

INSERT YOUR PICTURE(S) IN THIS CELL

## **NMIJ scenario berekeningen - zomer 2013**

Rijkswaterstaat Waterdienst

21 August 2013

Draft Report

9V6742-0A2-100





HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.  
RIVERS, DELTAS & COASTS

Barbarossastraat 35  
Postbus 151  
Nijmegen 6500 AD  
The Netherlands  
+31 24 328 42 84 Telephone  
Fax  
info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail  
www.royalhaskoningdhv.com Internet  
Amersfoort 56515154 CoC

Document title NMIJ scenario berekeningen zomer 2013

Document short title

Status Draft Report  
Date 21 August 2013  
Project name Natuurlijker Markermeer IJmeer  
Project number 9V6742-0A2-100  
Client Rijkswaterstaat Waterdienst  
Reference 9V6742-0A2-100/R/903718/Nijm

Drafted by Marieke Bakker en Thomas Vijverberg  
Checked by Petra Dankers, Pascal Boderie  
Date/initials check .....  
Approved by Roelof Moll  
Date/initials approval .....

## CONTENTS

	Page
1 INLEIDING	1
1.1 Doel	1
1.2 Leeswijzer	1
2 MODELSPECIFICATIES EN SCENARIO'S	2
2.1 Modelspecificaties	2
2.2 Scenario's	6
3 RESULTATEN	8
3.1 Slibconcentratie	8
3.2 Verandering van de bodemlaag (S2)	10
3.3 Percentage licht aan de bodem	12
3.4 Stroming en golven rondom luwtestructuren Enkhuizerzand	14
4 CONCLUSIES	17
5 REFERENTIES	18

## BIJLAGEN

- A. Gemiddelde slibconcentratie nabij de bodem (jaargemiddeld) (mg/l)
- B. Verschil met referentie, gemiddelde slibconcentratie nabij de bodem (jaargemiddeld) (mg/l)
- C. Gemiddelde slibconcentratie nabij de bodem (zomer) (mg/l)
- D. Gemiddelde slibconcentratie nabij de bodem (winter) (mg/l)
- E. Verschil met referentie, gemiddelde slibconcentratie aan de bodem (zomer) (mg/l)
- F. Verschil met referentie, gemiddelde slibconcentratie aan de bodem (winter) (mg/l)
- G. Verandering in het jaar van de bodemlaag (S2) (kg/m<sup>2</sup>)
- H. Verschil met referentie: verandering in het jaar van de bodemlaag (S2) (kg/m<sup>2</sup>)
- I. Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in het voorjaar
- J. Verschil met referentie, Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in het voorjaar
- K. Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in de zomer
- L. Verschil met referentie, Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in de zomer
- M. Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in de winter
- N. Verschil met referentie, Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in de winter

## **1 INLEIDING**

### **1.1 Doel**

Het Onderzoeksprogramma Natuurlijk(er) Markermeer IJmeer (NMIJ) heeft onder andere tot doel om de effectiviteit van maatregelen vast te stellen, die bijdragen aan een robuust Toekomstbestendig Ecologisch Systeem (TBES) in het Markermeer-IJmeer. Daarbij staan een aantal aspecten centraal zoals het creëren van een slibgradiënt en het verlagen van de slibconcentraties in de ondiepere delen van het meer. Om de bereikbaarheid van dit doel te toetsen is een Delft-3D slib-model ontwikkeld (Van Kessel et al., 2009) en gevalideerd (Boderie et al., 2012). Dit model is gebruikt om verschillende scenario's te beoordelen. Dit rapport laat de resultaten en daarmee de effectiviteit van de verschillende scenario's op de slibhuishouding in het meer zien.

### **1.2 Leeswijzer**

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de modelspecificaties zoals gebruikt voor deze modelstudie. Daarnaast wordt een overzicht gegeven van de opgestelde en beoordeelde scenario's.

In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de scenario's besproken waarin onderscheidt wordt gemaakt in slibconcentraties in de waterkolom en aan de bodem voor de zomer en winterperiode. Daarnaast wordt ook ingegaan op het effect op de bodemlaag. Dit alles in zowel absolute zin als ten opzichte van een referentie situatie.

Hoofdstuk 4 geeft beknopt de conclusies weer, waarna in hoofdstuk 5 aanbevelingen worden gedaan voor vervolgsenario's op basis van huidige resultaten en voorgaande studies.

## 2 MODELSPECIFICATIES EN SCENARIO'S

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de modelspecificaties en van de te beoordelen scenario's.

### 2.1 Modelspecificaties

In de afgelopen jaren zijn er verschillende versies geweest van het slibmodel. Het model is continu in ontwikkeling en is op verschillende parameters gekalibreerd en verbeterd. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de verschillende versies en de parameters en locaties waarop de tabel is gekalibreerd.

Tabel 2.1. Overzicht van de ontwikkeling van het Delft3D model van het Markermeer en bijbehorende versies (datum 13 augustus 2013).

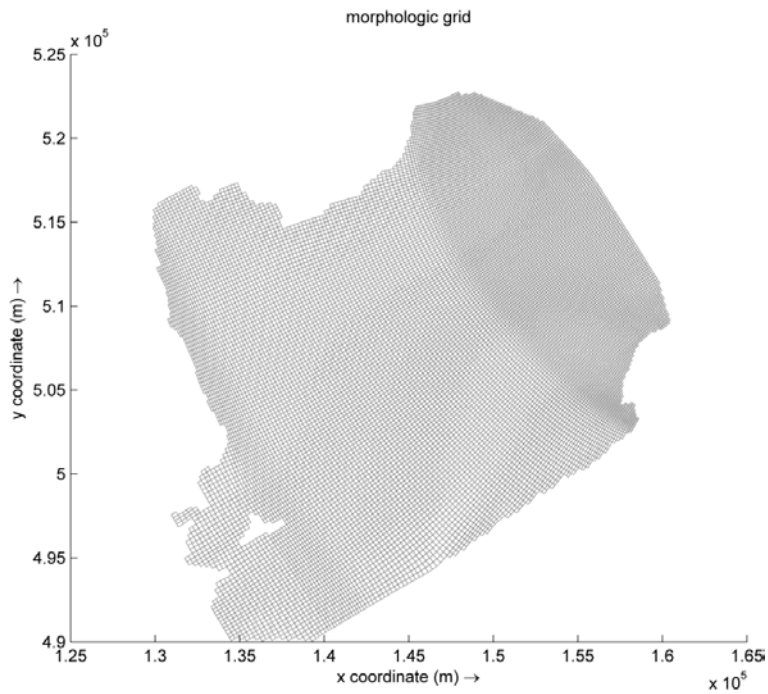
Versie	Jaar	Versie component	Karakteristieke aanpassingen aan model	Kalibratie en prestatie model			
				Hele meer	NH kust buiten invloed luwtestructuur	NH Kust rondom luwtestructuur	Putten
1.0	2007	Flow 3.55 Waq 4.52	- Fetch benadering voor golven (Brettschneider) - tauC 0.10/0.05	Ja: golfhoogte en slib Nee: stroomsnelheid Validatie data: meetpalen FL42/FL411 (2008-2009 ) en Remote sensing (2006)	nee	nee	Deels: Aanslibbing Vaargeul Amsterdam Lemmer
2.0	2011	Flow 3.55	- Spectrale golfmodellering (SWAN) - SWAN en Flow ontkoppeld (geen golf gedreven stroming) - bodemschuifspanning Flow & Swan via Matlapscript -> Delwaq - waarden voor kritische bodemschuifspanning fors verhoogd - tauC 0.30/0.20	Ja: golfhoogte en slib ok Ja: stroomsnelheid slechte fit Validatie data: meetpalen FL42/FL411 (2011-jan 2012 )	Ja: golfhoogte en slib ok Ja: stroomsnelheid slechte fit Validatiedata : meetpaal FL50 (2011-jan 2012 )	Ja: golfhoogte, stroomsnelheid en slib ok Validatiedata: meetpaal FL51-54	Nee
3.0	2011 2012	Flow-Wave 3.55	Extra tov 2.0: - SWAN en Flow <i>gekoppeld dus inc.</i>	Idem Specifiek gekeken naar	Idem Specifiek gekeken	idem	Nee

			golf gedreven stroming - bodemschuifspanning uit Flow - waarden voor kritische bodemschuifspanning terug naar waarden versie 1.0 (tauC 0.10/0.05)	stroomsnelheden, geen verbetering fit	naar stroomsnelheden, geen verbetering fit		
4.0	2012 2013	Flow-Wave 5.01 (64bits) Delwaq 5.0	Extra tov 3.0: -verbetering WAVE (koppeling Flow-Swan)	Nee Geen verbetering fit stroomsnelheden	Nee Geen verbetering fit stroomsnelheden	Nee	Nee
4.1	Aug2013	Idem	-Extra tov 4.0: - opnieuw processen stroomsnelheidsmetingen - hercalibratie slibmodel nodig (agv nieuwe WAVE versie?) - verhoging kritische (bodemschuifspanning tov v1.0 (tauC 0.14/0.08)	-Fit stroomsnelheidsmetingen sterk verbeterd (door data) -Validatie slib FL41 en FL 42 Validatie data: meetpalen FL42/FL411 (2008-2009 ) en RS met 'n scheef oog	Nee	Nee	Nee

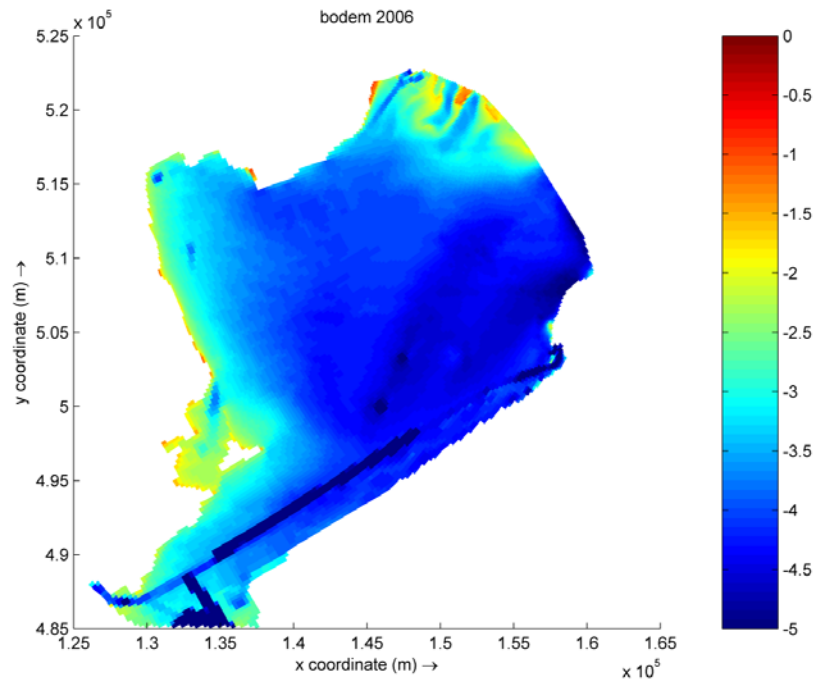
Om onderlinge vergelijking eenvoudig te houden zijn hier de randvoorwaarden en uitgangspunten voor de verschillende berekeningen uiteengezet, zodat de invloed van de verschillende maatregelen goed kan worden vergeleken.

