

Modelstudie Geleidestructuren

Bepaling locatie en omvang

Pascal Boderie en Menno Genseberger

Opdrachtgever:

Natuurlijker Markermeer-IJmeer (RWS)



Modelstudie Geleidestructuren

Bepaling locatie en omvang

Pascal Boderie en Menno Genseberger

Rapport

september 2010

Opdrachtgever	RWS						
Titel	Modelstudie Geleidestructuren						
Samenvatting							
<p>Dit rapport beschrijft beknopt de opzet, uitkomsten en conclusies van modelberekeningen die in april en mei 2010 zijn uitgevoerd voor de verkenning van luwtestructuren (slibschermen) van het project Natuurlijker Markermeer IJmeer.</p> <p>Het doel van de modellering is tweeledig. Naast het vaststellen van de geometrische vorm en minimale omvang van het ontwerp op de beoogde locatie voor de pilot wordt met het model geprobeerd het fysische proces van geleiding (horizontaal proces) te onderscheiden van opwerveling door golven (vertikaal proces) om zodoende te begrijpen of en waar in het Markermeer het afschermen van gebieden effectief is, zónder daarbij persé golfuwte te creëren.</p> <p>Uit de studie blijkt dat een geleidestructuur aan de westkust nabij de Hoornse Hop voor een pilot een afmeting van minimaal 1.2 km moet te hebben om effecten op slibgehalte in het veld te kunnen waarnemen, optimaal is een lengte van 2.4 km.</p> <p>Het maken van een knik of bocht in een rechte structuur (eiland of dam) verhoogt jaargemiddeld op de onderzochte locatie het effect van zo'n structuur. Een golfdoorlatende structuur is minder effectief in de ondiepe delen langs de Noord-Hollandse kust. Een stromingsdoorlatende structuur verlaagt slibconcentraties op andere lokaties dan en dichte structuur, iets minder intens maar over een groter oppervlakte.</p>							
Referenties			NMIJ project Thema Verminderen Slib(code WBS 5.2a en 5.2b)				
Ver	Auteur		Datum	Opmerk.	Review		Goedkeuring
1.0	Boderie & Genseberger		Juni 2010	1 ^o concept	v. Kessel		ja
1.0	Boderie & Genseberger		September 2010	definitief	v. Kessel		per 26/9
Projectnummer		1201198					
Trefwoorden		Markermeer, slib, Delft3D, model, geleiding, golfuwte, stroming, pilot experiment, slibscherm, NMIJ					
Aantal bladzijden		15 (exclusief Appendices)					
Classificatie		Geen					
Status		Definitief					

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Onderzoeksvragen	1
1.2	Doel van de modellering.....	2
1.3	Opzet.....	3
2	Resultaten.....	5
2.1	Beschrijving berekeningen	5
2.2	Interpretatie constructies	6
2.3	Interpretatie – referentiesituatie zonder stroming	8
3	Conclusies.....	13
4	Referenties.....	15

1 Inleiding

Dit rapport beschrijft beknopt de opzet, uitkomsten en conclusies van modelberekeningen die in april en mei 2010 zijn uitgevoerd voor de verkenning van het pilot experiment luwtestructuren (slibschermen) in het Markermeer ten behoeve van het NMIJ project Thema Verminderen Slibgehalte (activiteitcode WBS 5.2a en 5.2b [1]). De studie is uitgevoerd om de locatie en omvang van het veldexperiment (pilot luwtestructuren) te ondersteunen. In de planning van NMIJ hoort die onder taak 48 “modellering t.b.v. locatie en omvang”.

In latere fases (2011) van het project zullen opnieuw berekeningen met het model worden uitgevoerd. Het zal er dan om gaan de resultaten van het veldexperiment luwtestructuren met het model te beschrijven (taak 70 “modellering resultaten veldexperiment”). Daarnaast kan het model ook behulpzaam zijn bij het ontwerp van het monitoringplan (taak 53).

Voor de modelberekeningen is uitgegaan van het Markermeer slibmodel [5, 6] dat eerder is gebruikt in het TMIJ project [3] en de effectbepaling van de buitendijkse ontwikkeling van Almere [4]. Meer informatie over het model en de gebruikte software is in de referenties [3-6] terug te vinden.

1.1 Onderzoeksvragen

Het NMIJ project organiseerde op 12 maart 2010 de workshop “slib” [2]. Tijdens deze workshop zijn zeven onderzoeksvragen beschreven waarvoor het slibmodel ingezet gaat worden. De vragen staan in onderstaande tabel. In de laatste kolom is aangegeven bij welke planningstaak (dus wanneer, zie [1]) deze vraag beantwoord gaat worden.

Tabel 1.1 Onderzoeksvragen bij maatregelen luwtestructuren waarbij het slibmodel ingezet wordt.

no	onderzoek vraag	planningstaak
1	Is het model nauwkeurig genoeg om (kleinschalige) structuren door te rekenen (resolutie/golfmodel, etc.)?	taak 70
2	Hoe moet de geleidestructuur in het D3D model worden geschematiseerd?	48, deze studie
3	Welk veldexperiment draagt bij aan de validatie van het model?	taak 70
4	Welke afmetingen moet een experiment geleidestructuren minimaal hebben voor zinvolle interpretatie?	48, deze studie
5	Welke vorm moeten/kunnen de experimenten hebben (denk hierbij aan combinatie van doelen)?	48, deze studie
6	Hoe onderscheid je het effect van geleiding versus golfdemping in de pilot?	48, deze studie
7	Wat is de optimale schaalgrootte van de pilot?	48, deze studie
<p>Toelichting ad 1,3. Veldmetingen (uit de pilot) zijn hiervoor nodig. Overweeg extra modelvalidatie uit te voeren met beschikbare stromingsmetingen uit 2008 (validatie huidige situatie, grootschalig). Mogelijk is roosterverfijning nodig ter plekke van het experiment.</p>		

1.2 Doel van de modellering

Het doel van de modellering volgt uit de onderzoeksvragen uit Tabel 1.1 en is ruwweg tweeledig. Naast het vaststellen van de geometrische vorm en minimale omvang van het ontwerp op de beoogde locatie voor de pilot wordt met het model geprobeerd het fysische proces van geleiding (horizontaal proces) te onderscheiden van opwerveling door golven (vertikaal proces) om zodoende te begrijpen of en waar in het Markermeer het afschermen van gebieden effectief is, zónder daarbij persé golfluwte te creëren

De keuze van de locatie voor de pilot hangt niet in de eerste plaats af van waar de maatregel technisch gezien het meeste of best meetbare effect op slib en doorzicht heeft. De keuze wordt in hoge mate beïnvloed door zaken die niet met het model onderzocht kunnen worden zoals:

- omgeving (vergunning en bezwaren van uit de recreatievaart);
- de kosten van de aanleg in relatie tot de waterdiepte (hoe dieper en hoe langer de benodigde structuur des te hoger de aanlegkosten);
- de voorkeur om het experiment daar uit te voeren waar het definitieve ontwerp moet komen.

Zonder dat er op basis van bovenstaande randvoorwaarden een inperking van de mogelijke locaties plaatsvindt, is het praktisch gezien niet mogelijk om alleen met het model de locatiekeuze te bepalen (er zijn dan te veel mogelijkheden). Wel is het mogelijk (dit is ook al eerder gedaan [3, 4, 6]) om voor de Hoornse Hop en de 'arm bij Marken' de effectiviteit van verschillende locaties en ontwerpen te vergelijken.

Op basis van informatie bij de onderzoeksvragen (factsheets) en eerdere modelstudies kiezen we voor de Hoornse Hop om de modelexercitie uit te voeren. Een luwe Hoornse Hop is een TBES maatregel. Op basis van signalen vanuit de omgeving (mondelijke mededeling Frank Duenk, omgevingsmanager NMIJ; project management vergadering d.d. 8 april 2010) kiezen we ervoor de modelberekeningen t.b.v. de pilot aan de Noord-Hollandse kust uit te voeren omdat er aan deze zijde van de Hoornse Hop minder hinder voor de scheepvaart vanuit Hoorn verwacht wordt. Het is nog onbekend in welke periode van het jaar de experimenten plaats zullen vinden (er moet bijvoorbeeld rekening worden gehouden met beschadiging van de constructie door ijsgang en met hinder voor de recreatievaart), daarom rapporteren we de modelresultaten in dit rapport vooralsnog met behulp van een jaargemiddeld beeld. Resultaten voor andere perioden zijn digitaal beschikbaar.

Een structuur die luwte creëert moet voldoende van omvang zijn om het effect van die luwte op slib/doorzicht in het veld te kunnen meten. Bij een te kleine structuur stroomt water met slib vanuit de omgeving naar de luwte toe en brengt daar alsnog slib dat het water vertroebelt. De dam moet groot genoeg zijn om het aangevoerde slib in de golfluwte te kunnen laten bezinken. De omvang van het experiment wordt dus bepaald door de verhouding tussen horizontale stroomsnelheid van het water met slib en de verticale bezinksnelheid van het slib. Een eerste schatting is circa 800m. Daarnaast speelt golfdiffractie achter de structuur een rol, waardoor bij een te kleine structuur er geen golfluwte ontstaat. Met de huidige versie van het model kan dat niet worden berekend.

Luwtestructuren kunnen afhankelijk van de uitvoering meer of minder golfuwte creëren. Het aspect van alleen geleiding is nog niet eerder met het slibmodel in het Markermeer onderzocht. Naar analogie van slibschermen om aanslibbing in havens te beperken is afscherming van luwe gebieden wellicht effectief (denk aan Hoornse Hop, Hoeckelingsdam, Arm bij Marken etc.). Geleiding is potentieel effectief op locaties waar het horizontaal transport van slib significant is. Geleiding is op twee manieren bestudeerd, specifiek in de Hoornse Hop en globaal voor het hele meer.

Specifiek voor de Hoornse Hop is met het model bestudeerd wat het effect van een geleidingsstructuur (zonder golfuwte te creëren) is vergeleken met een dam die zowel voor golfuwte als voor geleiding zorgt. Opgemerkt moet worden dat de tot nu toe onderzochte luwtestructuren dammen volgens het huidige inzicht voornamelijk effectief zijn omdat ze luwte (golfdemping en geleiding samen) creëren waardoor minder slib opwervelt.

In het hele Markermeer is zonder specifieke structuren in het model aan te brengen, onderzocht waar en wanneer horizontaal transport van slib significant is. Hieruit kan worden afgeleid welke gebieden voor maatregelen die gericht zijn op geleiding in aanmerking komen.

1.3 Opzet

De referentiesituatie bestaat uit de huidige situatie (=zonder oermoeras, met verlengde vaargeul en zonder IJburg2). Vanuit de referentiesituatie voor het jaar 2006 zijn twee soorten modelberekeningen gemaakt.

1. Berekeningen met extra structuren (luwte-elementen, dammen) in de Hoornse Hop
2. Analyses met de referentiesituatie zonder extra structuren.

Bij 1 - de berekeningen met de extra structuren in de Hoornse Hop, is gevarieerd met:

- het aantal structuren (één aan de westkust of twee zoals in [4]);
- de lengte van de dam (4, 2 en 1 km);
- de golfdoorlatendheid van de structuur (doorlatend/niet doorlatend) en
- de doorlatendheid voor stroming (doorlatend/niet doorlatend).

De berekeningen worden beoordeeld op basis van het jaargemiddelde slibgehalte in de waterkolom, de jaarlijkse aanslibbing aan de bodem en het voorjaargemiddelde percentage licht dat de waterbodem bereikt. Voor alle scenario's wordt het verschil ten opzichte van de referentie bekeken. Resultaten zijn te vinden in figuren A t/m N.

Bij 2- de analyses voor de referentiesituatie, is de berekening voor de referentie situatie vergeleken met een situatie waarbij het horizontaal transport van de referentiesituatie is uitgeschakeld. Dat wil zeggen dat er geen advectief transport van water en slib in de x- en y-richting plaatsvindt, terwijl het verticale transportprocessen zoals advectie en sedimentatie- en erosieprocessen identiek zijn aan die in de referentiesituatie. Van beide berekeningen zijn verschilkaarten gemaakt voor slib in de waterkolom en in de bodem. Daarnaast worden diverse resultaten van de referenties som, zoals twee wekelijks gemiddelde resuspensie en sedimentatie, weergegeven. Resultaten zijn te vinden in figuur O.

Omdat de berekening zonder horizontaal transport artificieel is en na verloop van tijd uit de pas gaat lopen met de berekening voor de referentiesituatie, zijn voor één simulatiejaar meerdere simulaties gemaakt waarbij het horizontaal transport achtereenvolgens vanaf 1 februari, 1 april, 1 juni en 1 augustus stopgezet wordt.

2 Resultaten

2.1 Beschrijving berekeningen

Voor de leesbaarheid zijn de figuren met resultaten van de modelberekeningen voor de verschillende scenario's toegevoegd als aparte appendices.

appendix	scenario	bestandsnaam
A	referentie/huidige situatie	A_referentie.pdf
B	twee flippers van 4 km	B_twee_flippers.pdf
C	een flipper van 4 km	C_een_flipper.pdf
D	een golfdoorlatende flipper van 4 km	D_golfdoorlatende_flipper.pdf
E	een stromingsdoorlatende flipper van 4 km	E_stromingsdoorlatende_flipper.pdf
F	halve flipper van 2,3 km	F_halve_flipper.pdf
G	golfdoorlatende halve flipper van 2,3 km	G_golfdoorlatende_halve_flipper.pdf
H	stromingsdoorlatende halve flipper van 2,3 km	H_stromingsdoorlatende_halve_flipper.pdf
I	kwart flipper van 1,2 km	I_kwart_flipper.pdf
J	golfdoorlatende kwart flipper van 1,2 km	J_golfdoorlatende_kwart_flipper.pdf
K	stromingsdoorlatende kwart flipper van 1,2 km	K_stromingsdoorlatende_kwart_flipper.pdf
L	gebogen eiland bij Edam	L_gebogen_eiland_Edam.pdf
M	gebogen schiereiland bij Edam	M_schiereiland_Edam.pdf
N	evenwijdig eiland bij Edam	N_evenwijdig_eiland_Edam.pdf
O	referentie situatie zonder horizontaal transport	O_geen_horizontaal_transport.pdf

Hier wordt de term “flipper¹” gebruikt als aanduiding voor een constructie die òf zowel golven en stroming of alleen golven òf alleen stroming tegenhoudt/afbuigt. De scenario's in appendix B t/m K beschouwen allemaal een (gedeelte van) zo'n constructie die begint bij Edam. De tweede flipper van het scenario in appendix B begint bij Leekerhoek (tussen Hoorn en Enkhuizen). Scenario's L, M en N beschouwen een wel of niet gebogen eiland dat wel of niet vast zit aan de wal bij Edam. De eilanden uit deze scenario's komen qua vorm en ligging overeen met het zuidelijkste eiland van de eilanden bij Hoornse Hop van TMIJ scenario 2 (zie ook [3]).

