

## Notitie

Aan : Rijkswaterstaat IJsselmeergebied  
Van : Thomas Vijverberg  
Datum : 22 februari 2013 – update september 2015  
Kopie : Archief  
Onze referentie : 9V6742.A2/N0163/903718/BW/Nijm

**Betreft : Update Bureaustudie Slib**

---

### Inleiding

In 2010 is bij de start van het onderzoeksprogramma NMIJ een uitgebreide bureaustudie slib uitgevoerd. Deze studie had als doel om de beschikbare kennis voor het NMIJ programma bijeen te brengen, zodat een up to date beeld zou worden verkregen van de stand van zaken. De bureaustudie was onderverdeeld in twee delen: luwtestructuren en verdiepingen.

In 2011 is een update van de bureaustudie verdiepingen uitgebracht. Nieuwe literatuur, welke in de tussentijd was verzameld over dat onderwerp, werd toen ingevoegd. Vooral ecologische effecten van verdiepingen werden daarin behandeld. Van het thema luwtestructuren is in 2011 geen update uitgebracht, omdat de belangrijkste bron van kennis, het veldexperiment luwtestructuur, op dat moment nog vorm werd gegeven.

Op dit moment is het weer zinvol om voor beide onderwerpen een complete update bureaustudie slib uit te brengen. Deze notitie moet worden beschouwd als update.

### Nieuwe literatuur

Overzicht lijst met nieuwe literatuur en korte samenvatting:

#### *Nieuwe kennis*

##### *1. Lucas Pardo, Miguel de (2013). Fine Sediment Dynamics in Markermeer. PhD thesis TU Delft*

Dit rapport geeft een beschrijving van de dynamica van fijn sediment in het Markermeer. Het doel is inzicht te krijgen in de lange termijn ontwikkeling van de sediment dynamica in het Markermeer. Hiervoor blijkt vooral meer inzicht nodig in de erosie en sedimentatie processen.

Op de bodem van de Markermeer bevindt zich een laag slib van ca. 10 cm bovenop de oude Zuiderzee afzettingen. Deze laag slib is anoxisch en zwart van kleur. Op sommige locaties bevindt zich een okerkleurig oxische zachte (fluffy) laag van enkele mm aan het oppervlak. Deze okerkleurige oxische laag heeft een hoger watergehalte en een hoger organisch gehalte. Op enkele locaties is zelfs een zeer vloeibare oxische toplaag gevonden. Erosie van de fluffy oxische laag is de belangrijkste oorzaak voor de hoge troebelheid in het Markermeer.

Binnen het PhD onderzoek zijn verschillende kleinschalige flocculatie experimenten uitgevoerd. Hieruit volgt dat zwevend materiaal afkomstig van de anoxische laag grotere vlokken vormt en eerder naar de bodem zinkt dan zwevend materiaal afkomstig van de oxische laag.

Daarnaast zorgt een suspensie van anoxisch slib voor een grotere vermindering van de lichtdoordringing dan een suspensie van oxisch slib, maar een mengsel van beide soorten slib veroorzaakt de grootste reductie in lichtdoordringing. Ook de aanwezigheid van Aphanizomenon algen kan een dergelijke reductie van de lichtdoordringing veroorzaken.

Daarnaast is er onderzoek gedaan naar het effect van bioturbatie door meiofauna (organismen  $<1$  mm and  $> 45$   $\mu$ m) op de erodeerbaarheid van het sediment, zie ook (nr 2) hieronder. Dit onderzoek heeft aangetoond dat bioturbatie de erodeerbaarheid van de zachte sliblaag verhoogt. Verder zijn de oude Zuiderzee afzettingen enkel erodeerbaar na de invloed van bioturbatie, wat zou kunnen betekenen dat de sliblaag, zoals die momenteel aanwezig is in het Markermeer bovenop de Zuiderzee afzetting, is ontstaan door erosie van de Zuiderzee afzettingen onder invloed van bioturbatie.

Een eerste analyse laat zien dat de sliblaag van 10 cm inderdaad mogelijk is gecreëerd binnen een aantal jaren na de constructie van de Houtribdijk. De Zuiderzee afzettingen welke daaronder liggen kunnen echter enkel invloed van bioturbatie ondervinden als ze zijn blootgesteld aan zuurstof. Met de zachte sliblaag zoals deze nu aanwezig is bovenop de Zuiderzee afzetting is dit niet het geval. Zuurstof kan hier niet in doordringen. Dit zou betekenen dat in de huidige situatie de zachte sliblaag de Zuiderzee afzettingen beschermt tegen bioturbatie en verdere erosie.