- Voor verdere berekening is "Delft3D-model: versie 4.1" gebruikt. Als basis dient het in 2009 ontwikkelde Delft-3D slib-model (Van Kessel et al., 2009). Dit model is voor het project NMIJ gekalibreerd door Deltares (Boderie et al., 2012), in dit model wordt gekoppeld gerekend wat betreft flow en waves. Voor de golven wordt SWAN gebruikt. In versie 4.1 is de kritische bodemschuifspanning aangepast (verhoogd tov 4.0) aan de nivo's van de bodemschuifspanning van het gekoppelde Flow-Wave model). In versie 4.1 is het volgende geobserveerd:
  - o Slibconcentraties op de meetpalen FL42 en FL42 (data 2008-2009) zijn conform metingen
  - o Ruimtelijke patronen slib lijken in overeenstemming met remote sensing patronen (2006)
  - o Er is minder luwte en minder sedimentatie aan de luwtezijde (dus westelijk) van luwtestructuren voor de NH kust t.o.v. versie 1.0 (strijklengte benadering) als gevolg van golven die om de structuur heen lopen (dat gebeurt niet in de strijklengte benadering (Brettschneider))

- De uitkomst van de gekoppelde flow en waves som wordt gebruikt als invoer voor Delft-3D Water Quality (DELWAQ). Deze module berekent de zwevendstof concentraties, ofwel het slibgehalte.
- Voor alle berekeningen wordt hetzelfde rekengrid gebruikt. Dit om consistentie te verkrijgen tussen alle berekeningen en onderlinge vergelijking eenvoudiger te maken. Dit rekengrid heeft een algemene celgrootte van 200 x 200 m op het midden van het meer. Bij de Noord-Hollandse kust en langs de Houtribdijk is een verfijning aanwezig met een celgrootte van ongeveer 150 x 150 m. Figuur 2.1 geeft het oorspronkelijke grid weer.
- Als bodeminvoer is de situatie van 2006 het uitgangspunt. Deze bodem is eerder gebruikt, zo ook voor kalibratie van het model (Boderie et al., 2012). Figuur 2.2 geeft de bodemligging weer.
- Voor ruwheid is gekozen om de ruwheden gebaseerd op schelpenkaarten te gebruiken zodat de ruwheid ruimtelijk varieert en overeenkomt met de gekalibreerde versie van het model. De schelpenkaarten zijn gebaseerd op ruimtelijke opnames uit 1999-2000 (Noordhuis, 2010)
- Voor windstatistiek is gekozen voor het jaar 2006 vanwege de representativiteit voor de afgelopen 20 gemeten jaren. Deze representativiteit is belangrijk, wanneer namelijk gekozen wordt voor een rustig of extreem jaar zal dit tot een scheef beeld leiden wat betreft het effect van de maatregelen. Bovendien zijn alle scenario berekeningen sinds de ontwikkeling van het model gemaakt op basis van 2006 meteorologie (Vijverberg en Boderie, 2009). Deze 2006 wind is gemeten op locatie Berkhout en is daarmee een landwind. Het model is gekalibreerd op een open-water wind. Deze is echter niet beschikbaar voor de gewenste periode. Mogelijk leidt de toepassing van een landwind tot een onderschatting van de slibconcentraties. Als invoer in het model wordt een uurgemiddelde toegepast.
- Voor het waterpeil op het meer wordt het huidige streefpeil opgelegd. Het winterpeil (21 september tot en met 20 maart) is NAP -0,40 m. Het zomerpeil (21 maart tot en met 20 september) is NAP -0,20 m. Op de overgang zit een periode van twee weken om het nieuwe peil te bereiken.
- Voor beoordeling van de scenario's op basis van winter en zomerwaarden wordt voor de zomer het zomerhalfjaar gekozen: 1 april tot en met 30 september en voor de winter het winterhalfjaar: 1 oktober tot en met 31 maart.



Figuur 2.1: Te gebruiken rekenrooster



Figuur 2.2: Bodemhoogte in m t.o.v. NAP zoals gemeten in 2006, geprojecteerd op oorspronkelijk rekenrooster



## 2.2 Scenario's

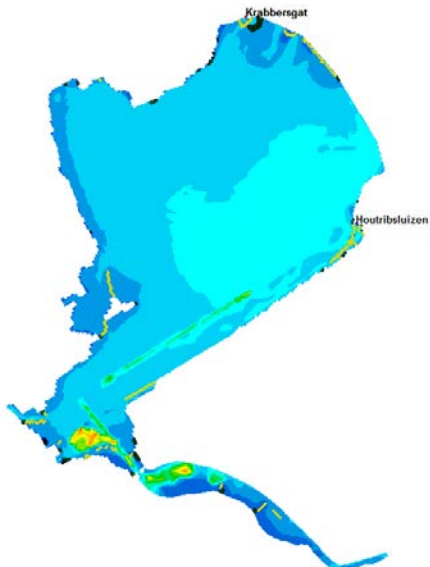
Met het model zijn verschillende scenario's doorgerekend van maatregelen in het Markermeer. Dit zijn andere scenario combinaties dan de berekeningen van vorig jaar. In dit rapport worden de volgende scenario's behandeld:

- Scenario 1: Huidige situatie zonder enige maatregelen
- Scenario 2: Luwtestructuren in Hoornse Hop (conform MIRT variant dammen West) en 500 ha Moeras + verdiepingen behorend bij 500 ha moeras (eerste fase MarkerWadden).
- Scenario 3: Luwtestructuren in Hoornse Hop (conform MIRT variant dammen West), luwtestructuren op Enkhuizerzand en 5000 ha Moeras + verdiepingen behorend bij 5000 ha Moeras (eindsituatie MarkerWadden)

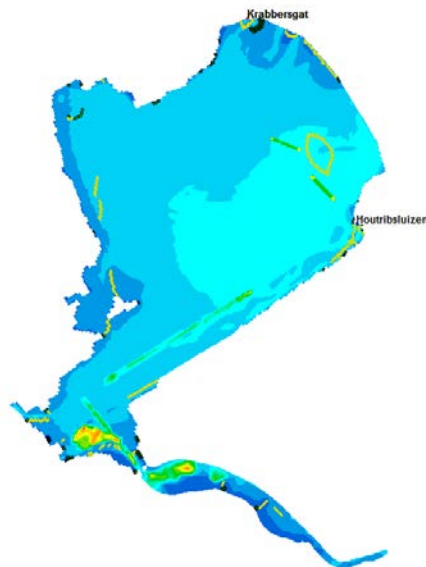
De schematisaties van de scenarios in het Delft3D model zijn weergegeven in figuur 2.3.

De totale oppervlakte van het moeras in het model in scenario 3 is minder dan de eindsituatie van MarkerWadden (5000ha). Doordat aan de noordzijde de luwtestructuren zijn gepositioneerd, en de oost en westzijde zijn begrenst door het projectgebied van MarkerWadden, kon het moeras niet verder worden uitgebreid in het model. De totale oppervlakte ligt tussen de 4000 en 5000 ha in het model.

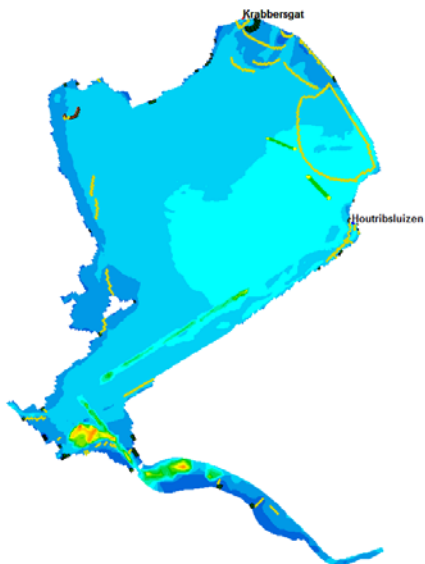
scenario 1: huidige situatie



scenario 2: luwtestructuren Hoomse Hop en 500 ha Moeras + verdiepingen



scenario 3: luwtestructuren Hoomse Hop en Enkhuizerzand, 5000 ha Moeras + verdiepingen



Bathymetry [m]



Figuur 2.3: Overzicht verschillende scenario's en bodemhoogte

### 3 RESULTATEN

Om het effect van de maatregelen op de slibhuishouding te bepalen zijn de volgende parameters beoordeeld:

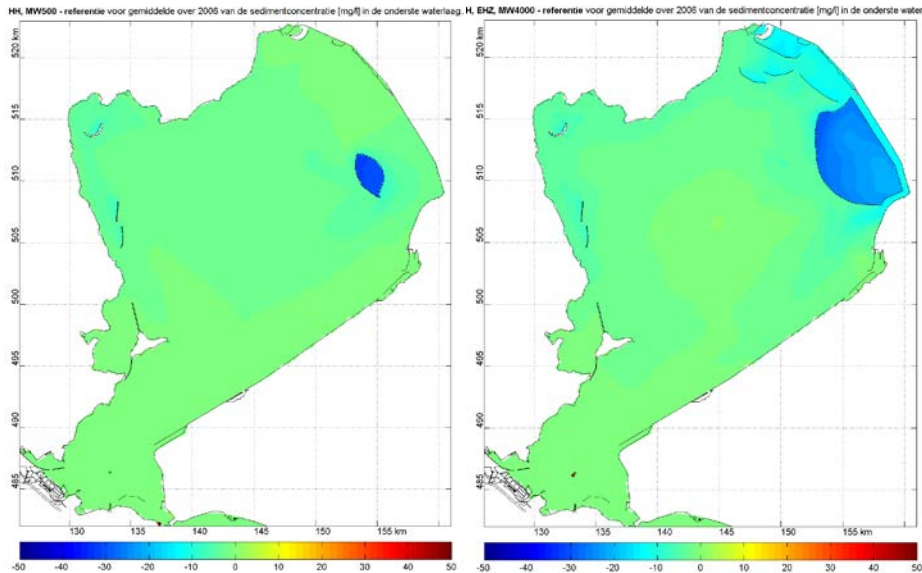
- Gemiddelde slibconcentratie in waterkolom nabij de bodem (jaargemiddeld, gemiddeld over de zomerperiode, gemiddeld over de winterperiode) (mg/l)
- Verschil (absoluut) met referentie van de gemiddelde slibconcentratie in waterkolom nabij de bodem (jaargemiddeld, gemiddeld over de zomerperiode, gemiddeld over de winterperiode) (mg/l)
- Veranderingen in het simulatiejaar bodemlaag (kg/m<sup>2</sup>)
- Verschil (absoluut) met referentie, Veranderingen in het simulatiejaar bodemlaag (kg/m<sup>2</sup>)
- Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in het voorjaar
- Verschil met referentie, Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in het voorjaar

Om figuren in het rapport te beperken zijn model-resultaten opgenomen in de bijlagen.

