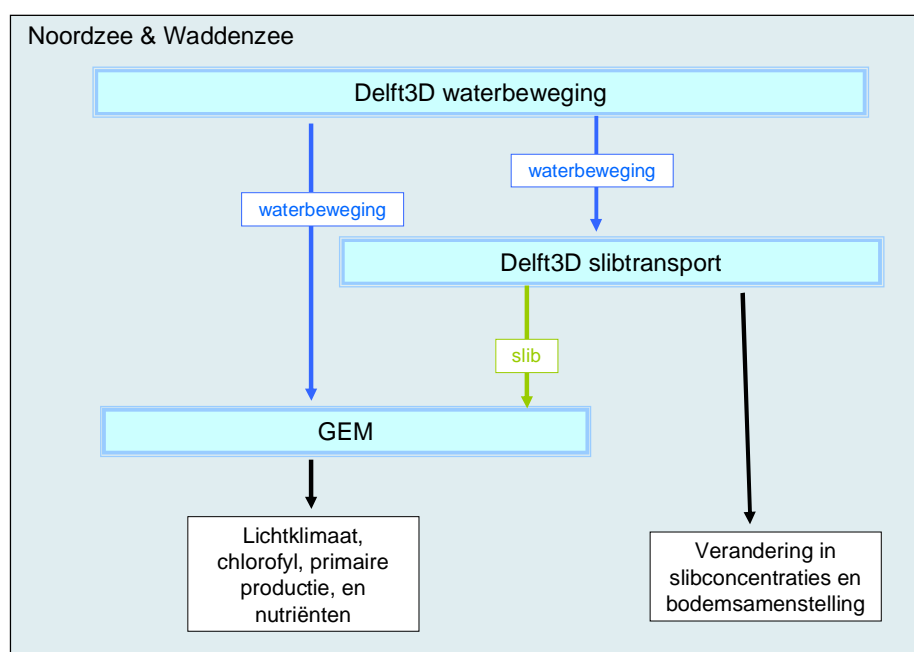
Het bestaande (meest recente, state-of-the-art) modelinstrumentarium voor het berekenen van waterbeweging, slibtransport- en GEM model voor de Noordzee en Waddenzee wordt in de huidige studie het **basismodel** genoemd. Het modelinstrumentarium is reeds gebruikt in een aantal eerdere studies zoals 'MoS²' (Blaas et al., 2012) en 'Cadmium' (Oeveren-Theeuwes et al., 2011 en Van Kessel et al., 2012) en meest recentelijk de MER-zandwinning 2013-2017 (Keetels et al., 2012). Tijdens elke studie wordt het model verder aangepast en verbeterd, zo ook in deze studie. Het basismodel betreft het MER-zandwinning "model" met enkele aanpassingen (zie paragraaf 4.2) en ingezet voor de jaren 2009 en 2010.

4.2 Uitbreidingen / aanpassingen tov MER zandwinning

De belangrijkste uitbreiding van het basis model ten opzichte van MER-zandwinning zit in een aanpassing van de modelschematisatie (zie paragraaf 4.3). Daarnaast is voor het slib en GEM transportmodel het fijne rooster 2x2 geaggregeerd, waardoor de resolutie tussen fijn en medium weer gelijk is.

4.3 De modellentrein

Het slibtransport - en GEM model bestaat uit een combinatie van 3 numerieke modellen waarbij de uitvoer van een model als invoer van een volgend model dient. Er wordt eerst een waterbewegingsmodel gebruikt om de transportvelden te berekenen. De transportvelden worden daarna gebruikt om slibtransporten te bepalen, waarna nutriëntconcentraties en primaire productie worden berekend met behulp van de transport- en slibvelden. Een schematisatie van de relaties tussen de verschillende modellen is in Figuur 4.1 gegeven.



Figuur 4.1 Relaties en uitvoer van de numerieke modellen gebruikt om slibtransport en de primaire productie in de zuidelijke Noordzee en Waddenzee te berekenen.

Er volgt per model een beknopte beschrijving.

4.4 Het waterbewegingsmodel

Het waterbewegingsmodel wordt gebruikt om de transportpatronen te berekenen die het transport van slib en nutriënten bepalen. Het model is gebaseerd op het Delft3D-FLOW software systeem. Delft3D-FLOW is een drie-dimensionaal hydrodynamisch computermodeelpakket dat transportvelden in tijd en ruimte als gevolg van getij, wind, en rivierlozingen berekent. Er is gerekend met Delft3D-FLOW executable versie 4.00.03.69M van 14-07-2011.

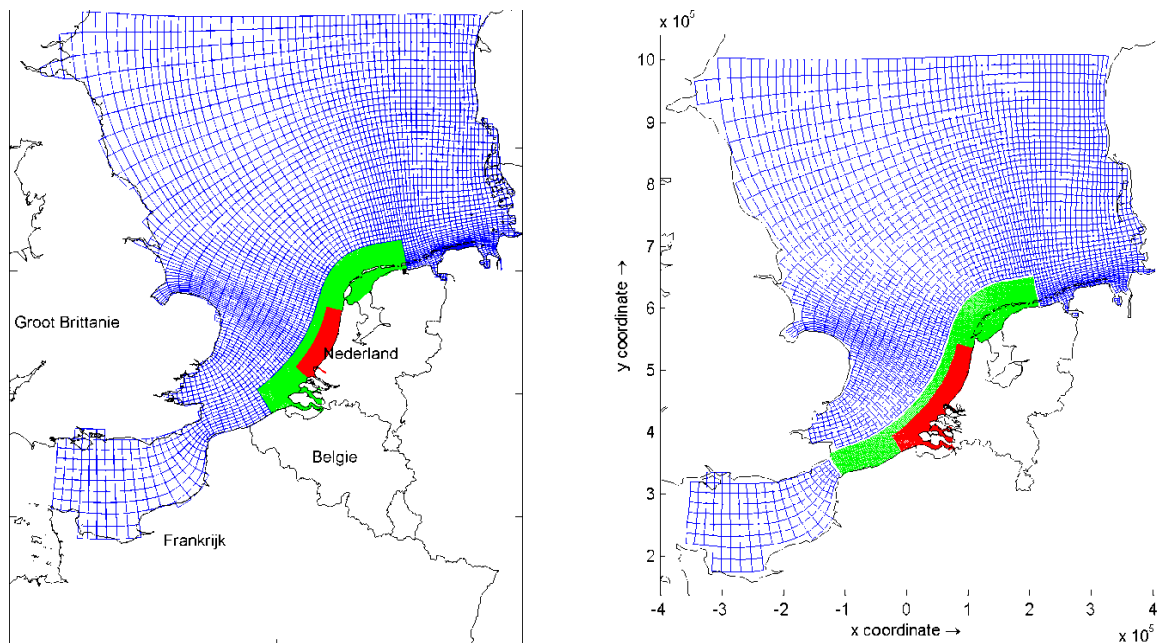
Voor de waterbewegingsberekeningen wordt gebruik gemaakt van een modelschematisatie van de gehele Zuidelijke Noordzee (ZUNO) zoals gebruikt in het MoS²II project (Blaas et al., 2012), zie Figuur 4.2 en Figuur 4.3. Merk op dat de modelschematisatie enkel Maasvlakte 1 bevat. Er is in de model schematisatie geen rekening gehouden met de realisatie van Maasvlakte 2 welke loopt van 2008-2012.

Het model maakt gebruik van “domein decompositie” (DD), waarin roosterdomeinen van verschillende horizontale resoluties tegelijk gebruikt kunnen worden, wat een gunstige invloed heeft op de rekentijd. De opzet die in de huidige studie is gebruikt wordt ZUNO-DD genoemd en maakt gebruik van 3 rekendomeinen: grof, medium en fijn. Het rooster voor de Hollandse kust heeft de hoogste resolutie, terwijl op dieper water de roosterresolutie lager is. Karakteristieke roosterafstanden zijn 850 m kustlangs en 300 m kustdwars.

Binnen MoS²II is een aanpassing doorgevoerd in de modelschematisatie zoals gebruikt bij MER zandwinning. Het fijne domein is verder doorgetrokken richting het Kanaal, aangegeven door het rode domein in Figuur 4.4. Hiermee valt het zandwinningsgebied binnen het fijne domein en is een betere weergave van de dichtheidsgradiënten bij de zuidwestelijke delta gerealiseerd.

Figuur 4.2 Modelschematisatie ZUNO-DD overall

Figuur 4.3 Modelschematisatie ZUNO-DD detail.



Figuur 4.4 ZUNO-DD modelschematisatie. Links: MER zandwinning. Rechts: huidige studie.

Net als in MER zandwinning heeft het waterbewegingsmodel 12 σ -lagen. De verdeling is zoals aangegeven in Tabel 4.1:

Tabel 4.1 Relatieve verdeling van σ -lagen in de verticaal.

laag	(oppervlak) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	(bodem) 12
Realtieve dikte (%)	4.0	5.6	7.8	10.8	10.9	10.9	10.9	10.9	10.8	7.8	5.6	4.0

Binnen de MER zandwinning (Keetels et al., 2012) is het model gekalibreerd en gevalideerd voor het jaar 2007 met betrekking tot:

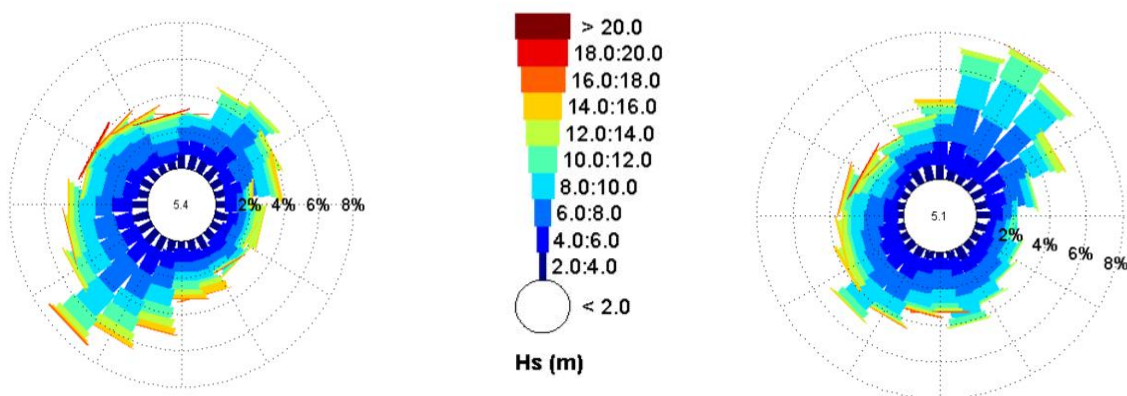
- Waterstanden in de Noordzee, de Nederlandse kustzone en de Waddenzee,
- De (rest)debieten door het Marsdiep,
- Saliniteit in de Nederlandse Kustzone (Noordwijk) en in de Waddenzee (Marsdiep en Vliestroom),
- De temperatuur in de Noordzee (Schiermonnikoog),
- De restdebieten door het kanaal.

Waterstanden, saliniteit, debiet door het Marsdiep en temperatuur zijn vergeleken met metingen. Het restdebiet door het kanaal is vergeleken met wat, naar huidig inzicht, het jaargemiddelde restdebiet door het kanaal is.

Binnen de MER zandwinning is voor het jaar 2007 gekozen omdat zowel voor de wincondities als voor de rivierafvoeren 2007 als een gemiddeld jaar beschouwd kan worden.

Voor de huidige studie worden de jaren 2009 en 2010 gesimuleerd. De forcering van het waterbewegingsmodel zijn aangepast voor deze jaren. Het betreft meteorologische forceringen zoals wind en temperatuur gerelateerde grootheden. Deze worden ruimtelijk variabel voorgeschreven (HIRLAM gegevens van het KNMI). Eveneens zijn de zoetwater rivier debieten aangepast voor 2009 en 2010. De bodem en astronomische forcering op zuidelijke en noordelijke waterstandsranden zijn identiek.

Belangrijk om op te merken is dat de wind in de 1^e helft van 2010 sterk afwijkt van een langjarig gemiddelde windconditie waarin de overheersende windrichting in Nederland en de daaraan grenzende Noordzee in het algemeen Zuidwest is. In de 1e helft 2010 geldt een overwegend Noordoostelijke windrichting, zie Figuur 4.5.



Figuur 4.5 Windroos voor de 1^e helft 2009 (links) en 1^e helft 2010 (rechts)

4.5 Het slibtransportmodel, ook wel slibmodel

De slibconcentraties worden berekend met behulp van de Delft3D-WAQ software. Dit model maakt gebruik van de transportvelden berekend door het waterbewegingsmodel om het transport van slibdeeltjes te berekenen. Onder invloed van de zwaartekracht kunnen de deeltjes op de bodem bezinken, maar ze kunnen ook als gevolg van de combinatie van stromingen, golven en wind opwervelen, waarna ze onder invloed van stromingen verder getransporteerd kunnen worden. Het model wordt gebruikt om de slibconcentraties in de waterkolom en de zeebodem in de zuidelijke Noordzee en de Waddenzee te berekenen.

Onderdeel van het slibmodel vormt de tijdelijke opslag (buffering) van slib in de zeebodem. Een beschrijving van het slib buffermodel vindt u in Van Kessel et al., 2010. Voor een beknopte beschrijving van het slibbuffermodel zie Bijlage A (in het engels). De belangrijkste parameters settings voor het slibtransport model staan samengevat in Tabel 4.2. Dit zijn de dezelfde settings als gebruikt tijdens het MER zandwinning 2007-2013 project en reproduceren momenteel het best de beschikbare waarnemingen van slibconcentraties. In de MER zandwinning settings zijn de resultaten van de Cadmium studies (bijv. van Kessel et al, 2012), waarin een langjarige meetreeks van Cadmium is gebruikt om het verspreidingsgedrag van slib te kalibreren, opgenomen.

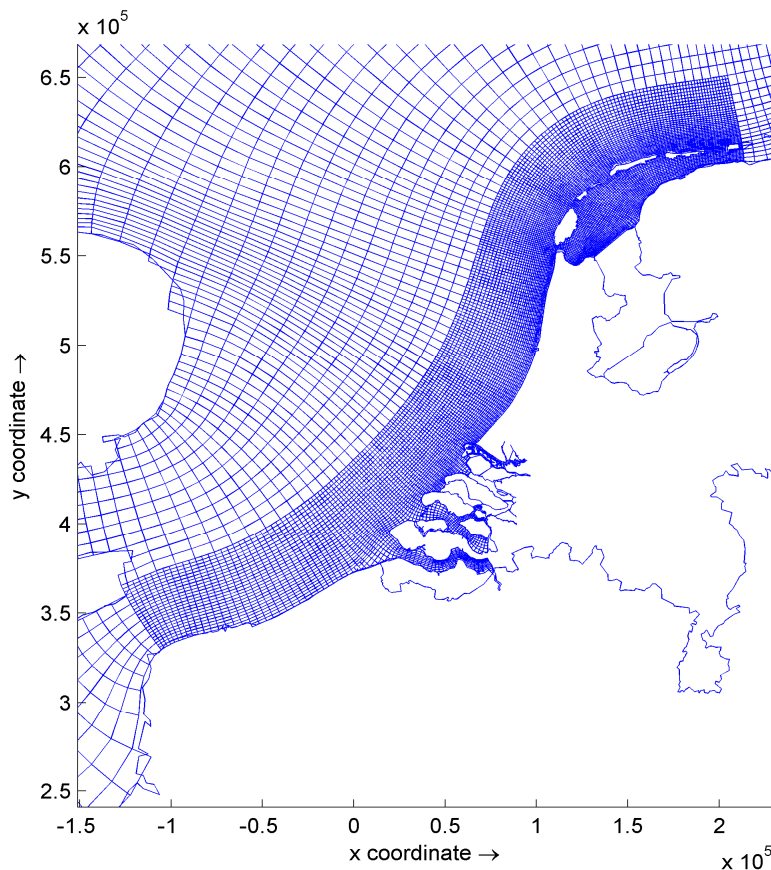
Tabel 4.2 Modelcoëfficiënten voor de referentie berekeningen

Parameter	Referentie	Eenheid	Beschrijving
TauShields τ_{Sh}	1.5	N/m ²	Shields shear stress for resuspension
ThickS ₂	0.3	m	thickness of buffer layer (layer S ₂)
FactResPup	3.5 * 10 ⁻⁸	[-]	Van Rijn (1993) pickup factor from buffer layer [-]
VsedIM1	1.08 * 10 ¹	m/d	sedimentation velocity of fraction IM1
VsedIM2	8.64 * 10 ¹	m/d	sedimentation velocity of fraction IM2
VsedIM3	0.1	m/d	sedimentation velocity of fraction IM3
FrIMXSedS ₂ (α)	2.0 * 10 ⁻¹	[-]	fraction of sedimentation towards S ₂ , for IM1, IM2 and IM3
FrTIMS ₂ Max	1.00	[-]	maximum fraction of total inorganic matter in layer S ₂
ZResIMX Z_{R,IM_i}	8.64*10 ³	g m ⁻² d ⁻¹	Zero-order resuspension rate from layer S ₁ (same for IM1, IM2 and IM3)
VResIM1	5 * 10 ⁻²	d ⁻¹	First order resuspension rate of IM1 from layer S ₁
VResIM2	5 * 10 ⁻²	d ⁻¹	First order resuspension rate of IM2 from layer S ₁
VResIM3	5.0*10 ⁻²	d ⁻¹	First order resuspension rate of IM3 from layer S ₁
TaucRS1IM1,2 τ_{cR,S_j,IM_i}	0.1	N/m ²	critical shear stress for resuspension from top layer, IM1 (same for IM2)
TaucRS1IM3 τ_{cR,S_j,IM_i}	1 * 10 ⁻¹	N/m ²	critical shear stress for resuspension from top layer, IM1 (same for IM2)
Rough	1.0*10 ⁻³	m	Nikuradse roughness length scale
Manncoef	2.4 * 10 ⁻²	m ^{1/3} s	Manning coefficient
SwChezy	2		
SwTauVeloc	2		
SwTau	N/A		
Psedmin	0.1	[-]	depositiekans

Alle overige parameter settings zijn hetzelfde als in de MER zandwinning 2007-2013. De instellingen voor de bufferlaag uit de Cadmium projecten (Oeveren-Theeuwes 2011 en Van Kessel 2012) zijn dusdanig aangepast in MER zandwinning dat de buffercapaciteit van deze laag (d.w.z. laagdikte en evenwichtspercentage slib) en de uitwisselingssnelheid van deze laag met de waterkolom (d.w.z. gemiddelde verblijftijd) gelijk zijn aan de referentie-instellingen voor de studie naar de verspreiding van Cadmium.

De instellingen in Cadmium en MER zandwinning zijn echter niet hetzelfde, aangezien in MER zandwinning de parameter settings verder aangepast zijn om meer slib naar de Waddenzee te krijgen (met behoud van buffercapaciteit). Voor een beschrijving van het basismodel wordt verwezen naar Keetels et al. (2012). De versie van de Delft3D-WAQ executable die is gebruikt voor de simulaties is versie 4.5212 van datum 16-04-2012.

In het slibtransportmodel is het fijne rooster 2x2 geaggregeerd, waardoor de resolutie tussen fijn en medium weer gelijk is (zie Figuur 4.6). Dit is anders dan in MER zandwinning, waarin met ongeaggregeerde velden is gerekend.



Figuur 4.6 Geaggregeerd Delft3D-WAQ rooster.

De extensie van het fijne domein en de 2x2 aggregatie heeft geresulteerd in een toename van 15220 actieve rekencellen in de waterkolom naar een totaal van 160536. Net als in de MER zandwinning is gerekend met rekenschema 12 en een integratie tijdstap van 10 minuten.

Het slibmodel is gekalibreerd om de gemeten slibconcentraties en bodemsamenstelling langs de Nederlandse kust en in de Waddenzee zo goed mogelijk weer te geven. Een beschrijving van deze kalibratie en verificatie vindt u in Keetels et al., 2012.

Conform voorgaande studies wordt het model geforceerd op de open Kanaal en noordelijke rand geforceerd met klimatologische zwevend stof concentraties. Ook de zwevend stof concentraties welke via rivieren het systeem binnenkomen zijn klimatologieen. Toevoer van zwevend stof door kliferosie is afgeleid van zwevend stof erosie fluxen zoals beschreven in literatuur (van Kessel and Briere, 2006; Gayer et al., 2006).

Bodemschuifspanning door golven

Golven spelen een belangrijke rol in het opwervelen van slib. De sturende parameter is de bodemschuifspanning opgewekt door golven. Om de ruimtelijk en temporeel variërende impact van golven op de resuspensie van slib te kunnen modeleren, zonder specifiek hiervoor een geavanceerd golven model te hoeven draaien, is gebruik gemaakt van een data-assimilatie techniek. Deze methode is ook succesvol toegepast in eerdere studies (Oeveren-Theeuwes 2011; Van Kessel et al., 2012; Keetels et al., 2012). De methode maakt gebruik van jaargemiddelde ruimtelijke patronen van significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode berekent met het Delft3D-WAVE model op een ZUNO-grof rooster voor 2003 (Booij et al., 1999; Ris et al., 1999). Door middel van data assimilatie met tijdseries van MWTL golfboei data voor 2009 en 2010 worden de ruimtelijke golfvelden geactualiseerd naar deze jaren volgende de methode van Van Prooijen et al. (2006). Vervolgens worden deze waarden geïnterpoleerd naar het fijnere ZUNO-DD rooster. De uiteindelijke bodemschuifspanning opgewekt door golven wordt berekend op basis van deze golfparameters volgens de formulering van Swart (1974).

4.6 Het nutriënttransport en primaire productie model GEM

Het GEM (Generisch Ecologisch Model) Noordzee model is ontwikkeld op basis van Delft3D-ECO. Dit model beschrijft het stoftransport, de nutriënten- en zuurstofhuishouding, de primaire productie, chlorofyl, samenstelling van het fytoplankton en het onderwater lichtklimaat. Het model maakt hierbij gebruik van transportvelden uit het waterbewegingsmodel en velden van slibconcentraties in de waterkolom uit het hierboven omschreven slibmodel.

De volgende modelaanpassingen zijn doorgevoerd tov de MER zandwinning studie:

Horizontale en verticale dispersie

Wanneer GEM op een grover grid wordt gedraaid dan de hydrodynamica, moet er in GEM extra horizontale dispersie worden toegevoegd. De koppeling tussen Delft3D-Flow en GEM zorgt ervoor dat de verticale uitwisseling te laag is. Om realistische waarden aan de verticale uitwisseling in het grid aan GEM te geven, worden de door Flow berekende verticale diffusie coëfficiënten met 5.0 vermenigvuldigd, met een ondergrens van de verticale dispersie van $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (zoals ook in de MER zandwinning is toegepast). Deze correctie speelt met name een rol in gestratificeerde zones zoals de Oestergronden.

Rivier randen

In tegenstelling tot de MER Zandwinning waarin de 18 grootste rivierlozingen zijn meegenomen, zijn in onderhavige studie 85 rivieren meegenomen. Verder wordt in deze studie de lozingen in het hydrodynamisch model op de bovenste segmentlaag geloosd.. De vrachten van opgeloste stoffen zoals nutriënten worden apart gespecificeerd voor alle

lozingen. Hierbij is gebruik gemaakt van CEFAS en Waterbase data. Omdat de CEFAS database gegevens bevat tot en met 2009, zijn deze lozingen overgenomen voor 2010. Voor de Nederlandse rivieren, waarvan de data over stoflozingen afkomstig zijn van Waterbase, zijn in 2010 wel de gegevens voor 2010 gebruikt.

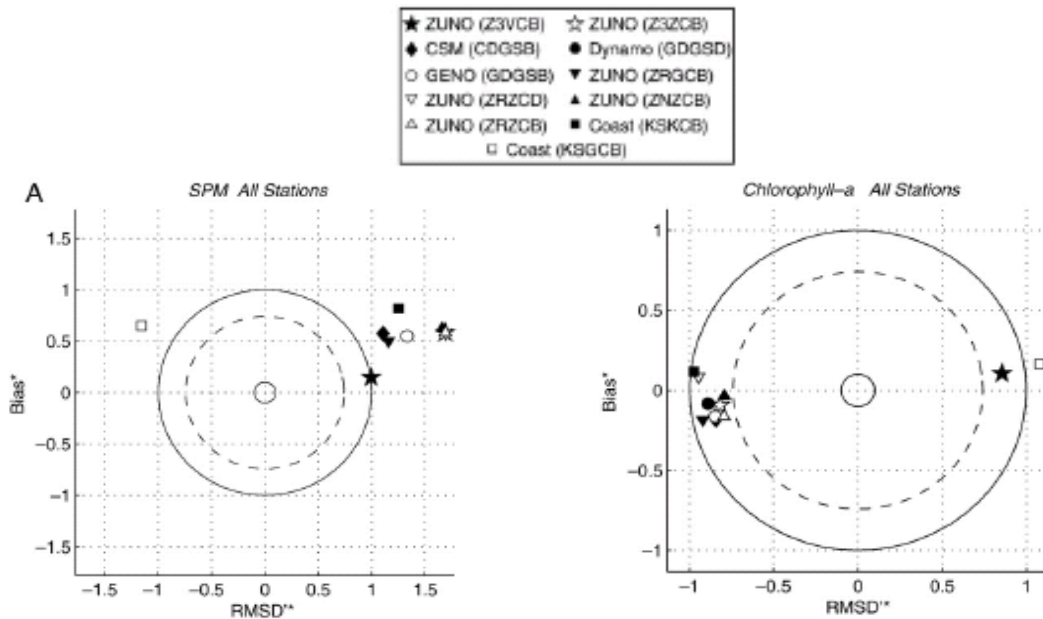
Slib

Anorganisch zwevend stof ("slib") heeft invloed op het onderwaterlichtklimaat en daarmee op de primaire productie. Slib varieert in ruimte en tijd in de Noordzee en wordt daarom als een segmentfunctie ofwel een serie kaartbeelden ingevoerd. In het verleden is om een tweetal redenen gebleken dat het rechtstreeks overnemen van de slibresultaten niet de best mogelijke performance opleverde van het GEM model.

In de eerste plaats is het slibmodel alleen gevalideerd voor de Nederlandse kustzone en de Waddenzee. De GEM resultaten in deze gebieden worden echter mede beïnvloed door de productie buiten dit gebied en dus door die delen van het Noordzee model, waarvoor het slib model (nog) niet is gevalideerd. Op basis van slib wordt ten behoeve van de slibinvoer van GEM een aparte bewerking op de resultaten van het slibresultaat uitgevoerd, zie tekst hieronder.

In de tweede plaats wordt met name in gebieden, waar de ruimtelijke resolutie zeer fijn is, door het slibmodel soms schommelingen (modelartefacten) berekend. Omdat het GEM model gevoelig is voor dergelijke variaties in slibconcentraties en patronen, is voor de MER Zandwinning (en eerdere studies, zie Los et al., 2008) besloten om gebruik te maken van de zogenoemde 'random cosinus' methode. Dit houdt in dat de seizoensdynamiek wordt opgedrukt aan de hand van een cosinus functie met een amplitude van 0.5 (omstreeks 1 juli) tot 1.5 (omstreeks 1 januari), de wekelijkse variatie is bepaald aan de hand van een homogeen verdeelde random functie. Bij een lager dan gemiddelde wind is deze functie begrensd tussen 0.3 en 1.2, bij een hoger dan gemiddelde wind tussen 0.8 en 1.7. Jaargemiddeld is deze factor ca. 1.0. Deze variatie wordt gesuperponeerd op de cosinus variatie en dit resulteert in een invoer veld van zwevend stof in mg/l. Bovenstaande bewerking weerspiegelt de referentiesimulatie.

Eerdere kalibraties van GEM op basis van de random cosinus methode hebben geleid tot het aanpassen van de parameterwaarde van de lichtuitdovingscoëfficiënt van zwevende stof (zie Figuur 4.7 en Los en Blaas, 2010). In de literatuur bedraagt deze ongeveer 0.036 /m (zie bijvoorbeeld Van Gils en Tatman, 2003). Echter, in een studie van Los en Blaas (2010) is gebleken dat in een groot aantal GEM toepassingen er een overschatting is van zwevend stof (zie Figuur 4.7). Wanneer dan de literatuurwaarde van de lichtuitdovingscoëfficiënt wordt gebruikt, is er een overschatting van uitdoving door licht door zwevend stof. Om hiervoor te compenseren (kalibreren) wordt bij het gebruik van random cosinus slibvelden een lichtuitdovingscoëfficiënt van 0.025 gebruikt.



Figuur 4.7 Target diagram voor zwevend stof (mg/l) en chlorofyl-a (µg/l) concentraties van verschillende modeltoepassingen van GEM in de Noordzee (overgenomen uit Los en Blaas, 2010). Voor meer informatie over target diagrammen zie Joliff et al., 2008.

Initiële condities

De initiële condities voor de simulatie van 2009 zijn afkomstig van het eindbeeld van het jaar 2008 van de MER Zandwinning simulatie. Hiervoor is een gridconversie uitgevoerd van het MER Zandwinningrooster naar het ZUNO-DD rooster van deze studie. Het eindbeeld van 2009 dient als initiële condities voor 2010.

Gegevens voor 2009 en 2010

Voor de instraling en windsnelheid zijn gegevens van het KNMI gebruikt voor 2009 en 2010 van station De Kooij. Installingsgegevens zijn per week ingevoerd die binnen het GEM model worden deze gegevens omgerekend naar een intensiteit per 30 minuten. Hierbij wordt uitgegaan van de actuele daglengte en een standaard intensiteitspatroon voor een geïdealiseerde dag. De windgegevens worden binnen GEM uitsluitend gebruikt om de reeratie van zuurstof te berekenen.

5 Resultaten waterbeweging

5.1 Inleiding

De 1^e waterbewegingsberekeningen voor 2009 en 2010 zijn uitgevoerd met de modelinstellingen zoals gebruikt in de berekeningen voor de MER zandwinning (Keetels et al., 2012). Echter, oriënterende GEM berekeningen (fractieberekeningen, zie Hoofdstuk 7) waarbij gekeken wordt naar de herkomst van water (Rijnwater, Kanaalwater) lieten een onderschatting van de hoeveelheid kanaalwater in de Noordzee zien met name voor 2010.

5.2 Gevoeligheidsberekeningen

De onderschatting van de hoeveelheid kanaalwater in de Noordzee is een gevolg van het, relatief, ten opzichte van het langjarig gemiddelde, lage restdebiet door het Kanaal. Om dit restdebiet te verhogen, is een aantal gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd door de waterstand aan de zuidelijke modelrand met 5 respectievelijk 10 cm te verhogen. Het resultaat van deze berekeningen wordt weergegeven in Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Restdebiet door het Kanaal voor verschillende verhangen over het ZUNO model

Periode	Oriënterend debiet in m ³ /s	Verhang + 5 cm debiet in m ³ /s	Verhang + 10 cm debiet in m ³ /s
2009	97000	130000 m ³ /s	niet uitgevoerd
1 ^e helft 2010	0	35000 m ³ /s	65000 m ³ /s
2 ^e helft 2010	30000	65000 m ³ /s	102000 m ³ /s
2009 – 2010	56000	90000 m ³ /s	niet uitgevoerd

Opvallend is het grote verschil in restdebiet tussen de jaren 2009 en 2010. Dit wordt veroorzaakt door het grote verschil in windrichting tussen deze jaren: Zuidwest (2009) tegenover Noordoost (2010).

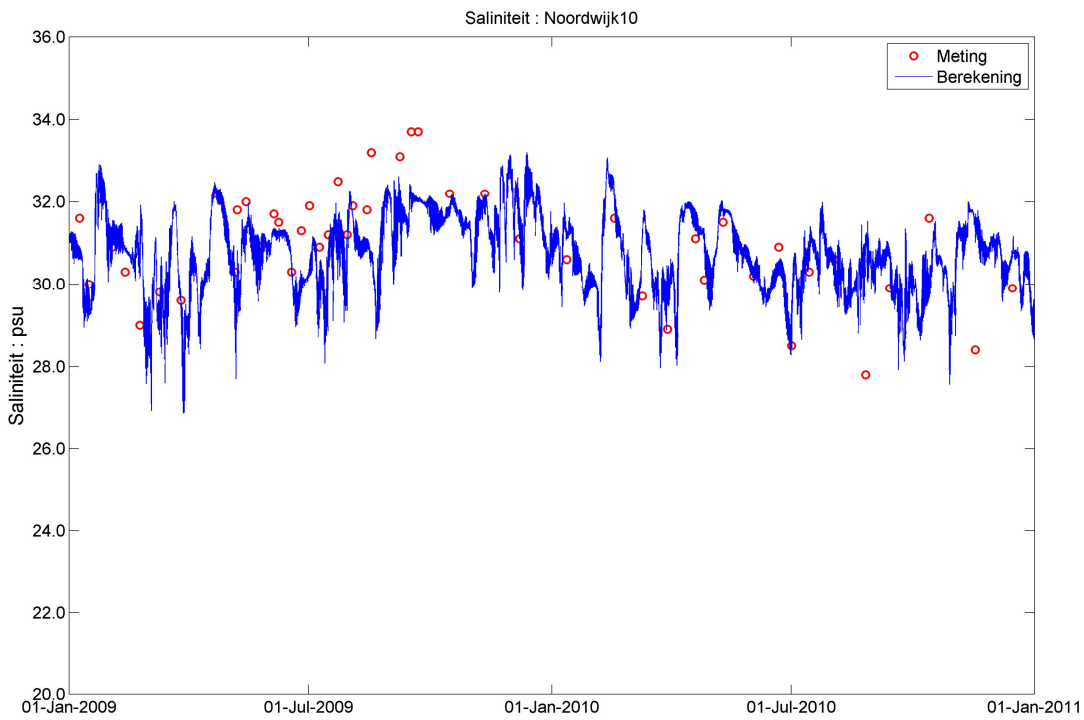
Voor het gemiddelde restdebiet over de jaren 2009 en 2010 geldt dat de berekeningen met een kunstmatig verhang van 5 cm het best in overeenstemming zijn met het langjarig gemiddelde (ongeveer 100,000 m³/s). Om deze reden is voor een aanpassing met 5 cm verhoging op de zuidelijke rand gekozen voor de waterbewegingsberekeningen, als basis voor de slib en GEM berekeningen.

5.3 Modelresultaat versus metingen

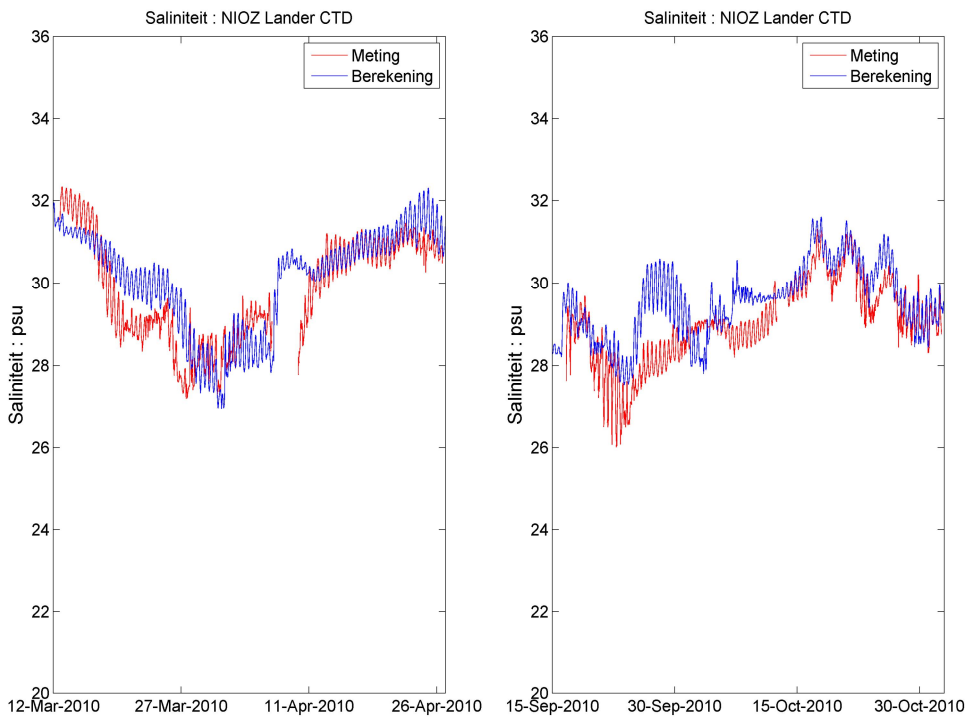
Het waterbewegingsmodel is binnen het MER zandwinning project (Keetels et al., 2012) uitvoerig gekalibreerd op diverse parameters in de kustzone en in de Waddenzee. Binnen deze huidige studie wordt enkel een vergelijking gemaakt tussen de nieuwe hoogfrequente saliniteitsmetingen bij Egmond aangezien deze mede bepalend zijn voor het slib – en nutriëntentransport.. Een verdere kalibratie waterbewegingsmodel valt buiten de scope van huidige studie.

Saliniteit: metingen vs model

De saliniteit in de Nederlandse kustzone is een maat voor de (rest)transporten in deze zone. Een vergelijking van gemeten en berekende saliniteiten voor de meetstations MWTL Noordwijk, 10 km uit de Kust en de recente hoogfrequente metingen te Egmond (NIOZ Lander met CTD sensor) worden getoond in Figuur 5.1 en Figuur 5.2.



Figuur 5.1 Gemeten en berekende saliniteit te Noordwijk 10 km (MWTL) uit de kust.



Figuur 5.2 Gemeten en berekende saliniteit Egmond (NIOZ Lander CTD sensor)

Het berekende saliniteitsverloop is goed in overeenstemming met de metingen voor zowel meetpost Noordwijk als voor de hoogfrequente metingen bij Egmond. Gegeven de beperkingen van het modelconcept voor wat betreft het modeldomein met de bijbehorende ruimtelijke resolutie, onzekerheden in rivierafvoeren en overige forceringen, komen de resultaten uitstekend overeen met de hoogfrequente saliniteitsmetingen ondanks dat niet alle dynamiek door het model wordt (kan worden) gereproduceerd. Dit valt eveneens terug te zien in Tabel 5.2 waar de gemiddelden en standaardafwijkingen zijn vergeleken.

Tabel 5.2 Gemiddelde en standaardafwijking Saliniteit te Noordwijk en Egmond Lander CTD, Meting en berekening

Station/Periode	Gemiddelde		standaardafwijking	
	Meting	Berekening	Meting	Berekening
Noordwijk10/2009-2010	31.0 psu	30.7 psu	1.3 psu	0.9 psu
Egmond aan Zee; 1 ^e helft 2010	29.8 psu	30.1 psu	1.3 psu	1.2 psu
Egmond aan Zee, 2 ^e helft 2010	29.0 psu	29.5 psu	1.0 psu	0.9 psu

Samenvattend

Met het ZUNO model zijn waterbewegingsberekeningen uitgevoerd voor de jaren 2009 en 2010. Modelresultaten zijn in eerdere studies uitgebreid vergeleken met metingen. In de huidige studie is dit niet herhaald. Wel zijn karakteristieke transportindicatoren vergeleken met metingen.

Om het resttransport door het Kanaal overeen te laten stemmen met wat bekend is over het langjarig gemiddelde, bleek het wenselijk een verhoging van 5 cm aan te brengen op de Kanaalrand. Dit levert een berekend restdebiet van 90.000 m³/s wat goed overeenkomt met de langjarig gemiddelde waarde van ongeveer 100.000 m³/s.

Saliniteitsmetingen te Noordwijk en Egmond aan Zee zijn gebruikt als indicatoren voor de (rest)transporten in de Nederlandse kustzone. Zowel voor Noordwijk 10 km uit de kust als voor Egmond uit de kust geldt dat de berekende gemiddelde saliniteit minder dan 0.5 psu afwijkt van de gemiddelde waarde bepaald uit metingen. Ook de hoogfrequente dynamiek is goed door het model gereproduceerd..

6 Resultaten slibtransport

6.1 Inleiding

De resultaten van de referentie berekeningen (“referentie”) met het basismodel worden naast de gekalibreerde modelresultaten (“gekalibreerd”) gepresenteerd voor 2009 en 2010. Er volgt een beschrijving van de aanpassingen aan het basismodel naar aanleiding van de kalibratie.

6.2 Aanpassingen basismodel nav kalibratie

De belangrijkste aanpassing in de forcering van het basismodel is de benadering van de invloed van golven op het opwerpen van slib. Dit uit zich in een ruimtelijk en temporeel variërende golf-geïnduceerde bodemschuifspanningen met een hogere resolutie dan in voorgaande studies. Namelijk, de data assimilatie is nu direct op ZUNO-DD grid uitgevoerd (eerder op ZUNO-grof en dan geïnterpoleerd naar ZUNO-DD). De aanleiding voor deze verbetering zijn de, over het algemeen genomen, te hoge bodemschuifspanningen zoals vastgesteld in de externe review van het project MoS². Deze te hoge waarden zijn na kalibratie van de kritische schuifspanning voor erosie weliswaar niet van directe invloed op de waarde van de berekende slibconcentratie, maar niettemin verdient een realistischer waarde vanuit het oogpunt van fysische begrijpelijkheid de voorkeur. De aanpassing in de modelschematisatie (extensie en aggregatie van het fijne rooster) en de aanpassing in de bodemschuifspanningen vereisen wel een herkalibratie van het slibmodel. Er volgt een korte toelichting per onderdeel.

Verbeterde benadering van de bodemschuifspanning door golven

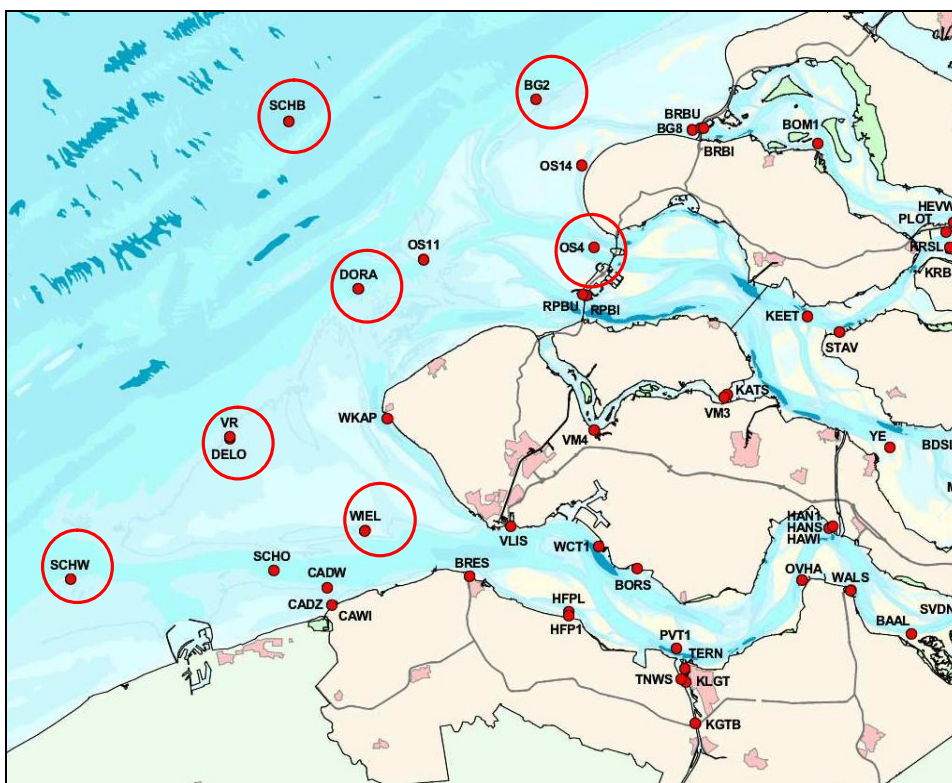
De meest geavanceerde aanpak is om de impact van golven parallel met de berekening van de waterbeweging te berekenen met een golfmodel. Dit is helaas niet haalbaar binnen de scope van deze studie. De golfparameters verantwoordelijk voor de opwerveling van slib worden daarom net zoals in voorgaande studies offline berekend. Dit is gedaan in twee stappen:

1. Aanpassing in geassimileerde golfvelden

Als basis voor de berekening van de golf-geïnduceerde bodemschuifspanningen worden de jaargemiddelde ruimtelijke patronen van significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode berekend voor het jaar 2003 met het Delft3D-WAVE model op een ZUNO-grof rooster (Booij et al., 1999; Ris et al., 1999). De verbetering in de berekening van de bodemschuifspanning door golven zoals beschreven in hoofdstuk 4 zijn:

1. gebruik van extra golf boeimetingen uit het RWS Zeeland meetnet (ZEGE) ten behoeve van een verbeterde berekening van significante golfhoogte (H_s) en gemiddelde golf periode (T_m) in en rondom de Voordelta (zie Figuur 6.1);
2. een aanpassing in bodemruwheidsparameter (rough: zie Tabel 6.1) welke gebruikt wordt voor de berekening van de golf geïnduceerde bodemschuifspanningen volgens Swart (1974);
3. berekening van golf-geïnduceerde bodemschuifspanningen direct op het geaggregeerde ZUNO-DD rooster op basis van de ZUNO-DD bathymetrie (i.p.v. een interpolatie van ZUNO-grof naar ZUNO-DD achteraf).

Zie voor een uitvoeriger beschrijving van bovengenoemde aanpassingen (Blaas et al., 2012 MoS² II)



Figuur 6.1 Rijkswaterstaat Zeeland (HMCZ) meetnetwerk. De golfboeien op de rood omcirkelde lokaties zijn gebruikt in de analyse.

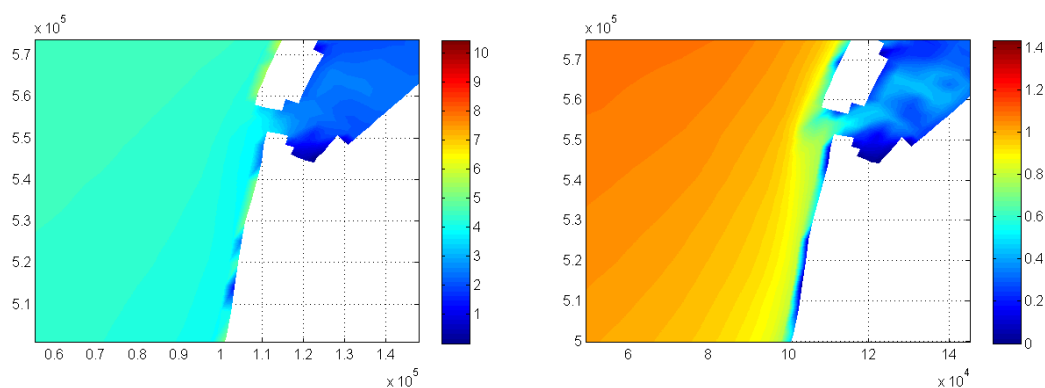
2. Strijklengte golven

Uit de kalibratie berekeningen blijkt dat het nieuwe geassimileerde golfveld resulteert in aanzienlijk lagere golf-geïnduceerde bodemschuifspanningen. Met name in de ondiepe gebieden is er sprake van een onderschatting van de bodemschuifspanning. Dit resulteert in een te hoge sedimentatie van slib in de ondiepe gebieden wat leidt tot een te lage slib concentratie bij Egmond en in de Waddenzee.

Een verklaring voor de onderschatting van de golf-geïnduceerde bodemschuifspanningen kan zijn dat in het geassimileerde golfveld enkel gebruik is gemaakt van golfboeien op in de diepere delen van de Noordzee. Daarnaast zijn de 2003 ZUNO-grof SWAN velden te grof om de golfvoortplanting en -dissipatie in de nabije kustzone en in de Waddenzee nauwkeurig te bepalen.

Om de te lage bodemschuifspanning in de ondiepe gebieden te compenseren is een strijklengte-aanpak middels lokale golfgroei gehanteerd. Hierbij worden op basis van diepte en strijklengte golfkarakteristieken afgeleid welke gebruikt worden in de bepaling van de bodemschuifspanning door golven. Golfgroei is diepte gelimiteerd. Het resultaat is dat in ondiepe gebieden zoals de kustzone en in delen van de Waddenzee waarin nu een zeer lage bodemschuifspanning wordt berekend, de strijklengte golven leiden tot een verhoging en hopelijk een verbetering van de kalibratie. In de diepere delen is de bijdrage van de strijklengte golven aan de totale golf-geïnduceerde bodemschuifspanning marginaal.

Bovendien blijkt dat bij inzoomen op de geassimileerde golfvelden (oude en nieuwe aanpak) nabij Egmond onrealistische patronen ontstaan. Namelijk, de golfgedreven bodemschuifspanning zakt naar lage waarden rondom Egmond. Deze patronen zijn te herleiden tot de significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode in de over het jaar 2003 gemiddelde ZUNO-grof SWAN velden. (zie Figuur 6.2)



Figuur 6.2 Jaargemiddeld golfperiode T_m [s] (links) en golfhoogte H_s [m] ZUNO-grof SWAN 2003

Compenseren voor de doorwerking van deze lokaal onrealistische waarden voor H_s en T_m in de SWAN 2003 golfvelden is niet mogelijk binnen de scope van deze studie. Dit vormt wel een beperking voor de kalibratie. Golven leveren immers een belangrijke bijdrage aan het opwervelen van slib. Gegeven deze beperking is in de golfforcering rondom Egmond (nabij de hoogfrequente slibmetingen) besloten om deze te corrigeren door in ondiepe gebieden de golfaandrijving door middel van een strijklengteaanpak te verzorgen.

Herkalibratie

De doorgevoerde aanpassingen in de modelschematisatie en focering van het model in termen van golf geïnduceerde bodemschuifspanningen vereisen een herkalibratie van het slibmodel.

Allereerst is de definitie van de bodemschuifspanning door stroomsnelheden aangepast om consistent te zijn met de aanpassing in de benadering van de golf-geïnduceerde bodemschuifspanningen. Eerder werd het slibmodel geforceerd met de som van de door het waterbeweging model berekende stroming-geïnduceerde bodemschuifspanning en apart berekende golf-geïnduceerde bodemschuifspanning. In de gekalibreerde simulatie dient de stroming-geïnduceerde bodemschuifspanning opnieuw berekend te worden door het slibmodel. Dit gebeurt wederom op basis van Swart (1974), maar met de nieuwe bodemruwheidsparameter om consistent te blijven met de aanpassingen in de golf-geïnduceerde bodemschuifspanning.

Bovengenoemde aanpassingen resulteren in een aanzienlijk lagere bodemschuifspanning als gevolg van golven en stroming. De parameter coëfficiënten voor erosie en resuspensie dienen hierop aangepast te worden. Binnen het MoS2 II project is een eerste herkalibratie van deze parameters uitgevoerd op het ZUNO-grof rooster. De geoptimaliseerde instellingen die hieruit voortkwamen, vormen de basis voor verdere kalibratie op basis van de nieuwe metingen bij Egmond. De uitkomst van deze kalibratie in termen van parametersettings vindt u in onderstaande Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Overzicht van de belangrijkste parameter settings voor het slibmodel voor de referentie berekening (= MER zandwin settings: Keetels et al., 2012) en de gekalibreerde parameterinstellingen.

Parameter	Referentie	Gekalibreerd	Eenheid	Beschrijving
TauShields τ_{Sh}	1.5	0.8	N/m ²	Shields shear stress for resuspension
ThickS ₂	0.3	0.05	M	thickness of buffer layer (layer S ₂)
FactResPup	$3.5 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-8}$	[-]	Van Rijn (1993) pickup factor from buffer layer [-]
VsedIM1	$1.08 \cdot 10^1$	$1.30 \cdot 10^1$	m/d	sedimentation velocity of fraction IM1
VsedIM2	$8.64 \cdot 10^1$	$1.04 \cdot 10^2$	m/d	sedimentation velocity of fraction IM2
VsedIM3	0.1	0.1	m/d	sedimentation velocity of fraction IM3
FrIMXSedS ₂ (α)	$2.0 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$	[-]	fraction of sedimentation towards S ₂ , for IM1, IM2 and IM3
FrTIMS2Max	1.00	1.00	[-]	maximum fraction of total inorganic matter in layer S ₂
ZResIMX Z_{R,IM_i}	$8.64 \cdot 10^3$	$8.64 \cdot 10^3$	g m ⁻² d ⁻¹	Zero-order resuspension rate from layer S ₁ (same for IM1, IM2 and IM3)
VResIM1	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	d ⁻¹	First order resuspension rate of IM1 from layer S ₁
VResIM2	$5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	d ⁻¹	First order resuspension rate of IM2 from layer S ₁
VResIM3	$5.0 \cdot 10^{-2}$	0.1	d ⁻¹	First order resuspension rate of IM3 from layer S ₁
TaucRS1IM1,2 τ_{cR,S_j,IM_i}	0.1	0.2	N/m ²	critical shear stress for resuspension from top layer, IM1 (same for IM2)
TaucRS1IM3 τ_{cR,S_j,IM_i}	$1 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	N/m ²	critical shear stress for resuspension from top layer, IM1 (same for IM2)
Rough	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$	m	Nikuradse roughness length scale
Manncoef	$2.4 \cdot 10^{-2}$	$2.4 \cdot 10^{-2}$	m ^{-1/3} s	Manning coefficient
SwChezy	2	1		
SwTauVeloc	2	1		
SwTau	N/A	2		
Psedmin	0.1	0.1	[-]	depositiekans

6.3 Resultaten

De volgende resultaten van het slibmodel worden beschouwd om het slibmodel te kalibreren en te valideren:

- slibconcentraties in de waterkolom (bij oppervlakte en bodem)
 - o temporeel
 - o ruimtelijk
- slibfluxen in de waterkolom;
- bodemschuifspanningen;
- bodemsamenstelling;
- bodem- water uitwisseling.

Bij de ontwikkeling van het ZUNO-DD slibmodel zijn al deze aspecten in de loop der jaren aan de orde geweest. De focus ligt voor deze studie op de slibconcentratie in de waterkolom, omdat deze direct bepalend is voor de primaire productie. In de presentatie van de resultaten worden steeds de resultaten van de referentie berekeningen (label "referentie") met het basismodel vergeleken met de gekalibreerde modelresultaten (label "gekalibreerd") voor 2009 en 2010.

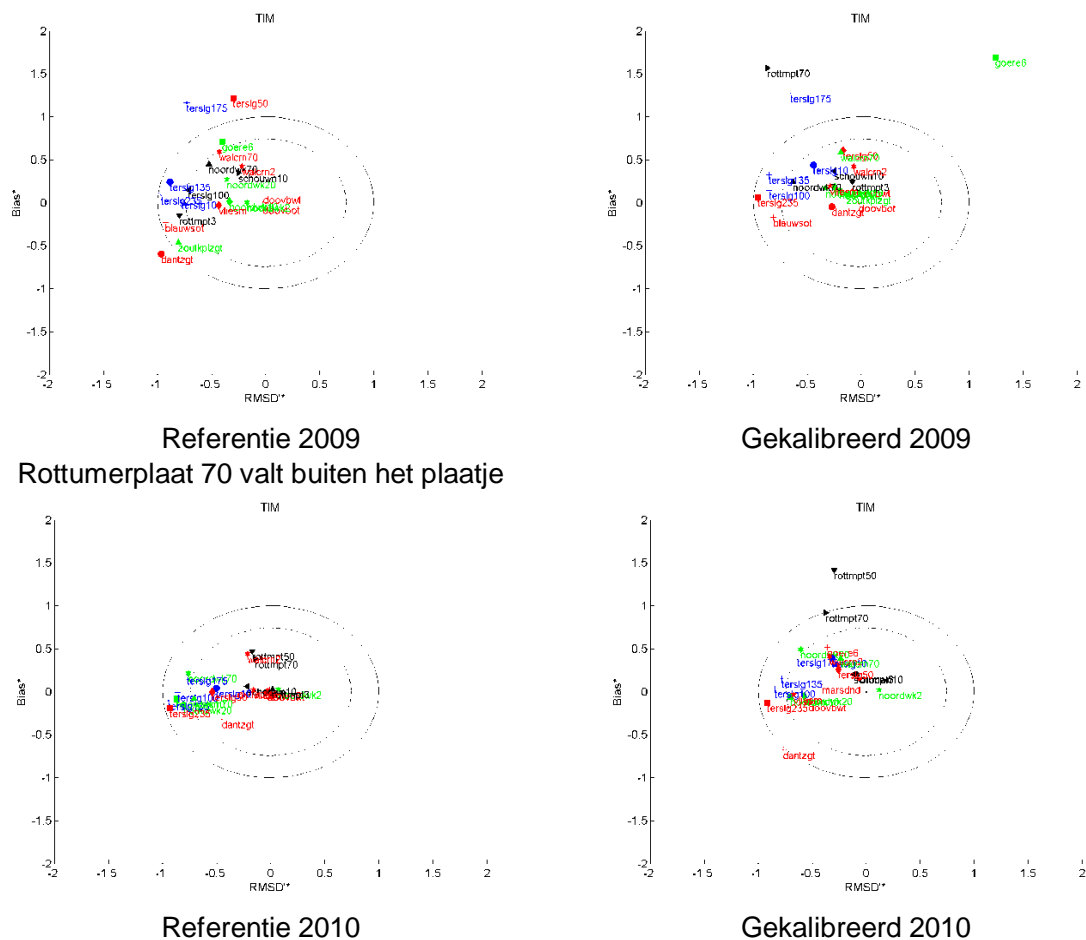
6.3.1 Slibconcentratie waterkolom

Vergelijking met laagfrequente MWTL slibmetingen op de Noordzee

Bijlage F.1 toont een vergelijking tussen berekende slibconcentraties en de beschikbare laagfrequente MWTL slibmetingen voor 2009 en/of 2010.