Het effect van bioturbatie is cruciaal in het Markermeer, aangezien bioturbatie zorgt voor de productie van erodeerbaar sediment. Daarnaast zijn het zuurstofgehalte, nodig om de meiofauna te activeren, en de hydrodynamica, belangrijke factoren die de sediment dynamica beïnvloeden. Op korte termijn is erosie en sedimentatie van de fluffy laag van belang, op de lange termijn zal de sediment dynamica bepaald worden door de vorming van een nieuwe fluffy laag vanuit de oude Zuiderzee afzettingen van waaruit erosie zal plaatsvinden. Daarom zal het verwijderen van de fluffy toplaag waarschijnlijke enkel een korte termijn effect geven.

## 2. Bakker, Marieke (2012). *Effect of Bioturbation on the Erodability of Fine Sediments in Lake Markermeer*. MSc Thesis TU Delft

Deze thesis heeft het effect van bioturbatie op de erodeerbaarheid van het fijne sediment in het Markermeer bestudeerd. Het onderzoek is uitgevoerd door middel van erosieproeven in het laboratorium in combinatie met een literatuurstudie.

De erosie experimenten zijn uitgevoerd op sedimentmonsters uit het Markermeer met een U-GEMS microcosm. Biota is verzameld door middel van het zeven van de monsters. De meest voorkomende biota waren *Tubifex* wormen en *Ostracoda*. Verschillende experimenten zijn uitgevoerd op de zachte anoxische sliblaag en één experiment op de Zuiderzee afzettingen. De resultaten toonden aan dat de erodeerbaarheid groter wordt na bioturbatie als een functie van de tijd. Tijdens het experiment met de Zuiderzee afzettingen was er enkel erosie na bioturbatie.

Bioturbatie zorgt ervoor dat de bovenste toplaag losser wordt en daardoor beschikbaar komt voor erosie. Een belangrijk mechanisme is de productie van feces door *Tubifex* wormen. Zij eten het sediment op ca. 10 cm diepte op en scheiden dit uit aan het bodem-water oppervlak. Een ander mechanisme is verstoring van de toplaag door de bewegingen van biota. Belangrijke factoren die bioturbatie beïnvloeden zijn waarschijnlijk temperatuur en zuurstofgehalte. Geconcludeerd kan worden dat bioturbatie de erodeerbaarheid van het sediment in het Markermeer vergroot.

3. *Janssen, A.B.G. (2012). Interactions between Dreissena polymorpha and food quality and quantity in Lake IJsselmeer, MSc Thesis WUR*

Dit rapport is een MSc studie naar de relatie tussen de Driehoeksmossel (Zebra mussel of *Dreissena polymorpha*) en de voedselkwaliteit in het IJsselmeergebied. Dit is een ecologisch rapport en zal niet verder worden beschreven in deze update bureaustudie.

4. *Deltares (2011). Quickscan slibeffecten verbreding gedeelte vaargeul Markermeer (Genseberger)*

In dit rapport wordt verslag gedaan van een quickscan met het slibmodel van het Markermeer naar de effecten van een mogelijke verbreding van de vaargeul Amsterdam-Lemmer op slib in de waterkolom en de bodem. Ook is gekeken naar een andere vormgeving van de luwtestructuren bij de Hoornsche Hop.

In deze studie wordt geconcludeerd dat de verbreding van de vaargeul globaal de hoeveelheid sediment in de waterkolom vermindert als gevolg van het invangen van slib. Hierdoor neemt het doorzicht toe. Ook wordt geconcludeerd dat luwtestructuren lokaal een groot effect hebben op het doorzicht. Deze effectiviteit kan verder verhoogd worden door ontwerpen tot in detail aan te passen.

5. *Deltares (2012). Effecten aanleg luwtestructuren en moerasgebied op Natura 2000 doelen in het Markermeer (Harezlak)*

In opdracht van de Werkmaatschappij Markermeer-IJmeer is er een HABITAT analyse gedaan naar de effecten van een aantal maatregelen in het Markermeer op de te verwachten ecologische kwaliteit.