#### 3.1 Slibconcentratie

De effecten van de scenario's zijn in eerste instantie bekeken op basis van de gemiddelde slibconcentratie nabij de bodem gedurende het hele jaar. In appendix A zijn de gemiddelde waarden voor de 3 scenario's weergegeven. In appendix B zijn de verschillen ten opzichte van de referentiesituatie geplot, zie ook figuur 3.1. Op basis van deze resultaten kan het volgende worden geconcludeerd over de verschillende maatregelen:

- In de huidige situatie is de gemiddelde jaarlijkse slibconcentratie nabij de bodem in het midden van het meer ongeveer 45 tot 50 mg/l. Naar de randen wordt dit minder: nabij de Houtribdijk is dat ongeveer 40 mg/l, nabij de Noordhollandse kust (Hoornse Hop) en in het IJmeer is dat ongeveer 30 mg/l.
- De beide scenario's met maatregelen zorgen voor een verlaging van de jaarlijks gemiddelde slibconcentratie, voornamelijk aan de randen van het meer. Scenario 3 zorgt voor een lichte verhoging van de gemiddelde slibconcentratie in het midden van het meer.
- Voor Scenario 2 is de gemiddelde verlaging beperkt. Aan de Noordhollandse kust is ten gevolge van de luwtestructuren een gemiddelde verlaging van maximaal 5 mg/l te zien. Aan de luwtezijde (noordkant) van het MarkerWadden moeras is ook een lichte gemiddelde verlaging te zien van 5 tot 10 mg/l. De verlagingen van de concentraties zijn groter bij scenario 3, maar de maatregelen hebben ook van een grotere schaal. Aan de noordzijde (luwtezijde) van de structuren op het Enkhuizerzand en het MarkerWadden moeras is de gemiddelde verlaging van de concentratie in de orde van 10 tot 15 mg/l. De gemiddelde toename van de slibconcentratie in het midden van het meer is orde 5 mg/l. Deze verhoging wordt veroorzaakt doordat de grootschalige circulatiestroming meer richting het midden van het meer wordt gedrukt door zowel de luwtestructuren op het Enkhuizerzand, als het MarkerWadden moeras



Figuur 3.1: Verschil met referentie (scenario 1), gemiddelde slibconcentratie nabij de bodem (jaargemiddeld) (mg/l), links: scenario 2, rechts: scenario 3

De resultaten van de gemiddelde slibconcentraties zijn ook voor een zomerseizoen en een winterseizoen apart bekeken, zie bijlagen C, D, E en F. Over het algemeen ontstaat een zelfde beeld als bij de jaargemiddelde resultaten. De verschillen zijn als volgt:

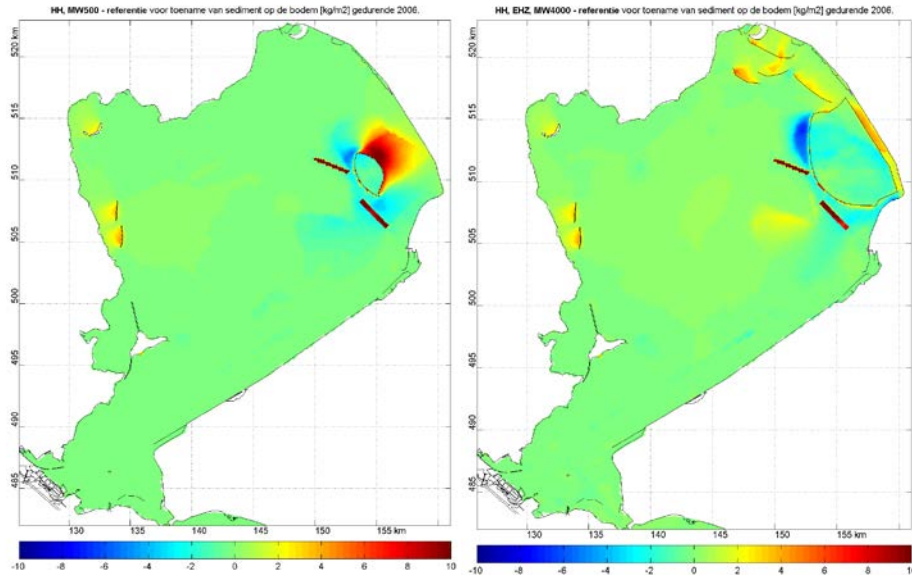
- In de huidige situatie tijdens de zomerperiode is de gemiddelde slibconcentratie aan de bodem in het midden van het meer ongeveer 34 tot 38 mg/l. Tijdens de winterperiode is de gemiddelde slibconcentratie aan de bodem in het midden van het meer ongeveer 55 tot 60 mg/l. De slibconcentraties tijdens de zomerperiode zijn een kleine factor 2 lager dan tijdens winterperiodes. Dit beeld kwam ook naar voren uit de vorige studie, (Van den Berg et al, 2012). Het verschil in slibconcentratie is een gevolg van het verschil in windklimaat. Tijdens de zomerperiode komen lagere windsnelheden voor en wisselt de windrichting vaker dan in de winterperiode. Als gevolg zijn golven en stroming lager en komen beide minder lang aaneengesloten uit één richting. Dit leidt tot lagere slibconcentraties.
- Zowel gedurende de winter als de zomerperiode is voor beide scenario's een verlaging van de gemiddelde slibconcentratie te zien. Het netto verschil ten opzichte van de huidige situatie is lager tijdens de zomerperiode dan tijdens de winterperiode. Voor scenario 2 is een gemiddelde verlaging te zien van ca 5 mg/l in de zomer en een gemiddelde verlaging van ca 10 mg/l in de winter in de luwtezones van de lamellen en het Markerwadden moeras. Scenario 3 veroorzaakt een gemiddelde verlaging van ca 5 tot 10 mg/l in de zomer en een gemiddelde verlaging van ca 10 tot 20 mg/l in de winter.
- Het patroon van de verlaging van de slibconcentraties is voor beide scenario's in de zomer en winter gelijk aan het jaargemiddelde. Scenario 2 laat een verlaging zien van de slibconcentratie in het midden van het meer en langs de randen bij de maatregelen. Scenario 3 laat een lichte verhoging zien van de

slibconcentratie in het midden van het meer en een verlaging langs de randen bij de maatregelen.

### 3.2 Verandering van de bodemlaag (S2)

De verandering van de hoeveelheid sediment in de bodemlaag gedurende het simulatie jaar en het verschil met de referentiesituatie worden weergegeven in bijlagen G en H. Uit deze resultaten kunnen de volgende conclusies getrokken worden over de verschillende scenario's.

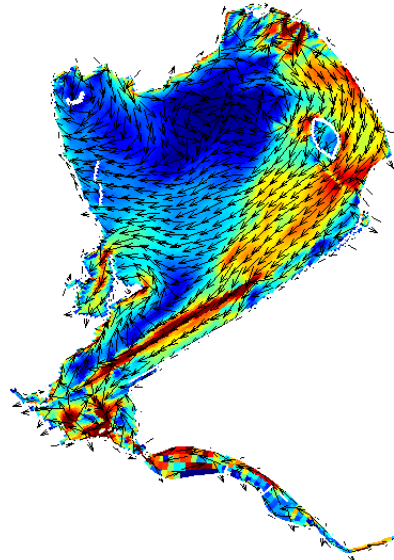
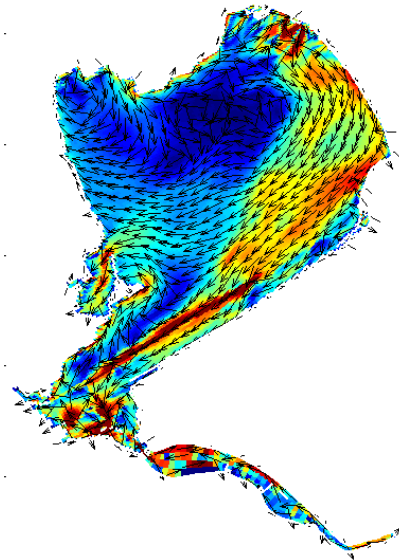
- In de huidige situatie treedt sedimentatie op in het oostelijke deel van het Markermeer en in het IJmeer, o.a. ter plaatse van de vaargeul. Ook treedt er sedimentatie op in de Gouwzee.
- De maatregelen van scenario 2 veroorzaken meer sedimentatie in vergelijking met de huidige situatie. Op enkele locaties treedt erosie op. Er treedt sedimentatie op achter de luwtestructuren als gevolg van golfluwte en verminderde stroomsnelheid. Ten zuidwesten van het Markerwadden moeras treedt erosie op. De stroming wordt geblokkeerd door het Markerwadden moeras, waardoor de stroming zich concentreert langs de randen van het moeras, zie figuur 3.3. Daarnaast speelt golfwerking hier een rol. In de verdiepingsgeulen treedt sedimentatie op, ca 10 kg/m<sup>2</sup> gedurende een simulatiejaar. Ten noordoosten van het Markerwadden moeras treedt sedimentatie op als gevolg van golfluwte.
- De maatregelen van scenario 3 veroorzaken op een aantal locaties sedimentatie en op enkele locaties erosie. Een duidelijk patroon van sedimentatie is zichtbaar achter de luwtestructuren, als gevolg van golfluwte en verminderde stroming. Ten noordoosten van het Markerwadden moeras vindt sedimentatie plaats als gevolg van golfluwte.
- Ten westen en ten zuiden van het Markerwadden moeras treedt erosie op als gevolg van geconcentreerde stroming rondom het moeras, zie figuur 3.3 in combinatie met golfwerking. In het midden van het meer en ten zuidwesten van het moeras treedt lichte sedimentatie op. Deze sedimentatie is waarschijnlijk het gevolg van de verhoogde slibconcentratie in het midden van het meer.



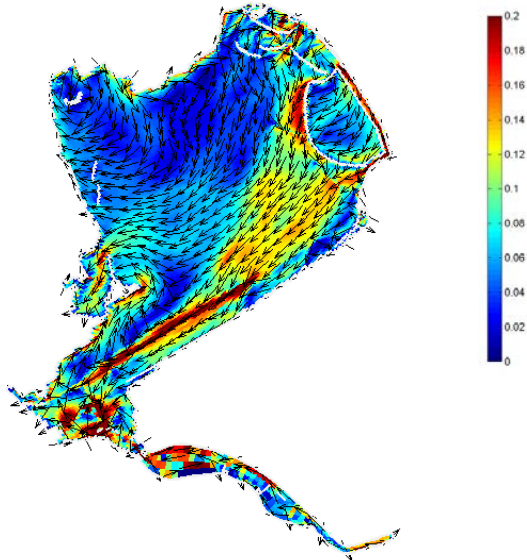
Figuur 3.2: Verschil met referentie (scenario 1), verandering van de bodemlaag (jaargemiddeld) (kg/m<sup>2</sup>), links: scenario 2, rechts: scenario 3

scenario 1: huidige situatie

scenario 2: luwtestructuren Hoomse Hop en 500 ha Moeras + verdiepingen



scenario 3: luwtestructuren Hoomse Hop en Enkhuizerzand, 5000 ha Moeras + verdiepingen



Figuur 3.3: Horizontale stroomsnelheid aan de bodem [m/s] voor verschillende scenario's tijdens stormcondities (5-12-2006 00:00)

### 3.3 Percentage licht aan de bodem

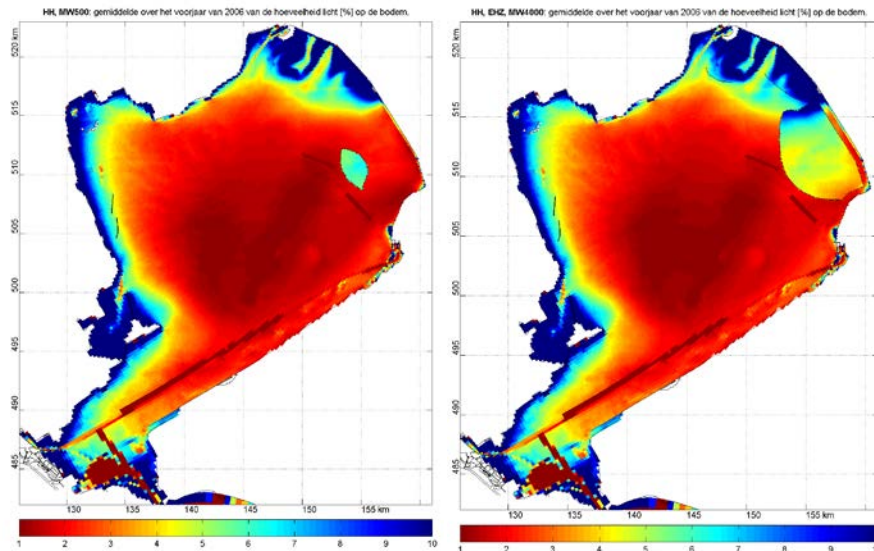
Een verbetering (verlaging) van de gemiddelde slibconcentratie aan de bodem hoeft nog niet te betekenen dat dit positieve effecten heeft voor de ecologie. Hiervoor is voornamelijk het percentage licht aan de bodem belangrijk. Waterplanten kunnen pas tot ontwikkeling komen bij voldoende licht (minimaal 5 a 6 %) aan de bodem. Vooral de diepte speelt hierin een belangrijke rol.