Appendix A bevat voor de referentie de volgende figuren:

1. gemiddelde hoeveelheid slib over 2006 in de onderste waterlaag (mg.l^{-1}),
2. -
3. totale hoeveelheid sediment in de bodem aan het einde van het jaar 2006 (kg.m^{-2}).
4. gemiddelde hoeveelheid licht aan de bodem over het voorjaar van 2006 (% van hoeveelheid licht beschikbaar aan het wateroppervlakte).

1. De term flipper wordt gebruikt vanwege de gelijkenis dat scenario B met de twee bewegende mechanismen (flippers) van een flipperkast (Eng. pinball) vertoont.

Appendix B t/m N bevat voor elk scenario de volgende figuren:

1. gemiddelde slibconcentratie over 2006 in de onderste waterlaag (mg.l^{-1}),
2. verschil tussen scenario en referentie van de slibconcentratie gedurende 2006 in de onderste waterlaag (mg.l^{-1}),
3. verschil tussen scenario en referentie van de hoeveelheid sediment op de bodem over het jaar 2006 (kg.m^{-2}),
4. verschil tussen scenario en referentie van de hoeveelheid licht aan de bodem over het voorjaar van 2006 (% van hoeveelheid licht beschikbaar aan het wateroppervlakte)

2.2 Interpretatie constructies

In Appendices B t/m N wordt het effect weergegeven van verschillende afbuigende/afschermende constructies voor golven en/of stroming ter hoogte van Edam.

Ten opzichte van de referentie situatie (Appendix A) kan voor de flippers (figuren in Appendix B t/m L) het volgende worden opgemerkt:

- Lengte: een structuur moet minstens zo'n 2 km lang zijn om een merkbaar effect te hebben, een langere structuur heeft een significant groter effect (vergelijk het effect ten noorden van flipper in figuren C.1 (hele lengte ~ 4km), F.1 (halve lengte) en I.1 (kwart lengte) waar de slibconcentratie in de waterkolom
- Twee structuren (figuur B.2) zorgen ook voor een lokale slib gradient in de Hoornse Hop. Het gezamenlijke effect van de twee structuren lijkt qua effect groter dan de som van de afzonderlijke structuren (hoewel de noordelijke flipper niet apart is onderzocht).
- De golf en stromingsdoorlatende halve en kwart flipper worden in de tekst niet besproken (Figuren G,H,J,K)
- De golf en stromingsluwe constructie (C.2). Laat zien dat slib in de waterkolom rondom de dam afneemt, waarbij het effect aan de noordkant iets groter is (zie ook C.4). Aanslibbing van de bodem is ook wat sterker aan de noordkant van de dam.
- Een stromingsdoorlatende structuur van voldoende afmeting (E.2 en H.2) leidt in vergelijking tot de referentiesituatie (A.1) overal tot een verlaging van het slibgehalte in het water, met name in een groot gebied parallel aan de kust ten noorden en ten zuiden van de flipper (van Marken tot in de Hoornse Hop). Er sedimenteert slib in de golfluwte van de dam, de toename van de hoeveelheid slib in de bodem is vooral te zien aan de noordzijde van de dam: blijkbaar vindt aanvoer van slib (de 'slibstroom') vanuit het zuiden plaats / golfluwte ontstaat bij NW wind. De structuur is relatief efficiënt tov een normale dam (C.2): in een groter gedeelte van de Hoornse Hop verbetert het slibgehalte en er komen geen zones voor waar het slibgehalte verslechtert. Omdat water ongehinderd kan stromen ontstaat er ook geen slibgradiënt aan beide zijden van dam (zoals wel het geval is bij de normale dam in C.1). Met een stromingsdoorlatende structuur wordt blijkbaar optimaal gebruik gemaakt van het heldere water dat als gevolg van golfluwte ontstaat, jaargemiddeld weegt dat blijkbaar op tegen de aanvoer van slibrijk water vanuit de het centrale deel van het meer.
- Een golfdoorlatende structuur van voldoende afmeting (D.2 en G.2) leidt in vergelijking met de referentiesituatie (A.1) tot een verlaging van het slibgehalte

in het water in een gebied rondom de dam (invloedsfeer is bij benadering een hele tot een halve damlengte). In een lange (twee damlengtes) ondiepe strook langs de kust neemt het slib in het water daarintegen toe. In de bodem (D.3) wordt in een vrij groot gebied ten noorden en zuiden van de structuur meer slib afgezet, in een gebied rondom het uiteinde van de dam wordt minder slib afgezet. Door de afbuiging van circulatie verandert het stromingspatroon: rondom de punt van de dam neemt de snelheid toe waardoor, ten opzichte van de referentiesituatie, erosie toeneemt en minder slib in de bodem terecht komt. In een strook langs de kust vindt het omgekeerde plaats, door afname van de stroomsnelheid wordt het er luwer wat leidt tot meer sedimentatie. Omdat de structuur golven doorlaat vindt er overal nog regelmatig resuspensie plaats waardoor slib in de waterkolom de slibverandering in de bodem volgt. Dat wil zeggen dat er in de stromingsluwe strook meer slib in het water zit en rondom de dam minder. Het beeld van de berekende bodemschuifspanning (niet getoond) bevestigt dit.

- Licht: hoewel de flipper die alleen op geleiding gericht is het sediment transport kan afbuigen (zie figuur D.4), draagt dit weinig bij aan het verbeteren van het lichtklimaat. Ook hier sorteert een langere flipper van 4 km (D.4) het meeste effect (ten opzichte van G.4 en J.4), maar dit is nog steeds aanzienlijk minder dan het effect van de constructies die golfwvte creëren (C.4 en E.4). Zonder golfreductie is in ondiepe gebieden weinig winst te behalen voor wat betreft licht aan de bodem.

In aanvulling op de flippers is ook gekeken naar het effect van een eiland bij Edam. Dit is ingegeven door eerdere resultaten van de TMIJ studie [3] waar de drie eilanden bij de Hoornse Hop voor een lokaal gunstig effect zorgen. In deze studie bekijken we alleen het meest zuidelijke van de drie eilanden, dit ligt vrijwel op dezelfde locatie als de flipper bij Edam. De onderzoeksvragen hierbij zijn:

- wordt het effect groter door het eiland aan te sluiten op de kust?
- wat is de invloed van de vorm van zo'n eiland: is een evenwijdig eiland of een eiland met een bocht gunstiger?

De resultaten van deze aanvullende scenario's - gebogen eiland bij Edam (figuren in appendix L), schiereiland bij Edam (figuren in appendix M) en eiland evenwijdig aan de kust (figuren in appendix N) tonen dat:

- Openheid: een gebogen eiland heeft t.o.v. een gebogen schiereiland/gebogen flipper minder effect op de reductie van sediment in het water achter het eiland (vgl. effect in figuren L.1 en M.1). Echter, het effect is nog wel redelijk (ook voor de hoeveelheid licht aan de bodem, zie figuren L.3 en L.4) en er treedt meer sedimentatie achter het eiland op (vgl. effect in figuren L.2 en M.2). Dit laatste kan verklaard worden door de continue aanvoer van water met een hoger gehalte aan sediment door de opening en het sedimenteren hiervan achter het eiland (vgl. effect op sedimentatie bij gesloten en open haak bij Marken in TMIJ studie [6]).
- Vorm rechte dam: het maken van een knik of bocht in een rechte structuur (flipper figuur C) verhoogt het effect ervan (vgl. effect in figuren C t.o.v. M). De lengtes van de hele flipper en het gebogen schiereiland zijn ongeveer even groot, zo'n 4km.

- Vorm eiland: het maken van een knik/bocht in een eiland is gunstig voor het verlagen van de slibconcentratie in het water achter het eiland waardoor het water daar lokaal helderder wordt (vgl. effect in figuren L t.o.v. N). Dit is goed te zien bij de vergelijking van figuren N.1 en L.1 en wordt veroorzaakt doordat een gebogen dam verhindert dat gemiddeld over een jaar er minder water, uit zuidelijk richting, tussen de dam en de kust doorstroomt en daardoor minder slib wordt aangevoerd.

2.3 Interpretatie – referentiesituatie zonder stroming

Appendix O beschrijft een experimentele exercitie met het model met als doel het beantwoorden van de volgende vragen:

- waar en wanneer is stroming van water met slib (door sommigen de “slibstroom” genoemd) een significant transport proces en
- kan op basis hiervan een optimale locatie voor geleidingsschermen worden gevonden.

De interpretatie van de resultaten in appendix O behoeft toelichting, dat gebeurt aan de hand van Figuur 2.1 waarin een viertal plaatjes uit appendix O-1 beschreven wordt. In de periode van 1 tot 5 februari 2006 is in de referentiesituatie als gevolg van een zuidwestenwind (maximale windsnelheid op 8 februari meer dan 10 m/s) de concentratie slib in het midden en westelijk deel van het Markermeer hoog (twee-wekelijks gemiddelde waarde is 90 mg/l), zie Figuur 2.1 (linksboven). In de berekening zonder stroming (Figuur 2.1 rechtsboven) is de concentratie slib ongeveer gelijk aan de situatie met stroming, maar de slibwolk minder ver naar het noordoosten ligt. Dit verschil is duidelijker te zien in het verschilplaatje (Figuur 2.1, linksonder). Te zien is dat in het midden van het meer de slibconcentratie met transport zo'n 30 mg/l lager is (blauwe kleur) dan zonder transport. Voor grote delen van het westen, noorden en het noordoosten van het meer (geel/rode kleur) geldt het omgekeerde: de concentratie slib in het water is daar hoger in de berekening met transport. Dat geldt ook voor de vaargeul.

Hieruit leiden we af dat in de beschouwde periode:

- in blauw gekleurde gebieden (negatieve waarden) is als gevolg van horizontaal slibtransport minder slib in het water aanwezig.
- in geel/rood gekleurde gebieden (positieve waarden) is extra slib in de waterkolom aanwezig als gevolg van aanvoer van elders.

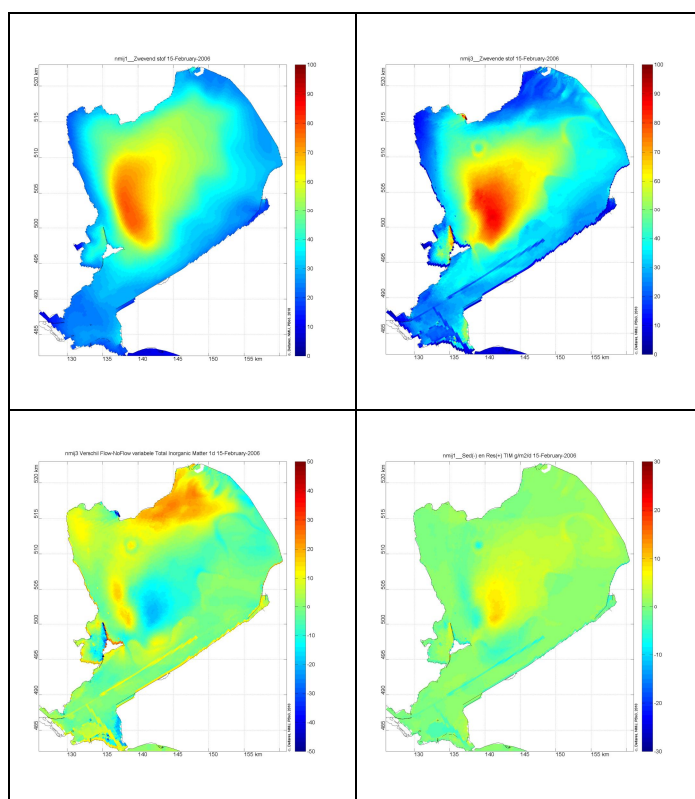
In Figuur 2.1 is ook het netto resultaat van de verticale processen in de referentiesituatie met stroming weergegeven (rechtsonder). Dit plaatje laat zien dat over de periode 1-15 februari 2006 netto resuspensie slib vanuit de bodem in het midden van het meer heeft plaatsgevonden (gele vlek) terwijl netto sedimentatie in de zuidwesthoek van het meer plaatsvond (blauwe gebieden).

Uit de twee onderste figuren van Figuur 2.1 komt het volgende beeld naar voren. In de beschouwde periode heeft netto erosie plaats gevonden in een centraal deel van het meer (rechtsonder, geel), het daar opgewerkte slib is door stroming naar elders verplaatst (linksonder, blauwe vlek). In de gebieden waar extra slib als gevolg van horizontaal transport aangevoerd werd (linksonder, rood/geel) heeft dit in het zuiden en westen (zie rechtsonder, blauw) geleid tot netto sedimentatie. In andere gebieden, zoals in het noordoosten nabij Enkhuizerzand is geen netto sedimentatie als gevolg hiervan opgetreden. De figuren voor bruto sedimentatie en bruto resuspensie

(zie Appendix O-1) laten zien dat er in de beschouwde periode zowel sedimentatie als resuspensie optrad, met een nihil netto resultaat (rechtsonder).

Bovenstaande interpretatie doet geen uitspraak over hoe de transportroute van het slib is geweest. Slibgeleiding, d.w.z. het tegenhouden van stromend water met daarin aanwezig slib, had in deze periode tot lagere slibgehalten in de noordelijke en westelijke delen van het meer kunnen leiden.