De gemeten slibconcentraties worden in zowel de referentie als in de ge(her)kalibreerde modelresultaten redelijk gereproduceerd. Voor de referentie is de concentratie in de ondiepe gebieden zoals de kustzone en in de Waddenzee aan de hoge kant en verder weg op de Noordzee juist aan de lage kant. Dit is redelijk recht getrokken voor de gekalibreerde runs. Door het toevoegen van de strijklengte golven is op de meeste ondiepe plaatsen tot een sterke verbetering leidt. Dit geldt niet voor alle plaatsen, zo verslechtert het resultaat bij Goeree 6.

In Figuur 6.3 zijn de resultaten voor alle MWTL-stations waarvoor metingen beschikbaar zijn voor 2009 en 2010 samengevat in een zogeheten 'target diagram' (Jolliff et al., 2009). De x-as is een maat voor de berekende variabiliteit van de slibconcentraties ten opzichte van waargenomen variabiliteit, de y-as is een maat voor de bias van het model ten opzichte van de metingen. Een perfecte overeenstemming leidt tot een positie (0,0) in het diagram. Alle punten binnen de getrokken cirkel krijgen het predicaat 'redelijk', alle punten binnen de gestippelde cirkel krijgen het predicaat 'goed'. Zie voor een grotere weergave van de target diagrammen Bijlage F.2. Geconcludeerd wordt dat het merendeel van de meetpunten redelijk tot goed door het model wordt gereproduceerd.



Figuur 6.3 Target diagrammen voor referentie en gekalibreerde runs voor 2009 en 2010. De schalen zijn gelijk.

Ten opzichte van de referentie is het gekalibreerde model netto verbeterd. Het zwaartepunt van de lokaties is voor zowel 2009 en 2010 meer naar het nulpunt verschoven. Niettemin valt er toch nog een aantal stations buiten de cirkel. Dit is vooral het geval voor de gekalibreerde 2010 resultaten. Dit kan verklaard worden door sterk afwijkende meteorologische condities.

Een vergelijking met hoogfrequente slibmetingen nabij Egmond

Een vergelijking tussen hoogfrequente slibmetingen (NIOZ Lander ALEC metingen) en berekende slibconcentraties zijn weergegeven in Bijlage F.3. Uit deze figuren blijkt dat naarmate we dichterbij de bodem komen het model duidelijk lagere slibconcentraties voorspelt dan de metingen. Dit effect is vooral zichtbaar bij 30 centimeter boven de bodem. Bij 200 cm boven de bodem liggen de ranges van concentraties voorspelt door het model en gemeten meting vrij goed op elkaar. De metingen laten een hoog frequente dynamiek zien met grotere range in concentraties dan in de modelresultaten

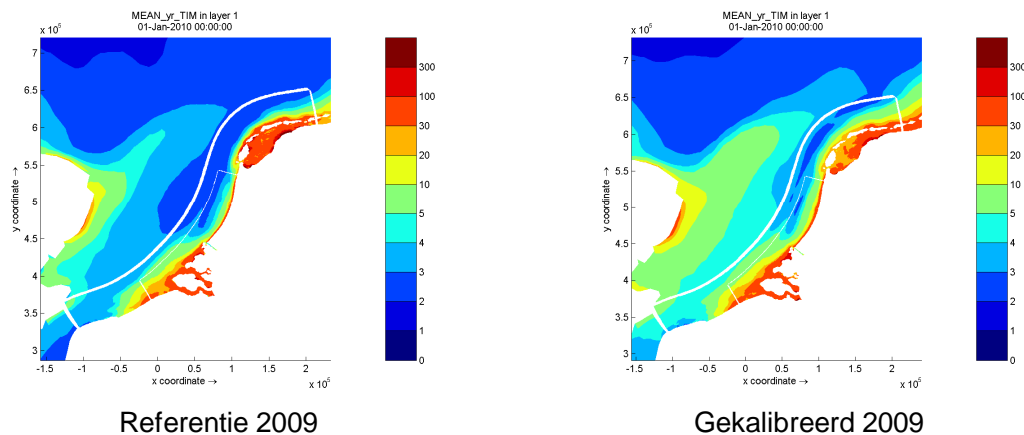
Dit is vooral in de periode september-oktober-november het geval, waarin het model niet in staat is de volledige dynamiek te reproduceren. Dit heeft verschillende oorzaken. Allereerst wordt deze periode gekenmerkt door stormen en een hierbij horend ruw golfklimaat. Zoals eerder is aangegeven, wordt het golfklimaat ter plekke van Egmond onderschat wat leidt tot lagere piekconcentraties in slib. Daarnaast kunnen de Lander metingen beïnvloed worden door allerlei kleinschalige sub-grid processen (zoals lokaal optredende kleine wervels), die niet in het model kunnen worden gesimuleerd. Tenslotte zijn de modelresultaten met een 2-uurs interval weergegeven waardoor eventuele pieken hiertussen worden gemist.

Ruimtelijke patronen van slib in oppervlak en nabij bodem

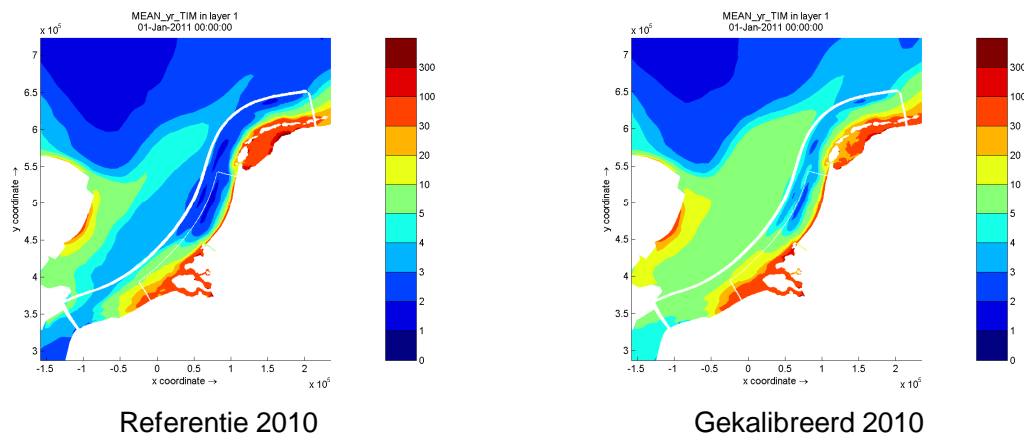
Figuur 6.4 en Figuur 6.5 tonen de berekende jaargemiddelde concentratie aan de oppervlakte voor de referentie en de gekalibreerde modelinstellingen voor 2009 en 2010, respectievelijk. De waargenomen ruimtelijke verdeling aan het oppervlak komt goed overeen met die van de slibatlas van Suijlen en Duin (2001). Zie Figuur 6.6. Het berekende patroon is volledig tot stand gekomen vanuit de modelsimulaties; het slibmodel wordt uitsluitend aangestuurd met hydrodynamica en randconcentraties. Initiële condities in waterkolom en bodem spelen geen rol, het model is doorgerekend tot volledig dynamisch evenwicht.

De figuren voor de bodem vertonen vergelijkbare patronen bij hogere slibconcentraties (zie In Bijlage F.4). Dit is conform verwachting.

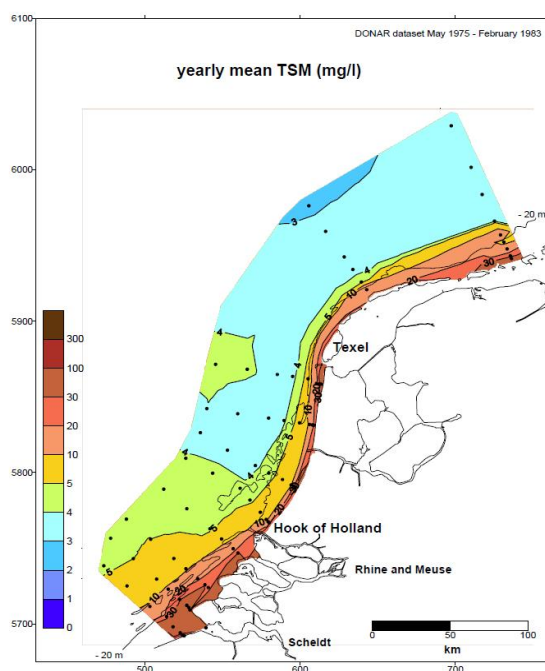
De jaargemiddelde concentraties zijn toegenomen in de Noordzee in de gekalibreerde resultaten, en de concentraties in de Waddenzee zijn afgenomen. Dit is het resultaat van de aangepaste forcering in combinatie met de aangepaste settings voor het slibbuffering.



Figuur 6.4 Jaargemiddelde slibconcentraties in mg/l nabij oppervlak voor 2009 voor referentie (links) en gekalibreerd (rechts).



Figuur 6.5 Jaargemiddelde slibconcentraties in mg/l nabij oppervlak voor 2010 voor referentie (links) en gekalibreerd (rechts).



Figuur 6.6 Jaargemiddelde slibconcentraties bij oppervlak (mg/l). Uit slibatlas van Suijlen en Duin (2001).

6.3.2 Slibflux waterkolom

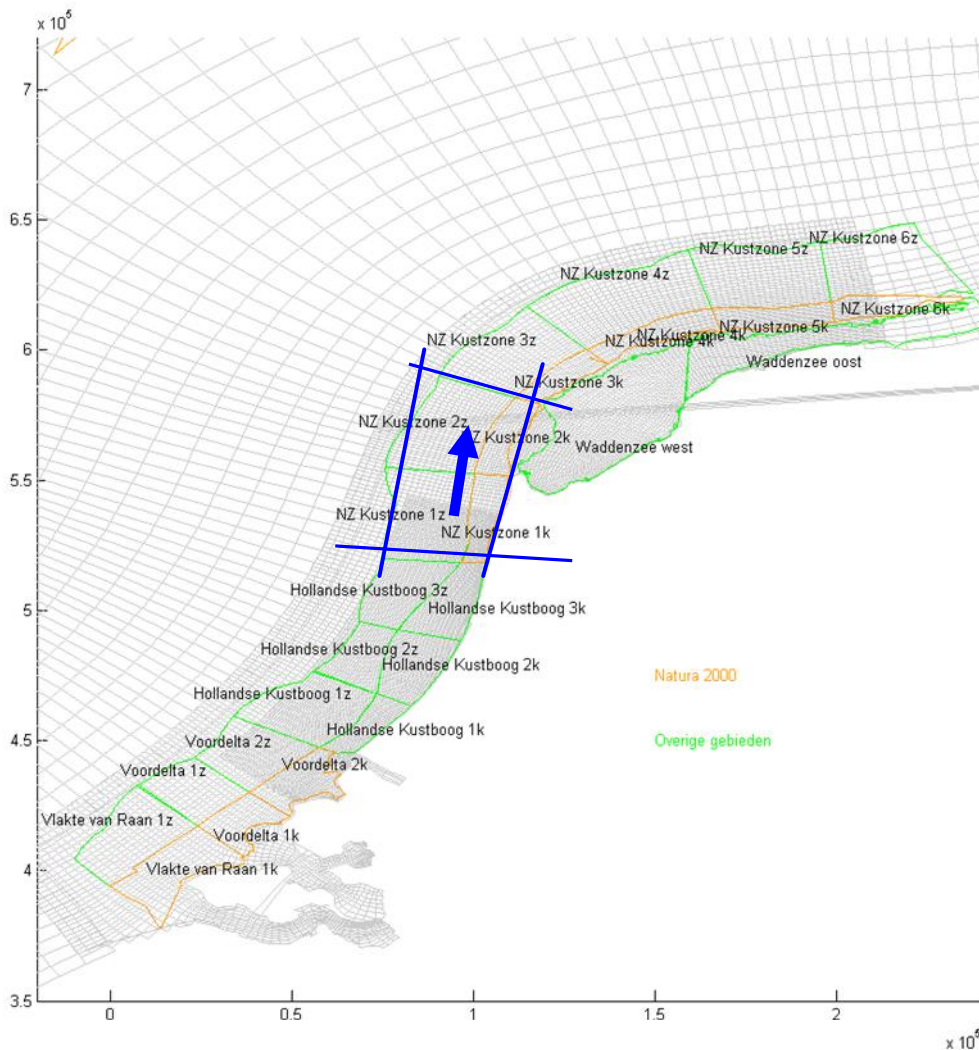
In Tabel 6.2 staan de netto horizontale transportfluxen van slib en water in de kuststrook weergegeven overeen breedte van 30 kilometer (zie de vakken 1k-2k en 1z-2z in zie Figuur 6.7) voor de referentie en gekalibreerde modelberekeningen voor 2009 en 2010.

Opvallend is dat de variatie tussen de jaren groter is dan tussen de referentie en de gekalibreerde som. Voor 2009 is de flux toegenomen van 3.6 tot 5.3 MT/jaar en voor 2010 van 1.1 tot 1.8.

In 2010 is de flux erg laag, veel lager dan schattingen voor het langjarige gemiddelde. Dit heeft te maken met de reststroming (35% lager in 2010) en minder extreme condities (golven) in 2010. In de MER-zandwinning studie werd voor 2007 een flux van 9.5 MT/jaar berekend in de kuststrook van 30 km. Dit is van een vergelijkbare orde als schattingen uit de literatuur, namelijk 10 tot 20 MT/y in de eerste 70 km langs de Hollandse kust (De Kok, 2004; Thoolen et al., 2001). Ten opzichte van de MER zandwinning is in zowel de referentie som (met MER zandwinning settings) als in de gekalibreerde simulatie de flux afgenomen. Dit geeft aan hoe variabel de jaarlijkse slibdynamiek is.

Tabel 6.2 Netto transportfluxen van slib en water tussen de vakken 1k-2k en 1z-2z in Mton/jr en m³/s, respectievelijk.

	referentie slibflux [MT/yr]	gekalibreerd slibflux [MT/yr]	referentie waterflux [m ³ /s]	gekalibreerd waterflux [m ³ /s]
2009	3.6	5.3	15479	15478
2010	1.1	1.8	10133	10130



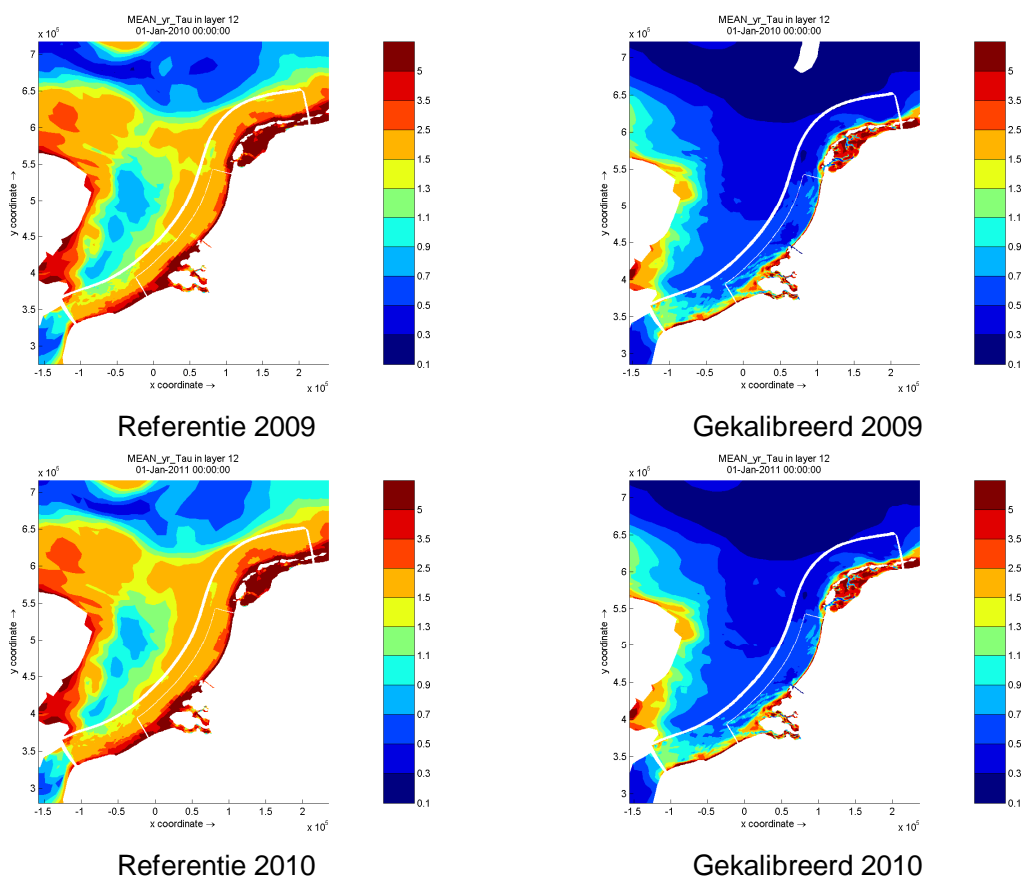
Figuur 6.7 De vakken 1k-2k (tot 11km uit de kust) en 1z-2z (tot 30 km uit de kust) waarvoor de netto kustlangse slib- en waterfluxen zijn bepaald.

6.3.3 Bodemschuifspanning

In voorgaande studies (Keetels et al., 2012; Blaas et al., 2012) is geconstateerd dat de berekende bodemschuifspanning te hoog is als gevolg van een overschatting van de golfgedreven bijdrage.

Uit Figuur 6.8 blijkt dat de nieuwe aanpak voor bepaling van de golfgedreven bodemschuifspanning maar ook de daaraan gekoppelde aanpassingen in de bepaling van stromingsgedreven bodemschuifspanningen, resulteren in aanzienlijk lagere waarden.

Binnen MoS2 II is uitvoerig gekalibreerd op de nieuwe bodemschuifspanningen (Blaas et al., 2012: MoS² II). De gekalibreerde resultaten zijn vergelijkbaar met die uit MoS2.

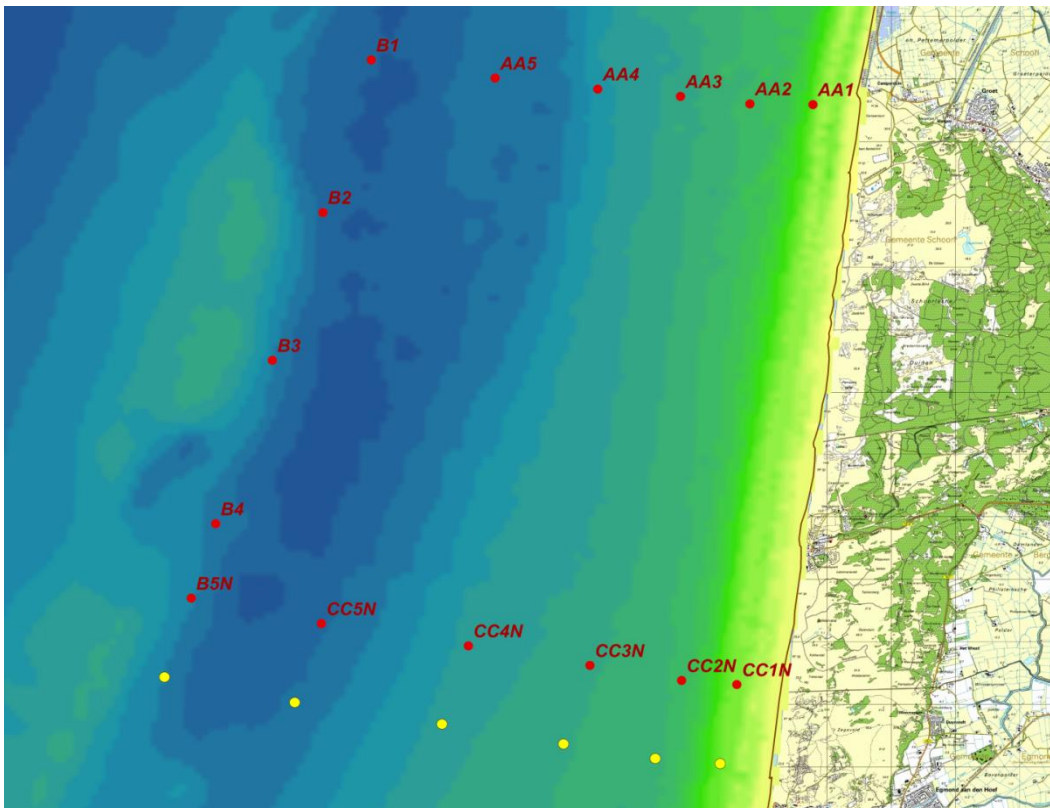


Figuur 6.8 Jaargemiddelde bodemschuifspanning voor referentie en gekalibreerde modelvoorspelling voor 2009 en 2010. De schalen zijn vergelijkbaar.

6.3.4 Bodemsamenstelling

Om te bezien of het model in staat is percentages slib in de bodem goed te voorspellen worden de berekende waarden vergeleken met de fracties fijn materiaal zoals bepaald in de bodemmonster analyse (Blok en Arentz 2012). Daarnaast zal er een vergelijking met de MEDUSA waarden worden gemaakt.

De bodemmonsters zijn genomen op lokaties CC1 t/m CC5 en B5 zoals weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 6.9 Overzicht van meetlocaties (zie Blok en Arentz, 2012 voor de coördinaten en verdere details).

De jaargemiddelde percentages slib in de bodem zoals voorspeld door het model in de referentie en de gekalibreerde run voor beide jaren staat weergegeven in Tabel 6.3. Naast de bemeeten lokaties is ook Noordwijk 10 opgenomen als referentie.

Tabel 6.3 Jaargemiddelde percentages slib in de bodem.

Lokatie	Referentie 2009	Referentie 2010	Gekalibreerd 2009	Gekalibreerd 2010
CC1	2.40%	2.56%	11.46%	9.88%
CC2	1.78%	1.74%	20.28%	19.96%
CC3	0.40%	0.43%	2.08%	2.06%
CC4	0.20%	0.22%	1.27%	1.70%
CC5	0.28%	0.25%	1.61%	1.45%
B5N	0.24%	0.25%	1.05%	0.93%
NW10	0.28%	0.27%	1.70%	1.70%

Tijdseries van de berekende slibpercentages in de bodem staan in Bijlage F.5 Uit deze grafieken blijkt dat de gekalibreerde modelresultaten veel meer dynamiek vertonen dan de referentie resultaten. Ook duidelijk zichtbaar is een dal in de percentages slib in de winter wanneer de kans op opwerveling van slib door stormen het grootst is. Het verschil in dynamiek tussen referentie en gekalibreerde resultaten valt te verklaren door de aangepaste forcering. De nieuwe bodemschuifspanningen in de gekalibreerde runs geeft een veel realistischer verloop dan de referentie runs.

De hogere percentages slib in de bodem bij CC1 en CC2 worden veroorzaakt door de veel hogere concentratie slib (onderin) de waterkolom ten opzichte van de overige locaties (NW10 en CC3 en hoger), terwijl de bodemschuifspanning niet veel afwijkt, waardoor meer slib in de

bodem is te verwachten. De reden voor de band met hoge slibconcentraties vlak onder de kust is de kusttrivier.

De berekende waarden zijn qua ordegrrootte goed vergelijkbaar met de fracties fijn materiaal zoals bepaald in de bodemonmonster analyses van de boxcores op deze lokatie (Blok en Arentz 2012). Hieruit kwam naar voren dat de bodemonsters relatief weinig fijn materiaal bevatten. Bij veel van de onderzochte monsters bevat de fijne fractie minder dan (massa of volume) 1% van alle materiaal in het monster.

Aan de hand van de vorm van de korrelgrootte verdelingen in van het fijne materiaal, dan valt op dat het zwaartepunt aan de grovere kant ligt (Blok en Arentz, 2012). Veel van de fijne korrelgrootte verdelingen hebben een maximum rond de 80µm. Vermoedelijk gaat het om een fijne fractie van het bodemzand, die fractie heeft nog juist de draadzeef kunnen passeren. Zie Bijlage F.6 voor een samenvatting van de resultaten van de bodemonmonster analyse Egmond.

Qua tendens wijken metingen en modelberekeningen af. De hoogste percentages fijne fractie zijn hier bepaald voor CC2. De laagste percentage voor lokatie CC1.

Uit het rapport van Medusa (De Vries, 2011) komt een beeld naar voren dat vlak onder de kust het slibpercentage in de bodem laag is (waarschijnlijk door te hoge golfschuifspanningen - brandingszone) en piekt bij locatie CC2, waar af en toe orde 5% slib wordt gemeten. Verder weg op zee neemt het percentage weer af tot orde 1%. Kwalitatief zien we in het model hetzelfde, maar kwantitatief klopt het maar matig, want de berekende fractie in CC2 ligt 3x hoger (al neemt hij fors af in de loop van 2010).

6.3.5 Bodem- water uitwisseling

In het kader van het Cadmium-project (Van Kessel et al., 2012) is het buffermodel gekalibreerd m.b.t. de verblijftijd van slib in de Hollandse kustzone. Er is toen vastgesteld dat er in essentie twee parameters zijn waarmee de bodem/water-uitwisseling wordt beschreven, namelijk:

- 1 De buffercapaciteit m_{buf} , of in dimensieloze vorm: capaciteitsfactor $kA = m_{buf} / Ch$
- 2 De verblijftijd in de bodem $RT_b = kA h / (\alpha ws)$ (partitionering)

Tabel 6.5 Buffercapaciteit en verblijftijd van de bodem voor MER Zandwinning (boven); Egmond referentie (midden) en Egmond gekalibreerd (onder).

MER-zandwinning 2007	m_{buf} (kg/m ²)	C (mg/l)	αws (m/d)	kA (-)	RT_b
bij Noordwijk-10	1.14	11.0	17.3	5.5	6

Referentie	m_{buf} (kg/m ²)	C (mg/l)	αws (m/d)	ratio kA (-) (tov MER)	ratio RT_b (tov MER)
bij Noordwijk-10	1.29	8.7	17.3	1.4	1.4
bij Egmond-CC2	8.3	77	17.3		

Gekalibreerd	m_{buf} (kg/m ²)	C (mg/l)	αws (m/d)	ratio kA (-) (tov MER)	ratio RT_b (tov MER)
bij Noordwijk-10	1.32	12.5	14.3	1.02	1.23
bij Egmond-CC2	15.8	91.2	14.3		

Uit deze vergelijking blijkt dat het gekalibreerde model het verspreidingsgedrag van Cadmium op kwantitatief sterk gelijkende wijze modelleerd als het voor de MER-zandwinning gebruikte model (waarin de Cadmium bevindingen zijn verwerkt). Op basis van deze resultaten verwachten wij met dit model hetzelfde verspreidingsgedrag voor cadmium te berekenen als in Oeveren-Theeuwes 2011 en Van Kessel 2012.

Uitgangspunt in de vergelijking met Cadmium is dat het cadmium volledig geadsorbeerd is aan het slib, zodat het zich precies zo gedraagt als slib.

6.4 Samenvatting

Er is een flinke verbetering gemaakt in de nieuwe aanpak voor de golfgedreven bodemschuifspanning. Echter door te grove resolutie van de ZUNO-grof SWAN velden als basis voor deze berekening komt dit niet goed tot uiting in de voorspelling van slibgedrag nabij Egmond. De onrealistische patronen in significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode rondom Egmond bemoeilijken de kalibratie van het slibtransport model op basis van de nieuwe metingen in dit gebied. Met het gekalibreerde slibmodel worden de MWTL metingen langs de Nederlandse kustzone beter gereproduceerd.

Uit de vergelijking van modelvoorspelling en hoogfrequente metingen van slibconcentraties (Lander – ALEC) blijkt dat naarmate we dichterbij de bodem komen het model duidelijk lagere slibconcentraties voorspelt dan de metingen. Dit effect is vooral zichtbaar bij 30 centimeter boven de bodem. Bij 200 cm boven de bodem liggen de ranges van concentraties voorspelt door het model en meting vrij goed op elkaar. De metingen laten een hoog frequente dynamiek zien met grotere range in concentraties dan in de modelresultaten

De berekende waarden van jaargemiddelde slibpercentage in de bodem zijn qua orde grootte goed vergelijkbaar met de fracties fijn materiaal zoals bepaald in de bodemmonster analyses van de boxcores op deze lokatie (Blok en Arentz 2012). Qua tendens in de ruimte wijken metingen en modelberekeningen af. De hoogste percentages fijne fractie zijn hier bepaald voor CC2. De laagste percentage voor lokatie CC1 (zie Figuur 6.9).

7 Resultaten GEM

7.1 Inleiding

Na de uitvoering van de referentiesimulaties voor beide jaren, worden twee richtingen uitgewerkt om GEM te kalibreren:

1. Hoe goed is de random-cosinus methode om een slibveld te creëren en welke knoppen zijn er om de primaire productie module BLOOM te kalibreren?
 - a. Voor beide referentiesimulaties (2009 en 2010) wordt een random cosinus slibveld gegenereerd.
 - b. Voor 2010, omdat in dit jaar de hoogfrequente metingen beschikbaar zijn, worden nog 2 random cosinus slibvelden aangemaakt om de robuustheid van deze methode na te gaan. Door de random functie die gebruikt wordt (zie paragraaf 4.6) verschillen de slibvelden van elkaar met betrekking tot concentraties in zwevend stof.
 - c. Voor 2010 wordt er een kalibratierun uitgevoerd met een andere specifieke extinctie coëfficiënt voor zwevend stof (0.036 in plaats van 0.025) om te zien hoe gevoelig GEM daarvoor is.
 - d. Voor 2010 wordt een simulatierun uitgevoerd met een lagere opgelegde verticale dispersie ($1 \cdot 10^{-07}$ in plaats van $1 \cdot 10^{-05}$)
2. Hoe worden de resultaten van GEM beïnvloed door het 1 op 1 overnemen van slibvelden uit het slibmodel en wat zijn hier eventueel de stappen om de resultaten van GEM in lijn te brengen met MWTL data en de hoogfrequente data?
 - a. Voor 2009 en 2010 worden de slibvelden van het gekalibreerde slibveld overgenomen.
 - b. Voor 2010 wordt er een kalibratierun uitgevoerd met een andere specifieke extinctie coëfficiënt voor zwevend stof (0.025) dan de waarde 0.036 uit de literatuur om te zien of het model verder getuned kan worden

In Tabel 7.1 wordt een overzicht gegeven van de GEM simulaties die uitgevoerd zijn.

Tabel 7.1 Overzicht van de uitgevoerde simulaties

Jaar	Slibveld
2009	Random cosinus
	Gekalibreerd slibveld
	Lichtuitdovingscoëfficiënt
2010	Random cosinus
	Random cosinus b
	Random cosinus c
	Gekalibreerd slibveld
	Lichtuitdovingscoëfficiënt
	Lagere verticale dispersie

De resultaten van de simulaties worden vergeleken met meetdata van het MWTL netwerk en voor 2010 met de hoogfrequente data van het Landerframe. De vergelijking met de MWTL data wordt gedaan door Goodness of Fit diagrammen en lijndiagrammen. De vergelijking met hoogfrequente data wordt alleen met lijndiagrammen gedaan.

Hoe goed GEM de chlorofylconcentraties simuleert wordt gecheckt op meerdere karakteristieken, zoals de concentraties gedurende de voorjaarsbloei en zomer, maar ook de timing van de voorjaarsbloei. Deze laatste is een lastige conditie, maar wel cruciaal.

Het begin van de voorjaarsbloei wordt in de Noordzee bepaald door (1) het onderwater lichtklimaat en (2) de temperatuur. Laatst genoemde factor varieert niet zo sterk in de ruimte en heeft een vrij glad seizoensverloop. Dat ligt anders voor het onderwaterlichtklimaat. Sturende factoren daarbij zijn (1) de instraling, (2) zwevend stof, (3) humus zuren en (4) de mengdiepte. Nota bene: de bijdragen van algen zelf en van detritus zijn klein in de winter en spelen dus geen rol bij de bepaling van het moment waarop de bloei begint. Van genoemde factoren varieert (1) sterk in de tijd, maar niet in de ruimte, (2) en (3) variëren sterk in zowel tijd als in ruimte en (4) de mengdiepte varieert niet sterk in tijd, wel in ruimte, maar er kan lokaal verminderde menging optreden door micro stratificatie. Een aantal van deze factoren zijn bovendien positief gecorreleerd; zo gaat een geringe waterdiepte vaak gepaard met een hoog zwevend stof gehalte en / of een hoog gehalte aan humuszuren afkomstig uit de rivieren.

Dit alles leidt ertoe dat de het moment waarop de voorjaarsbloei begint, moeilijk exact te voorspellen is. Het kan bovendien zijn dat een geschikte combinatie van omstandigheden zich slechts kortstondig voordoet en dat het volgende geschikte moment zich pas veel (weken) later opnieuw voordoet. Hierdoor kan een kortstondige, lokale afwijking in bijvoorbeeld de slibforcering ertoe leiden dat de voorjaarsbloei weken wordt vertraagd.

7.2 Modelresultaat versus metingen

In deze paragraaf worden de resultaten getoond van de met GEM uitgevoerde simulaties. De resultaten zijn onderverdeeld in subparagrafen: referentie, gekalibreerd slibveld, random cosinus, extinctie en een lagere verticale dispersie. Vervolgens worden de hoogfrequente metingen in vergelijking met de modelresultaten besproken. Aan het einde van het hoofdstuk wordt nog een generieke vergelijking tussen de verschillende modelsimulaties gegeven.

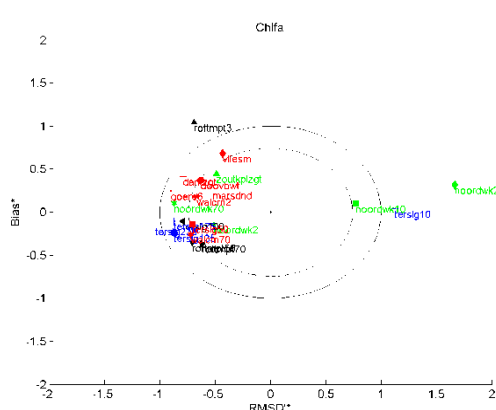
7.2.1 Referentie

De referentie simulatie van 2009 heeft voor de meeste MWTL stations een redelijk tot goede bias, dat wil zeggen de jaargemiddelde chlorofylconcentratie redelijk tot goed gesimuleerd wordt (zie Figuur 7.1). Echter, de RMSD', wat een maat is voor het verschil in amplitude en fase tussen de meet- en modeldata, is voor de meeste stations redelijk tot goed, maar met de neiging tot te weinig variabiliteit. Een uitzondering zijn de modeldata van stations Noordwijk20 en Terschelling10. Deze hebben een te hoge variabiliteit in vergelijking met de meetdata (linksboven, Figuur 7.1). Dit is opvallend omdat in eerdere modelstudies juist deze stations een goede fit lieten zien met MWTL data. Opgelost fosfaat is voor deze locaties de limiterende factor, nu zelfs meer dan een aantal jaar geleden. Uit een analyse van totaal fosfaat en opgelost fosfaat blijkt dat deze grootheden goed worden voorspeld en dus geen verklaring bieden voor de afwijking in variabiliteit van de chlorofylconcentraties. Door de lage frequentie van het huidige MWTL programma is het echter mogelijk dat pieken worden gemist. Een aanwijzing daartoe is dat op veel meetstations tijdens het voorjaar wel een sterke afname van nutriënten en dan met name van silicaat wordt waargenomen.

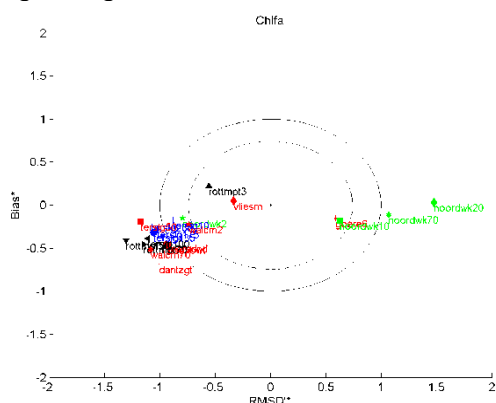
Wanneer er wordt ingezoomd op Noordwijk 2, het MWTL meetpunt waar nog steeds gemeten wordt en het meest nabij het Landerframe ligt, toont het lijndiagram dat de modelresultaten goed overeenkomen met de metingen van 2009. Verder laat het figuur ook zien dat er vooral

in april tot en met juni grote variatie te zien is in gemeten chlorofylconcentraties tussen verschillende jaren (rechtsboven, Figuur 7.1).

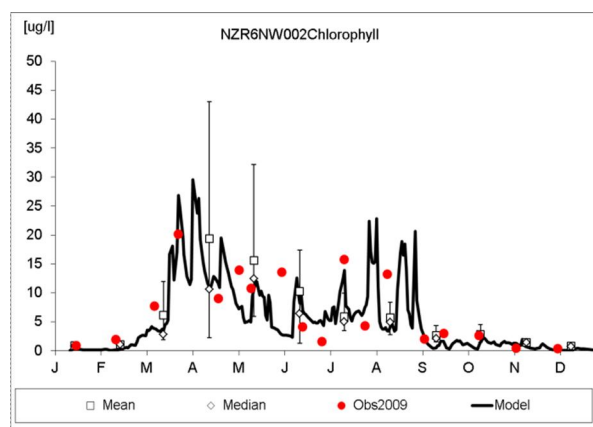
De modelresultaten van de referentie situatie voor 2010 zijn jaargemiddeld redelijk tot goed, maar de variabiliteit is voor een aantal stations aanzienlijk lager dan de meetdata. Ook zijn hier weer een aantal stations te zien die juist een te hoge variabiliteit hebben in vergelijking met de meetdata (linksonder, Figuur 7.1). Het lijndiagram van MWTL meetpunt Noordwijk 2 laat zien dat de waargenomen trend in chlorofylconcentraties in 2010 in met name in april tot en met juni wordt gemist: de pieken blijven uit. De rest van het jaar wordt wel goed beschreven (rechtsonder, Figuur 7.1). In de bijlagen G.1 en G.2 staan al de lijndiagrammen voor de 12 MWTL locaties voor de 2009 referentiesom en de 2010 referentiesom, respectievelijk.



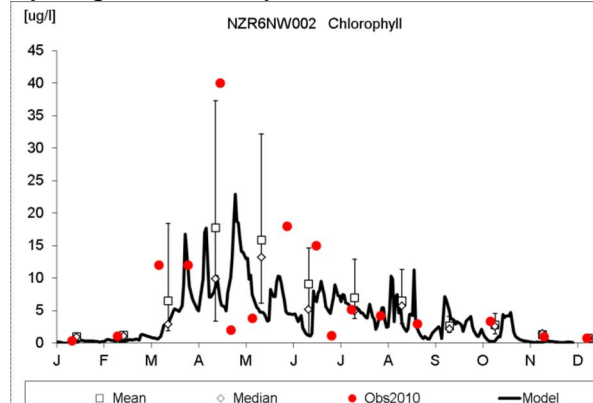
Target diagram referentiesom 2009



Target diagram referentiesom 2010



Lijndiagram Noordwijk 2 referentiesom 2009



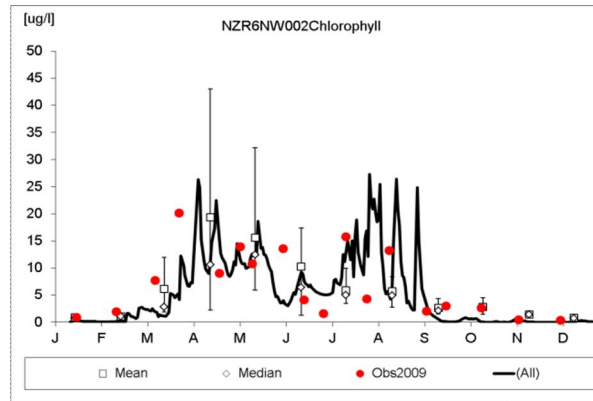
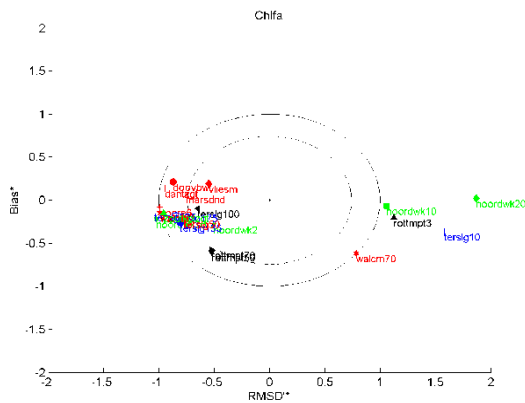
Lijndiagram Noordwijk 2 referentiesom 2010

Figuur 7.1 Target diagrammen voor de referentiesommen 2009 (linksboven) en 2010 (linksonder) en lijndiagrammen voor de MWTL locatie Noordwijk 2 voor de referentiesommen 2009 (rechtsboven) en 2010 (rechtsonder).

7.2.2 Gekalibreerd slibveld

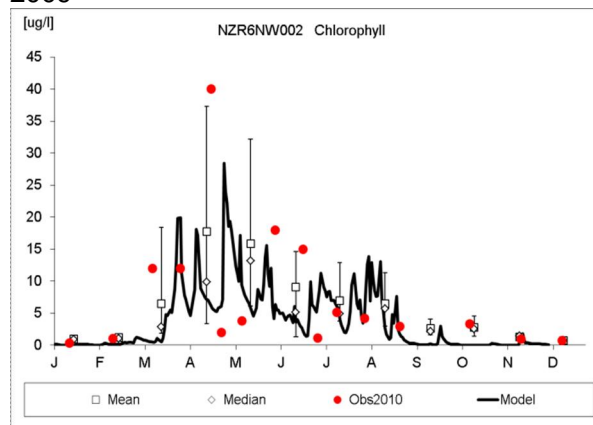
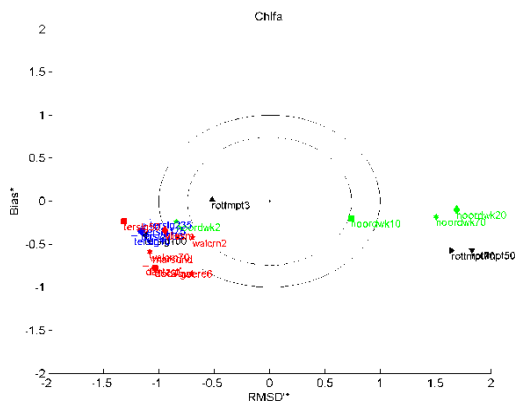
De modelresultaten van GEM waarbij het gekalibreerd dynamisch gemodelleerd slibveld is gebruikt, hebben over het algemeen een redelijke bias en RMSD (linker panel Figuur 7.2). 2010 geeft een wat minder goede overeenstemming met MWTL data. Ook in deze simulaties zijn er een aantal stations met te hoge variabiliteit. In de jaarfiguren voor 2009 en 2010 van

Noordwijk2 is zichtbaar dat chlorofylconcentraties in het model in de herfst te hoog zijn en dat de trend door het jaar heen in de meetdata niet is terug te vinden (rechter panel Figuur 7.2).



Target diagram gekalibreerd slibveld 2009

Lijndiagram Noordwijk 2 gekalibreerd slibveld 2009



Target diagram gekalibreerd slibveld 2010

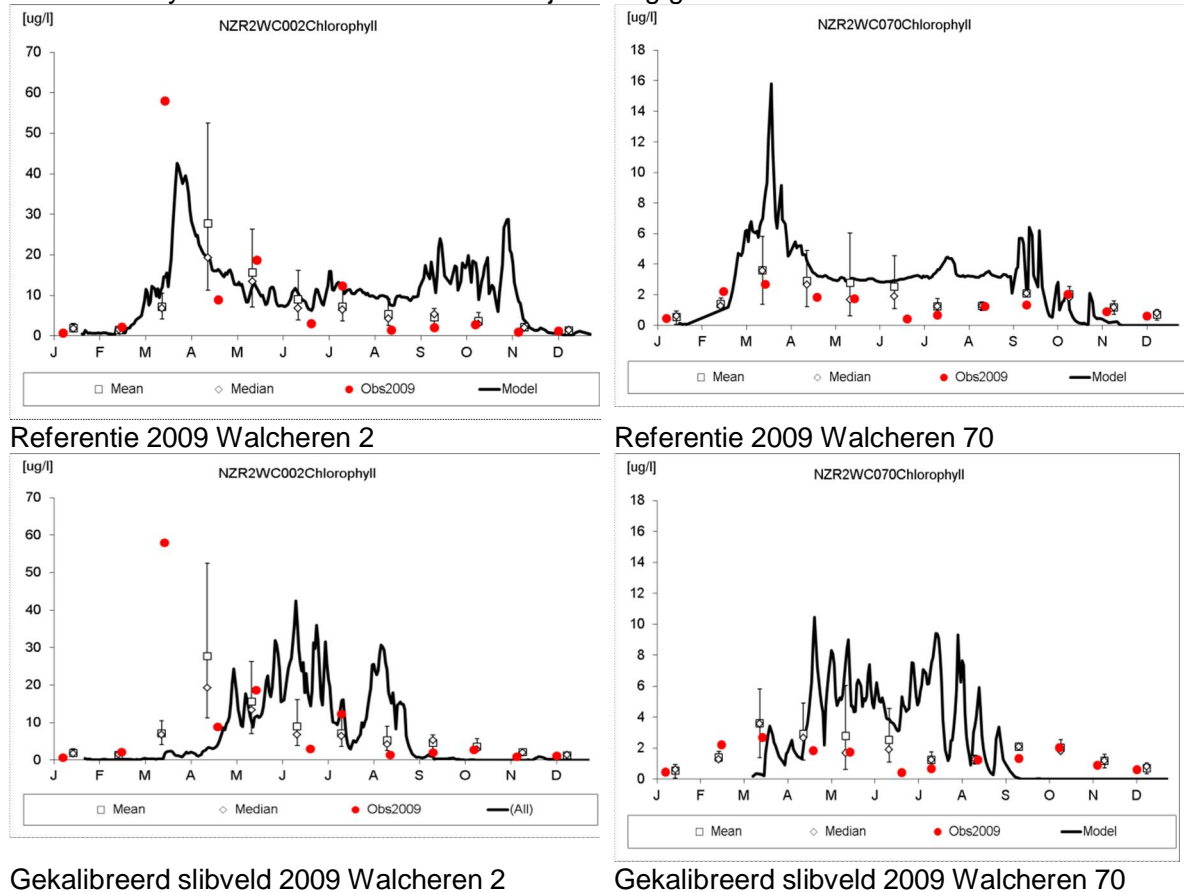
Lijndiagram Noordwijk 2 gekalibreerd slibveld 2010

Figuur 7.2 Target -diagrammen voor de GEM sommen met gekalibreerd slibveld voor 2009 (linksboven) en 2010 (linksonder) en lijndiagrammen voor de MWTL locatie Noordwijk 2 voor de GEM sommen met gekalibreerd slibveld voor 2009 (rechtsboven) en 2010 (rechtsonder).

Hoewel de target diagrammen tussen de referentiesommen en de sommen met het gekalibreerde slibveld niet erg uit elkaar lopen, laten de gekalibreerde slibvelden een latere voorjaarsbloei zien (zie ook G.1 tot en met G.4). De locaties Walcheren 2 km en 70 km uit de kust illustreren het effect van een latere voorjaarsbloei (Figuur 7.3). De referentiesom van 2009 toont voor deze 2 locaties vooral een nutriëntgelimiteerde trend in de chlorofylconcentraties. De simulatie met het gekalibreerde slibveld toont voor beide stations vooral een lichtgelimiteerd patroon. Er zijn twee belangrijke mechanismen die hierbij van invloed zijn:

1. een latere voorjaarsbloei in de modelresultaten van GEM met het gekalibreerde slibveld door een te hoge extinctie;
2. als gevolg van meer extinctie wordt lichtlimitatie belangrijker waardoor er minder nutriënten opgenomen worden nabij onder andere de kust. Deze nutriënten

worden zeewaarts getransporteerd en daar waar mogelijk benut en blijven in het systeem en worden later in de tijd alsnog gebruikt.



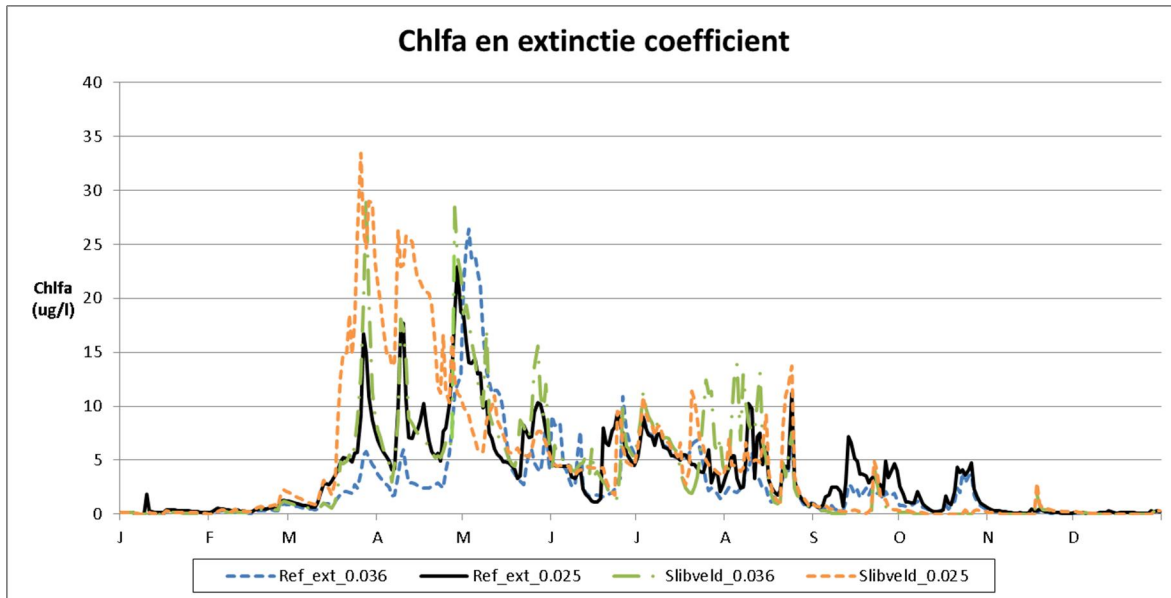
Figuur 7.3 Overzicht van chlorofyl-a concentraties ($\mu\text{g/l}$) in Walcheren 2km en 70km uit de kust voor de referentiesom van 2009 en de som met het gekalibreerde slibveld voor 2009.

De te hoge chlorofylconcentraties in de late zomer en herfst in Walcheren 70 km en ook de andere meer zeewaartse stations (zie Bijlagen G.1 en G.2) in de referentiesom kan veroorzaakt worden door een nog niet optimale Chlf:nutriënt ratio in de algen stoichiometrie.

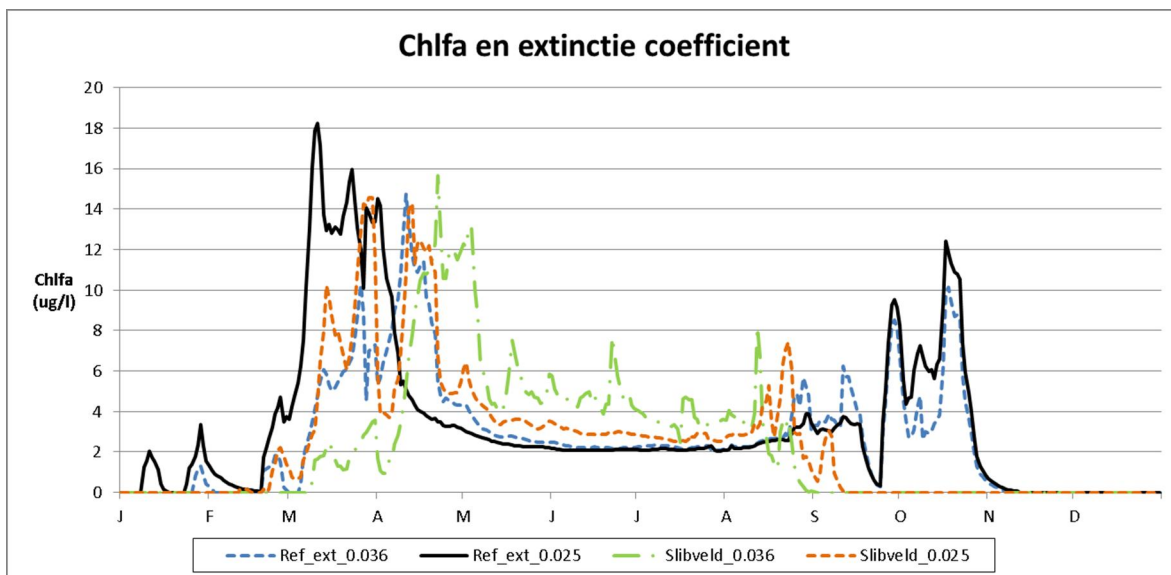
7.2.3 Extinctie

Voor 2010 zijn een tweetal simulaties uitgevoerd om de gevoeligheid van GEM voor de specifieke extinctie coëfficiënt van zwevend stof na te gaan. Voor de referentiesimulatie is deze extinctie coëfficiënt verhoogd van 0.025 naar de literatuurwaarde 0.036. Voor de simulatie met het gekalibreerde slibveld, initieel is er gerekend met 0.036, is een simulatie uitgevoerd met extinctie coëfficiënt van 0.025. De resultaten van deze berekeningen zijn samengevat in de figuren 7.4 en 7.5. Een verhoging van de extinctie coëfficiënt van zwevend stof in de referentiesimulatie verlaagt de timing van de voorjaarsbloei van de algen in zowel de lichtgelimiteerde locatie Noordwijk 2 als op de meer nutriëntgelimiteerde locatie Noordwijk 70. De simulatie met het gekalibreerde slibveld en extinctie coëfficiënt voor zwevend stof van 0.036 laat voor Noordwijk 2 nagenoeg hetzelfde patroon zien als dat de referentiesom. Voor Noordwijk 70 is dit anders: de voorjaarsbloei begint aanzienlijk later. Dit wordt veroorzaakt door een toename in lichtlimitatie op deze locatie. De simulatie met het gekalibreerde slibveld en een extinctie coëfficiënt van 0.025 voor zwevend stof laat voor Noordwijk 2 een qua timing vergelijkbare voorjaarsbloei zien als de referentie, maar de omvang is groter. Meer zeewaarts

is de voorjaarsbloei later dan de referentiesom: de nutriënten die normaal in Noordwijk 70 beschikbaar zijn, zijn in de meer kustwaartse gebieden meer benut waardoor er minder overblijft voor primaire productie in Noordwijk 70 (zie Figuur 7.4 en Figuur 7.7).



