

MEMO

Aan : Rijkswaterstaat IJsselmeergebied
Van : Filip Schuurman en Pascal Boderie
Kopie : Thomas Vijverberg
Dossier : 9V6742-0A2-100
Project : NMIJ
Betreft : Update Bureaustudie Slib 2014

Ons kenmerk : 9V6742-0A2/N0164
Datum : 14 mei 2014 – update september 2015
Classificatie : Klant vertrouwelijk

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 kennis en ervaringen ten aanzien van slib in het Markermeer. In 2011 en 2013 zijn herzieningen uitgebracht waarin nieuwe literatuur en rapporten verwerkt zijn.

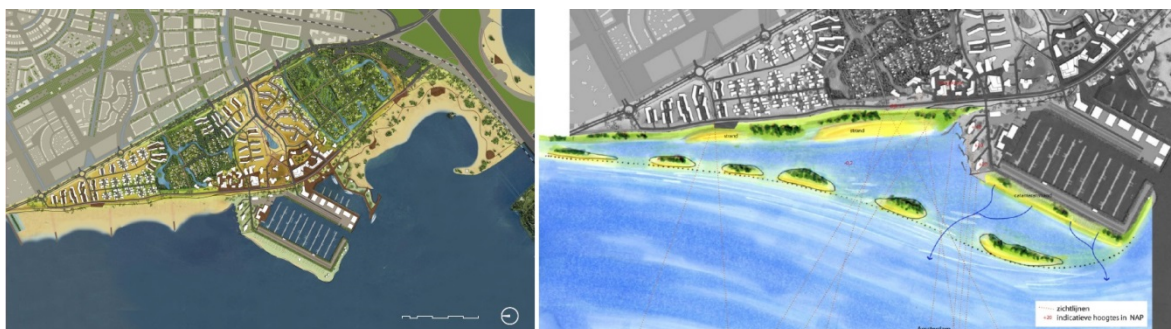
Deze notitie geeft een overzicht van de relevante literatuur en rapporten die in 2013 en begin 2014 zijn gepubliceerd.

Nieuwe literatuur

Hierbij wordt een overzicht gegeven van de nieuwe literatuur en rapporten met een korte samenvatting. Publicaties 3 en 4 zijn de enige nieuwe documenten die de maatregel verdieping behandelen; de overige documenten behandelen de maatregel luwtestructuren.

1. *Stroming (2012), brochure Buitendijkse natuur en zandwinning in Plan Duin: aanleg stabiele duinlichamen, met weinig overlast en veel ecologische winst, Conceptversie.*

Deze brochure beschrijft het plan om langs het IJmeer een duinlandschap met natuurlijke oevers en barrière-eilanden voor de oever aan te leggen (Figuur 1). In de brochure is aangegeven dat de natuurlijke oeverzone als slibvang kan dienen. Hier wordt echter geen onderbouwing of inhoudelijke informatie over gegeven.



Figuur 1. Kaart van Plan Duin langs de westkant van Flevoland (links) met eilanden voor de oever (rechts).

2. *Deltares (2013), notitie Markerzand, T. van Kessel d.d. 31 mei 2013.*

In deze studie is gekeken naar de werking van zandwinning, dus verdieping, in het zuidwesten van het Markermeer. Hierbij wordt een 350 m brede en 12 km lange NZ-georiënteerde geul uitgegraven tot -50 m +NAP.

De modelberekeningen geven aan dat de slibconcentratie boven de verdieping afneemt met ca. 15 mg/l, t.o.v. een jaargemiddelde van 50 mg/l. Binnen enkele km's van de verdieping is de afname van de gemiddelde slibconcentratie ca. 5 mg/l en in het gehele Markermeer ca. 1 á 2 mg/l. De aanslibbingsnelheid wordt geschat op ca. 1 á 1,5 m/jaar. Er wordt wel gewaarschuwd voor een tijdelijke en relatief kleine toename van de slibconcentratie als gevolg van de baggerwerkzaamheden. De modelberekeningen laten ook zien dat de aanslibbingsnelheid in de verdieping afneemt in zuidelijke richting, wat wordt toegeschreven aan de van nature lagere slibconcentratie in het zuiden. Tijdens harde ZW-wind is de absolute slibconcentratie het hoogst en is ook de effectiviteit van de verdieping het grootst.

Verder wordt vermeld dat dichtheidsstromingen en de eigenschappen van het sediment van invloed zijn op de snelheid van aanslibbing. Bovendien wordt vermeld dat een geul minder effectief is voor slibvang dan een put, aangezien een geul stroming door de geul kan aantrekken als de stroming parallel aan de geul is.

3. Deltares (2013), rapport Hydraulische, morfologische en ecologische aspecten van een zandwinput in het IJmeer, reg.nr: 1207978-000-ZWS-0003.