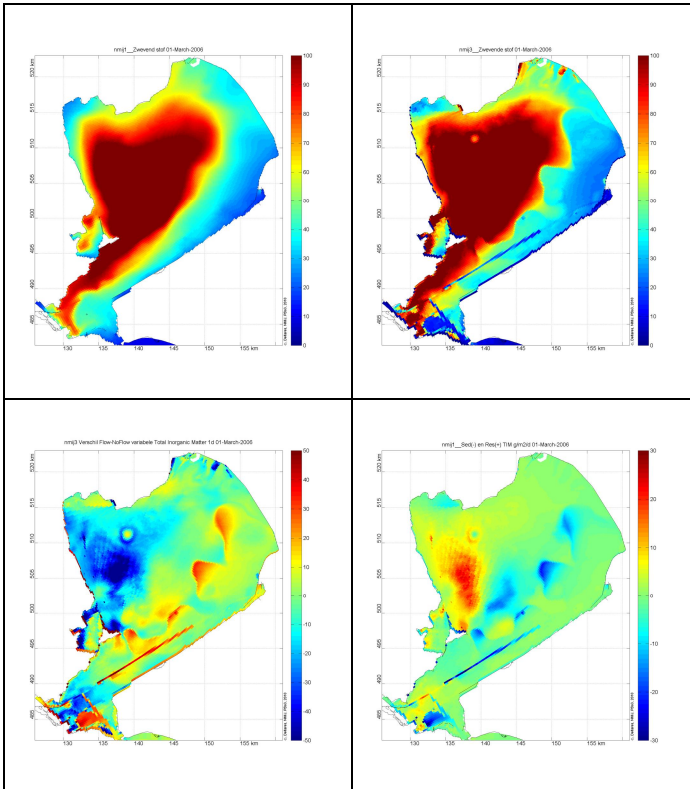
In algemene zin geldt dat hoe groter de verschillen in slibconcentratie met en zonder stroming zijn, hoe groter de invloed van horizontaal transport is. Als er immers in de referentiesituatie geen horizontaal transport of geen gesuspendeerd slib is, dan ontstaat er geen verschil met de berekening zonder transport. Te verwachten is dat de grootste slibtransporten optreden in perioden met veel wind, de bovenbeschreven periode is hiervoor karakteristiek.



Figuur 2.1 Tweewekelijks gemiddelde waarden (1-15 februari 2006) van slibgehalte (mg/l) in de toplaag voor de referentiesituatie (linksboven), slibgehalte (mg/l) in de toplaag zonder stroming (rechtsboven), het verschil in slibgehalte (mg/l) met en zonder stroming (linksonder): referentie – referentie zonder transport en (rechtsonder) netto vertikaal transport: sedimentatie (-) en resuspensie (+) in g/m²/d in de referentiesituatie.

In Figuur 2.2 is de situatie voor de periode 15-28 februari weergegeven, zie ook Appendix O-2. In die periode waait er een noordoostelijke wind (8m/s) waardoor in een groot gebied langs de Noord-Hollandse kust als gevolg van golven slib opgeweft (Figuur 2.2 rechtsonder). Zonder waterstroming zou de slibwolk die als gevolg hiervan ontstaat, in het westelijk deel van het meer blijven hangen (vergelijk Figuur 2.2 bovenste twee figuren). In de referentiesituatie met stroming wordt een heel groot deel van het meer, inclusief Hoornse Hop en Noord-Hollandse kust, slib als gevolg van stroming afgevoerd en is er minder slib in het water dan het geval zou zijn zonder stroming (zie Figuur 2.2 linksonder, blauwe gebied).

Slibgeleiding, d.w.z. het tegenhouden van stromend water met daarin aanwezig slib, had in deze periode tot hogere slibgehalten in dit gebied kunnen leiden.



Figuur 2.2 Tweewekelijks gemiddelde waarden (16-28 februari 2006) van slibgehalte (mg/l) in de toplaag voor de referentiesituatie (linksboven), slibgehalte (mg/l) in de toplaag zonder stroming (rechtsboven), het verschil in slibgehalte (mg/l) met en zonder stroming (linksonder): referentie – referentie zonder transport en (rechtsonder) netto vertikaal transport: sedimentatie (-) en resuspensie (+) in g/m²/d in de referentiesituatie.

Voor het referentiescenario zijn voor 18 perioden in 2006 de volgende 12 figuren gemaakt telkens tweewekelijks gemiddelde waarden van:

1. slibgehalte (mg/l) in de referentiesituatie;
2. slibgehalte (mg/l) zonder horizontaal transport;
3. verschil in slibgehalte (mg/l) t.g.v. ontbreken horizontaal transport;
4. verschil in dikte van de bovenste (S1) bodemlaag t.g.v. ontbreken van horizontaal transport;
5. verschil in dikte van de onderste (S2) bodemlaag t.g.v. ontbreken van horizontaal transport;
6. netto vertikaal transport: sedimentatie (-) en resuspensie (+) in g/m²/d in de referentiesituatie;
7. windsnelheid (m/s) en windrichting (graden t.o.v. noord), dagelijkse gegevens voor de periode van twee weken;
8. berekende golfhoogte (m) in de referentiesituatie;
9. bodemschuifspanning (N/m²) in de referentiesituatie;
10. dikte (m) van de bovenste (S1) sliblaag in de referentiesituatie;
11. bruto sedimentatie (g/m²/d) in de referentiesituatie;
12. bruto resuspensie (g/m²/d) in de referentiesituatie.

De twee perioden die in de tekst zijn besproken zijn weergegeven in Appendix O, de figuren voor de overige 16 perioden zijn digitaal beschikbaar.

De voornaamste observaties zijn:

1. het grootste transport treedt op in de perioden februari-april en in de laatste week van oktober wanneer als gevolg van wind slibconcentraties in het meer hoog zijn én het water grootschalig in beweging is. In de zomerperiode is geleiding niet erg belangrijk.
2. gebieden waarin als gevolg van stroming meer slib in het water aanwezig is liggen afwisselend in het noordelijk deel van het meer, langs de Noord-Hollandse kust maar regelmatig ook het zuid oostelijke diepere deel van het meer;
3. in bepaalde periodes, met name bij wind uit oostelijke en noordoostelijke hoek, is als gevolg van stroming minder slib aanwezig in grote gebieden aan de Noord-Hollandse kust inclusief de Hoornse Hop.
4. geleiding van water met daarin aanwezig slib zonder golfdemping kan ondiepe gebieden helderder maken als opgewerveld uit diepere delen deze gebieden niet kan bereiken (buitensluiten van slib). Deze situatie kan bv optreden bij harde zuidwestelijke wind.
5. anderzijds kan geleiding voorkomen dat slib dat in ondiepe gebieden opgewerveld wordt afgevoerd kan worden (insluiten van slib) waardoor het water in de ondiepe delen juist minder helder wordt. Deze situatie treedt op bij windcondities waarbij resuspensie in ondiepe gebieden plaatsvindt.

De gebruikte experimentele modelberekeningen geven goed aan waar en wanneer stroming van water met slib (de "slibstroom") een significant transport proces is maar de techniek is minder geschikt om tot een keuze voor de optimale locatie voor een geleidescherm te komen. Daarvoor zijn berekeningen zoals in hoofdstuk 2.2 waarin de specifieke locatie en vorm van een structuur zijn aangebracht nodig.

3 Conclusies

Het doel van de studie was tweeledig (1) het beantwoorden van een aantal onderzoeksvragen en (2) het verschil tussen geleiding en golfwte bekijken.

De studie geeft de volgende antwoorden op de onderzoeksvragen 2 en 4 t/m 7 (paragraaf 1), te weten:

Hoe moet de geleidestructuur in het D3D model worden geschematiseerd?

In het model moet van een structuur de doorlatendheid voor golven en de doorlatendheid voor stroming onafhankelijk van elkaar worden opgegeven als een percentage tussen 0 en 100%. In deze studie is vooralsnog gewerkt met structuren die voor golven en stroming volledig dicht (0% doorlatendheid) of volledig open (100% doorlatendheid) zijn. Afhankelijk van de gewenste golf- en stromingsreductie kan een structuur in het veld worden ontworpen die zulke karakteristieken realiseert. Bestaande rekenregels voor golftransmissie (b.v. initiële burostudie para 2.3.2) zullen hiervoor worden gebruikt.

Welke afmetingen moet een experiment geleidestructuren minimaal hebben voor zinvolle interpretatie?

De initiële 'back of the envelope' schatting van de minimale afmeting bedroeg 800 m. Deze modelstudie toont aan dat een structuur van 1.2 km (kwart flipper) jaargemiddeld een verlagingen van de slibconcentratie van 5-10 mg.l⁻¹ laat zien. Een twee keer zo lange structuur (2.4 km) grotere (10 mg.l⁻¹) veranderingen. Het oppervlak waarover deze veranderingen gemeten kunnen worden is voor een 2x zo lange structuur 4x groter. Op basis van deze resultaten is de minimale afmeting gesteld op 1.2 km.

Wat is de optimale schaalgrootte van de pilot?

Een dam (flipper) van 1.2 km lang geeft jaargemiddeld –indien volledig ondoorlatend voor stroming en golven- een kleine verandering van het slibgehalte. Een twee keer zo lange constructie heeft een significant groter en beter meetbaar effect. De optimale schaalgrootte van de pilot is daarom gesteld op 2.4 km.

Welke vorm moeten/kunnen de experimenten hebben?

Het maken van een knik of bocht in een rechte structuur (eiland of dam) verhoogt jaargemiddeld op de onderzocht locatie het effect van zo'n structuur. Een golfdoorlatende structuur is minder effectief in de ondiepe delen langs de Noord-Hollandse kust. Een stromingsdoorlatende structuur verlaagt slibconcentraties op andere lokaties dan en dichte structuur, iets minder intens maar over een groter oppervlakte.

Hoe onderscheid je het effect van geleiding versus golfdemping in de pilot?

Opgemerkt wordt dat de tot nu toe onderzochte luwtestructuren dammen volgens het huidige inzicht [3] voornamelijk effectief zijn omdat ze luwte creëren waardoor minder slib opwervelt én golfwte gebieden niet volstromen met slib van elders. Uit de onderhavige modelstudie blijkt dat –o.a. op de onderzochte locatie- ook door geleiding alleen (dus zonder golfdemping) de slibconcentratie ook verlaagd wordt. In principe kan in een pilot het effect van golfdemping en geleiding van elkaar onderscheiden worden wanneer in het experiment beide fenomenen onafhankelijk van elkaar gevarieerd kunnen worden én het effect van deze verschillende situaties gemeten wordt. Een pilot zou dus het effect van (1) geleiding zonder golfdemping kunnen onderzoeken of (2) het

effect van golfdemping zonder geleiding net zoals in de onderhavige studie met het model in bv respectievelijk in appendix D en E is gebeurd. Beperkingen daarbij zijn dat optie 1 technisch in het veld niet realiseerbaar² lijkt terwijl optie 2 technisch wel realiseerbaar³ is maar iets meer eisen stelt aan de omvang en of monitoring van de pilot omdat het effect van een stromingsdoorlatende structuur (vergelijk figuren F en H) minder intens over groter gebied zichtbaar is.

Door in de pilot een constructie in hoogte te variëren, variëren golfdemping en geleiding niet onafhankelijk van elkaar waardoor de interpretatie van metingen moeilijker wordt. Het succes van de monitoring wordt dan mede afhankelijk van de variatie die tijdens de meetperiode optreedt in wind-, stromings- en golfcondities. Een voldoende lange meetperiode verhoogt in dat geval de kans op succes.

-
- 2. Je kunt denken aan doek dat wel golven doorlaat en tegelijkertijd stroming afbuigt. Dat lijkt noch als pilot noch als eindmaatregel haalbaar.*
 - 3. Je kunt denken aan versprongen schermen of dammen of aan drijvende constructies die wel golven dempen maar stroming grotendeels doorlaten.*

4 Referenties

[1] NMIJ proposal/planning met wbs codes.

[2] NMIJ verslag workshop geleidestructuren incl. onderzoeksvragen.

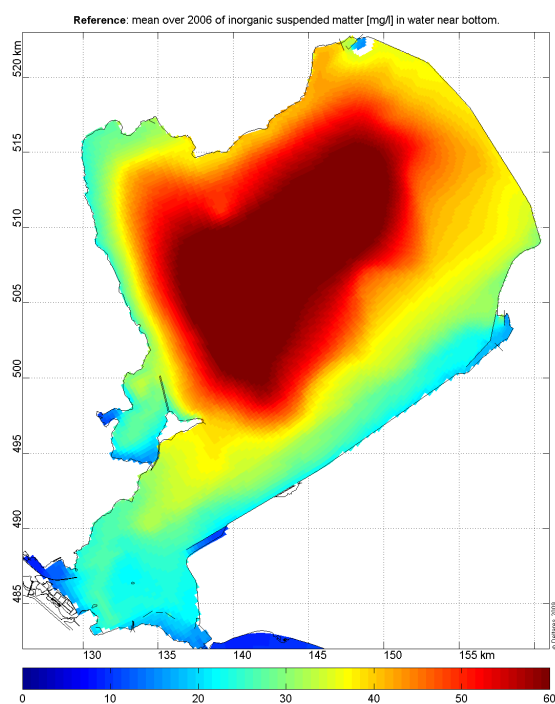
[3] Genseberger, M. en P.M.A. Boderie (2009). Scenario's hydrodynamica en slibtransport Toekomstbeeld Markermeer-IJmeer. Deltares report 1200097-007-VEB-0005, Delft, The Netherlands.

[4] Genseberger, M., M. van der Wal, D. F. Burger, and T.van Kessel (2009). Model quickscan to test Almere City extension options. Deltares report 1200424, Delft, The Netherlands.

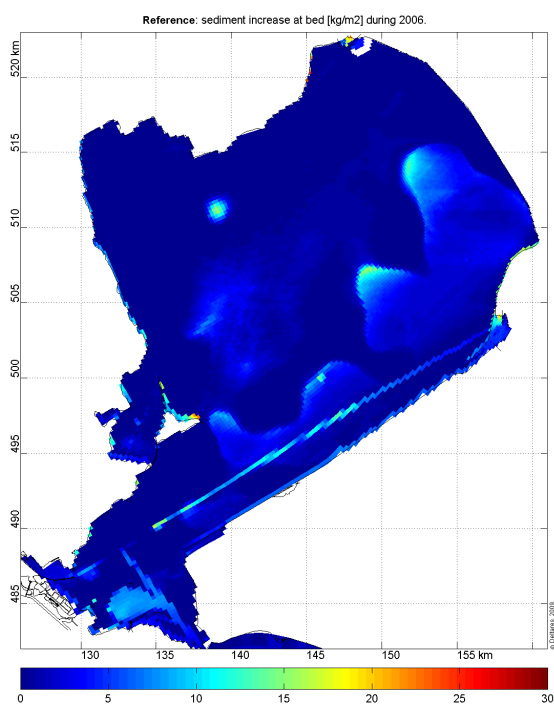
[5] Kessel, T. van, G.J. de Boer, and P.M.A. Boderie (2009). Calibration suspended sediment model Markermeer. Deltares report Q4612, Delft, The Netherlands.

[6] Vijverberg T. en P.M.A. Boderie (2008). Analyse scenarioberekeningen Markermeer. Deltares report Q4613, Delft, The Netherlands.