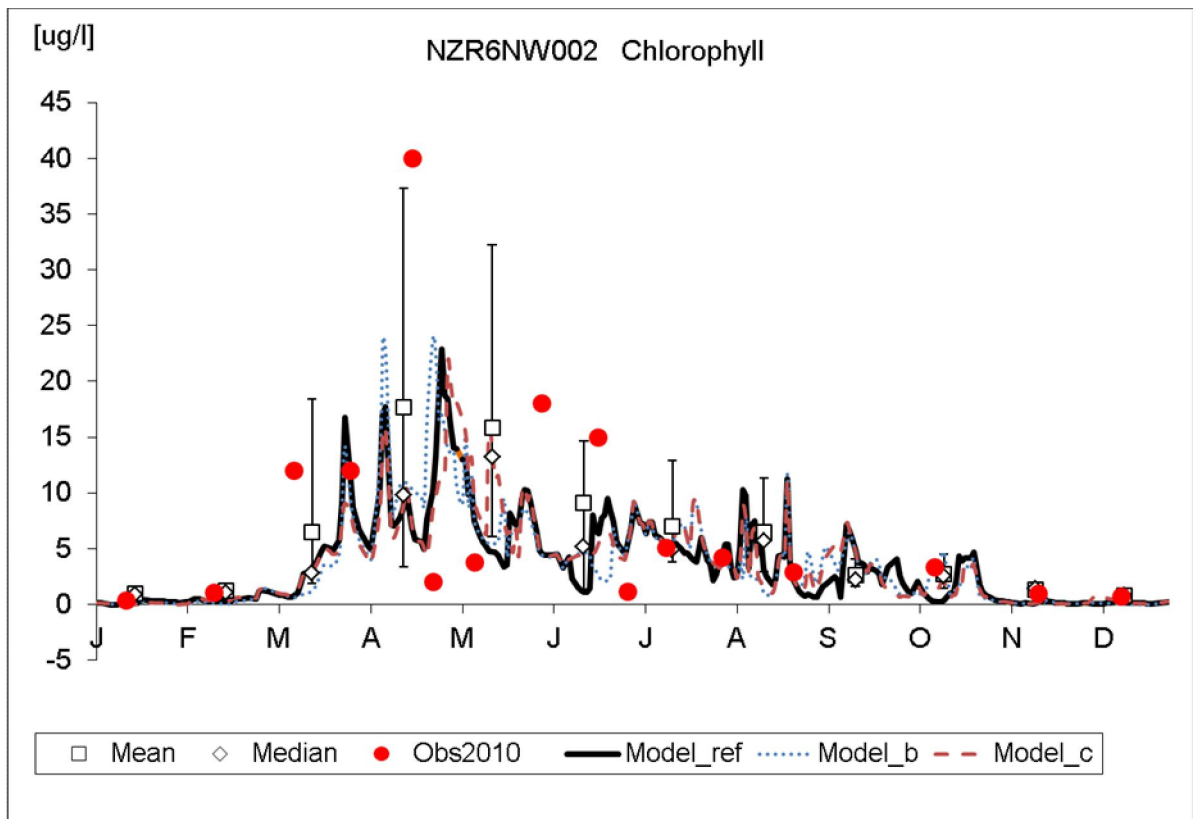
Figuur 7.4 Gesimuleerde chlorofylconcentraties voor Noordwijk 2km, voor de referentiesom in 2010 (zwarte lijn), random cosinus simulatie met extinctie coëfficiënt van 0.036 voor zwevend stof (blauwe gestippelde lijn) en twee simulaties met het gekalibreerde slibveld, waarbij een extinctie coëfficiënt van 0.036 (groene gestippelde lijn) en 0.025 (oranje gestippelde lijn) is gebruikt.



Figuur 7.5 Gesimuleerde chlorofylconcentraties voor Noordwijk 70 km, voor de referentiesom in 2010 (zwarte lijn), random cosinus simulatie met extinctie coëfficiënt van 0.036 voor zwevend stof (blauwe gestippelde lijn) en twee simulaties met het gekalibreerde slibveld, waarbij een extinctie coëfficiënt van 0.036 (groene gestippelde lijn) en 0.025 (oranje gestippelde lijn) is gebruikt.

7.2.4 Cosinus

De resultaten van verschillende random cosinus slibvelden laten nagenoeg hetzelfde verloop zien in de chlorofylconcentraties (zie Figuur 7.6). Kleine verschillen zijn zichtbaar, zoals de iets hogere tweede piek van de 'voorjaarsbloei' in de tweede versie van de random cosinus (Model_b) of de piek in mei van de derde variant van de random cosinus (Model_c). Uit de beschikbare MWTL metingen is niet na te gaan of 1 van de drie random cosinussen beter overeenkomt met de MWTL data dan de anderen (zie de target diagrammen in Bijlage H).



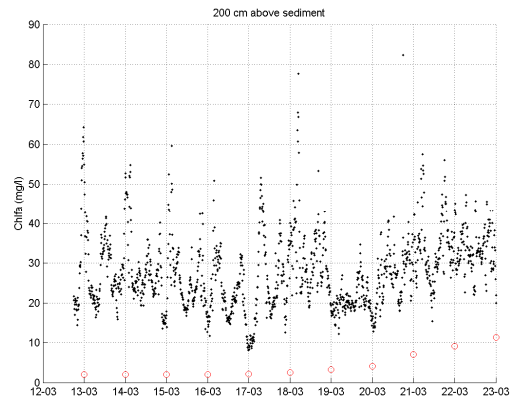
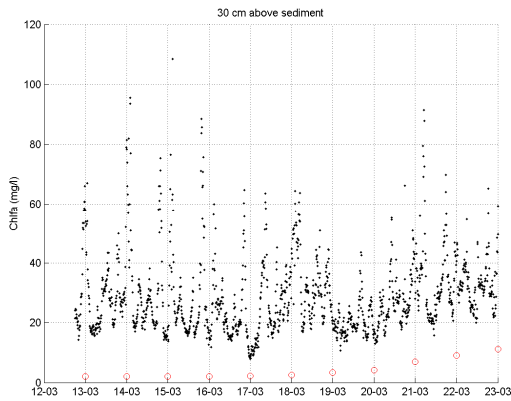
Figuur 7.6 Vergelijking van gesimuleerde chlorofyl concentraties ($\mu\text{g/l}$) met verschillende random cosinus slibvelden in Noordwijk 2 voor het jaar 2010. Rode bollen zijn gemeten chlorofylconcentraties in 2010, vierkant is het de maandgemiddelde chlorofylconcentratie over de periode 2004 tot en met 2009, wieber is de median over deze periode, de zwarte lijn is het modelresultaat voor de referentiesimulatie, de blauwe stippellijn is het modelresultaat voor cosinus b en de rode stippellijn is het modelresultaat voor cosinus c.

7.2.5 Hoogfrequente data

De voorjaarsbloei in de uitgevoerde simulaties voor 2010 komen allen later op gang dan de in hoogfrequente data (periode 12/3/2010 tot en met 23/3/2010). In Figuur 7.7 laten een aantal simulaties, diegene met een extinctiecoëfficiënt van 0.025, de aanvang zien van de voorjaarsbloei. Simulaties met een hogere extinctiecoëfficiënt (0.036) tonen een minder grote aanzet. Dit is te verklaren doordat rondom deze periode lichtlimitatie minder dominant wordt en een lagere extinctie coëfficiënt voor zwevend stof zorgt juist in deze periode eerder voor een gunstig lichtklimaat dan een hogere extinctie coëfficiënt.

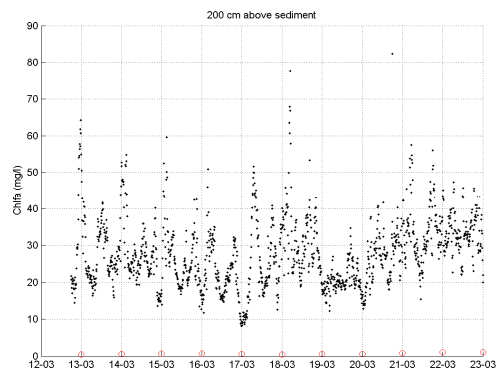
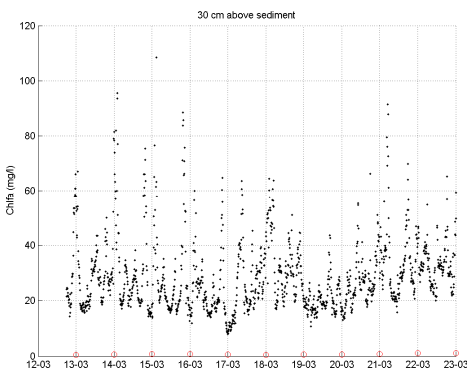
De Landermetingen tonen een gelaagdheid in de chlorofylconcentraties, zoals reeds beschreven. In de modeldata is deze gelaagdheid niet te zien: de waterkolom is goed gemengd. De in DONAR beperkt beschikbare metingen over de verticaal, laten langs de

Nederlandse kust een gemengde waterkolom zien. Oestergronden en de zeevaartse stations van Terschelling laten wel noemenswaardige stratificatie zien.



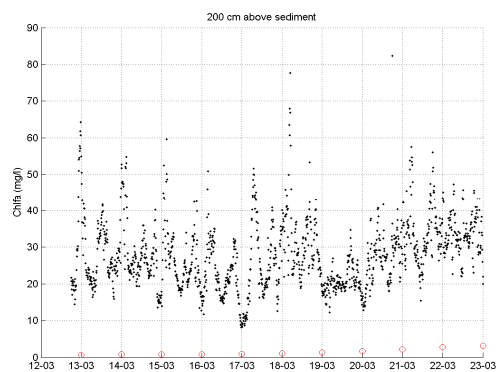
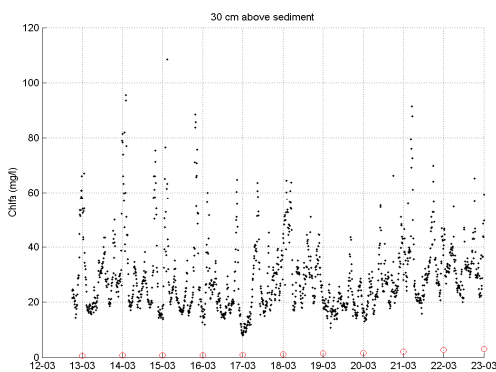
Referentiesom 2010, 30 cm boven sediment in meetperiode 1.

Referentiesom 2010, 200 cm boven sediment in meetperiode 1.



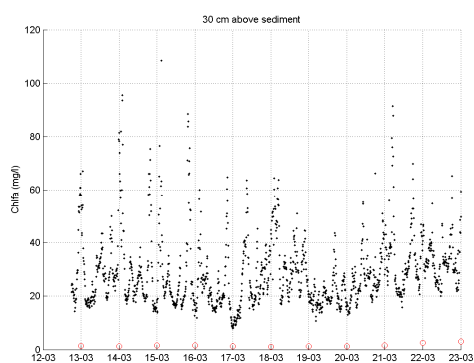
Som met gekalibreerd slibveld 2010, 30 cm boven sediment in meetperiode 1.

Som met gekalibreerd slibveld 2010, 200 cm boven sediment in meetperiode 1.

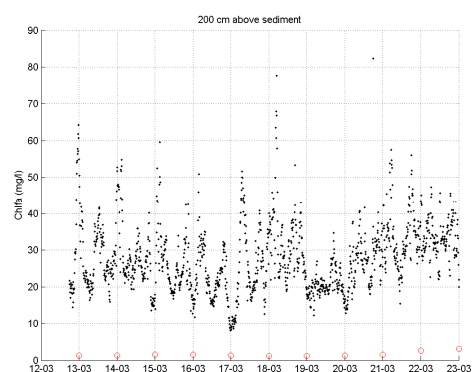


Referentiesom 2010, ext. zs op 0.036, 30 cm boven sediment in meetperiode 1.

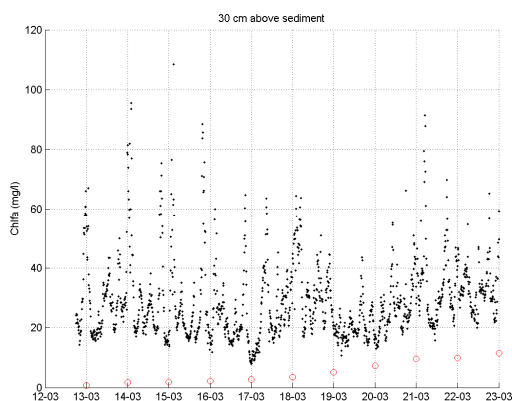
Referentiesom 2010, ext. zs op 0.036, 200 cm boven sediment in meetperiode 1.



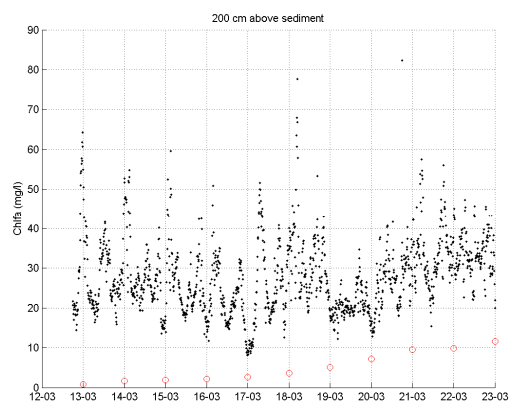
Som met gekalibreerd slibveld 2010, ext. zs op 0.025, 30 cm boven sediment in meetperiode 1.



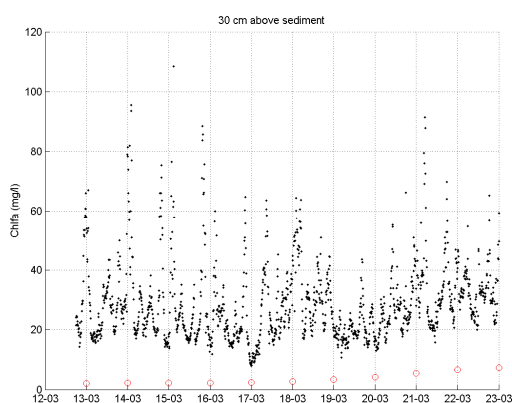
Som met gekalibreerd slibveld 2010, ext. zs op 0.025, 200 cm boven sediment in meetperiode 1.



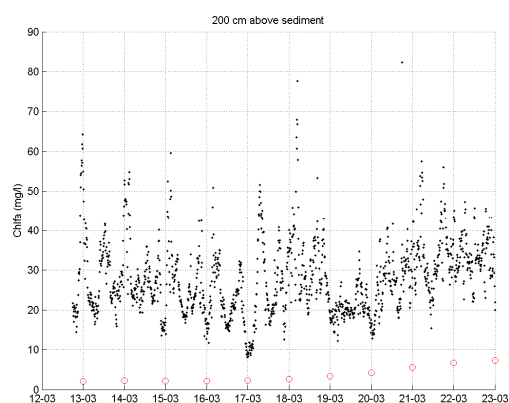
Som cosinus b 2010, 30 cm boven sediment in meetperiode 1.



Som cosinus b 2010, 200 cm boven sediment in meetperiode 1.



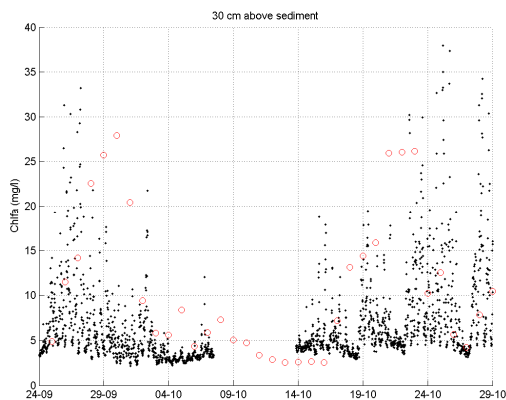
Som cosinus c, 30 cm boven sediment in meetperiode 1.



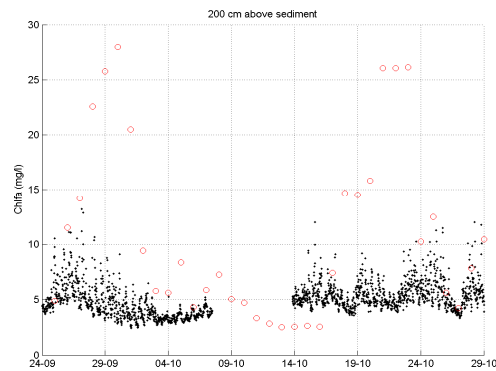
Som cosinus c, 200 cm boven sediment in meetperiode 1.

Figuur 7.7 Hoogfrequente chlorofyl metingen ($\mu\text{g/l}$) van het Landerframe nabij de Egmond (zwarte punten) vergeleken met berekende chlorofyl concentraties ($\mu\text{g/l}$) van verschillende simulaties voor de periode 12 maart 2010 tot 23 maart 2010.

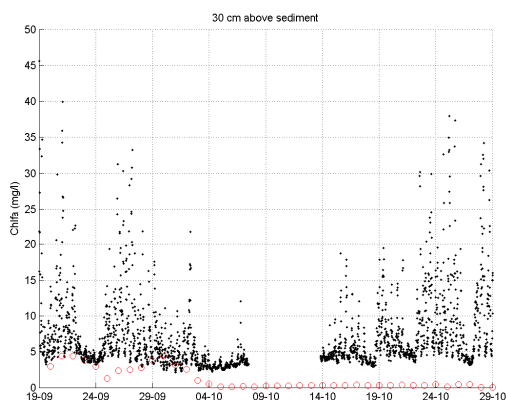
De berekende chlorofylconcentraties laten voor de periode in het najaar (16/9/2010 tot en met 7/10/2010 en 23/10/2012 tot en met 2/11/2010 (Figuur 7.8) een betere overeenkomst zien met de chlorofylconcentraties gemeten met het Landerframe dan in het voorjaar. De chlorofylconcentraties in de onderste gemeten laag (30 cm boven het sediment) worden door de modelsimulaties het beste benaderd. Tussen de simulaties zit wel verschil, zo laat de random cosinus b de beste overeenkomst zien met de Landerframe data ten opzichte van de andere twee random cosinussen. Verschillen in extinctie coëfficiënt zijn ook hier weer zichtbaar: een hogere extinctie coëfficiënt van zwevend stof leidt tot minder hoge chlorofylconcentraties, en dan met name de uitschieters, dan de modelresultaten van simulaties met de lagere extinctie coëfficiënt. Voor de Landermetingen hoger in de waterkolom, wordt de chlorofylconcentratie meer beïnvloed door de extinctie coëfficiënt van zwevend stof.



Referentiesom 2010, 30 cm boven sediment in meetperioden 3 en 4.



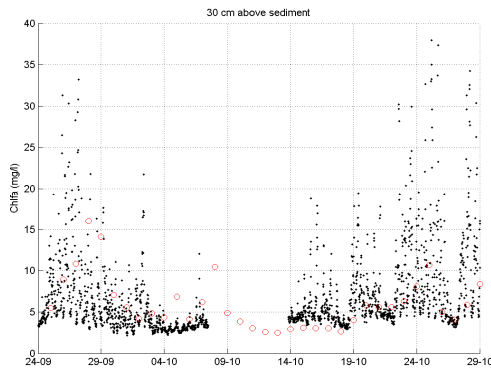
Referentiesom 2010, 200 cm boven sediment in meetperioden 3 en 4.



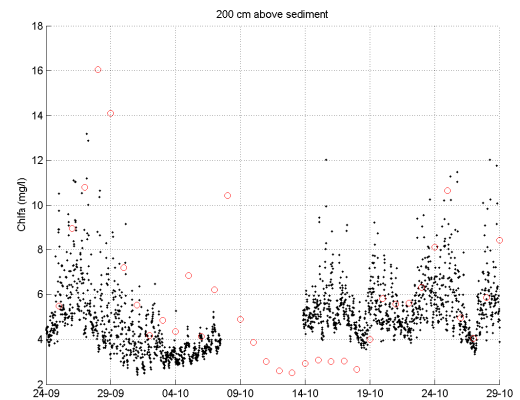
Som met gekalibreerd slibveld 2010, 30 cm boven sediment in meetperioden 3 en 4.



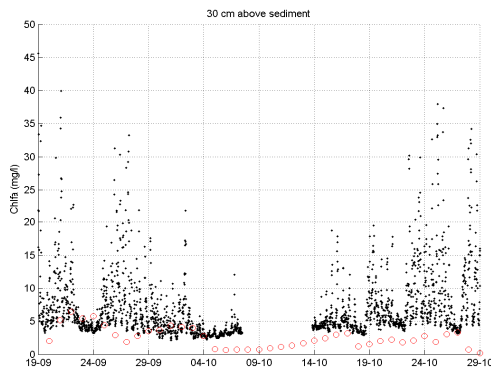
Som met gekalibreerd slibveld 2010, 200 cm boven sediment in meetperioden 3 en 4.



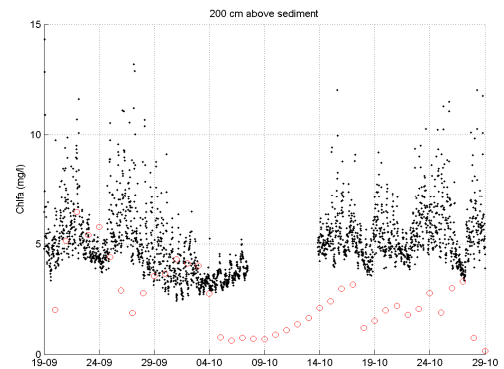
Referentiesom 2010, ext. zs op 0.036, 30 cm boven sediment in meetperioden 3 en 4.



Referentiesom 2010, ext. zs op 0.036, 200 cm boven sediment in meetperioden 3 en 4.



Som met gekalibreerd slibveld en ext. zs. 0.025 voor 2010, 30 cm boven sediment in meetperioden 3 en 4.



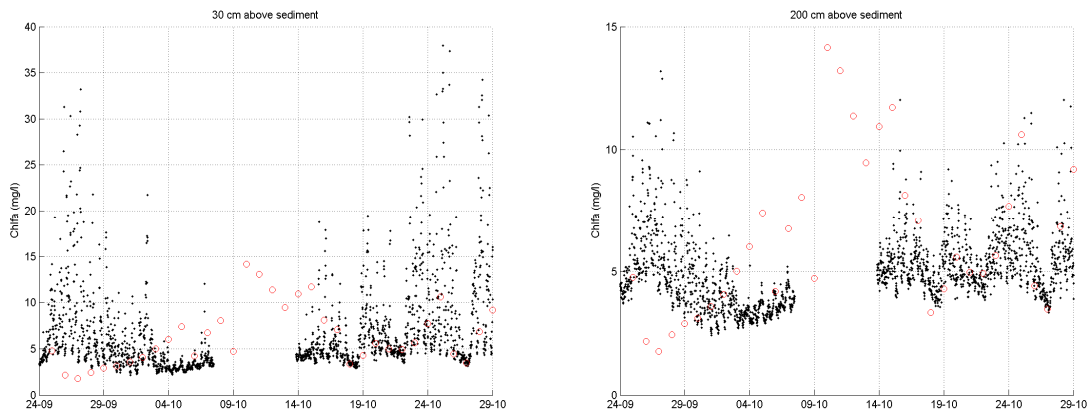
Som met gekalibreerd slibveld en ext. zs. 0.025 voor 2010, 200 cm boven sediment in meetperioden 3 en 4.



Som cosinus b 2010, 30 cm boven sediment in meetperioden 3 en 4.



Som cosinus b 2010, 200 cm boven sediment in meetperioden 3 en 4.



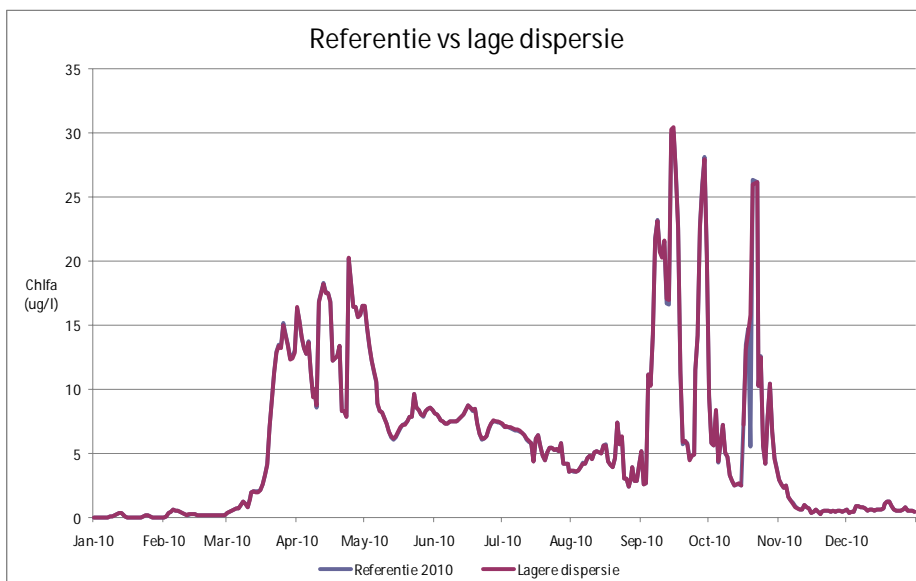
Som cosinus c, 30 cm boven sediment in meetperioden 3 en 4.

Som cosinus c, 200 cm boven sediment in meetperioden 3 en 4.

Figuur 7.8 Hoogfrequente chlorofyl metingen ($\mu\text{g/l}$) van het Landerframe nabij de Egmond (zwarte punten) vergeleken met berekende chlorofyl concentraties ($\mu\text{g/l}$) van verschillende simulaties voor de periode 12 maart 2010 tot 23 maart 2010.

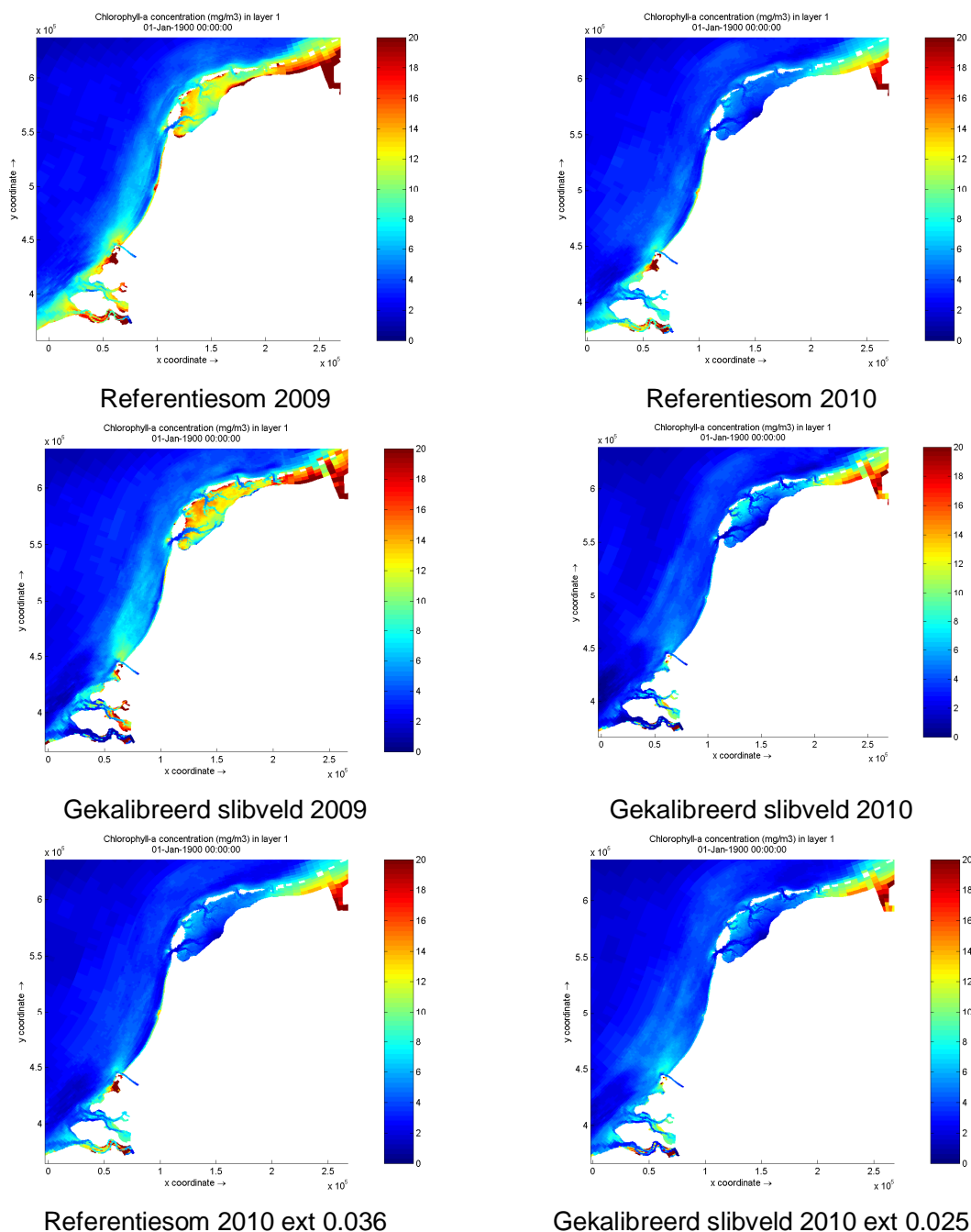
7.2.6 Lagere verticale dispersie

De hoogfrequente metingen van het Landerframe hebben hogere chlorofylconcentraties nabij de bodem dan hoger in de waterkolom. In de modelresultaten van de referentiesom is dit niet waargenomen. Een oorzaak kan zijn dat de in Delf3D-Waq opgelegde verticale dispersie leidt tot een te grote menging van de waterkolom. Een simulatie met een 100 keer lagere verticale dispersie (een ondergrens van $1 \cdot 10^{-7}$ in plaats van $1 \cdot 10^{-5}$) levert geen noemenswaardige verschil op in de verticale gradiënt ten opzichte van de referentiesom (Figuur 7.9). De initieel gebruikte verticale dispersie leverde op verschillende locaties realistische resultaten in vergelijking met MWTL data. Een verdere vermindering van de verticale menging kan onderzocht worden, maar daarbij moeten zulln dus ook de verticale profielen op andere locaties, zoals Terschelling, mee genomen moeten worden.



Figuur 7.9 Vergelijking chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) nabij de bodem op de Lander locatie tussen de referentiesom van 2010 (blauwe lijn) en een simulatie met een lagere verticale menging (rode lijn).

7.3 Vergelijking resultaten



Figuur 7.10 Jaargemiddelde chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) voor verschillende simulaties langs de Nederlandse kust.

De bovenstaande figuren in Figuur 7.10 tonen de jaargemiddelde chlorofylconcentraties van de referentiesommen van 2009 en 2010, de simulaties met de gekalibreerde slibvelden en de variatie in specifieke extinctie coëfficiënt voor de referentiesom en de som met het gekalibreerde slibveld, deze laatste twee voor het jaar 2010. De jaargemiddelde chlorofylconcentraties zijn in de referentiesommen hoger dan in de sommen met het gekalibreerde slibveld. Een hogere specifieke extinctie coëfficiënt van zwevend stof (0.036) in

de referentiesom van 2010 laat zien dat de chlorofylconcentraties dan lager zijn dan in de referentiesom van 2010. Omgekeerd, een lagere specifieke extinctie coëfficiënt van zwevend stof (0.025) toont een lichte toename in jaargemiddelde chlorofylconcentraties ten opzichte van de simulatie met het gekalibreerde slibveld in 2010, vooral rondom de Nieuwe waterweg en de Zeeuwse eilanden. Zie Bijlage G voor een overzicht van de resultaten.

In het voorjaar is er een duidelijk verschil tussen de hoogfrequente chlorofylmetingen en de modelresultaten. De referentiesom van 2010 en de cosinus varianten daarop laten de beste overeenstemming met de gemeten concentraties zien. In het najaar is er een betere overeenstemming tussen de modelresultaten en de hoogfrequente chlorofylmetingen. Wederom laat de referentiesom en de cosinusvarianten zich het beste met deze metingen vergelijken. De verlaging van de specifieke extinctie coëfficiënt van zwevend stof naar 0.025 van de som met het gekalibreerde slibveld, toont wel dat de dynamiek in chlorofylconcentraties meer op de hoogfrequente chlorofylmetingen gaat lijken dan wanneer er een specifieke extinctie coëfficiënt van 0.036 wordt gebruikt. Een verandering in verticale dispersie, om zo een grotere verticale gradiënt van stoffen in de waterkolom in de hand te werken, heeft geen resultaat opgeleverd om deze verticale gradiënt in de hoogfrequente metingen te benaderen (zie Figuur 7.9).

7.4 Discussie

7.4.1 Model data onzekerheden en kalibratie

Inherent aan het werken met modellen zijn de onzekerheden en onnauwkeurigheden in de modellen. De invoerdata voor het referentie GEM is afkomstig van een hydrodynamisch model en meetdata van het MWTL, CEFAS en het KNMI. Het hydrodynamisch model is onder meer afgeregeld op stroomrichtingen en –snelheden. Deze parameters zijn van belang voor GEM omdat dit het transport van stoffen bepaald. Echter, onvermijdelijke onnauwkeurigheden en onzekerheden in transport zorgt er voor dat stoffen net anders worden getransporteerd (temporeel en ruimtelijk) dan in de werkelijkheid. Dit is natuurlijk hoe modellen werken, maar het geeft aan dat, omdat GEM gebruik maakt van modelresultaten, er al een stukje onzekerheid en onnauwkeurigheid het model ingaat. Door bepaalde parametersettingen in GEM te gebruiken, zoals dispersie, wordt getracht om een voor GEM zo'n optimaal mogelijke hydrodynamica te verkrijgen. Op het moment dat er veranderingen optreden in hoe de hydrodynamica is geparameteriseerd, kan het zijn dat transport gerelateerde parametersettings in GEM niet langer het optimale resultaat geven.

GEM is gekalibreerd op MWTL metingen. De data van het Landerframe nabij Egmond geven systematisch andere chlorofylconcentraties dan de MWTL metingen. Kalibratie van GEM op data van het Landerframe zal leiden tot een overschatting van chlorofylconcentraties in het voorjaar en in het najaar tot een nog grotere overvoorspelling in vergelijking met MWTL data. Om een nuttige kalibratieslag voor GEM te maken moet het duidelijk zijn wat de data betekenen waarop gekalibreerd wordt. Door de mismatch tussen chlorofylconcentraties in de MWTL data en de Lander (ALEC) data, kunnen de Lander data niet gebruikt worden om de modelprestatie te valideren en vice versa.

Bij kalibratie van GEM kan men aan een aantal parameters wijzigen, zoals de extinctie, dispersie en algenkarakteristieken. Extinctiemetingen voor 2009 en 2010 zijn alleen beschikbaar voor een viertal stations in de Waddenzee en niet voor de Nederlandse kustzone. Dit maakt het niet mogelijk het lichtklimaat van GEM direct af te regelen op meetdata en is er ook geen validatie mogelijk. Validatie van het lichtklimaat moet daarom

indirect worden gekalibreerd aan de hand van modelresultaten en meetdata van chlorofylconcentraties. Dit brengt extra onzekerheid met zich mee: goed gemodelleerde chlorofylconcentraties zijn slechts een proxy van het lichtklimaat en daarom kan het zijn dat modelartefacten (ongemerkt) gecompenseerd worden. Kalibratie van algenkarakteristieken, zoals groeisnelheden en chlorofyl:nutriënt ratio's, kunnen meehelpen om de timing van de voorjaarsbloei af te regelen of om zomergemiddelde chlorofylconcentraties beter te beschrijven. Deze kalibratie opties zijn pas nuttig wanneer de chlorofylconcentraties redelijkerwijs goed beschreven worden, anders wordt de algendynamiek uit zijn verband getrokken.

7.4.2 Random cosinus

De toepassing van de random cosinus methode blijkt in deze studie de meest accurate beschrijving te geven van chlorofyl MWTL data voor 2009 en 2010. Verschillende random cosinus slibvelden hebben niet geleid tot grote verschillen in de timing van de voorjaarsbloei en de gemodelleerde chlorofylconcentraties. Verhoging van de extinctie coëfficiënt van zwevend stof leidt tot een verlating van de voorjaarsbloei. Verder blijft de seizoensdynamiek met deze methode beter behouden dan het gebruikte gekalibreerd slibveld: deze methode beschrijft robuust de seizoensdynamiek.

7.4.3 Slibmodel en kalibratie

Behoudens een experimentele GEM applicatie beschreven in Los en Blaas (2010) is deze studie de eerste keer dat een slibveld vanuit het slibmodel rechtstreeks als invoer voor GEM is gebruikt en waarvan de resultaten tevens realistisch zijn. De simulatiesommen met een dynamisch berekend slibveld en een extinctie coëfficiënt van zwevend stof van 0.036 laten zien dat deze specifieke extinctie wel te hoog is. Voor de kalibratie van GEM in eerdere studies (Los en Blaas, 2010) is voor het random cosinus veld de extinctie coëfficiënt van zwevend stof zo gekozen dat het de overvoorspelling van zwevend stof compenseert en zijn andere parameters zo afgeregeld dat ook de seizoensdynamiek beter wordt beschreven. De compensatiewaarde van 0.025 voor de extinctie coëfficiënt van zwevend stof is dus gekoppeld aan het gebruik van de random cosinus in combinatie met de parametersettings in het hydrodynamische model en de onderlinge samenhang in GEM.

Voor het gebruik van een dynamisch berekend slibveld zal opnieuw de specifieke extinctie coëfficiënt van zwevend stof afgeregeld moeten worden om tot realistische chlorofylconcentraties te komen die ook de seizoensdynamiek goed beschrijven. Doordat de modelforcering anders is met direct gebruik van resultaten van het slibmodel, zal niet simpelweg de 0.025 parameterwaarde overgenomen kunnen worden. Dit bleek ook uit de simulaties met de verschillende extinctie coëfficiënten voor zwevend stof met het gekalibreerde slibveld (zie paragraaf 7.2.3 en 7.3). Nabij de kuststrook geven de simulaties met het gekalibreerde slibveld en een extinctie van 0.025 voor zwevend stof een redelijk tot goed resultaat met betrekking tot chlorofylconcentraties (het slibveld *is* gekalibreerd op een locatie in deze kuststrook), maar meer zeewaarts neemt de overeenstemming met MWTL data af. Dit is ook een logisch gevolg omdat, zoals eerder beschreven, de Lander en MWTL data systematisch van elkaar verschillen

Wanneer er een parametersetting is gekozen voor het slibmodel, zal GEM opnieuw gekalibreerd moeten worden om bij deze nieuwe parametersetting van het slibmodel aan te sluiten. De resultaten van de kalibratiesom met een dynamisch berekend slibveld en een specifieke extinctie coëfficiënt van 0.025 voor zwevend stof is hier een illustratie van: deze resultaten zijn niet hetzelfde als de referentiesom van 2010. Of een bepaalde parameterset in GEM betere resultaten oplevert dan een andere, is niet eenduidig. Dit omdat er binnen GEM

gerekend wordt met zowel *model*data als met gegevens uit metingen. Uiteindelijk is het dan ook niet vreemd om bepaalde coëfficiënten anders te kiezen dan dat in de literatuur genoemd staat. Ook is het de verwachting dat de ene parameterset bijvoorbeeld betere resultaten geeft in de kustzone, maar slechtere resultaten geeft verder van de kust af met betrekking tot chlorofylconcentraties en algensoortsamenstelling. De kalibratie van GEM is daarom complex in een dynamisch systeem zoals de Noordzee.

8 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Samenvatting

Het basismodel is in voorgaande studies afgeregeld voor 2007. In het huidige project worden 2009 en 2010 geanalyseerd. De nieuwe metingen zijn uitgevoerd voor de kust van Egmond in het voor- en najaar van 2010. Opvallend is de sterk afwijkende windrichting in de 1^e helft van 2010. De nieuwe meetgegevens zijn hoogfrequent en representatief voor de waterkolom nabij de bodem. Dit is een waardevolle aanvulling op de reguliere laagfrequente MWTL oppervlakte metingen. Daarnaast zijn er een aantal bodemmonsters genomen.

De resultaten van het slibtransportmodel zijn aardig robuust. Namelijk, de resultaten van de referentie sommen zijn zonder wijzigingen van instellingen al vrij goed voor een ander jaar (2009 en 2010) en voor de nieuwe metingen nabij Egmond. Door aan te sluiten bij modelontwikkelingen die vanuit het project MoS2 zijn geïnitieerd, diende het model ge(her)kalibreerd te worden. De belangrijkste ontwikkelingen betreffen een aanpassing in de modelschematisatie en een verbeterde weergave van de bodemschuifspanning door golven. Dit eerste heeft geresulteerd in een betere weergave de saliniteit. De tweede aanpassing zal met name bij Egmond tot uiting komen bij gebruik van SWAN golfvelden met hogere resolutie (ZUNO-DD in plaats van ZUNO-grof).

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat de mate waarin het slibmodel en het GEM model de metingen reproduceren vergelijkbaar zijn met die in de MER zandwinning. Er valt desondanks nog de nodige winst te behalen door een aantal beperkte concrete aanpassingen in het model. Naast de reguliere meetsets zijn in deze studie diverse nieuwe aanvullende datasets geanalyseerd en gebruikt in de afregeling van de modellen. Hiermee is het Noordzee modelinstrumentarium weer een belangrijke stap verder in haar ontwikkeling en voorspellende waarde voor toekomstige Noordzee MEP/MER studies voor beheers –en inrichtingsvraagstukken.

Conclusies

Data analyse:

- De gelijktijdige metingen van slib in de bodem (labmonsters) en op diverse hoogtes in de waterkolom (ALEC) leveren extra informatie over de uitwisselingssnelheid en de partitionering van slib.
- Er is een systematisch verschil tussen de chlorofylconcentraties gemeten in het MWTL netwerk en die gemeten met de ALEC sensor op het Landerframe. Dit leidt tot onmogelijke validatie opgave van GEM in de Nederlandse kustzone.

Waterbeweging:

- De windrichting wijkt sterk af van het langjarig gemiddelde in de eerste helft van 2010. Dit heeft zijn weerslag op het slib transport.
- Bij berekeningen met een verhang van 5 cm op de Kanaalrand stemmen berekende jaargemiddelde restdebieten over de Kanaalrand goed overeen met het langjarig gemiddelde van 90.000 m³/s.
- Ook de berekende en gemeten saliniteit bij Noordwijk en Egmond (CTD sensor op NIOZ Lander meetframe) komen goed overeen. De hoogfrequente dynamiek in saliniteit zoals gemeten bij Egmond wordt zelfs uitstekend gereproduceerd door het waterbewegingsmodel.

Slibtransport:

- De resultaten van het slibtransportmodel zijn aardig robuust. Namelijk, de resultaten van de referentie sommen zijn zonder wijzigingen van instellingen al vrij goed voor een ander jaar en ander meetstation (Egmond NIOZ Lander). Daarnaast zijn de resultaten (weliswaar na herkalibratie) niet sterk gewijzigd met een andere forcering (die qua bodemschuifspanningsniveau sterk afwijkt).
- Nabij de bodem voorspeld het model duidelijk lagere slibconcentraties dan gemeten door de ALEC sensor op de NIOZ Lander bij Egmond. Dit effect is vooral zichtbaar bij 30 centimeter boven de bodem. Bij 200 cm boven de bodem liggen de ranges van concentraties voorspeld door het model en meting vrij goed op elkaar. De metingen laten een hoog frequente dynamiek zien met grotere range in concentraties dan in de modelresultaten.
- De berekende waarden van jaargemiddelde slibpercentage in de bodem zijn qua ordegrrootte goed vergelijkbaar met de fracties fijn materiaal zoals bepaald in de bodemonster analyses van de boxcores op deze lokatie (Blok en Arentz 2012). Qua tendens in de ruimte wijken metingen en modelberekeningen af.
- De geboekte winst met de verbeterde benadering van de bodemschuifspanning door golven komt niet volledig tot uiting door gebruik van de 2003 ZUNO-grof SWAN velden als basis voor deze berekening. De lokaal onrealistische waarden voor significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode bemoeilijken een verbeterde voorspelling van de lokale slibconcentratie bij Egmond.
- Door de hindcast 2009-2010 is nu ruimtelijk en temporeel dekkende informatie beschikbaar.

GEM:

Uit de resultaten van de GEM simulaties en de discussie kan het volgende worden geconcludeerd:

- De random cosinus methode is nog steeds de beste optie om chlorofylconcentraties in de zuidelijke Noordzee te modelleren.
- De gekalibreerde slibvelden leiden **voor het eerst** tot redelijke chlorofylconcentraties. De resultaten nabij de kust zijn echter aanzienlijk beter dan offshore.
- Het is pas zinvol om GEM te kalibreren wanneer het slibmodel is gekalibreerd voor het hele Noordzee modeldomein. De specifieke extinctie coëfficiënt van zwevend stof is een goede parameter om GEM te kalibreren.
- Lander metingen en MWTL metingen met betrekking tot chlorofyl zijn moeilijk te vergelijken. Om op Lander metingen te finetunen moet uitgezocht worden hoe Lander metingen zicht tot MWTL metingen verhouden, niet alleen lokaal maar langs de gehele Nederlandse kust.
- Kalibratie van algenkarakteristieken moet ingezet worden als finetuning van het model, niet om de grote stappen te maken.

In de uitgevoerde waterbewegings-, slib- en GEM berekeningen zijn naast de reguliere meetsets verscheidende nieuwe datasets geanalyseerd en gebruikt in de afregeling van de modellen. Hiermee is het Noordzee modelinstrumentarium weer een stap verder in haar ontwikkeling en voorspellende waarde voor toekomstige MEP/MER studies of andere Noordzee beheers- en inrichtingsvraagstukken.

Aanbevelingen

Data analyse:

- Analyse van de ruwe Meetvis (=ScanFish) en FerryBox data van troebelheid en fluorescentie voor kwalitatieve validatie van modelresultaten (zie Bijlage B).
- Op basis van LISST 2010 data onderzoeken wat de samenstelling van het materiaal vlak boven de bodem is. Op basis hiervan kunnen dan de hoogfrequente slibmetingen nabij Egmond worden gevalideerd.
- De relatie tussen de metingen van het Landerframe en MWTL data moet worden uitgezocht. Pas dan kan besloten worden of beide data bronnen aan elkaar gerelateerd mogen worden.

Waterbeweging:

- Kalibratie van het waterbewegingsmodel op basis van de hoogfrequente metingen van saliniteit, stroomsnelheid en –richting (indien betrouwbaar) en waterstanden ten behoeve van een betere weergave van het slibtransport rondom Egmond voor 2009 en 2010.

Slibtransport:

- De basis SWAN velden, welke als input dienen voor de verbeterde benadering van de bodemschuifspanning door golven (zoals in gekalibreerde slibsimulaties), op ZUNO-DD berekenen.
- Een verdere analyse van sturende data voor slibtransport en op basis van de betrouwbaarheid een afweging maken of het zinvol is om het slibmodel verder te kalibreren. Hierin streven naar een goede balans tussen onzekerheidsmarges in de data (forcering en validatie) en de onzekerheidsmarges in het model.
- Kalibreren/valideren over meerdere jaren, aangezien de slibdynamiek aanzienlijk kan variëren van jaar tot jaar.

GEM:

- Het slibmodel moet niet alleen gevalideerd worden voor de Nederlandse kustzone en de Waddenzee, maar ook hierbuiten. Dit is van belang omdat effecten van slib buiten deze gebieden, de forcering van primaire productie binnen het gebied beïnvloedt (transport, beschikbaarheid nutriënten)
- Kalibratie van GEM eerst op extinctiemetingen en pas dan op chlorofylmetingen. Hiervoor zijn echter wel extinctie gegevens nodig of men moet GEM op die jaren kalibreren waar meer extinctiemetingen beschikbaar zijn.
- Het tegen het licht houden van de chl: C ratio's kan voor een oplossing zorgen om de overvoerspelling van chlorofylconcentraties in zeewaarts gelegen MWTL stations te verminderen.

9 Referenties

- Blok B en L. Arentz (2012): Bodemonmonster Analyse Egmond, projectnummer 1205620-000, Deltares.
- Blok B (2012): Rapport Vector data en plots (concept), projectnummer 1204697, Deltares.
- Blok B (2012): Rapport LISST 2011(concept), projectnummer 1204697, Deltares.
- Garcia Triana, I.D.T.F (2012): Deelrapport van MoS2 I (Blaas et al., 2012)I: Donar Data: CTD, FerryBox en ScanFish. Assessing its potential for SPM model validation of the North Sea (concept).
- Booij, N., R. Ris and L. Holthuijsen, 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geophys. Res.* 104 (C4): 7649-7666.
- Blauw, A.N; Benincà, E; Laane. R.W.P.M; Greenwood, N; Huisman, J (in press): Dancing with the Tides: Fluctuations of Coastal Phytoplankton Orchestrated by Different Oscillatory Modes of the Tidal Cycle. *PLOS ONE*
- Blaas M., K. Cronin, G.Y. El Serafy, I.D.T.F. Garcia Triana, S. Gaytan Aguilar, en R. Plieger (2012): MoS2-II: Deterministic Model setup, Updates of the hydrodynamic and SPM model, projectnummer 1204561, Deltares (concept).
- Blaas M., K. Cronin, G.Y. El Serafy, Y.F. Friocourt, I.D.T.F. Garcia Triana, S. Gaytan Aguilar, en G.H. Keetels (2012): MoS2: Model setup, data assimilation and skill assessment. Model-supported monitoring of SPM in the Dutch coastal zone, projectnummer 1002611-000, Deltares.
- Gayer, G., S. Dick, A. Pleskachevsky, W. Rosenthal, 2006. Numerical modelling of suspended matter transport in the North Sea. *Ocean Dyn.* 56: 62-77. DOI 10.1007/s10236-006-0070-5
- Jollif, J.K., J.C. Kindle, I. Shulman, B. Penta, M.A.M. Friedrichs, R. Helber en R.A. Arnone (2008): "Summary diagrams for coupled hydrodynamic-ecosystem model skill assessment", *Journal of Marine Systems*, doi: 10.1016/j.jmarsys.2008.05.014.
- Oeveren-Theeuwes, C, van (2011): Validation of the mud buffer model for mud transport in the North Sea coastal zone on the basis of long-term measurements of Cd concentrations, projectnummer 1203191-000, Deltares.
- Keetels, G., V. Harezlak, T, van Kessel, A, van Rooijen, Y.F. Friocourt, T, van der Kaaij, H. Los (2012) Winning suppletiezand Noordzee 2013-2017 – Validatierapport.
- Kessel, T. van, M.C. van Oeveren-Theeuwes, A.A. van Rooijen (2012). Kalibratie slijbtransportmodel voor de Hollandse kustzone aan de hand van cadmium-metingen. Eindrapport Fase 2. Deltares rapport 1203191-001.

- Kessel, T. van; J.C. Winterwerp; B. van Prooijen; M. van Ledden; W. Borst. (2010). Modelling the seasonal dynamics of SPM with a simple algorithm for the buffering of fines in a sandy seabed. *Continental Shelf Research*. DOI:10.1016/j.csr.2010.04.008.
- Van Kessel, T., and C. Brière, 2006. Modelling of seasonal SPM variations in the Dutch coastal zone. (VOP 2006), WL | Delft Hydraulics Report Z4150.
- Kok, J.M. de (2004). Slibtransport langs de Nederlandse kust. Bronnen, fluxen en concentraties. RIKZ/OS/2004.148w. Los, F.J. en M. Blaas (2010): "Complexity, accuracy and practical applicability of different biogeochemical model versions", *Journal of Marine Systems* (81), 44-74.
- Los, F.J., M.T. Villars en M.W.M. van der Tol (2008): "A 3-dimensional primary production model (BLOOM/GEM) and its applications to the (southern) North Sea (coupled physical-chemical-ecological model)", *Journal of Marine Systems* (74), 259-294.
- Ris, R., N. Booij and L. Holthuijsen, 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part II: Verification. *Journal of Geophysical Research* 104 (C4): 7649-7666. 1,5, 6
- Suijlen, J.M en R.N.M. Duin (2002). Atlas of near-surface Total Suspended Matter concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea. Report RIKZ/2002.059.
- Suijlen, J.M., Duin, R.N.M. (2001): Variability of near-surface total suspended matter concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea. Climatological study on the suspended matter concentration in the North Sea. Report RIKZ/OS/2001.150X.
- Swart, D.H., 1974, Offshore sediment transport and equilibrium beach profiles WL|Delft Hydraulics/TU Delft Dissertation, 315 pp, 1974.
- Van Prooijen, B., B. Blik, H. Los, X. Desmit, Winning suppletiezand Noordzee 2008-2012. Slibtransport, nutriënttransport en primaire productie. Svašek en WL | Delft Hydraulics, BvP/1414/07376C, 2007.
- Van Prooijen, B., T. van Kessel, A.J. Nolte, F.J. Los, J.G. Boon, W. de Jong, & M. van Ledden, 2006. Impact sand extraction Maasvlakte 2, Mud transport, nutrients and primary production. Royal Haskoning, Svašek Hydraulics, WL | Delft Hydraulics report 9P7008.09
- Thoolen P.M.C, L.M. Merckelbach, T. van Kessel (2001): "Effects of land reclamation Maasvlakte-2 on silt transport and siltation. Phase 2: Large scale effects along the Dutch coast and in the Wadden Sea". WL | Delft Hydraulics report Z2874.20.
- Vries, K. de (2011). Monitoring van het slibgehalte in de toplaag van de zeebodem. Medusa rapport 2009-P-260-Evaluatie v3.

A The buffer bed model

The buffer parameterisation is a bed module that includes seasonal buffering of fine sediments. This means that fine sediments are stored in the seabed during calm conditions and released from the seabed during stormy conditions (Van Kessel et al., 2011). This model contains two bed layers which interact in a specific way. The thin fluffy layer forms during slack tide and is easily resuspended by tidal currents. This layer accounts for rapid resuspension and settling that in reality is thought to occur in fluffy patches on the sea floor. The total sediment mass in this layer is small. The sandy buffer layer, on the other hand, can store fines for longer times and releases SPM only during highly dynamic conditions, such as spring tides or storms. Detrainment of silt from the matrix of sand occurs only beyond critical mobilization conditions for the sand grains, whereas slow entrainment occurs during subcritical conditions. The time-average sediment fluxes between the buffer layer and the water column are limited, whereas the storage capacity of silt in the sea bed may be large, depending on the assumed mixing depth. All in all, the overlying water column is directly interacting with both layers but with different rates, representing the different physical processes that play a role. Figure A.1 illustrates the exchanges between both bottom layers and the water column for the buffer parameterisation.

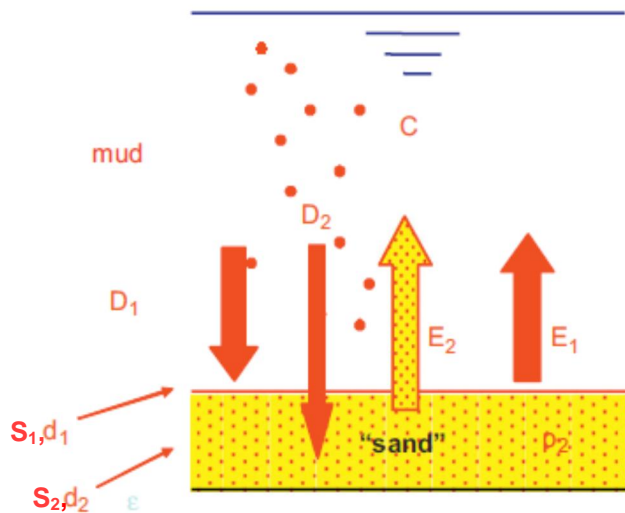


Figure A.1 Schematic representation of the buffer model. Layer S_1 , thickness d_1 : thin fluff layer. Layer S_2 , thickness d_2 : sandy sea bed infiltrated with fines. D_j deposition flux towards layer S_j , E_j erosion flux from layer S_j ($j \in [1,2]$) and C : SPM concentration. (reproduced from Van Kessel et al., 2011.)