Om deze reden zijn de modelresultaten ook geanalyseerd op het aspect percentage licht aan de bodem. Appendix I laat het % licht aan de bodem, gemiddeld over het voorjaar zien. Er is gekozen voor het voorjaar, omdat dit de periode in het jaar is waarin de waterplanten tot ontwikkeling komen. Appendix J laat de gemiddelde verschillen zien ten opzichte van de referentie situatie. De volgende zaken vallen op:

- In de huidige situatie is het percentage licht aan de bodem in het midden van het meer ongeveer 1 tot 2%. Ter plaatse van de ondieptes bij Enkhuizerzand en de Gouwzee is het percentage licht aan de bodem relatief hoog, variërend van 4 tot 10%. Aan de randen van het meer neemt de hoeveelheid licht aan de bodem snel toe. Als gevolg van de ondiepte langs de randen kan het licht verder doordringen naar de bodem. Over een horizontale afstand van ongeveer 2 tot 6 km langs de noord- en oostelijke rand van het meer neemt het percentage licht aan de bodem toe van ongeveer 3 tot 10 %. Deze gradiënt is niet zichtbaar langs de zuidoostelijke rand, de oorzaak ligt erin dat de bodem hier op diepte ligt tot aan de rand;
- De maatregelen van scenario 2 veroorzaken een verhoging van het percentage licht aan de bodem, als gevolg van de verminderde slibconcentratie. Dit effect is het grootst aan de randen van het meer. Achter de luwtestructuren wordt de hoeveelheid licht aan de bodem met ongeveer 1% verhoogd. Verder is er een lichte verhoging van het licht aan de bodem zichtbaar rondom de

verdiepingsgeulen van het moeras. Het effect van de verlaging van de slibconcentratie op de hoeveelheid licht op de bodem is bij deze verdiepingsgeulen minder groot als gevolg van de grotere waterdiepte. In de verdiepingsgeulen zelf is de hoeveelheid licht aan de bodem verlaagd, als gevolg van een grotere diepte.

- De maatregelen van scenario 3 veroorzaken een grotere verhoging van de hoeveelheid licht aan de bodem dan de maatregelen van scenario 2. Dit wordt vooral veroorzaakt door de luwtestructuren ter plaatse van Enkhuizerzand. Een combinatie van een verlaging van de slibconcentratie en de ondiepte van het gebied zorgt hier voor een verhoging van de hoeveelheid licht aan de bodem met 1 tot 3%. Verder treedt ter plaatse van de luwtestructuren langs de Noord-Hollandse kust een verhoging van de hoeveelheid licht op met ongeveer 1%. Rondom de verdiepingsgeulen treedt een lichte verhoging op van de hoeveelheid licht aan de bodem met ongeveer 0.5%.
- De verhoging van de hoeveelheid licht aan de bodem heeft enkel een positief effect op waterplanten indien hierdoor een percentage van minstens 5 a 6% wordt bereikt. De luwtestructuren langs de Noord-Hollandse kust verhogen de hoeveelheid licht aan de bodem met 1% tot ca 5 a 6%. Als gevolg van deze luwtestructuren breidt het gebied waar waterplanten een kans krijgen zich te ontwikkelen uit. De luwtestructuren bij het Enkhuizerzand verhogen de hoeveelheid licht met 1 tot 3% naar 6 tot 10%. De lichtcondities in dit gebied waren al redelijk gunstig, waardoor het gebied waar waterplanten zich kunnen ontwikkelen zich niet verder uitbreidt. De luwtestructuren dragen wel bij aan de toename van de hoeveelheid licht in dat gebied. De lichte verhoging van de hoeveelheid licht rondom de verdiepingsgeulen zorgt slechts voor een hoeveelheid licht aan de bodem van ongeveer 2% en is niet voldoende om een positief effect op de waterplanten te kunnen genereren.



Figuur 3.4: Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in het voorjaar, links: scenario 2, rechts: scenario 3

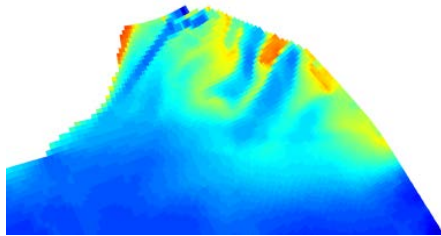


De resultaten van de hoeveelheid licht aan de bodem zijn ook gemiddeld voor een zomerseizoen en een winterseizoen weergegeven., zie bijlagen K,L , M en N.

### 3.4 Stroming en golven rondom luwtestructuren Enkhuizerzand

De luwtestructuren rondom Enkhuizerzand in scenario 3 hebben mogelijk een effect op de scheepvaart. Vanaf het Naviduct bij Enkhuizen loopt een scheepvaargeul in zuidwestelijke richting. De luwtestructuren blijven buiten deze geul, echter wordt de stroming wel afgebogen door deze constructies.

Een hoge stroomsnelheid kan problemen geven voor scheepvaart, met name dwarsstroming kan een belemmering vormen voor scheepvaart. In deze analyse is de stroming bodem in de waterkolom beschouwd. Golven zijn in deze analyse niet in beschouwing genomen.

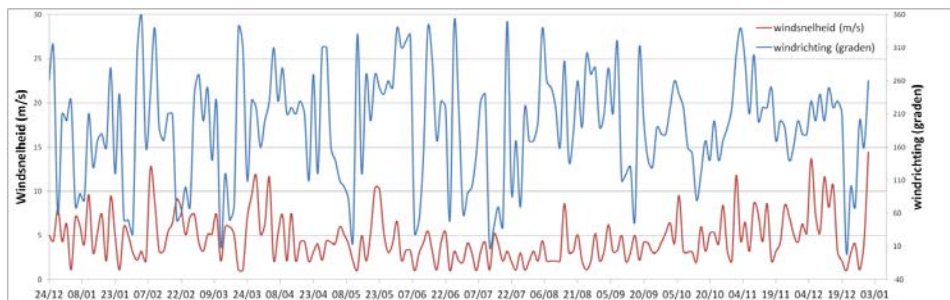


Figuur 3.5: Locatie van de vaargeul nabij Enkhuizerzand

De windrichting is een bepalende factor voor het stroombeeld. Afhankelijk van de windrichting ontstaat er een circulaire stroming met een bepaalde richting. Voor de vier verschillende windrichtingen is een maatgevende situatie beschouwd (hoge windsnelheid), zie tabel 3.1.

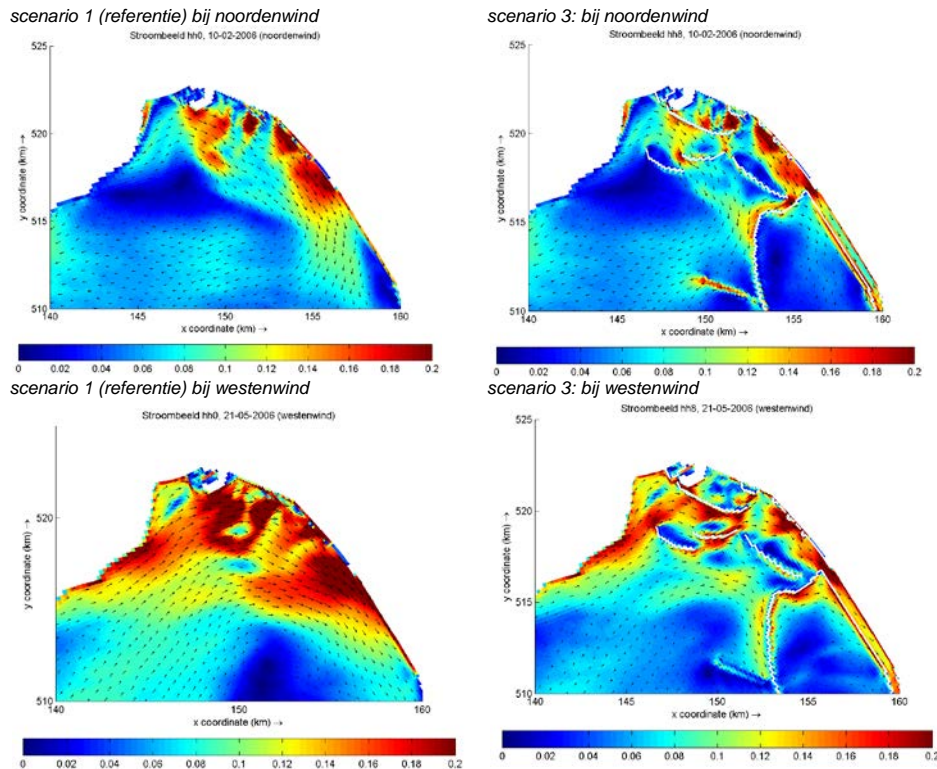
Tabel 3.1. Beschouwde situaties stroombeeld Enkhuizerzand

Windrichting	Datum	Windsnelheid (m/s)	Windrichting (graden)
Noord	10/02/2006	8.8	340
Oost	07/01/2006	6.1	90
Zuid	26/10/2006	8.4	170
West	21/05/2006	10.4	270



Figuur 3.6: Windsnelheid (m/s) en windrichting (graden), 2006

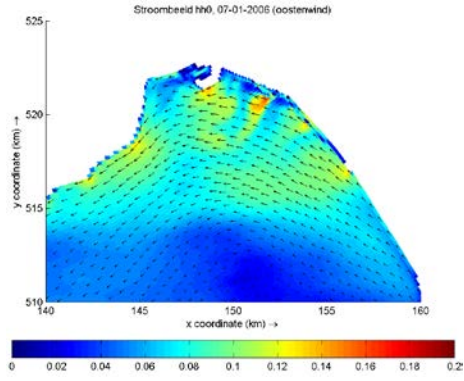
Er ontstaat een circulaire klok waartse stroming voor een wind uit het noorden en het westen. Het stroombeeld in de vaargeul blijft voor deze situatie nagenoeg gelijk, zie figuur 3.7.



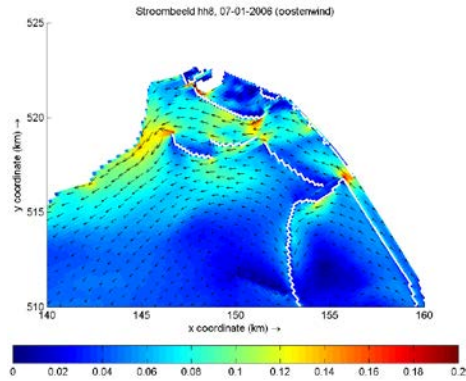
Figuur 3.7: Stroombeeld Enkhuizerzand bij klok waartse circulaire stroming

Voor wind uit het zuiden en oosten ontstaat een circulaire anti-klokwaartse stroming. Hierbij is de stroming nabij het Enkhuizerzand naar het westen gericht en verandert het stroombeeld bij de vaargeul. Ten westen van de meeste zuidelijke luwtestructuur ontstaat een dwarsstroming van ca 0.15 – 0.16 m/s. Er moet echter wel worden opgemerkt dat deze situaties gelden voor een hoge windsnelheid en als gevolg daarvan dynamische condities op het meer. Onder normale omstandigheden zal de windbelasting veel minder zijn en zullen daardoor de stroming en de effecten van de luwtestructuren minder zijn. Het is verder de vraag of schepen bij sterke windcondities (stormen) nog kunnen varen op het meer.