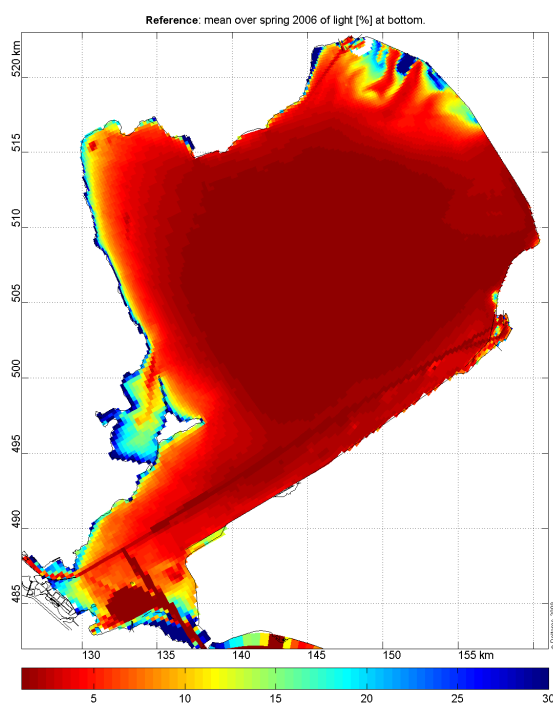
A Modelresultaten: referentie



Figuur A.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

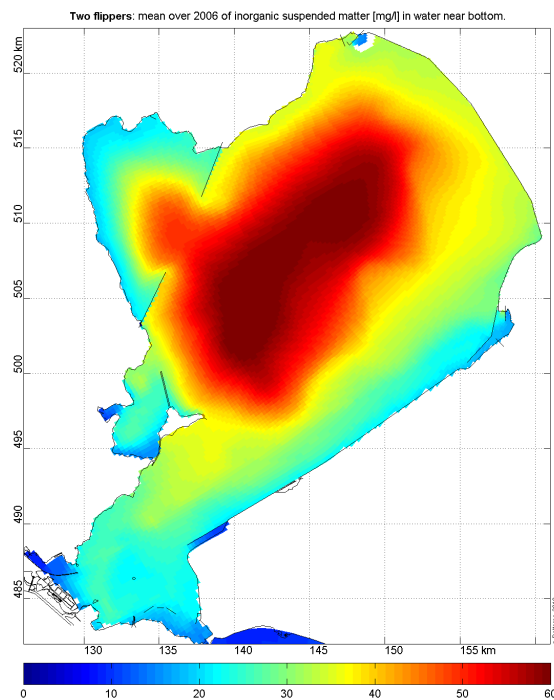


Figuur A.3 Totale hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006.

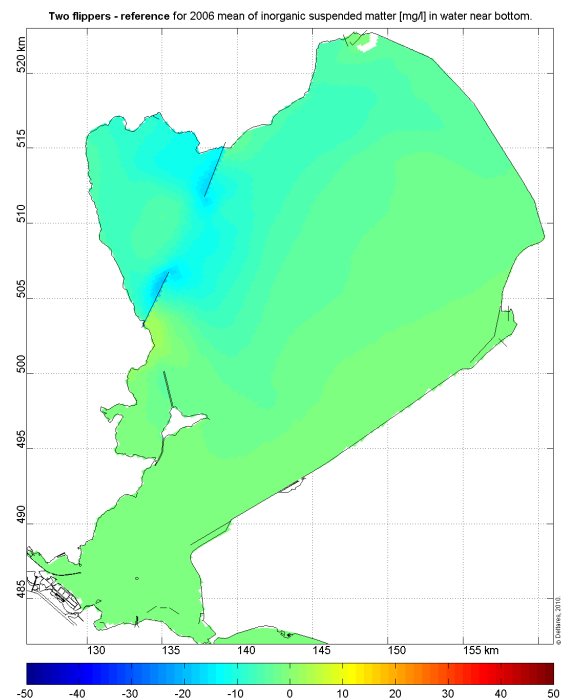


Figuur A.4 Gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

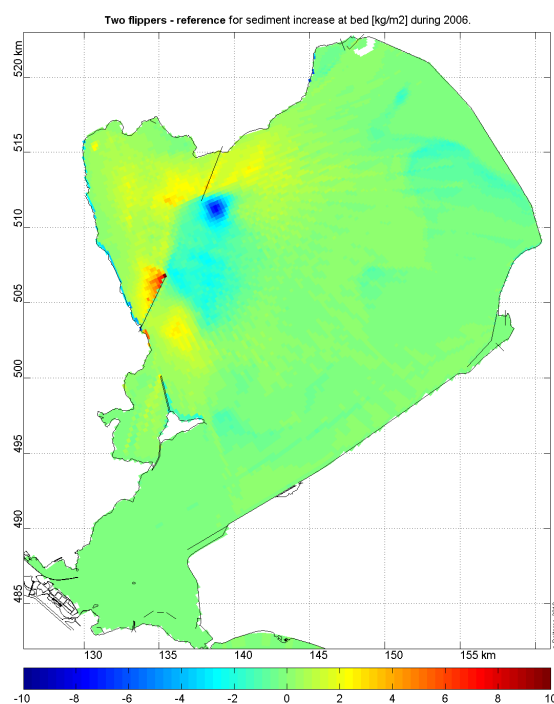
B Modelresultaten: twee flippers



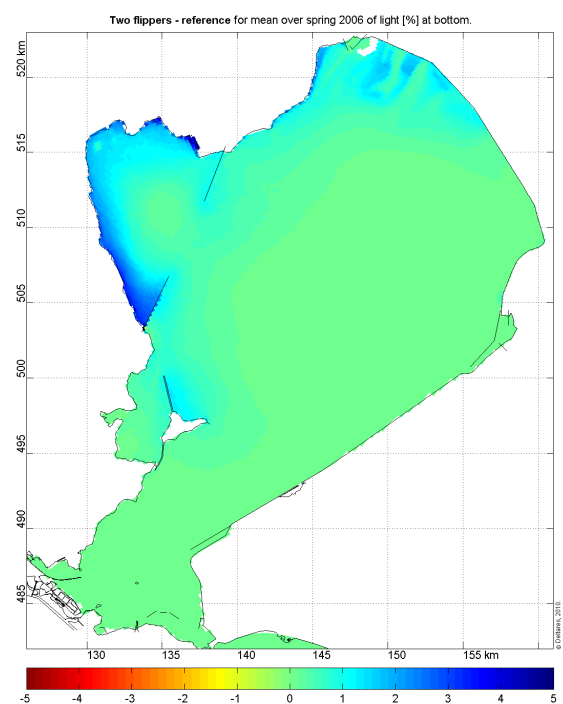
Figuur B.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.



Figuur B.2 Verschil met referentie van gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

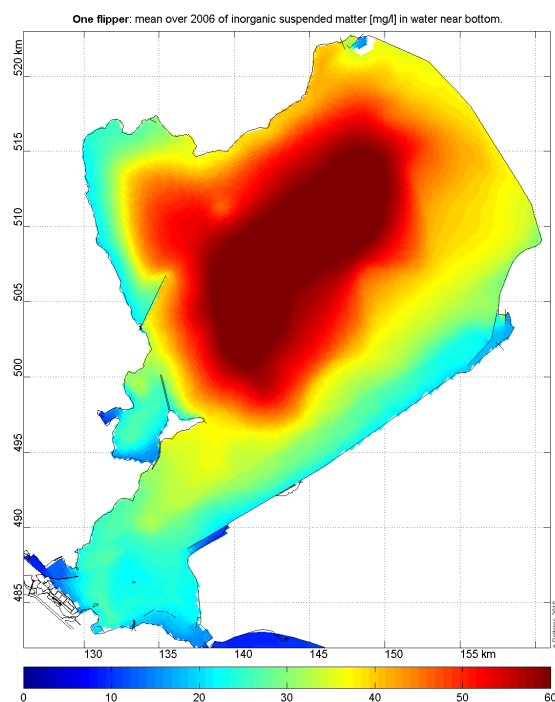


Figuur B.3 Toename/verschil hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006 ten opzichte van referentie.

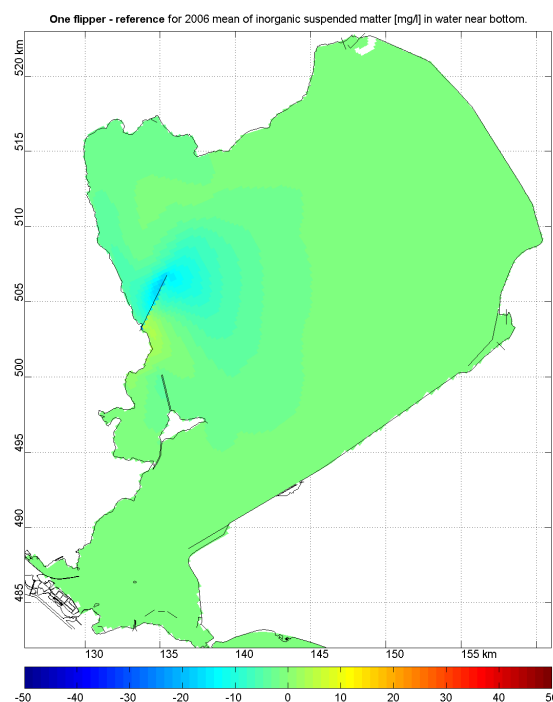


Figuur B.4 Verschil met referentie van gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

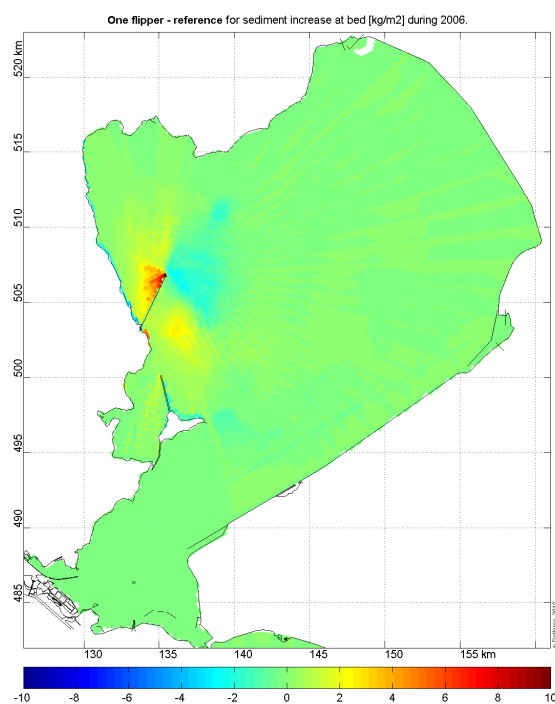
C Modelresultaten: één flipper



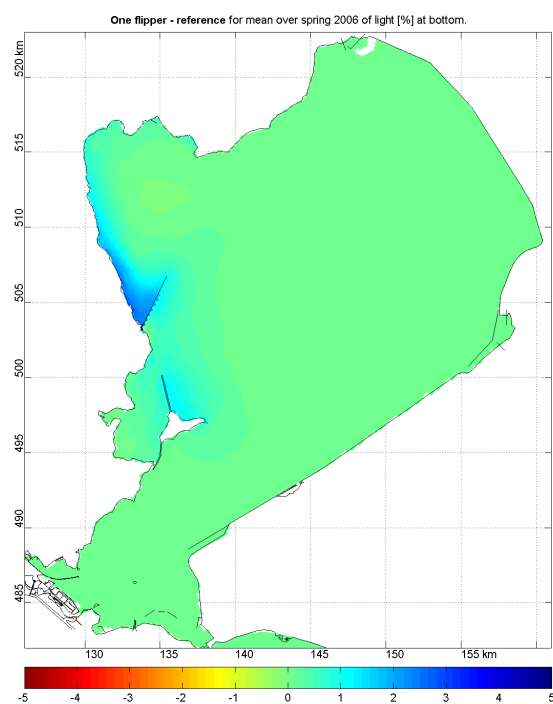
Figuur C.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.



Figuur C.2 Verschil met referentie van gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

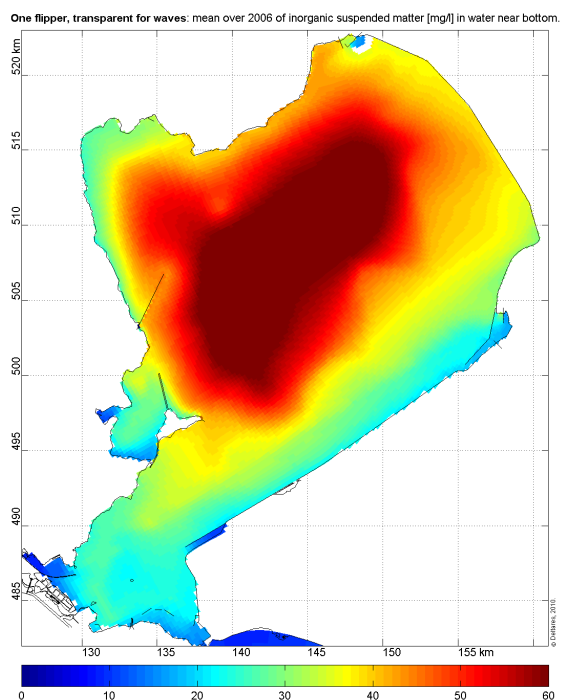


Figuur C.3 Toename/verschil hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006 ten opzichte van referentie.