Deposition towards layer S_1 and S_2 is determined by settling velocity V_{Sed} , and a factor $\alpha \ll 1$ that distributes the flux to the fluff and buffer layer. A critical shear stress for sedimentation is not applied:

$$D_{1,IM_i} = (1 - \alpha_{IM_i}) V_{Sed,IM_i} C_{IM_i} \quad (C.1a)$$

$$D_{2,IM_i} = \alpha_{IM_i} V_{Sed,IM_i} C_{IM_i} \quad (C.1b)$$

with C_{IM_i} the concentration of fraction inorganic matter IM_i , and α dependent on the fraction class. Deposition of fines in the buffer layer (eq. C.1b) will shut down if the silt fraction reaches a user-defined saturation rate.

Resuspension E_1 of each fraction out of the fluff layer is proportional to the excess shear stress times a grain size dependent first-order rate (V_{Res}) until a certain saturation concentration in the bed beyond which a uniform zero-order rate (Z_{Res}) applies. The coarse and fine fractions have a different critical shear stress for resuspension (τ_{cr}). The zero-order formulations are based on Partheniades (1962), the first order expression is based on Van Kessel et al. (2011). The process is implemented for all three sediment fractions IM_i .

For the resuspension flux E_2 from the buffer layer, a Van Rijn (1993) type of pickup formulation is applied, with Van Rijn's empirical power of the excess stress of 1.5. The fines are only detrained from this layer when the shear stress exceeds the mobilization threshold (Shields stress, τ_{Sh}) for the sand amongst which the fines are stored. In summary, the erosion fluxes for supercritical conditions read:

$$E_{1,IM_i} = \min\left(Z_{Res,IM_i}, V_{Res,IM_i} M_{i,1}\right) \left(\frac{\tau}{\tau_{cr,S_1 IM_i}} - 1\right) \quad (C.2a)$$

$$E_{2,IM_i} = F_{ResPUp} M_{i,2} \left(\frac{\tau}{\tau_{Sh}} - 1\right)^{1.5} \quad (C.2b)$$

In this formulation, the following definitions hold:

- E_{j,IM_i} Resuspension flux of SPM fraction IM_i from layer S_j [$\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$]
- τ Bottom shear stress [Pa]
- $\tau_{cr,S_1 IM_i}$ Critical shear stress for silt resuspension fraction i from fluff layer S_1 [Pa]
- τ_{Sh} Critical Shields stress for sand mobilization in buffer layer S_2 . [Pa]
- Z_{Res,IM_i} Zero-order resuspension rate from layer S_1 [$\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$]
- V_{Res,IM_i} First order resuspension rate from layer S_1 [d^{-1}]
- F_{ResPUp} Van Rijn (1993) pickup factor from buffer layer [-]
- $M_{i,j}$ Mass of sediment fraction i in layer j per surface area [g m^{-2}]

Since the fluff consists of pure mud, the mass for layer S_1 is proportional to the stored mass of fraction i per unit bed area for each computational segment. For layer S_2 the mass depends on the mud fraction with respect to the sand: $M_{i,2} = f_{IM_i S_2} d_2 (1 - \text{Por}_{S_2}) \rho_{sand}$, with thickness d_2 and

$f_{IM_i S_2}$ the fines fraction with respect to total bed,

Por_{S_2} the volumetric porosity of the bed,

ρ_{sand} the mass density of sand.

The reader is referred to Appendix A for detailed overview of all coefficient settings.

A first order erosion rate in principle implies that net SPM deposition may result in an increase of M_i in eq. (C.2) until an equilibrium mass per unit area is reached for which erosion equals deposition. In areas with high silt supply this equilibrium will be reached at high bed concentrations with correspondingly high exchange fluxes. The Haringvliet area is such an area with high supply but no unlimited exchange fluxes (see e.g. Stam, 2002, Winterwerp, 2006). In order to avoid unrealistically high fluxes in such environments, the erosion term in

eq. (C.2) switches from first order to zero order erosion at $M_i = Z_{Res}/V_{Res}$ [gm⁻²]. The rationale behind this transition is that for small values of M_i the exposed surface area of silt may scale linearly with M_i , as long as the sea bed is not yet completely covered with mud. However, beyond a certain value of M_i the seabed will be completely covered with fines and even more fines will not enhance the erosion rate anymore.

References

- Partheniades, E., 1962. *A study of erosion and deposition of cohesive soils in salt water*. Ph.D. thesis, University of California, Berkeley, USA. 182 p. 72
- Van Kessel, T., J.C. Winterwerp, B. van Prooijen, M. van Ledden, W.G. Borst, 2011. Modelling the seasonal dynamics of SPM with a simple algorithm for the buffering of fines in a sandy seabed. *Cont. Shelf Res.* 31(10) S124–S134, doi:10.1016/j.csr.2010.04.008,
- Van Rijn, L.C., 1993. *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries, Seas and Oceans*. Aqua Publications, The Netherlands.
- Stam, J.M.T., M. Groen, and L. Walburg, 2002. *Haringvlietmonding: reconstructie van een afsluiting*, Report RIKZ/2002.028 (in Dutch)
- Winterwerp, J.C., 2006, *Fluxes of fine sediment along the Dutch coast and the impact of Maasvlakte 2, A system description*, WL | Delft Hydraulics Report, Z4046.10 October, 2006

B Beschikbaarheid van de meetgegevens

Niet alle meetgegevens zoals beschreven in de offerte (zie paragraaf 1.1) zijn beschikbaar of direct bruikbaar ten tijde van huidige studie. Er wordt een overzicht gegeven van gegevens die wel beschikbaar zijn, maar (nog) niet bruikbaar en de gegevens die nog niet beschikbaar zijn ten tijde van deze studie:

Wel beschikbaar maar (nog) niet bruikbaar:

1. NIOZ Lander: VECTOR metingen van golfhoogte en bodemhoogte:
 Ruwe VECTOR metingen indicatief voor deze parameters zijn wel in ruw formaat beschikbaar, maar (nog) niet direct bruikbaar aangezien de ruwe data nog bewerkt moeten worden tot fysische parameters. Voor meer informatie wordt verwezen naar (Blok 2012: VECTOR) waarin de metingen gepresenteerd worden. De belangrijkste bevindingen staan hier kort weergegeven:
 - Golfhoogte: de VECTOR sensor meet de druk aan de bodem. De standaard deviatie van de druk aan de bodem (druk Hm0) is vaak een goede indicator van de golfhoogte. Echter, omdat de VECTOR sensor op ongeveer 10-11 meter diepte meet speelt de drukdispersie een grote rol. Drukdispersie is een golflengte en diepte afhankelijke parameter. Op een diepte van 10 meter is de druk Hm0 niet meer direct representatief voor de golfhoogte.
 - Bodemhoogte: de VECTOR sensor meet de afstand van de sensor tot de bodem. Deze metingen zijn zeer nauwkeurig, maar de natuurlijke sedimentatie en resuspensie processen worden verstoord door de aanwezigheid van het frame (bijv. door uitschuring). Op dit moment wordt gekeken hoe hiermee om te gaan en of de data nog bruikbaar zijn.
2. Ruwe data data van troebelheid en flourescentie zijn beschikbaar in DONAR¹. Meetvis (=ScanFish) voor 2009 en FerryBox 2009-2010. Binnen een parallel project MoS² II (Blaas et al., 2012) worden de kwaliteit en eigenschappen van deze data uitvoerig geanalyseerd. De analyse richt zich op de parameter troebelheid met als doel de bruikbaarheid van deze data voor zwevend stof model validatie te analyseren voor de periode 2003 tot en met 2008. Uit de analyse is geconstateerd dat de troebelheidsmetingen niet geschikt zijn voor validatie van het slibmodel van de Noordzee omdat de data kwantitatief onbegrijpelijk zijn. Op dit moment wordt nog gekeken of de data, ondanks een negatieve correlatie met MERIS satellietdata, kwalitatief ingezet kunnen worden (Soenario et al., 2012/2013). Een soortgelijke analyse van flourescentie valt buiten de scope van dit project.

Niet beschikbaar:

3. LISST data van korrelgrootteverdeling als functie van de tijd voor 2010 is voor 2011 beschikbaar en niet voor 2010. Er loopt momenteel een studie waarin de data van 2011 gepresenteerd wordt (Blok 2012: LISST). In deze studie worden korrelgrootteverdelingen als functie van de tijd afgeleid. Echter, uit deze studie blijkt dat door biofouling enkel de eerste paar dagen van elke deployment bruikbaar zijn.

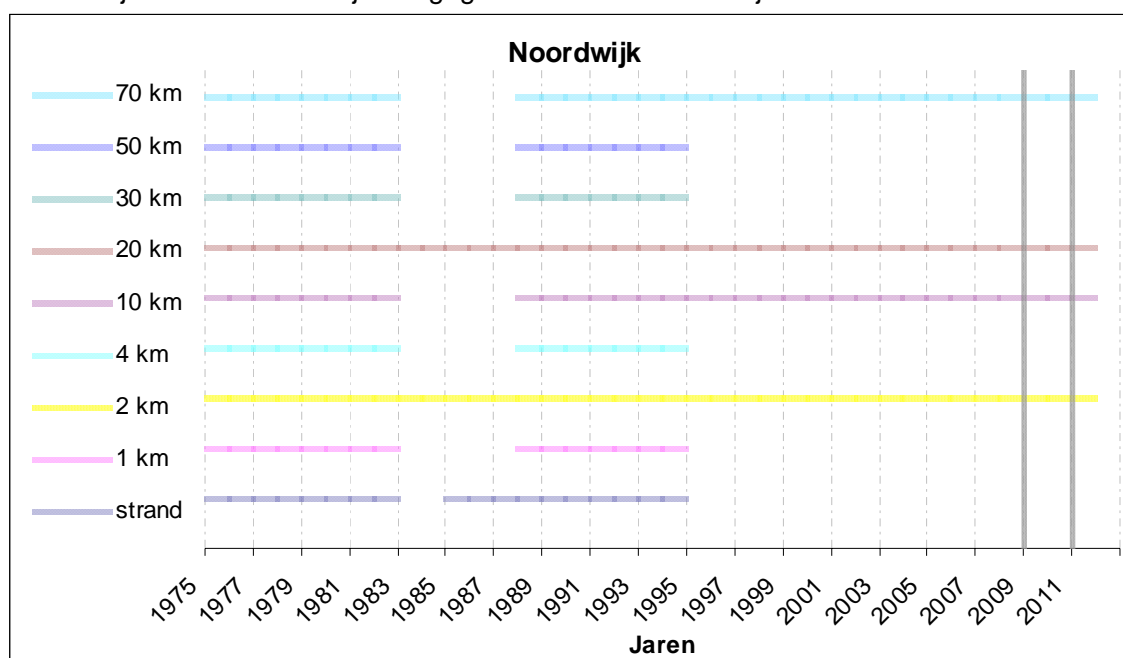
¹ DONAR staat voor Data Opslag Natte Rijkswaterstaat

C MWTL data

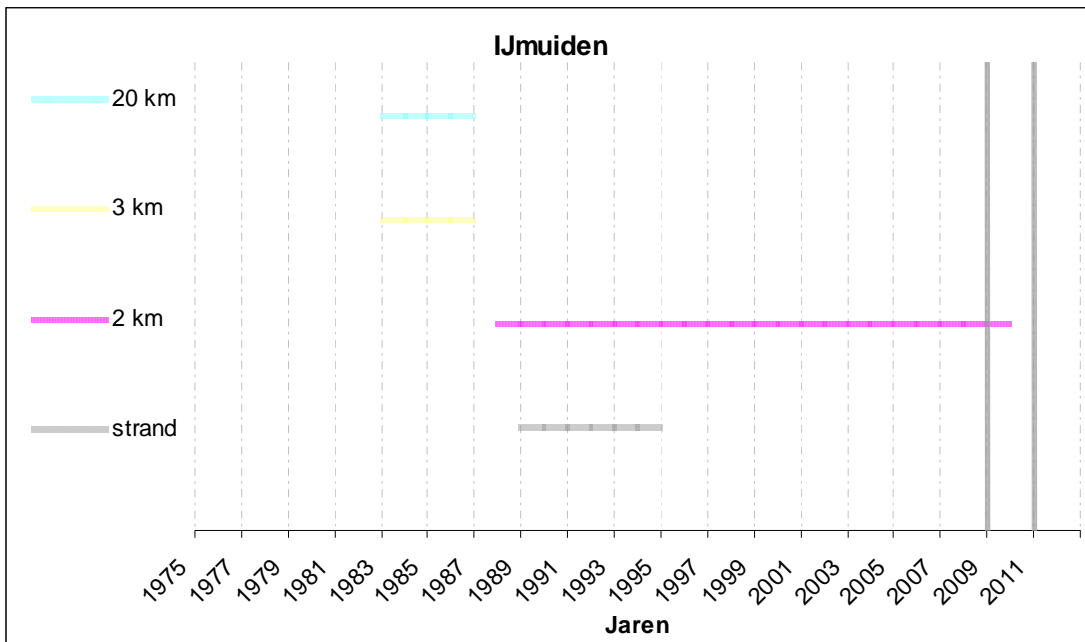
- C1. Data beschikbaarheid
- C2. Saliniteit
- C3. Zwevend stof
- C4. Chlorofyl

C.1 Data beschikbaarheid

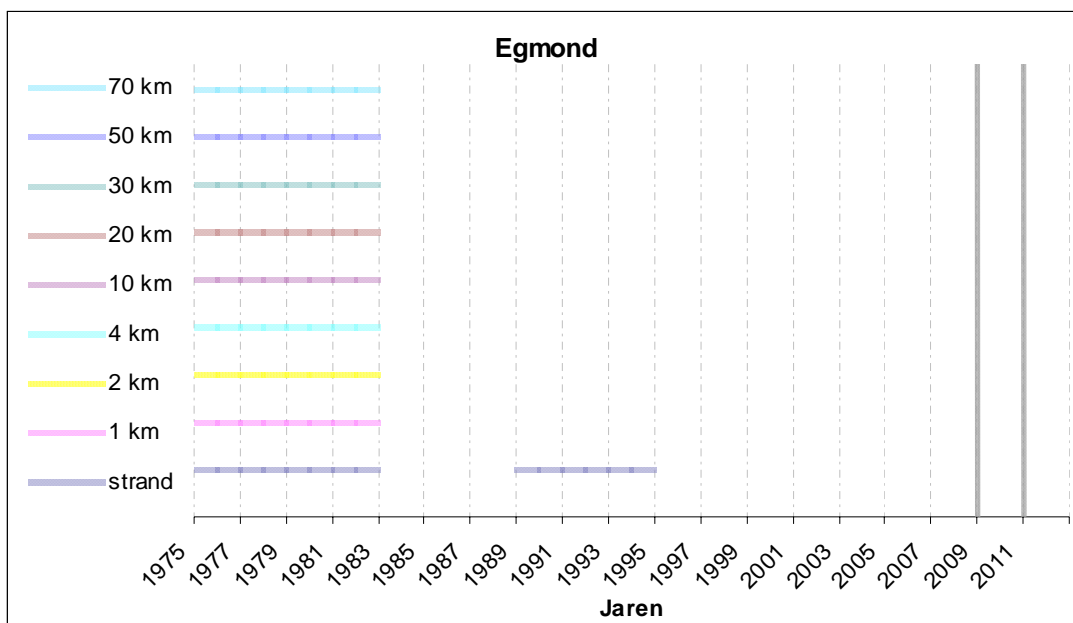
In alle figuren zijn de tijdsperioden weergegeven waarin zwevend stof is gemeten. Afwijkingen in deze periode mbt chlorofylconcentraties zijn onder elke grafiek beschreven. De interesse jaren 2009-2010 zijn aangegeven door 2 verticale lijnen



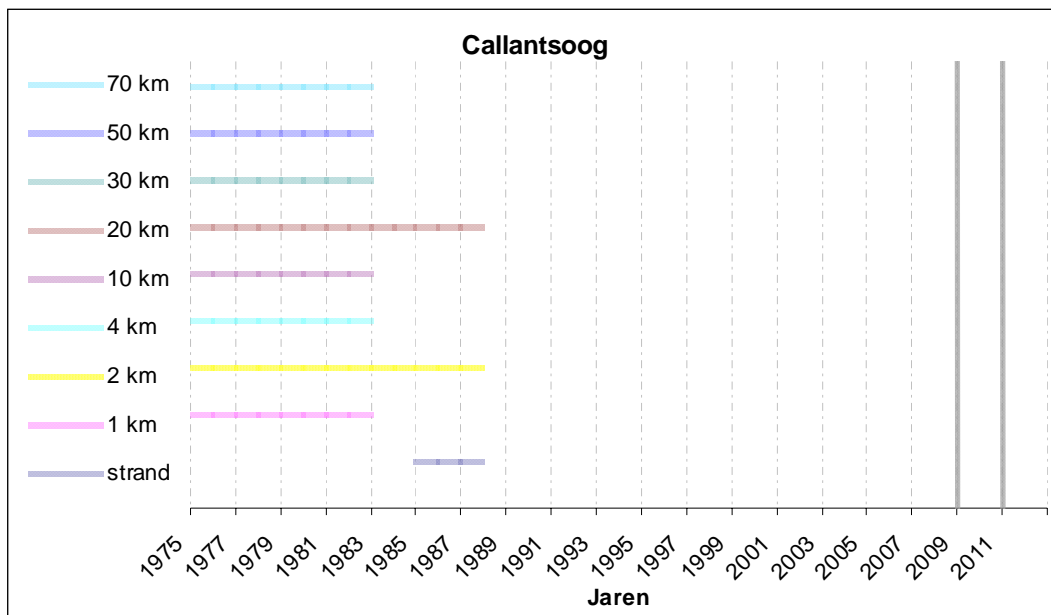
Strand	gemeten in 85-95
1km	identiek
2km	gemeten in 75-83 en 88-2012
4km	identiek
10km	identiek
20km	gemeten in 75-83 en 88-2012
30km	identiek
50km	identiek
70km	identiek



Strand identiek
2km identiek
3km identiek
20km niet gemeten



Strand	gemeten in 82-94 en 89-95
1km	identiek
2km	identiek
4km	identiek
10km	identiek
20km	identiek
30km	identiek
50km	identiek
70km	identiek

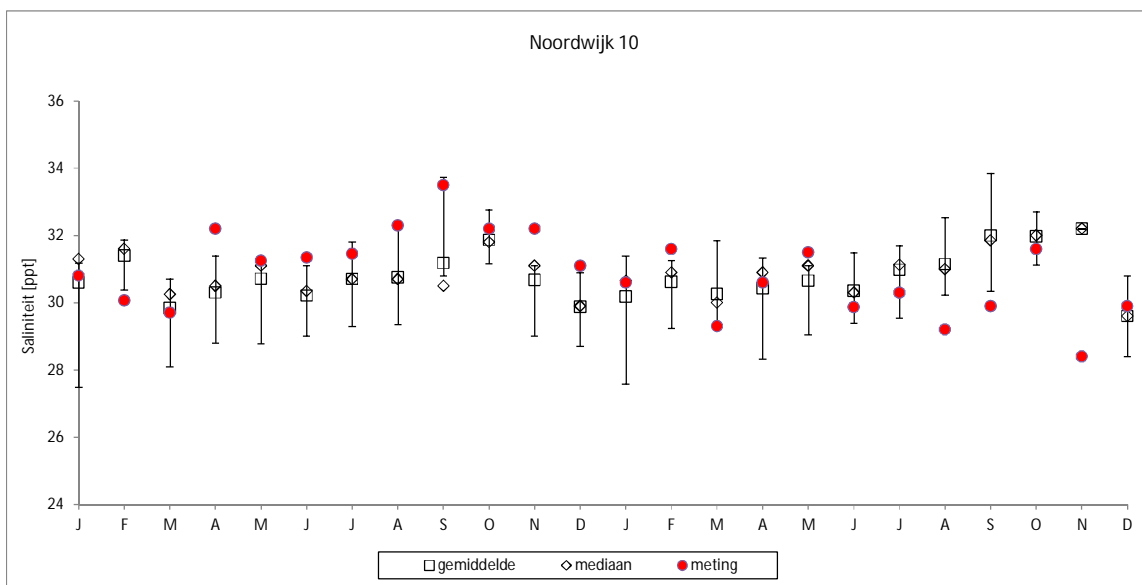
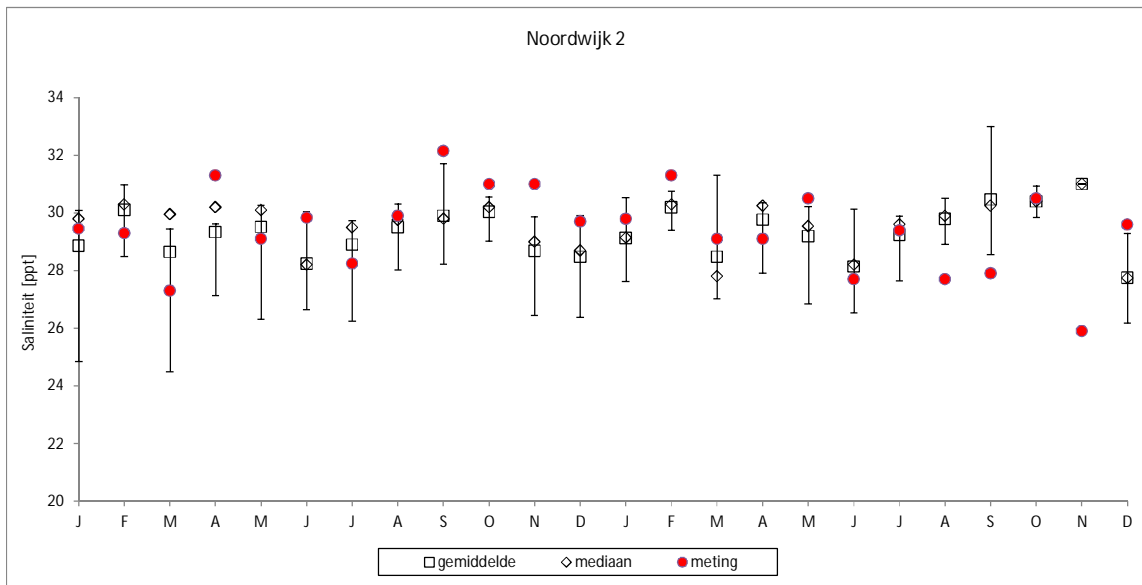


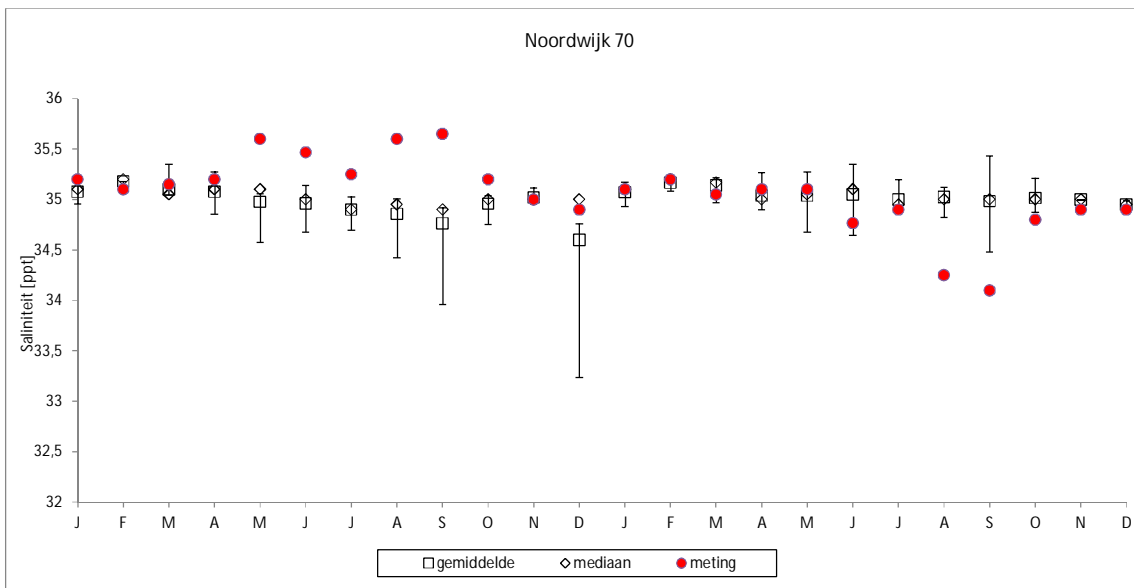
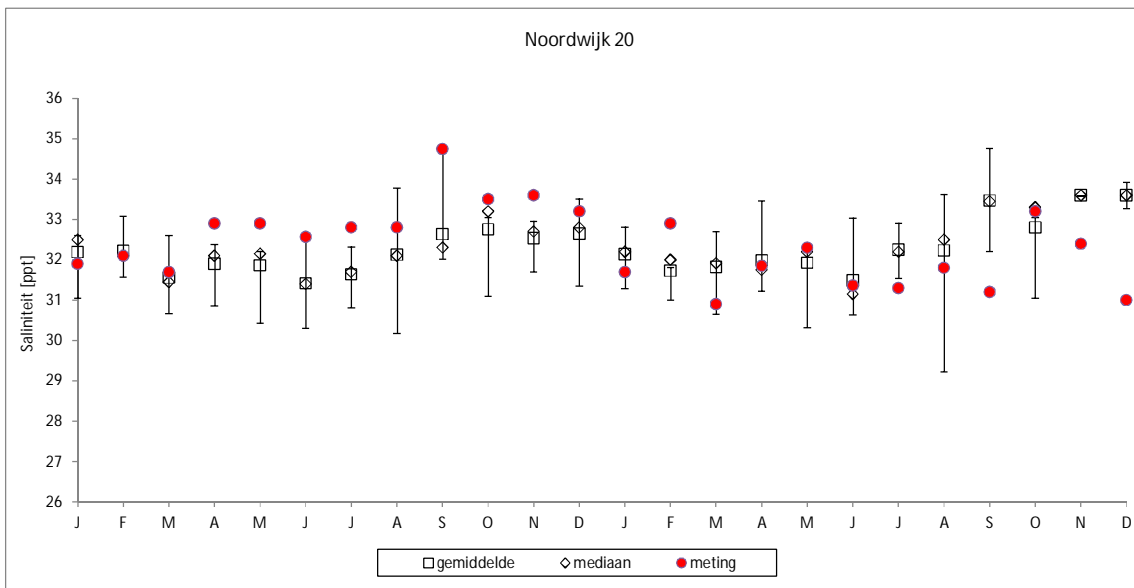
Strand	identiek
1km	identiek
2km	gemeten in 75-83
4km	identiek
10km	identiek
20km	gemeten in 75-83
30km	identiek
50km	identiek
70km	identiek

C.2 Saliniteit

Er volgt een presentatie van bar charts voor MWTL metingen van saliniteit voor de Noordwijk raai voor 2009 en 2010:

- voor 2009 is de error bar afgeleid voor periode 2004 t/m 2008.
- voor 2010 is de error bar afgeleid voor periode 2004 t/m 2009.

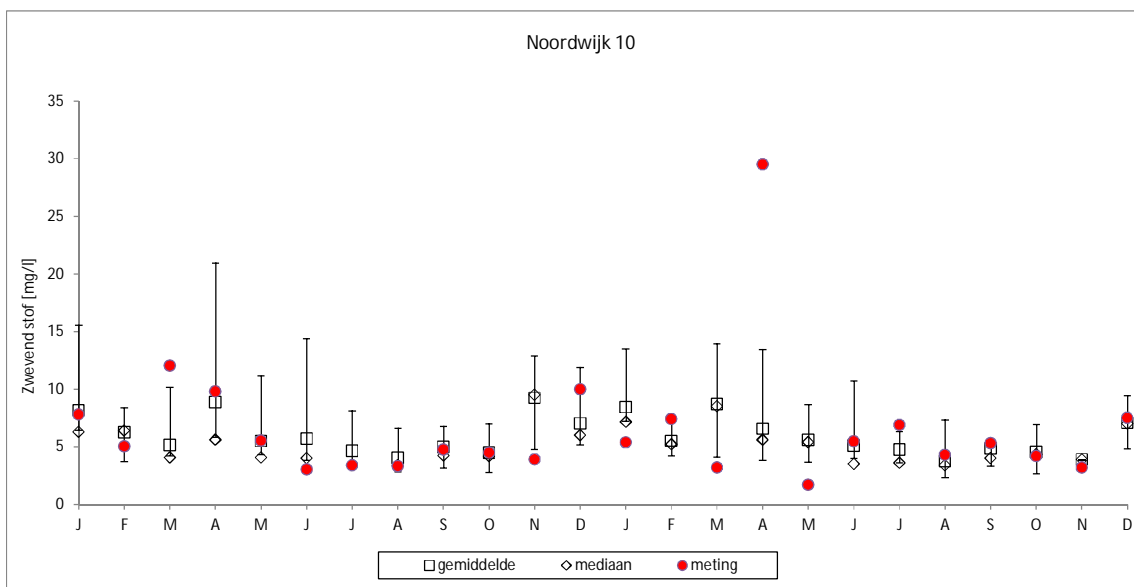
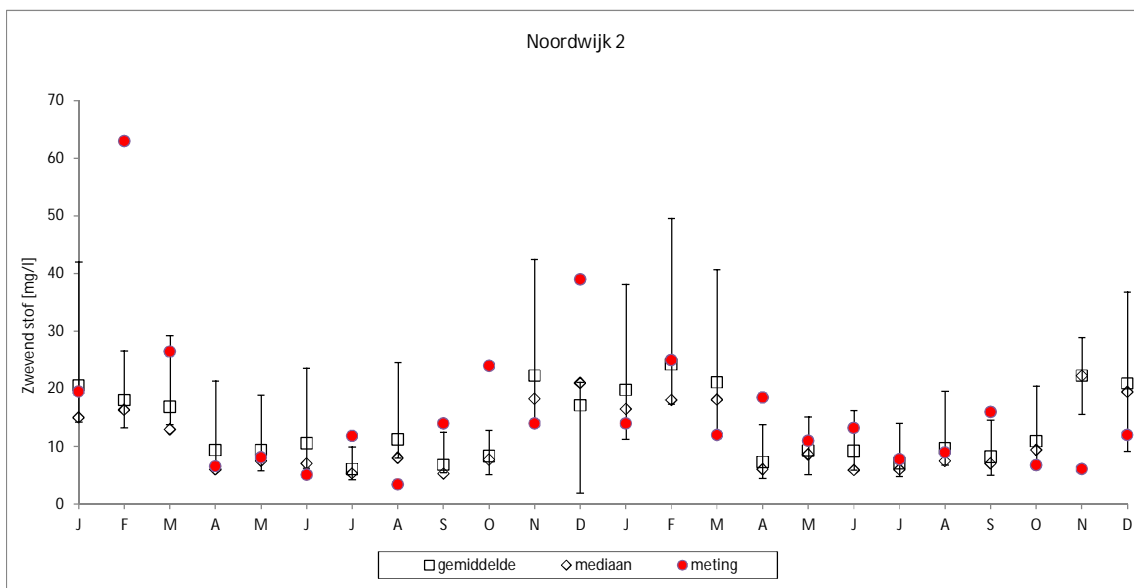


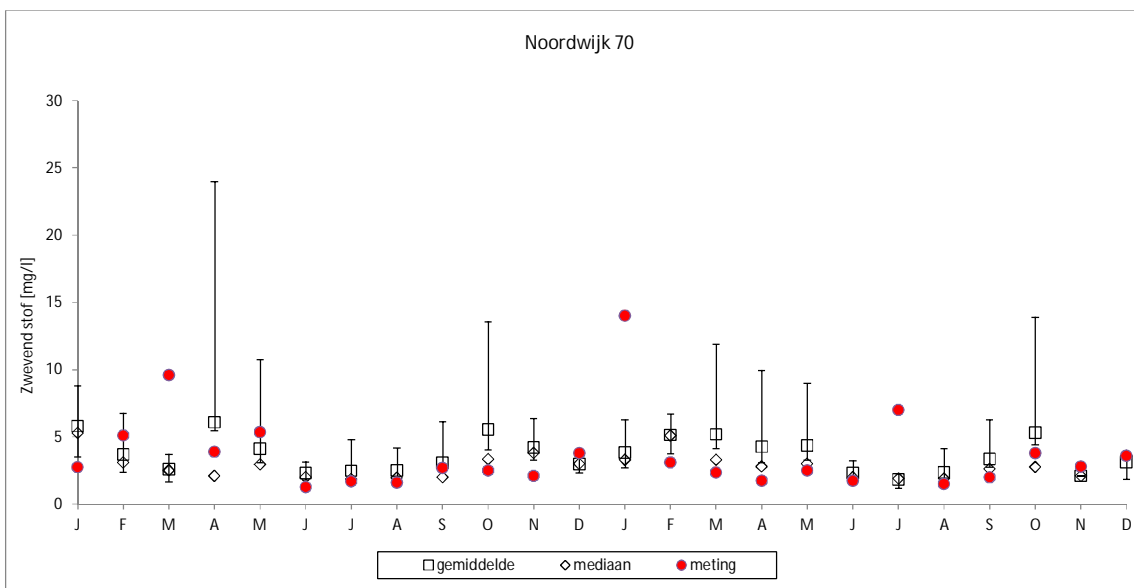
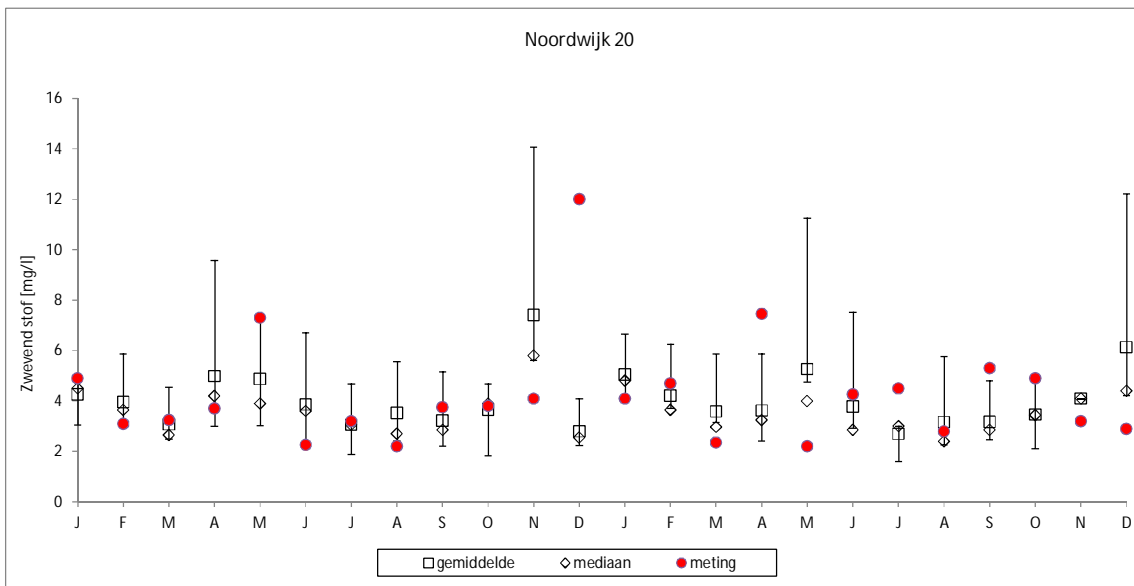


C.3 Zvevend stof

Er volgt een presentatie van bar charts voor MWTL metingen van zwevend stof voor de Noordwijk raai voor 2009 en 2010:

- voor 2009 is de error bar afgeleid voor periode 2004 t/m 2008.
- voor 2010 is de error bar afgeleid voor periode 2004 t/m 2009.

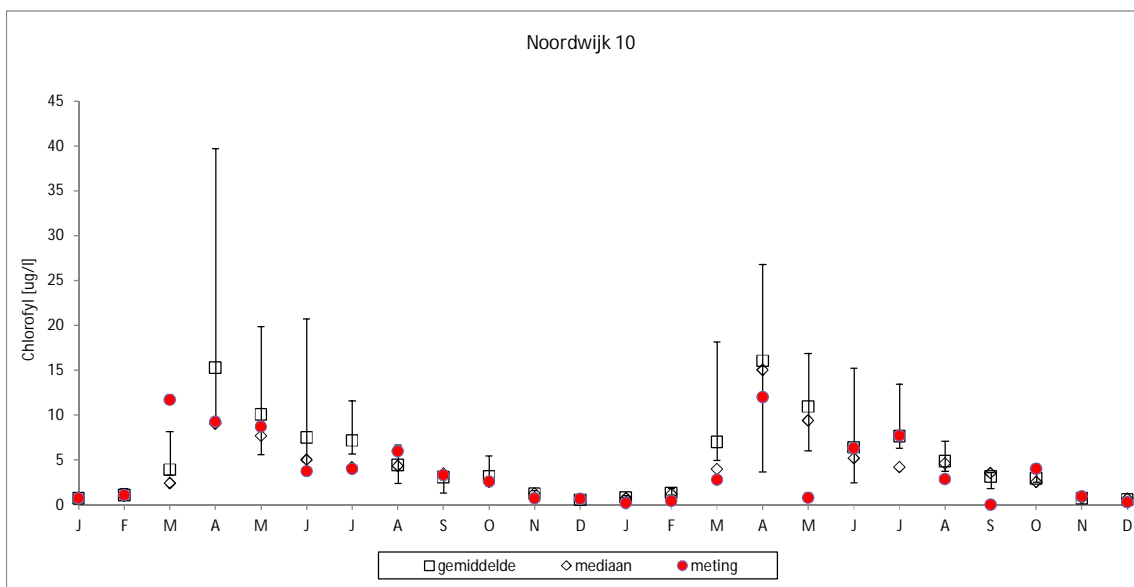
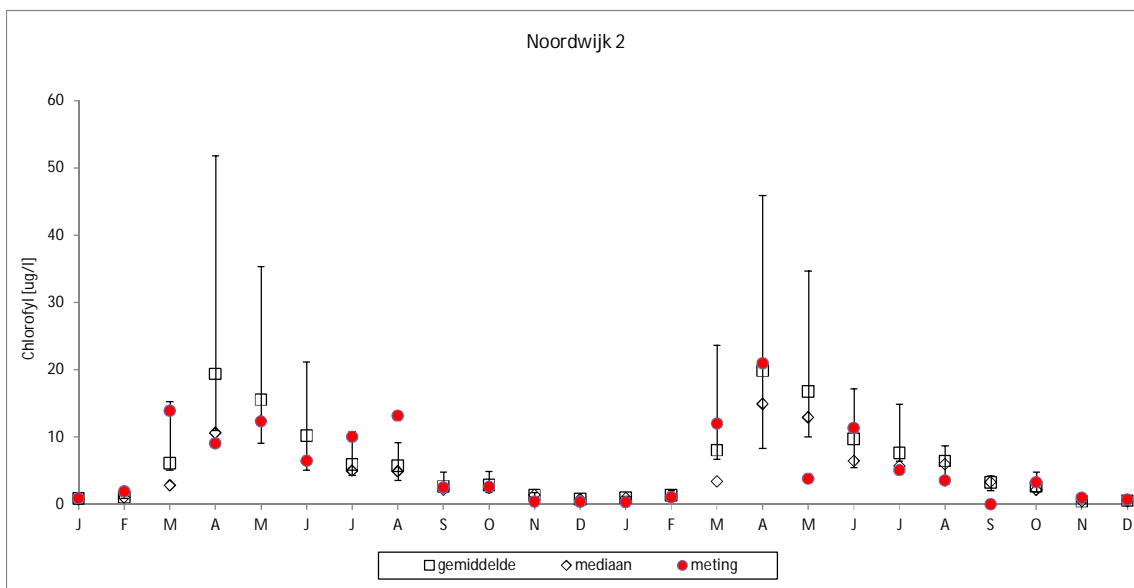


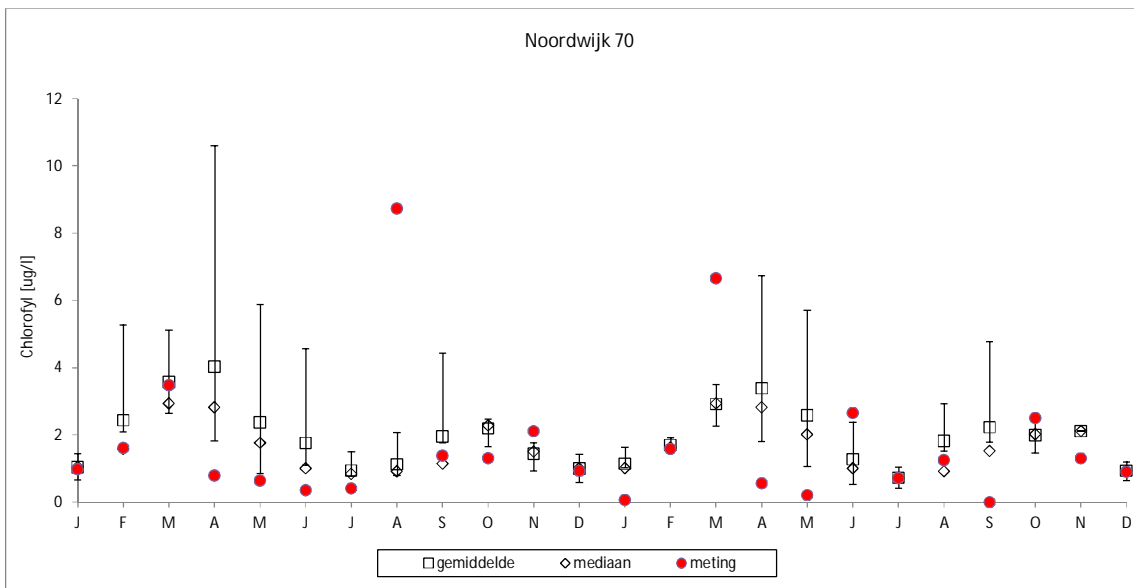
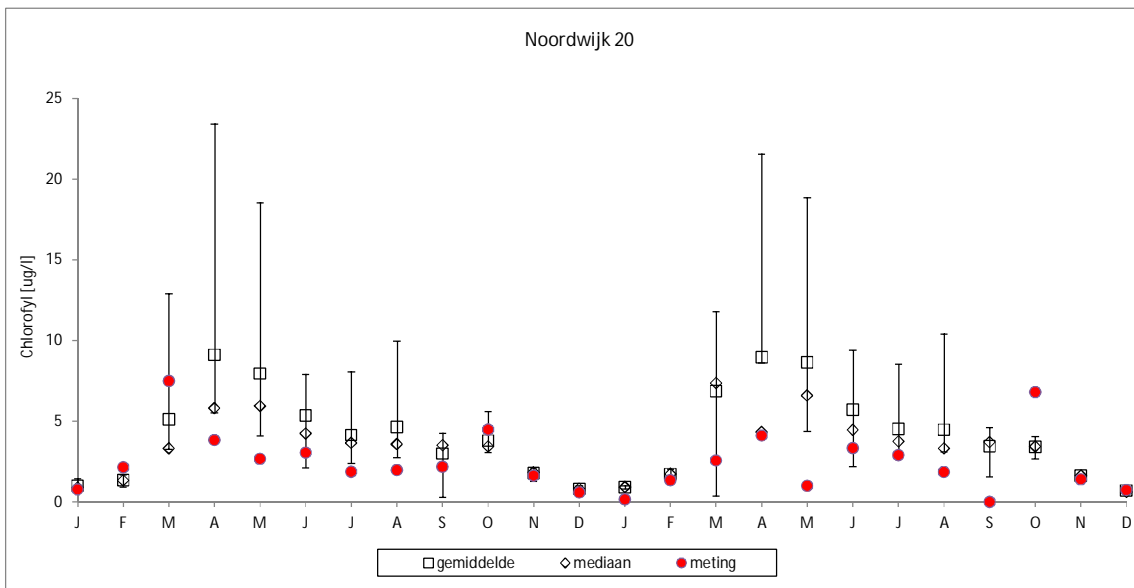


C.4 Chlorofyl

Er volgt een presentatie van bar charts voor MWTL metingen van chlorofyl voor de Noordwijk raai voor 2009 en 2010:

- voor 2009 is de error bar afgeleid voor periode 2004 t/m 2008.
- voor 2010 is de error bar afgeleid voor periode 2004 t/m 2009.





D NIOZ Lander

- D1. Data bron
- D2. Data beschikbaarheid
- D3. Stroomsnelheid en –richting
- D4. Waterstand (NIOZ Lander met VECTOR sensor)
- D5. Saliniteit (NIOZ Lander met CTD sensor)
- D6. Slib (NIOZ Lander met ALEC sensor)
- D7. Chlorofyl (NIOZ Lander met ALEC sensor)
- D8. Periodiciteitsanalyse slib en chlorofyl

D.1 Data bron

NIOZ data, 18-jan-2012

From their FTP, via Rob.Witbaard@nioz.nl

Four Excel files:

1. All_ALEC_BWN_RWS_2010.xls
2. All_Aquadop_BWN_RWS_2010.xls
3. All_CTD_BWN_RWS_2010.xls
4. All_Vektor_BWN_RWS_wk10_44.xls

→ gewerkt met opgewerkte versie van Bas Blok: NIOZ-Vector-all4-data.xls waarin voor 1e en 2e meetperiode de snelheidsresultaten zijn gecorrigeerd voor helling van het instrument (de Lander). Zie 2012 Bas Blok; rapport Vector data en rapport Vector plots (concept). Zelfde data.

D.2 Data beschikbaarheid

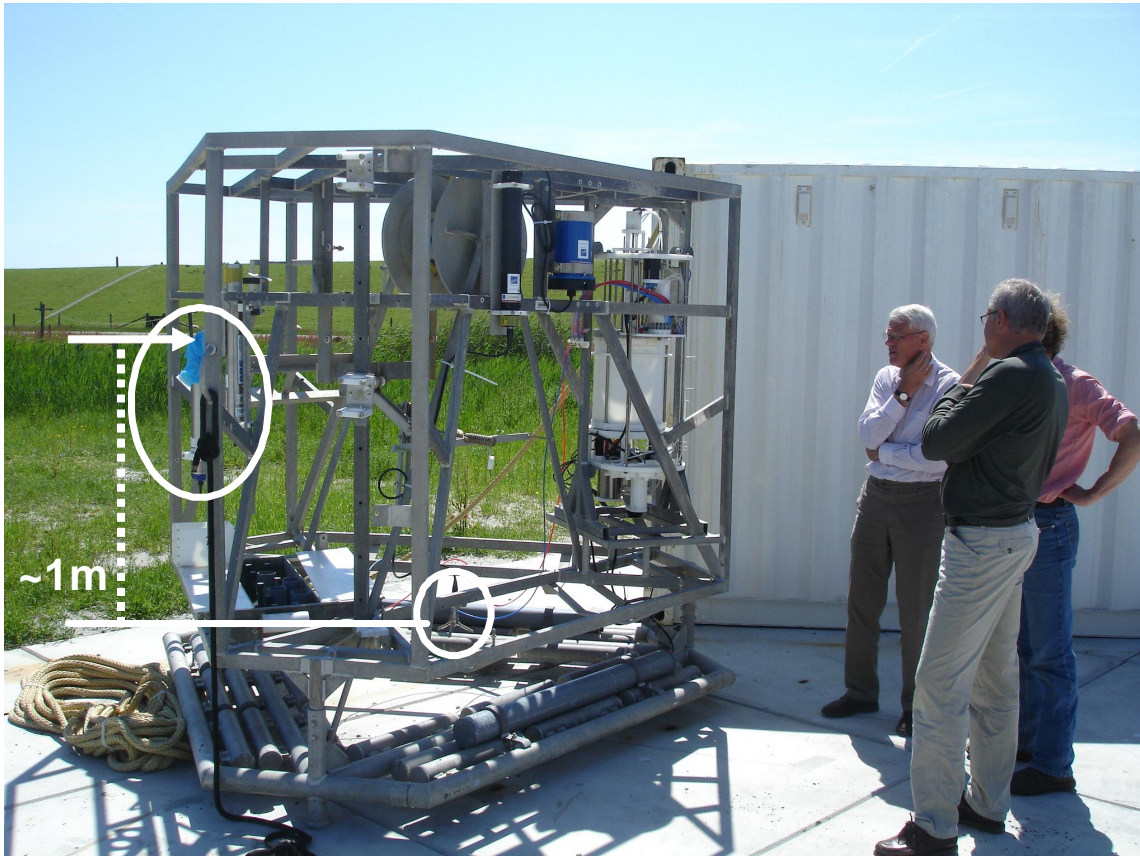
Metingen van 4 sensoren op het Lander frame

sensor	mab	parameter	periode1	periode 2	periode 3	periode 4
ALEC	0,3 1,2 1,5 2,0	slib (mg/l); chlorofyll (uq/l), temperatuur (degr C)				
CTD	?	saliniteit (ppt) en temperatuur (degr C)				
VECTOR	0,3	current velocities (m/s) & direction (degr N); waterstand				
Aquadop	?	current velocities (m/s) & direction (degr N) temperature (degr C)				

	ALEC	VECTOR*	Aquadop	CTD
periode 1	12-03-2010 - 23-03-2010	12-03-2010 - 06-04-2010	12-03-2010 - 06-04-2010	12-03-2010 - 06-04-2010
periode 2		09-04-2010 - 27-04-2010	09-04-2010 - 26-04-2010	09-04-2010 - 26-04-2010
periode 3	16-09-2010 - 07-10-2010	16-09-2010 - 12-10-2010	16-09-2010 - 12-10-2010	16-09-2010 - 12-10-2010
periode 4	13-10-2010 - 02-11-2010	13-10-2010 - 01-11-2010	13-10-2010 - 03-11-2010	13-10-2010 - 01-11-2010

D.3 Stroomsnelheid en –richting

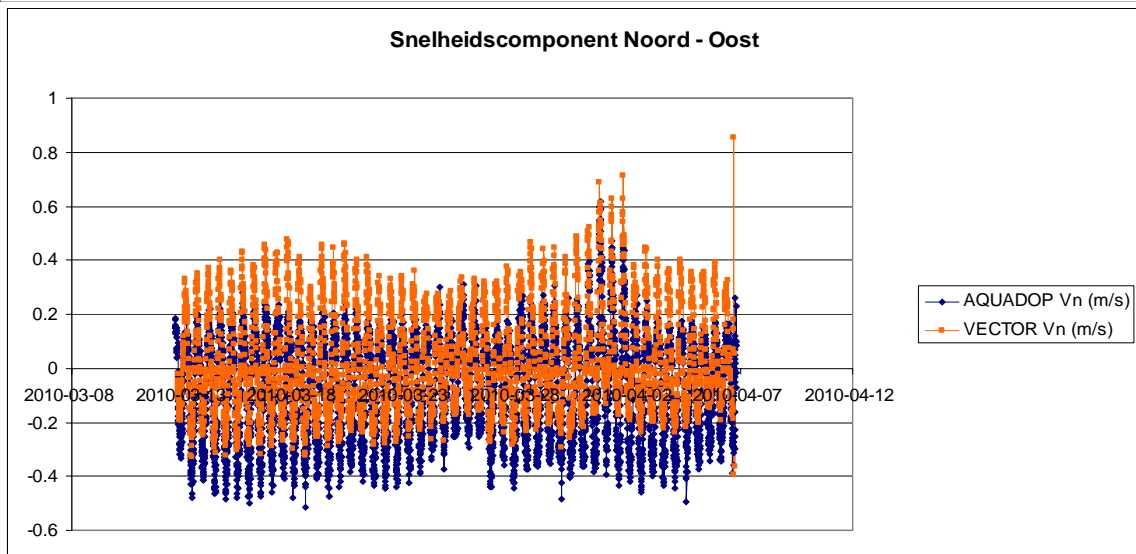
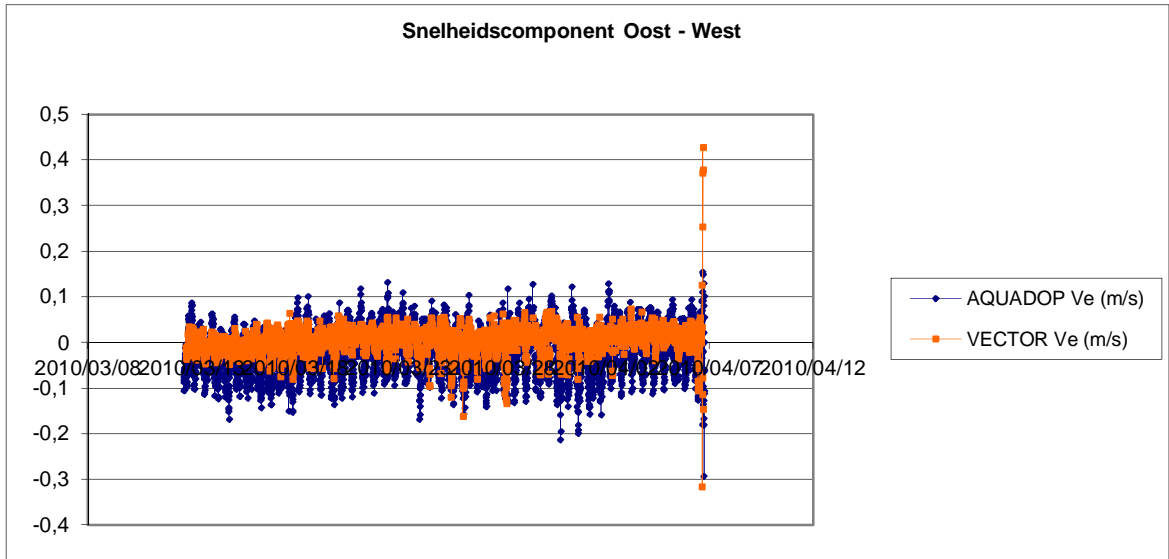
Metingen van stroomsnelheid en –richting zijn beschikbaar van de VECTOR en Aquadop sensor.



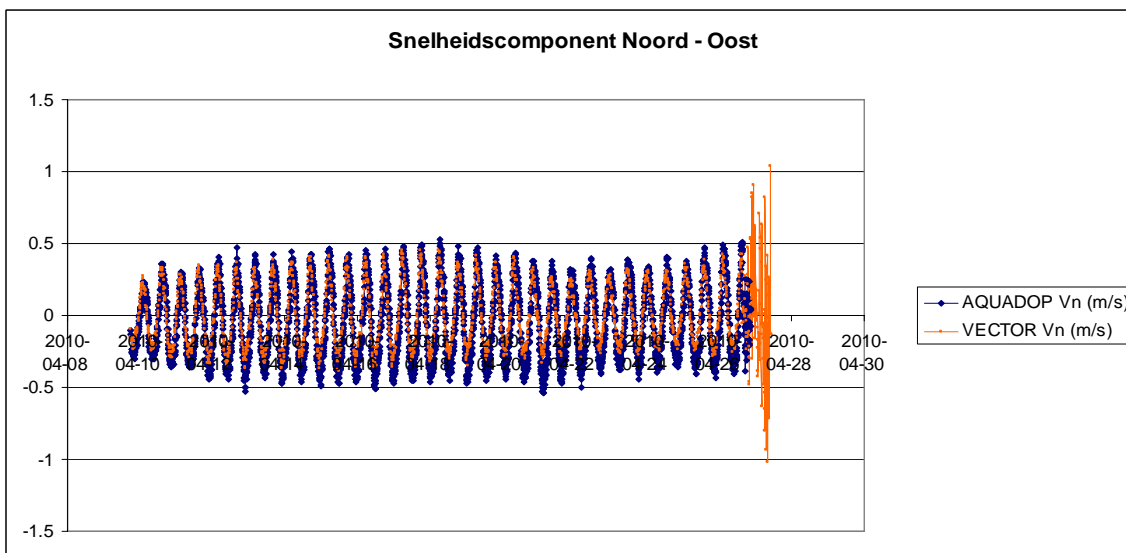
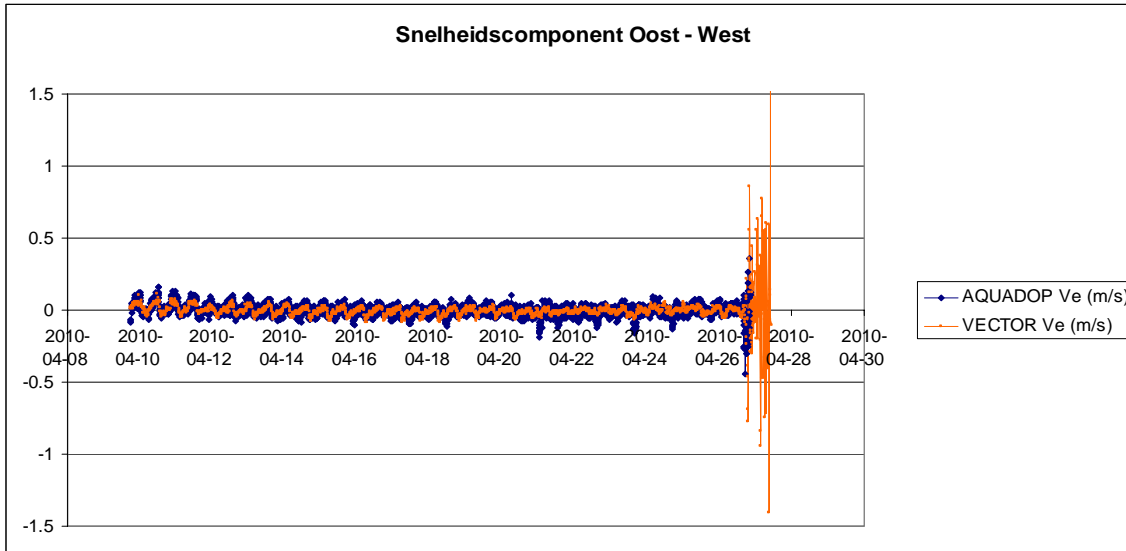
Vn: snelheid noord - oost. Presentatie: positief als in noordelijke richting. Negatief als in oostelijke richting.