In deze studie zijn de effecten van de gefaseerd uit te voeren maatregelen op de Natura2000 soorten ingeschat op basis van modelberekeningen met de tool HABITAT en middels expert judgement. De volgende fasen zijn beschouwd:

- Fase I: Aanleg van 3 km luwtestructuren;
- Fase II: Aanleg van 10 km luwtestructuren, 1500 ha moeras en 100 ha vooroever;
- Fase III: Aanleg van 2 km luwtemaatregelen, 1500 ha moeras en 100 ha vooroever en aanleg van een geul;
- Fase IV: Aanleg van 1500 ha moeras en 100 ha vooroever.

De effecten van de voorgestelde maatregelen leiden samen tot een verbetering in ecologische kwaliteit van het Markermeer: de diversiteit aan habitats en de draagkracht voor Natura 2000 en Habitat richtlijnsoorten in het Markermeer nemen toe.

Opvallend is wel dat vooral vogels, die nu ongunstig tot matig scoren op de instandhoudingsdoelen, druk kunnen ondervinden van de voorgestelde maatregelen.

#### 6. Deltares (2011). *Effect peilvariaties op slibdynamiek (Boderie)*

In het voorjaar van 2011 zijn door het Programmabureau Deltaprogramma IJsselmeergebied (DPIJ) vier strategieën ontwikkeld, gericht op de lange termijn peilontwikkeling van het IJsselmeergebied. Deze studie gaat in op de kennisvragen met betrekking tot het thema slibdynamiek in het Markermeer.

Het effect van peilvariaties op de slibdynamiek in het Markermeer is onderzocht met het Markermeer slibmodel, waarmee twee peilvariaties zijn doorgerekend en vergeleken met de huidige toestand.

Er is geconcludeerd dat een lager peil weliswaar leidt tot een hogere slibconcentratie, maar dat dit lokaal toch voor meer licht op de bodem kan zorgen doordat (in ondiepe gebieden) de toename in slibconcentratie meer dan gecompenseerd wordt door een afname in diepte (en vice versa bij een hoger peil). Naar het aspect licht op de bodem is in deze studie niet in detail gekeken.

#### 7. Deltares (2009). *Effecten van peilveranderingen in het IJsselmeer en Markermeer-IJmeer (Meijer et al.)*

Een seizoensgebonden peilbeheer in het IJsselmeergebied, waarbij in het voorjaar het peil hoger wordt opgezet dat in de zomer verder uitzakt, lijkt zowel voor zoetwatervoorziening als voor het versterken van natuurwaarden interessant. In verschillende studies, workshops en beleidsdocumenten is aan dit peilbeheer gerefereerd en gerekend. Aan Deltares is gevraagd te verkennen in hoeverre de wensen ten aanzien van het seizoensgebonden peil vanuit natuur en zoetwatervoorziening en de effecten daarvan op diverse aspecten en gebruiksfuncties, bekend en gekwantificeerd zijn en hoe deze kennis eventueel in vervolgstudies verder is aan te vullen. Dit rapport beschrijft het resultaat van deze inventarisatie. De focus lag daarbij op het IJsselmeer en het Markermeer. De Veluwerandmeren zijn buiten beschouwing gelaten.

Conclusies zijn als volgt:

- Een seizoensgebonden peil kan door inundatie van oeverzones in het vroege voorjaar en het vervolgens weer droogvallen tijdens het groeiseizoen een grotere diversiteit aan vegetatie en daarmee meer diverse habitats bewerkstelligen. Deze versterking van *natuurwaarden* kan in het IJsselmeer en het Markermeer alleen plaatsvinden wanneer ook grootschalige landwaterovergangen worden gerealiseerd.
- Voor *zoetwatervoorziening* verwacht het W+ klimaatscenario een vraag naar extra water waarin door middel van seizoensfluctuaties voorzien kan worden. Hierbij wordt juist gevraagd het peil tot ver in de zomer (juli, augustus) hoog te houden.
- De fysieke belemmeringen die optreden voor diverse *gebruiksfuncties* bij zowel peilverhogingen als –verlagingen zijn redelijk goed bekend, hoewel lokale details nog ontbreken. Over het algemeen geldt dat zoetwaterinlaat onder vrij verval rond het Markermeer bij een peil onder -0,30 m NAP problemen zal gaan opleveren. Daarnaast zal zoetwaterinlaat onder vrij verval rond het Markermeer bij een peil onder -0,30 m NAP problemen gaan opleveren. Effecten op grondwater en kwel lijken beperkt.