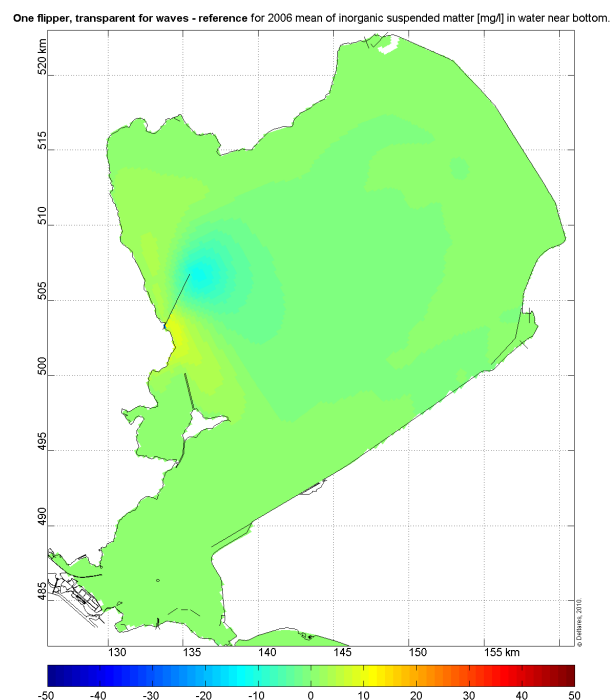


Figuur C.4 Verschil met referentie van gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

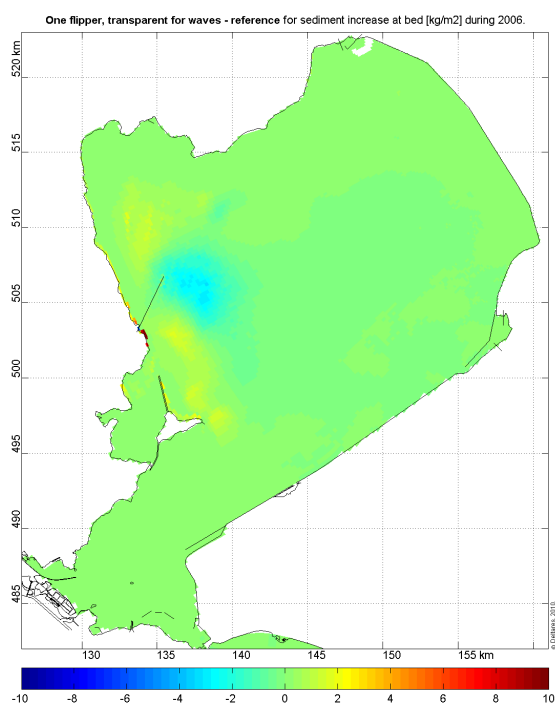
D Modelresultaten: golfdoorlatende flipper



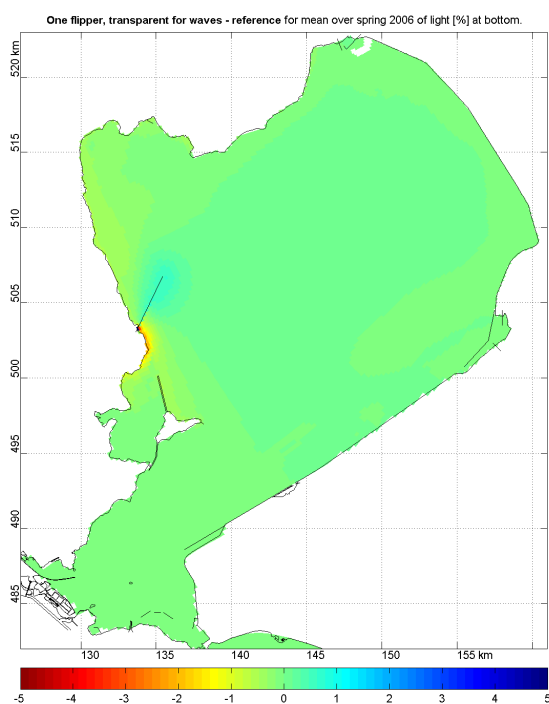
Figuur D.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.



Figuur D.2 Verschil met referentie van gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

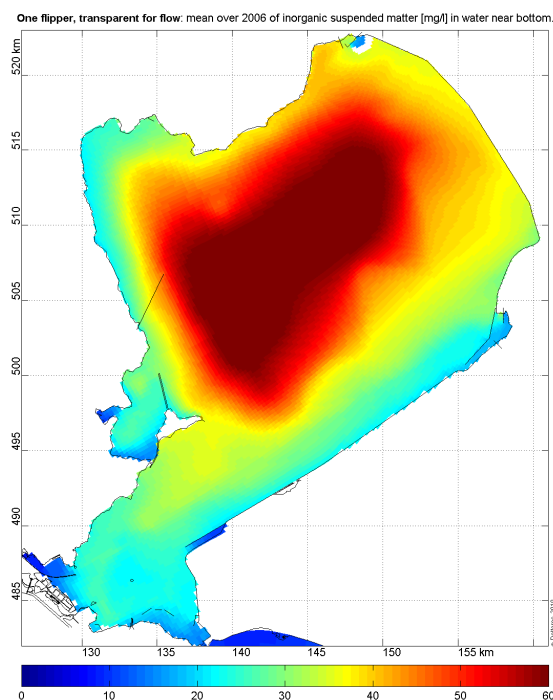


Figuur D.3 Toename/verschil hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006 ten opzichte van referentie.

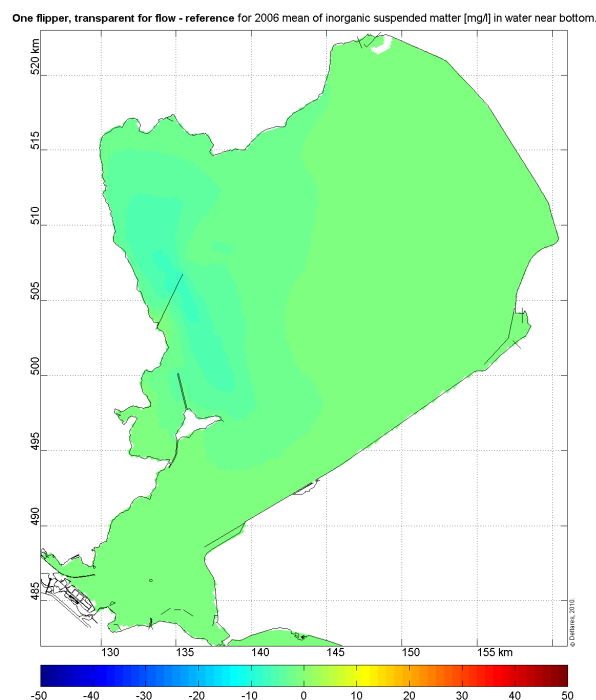


Figuur D.4 Verschil met referentie van gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

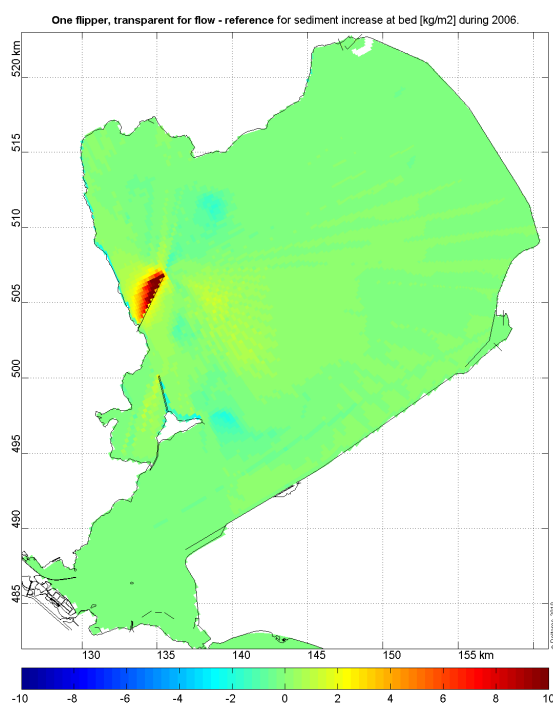
E Modelresultaten: stromingsdoorlatende flipper



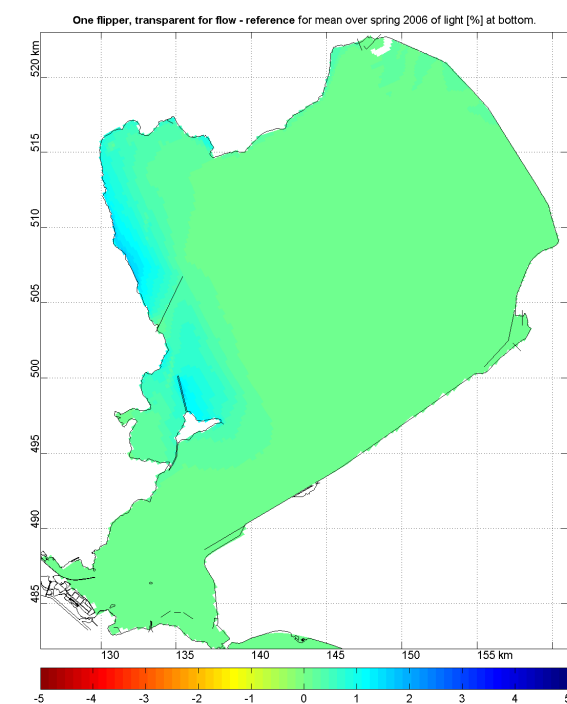
Figuur E.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.



Figuur E.2 Verschil met referentie van gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

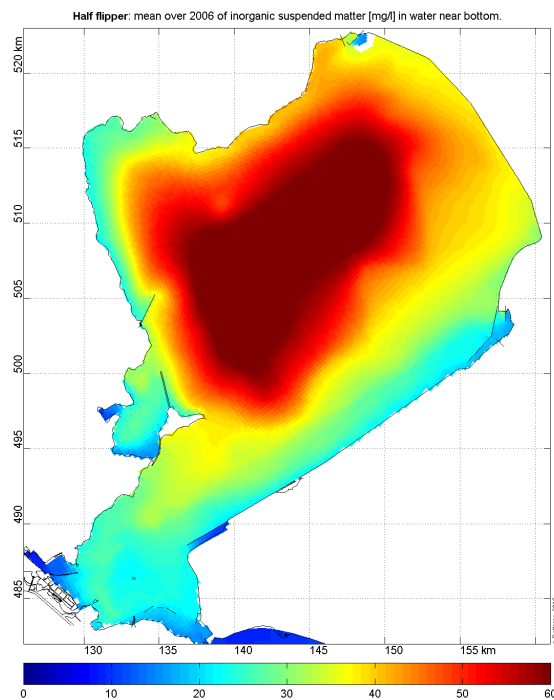


Figuur E.3 Toename/verschil hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006 ten opzichte van referentie.

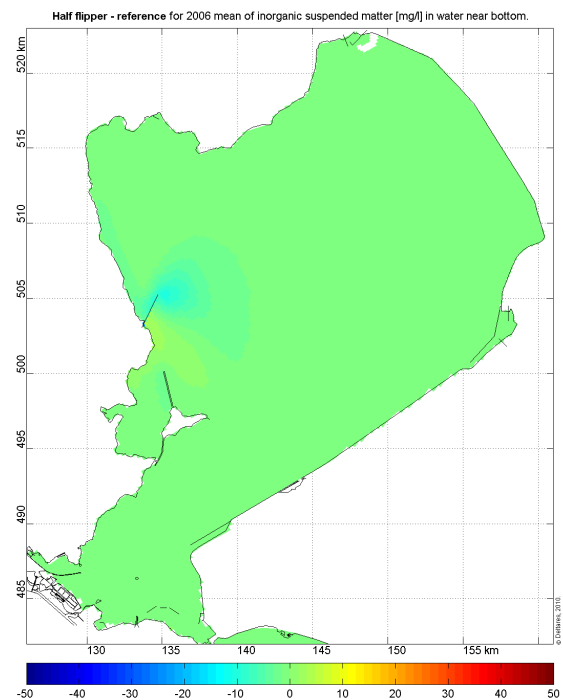


Figuur E.4 Verschil met referentie van gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

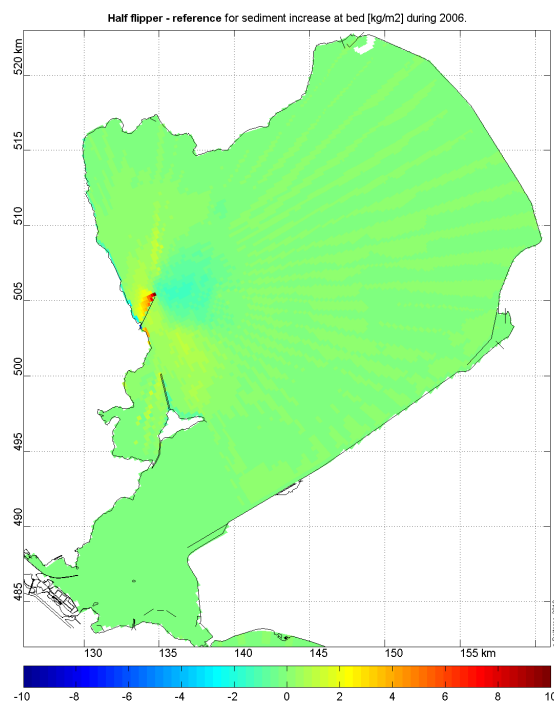
F Modelresultaten: halve flipper



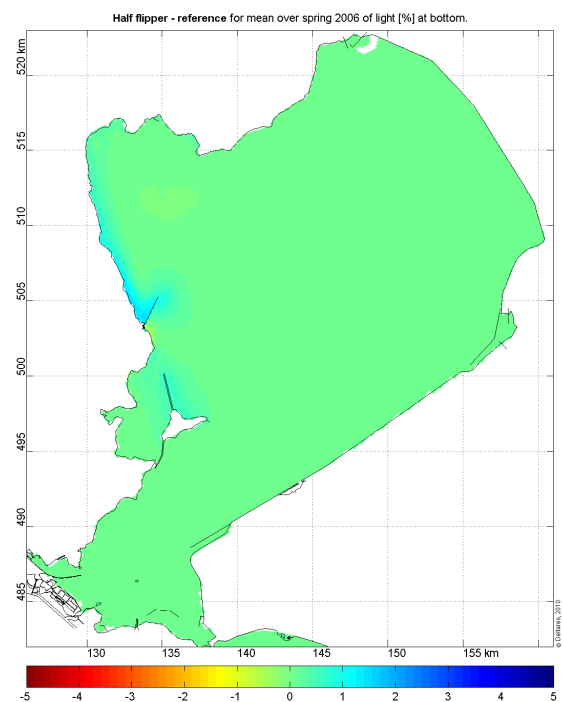
Figuur F.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.