Ve: snelheid oost – west. Is positief in oostelijke richting en negatief in westelijke richting.

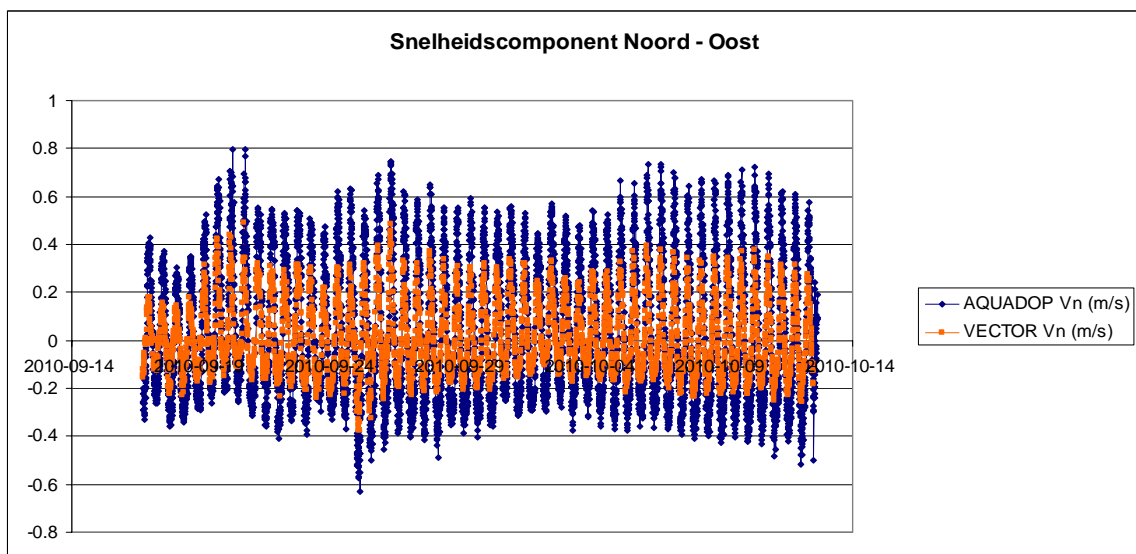
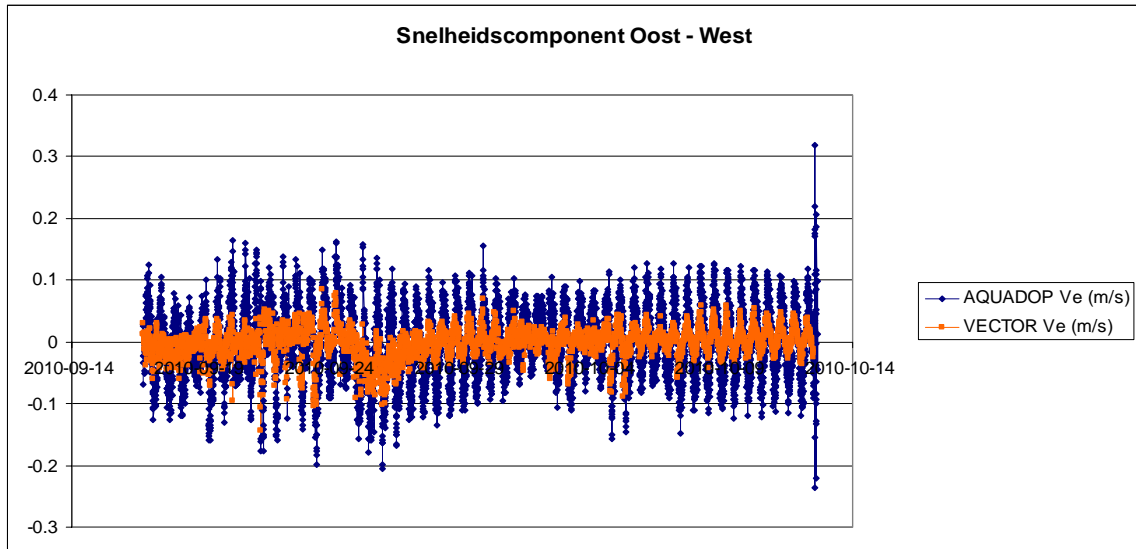
Periode 1:



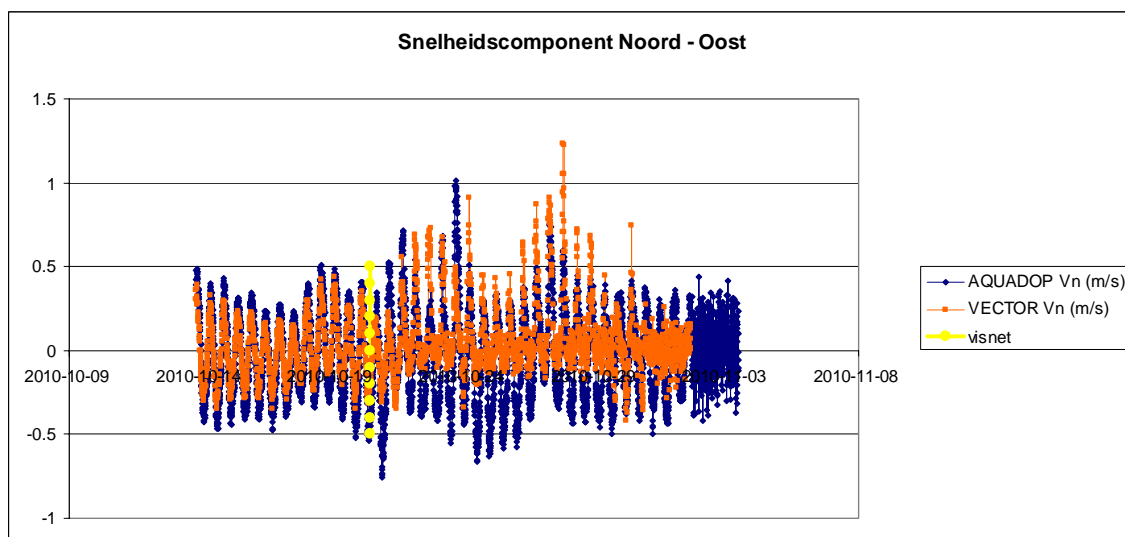
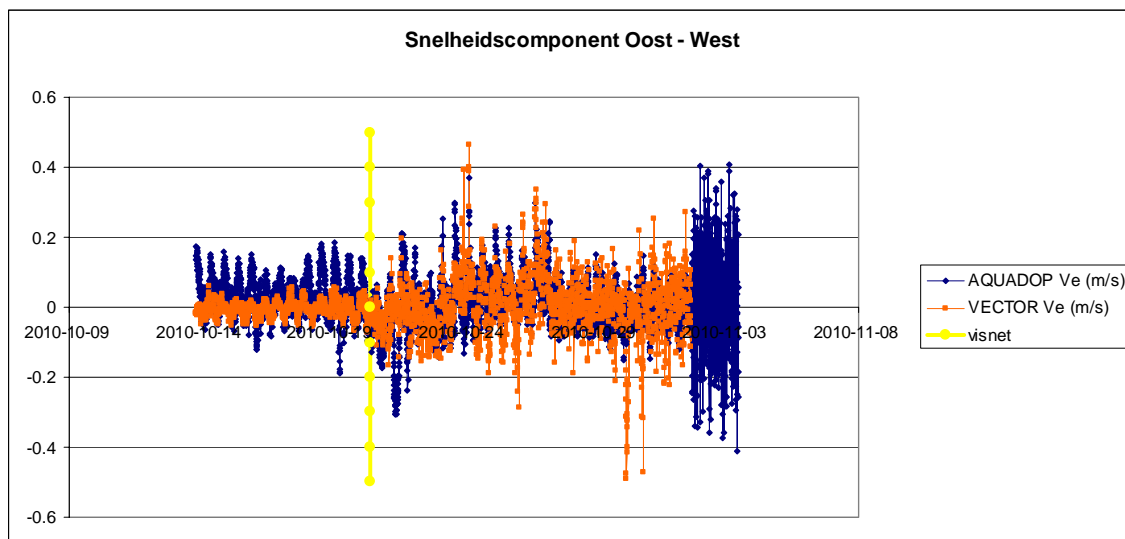
Periode 2:



Periode 3:

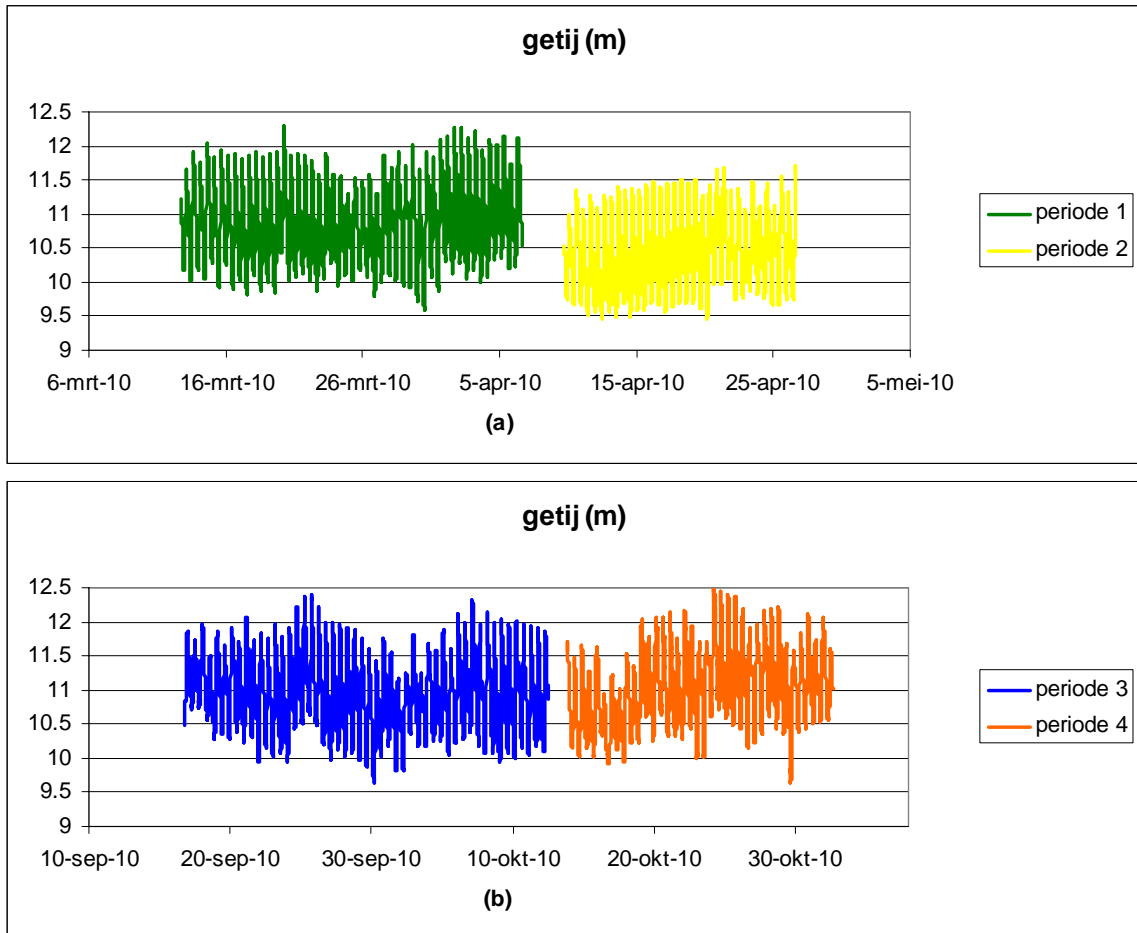


Periode 4:



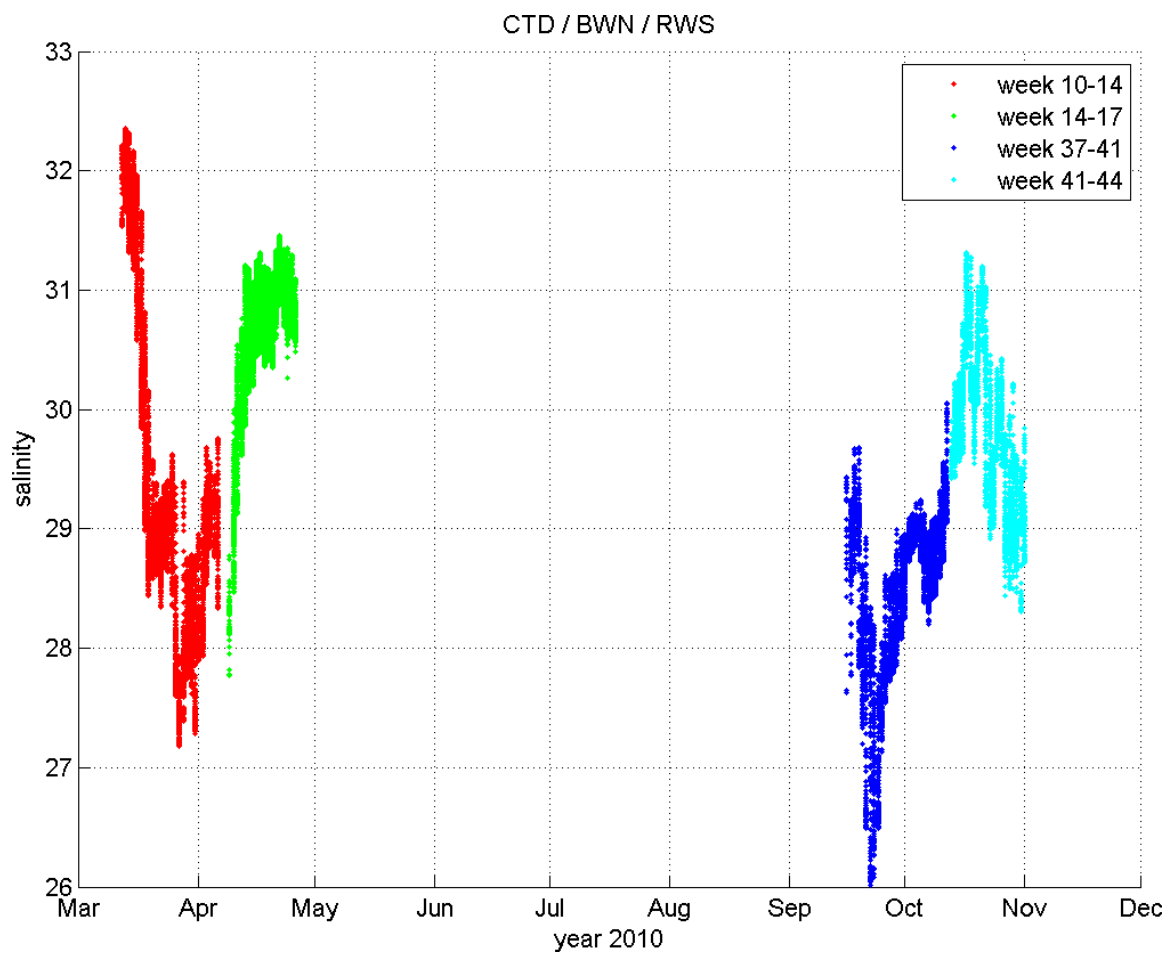
D.4 Waterstand

VECTOR waterstand metingen:



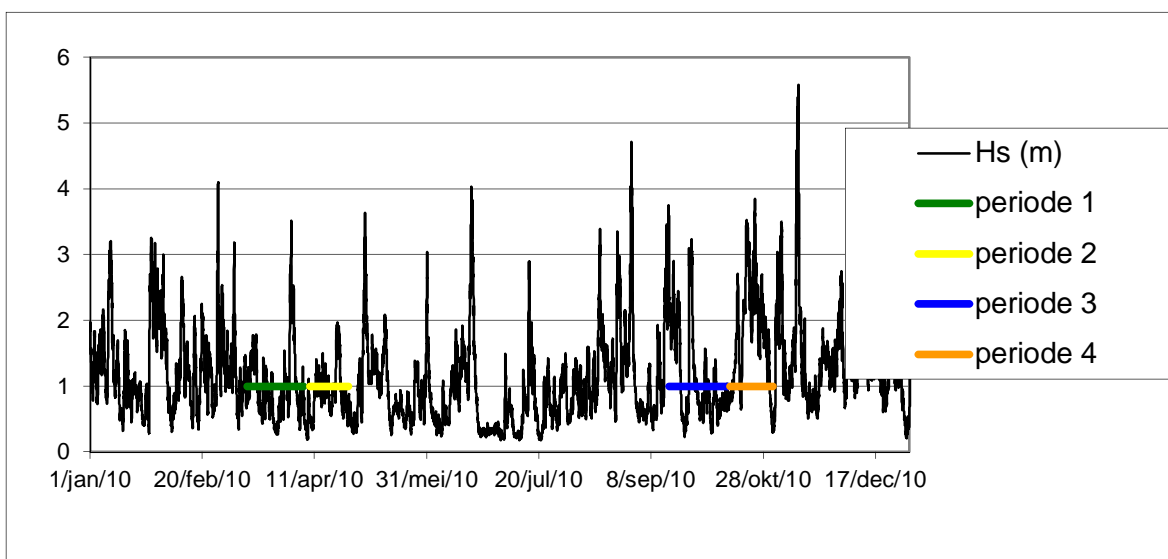
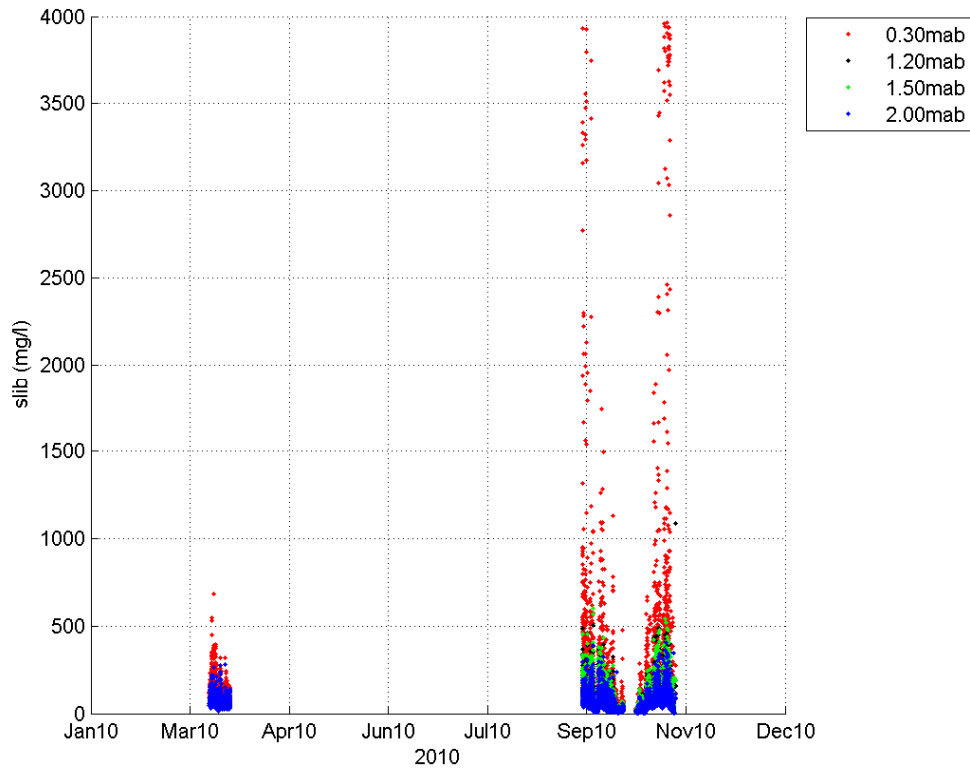
D.5 Saliniteit

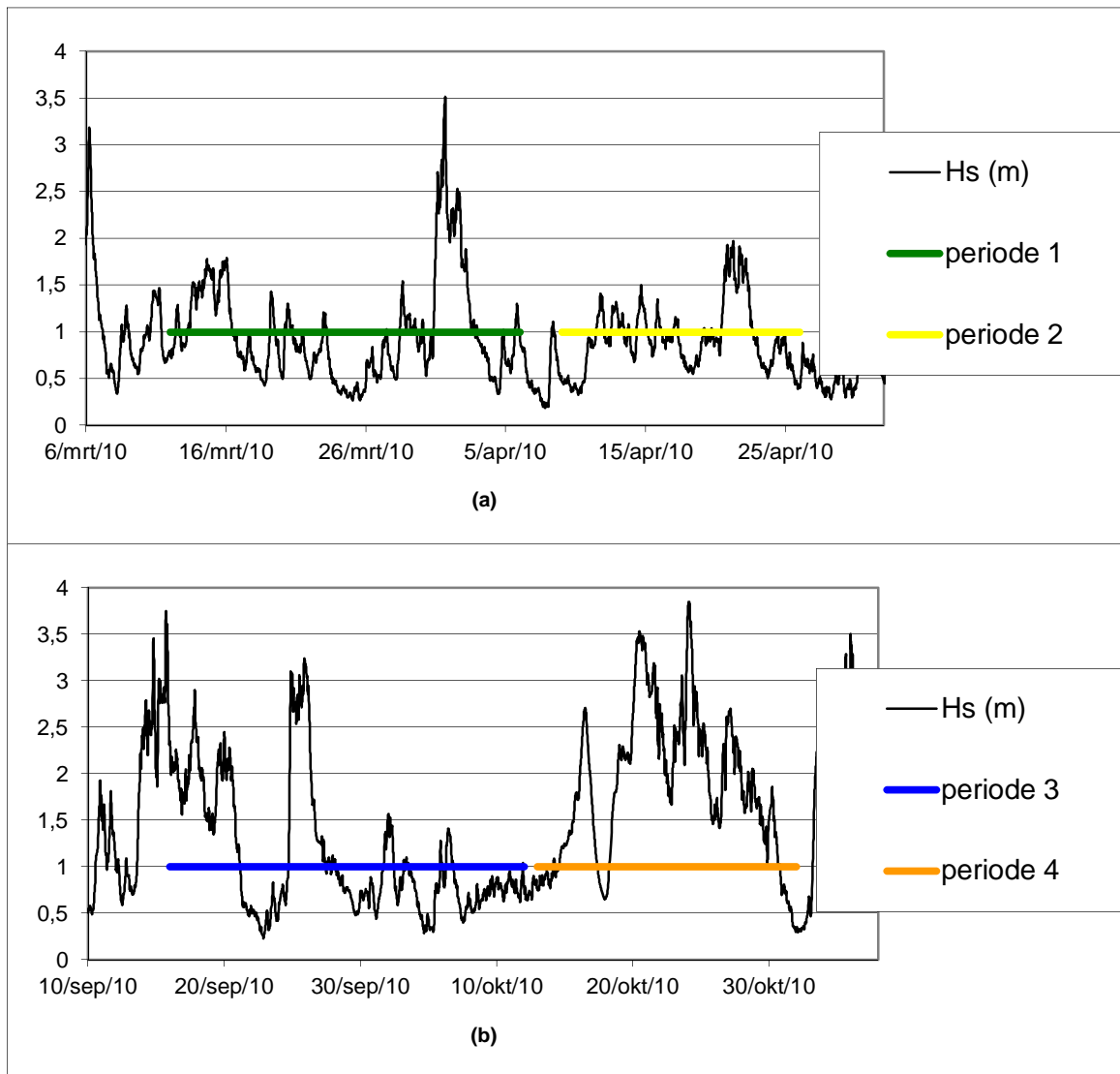
CTD saliniteitsmetingen:



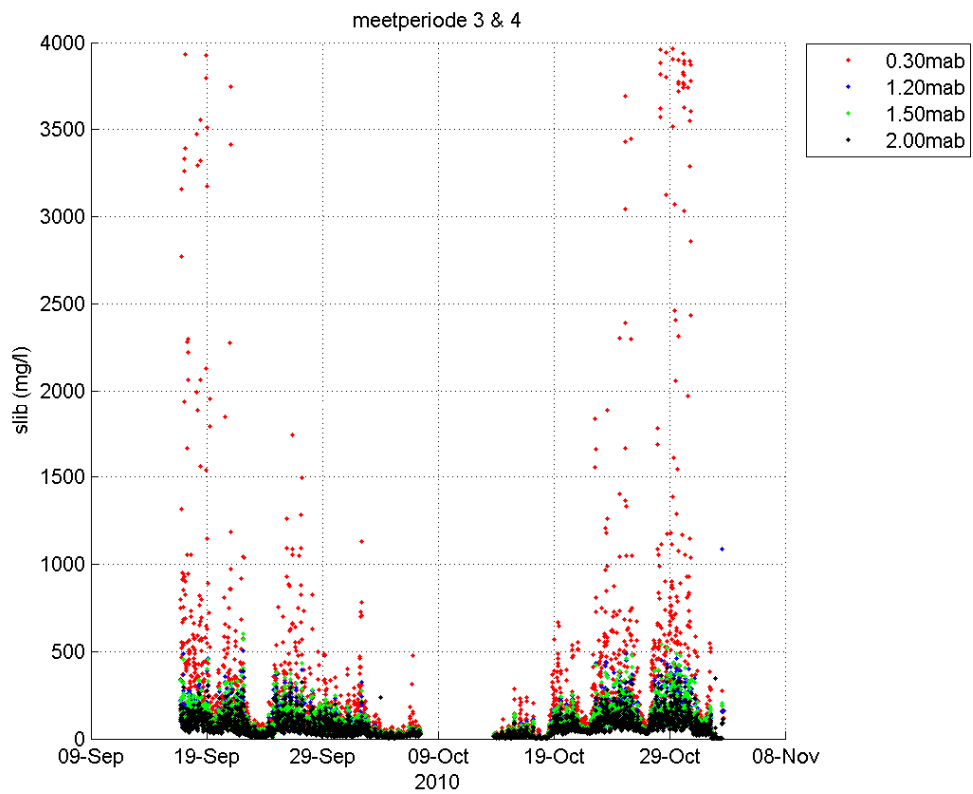
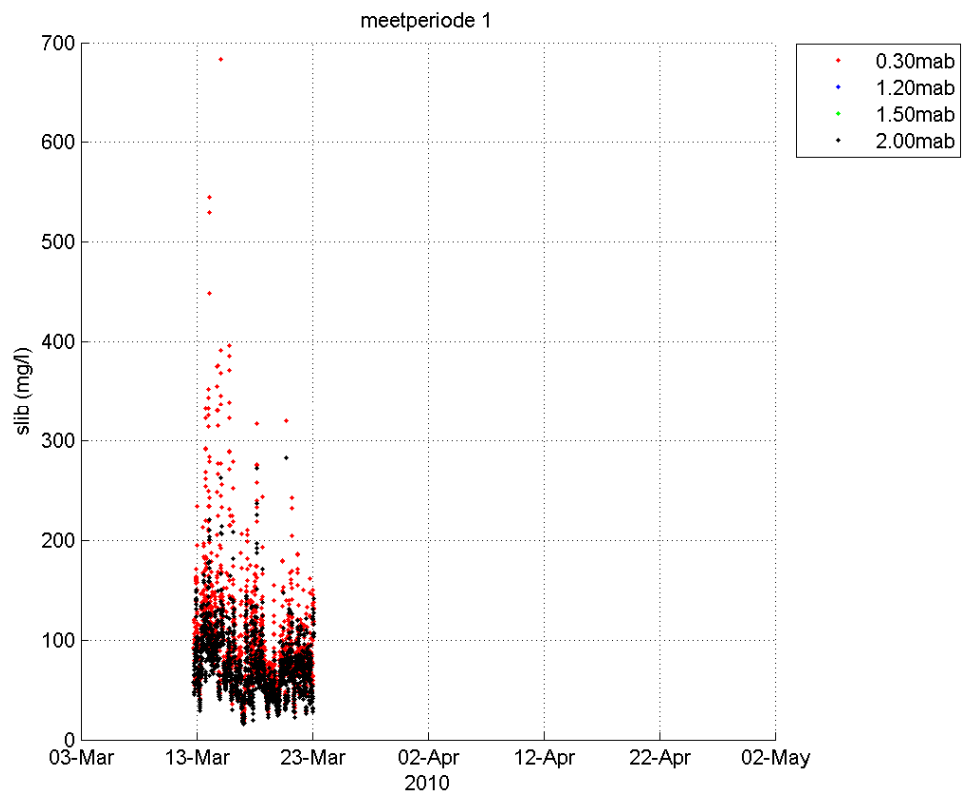
D.6 Slib

Slib metingen met ALEC sensor voor periode 1, 3 en 4. Voor periode 2 zijn geen slibmetingen beschikbaar. Metingen op 0,3 meter boven de bodem.



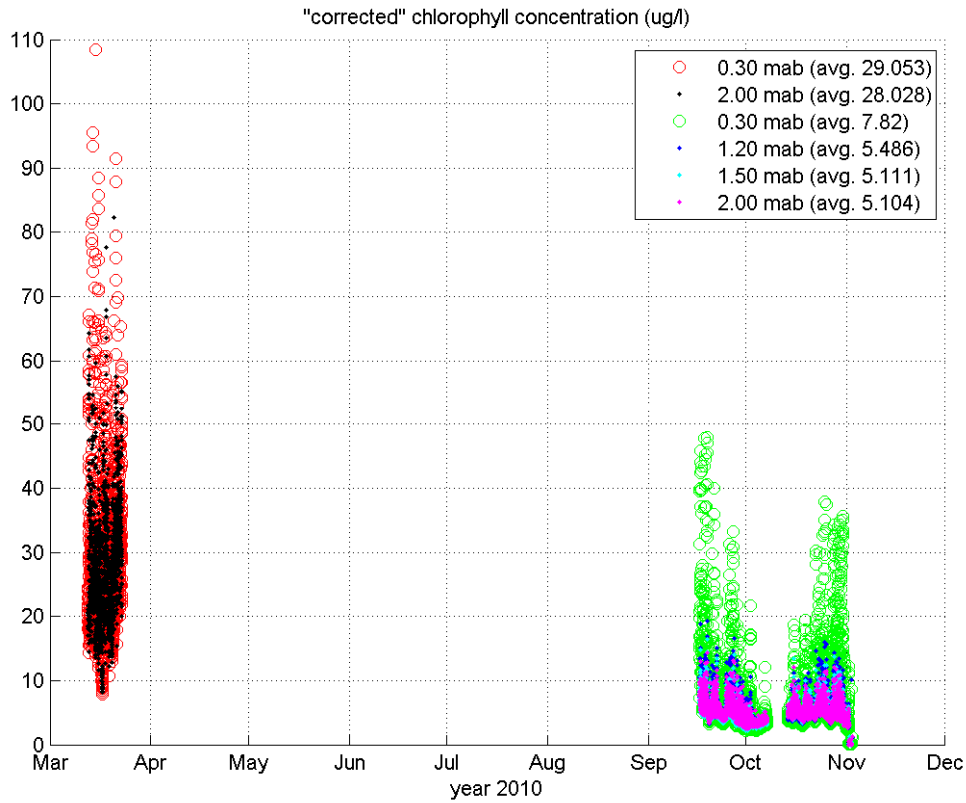


Figuur D.1 Opgetreden significante golfhoogte (m) bij munitiestortplaats IJmuiden in 2010. a) maart-april b) september/oktober.

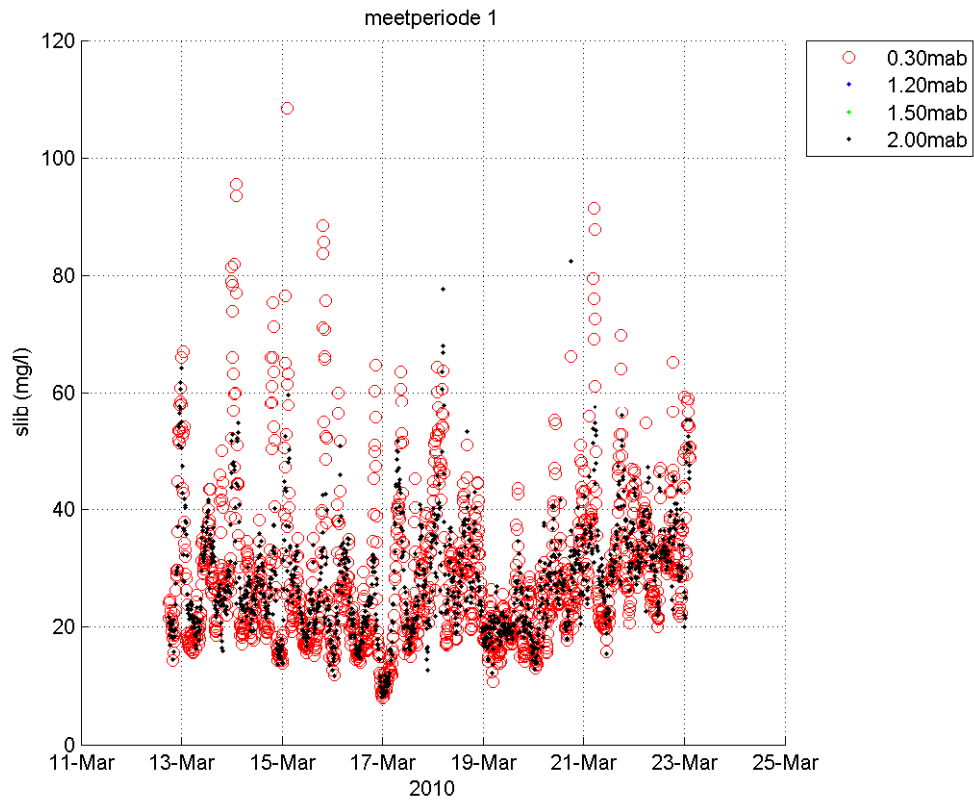


D.7 Chlorofyl

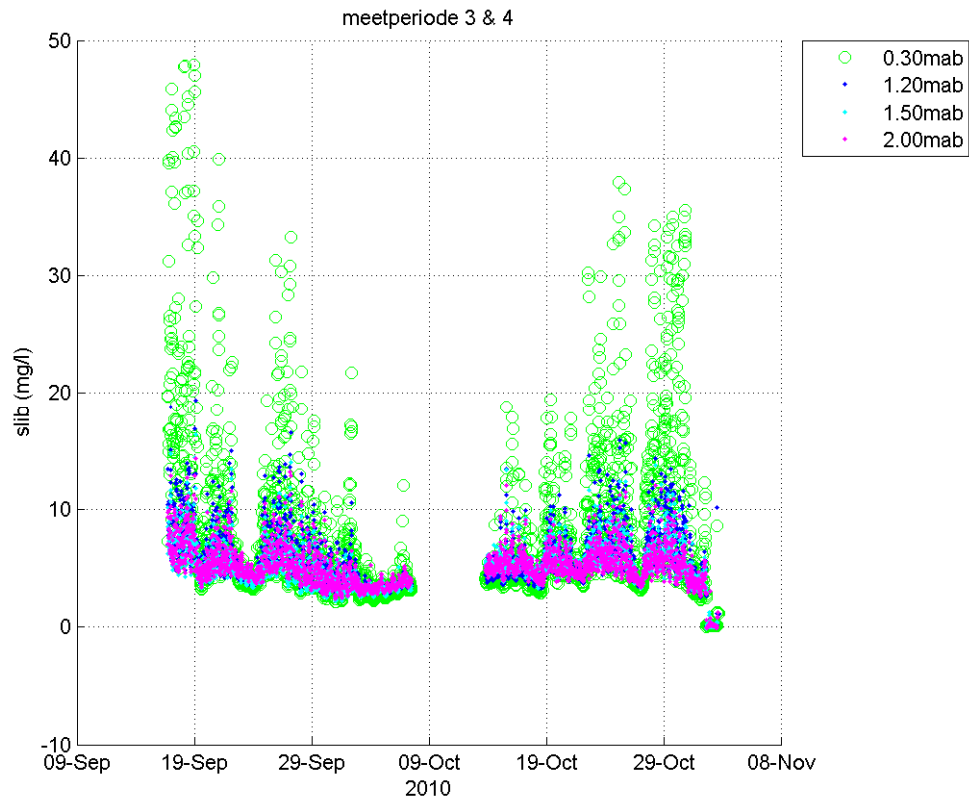
Chlorofylmetingen met ALEC sensor voor periode 1, 3 en 4. Voor periode 2 zijn geen chlorofylmetingen beschikbaar.



Figuur D.2 Chlorofylmetingen ALEC sensor voor alle beschikbare meetperioden. Metingen zijn beschikbaar op 30 (rode en groene cirkels), 120 (blauwe punt), 150 (cyane punt) en 200 cm (zwarte en magenta punt) boven het sediment.

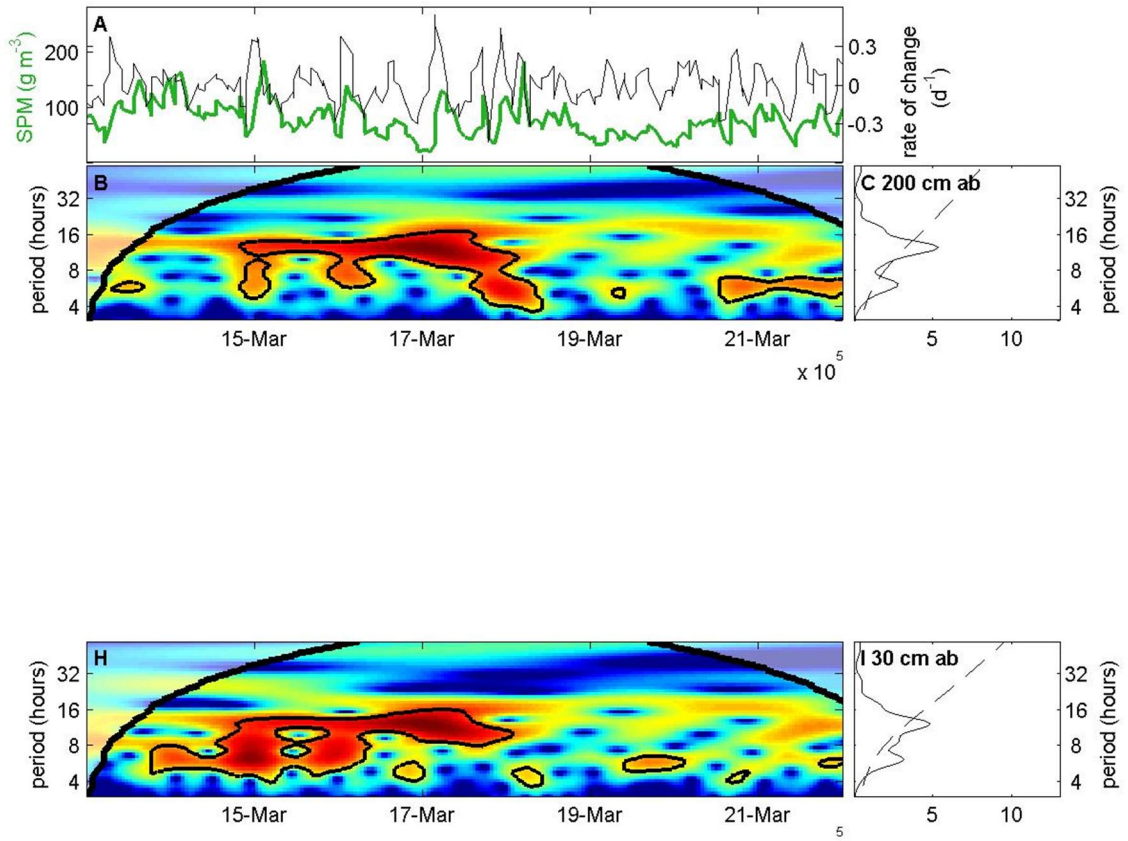


Figuur D.3 Chlorofylmetingen ALEC sensor voor meetperiode 1. Metingen zijn beschikbaar op 30 (rode cirkel) en 200 cm (zwarte punt) boven het sediment.

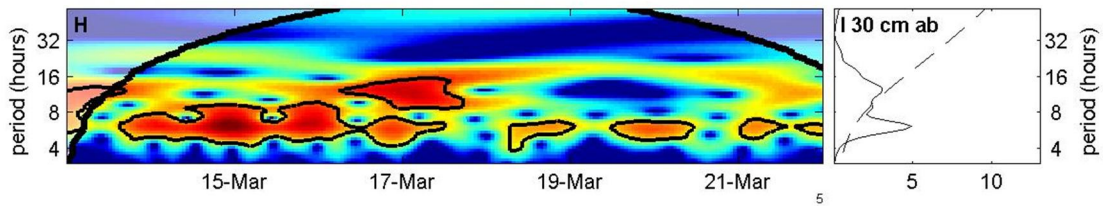
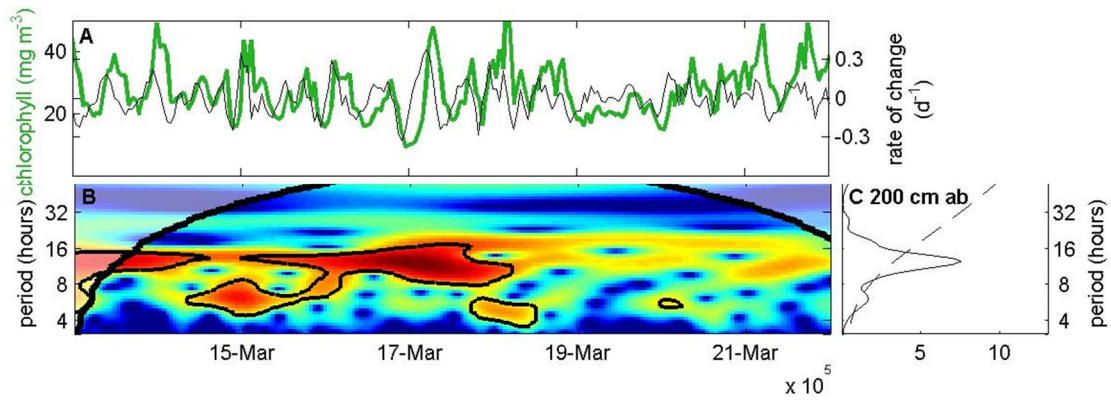


Figuur D.4 Chlorofylmetingen ALEC sensor voor meetperiodes 3 en 4. Metingen zijn beschikbaar op 30 (groene cirkels), 120 (blauwe punt), 150 (cyane punt) en 200 cm (zwarte punt) boven het sediment.