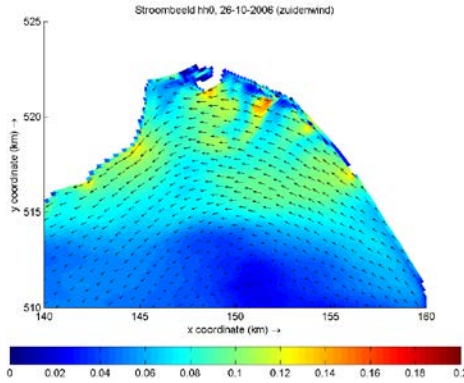
scenario 1 (referentie) bij oostenwind



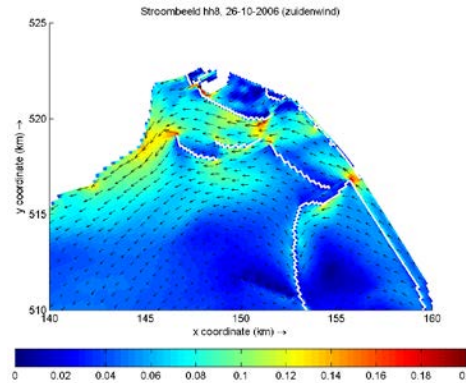
scenario 3: bij oostenwind



scenario 1 (referentie) bij zuidenwind



scenario 3: bij zuidenwind



Figuur 3.8: Stroombeeld Enkhuizerzand bij anti klok waartse circulaire stroming

## 4 CONCLUSIES

Uit deze studie kunnen de volgende conclusies worden getrokken

- Scenario 2 en scenario 3 veroorzaken beiden een verlaging van de gemiddelde slibconcentratie aan de bodem. Dit effect is vooral zichtbaar aan de randen, achter de luwtestructuren en ten noordoosten van het moeras.
- De verlaging van de slibconcentratie aan de bodem heeft een positief effect op het percentage licht aan de bodem. Het percentage licht aan de bodem is een belangrijke factor voor waterplanten om tot ontwikkeling te komen tijdens het voorjaar (concentraties van minimaal 5 a 6% zijn nodig). De luwtestructuren bij Enkhuizerzand in scenario 3 veroorzaken het grootste effect op de percentages licht als gevolg van de ondiepte. Hier komen concentraties licht aan de bodem voor van 6 a 10% in het voorjaar. De luwtestructuren in de Hoornse Hop veroorzaken een lichte verhoging van de concentratie licht aan de bodem, hier komen concentraties voor van 5 a 6% in het voorjaar. Als gevolg kunnen waterplanten tot ontwikkeling komen achter de luwtestructuren. Een mogelijk negatief effect voor de ontwikkeling van waterplanten is de sedimentatie die plaatsvindt op dezelfde locatie.
- Het moeras in scenario 2 veroorzaakt een lichte verlaging van de slibconcentratie rondom het moeras. Het moeras in scenario 3 veroorzaakt een behoorlijke verlaging van de slibconcentratie ten noordoosten van het moeras. Beide verlagingen van de slibconcentraties hebben echter niet voldoende effect om een effectieve verhoging van de concentratie licht aan de bodem te veroorzaken. Dit wordt veroorzaakt door de grotere waterdiepte (ca 4 m.) rondom het moeras, hierdoor kan het licht moeilijk doordringen tot aan de bodem. De lichte verlaging van de slibconcentratie in het midden van het meer is ook niet voldoende om de concentratie licht aan de bodem effectief te verhogen.
- Voor scenario 3 hebben de luwtestructuren rondom Enkhuizerzand mogelijk een negatief effect op de stroming in de vaargeul. Er zijn een aantal maatgevende situaties beschouwd, waarbij voor een bepaald stroombeeld een dwarsstroming ontstaat van ca 0.14 -0.16 m/s. Deze situatie komt echter alleen voor bij sterke winden uit het zuiden en oosten. Onder normale omstandigheden zullen de stromingseffecten van de luwtestructuren beperkt zijn.

**Comment [PD1]:** Deze conclusies moeten we nog uitbreiden/beter en duidelijker opschrijven. Ook beter nog aangeven waar wat van belang is. Rond het moeras kijken we eigenlijk helemaal niet naar lichtpercentages, diepte van 4 m is toch niet geschikt voor waterplanten. Maar minder slib kan ook interessant zijn voor andere dingen dan waterplanten. Daarom hoeven wij niet te concluderen dat het moeras zelf geen effect heeft, dat komt straks wel uit de habitat. Wij kijken alleen of het effect heeft op slib. En liever niet alleen bij de bodem maar ook gemiddeld in de waterkolom.

## 5 REFERENTIES

Boderie, P., A. Smale, C. Thiange (2012). *Validation suspended sediment model Markermeer – Version II & Application to silt screen*. Deltares rapport 1201198-010

Gensberger, M., P. Boderie (2009). *Simulaties hydrodynamica & slibtransport scenario's - Toekomstbeeld Markermeer-IJmeer*. Deltares rapport 1200097.007.

Haarman, F. (2011). *Notitie: Hypothese NMIJ 2011*.

Kessel, T. van, G.J. de Boer, and P.M.A. Boderie (2009). *Calibration suspended sediment model Markermeer*. Deltares rapport Q4612.

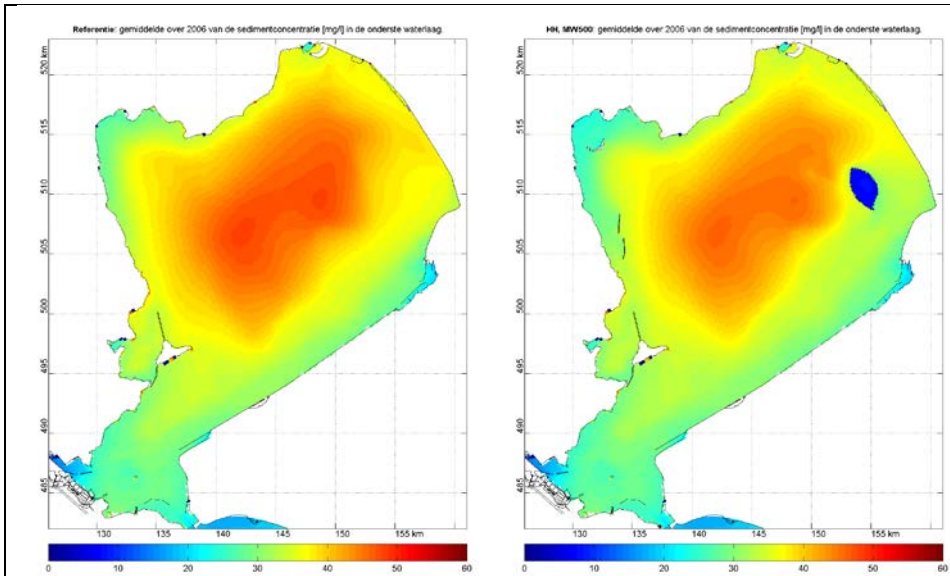
Maarse, M., R. Noordhuis. *NMIJ Factsheet. Vergroten van de dynamiek (Natuurlijker seizoensgebonden peil)*.

Visser, K.P., T. Vijverberg (2010). *Natuurlijk(er) Markermeer IJmeer – Initiële bureaustudie slib 2010*. Royal Haskoning rapport 9V6742.A5.

Vijverberg, T., P. Boderie (2008). *Analyse scenarioberekeningen Markermeer*. Deltares rapport Q4613.

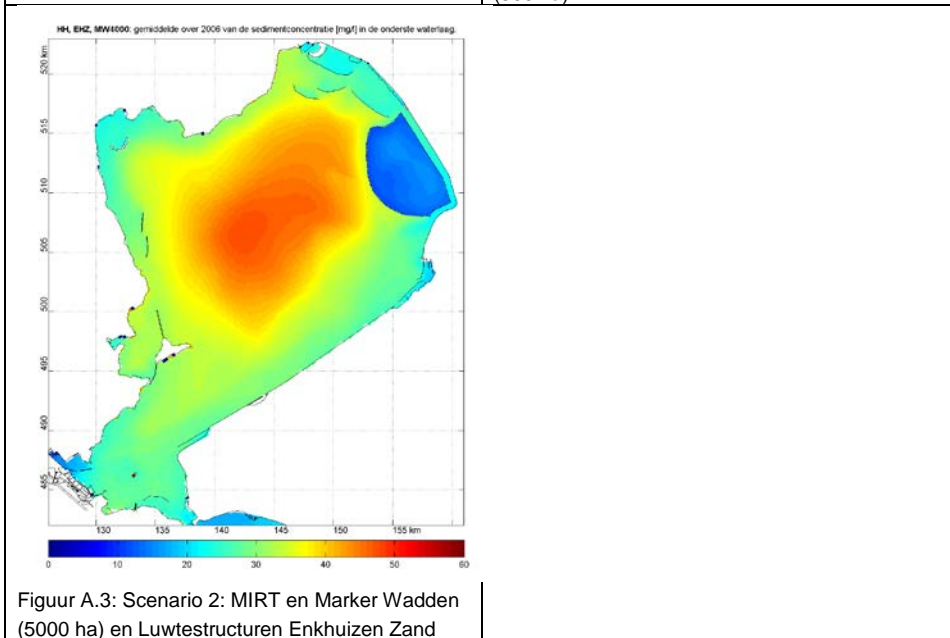
Van den Berg, T., Vijverberg, T. (2012). *Natuurlijk(er) Markermeer IJmeer – Eerste scenarioberekeningen Delft-3D slibmodel versie III*. Royal Haskoning rapport 9V6742.A2.

**BIJLAGE A**  
**Gemiddelde slibconcentratie nabij de bodem (jaargemiddeld) (mg/l)**



Figuur A.1: Scenario 1: Huidige situatie

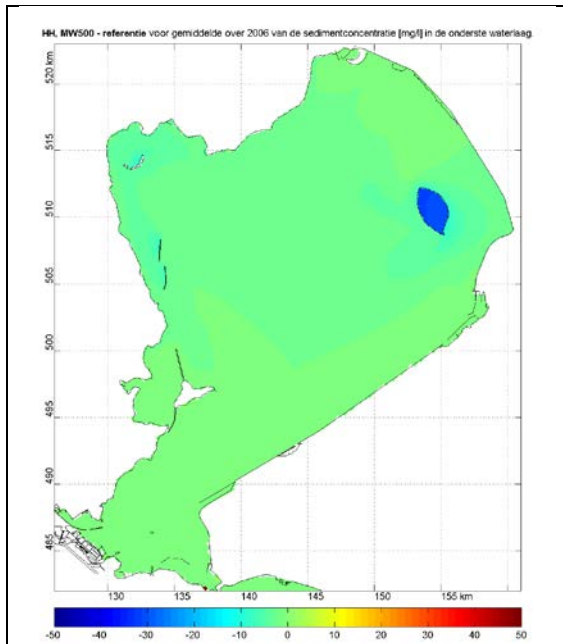
Figuur A.2: Scenario 2: MIRT en Marker Wadden (500 ha)



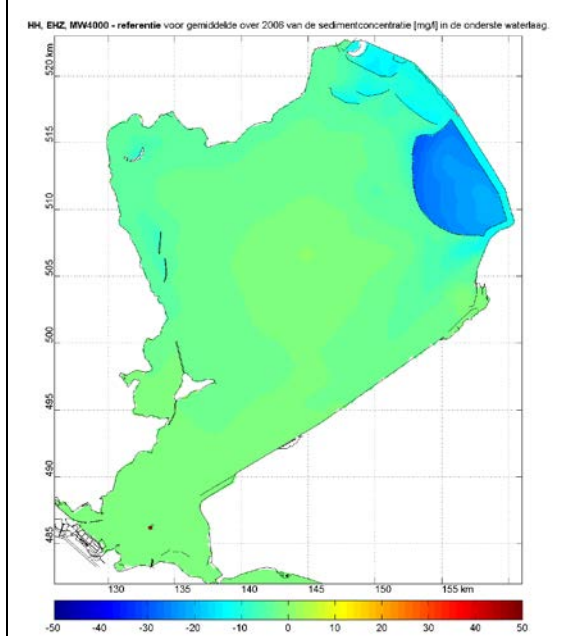
Figuur A.3: Scenario 2: MIRT en Marker Wadden (5000 ha) en Luwtestructuren Enkhuizen Zand