*8. Deltares (2012). Wetenschappelijk tussentijds advies 2012 ANT-IJsselmeergebied (Noordhuis en Groot)*

De ANT-IJG studie (Autonome Neerwaartse Trends van watervogels in het IJsselmeer Gebied) heeft eind 2013 geresulteerd in de basis voor een advies over de haalbare en uitvoerbare Natura-2000 doelen voor het IJssel- en Markermeer/IJmeer. Het ministerie van EZ heeft dit advies gebruikt bij de evaluatie van de instandhoudingsdoelen. De projecten ANT en NMIJ adviseren jaarlijks over de voortgang van de kennisontwikkeling. Het ANT eindrapport is in 2014 verschenen. De NMIJ eindrapporten komen in 2015 gereed.

Nieuwe ontwikkelingen zoals de opmars van de Quagga-mossel, in combinatie met een eerste poging tot het kwantificeren van de verschillen tussen gevraagde en aanwezige draagkracht voor mossel- en visetende vogelsoorten, hebben geleid tot de conclusie dat met name bij viseters sprake is van een substantieel tekort aan draagkracht. Hierdoor zullen de huidige doelen zonder aanvullende maatregelen niet voor alle vogelsoorten haalbaar zijn. In het Tussentijds Wetenschappelijk Advies 2012 is geprobeerd het belang van verschillende oorzaken van neergaande ecologische trends te bepalen, de meest relevante oorzaken te identificeren en de mogelijke maatregelen hiermee in verband te brengen.

*9. Deltares (2012). Waterplanten Hoornsche Hop (van Geest en Noordhuis)*

Dit rapport beschrijft de ontwikkeling van waterplanten in de Hoornsche Hop in de jaren tot 2012 en de relatie met de ontwikkeling van mosselen.

*10. Deltares (2012). Uitslagwater Flevoland (Hartnack)*

In 2011 is in het kader van DPIJ door Deltares (Boderie, 2011) gekeken naar de effecten van peilstijging op zoutbelasting van het IJsselmeergebied. Daarbij bleek dat de zoutbelasting van het Markermeer via het gemaal Blok van Kuffeler met name in 2010 verhoogd was ten opzichte van recente voorgaande jaren (2003-2008). Aan Deltares is gevraagd de tabellen en rapportage uit de DPIJ studie aan te vullen met nieuwe gegevens en een korte analyse te maken van de huidige situatie in vergelijking met de tijdelijke gebeurtenissen van 2009 en 2010. Het gaat daarbij naast zout (chloride) ook om de fosfaatvrachten.

De conclusies van deze nieuwe studie wijken niet af van wat is gerapporteerd in de DPIJ studie. Hoewel in de brongegevens als gevolg van validatie (door het Waterschap) op een aantal plaatsen kleine veranderingen zitten ten opzichte van de vorige analyse leidt dat niet tot merkbare veranderingen in de belastinganalyse.

*11. Deltares (2012). Meerwaarde luwtestructuren voor oeverdijk (Smale en Capel)*

In het kader van dit project is onderzocht of de aanleg van een luwtestructuur invloed kan hebben op de afmetingen van de oeverdijk met dezelfde veiligheidseisen. Anders geformuleerd: het gaat hier om het vaststellen van de meerwaarde van luwtestructuren voor het ontwerp van de oeverdijk: wat zijn de kosten van het aanbrengen van de luwtestructuren en tot welke kostenreductie kunnen deze luwtestructuren leiden voor de aanleg van de oeverdijk.

Geconcludeerd wordt dat de aanleg van een luwtestructuur niet tot een kostenreductie van de oeverdijk leidt. Bij het aanleggen van luwtestructuren dient daarnaast mogelijk rekening te worden gehouden met (lichte) erosie van de oeverdijk en daarmee een toename van de aanleg- en onderhoudskosten van de oeverdijk. Nader onderzoek op dit punt is gewenst.

#### *12. Deltares (2012). Synergie veiligheid en Ecologie ( Wichman et al)*

In deze studie is onderzocht of er mogelijkheden zijn om de volgende twee projecten op zo'n manier te integreren, dat er meerwaarde ontstaat. Het betreft:

- (1) De (aanvullende) planstudie naar mogelijke oeverdijk alternatieven voor de dijkversterking tussen Hoorn en Amsterdam.
- (2) De luwtmaatregelen voor de Hoornsche Hop, die worden voorbereid binnen TBES.

De studie is als volgt aangepakt:

Definiëren en simuleren aan de hand van (bestaande) modelberekeningen van een ontwerp waarbij de oeverdijk gecombineerd wordt met een vooroever (de zogenaamde T-variant). Randvoorwaarde is dat het ontwerp de veiligheid even goed dient als de andere (meer traditionele) ontwerpen. Verder moet het ontwerp maximale meerwaarde opleveren voor het bereiken van de TBES doelstellingen, met speciale aandacht voor de zones met helder water.