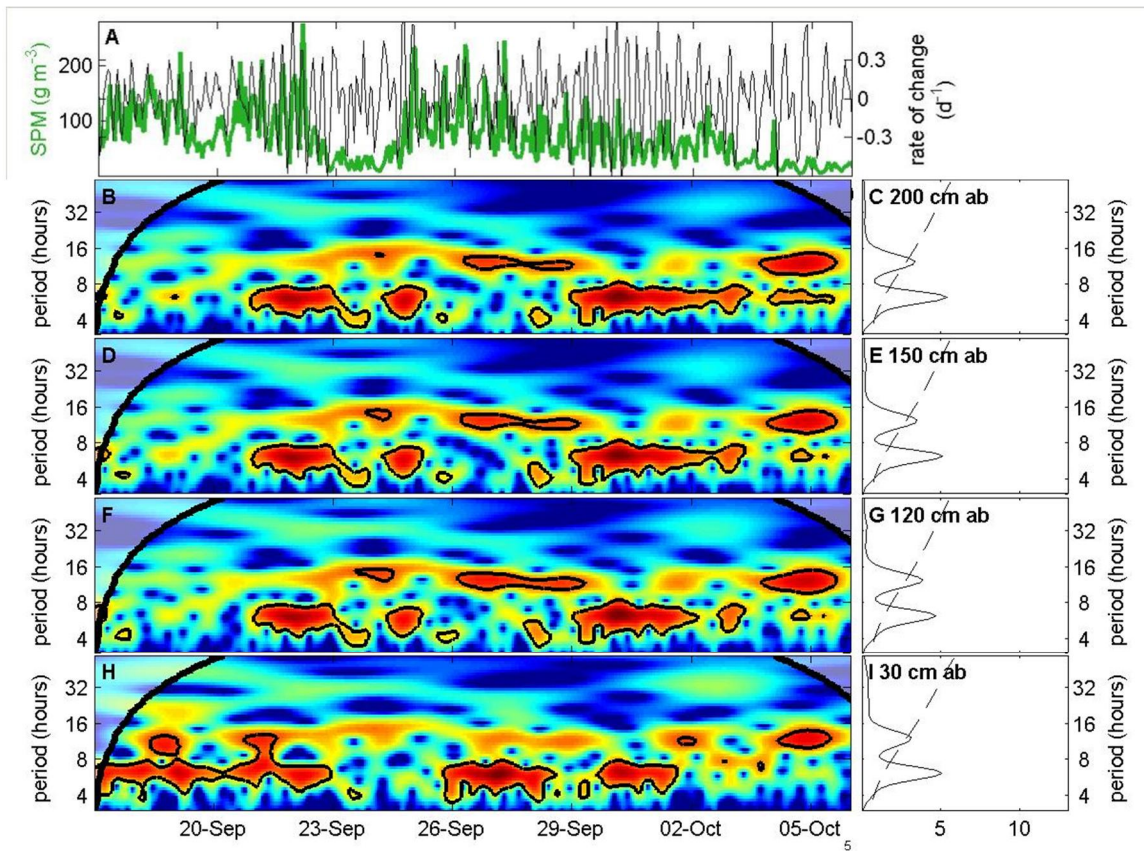
D.8 Periodiciteitsanalyse slib en algen



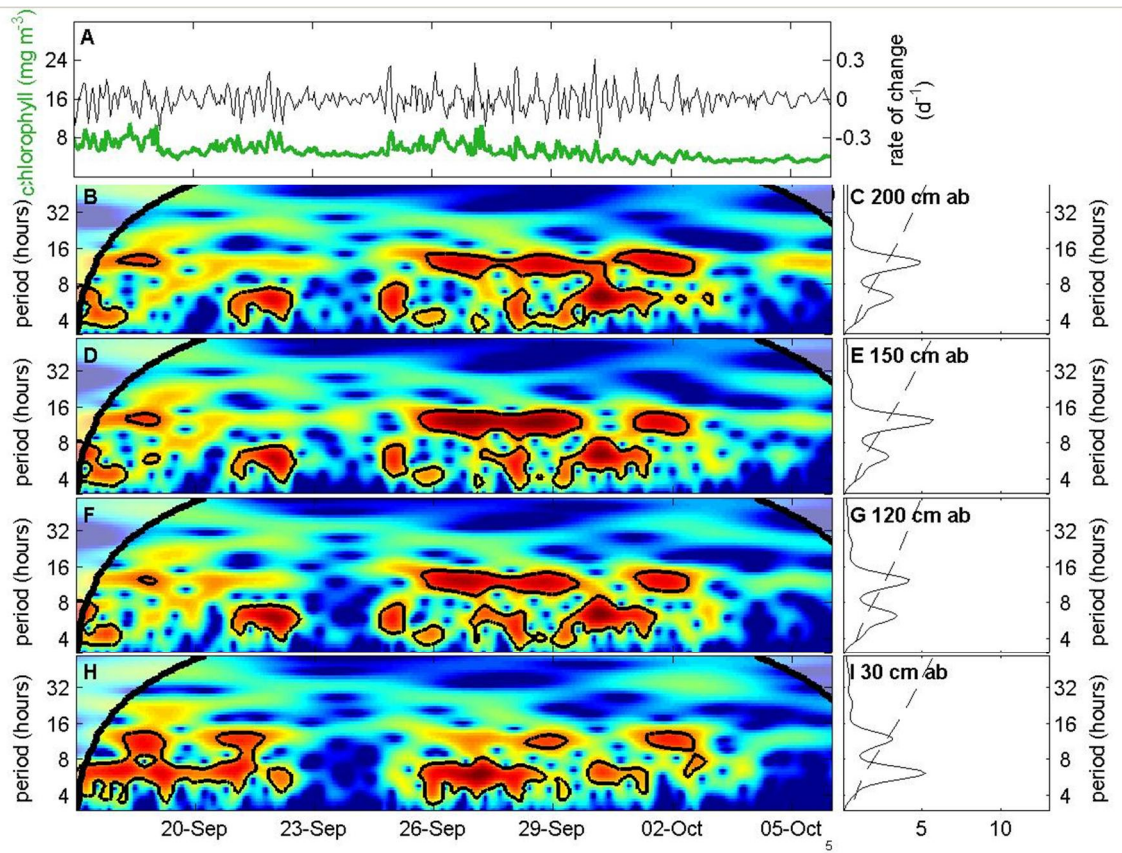
Slib - meetperiode 1



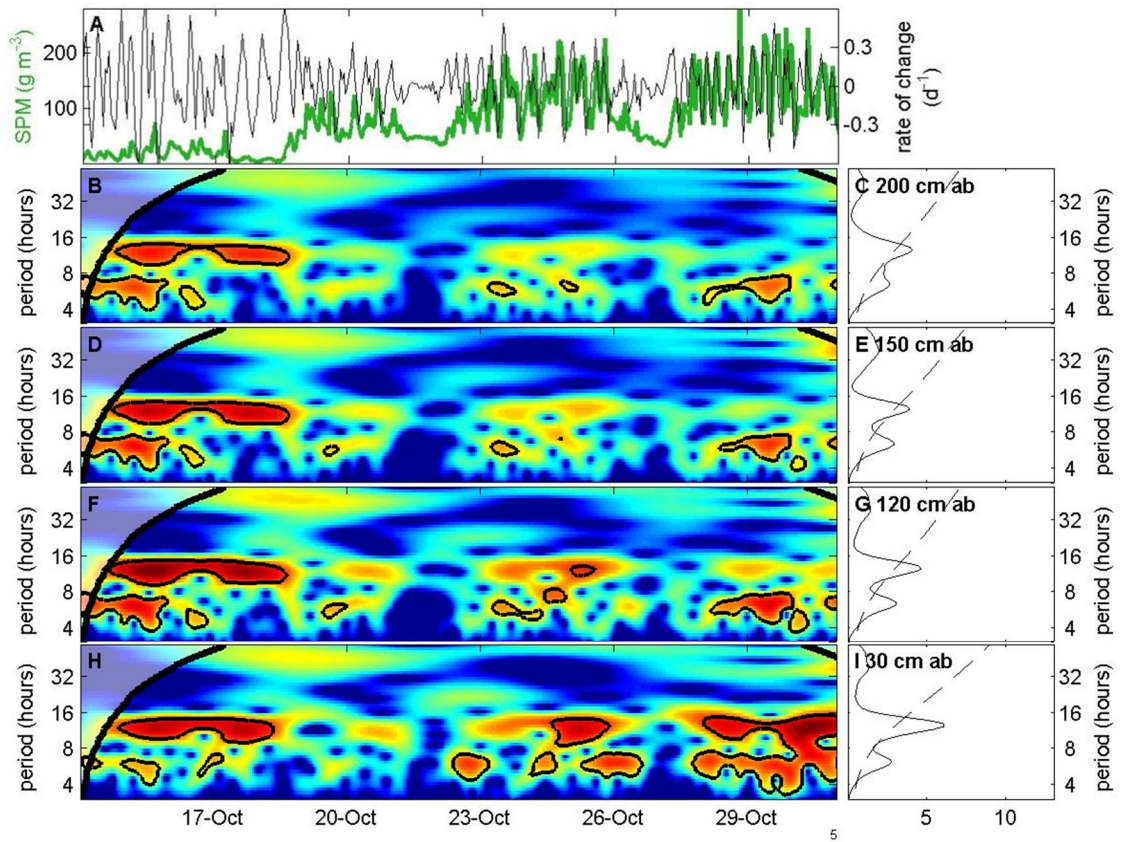
Chlorofyl - meetperiode 1



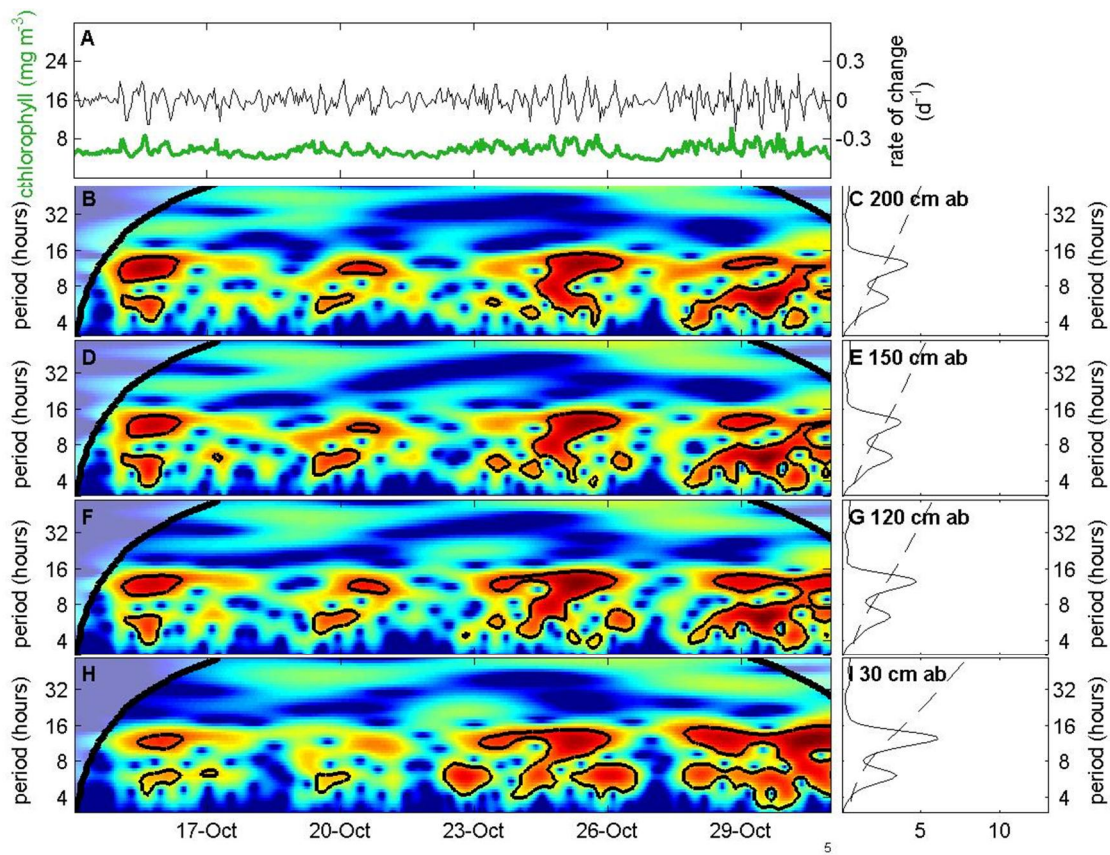
Slib - meetperiode 3



Chlorofyl - meetperiode 3

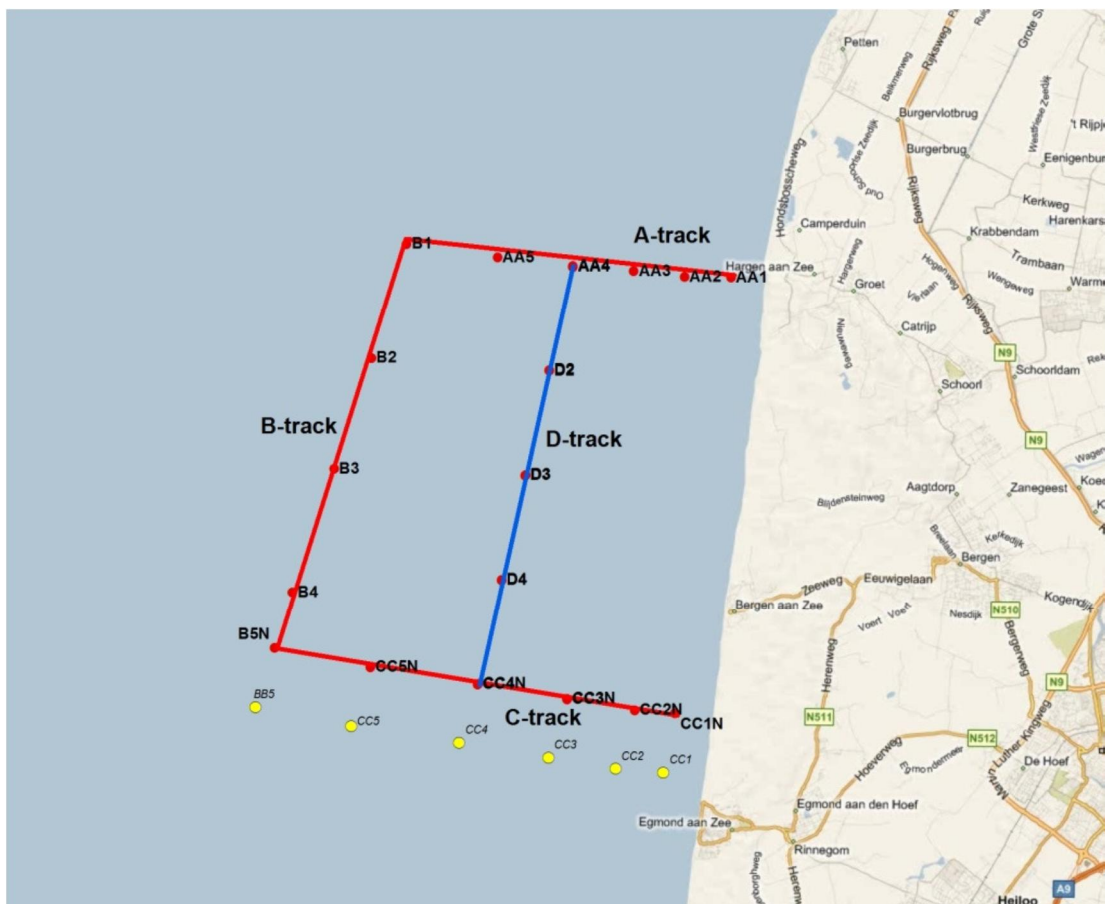


Slib - meetperiode 4

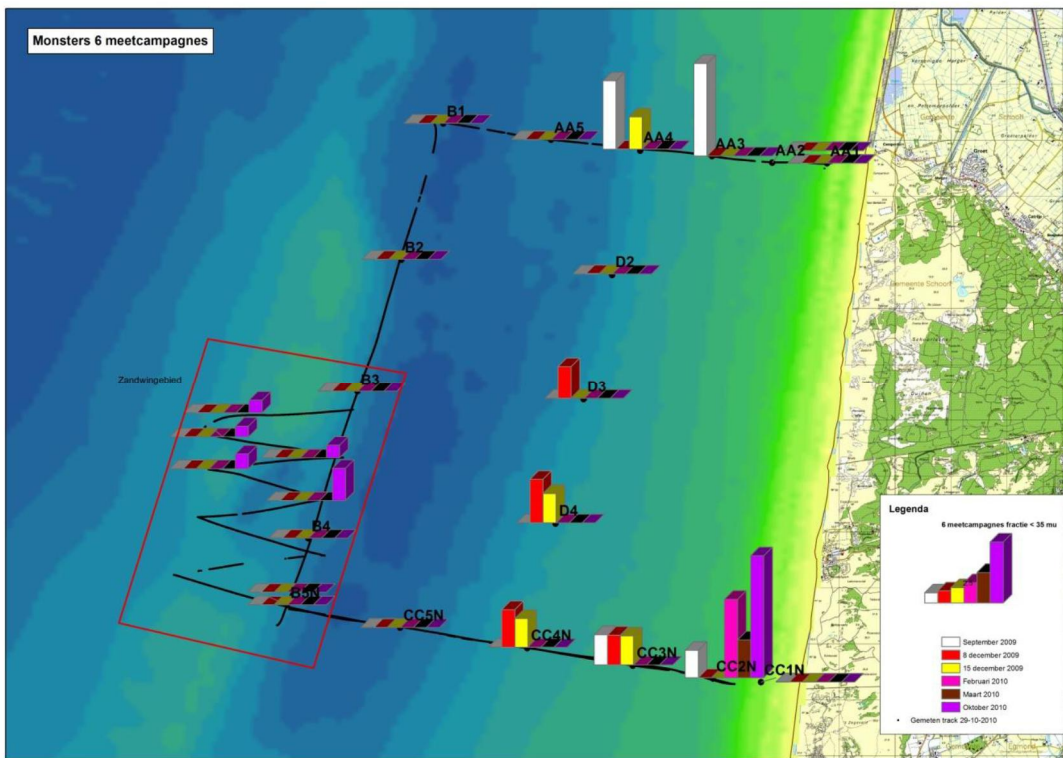


Chlorofyl - meetperiode 4

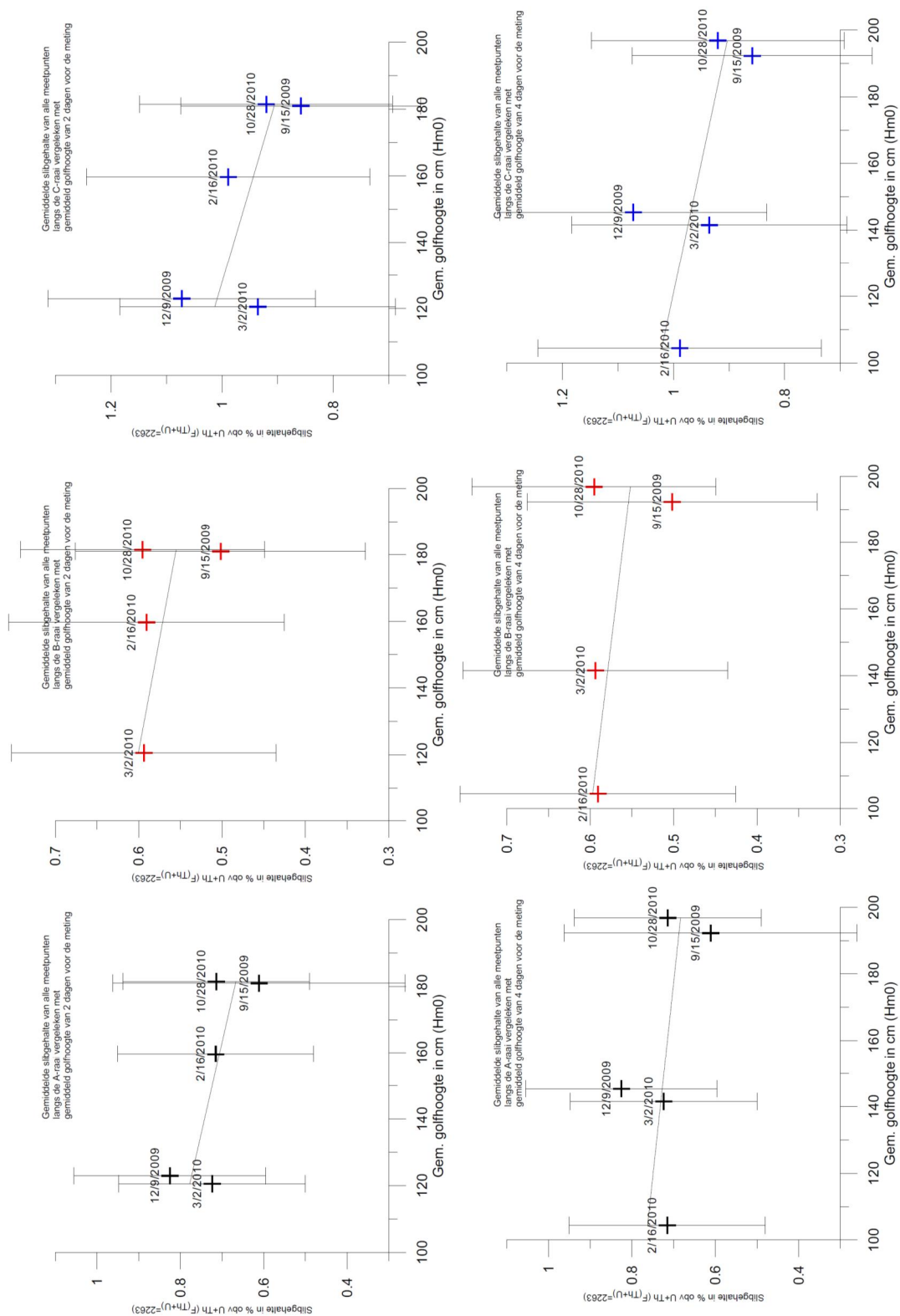
E MEDUSA



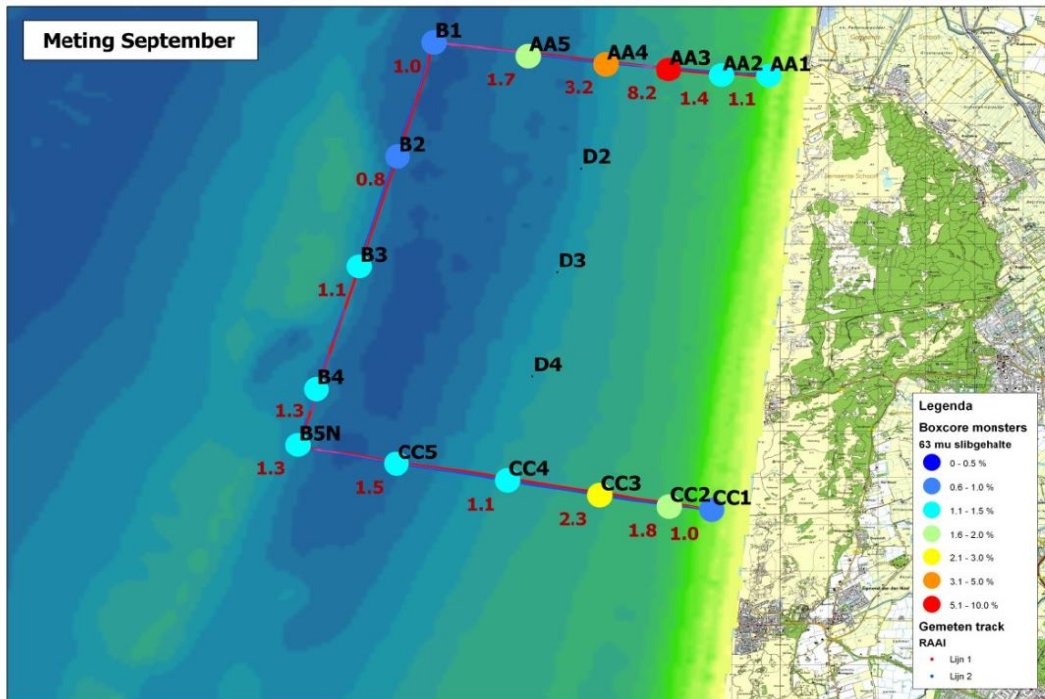
Figuur E.1 Overzicht van de meettraaien.



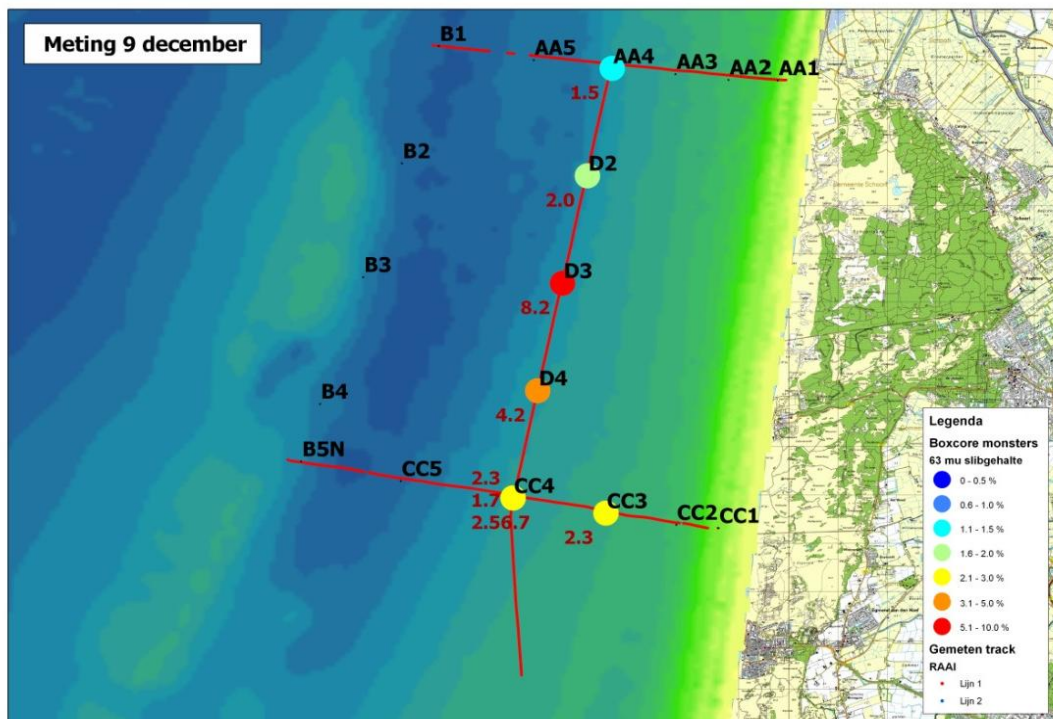
Figuur E.2 Overzicht van de bepaalde slijfracie op zes tijdstippen.



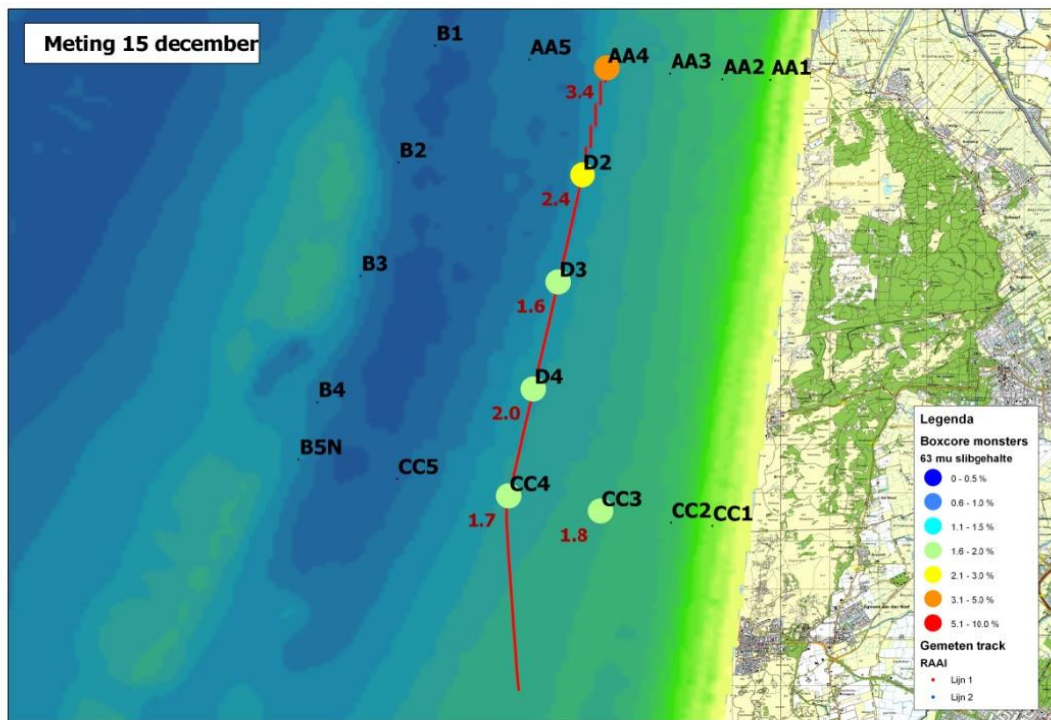
Figuur E.3 Verband tussen slibgehalte en golfhoogte.



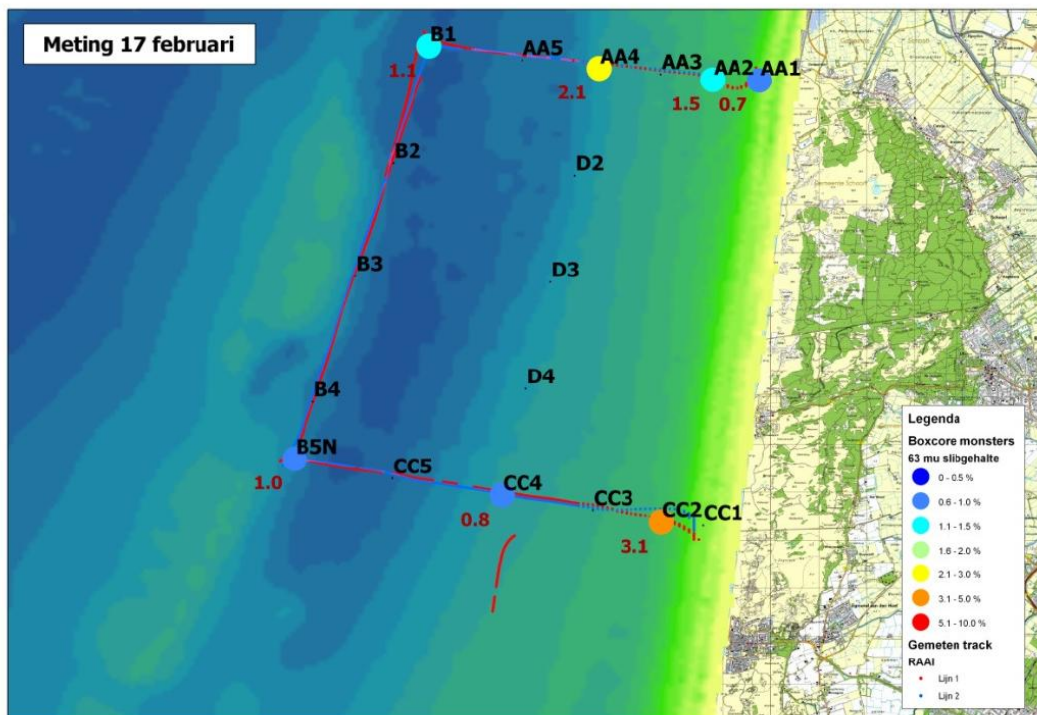
Figuur E.4 Slijtgehalte uit boxcore-campagne september 2009



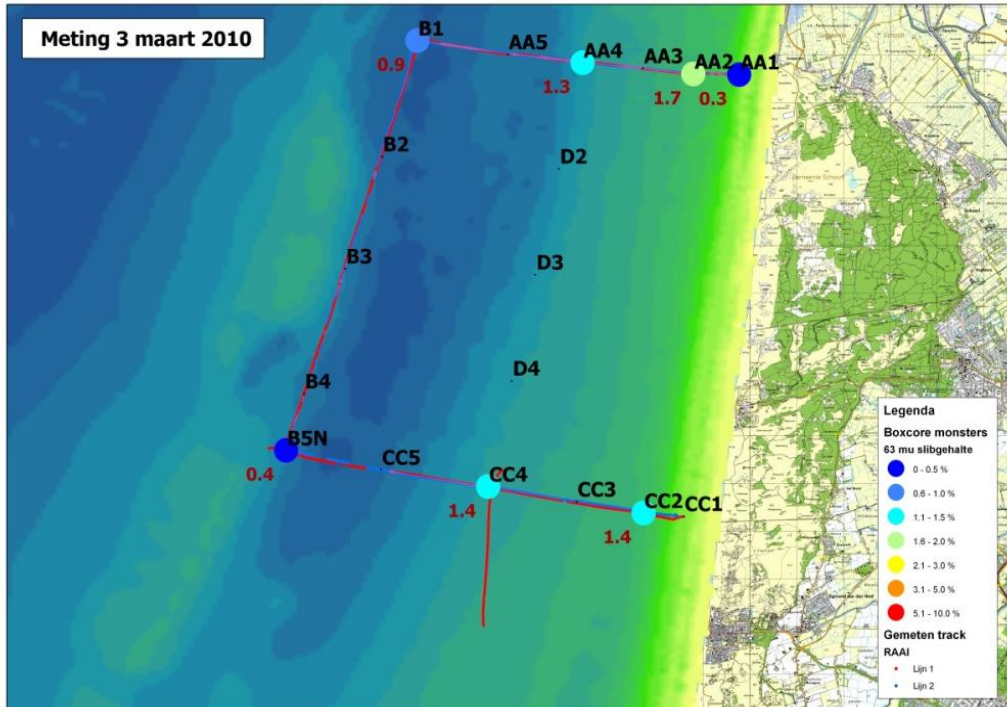
Figuur E.5 Slijtgehalte uit boxcore-campagne 9 december 2009



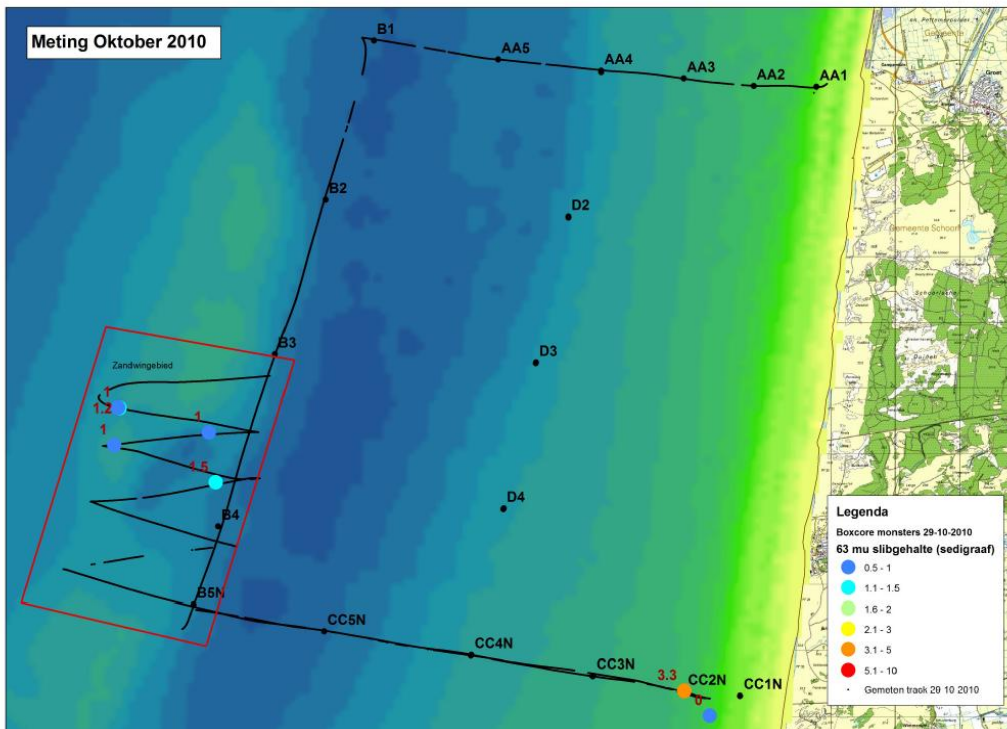
Figuur E.6 Slibgehalte uit boxcore-campagne 15 december 2009



Figuur E.7 Slibgehalte uit boxcore-campagne 17 februari 2010



Figuur E.8 Slijpgehalte uit boxcore-campagne 3 maart 2010

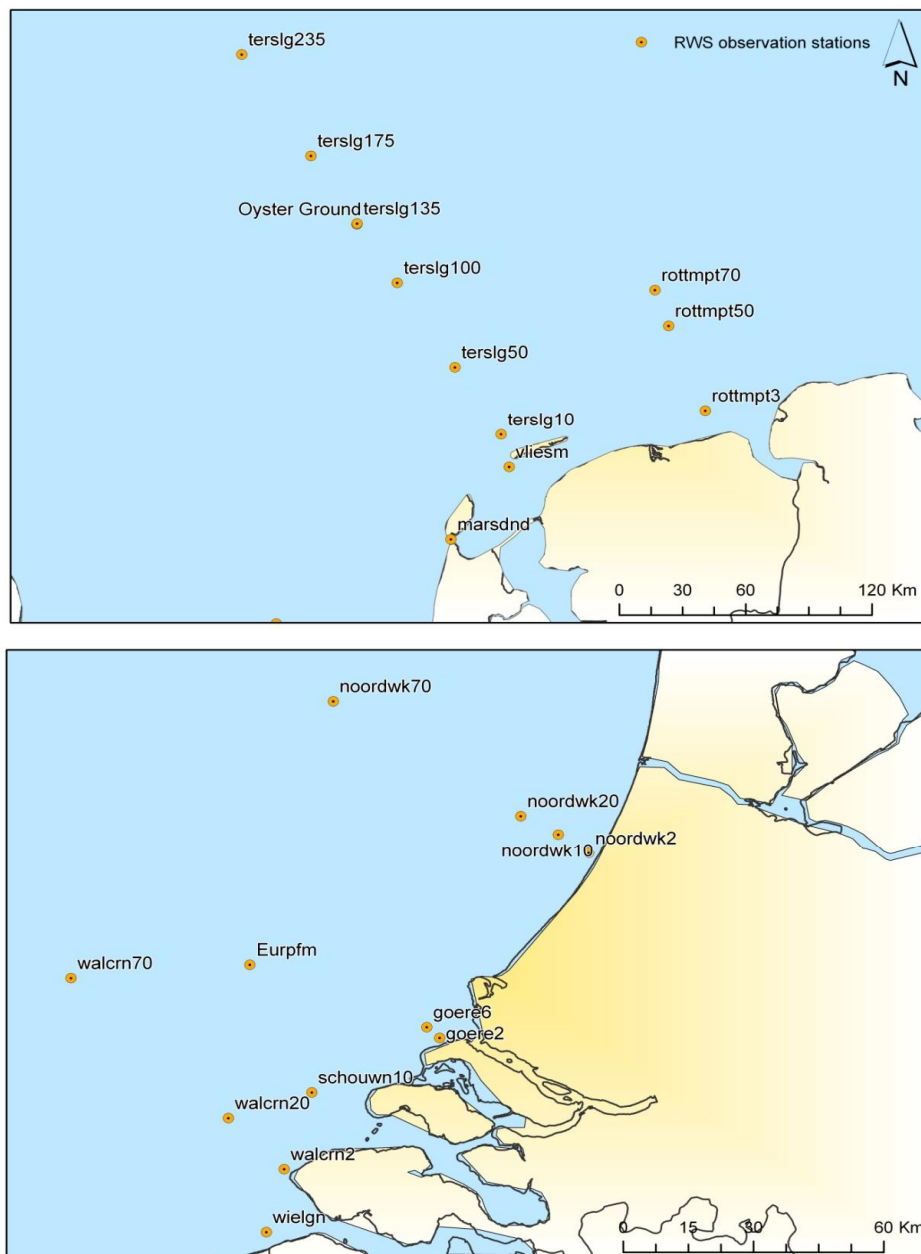


Figuur E.9 Slijpgehalte uit boxcore-campagne oktober 2010

F Slib resultaten

- F1. Vergelijking modelresultaten met laagfrequente MWTL metingen
- F2. Target diagrammen: modelresultaat vs MWTL metingen
- F3. Vergelijking modelresultaten met hoogfrequente slib metingen bij Egmond
- F4. Ruimtelijke berekende slibconcentraties in de waterkolom nabij oppervlak en bodem
- F5. Tijdsreeksen berekende slibfracties in de bodem
- F6. Samenvatting resultaten bodemonmonster analyse Egmond

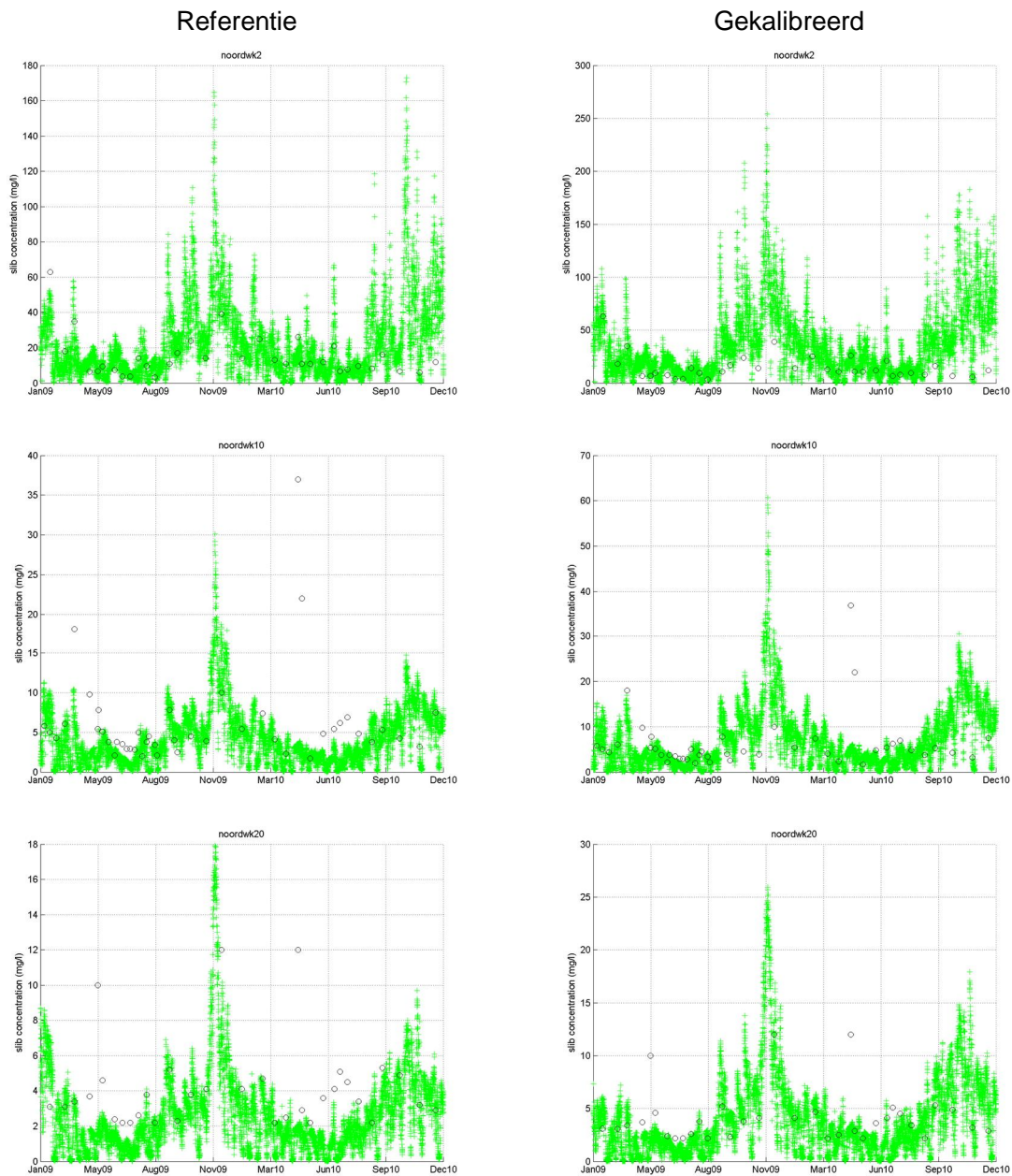
F.1 Vergelijking modelresultaten met laagfrequente MWTL metingen



Figuur F.1 Overzicht van locaties van MWTL meetstations in de Noordzee.

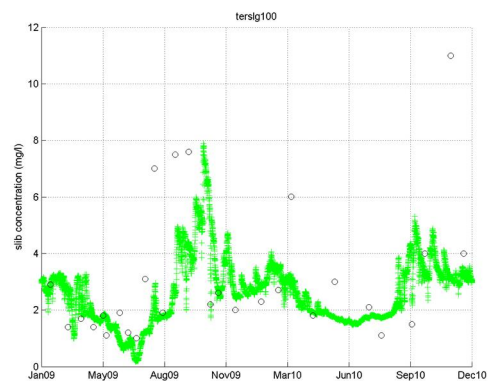
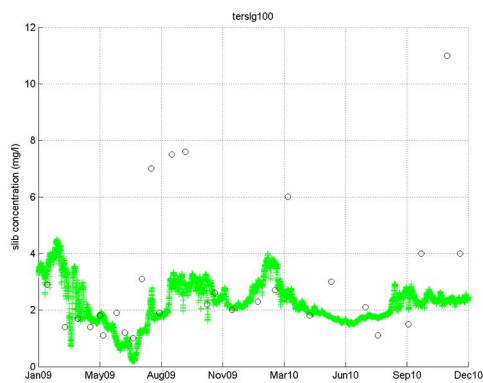
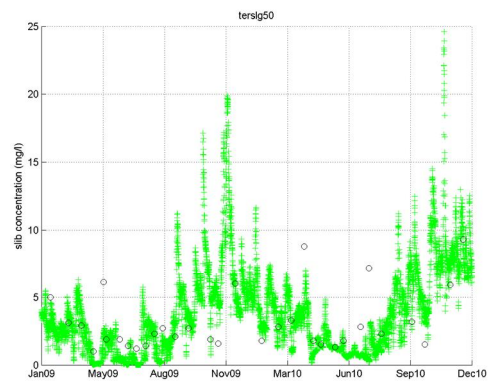
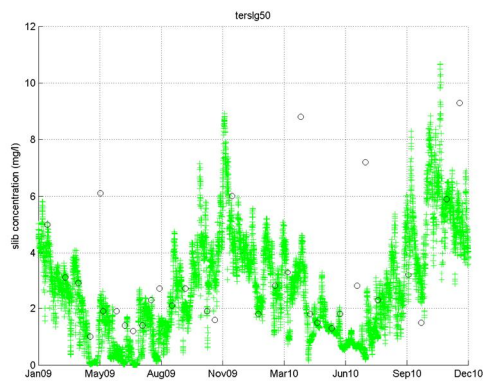
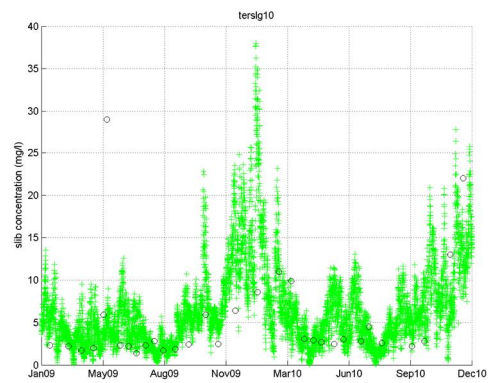
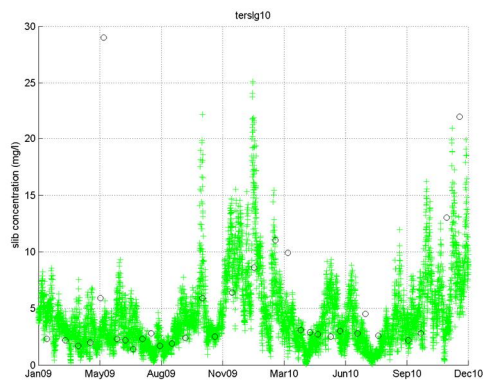
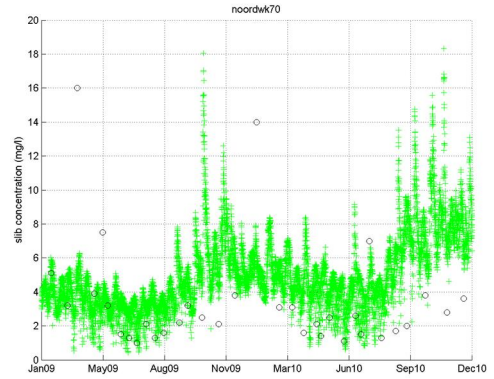
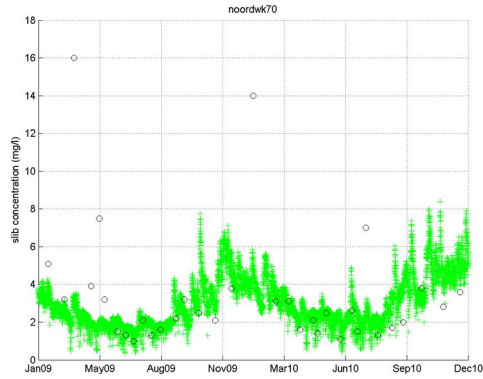
Let op: de schalen op de verticale as zijn niet gelijk voor de “referentie” en “gekalibreerde” berekeningen.

Bollen zijn metingen; groene plusjes is berekening.

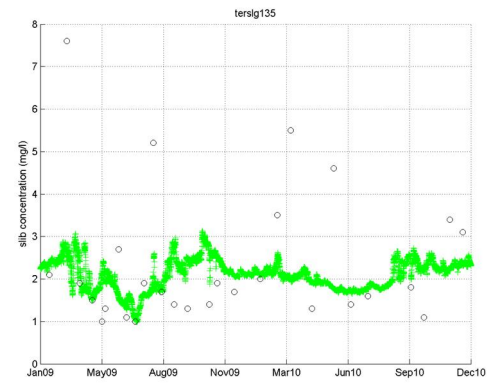


Referentie

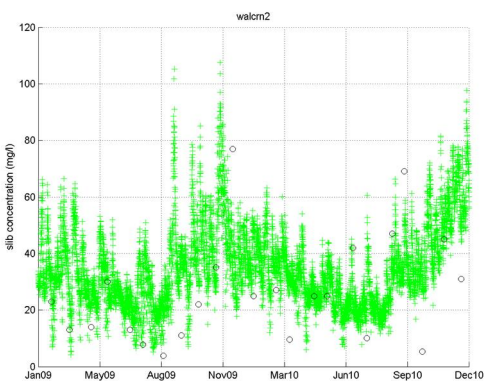
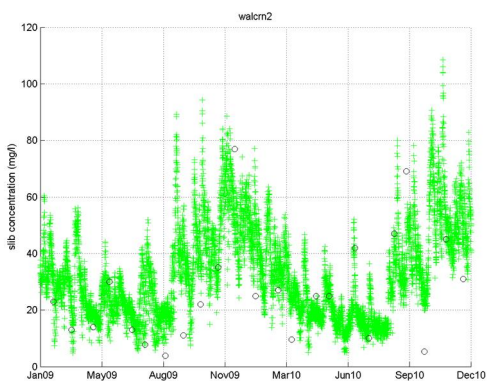
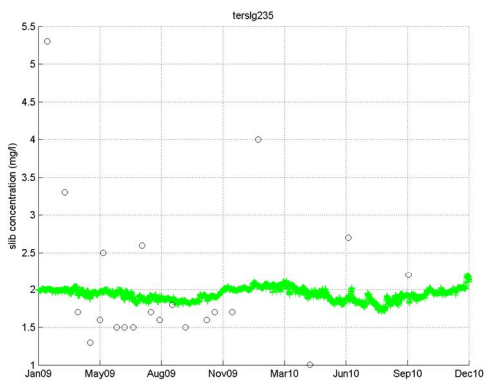
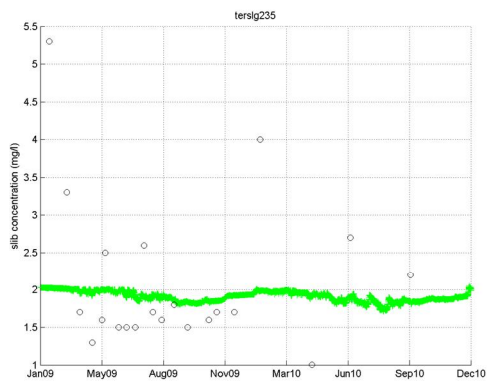
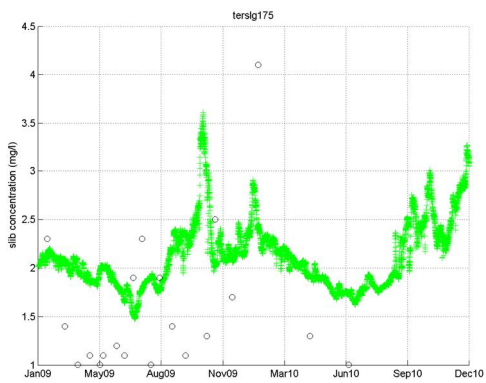
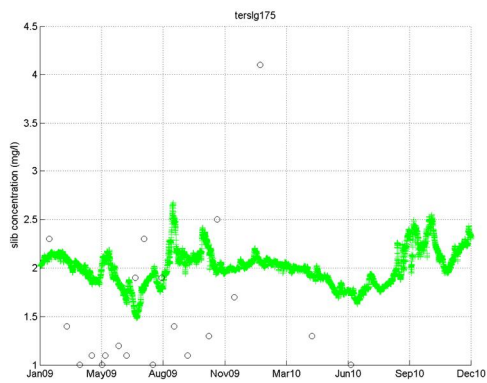
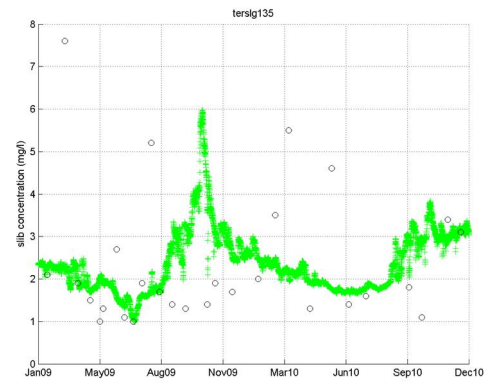
Gekalibreerd



Referentie

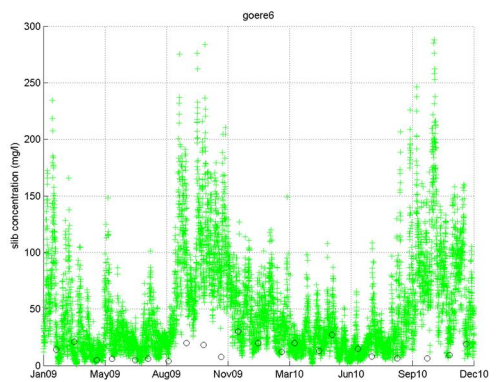
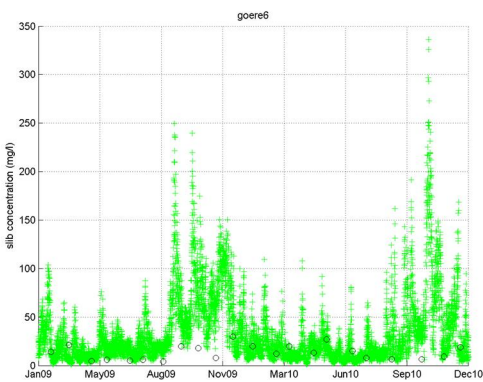
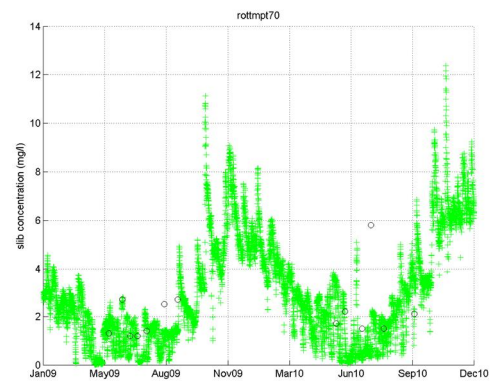
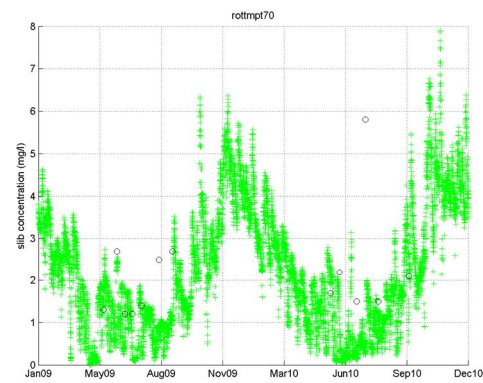
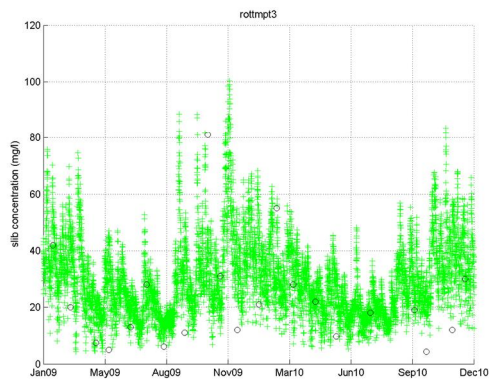
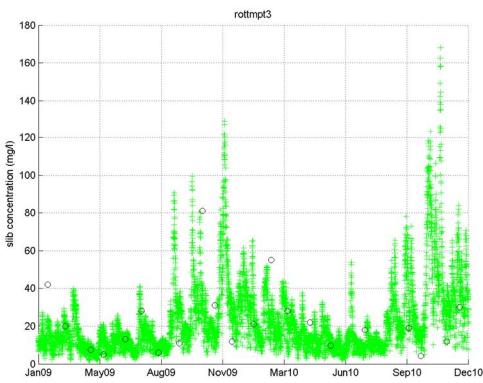
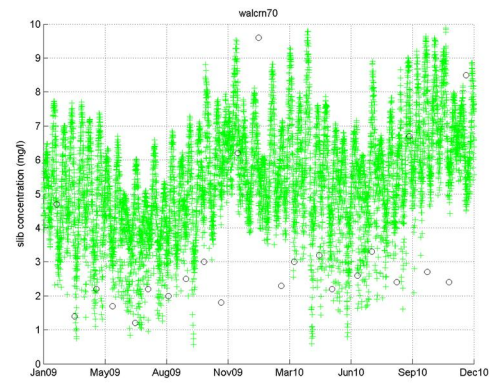
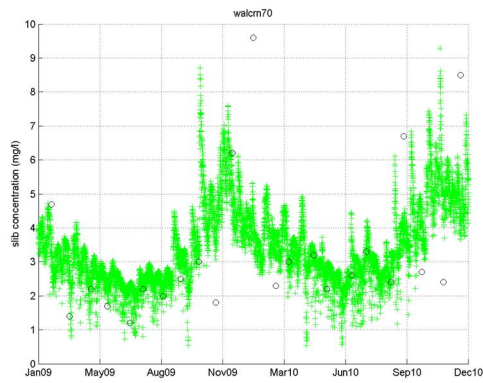


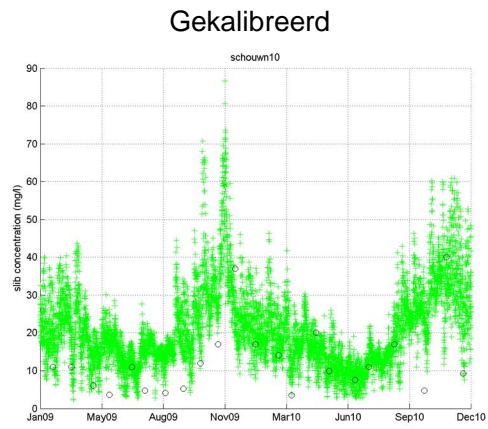
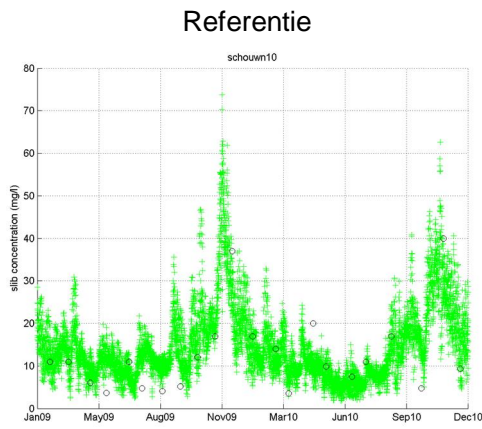
Gekalibreerd



Referentie

Gekalibreerd

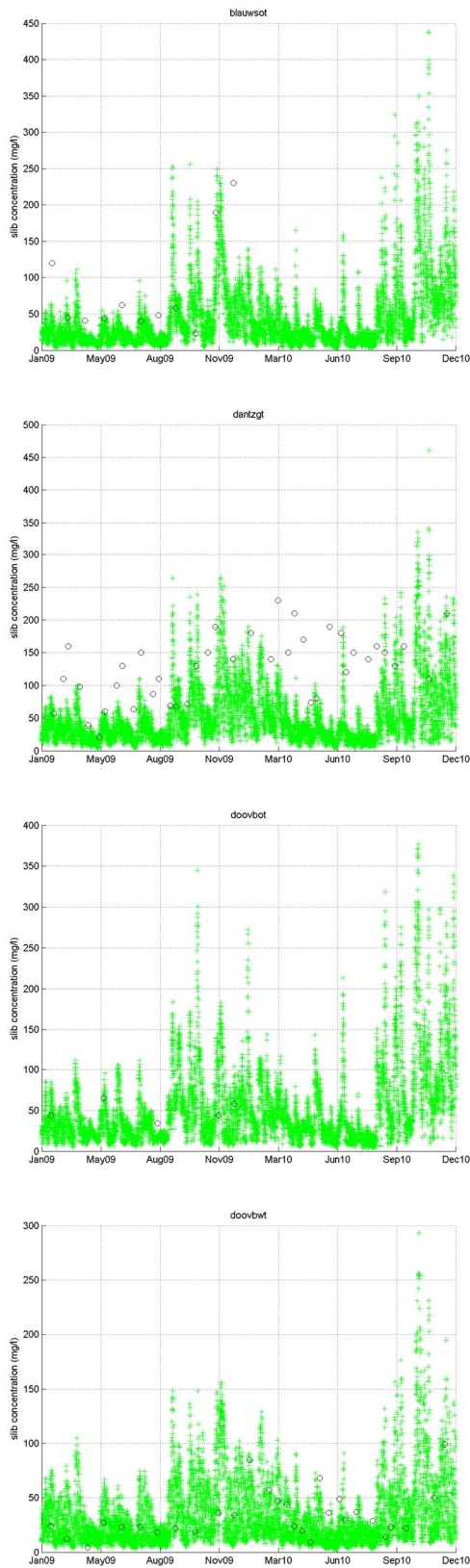




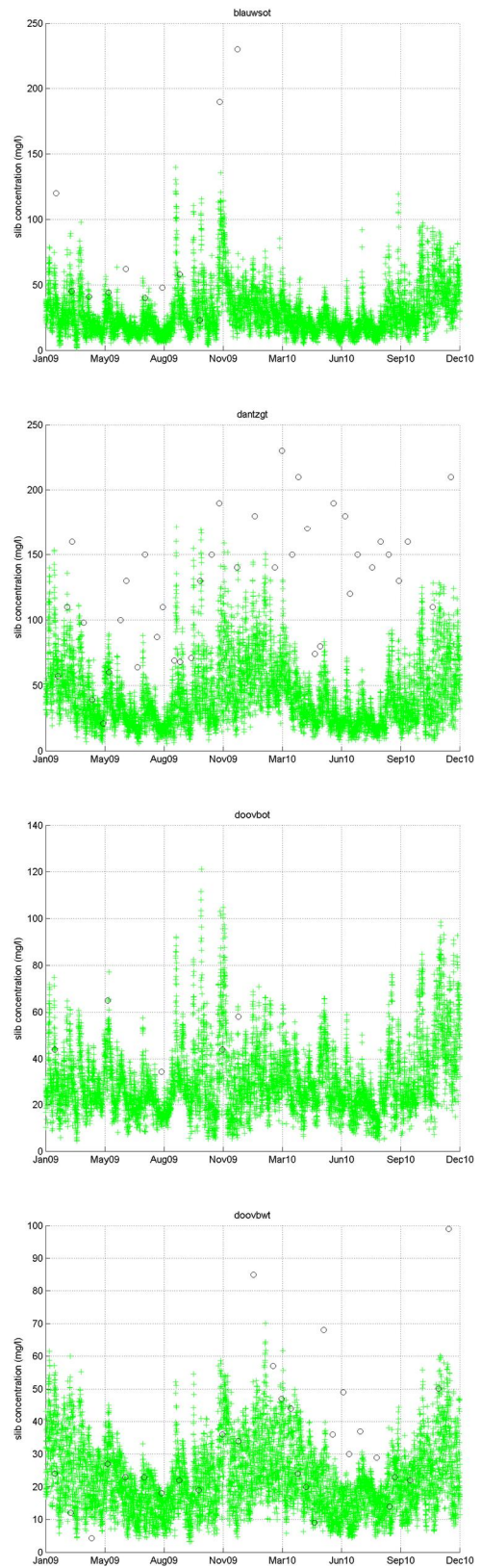
MWTL-locaties 2002 Waddenzegebied



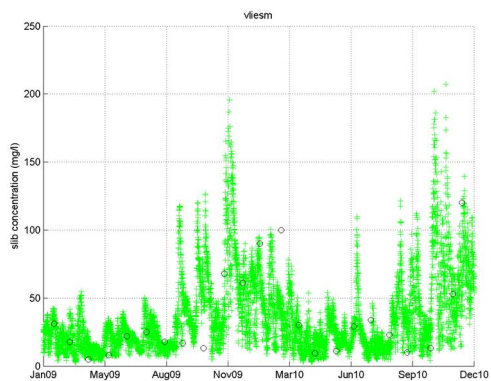
Referentie



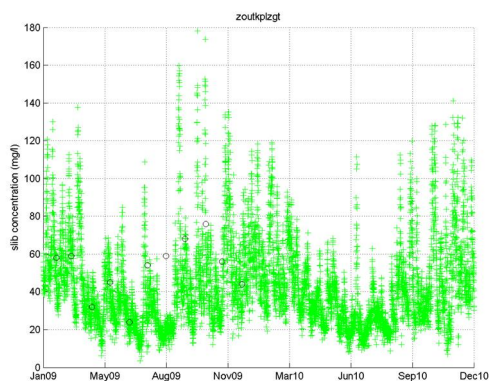
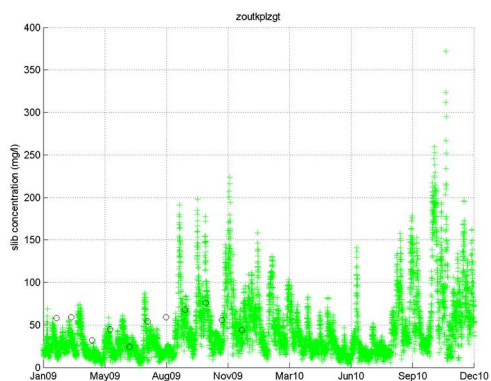
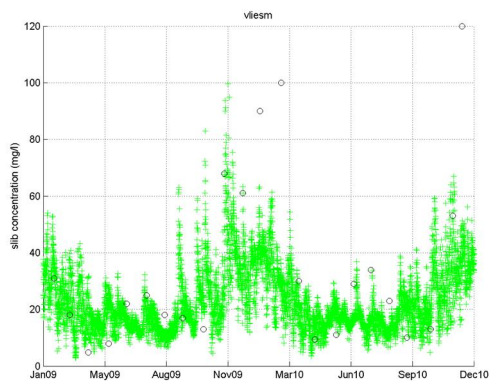
Gekalibreerd



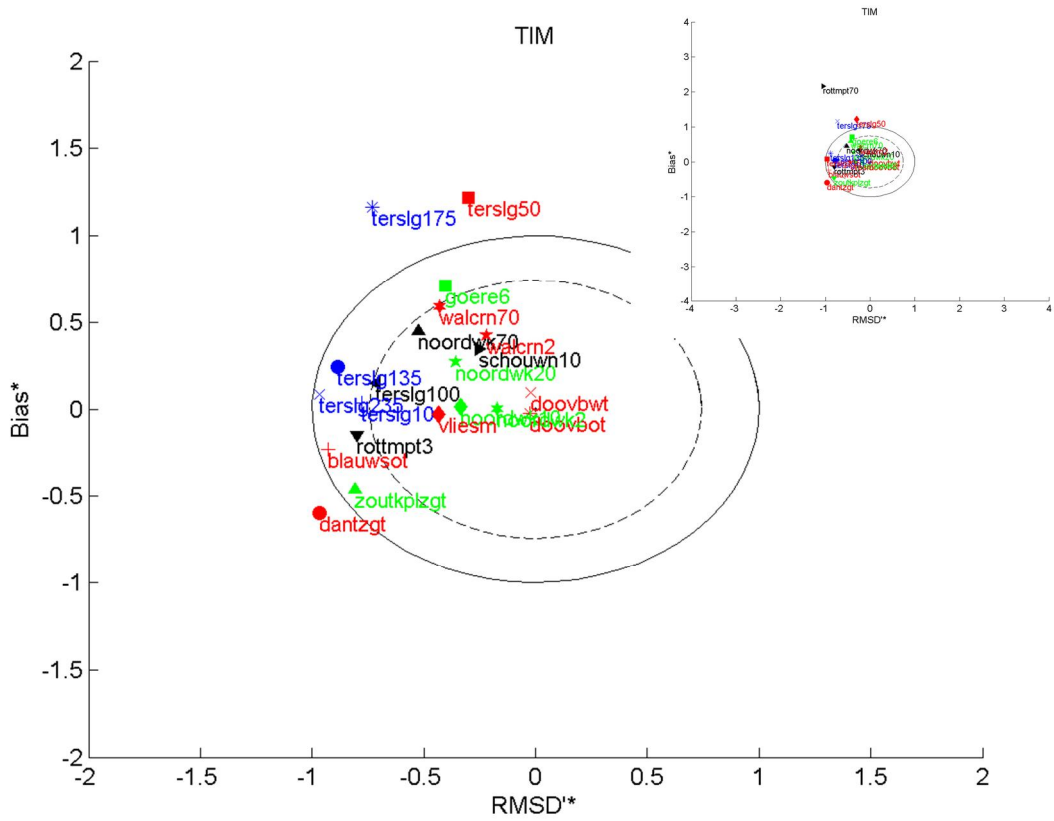
Referentie



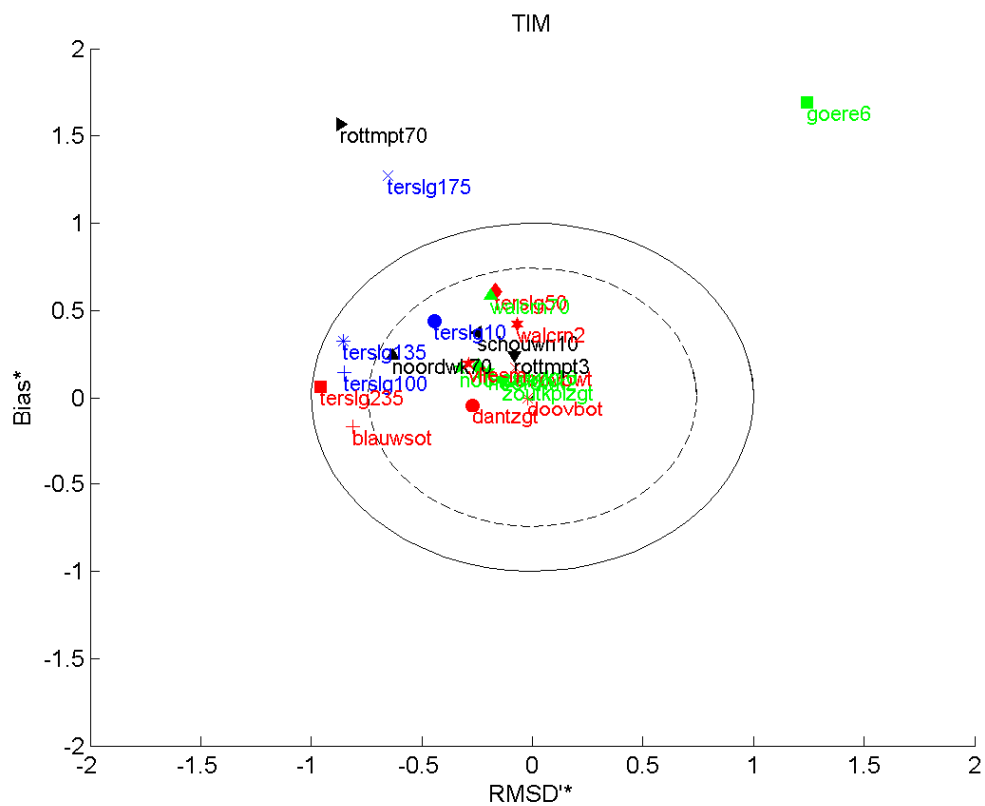
Gekalibreerd



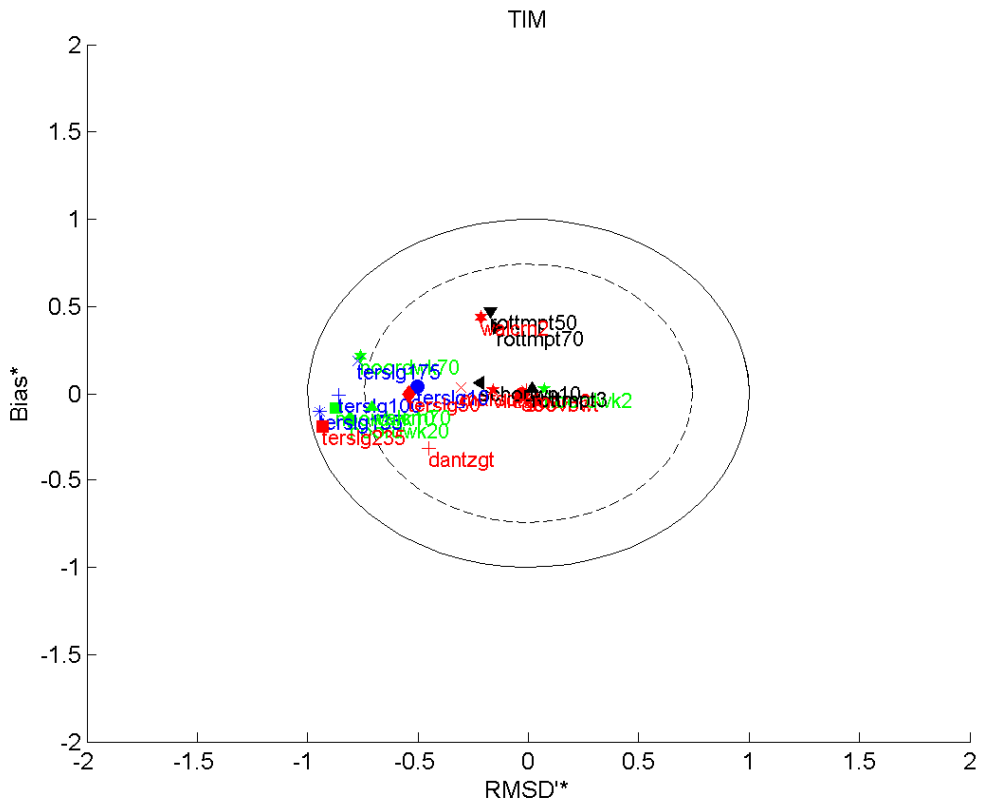
F.2 Target diagrammen: modelresultaat vs MWTL metingen



Figuur F.2 Target diagram referentie slib berekening 2009. Rottmerplaat 70 valt buiten de [-2 +2] schalen.