Figuur F.2 Verschil met referentie van gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

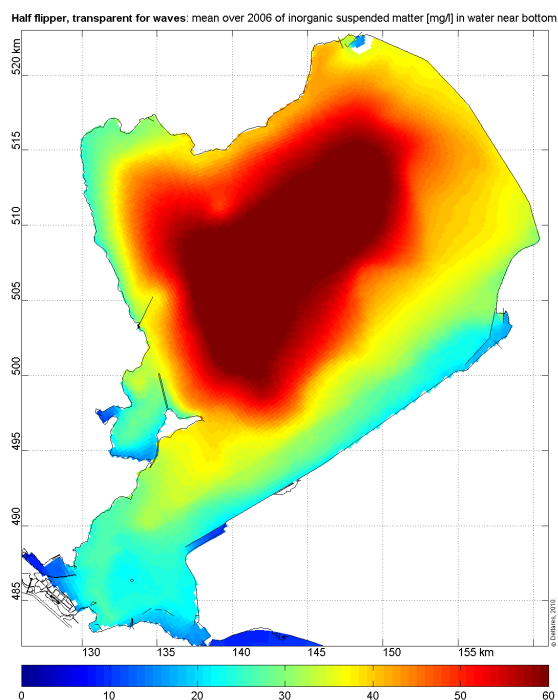


Figuur F.3 Toename/verschil hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006 ten opzichte van referentie.

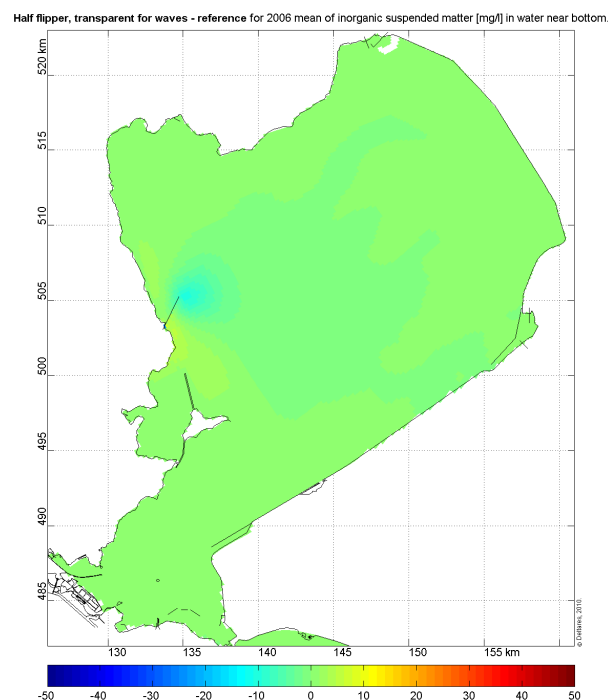


Figuur F.4 Verschil met referentie van gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

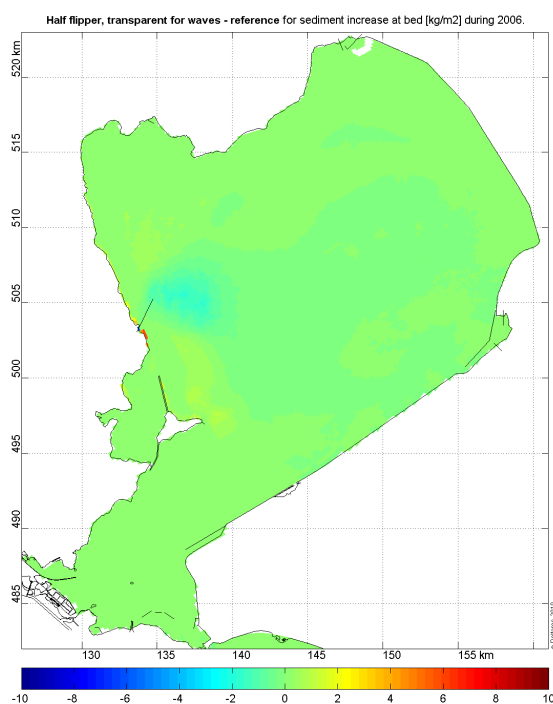
G Modelresultaten: golfdoorlatende halve flipper



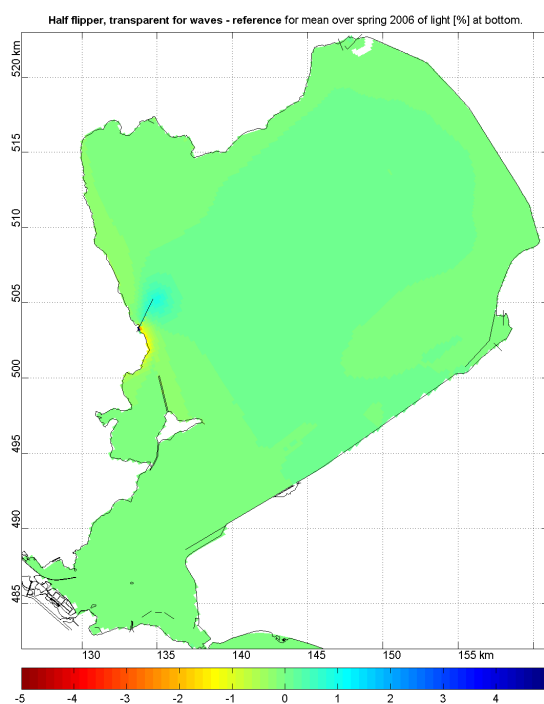
Figuur G.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.



Figuur G.2 Verschil met referentie van gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

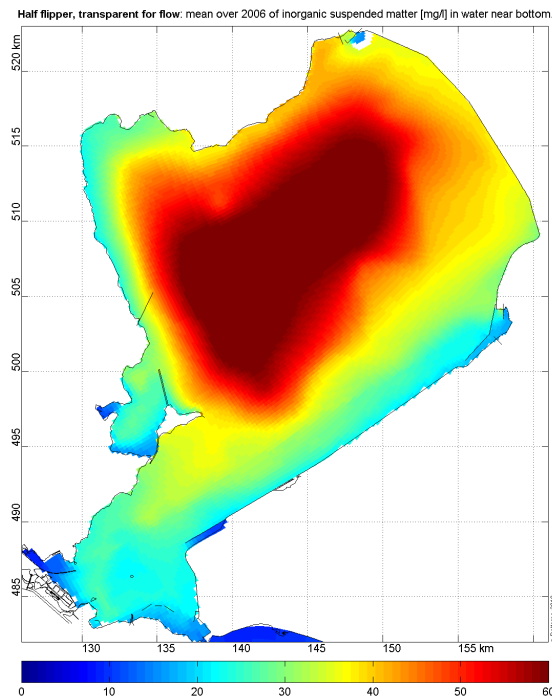


Figuur G.3 Toename/verschil hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006 ten opzichte van referentie.

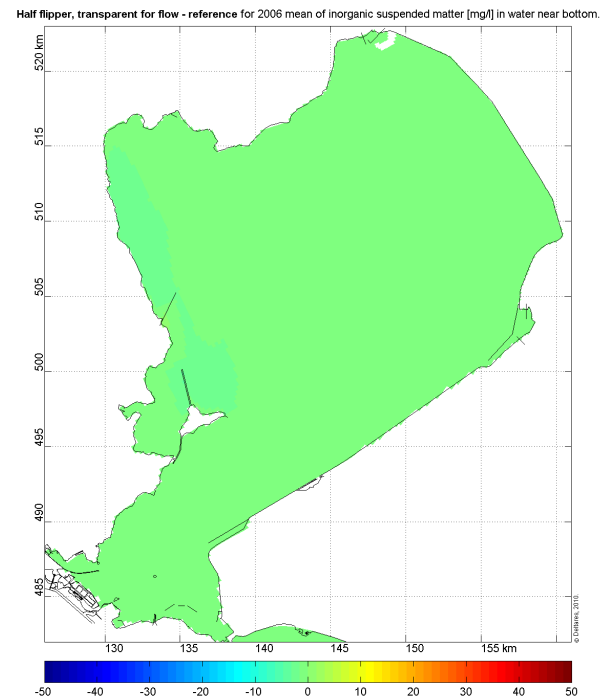


Figuur G.4 Verschil met referentie van gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

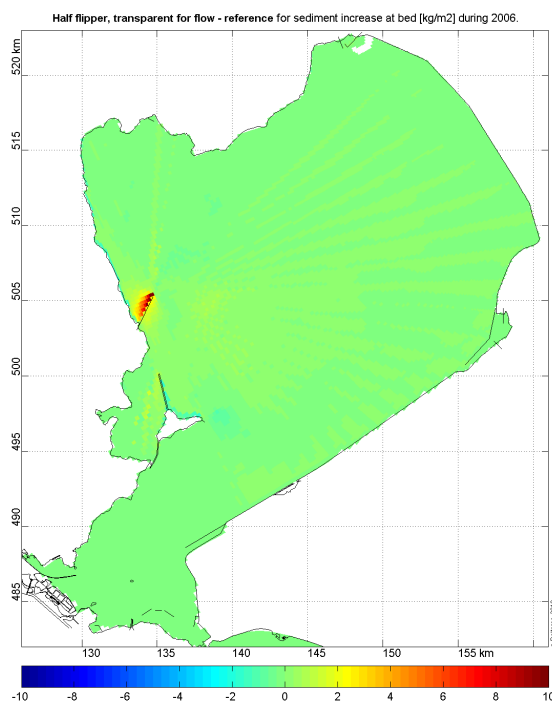
H Modelresultaten: stromingsdoorlatende halve flipper



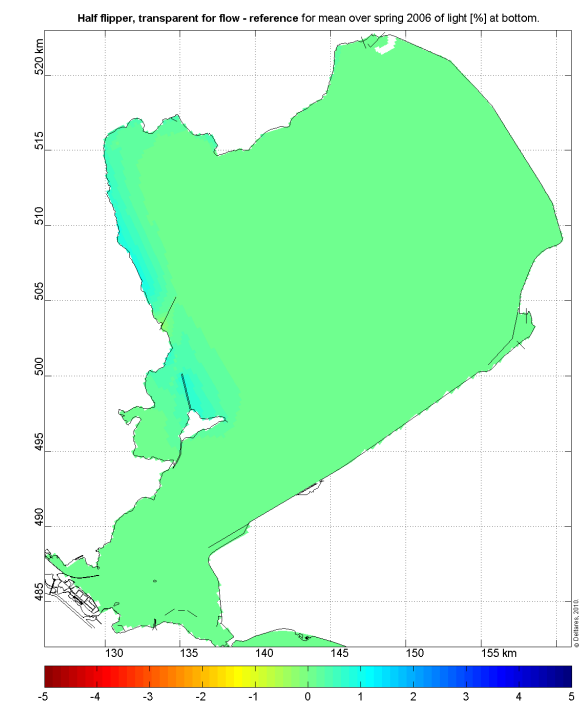
Figuur H.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.



Figuur H.2 Verschil met referentie van gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

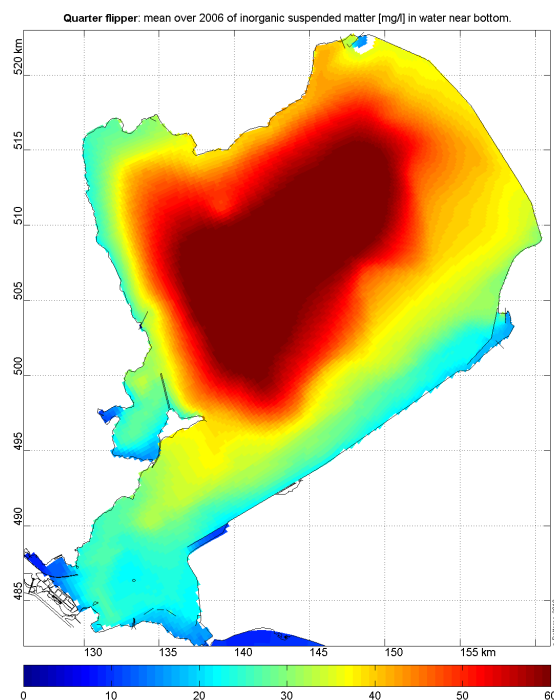


Figuur H.3 Toename/verschil hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006 ten opzichte van referentie.

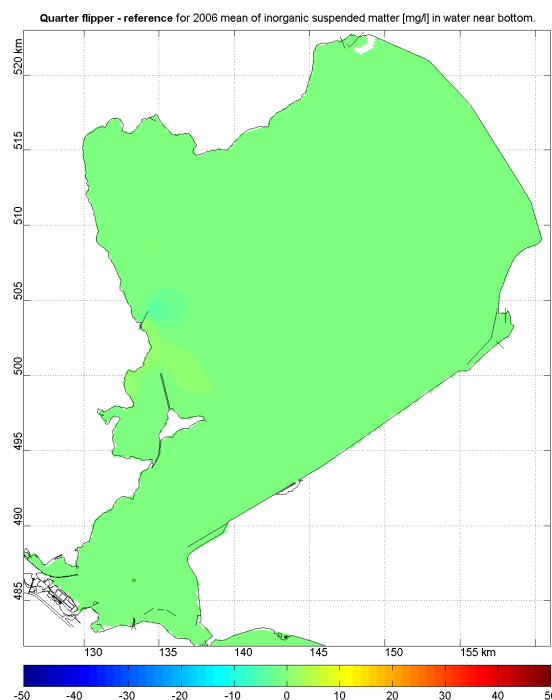


Figuur H.4 Verschil met referentie van gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

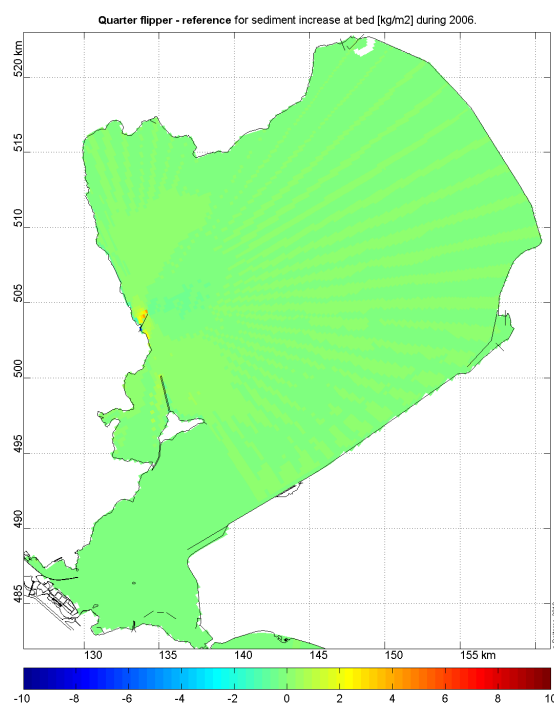
I Modelresultaten: kwart flipper



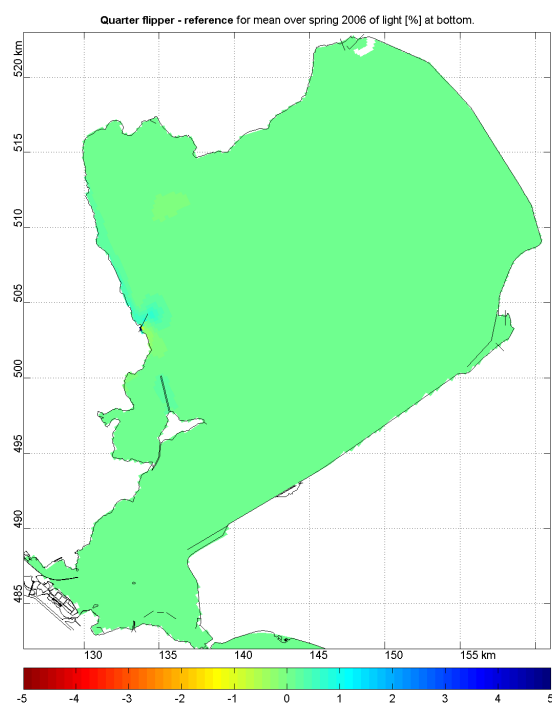
Figuur I.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.