## BIJLAGE B

Verskil met referentie, gemiddelde slibconcentratie nabij de bodem  
(jaargemiddeld) (mg/l)

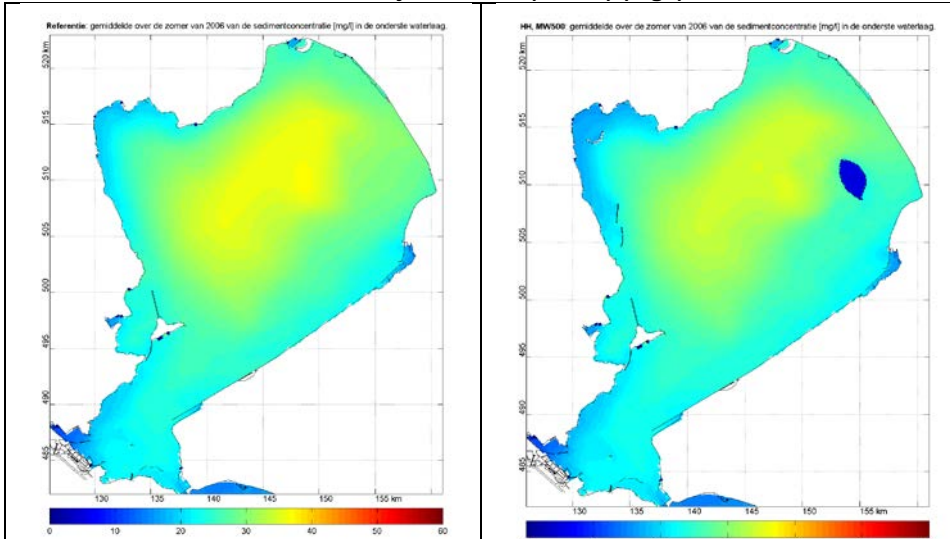


Figuur B.1: Scenario 2 – Referentie



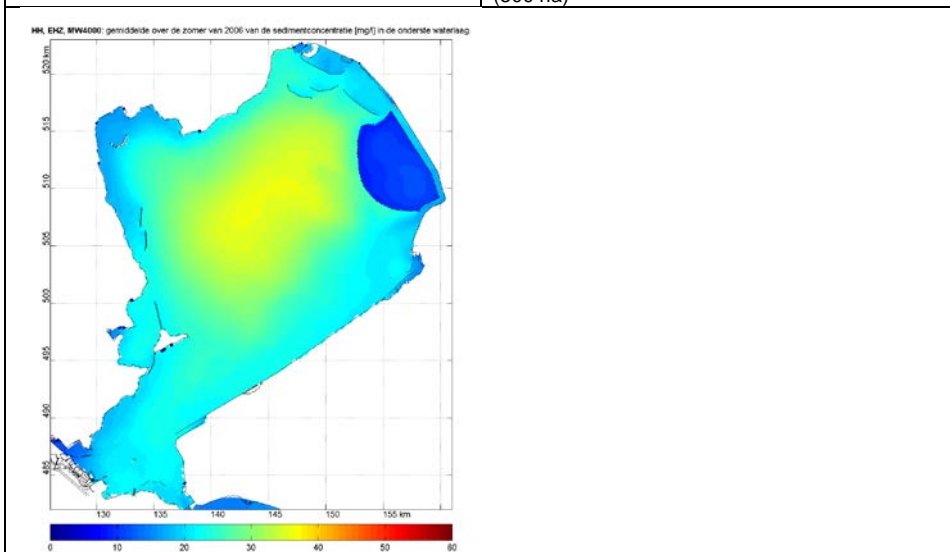
Figuur B.2: Scenario 3 - Referentie

**BIJLAGE C**  
**Gemiddelde slibconcentratie nabij de bodem (zomer) (mg/l)**



Figuur A.1: Scenario 1: Huidige situatie

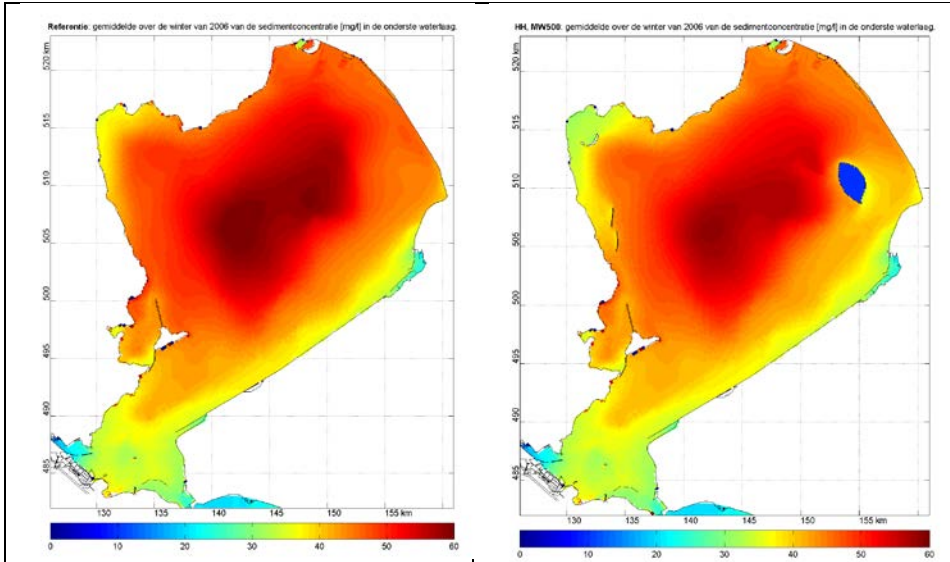
Figuur A.2: Scenario 2: MIRT en Marker Wadden (500 ha)



Figuur A.3: Scenario 2: MIRT en Marker Wadden (5000 ha) en Luwtestructuren Enkhuizen Zand

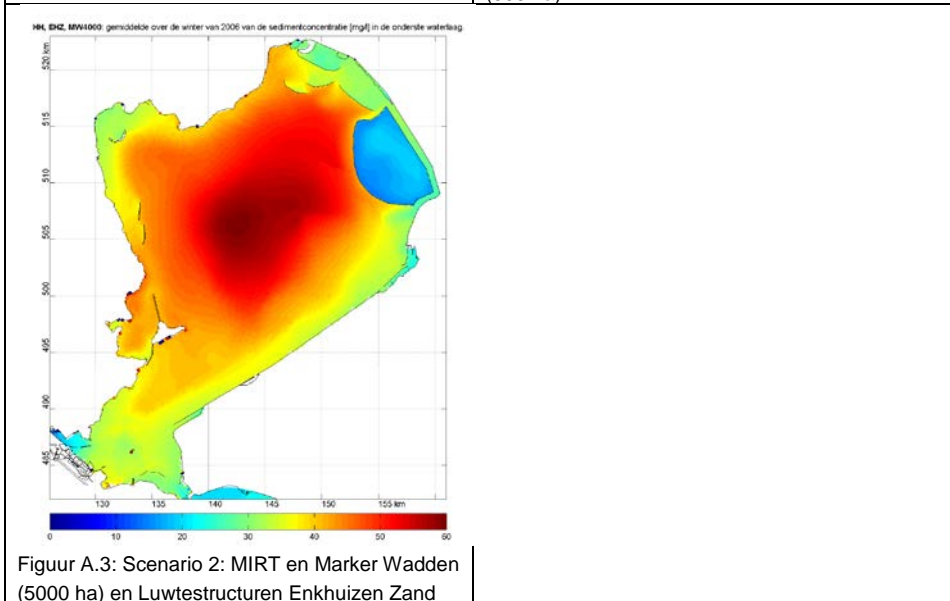


**BIJLAGE D**  
**Gemiddelde slibconcentratie nabij de bodem (winter) (mg/l)**



Figuur A.1: Scenario 1: Huidige situatie

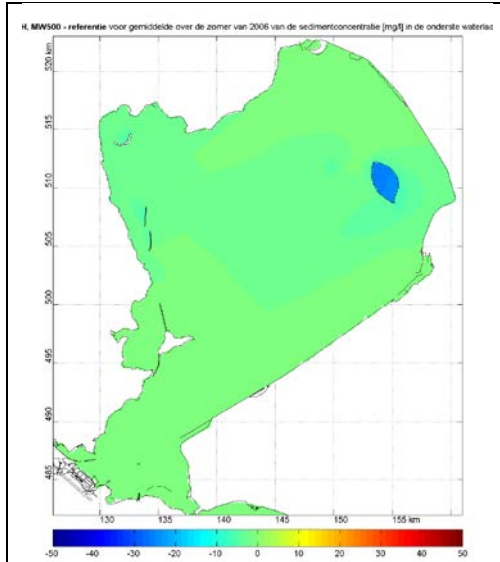
Figuur A.2: Scenario 2: MIRT en Marker Wadden (500 ha)



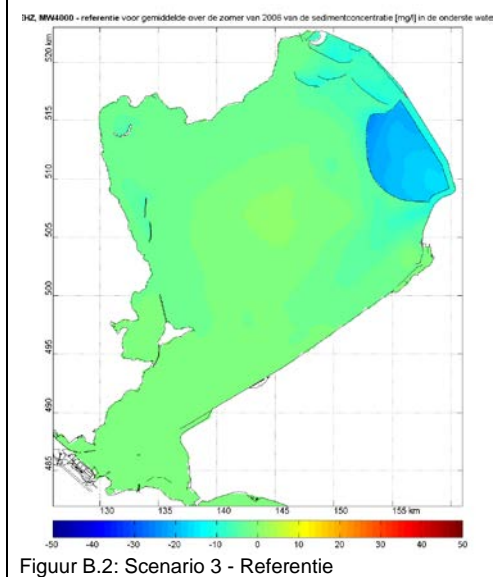
Figuur A.3: Scenario 2: MIRT en Marker Wadden (5000 ha) en Luwtestructuren Enkhuizen Zand

## BIJLAGE E

Vershil met referentie, gemiddelde slibconcentratie aan de bodem (zomer) (mg/l)



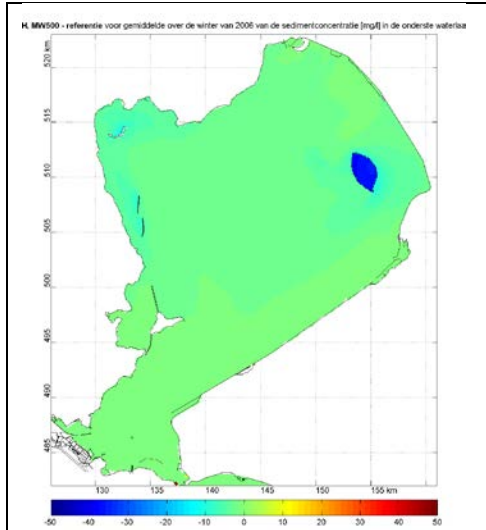
Figuur B.1: Scenario 2 – Referentie



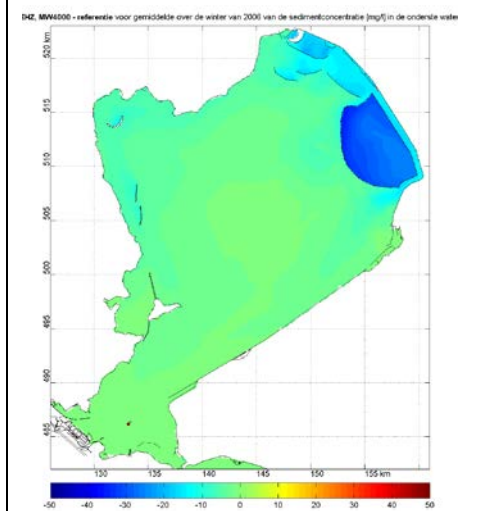
Figuur B.2: Scenario 3 - Referentie

**BIJLAGE F**

Verskil met referentie, gemiddelde slibconcentratie aan de bodem (winter) (mg/l)