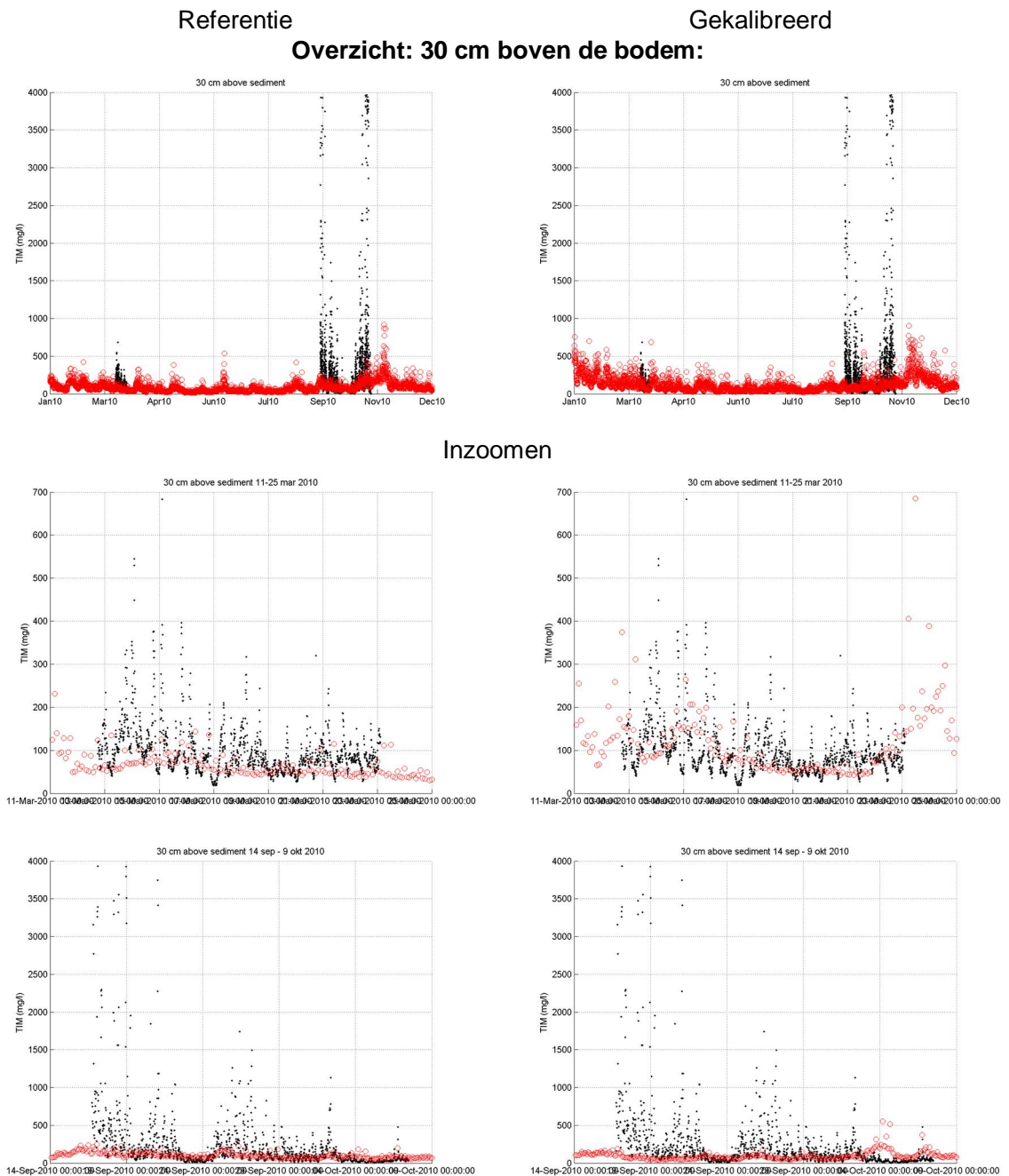
Figuur F.3 Target diagram gekalibreerde slib berekening 2009.



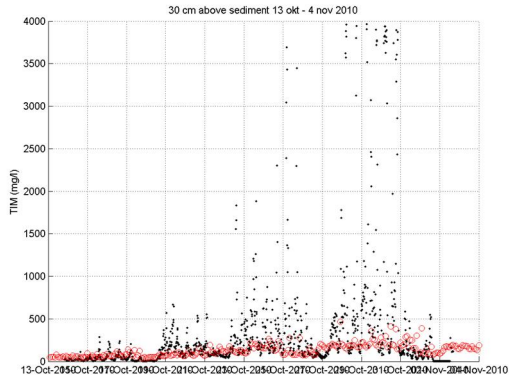
Figuur F.4 Target diagram referentie slib berekening 2010.

F.3 Vergelijking modelresultaten met hoogfrequente metingen bij Egmond (ALEC sensor op NIOZ Lander)

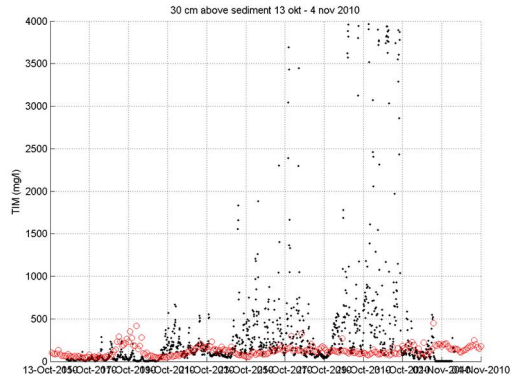
Zwarte dots: ALEC metingen; Rode dots: modelresultaat.
De modelresultaten zijn representatief voor de laag waarin gemeten is.



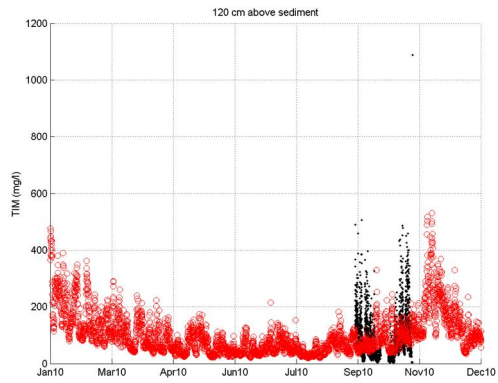
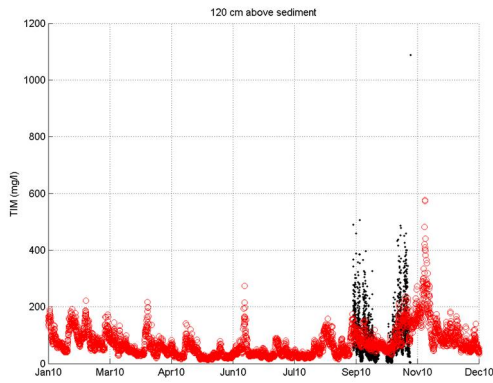
Referentie



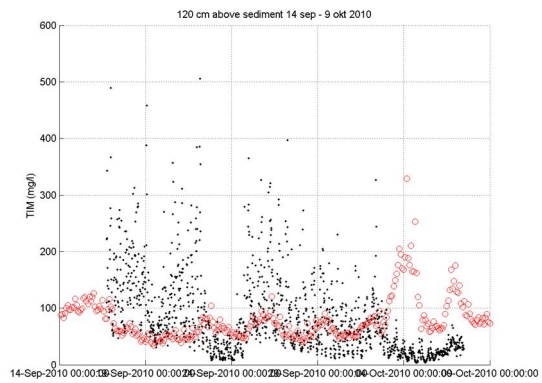
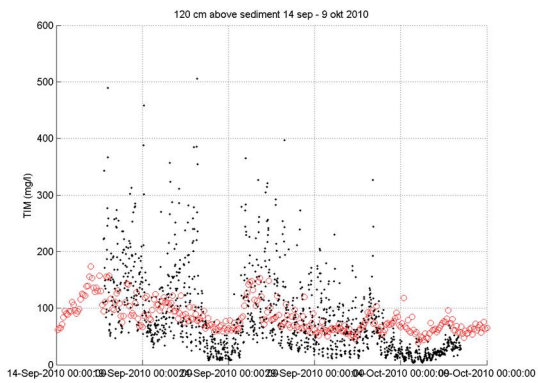
Gekalibreerd



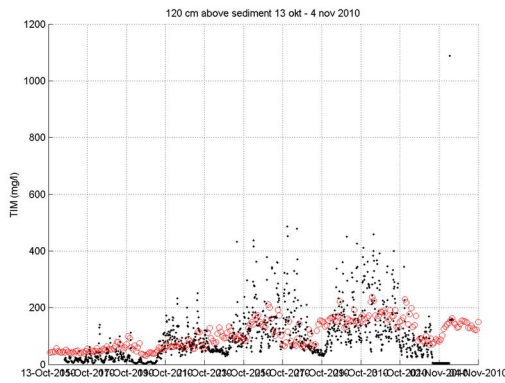
Overzicht: 120 cm boven de bodem:



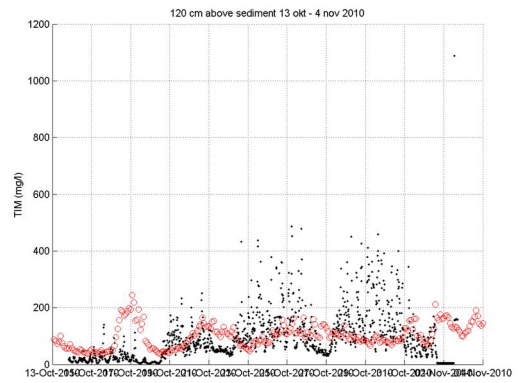
Inzoomen



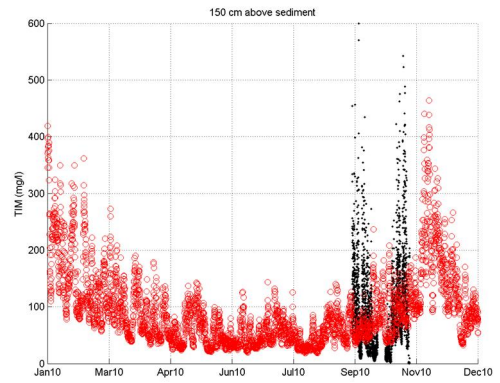
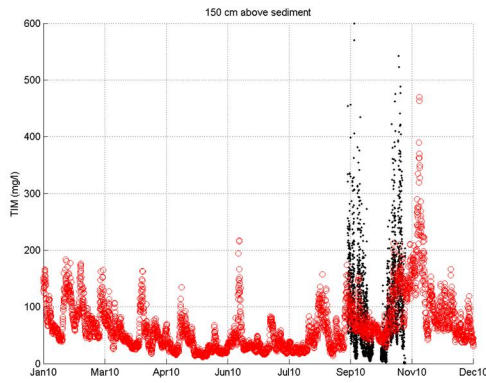
Referentie



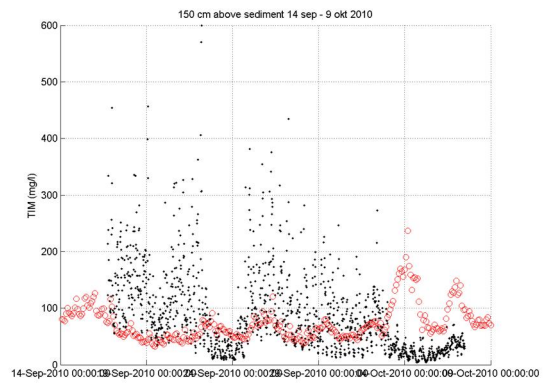
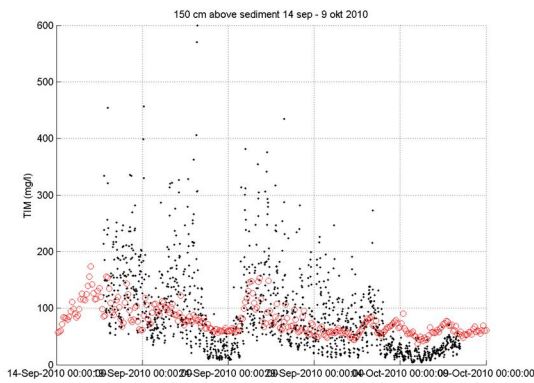
Gekalibreerd



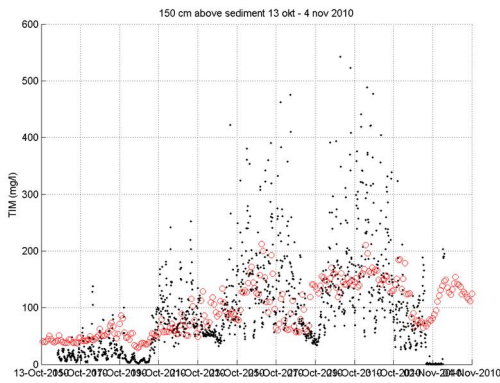
Overzicht: 150 cm boven de bodem:



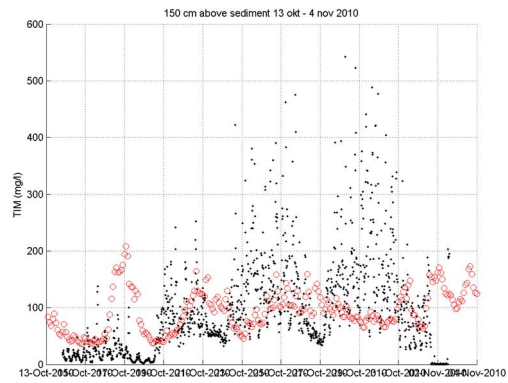
Inzoomen



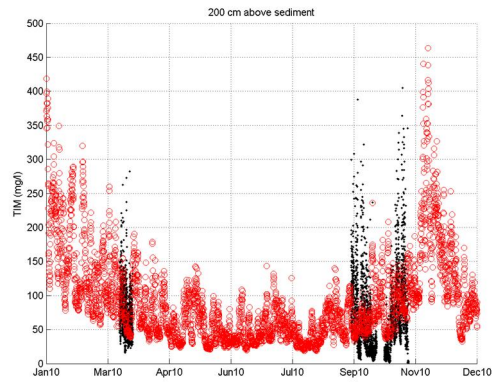
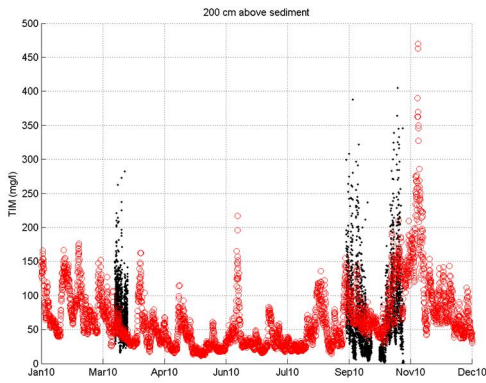
Referentie



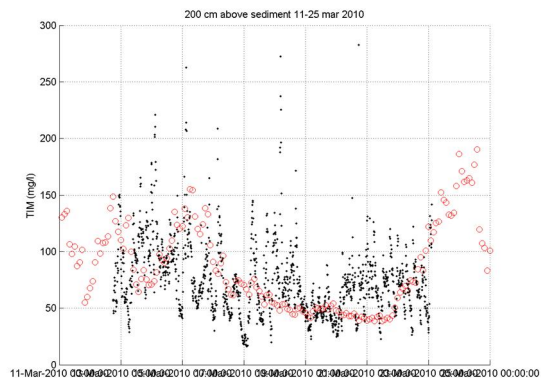
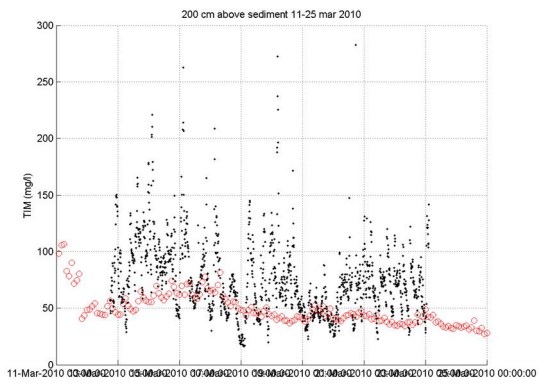
Gekalibreerd



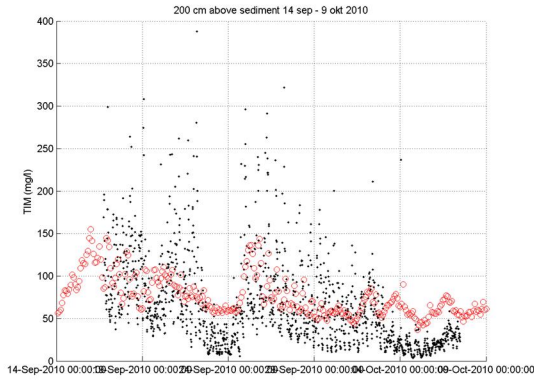
Overzicht: 200 cm boven de bodem:



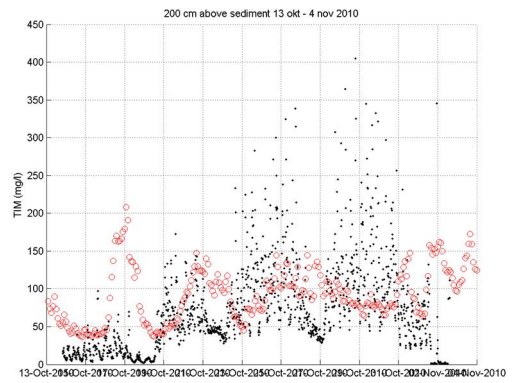
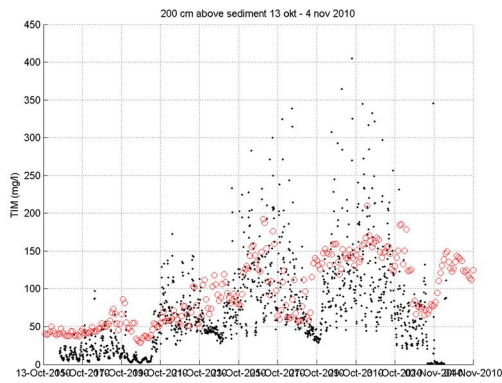
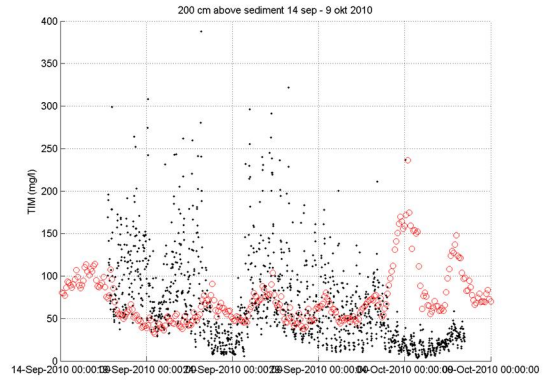
Inzoomen



Referentie

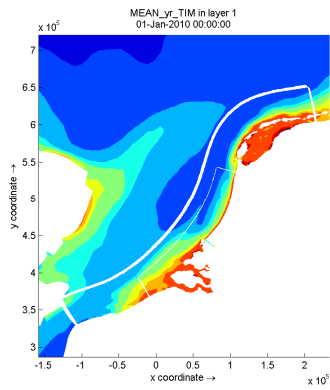


Gekalibreerd

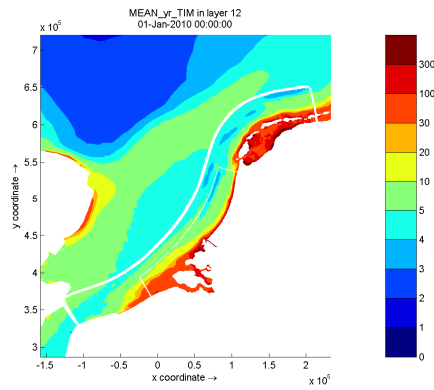


F.4 Ruimtelijke berekende slibconcentraties in de waterkolom nabij oppervlak en bodem

Referentie 2009: jaargemiddelde slibvelden:

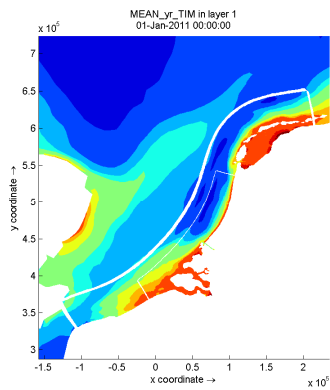


Nabij oppervlak

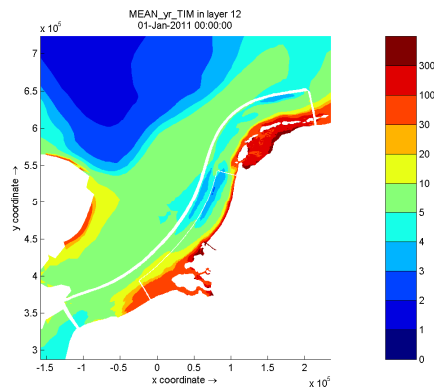


Nabij bodem

Referentie 2010: jaargemiddelde slibvelden in waterkolom:

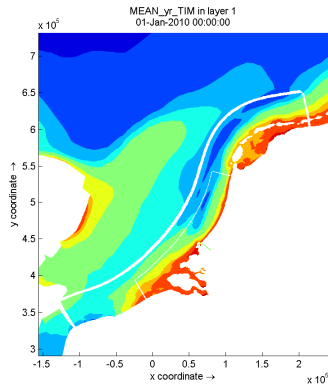


Nabij oppervlak

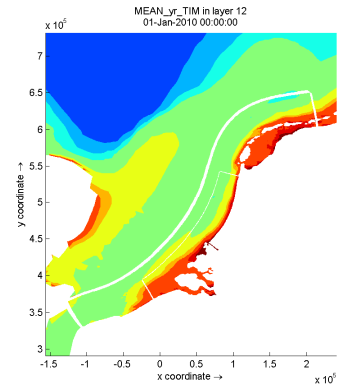


Nabij bodem

Gekalibreerd 2009: jaargemiddelde slibvelden in waterkolom:

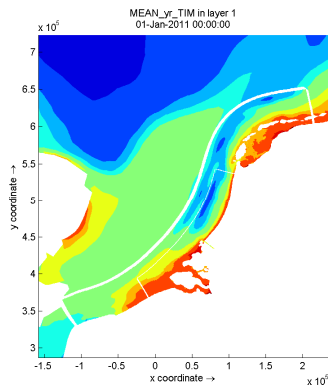


Nabij oppervlak

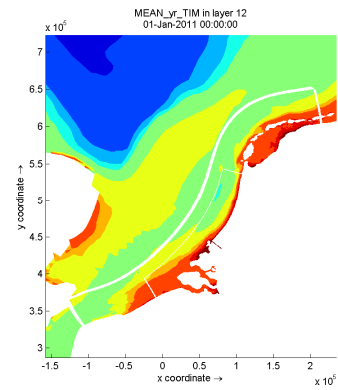


Nabij bodem

Gekalibreerd 2010: jaargemiddelde slibvelden in waterkolom:



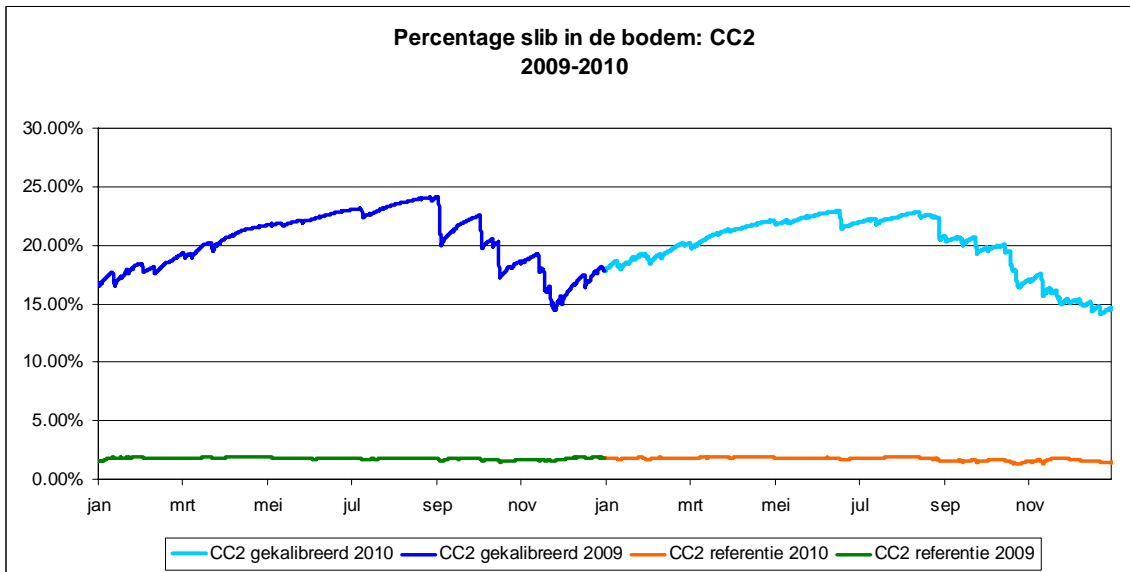
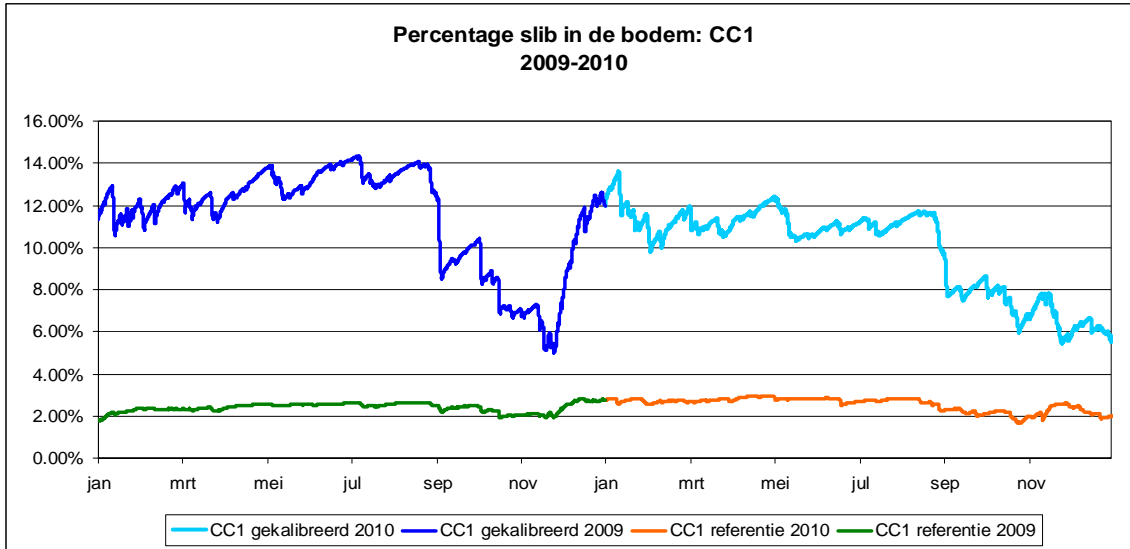
Nabij oppervlak

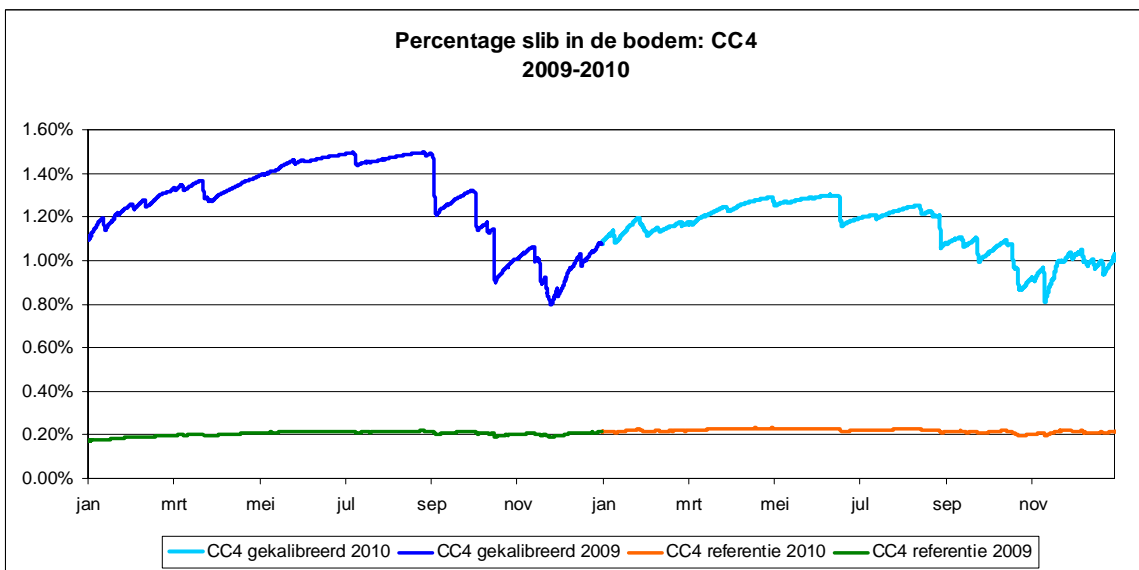
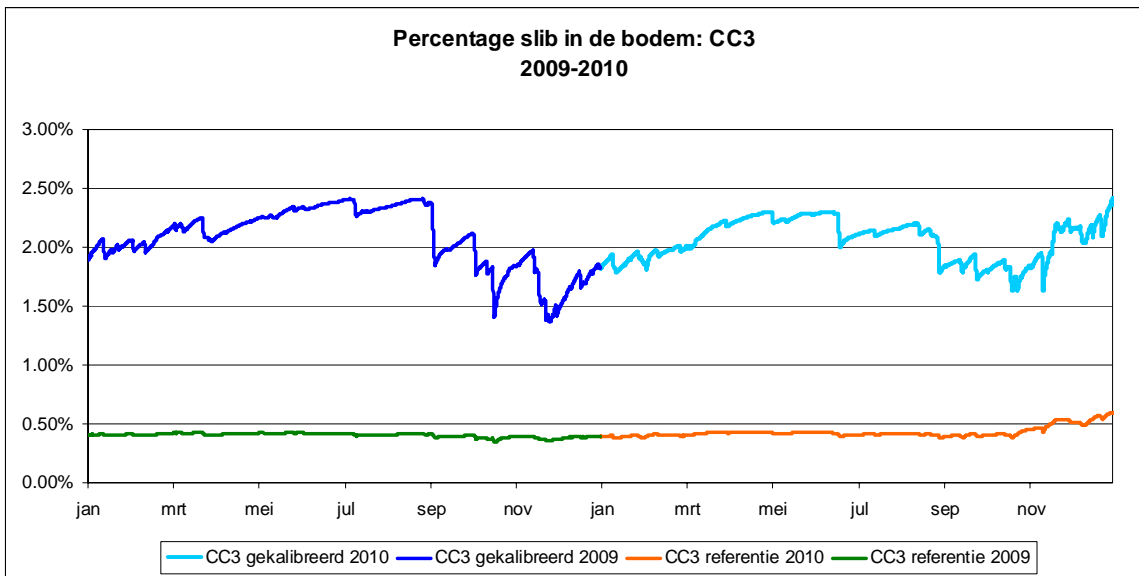


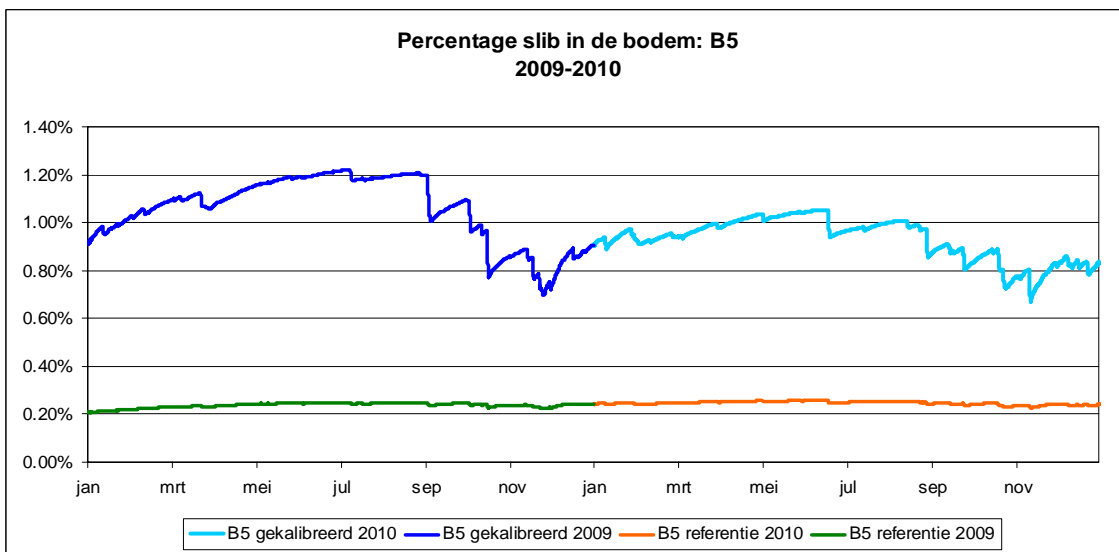
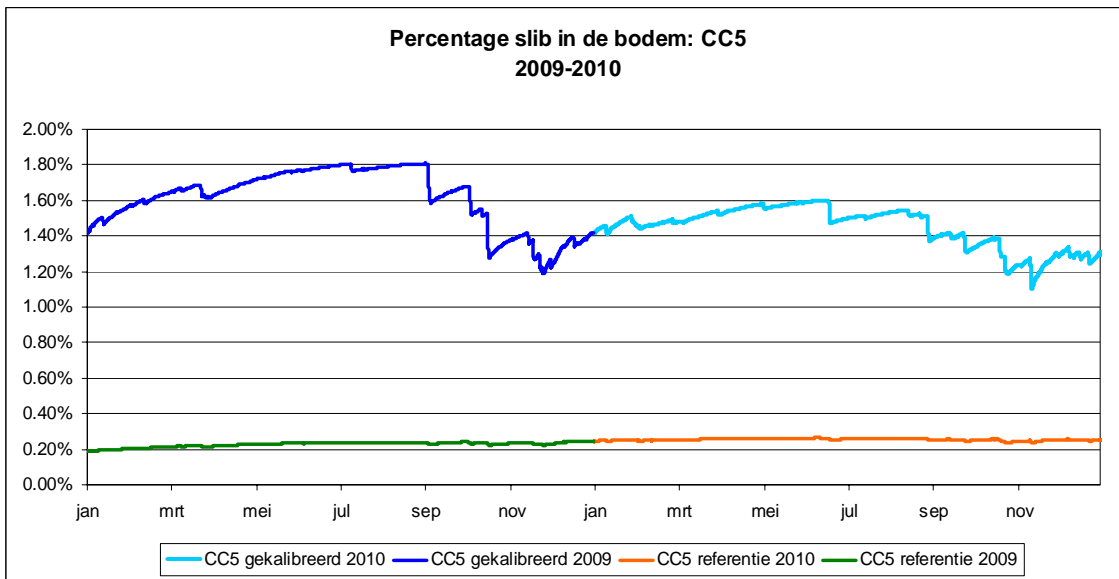
Nabij bodem

F.5 Tijdsreeks berekende slibfracties in de bodem

Tijdsreeks van berekende slibpercentages in de bodem van kust naar zee (zie Figuur 6.9).







F.6 Samenvatting resultaten bodemonster analyse Egmond

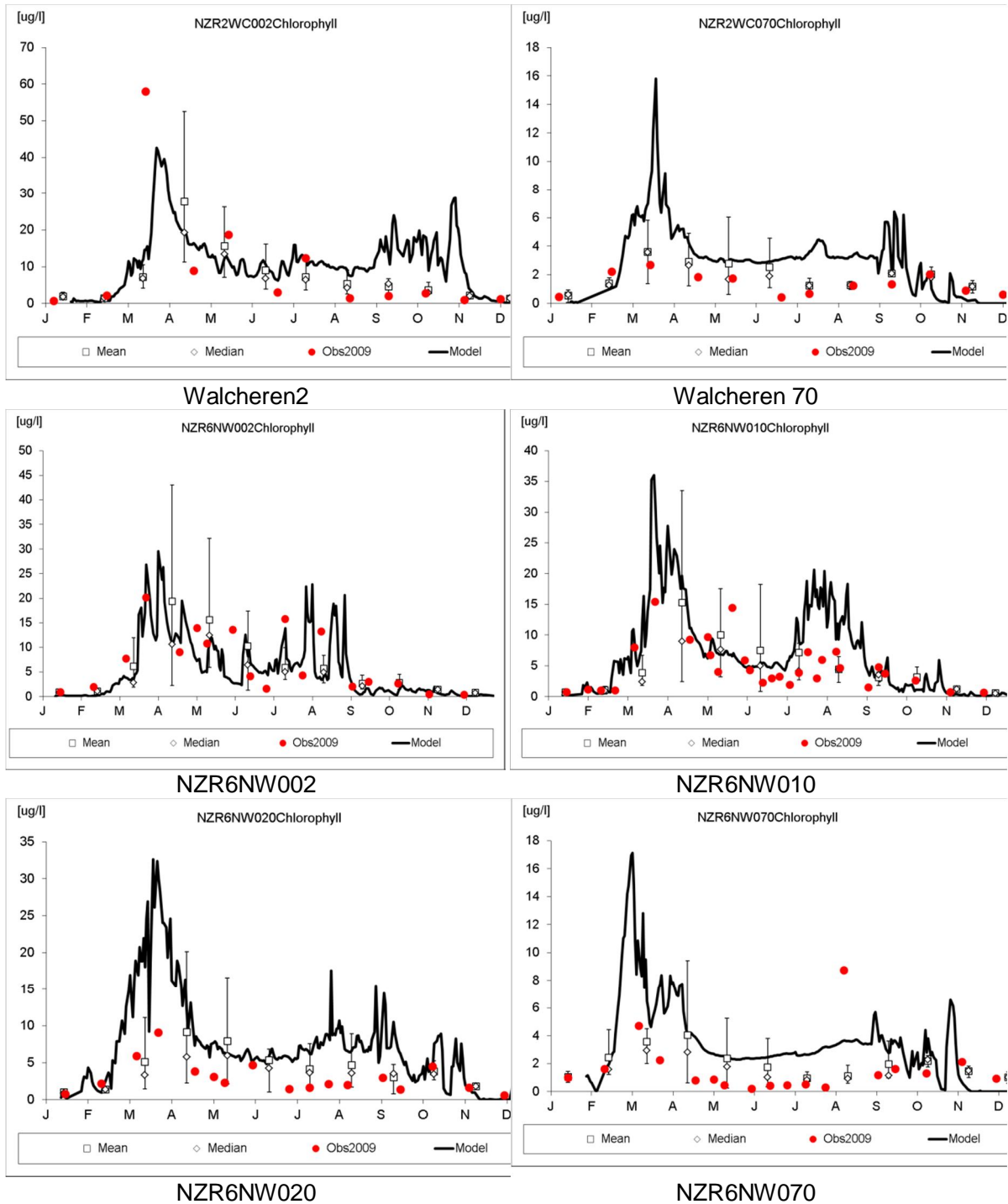
Table F.1 Samenvatting van de resultaten volume percentage fijne stof ten opzichte van het geheel indien de knip wordt gelegd bij 35 en 60 (uit Blok en Arentz 2012)

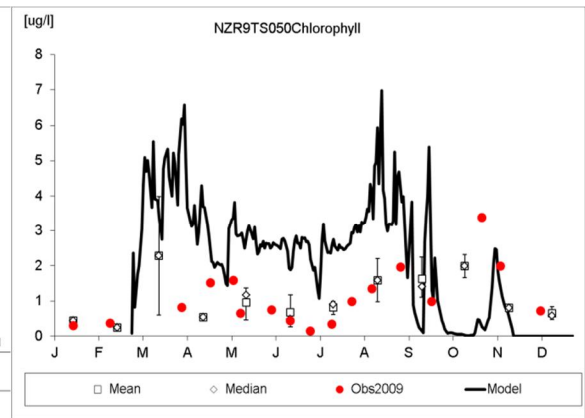
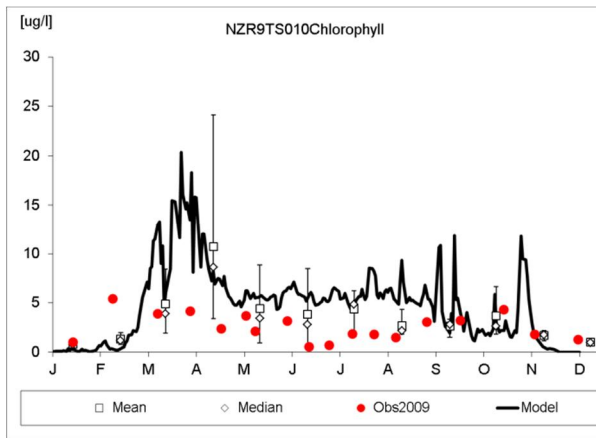
monster ID	chemie achteraf			
	fijne fractie (vol %)	<35 (um) (vol %)	>35 <60 (um) (vol %)	>60 (um) (vol %)
B5 26-4-2010	0.128	0.036	0.020	0.072
B5 6-4-2010	0.623	0.051	0.085	0.487
B5 week41	0.386	0.046	0.045	0.295
C1 13-9-2010	0.309	0.130	0.057	0.123
C1 26-4-2010	0.210	0.086	0.028	0.097
C1 6-4-2010	0.050	0.017	0.007	0.026
C1 core1 maart	0.301	0.136	0.041	0.123
C1 core2 maart	0.655	0.322	0.089	0.243
C1 week41	0.149	0.018	0.022	0.109
C2 13-9-2010	1.432	0.824	0.174	0.434
C2 26-4-2010	5.272	3.341	0.613	1.319
C2 6-4-2010	2.342	1.521	0.300	0.521
C2 core1 maart	1.189	0.880	0.127	0.182
C2 maart	7.600	6.108	0.658	0.835
C2 week41	3.934	3.016	0.421	0.496
C3 13-9-2010	0.194	0.040	0.014	0.140
C3 26-4-2010	0.888	0.656	0.079	0.154
C3 6-4-2010	0.678	0.101	0.106	0.471
C3 core1 maart	0.949	0.223	0.155	0.571
C3 core2 maart	1.248	0.301	0.210	0.736
C3 week41	0.460	0.140	0.059	0.261
C4 13-9-2010	0.818	0.403	0.091	0.324
C4 26-4-2010	1.035	0.224	0.154	0.657
C4 6-4-2010	0.555	0.057	0.062	0.436
C4 week41	1.435	0.816	0.172	0.447
C4a maart	1.763	0.769	0.232	0.762
C4b maart	0.885	0.644	0.080	0.161
C5 13-9-2010	0.756	0.206	0.100	0.450
C5 26-4-2010	0.662	0.339	0.065	0.257
C5 6-4-2010	0.939	0.519	0.097	0.323
C5 week41	0.849	0.245	0.107	0.497

G GEM resultaten

- G1. Referentie som 2009 (cosinus en extinctie op 0.025).
- G2. Referentie som 2010 (slibveld vanuit cosinus en extinctie op 0.025).
- G3. Kalibratie som 2009 (gekalibreerd slibveld en extinctie op 0.036).
- G4. Kalibratie som 2010 (gekalibreerd slibveld en extinctie op 0.036).
- G5. Kalibratie som 2009 (referentie slibveld en extinctie op 0.036).
- G6. Kalibratie som 2010 (referentie slibveld en extinctie op 0.036).
- G7. Simulatiesom 2010 (gekalibreerd slibveld en extinctie op 0.025).