Figuur I.2 Verschil met referentie van gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.



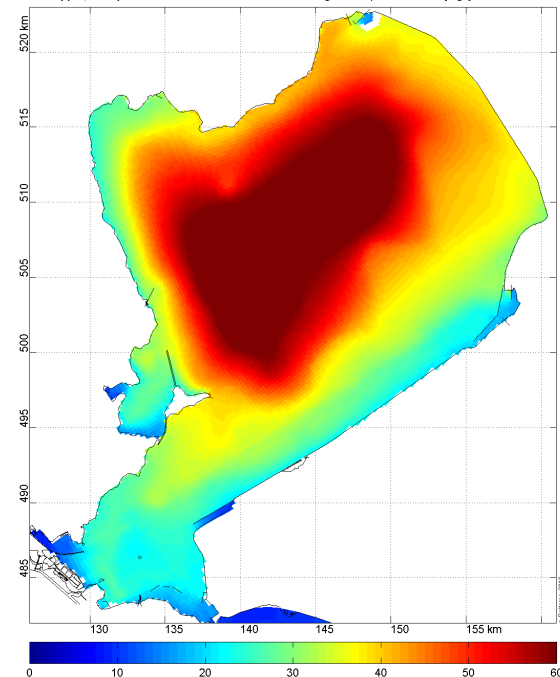
Figuur I.3 Toename/verschil hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006 ten opzichte van referentie.



Figuur I.4 Verschil met referentie van gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

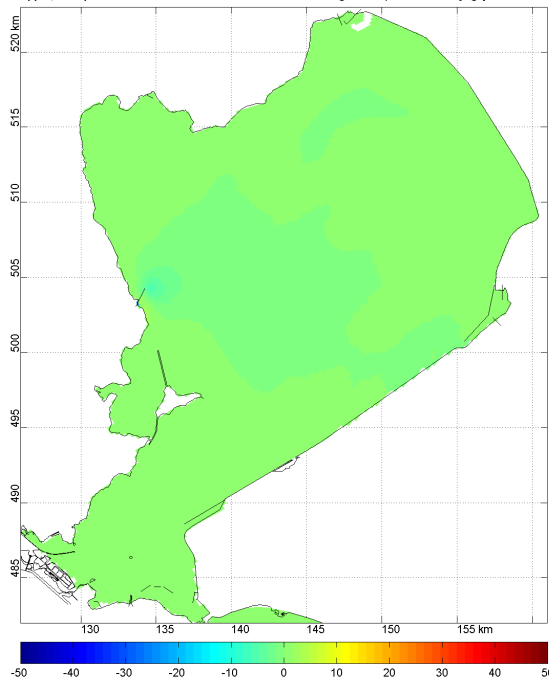
J Modelresultaten: golfdoorlatende kwart flipper

Quarter flipper, transparent for waves: mean over 2006 of inorganic suspended matter [mg/l] in water near bottom.



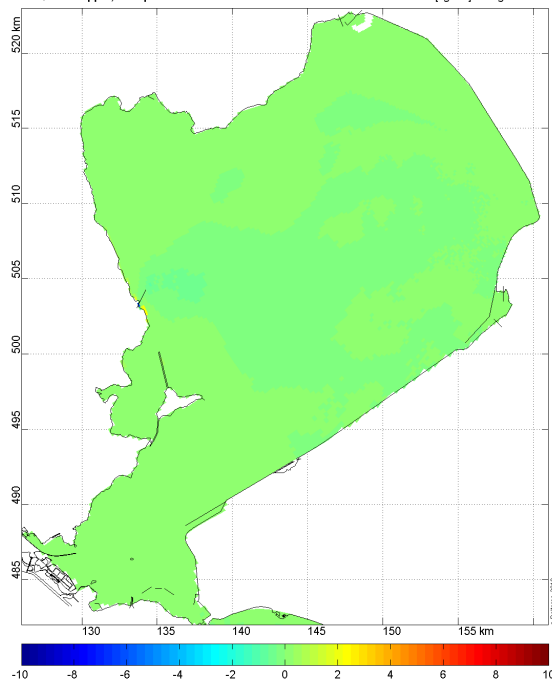
Figuur J.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

Quarter flipper, transparent for waves - reference for 2006 mean of inorganic suspended matter [mg/l] in water near bottom



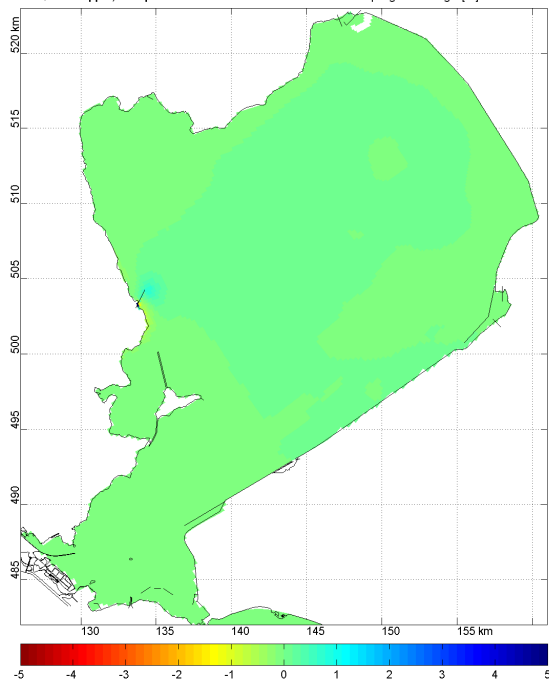
Figuur J.2 Verschil met referentie van gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

Quarter flipper, transparent for waves - reference for sediment increase at bed [kg/m²] during 2006.



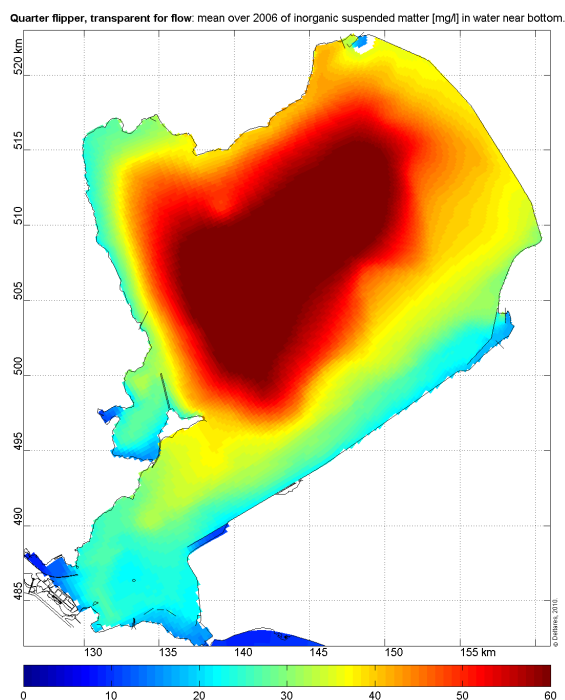
Figuur J.3 Toename/verschil hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006 ten opzichte van referentie.

Quarter flipper, transparent for waves - reference for mean over spring 2006 of light [%] at bottom.

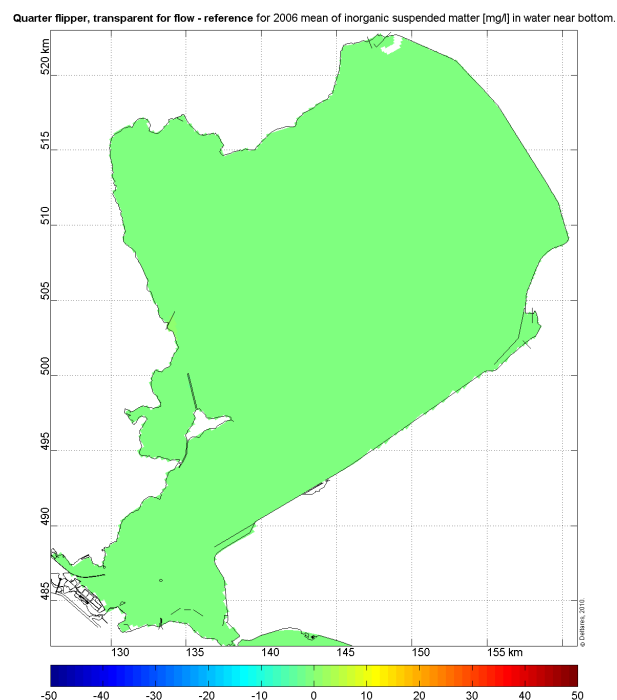


Figuur J.4 Verschil met referentie van gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

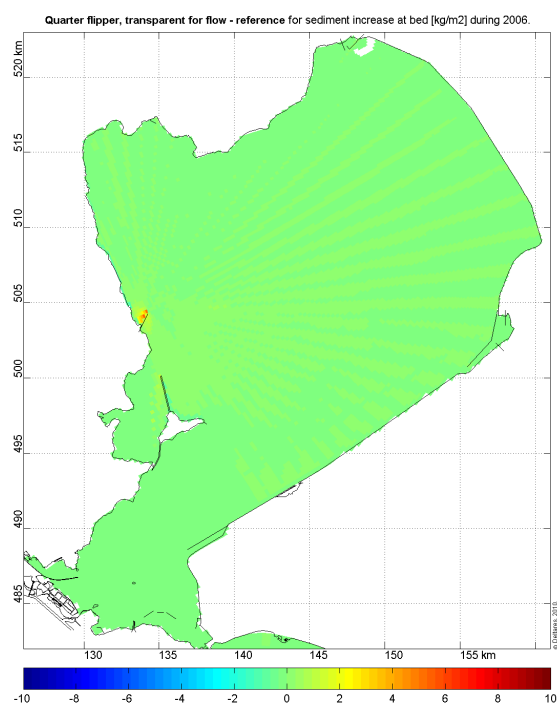
K Modelresultaten: stromingsdoorlatende kwart flipper



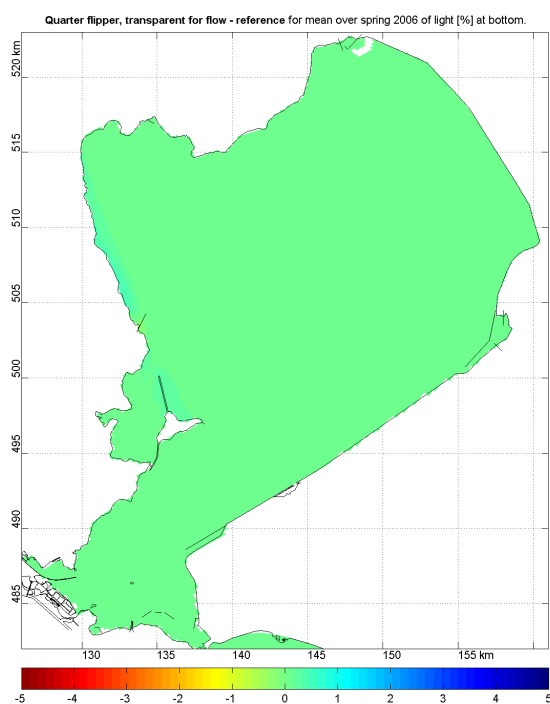
Figuur K.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.



Figuur K.2 Verschil met referentie van gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

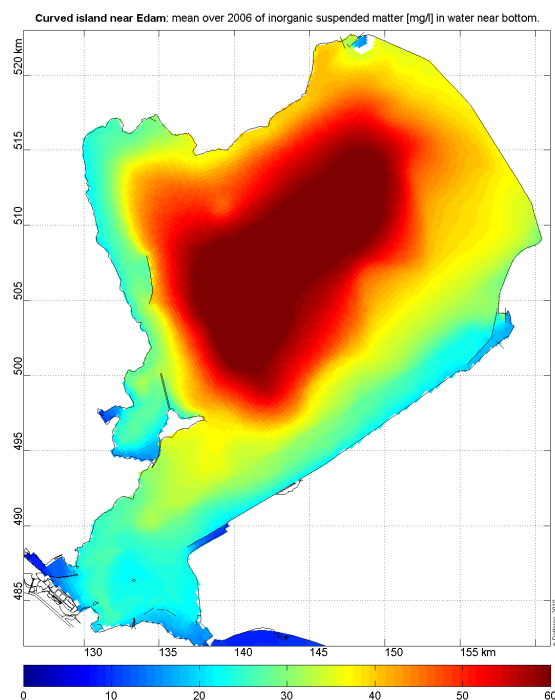


Figuur K.3 Toename/verschil hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006 ten opzichte van referentie.