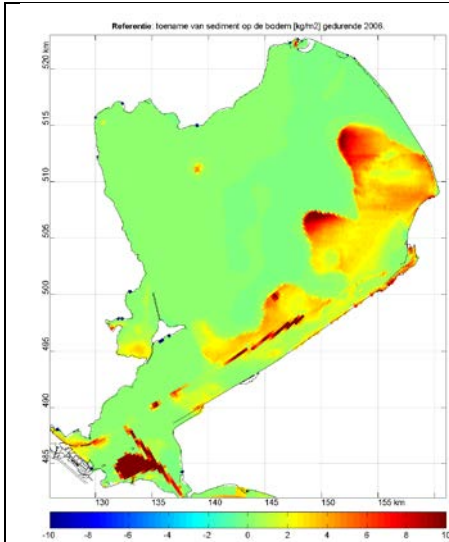
Figuur B.1: Scenario 2 – Referentie



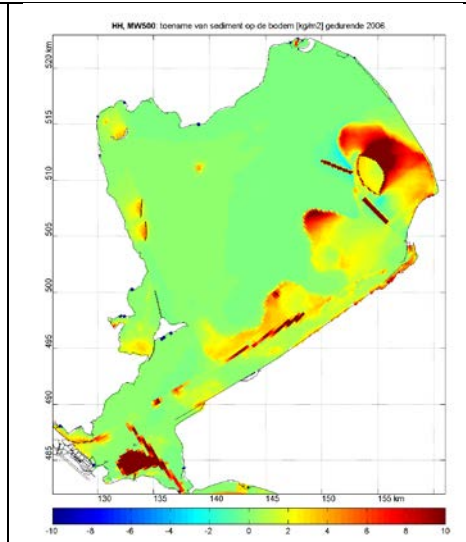
Figuur B.2: Scenario 3 - Referentie

**BIJLAGE G**

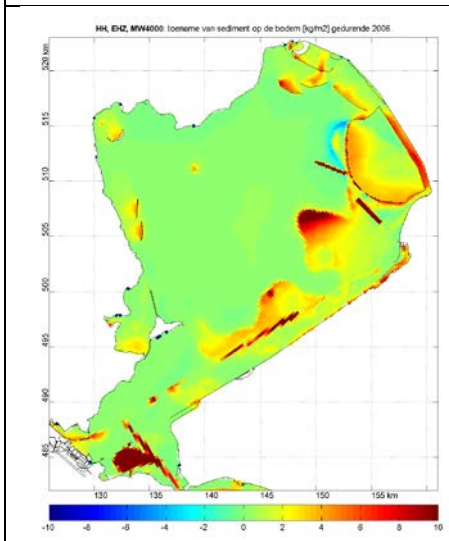
**Verandering in het jaar van de bodemlaag (S2) (kg/m<sup>2</sup>)**



Figuur C.1: Scenario 1: Huidige situatie



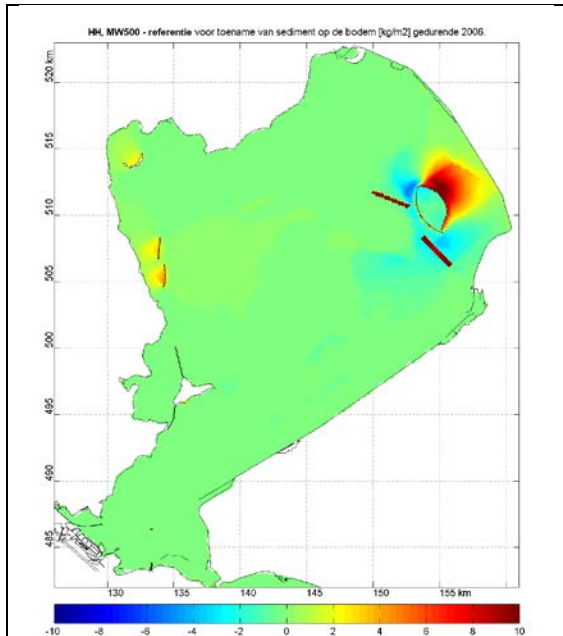
Figuur C.2: Scenario 2: MIRT en Marker Wadden (500 ha)



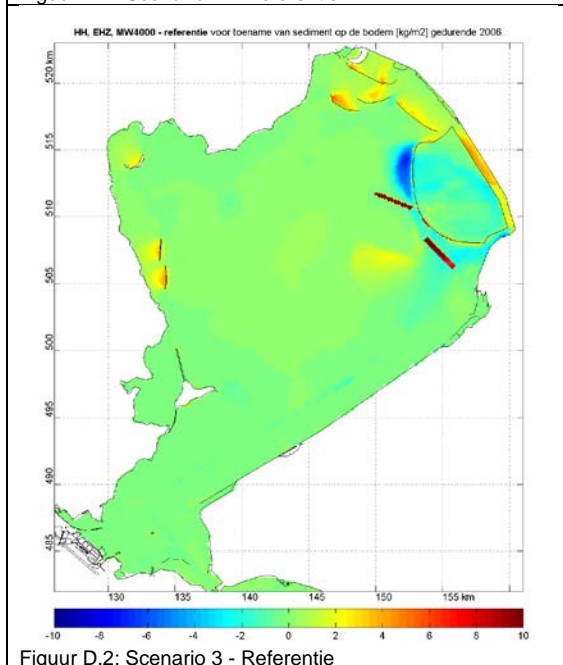
Figuur C.3: Scenario 2: MIRT en Marker Wadden (5000 ha) en Luwtestructuren Enkhuizen Zand

## BIJLAGE H

Verschil met referentie: verandering in het jaar van de bodemlaag (S2) ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

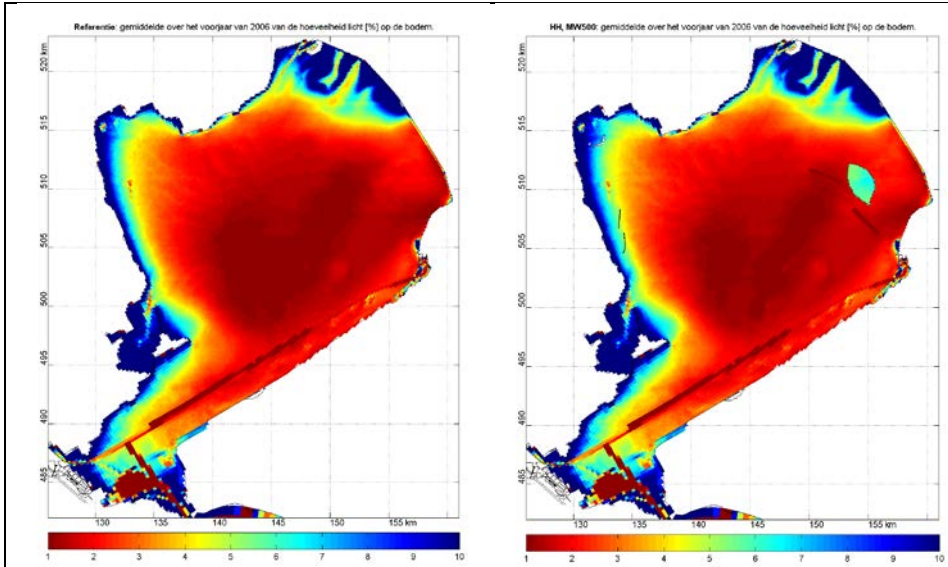


Figuur D.1: Scenario 2 – Referentie



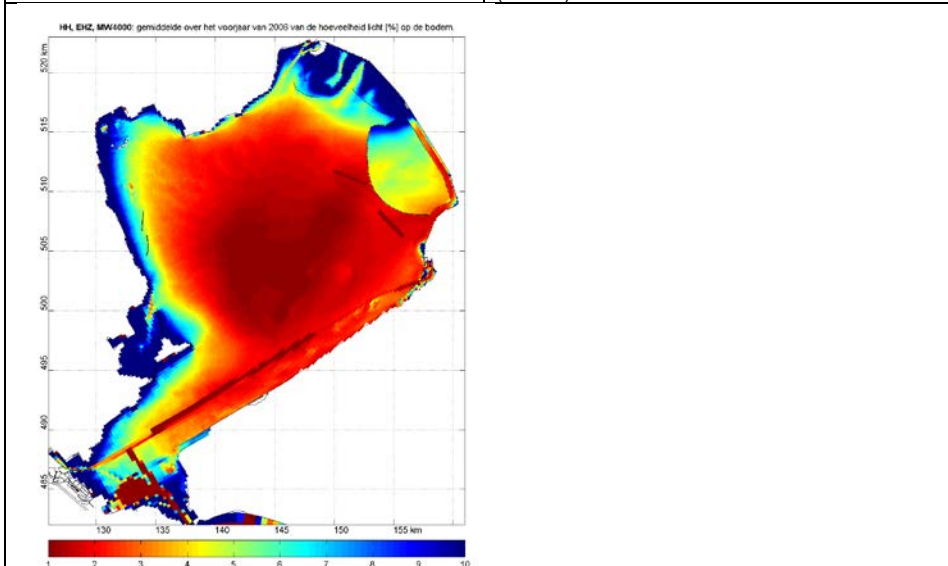
Figuur D.2: Scenario 3 - Referentie

**BIJLAGE I**  
**Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in het voorjaar**



Figuur E.1: Scenario 1: Huidige situatie

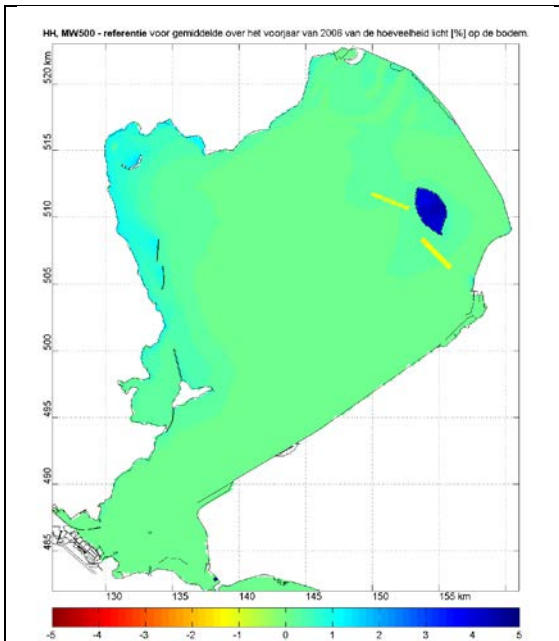
Figuur E.2: Scenario 2: MIRT en Marker Wadden (500 ha)



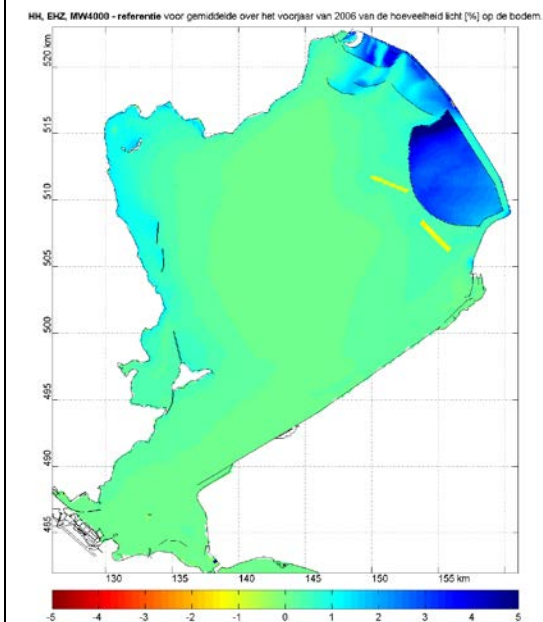
Figuur E.3: Scenario 2: MIRT en Marker Wadden (5000 ha) en Luwtestructuren Enkhuizen Zand