Vanuit ecologische perspectief is een T-variant met kleinschalige luwtestructuur voor een aantal trajecten zeker kansrijk en waardevol. Echter dan is wel medefinanciering noodzakelijk, vanwege de kosten van de luwtestructuur.

#### *13. Natuurmonumenten (2012). Marker Wadden - Sleutel voor een natuurrijk en toekomstbestendig Markermeer (Olthof en Staal)*

Deze rapportage is een samenvatting van de verdiepingsslag (zie nr. 14.) en de 'tussenstand' van de ideeënontwikkeling van het project Marker Wadden. Marker Wadden beoogt een dubbelslag: een archipel van natuureilanden tussen Enkhuizen en Lelystad als beleefbare en spectaculaire natuur en tegelijkertijd de aanleg van de archipel zodanig uit te voeren dat Marker Wadden het Markermeer van haar ecologische problemen verlost. Essentie is het tegelijkertijd ontwikkelen van een boven- en onderwaterlandschap in het noordoostelijk deel van het Markermeer. Het onderwaterlandschap bestaat uit een stelsel van slenken en slibgeulen waarmee de sliblaag verwijderd kan worden. Dit slib wordt gebruikt als 'bouw materiaal' voor een voedsel- en vogelrijk wetland.

In het rapport wordt een viertal aspecten van Marker Wadden nader uitgewerkt:

1. Hoe moet Marker Wadden gezien worden in het licht van de natuurontwikkeling in het Markermeer als geheel?
2. Op welke manier geeft Marker Wadden invulling aan de Natura 2000 doelstellingen?
3. Is het concept van Marker Wadden haalbaar en betaalbaar?
4. Biedt Marker Wadden voldoende zicht op een dekkende financiering?

In de conclusies van het rapport wordt ingegaan op de locatiekeuze voor Marker Wadden en wordt het belang van het 'onderwater ontwerp' benadrukt.

Verder is het project haalbaar en betaalbaar wanneer ruimte geboden wordt aan innovaties in techniek rond bijvoorbeeld het invangen en tot eilanden verwerken van het slib en het rif dat de eilanden moet beschermen.

14. *Natuurmonumenten (2012). Verdiepingsslag Marker Wadden. Effecten Natura 2000 (Rijsdorp en Fiselier)*

Dit is een rapportage over de effecten van de eerste fase Marker Wadden (1500 ha) op de Natura 2000 doelen voor het Markermeer. Het doel van dit document is om inzichtelijk te maken dat met de realisatie van Marker Wadden het aannemelijk is dat het Markermeer weer in een 'gunstige staat van instandhouding' zal verkeren. Dat wil zeggen dat voor alle doelsoorten het Markermeer weer zodanig geschikt is dat er grotere aantallen van de doelsoorten kunnen voorkomen dan vanuit wetgeving minimaal vereist is.

Uit het rapport wordt het volgende geconcludeerd:

1. Marker Wadden voldoet bij 1500 ha 'moeras' ruimschoots aan de systeemvereisten om de Natura2000 instandhoudingsdoelen te bereiken.
2. Marker Wadden kent een veel bredere en daarmee robuustere aanpak dan de referentie waardoor er veel meer garantie is op succes.
3. Met de tussenfase van 500 ha is er wel sprake van het ombuigen van de negatieve trend maar is er onvoldoende garantie dat de Natura 2000 doelen al worden bereikt.

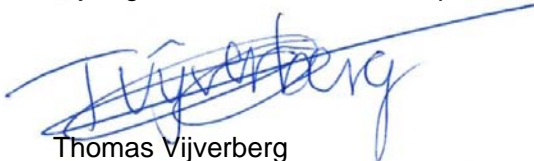
#### *NMIJ rapporten*

15. Deltares (2012). Validation suspended sediment model Markermeer – version III
16. Royal HaskoningDHV (2012). Resultaten veldexperiment luwtestructuur
17. Royal HaskoningDHV (2012). Natuurlijker Markermeer IJmeer. Eerste Scenario berekeningen D3D v3

#### *Publicaties*

19. Artikel in de Ingenieur over het veldexperiment
20. Consistent and efficient particle tracking on curvilinear grids for environmental problems (Postma et al)

Nijmegen, 22 februari 2013 – update september 2015



Thomas Vijverberg