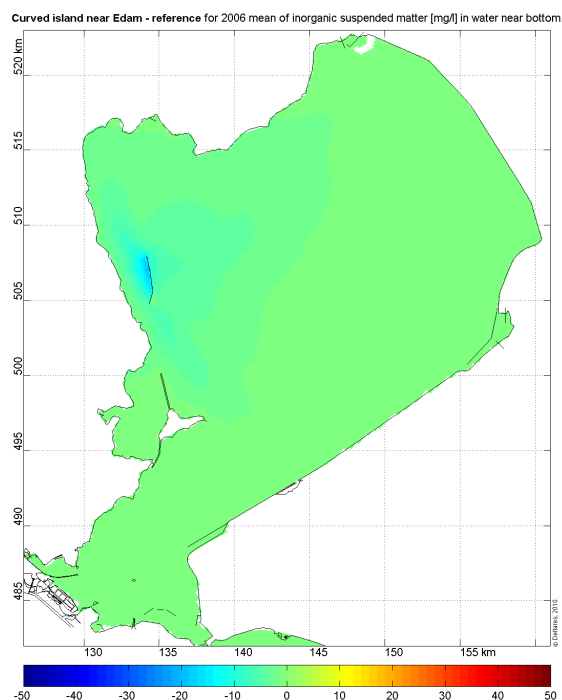


Figuur K.4 Verschil met referentie van gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

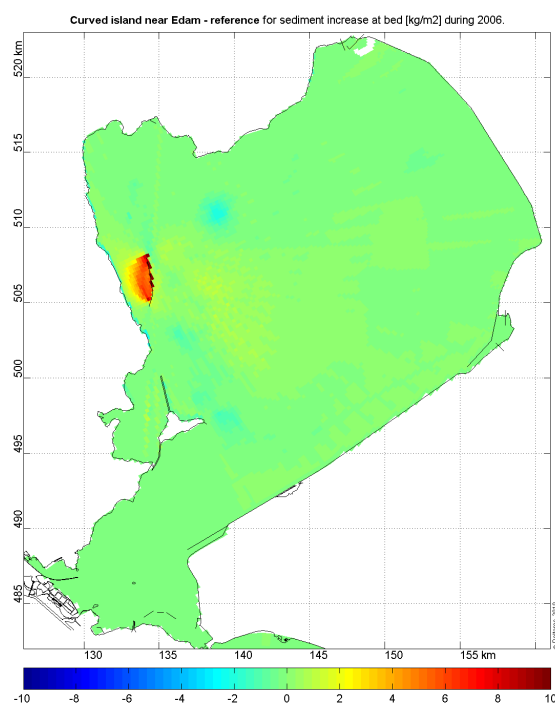
L Modelresultaten: gebogen eiland Edam



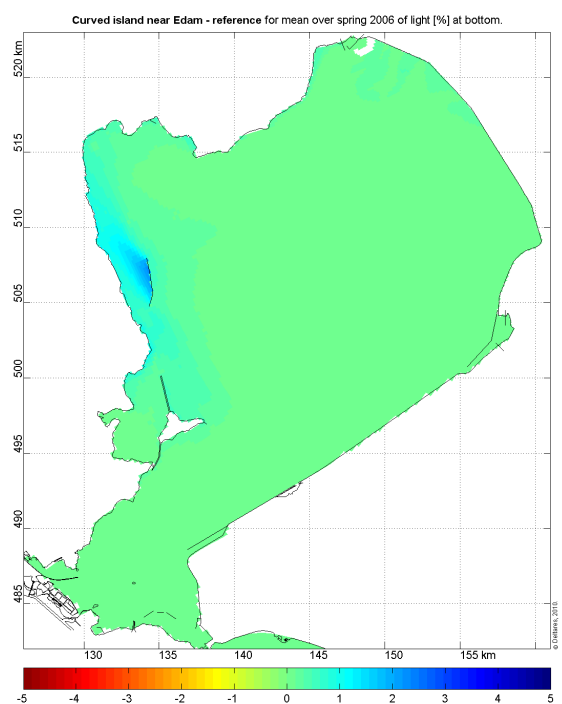
Figuur L.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.



Figuur L.2 Verschil met referentie van gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

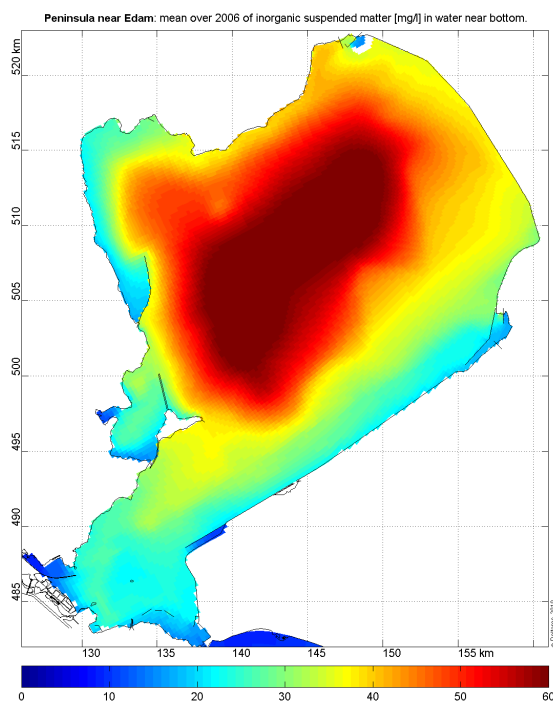


Figuur L.3 Toename/verschil hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006 ten opzichte van referentie.

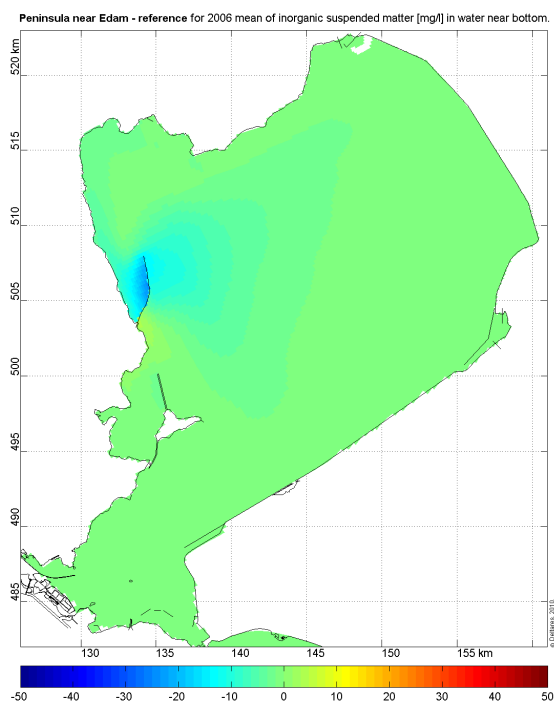


Figuur L.4 Verschil met referentie van gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

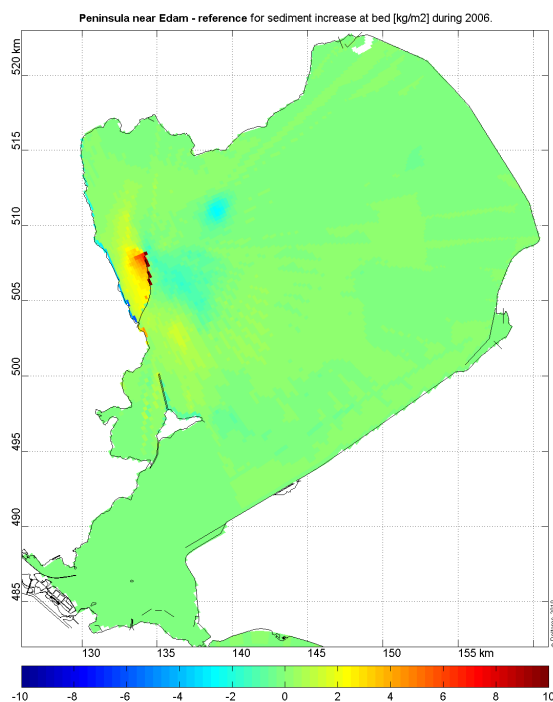
M Modelresultaten: schiereiland Edam



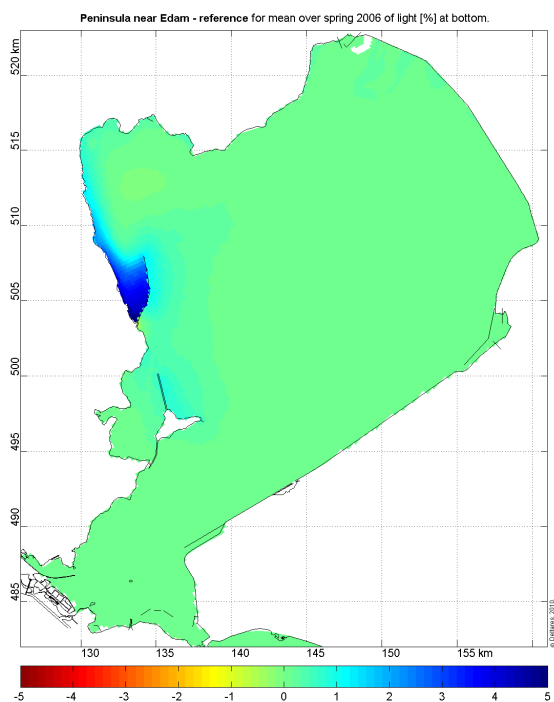
Figuur M.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.



Figuur M.2 Verschil met referentie van gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.



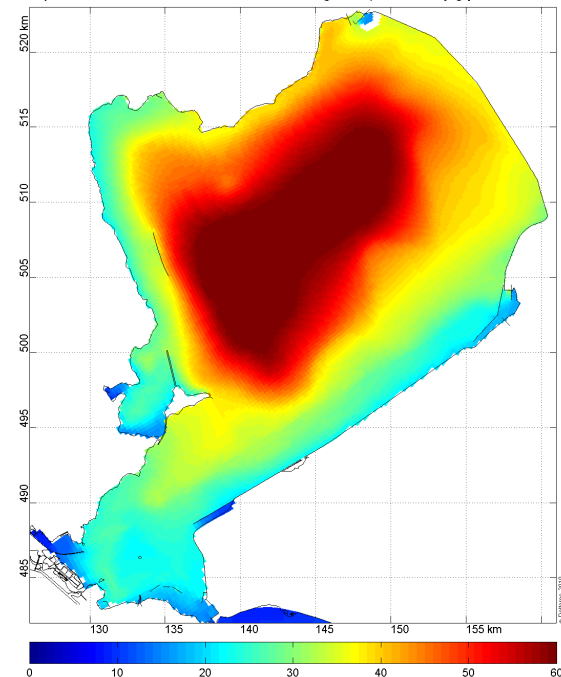
Figuur M.3 Toename/verschil hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006 ten opzichte van referentie.



Figuur M.4 Verschil met referentie van gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

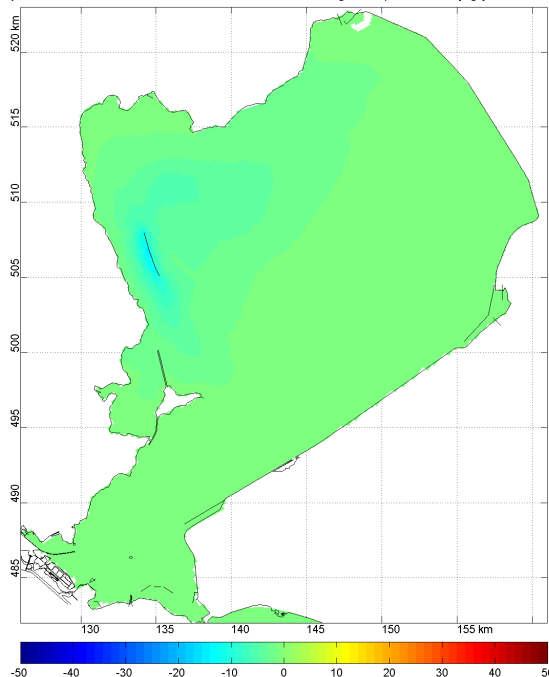
N Modelresultaten: evenwijdig eiland Edam

Island parallel to coastline near Edam: mean over 2006 of inorganic suspended matter [mg/l] in water near bottom.



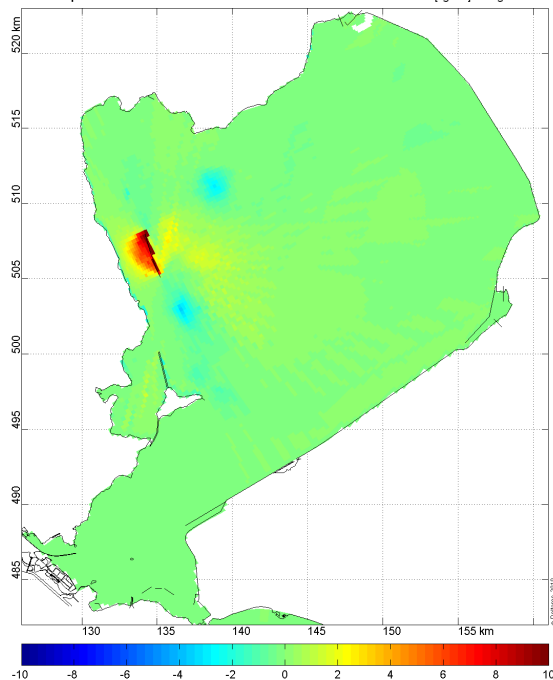
Figuur N.1 Gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

Island parallel to coastline near Edam - reference for 2006 mean of inorganic suspended matter [mg/l] in water near bottom



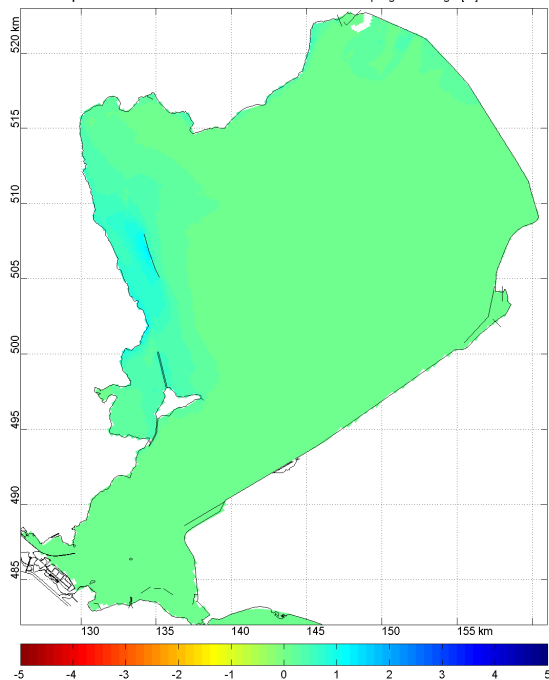
Figuur N.2 Verschil met referentie van gemiddelde over 2006 van de sedimentconcentratie [mg/l] in de onderste water laag.

Island parallel to coastline near Edam - reference for sediment increase at bed [kg/m²] during 2006.



Figuur N.3 Toename/verschil hoeveelheid sediment op de bodem [kg/m²] aan het einde van het jaar 2006 ten opzichte van referentie.

Island parallel to coastline near Edam - reference for mean over spring 2006 of light [%] at bottom.



Figuur N.4 Verschil met referentie van gemiddelde over het voorjaar van 2006 van de hoeveelheid licht [%] op de bodem.