## BIJLAGE J

Verskil met referentie, Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in het voorjaar

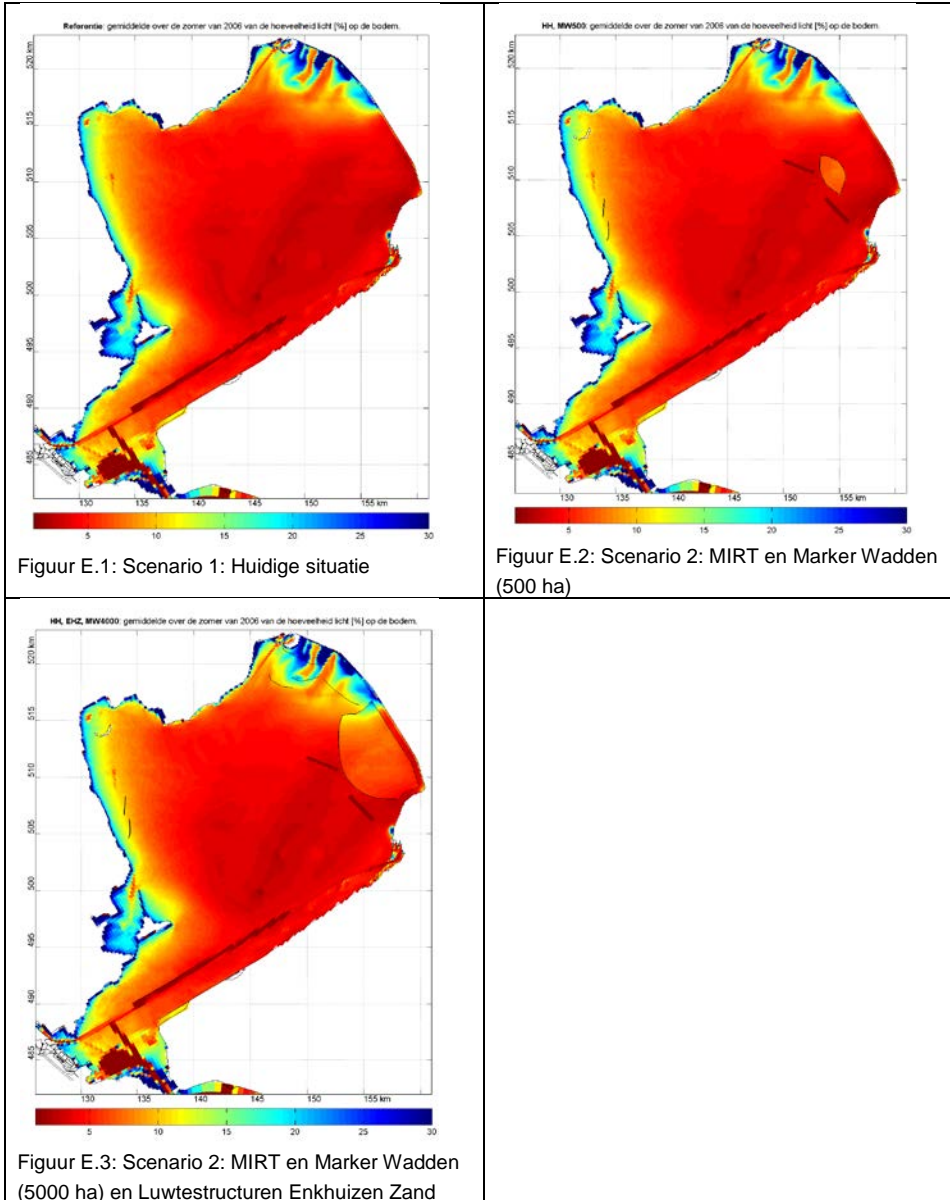


Figuur F.1: Scenario 2 – Referentie



Figuur F.2: Scenario 3 - Referentie

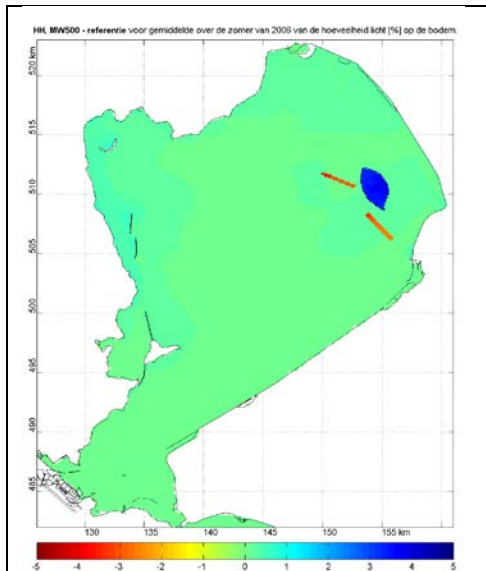
**BIJLAGE K**  
**Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in de zomer**



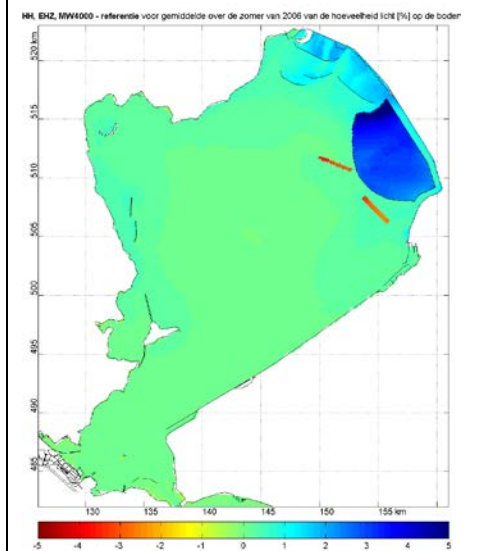


## BIJLAGE L

Verskil met referentie, Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in de zomer

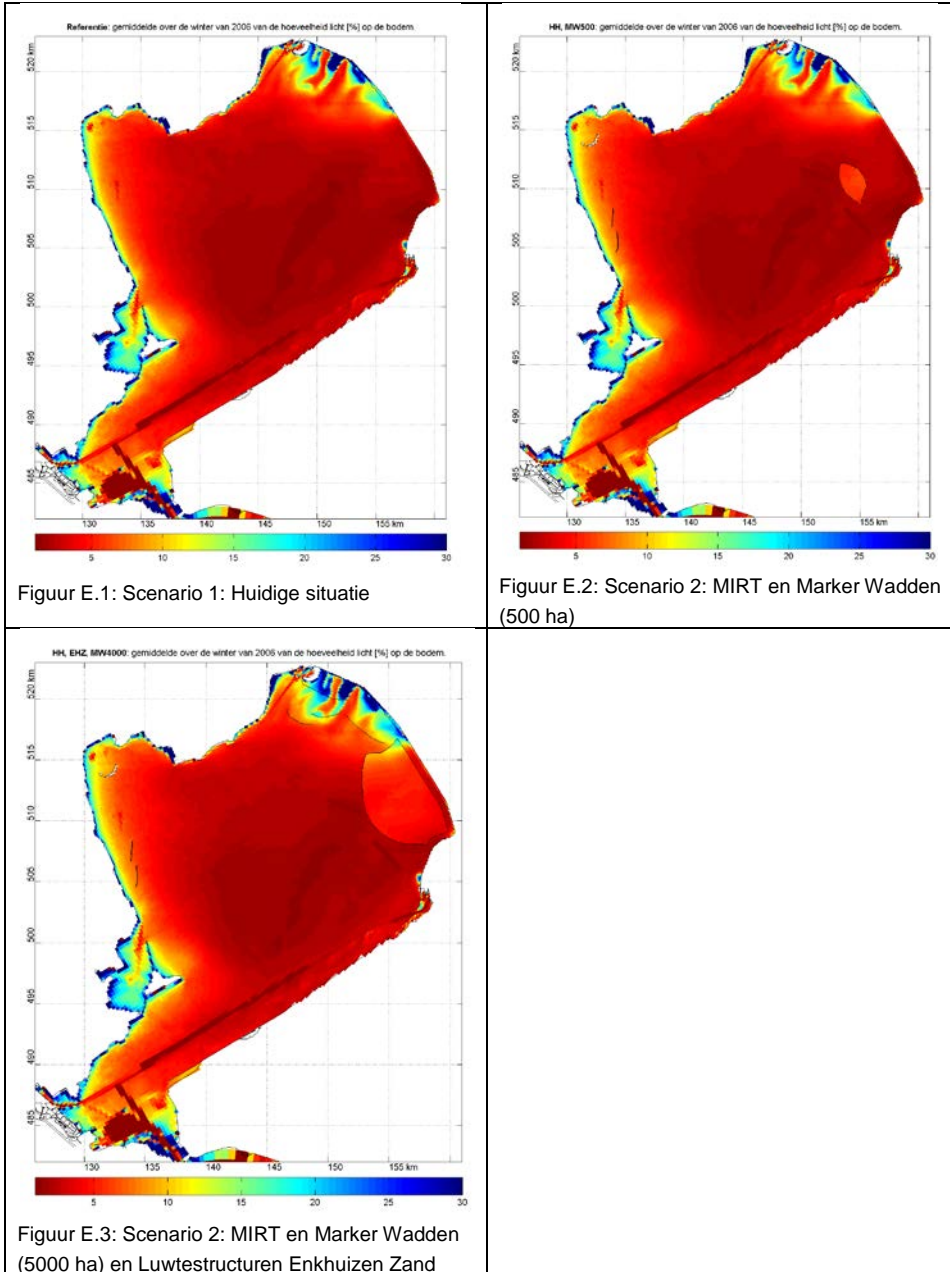


Figuur F.1: Scenario 2 – Referentie



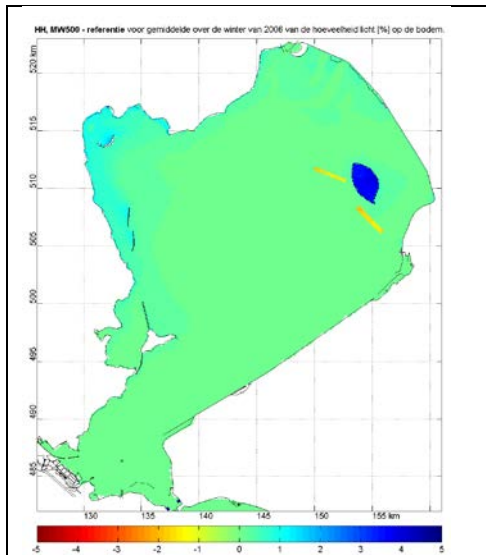
Figuur F.2: Scenario 3 - Referentie

**BIJLAGE M**  
**Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in de winter**

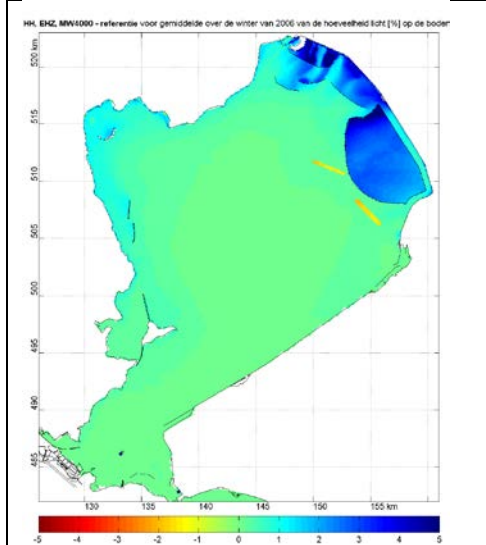


## BIJLAGE N

Verschil met referentie, Percentage licht aan de bodem (%), gemiddeld in de winter



Figuur F.1: Scenario 2 – Referentie



Figuur F.2: Scenario 3 - Referentie