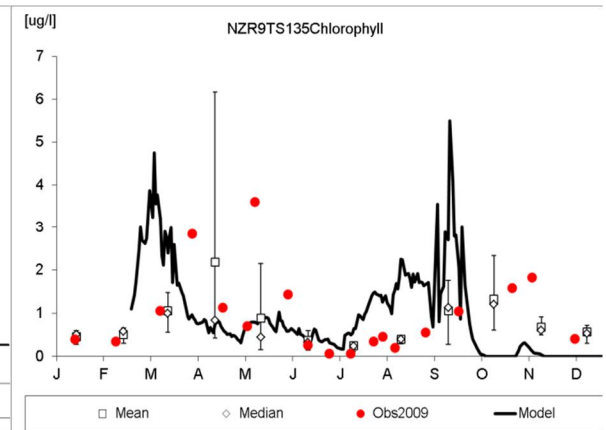
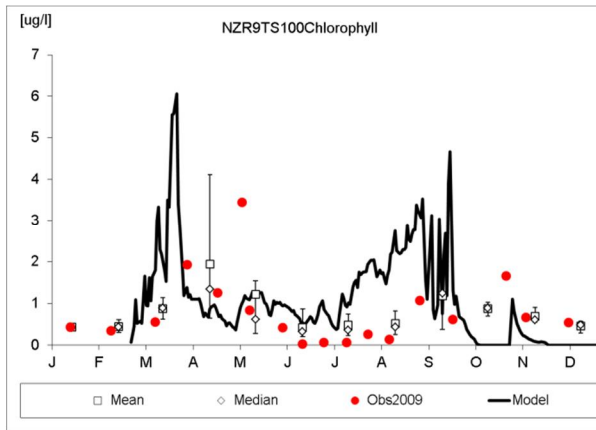
G.1 Referentie som 2009 (cosinus en extinctie op 0.025)





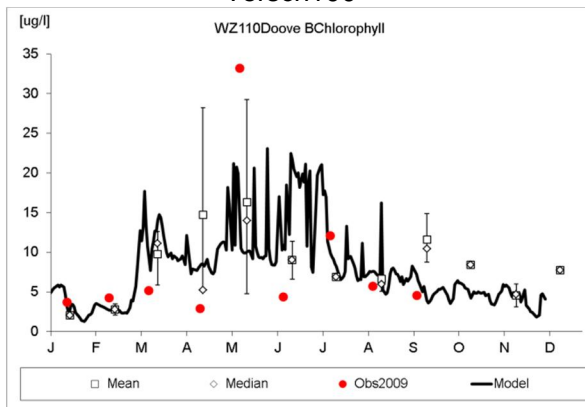
Tersch10

Tersch50



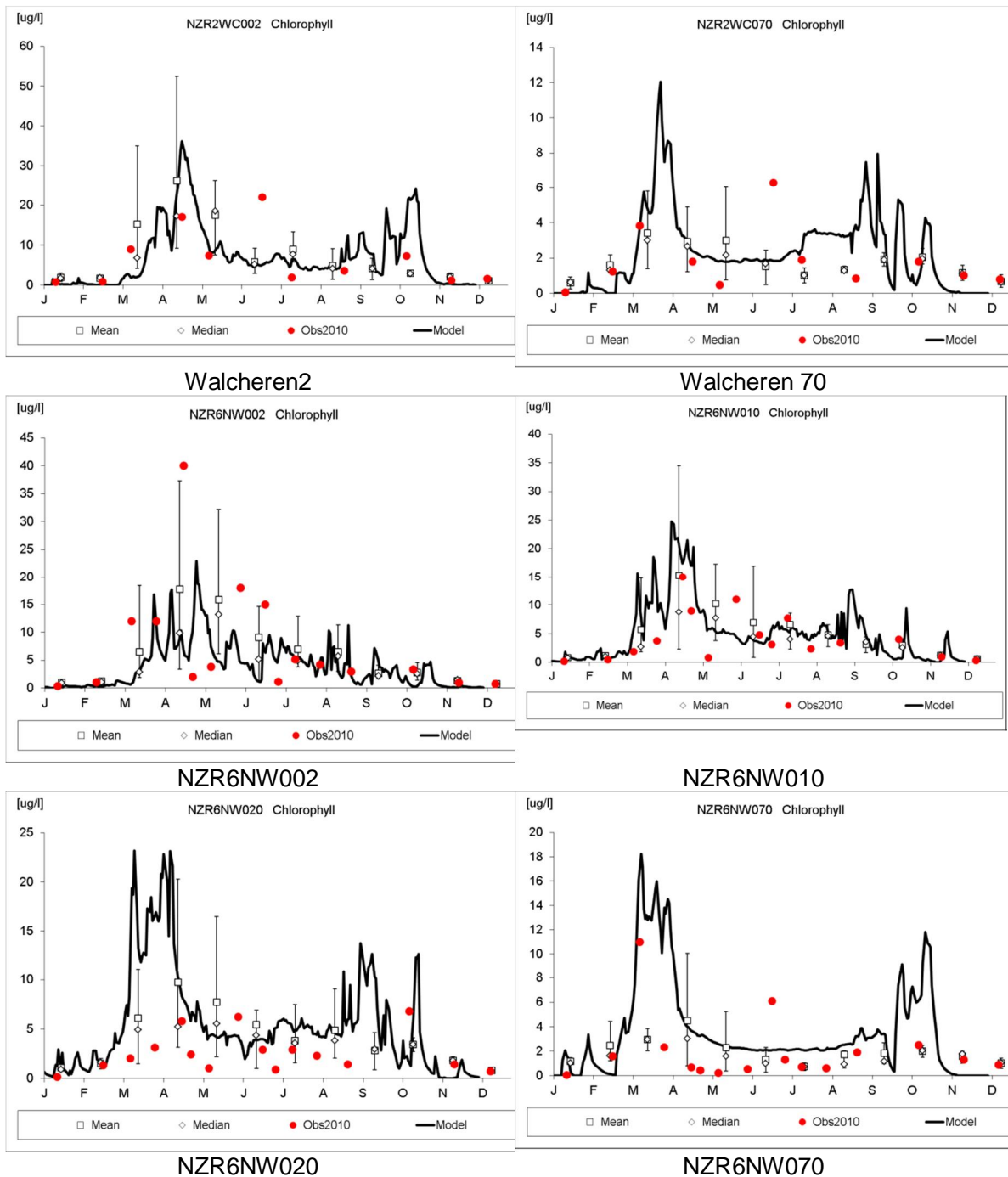
Tersch100

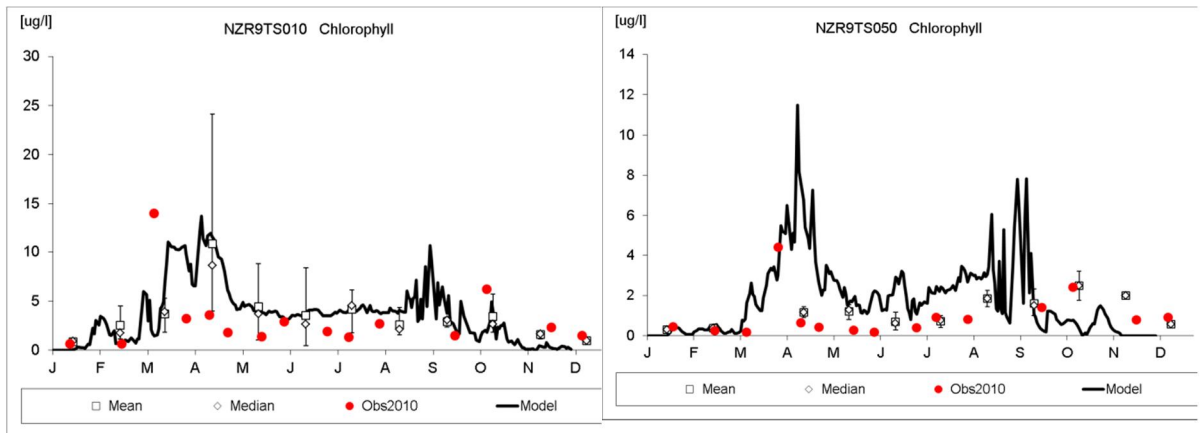
Tersch135



Doove balg west

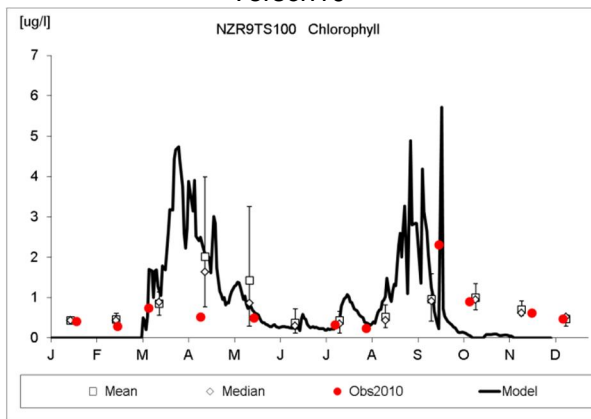
G.2 Referentie som 2010 (slibveld vanuit cosinus en extinctie op 0.025)



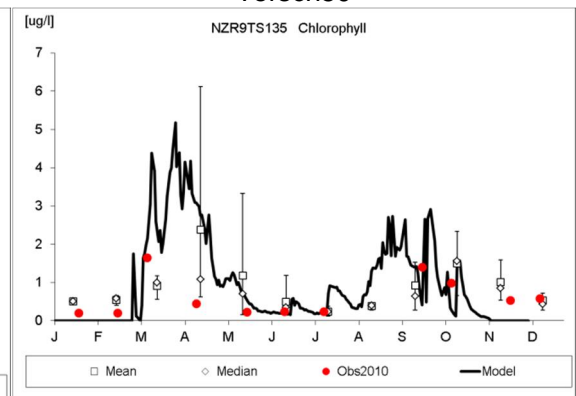


Tersch10

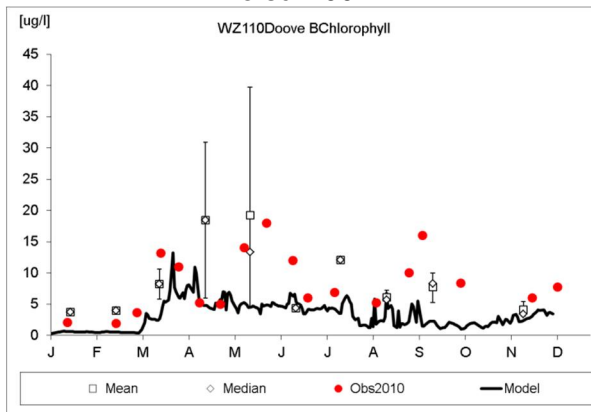
Tersch50



Tersch100

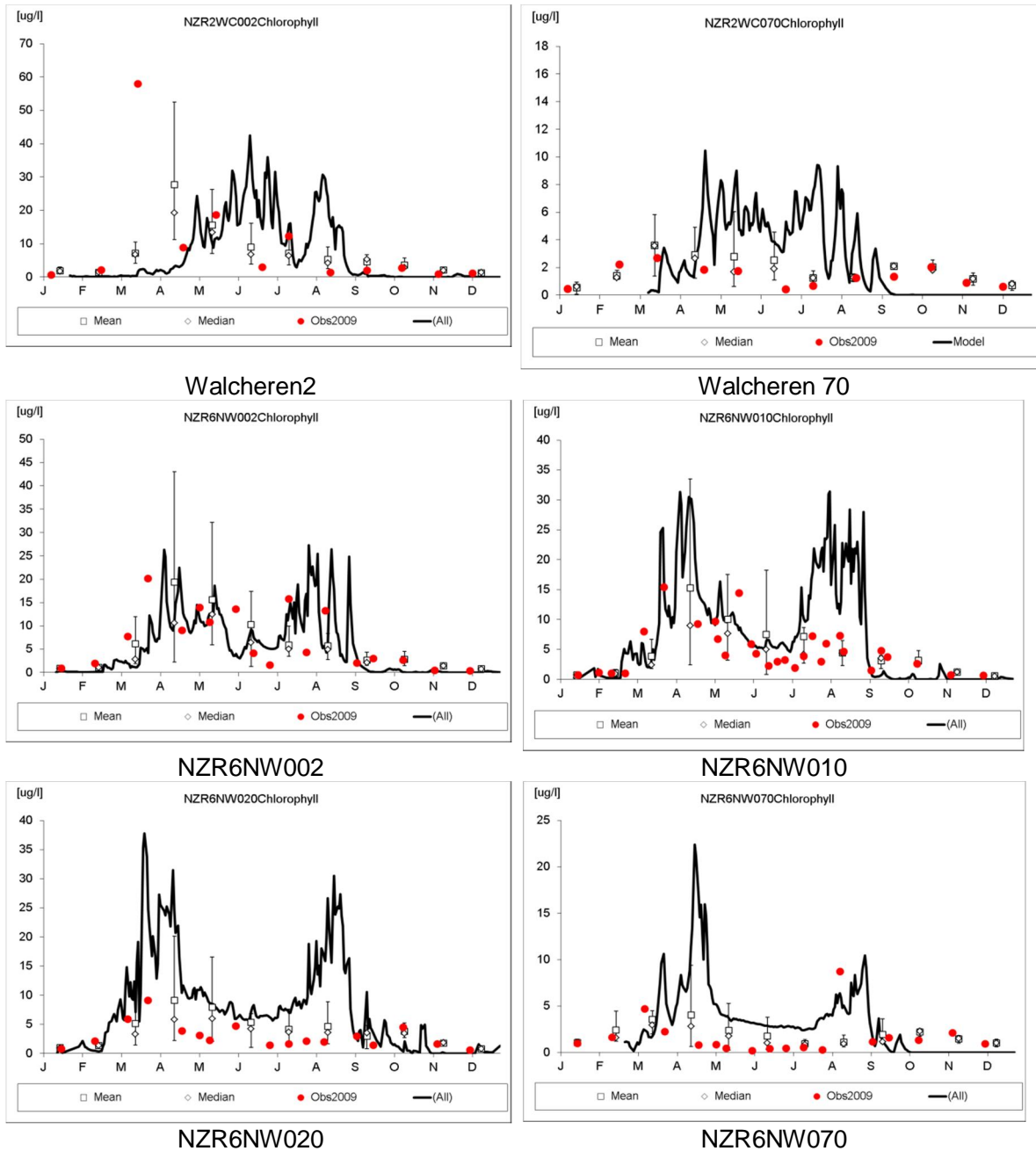


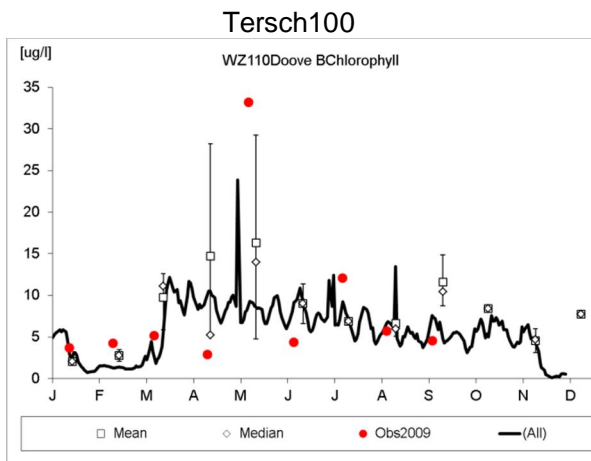
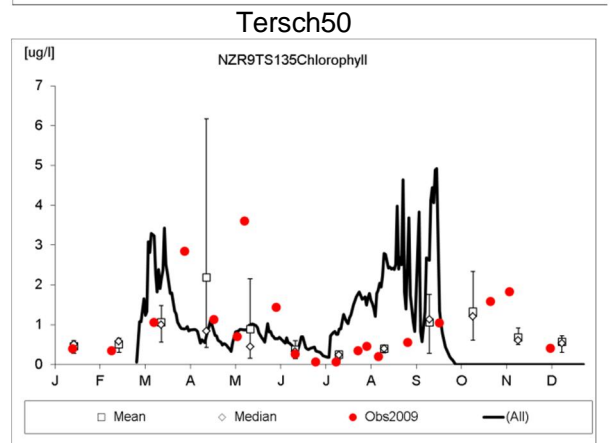
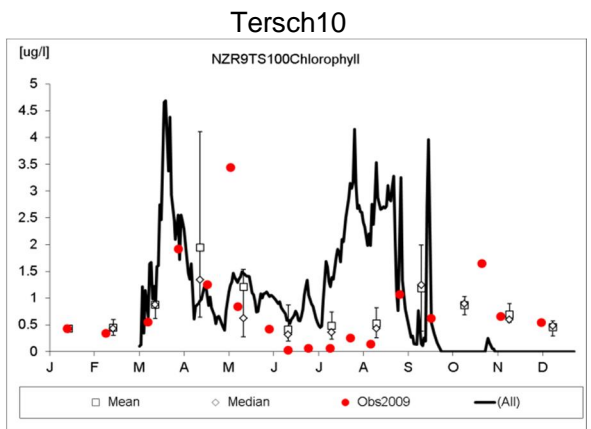
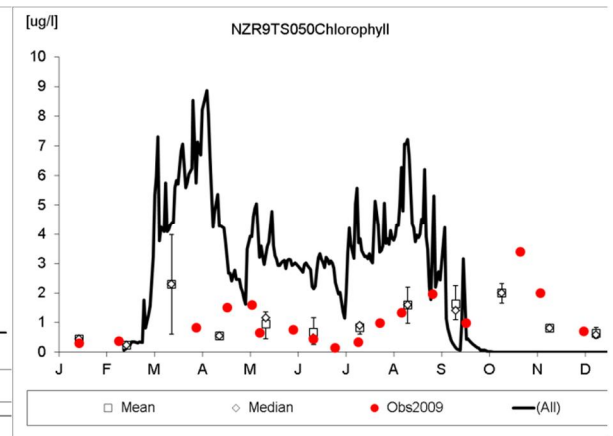
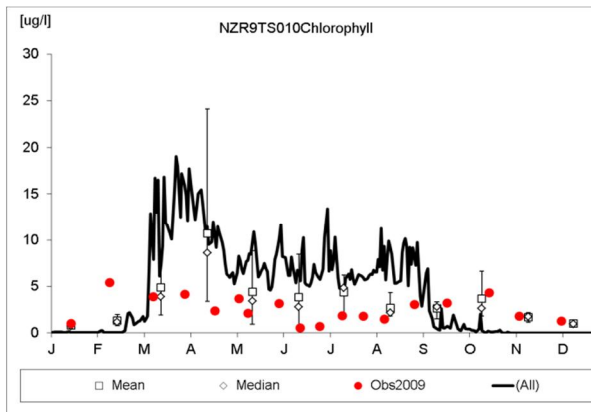
Tersch135



Doove balg west

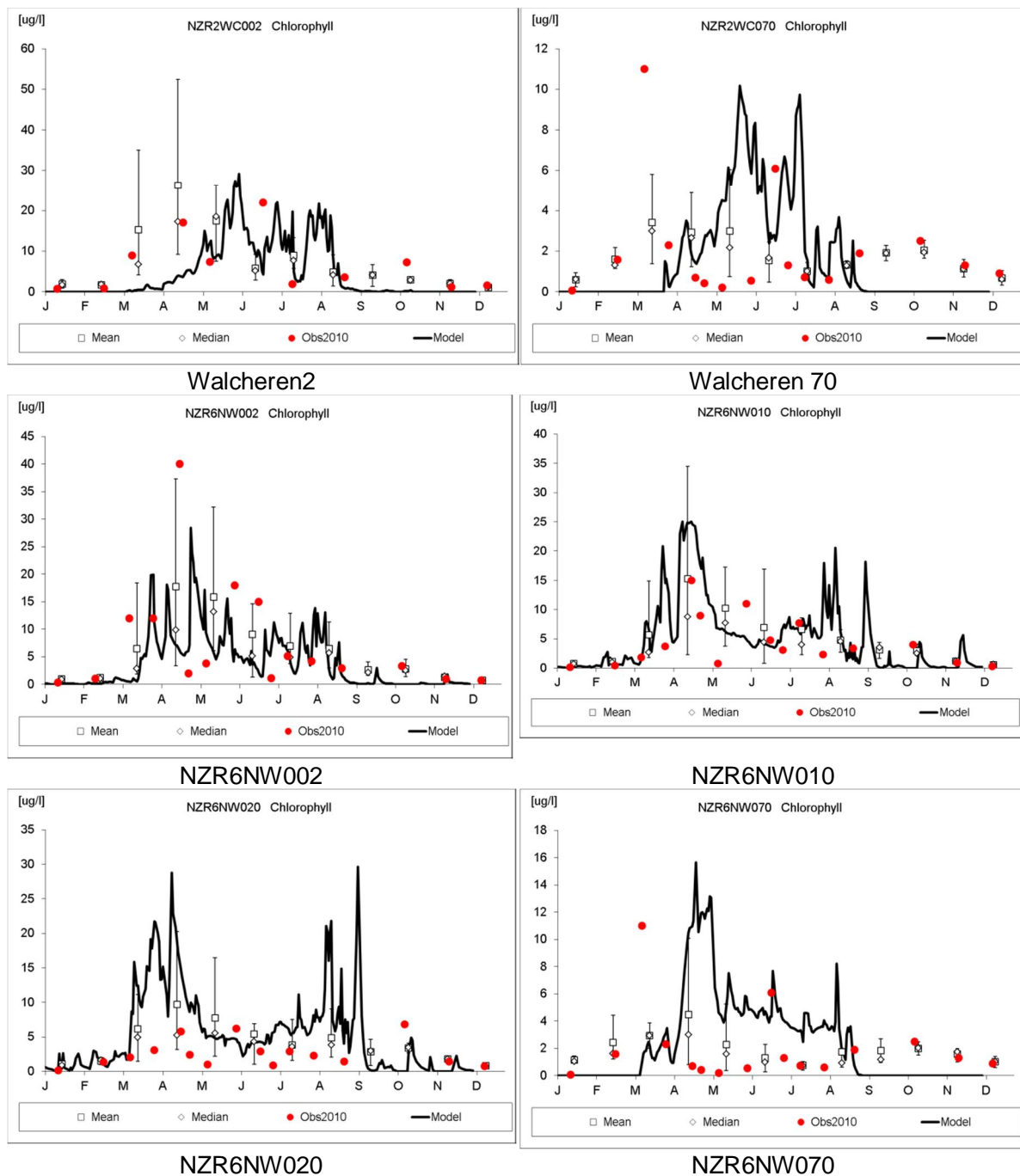
G.3 Kalibratie som 2009 (gekalibreerd slibveld en extinctie op 0.036)

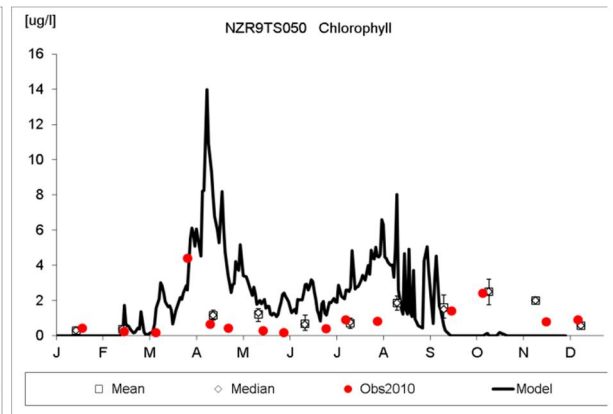
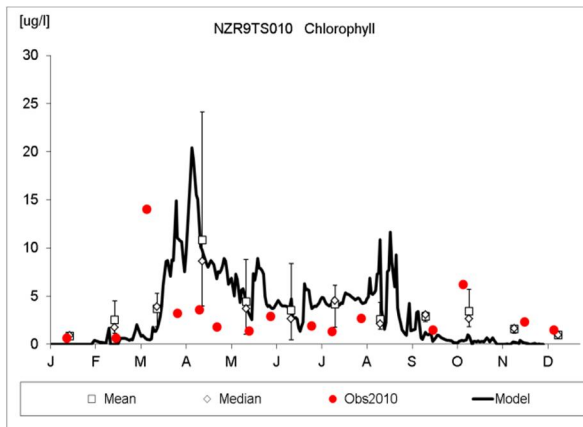




Doove balg west

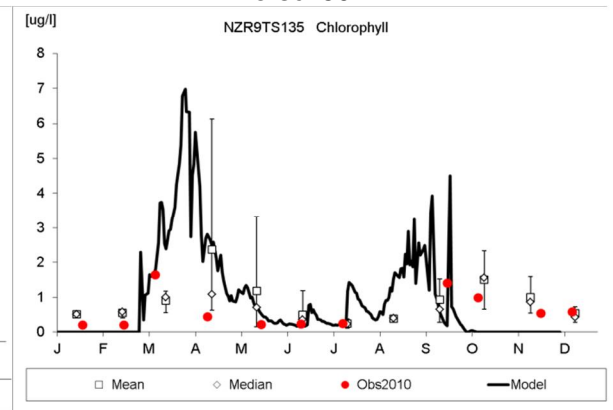
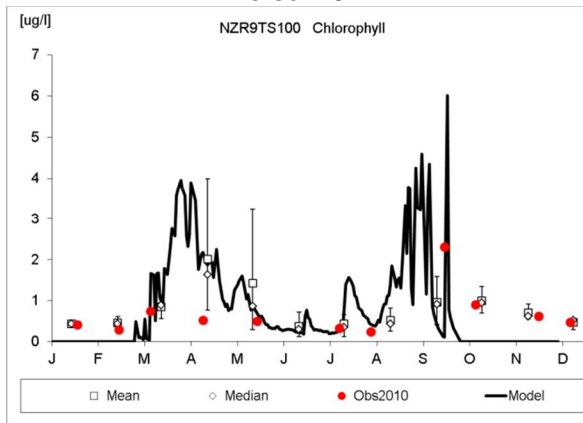
G.4 Kalibratie som 2010 (gekalibreerd slibveld en extinctie op 0.036)





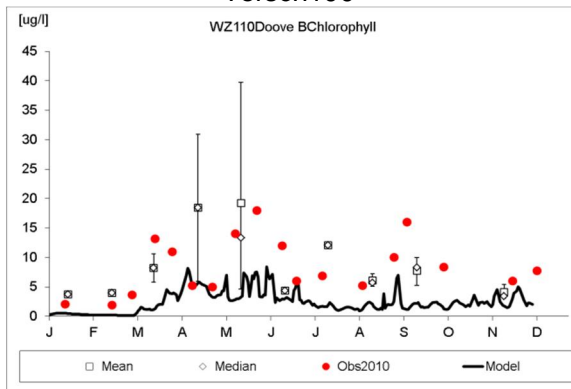
Tersch10

Tersch50



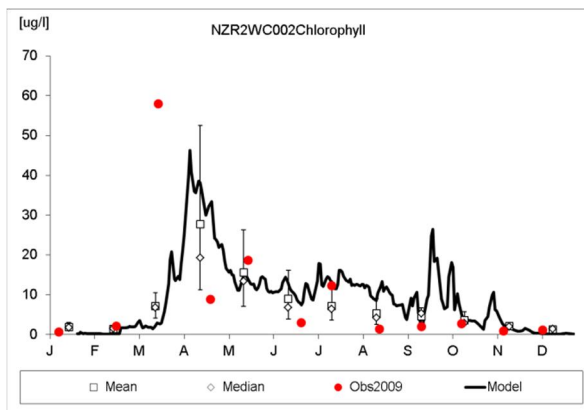
Tersch100

Tersch135

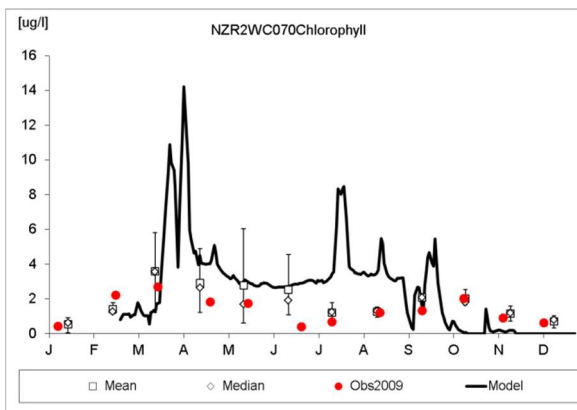


Doove balg west

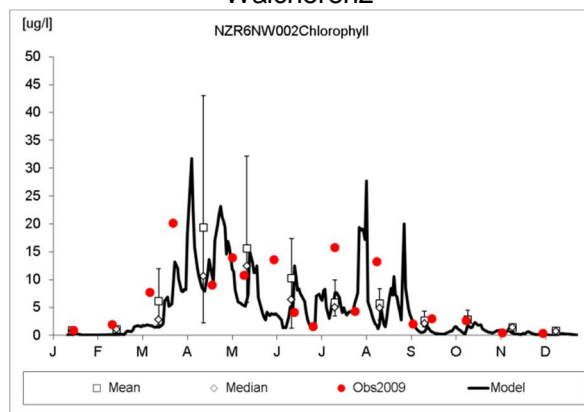
G.5 Kalibratie som 2009 (referentie slibveld en extinctie op 0.036)



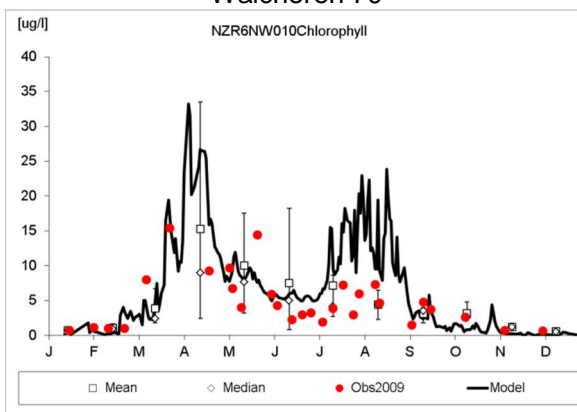
Walcheren2



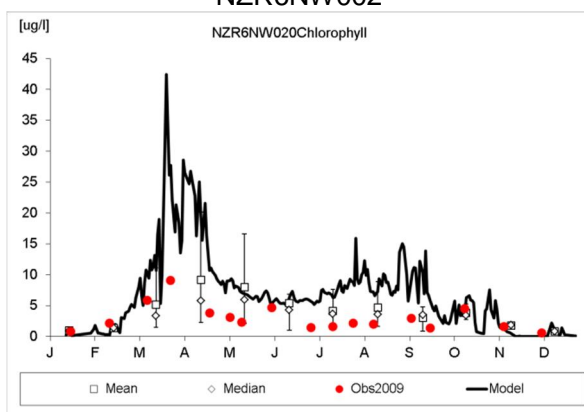
Walcheren 70



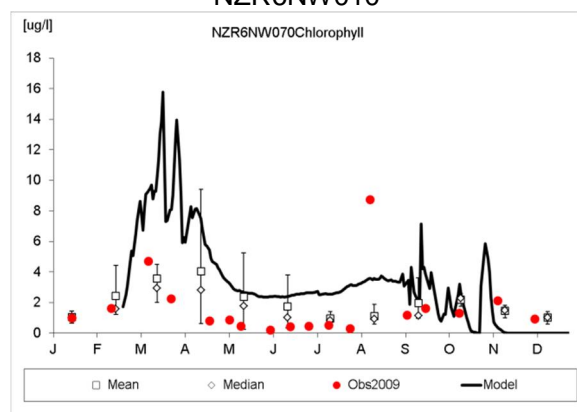
NZR6NW002



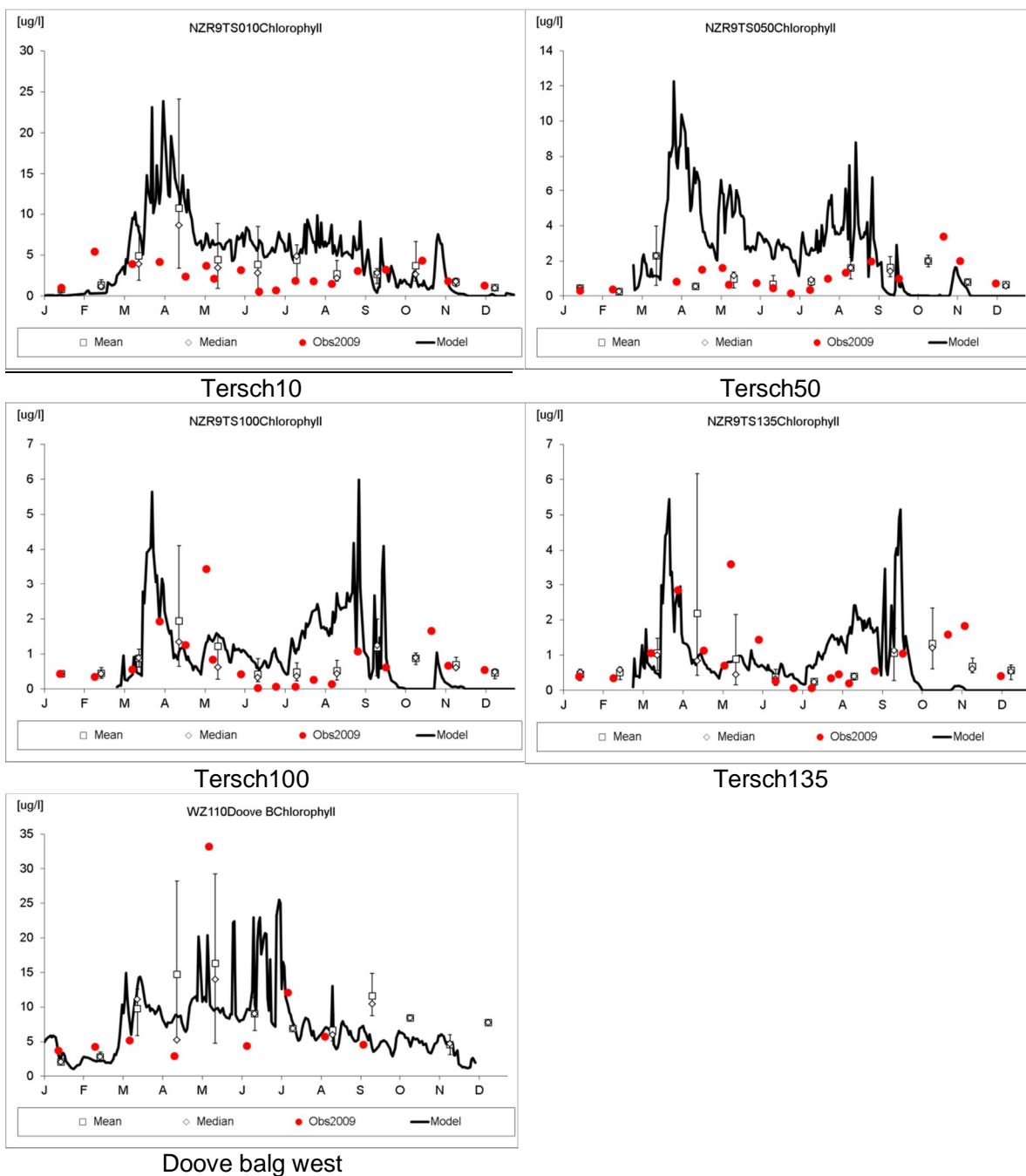
NZR6NW010



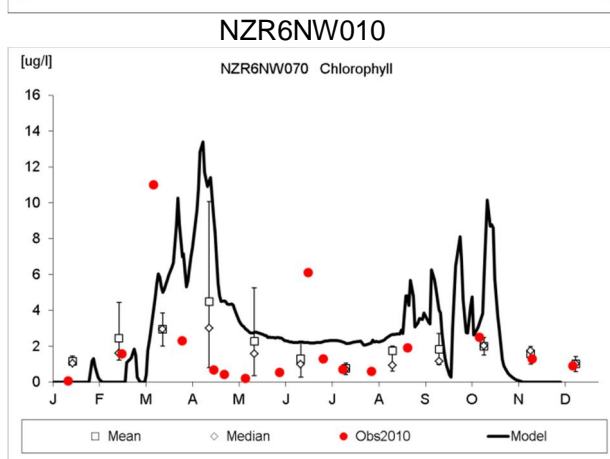
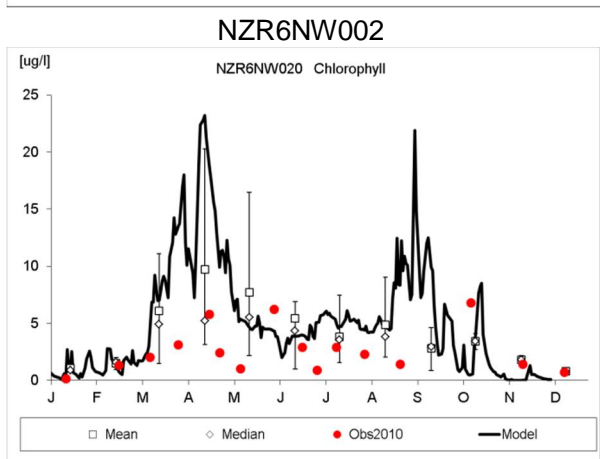
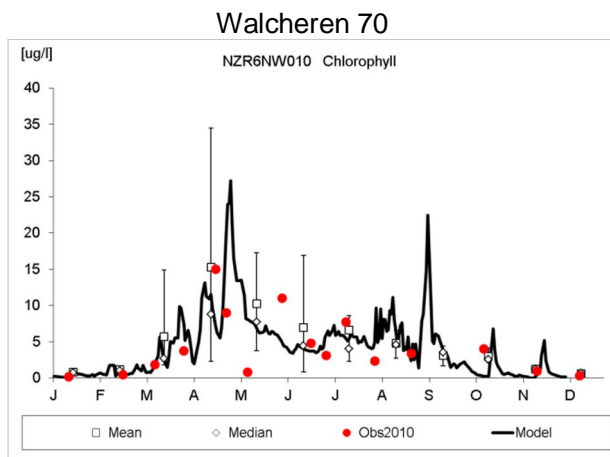
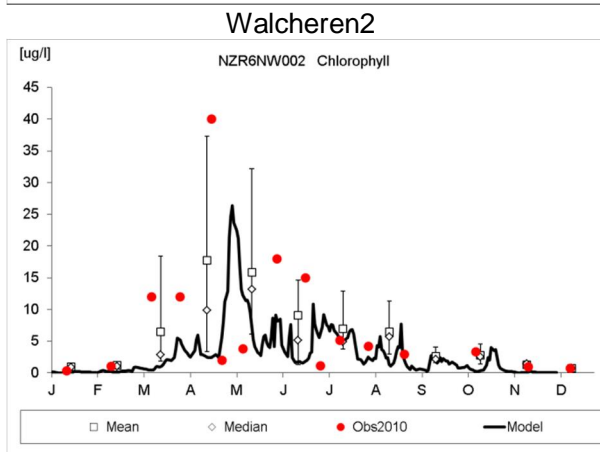
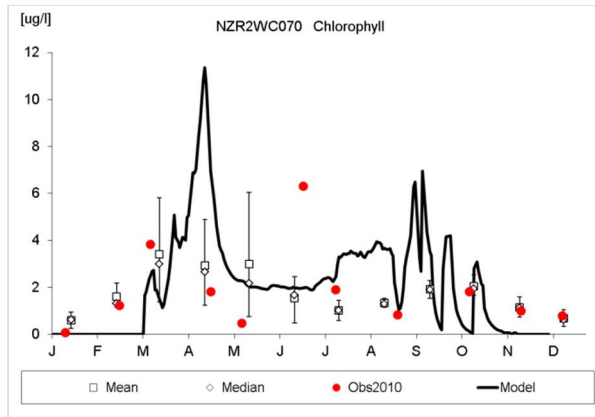
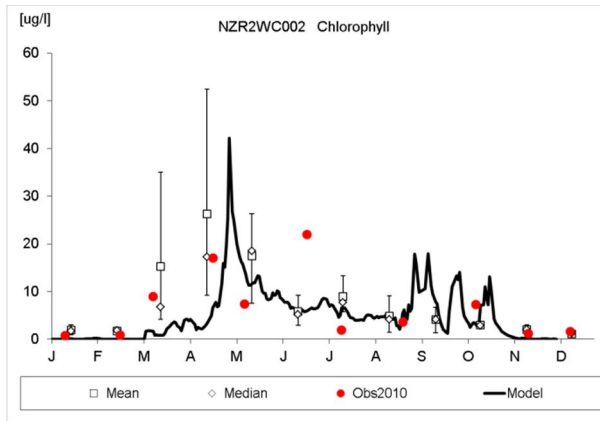
NZR6NW020



NZR6NW070

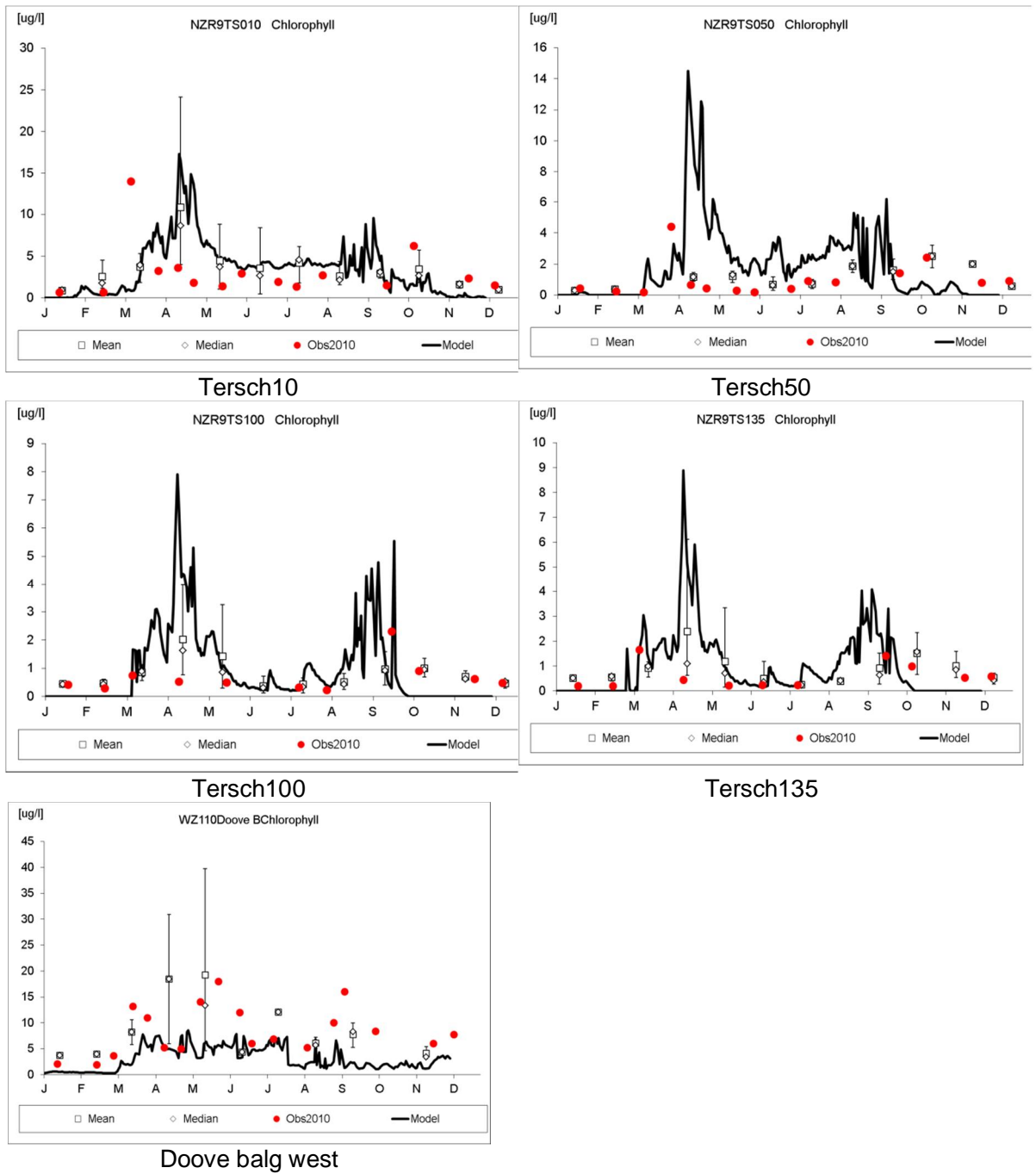


G.6 Kalibratie som 2010 (referentie slibveld en extinctie op 0.036)



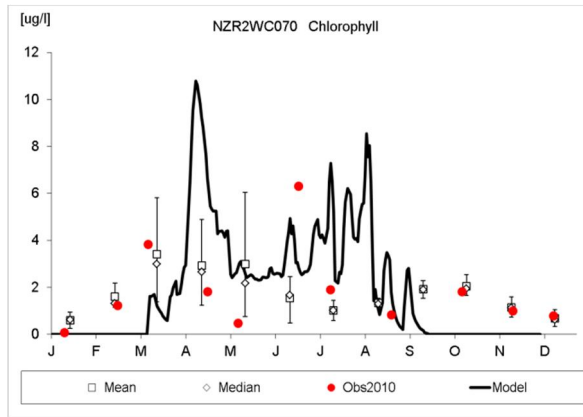
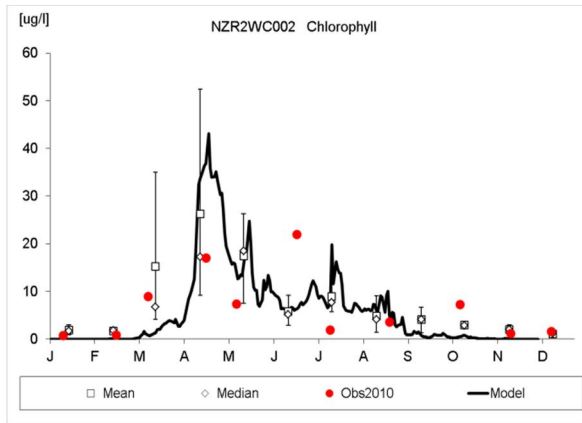
NZR6NW020

NZR6NW070

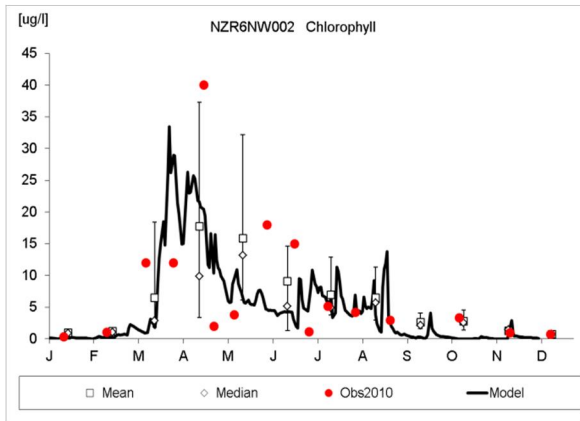


Doove balg west

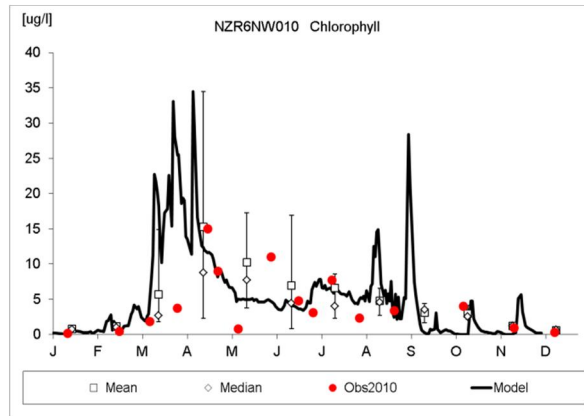
G.7 Kalibratiesom 2010 (gekalibreerd slibveld en extinctie op 0.025)



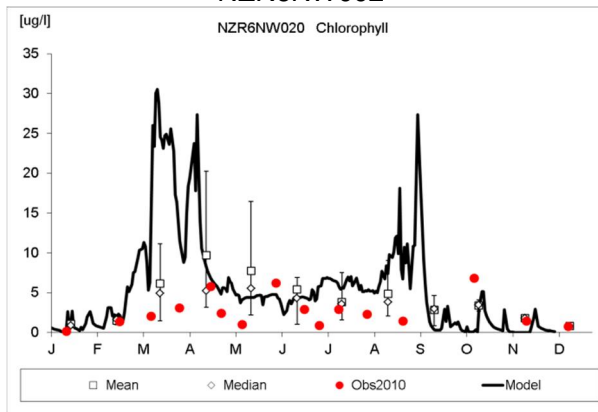
Walcheren2



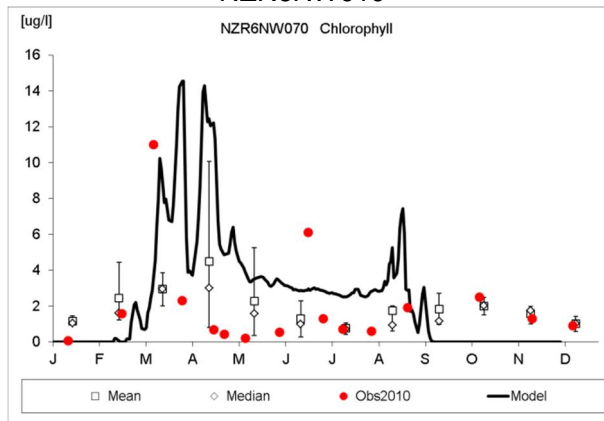
Walcheren 70



NZR6NW002

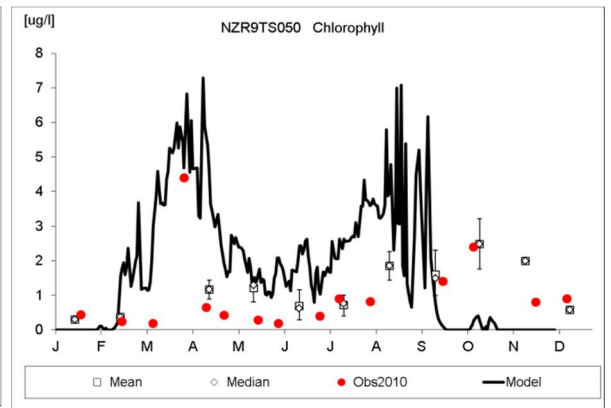
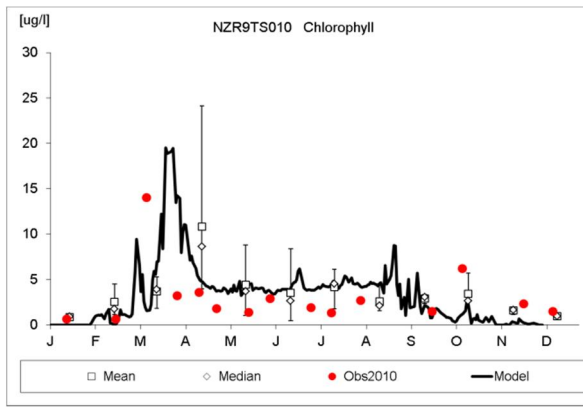


NZR6NW010



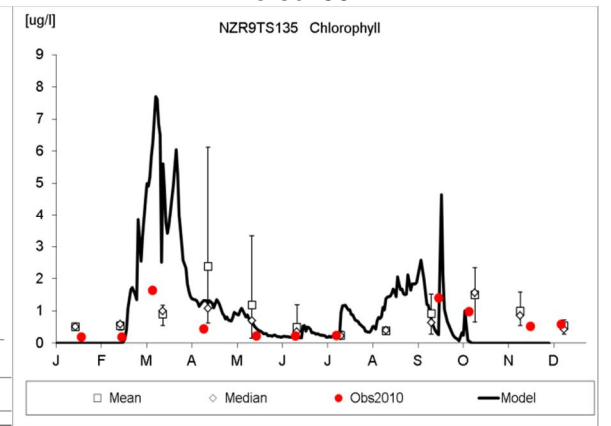
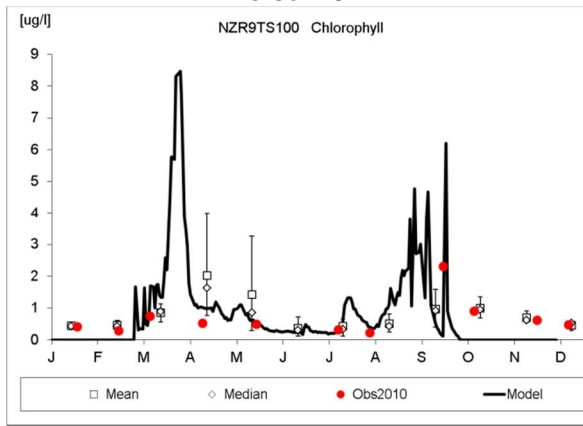
NZR6NW020

NZR6NW070



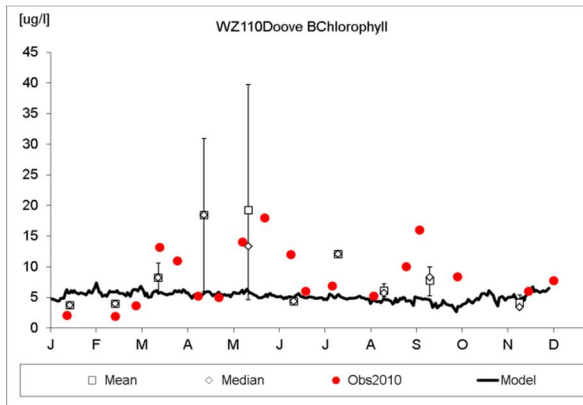
Tersch10

Tersch50



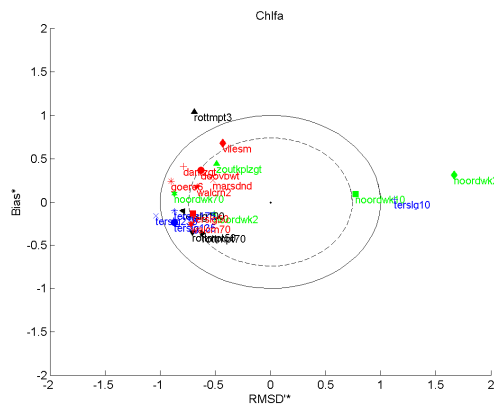
Tersch100

Tersch135

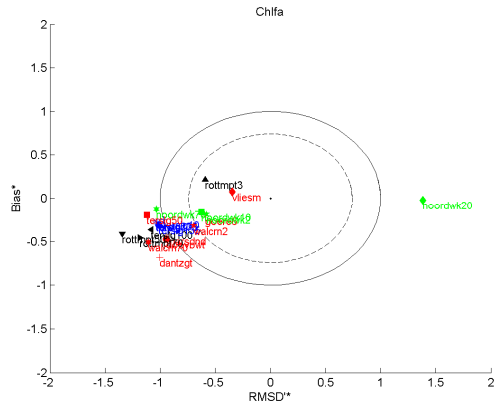


Doove Balg West

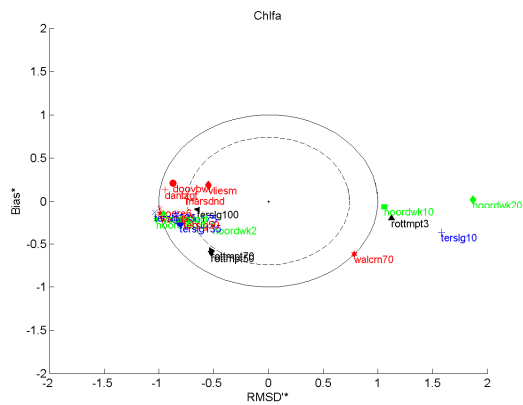
H Target diagrammen GEM berekeningen



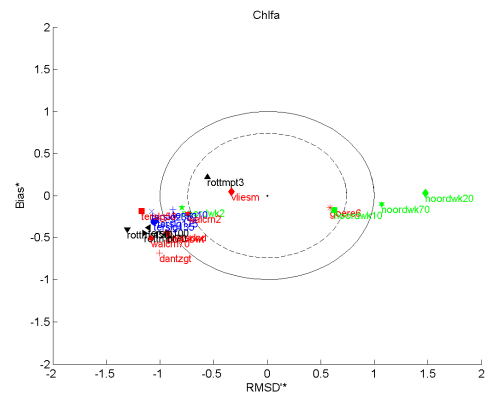
Referentiesom 2009



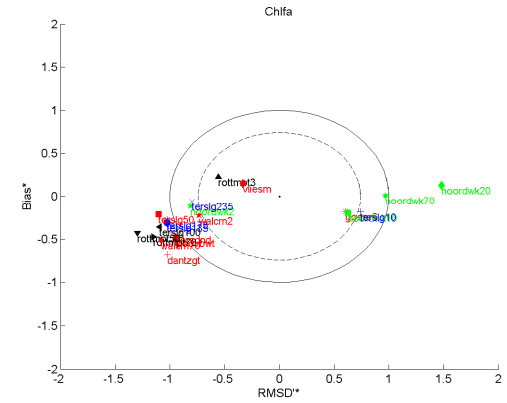
Random cosinus b, 2010



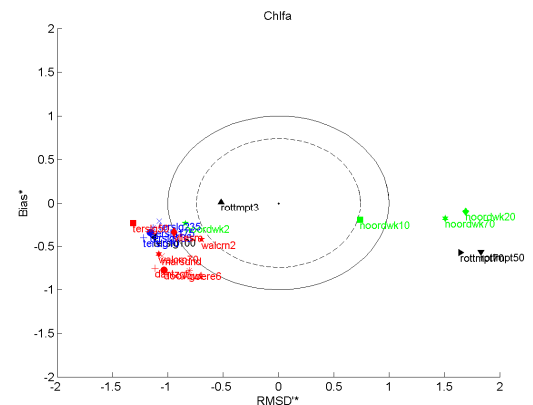
Gekalibreerd slibveld 2009



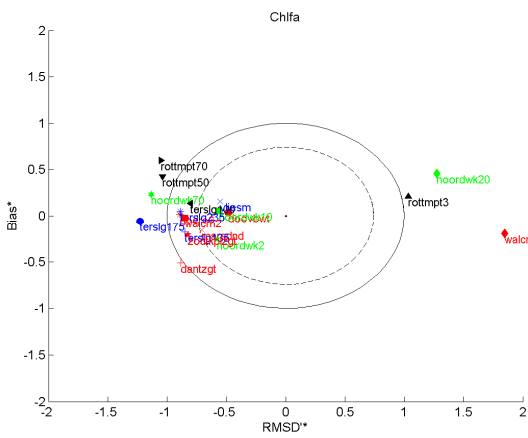
Referentiesom 2010



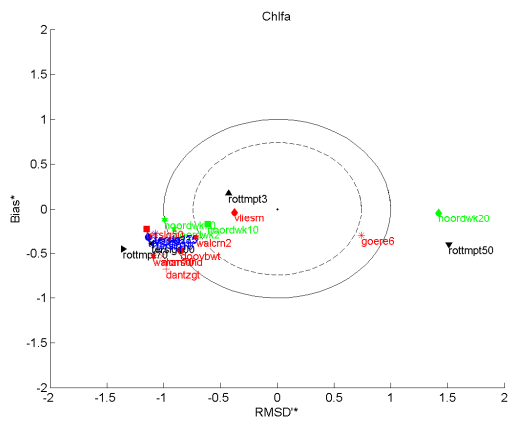
Random cosinus c, 2010



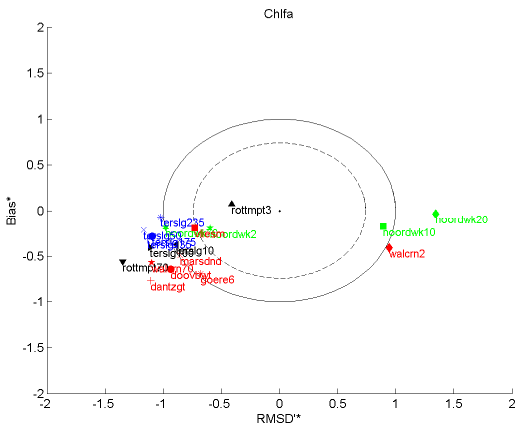
Gekalibreerd slibveld 2010



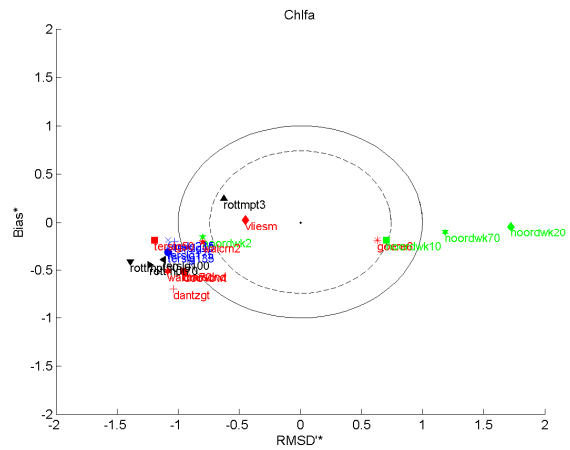
Random cosinus lichtuitdoovingscoefficient
2009



Random cosinus lichtuitdoovingscoefficient
2010



Gekalibreerd slibveld lichtuitdooving 2010
0.025



Transport 2010