Dit rapport beschrijft de hydrodynamische, morfologische en ecologische effecten van een zandwinput in het IJmeer (nabij Plan Duin, Figuur 1). Het beschrijft de situatie op basis van bodemhoogtemetingen en luchtfoto's. De effecten en advies zijn vooral gebaseerd op expert-judgement en niet onderbouwd met modelberekeningen of experimenten. Een aantal voor slib belangrijke punten uit het rapport:

- Geotechnische berekeningen laten zien dat een taludhelling van de verdieping van 1:3 tot NAP -20 m stabiel is. Voor de zekerheid wordt echter een helling van 1:4 aangeraden voor delen dieper dan NAP -10 m, een helling van 1:7 tussen NAP -5 m en NAP -10 m, en een geleidelijke overgang van het strand naar de zandwinput. Dit laatste is van belang omdat de overgang gevoelig is voor erosie. Een andere mogelijkheid is een harde scheiding tussen het strand en de zandwinput m.b.v. een soort onderwaterdam.
- Een zandwinput (dus verdieping) nabij een haven heeft o.a. als voordeel dat in de haven minder gebaggerd hoeft te worden.
- Door de verbetering van de waterkwaliteit neemt onderwatervegetatie toe. Deze vegetatie, vooral fonteinkruid, nabij of in de haven is echter ongewenst. Mogelijke oplossing is het verdiepen tot minstens 2 m diepte, aangezien het licht dan nauwelijks de bodem kan bereiken (afhankelijk van slibconcentratie). Daarnaast wordt ook het toevoegen van slib als oplossing gezien, aangezien het slib tijdens een storm opwoelt en op de planten wordt afgezet, waardoor de planten doodgaan.
- Verdieping leidt lokaal tot hogere golven en een retourstroming die langs de randen van de verdieping voor een toename van sliberosie zorgen. Echter, dit wordt (gedeeltelijk) tegengegaan door onderwatervegetatie. Daarnaast kan de ruimtelijke variatie in golfhoogte nadelig zijn voor scheepvaart.
- Een bestaande put in het gebied slibt aan, maar de put-bodem is minder vlak dan verwacht, waarschijnlijk door een variatie in bodemsamenstelling. Bovendien heeft de put vrij steile oevers (steiler dan 1:3), waarschijnlijk veroorzaakt of mogelijk gemaakt door onderwatervegetatie.
- Verdieping leidt tot helderder water. Dit geeft echter geen garantie dat er geen drijfslagen van algen aanwezig zijn.

4. HaskoningDHV (2013), rapport Marker Wadden Resultaten Slibberekeningen, reg. nr: BA8757-103-104/R/903718/Nijm.

Dit rapport beschrijft de effecten van Marker Wadden, bestaande uit zandwinputten, een geulensysteem waarin slib ingevangen wordt, en een eiland opgebouwd uit het ingevangen slib. Het ontwerp omvat dus de aspecten verdieping en luwtestructuur. De effecten zijn bepaald op basis van Delft3D-modelberekeningen.

De belangrijkste conclusies zijn:

- De slibvanggeulen werken het meest efficiënt als ze loodrecht op de dominante stroming zijn georiënteerd. Als de geulen parallel aan de windrichting en dominante stroming zijn georiënteerd dan vindt er stroomversnelling plaats in de geul, waardoor de effectiviteit voor slibvang afneemt. Hierdoor is een rechte, goedgeoriënteerde geul efficiënter dan een gekromde geul.
- Een enkele geul is efficiënter dan meerdere parallelle geulen: de middelste geulen vangen minder slib in dan de buitenste geulen.
- Op basis van de modelberekeningen wordt geconcludeerd dat in de geulen ca. 300.000 – 800.000 m³/jaar slib ingevangen kan worden.
- Het eiland zorgt voor een luwtegebied tussen het eiland en de Houtribdijk. Hierdoor vindt sedimentatie plaats. Deze sedimentatie is qua omvang 2-4 keer groter dan in de geulen. Luwte is vooral gebaseerd op golfuwte, aangezien dominante golfrichting vanuit ZW is.
- Langs het eiland treedt stroomversnelling en erosie op. Stroomversnelling is ca. 0.2 m/s.
- Direct boven de geulen is de slibconcentratie lager doordat slib bezinkt. De gemiddelde verlaging is ca. 15 mg/l boven de geul, en 5-10 mg/l in de directe omgeving van de geulen.
- De afmeting van het eiland heeft effect op de effectiviteit van de slibvanggeulen, omdat de stroming rondom het eiland gestuurd wordt en dus de stroming over de geulen beïnvloedt.
- Resuspensie van afgezet slib vindt vooral plaats bij wind vanuit het NW, want vanuit NW komen de meeste stormen met hoge windsnelheden en stroomsnelheden. Echter, resuspensie vindt ook plaats in de huidige situatie. Alleen, vanwege de grote hoeveelheid afgezet slib in de luwte van het eiland kunnen daar bij hoge windsnelheden hoge concentraties over langere periode optreden.
- Bij schuifspanningen van ongeveer 0,7 N/m² zal slib dat enigszins is geconsolideerd weer in suspensie komen. Bij schuifspanningen vanaf 1,5 tot 2,0 N/m² zullen ook de meer geconsolideerde lagen eroderen en zal er algehele erosie optreden.
- Bij toevoeging van een grovere slibfractie in het model is de sedimentatiesnelheid ca. 1,5 keer zo groot.

5. Deltares (2013), rapport Drijvend rietmoeras Houtribdijk, reg. nr: 1208037-000-ZWS-0009.

Dit rapport beschrijft een verkenning van de haalbaarheid van een drijvend rietmoeras als een alternatief voor een traditionele aanpassing van de dijkbekleding en de dijkhoogte van de Houtribdijk. Het ontwerp bestaat uit een vooroeververdediging om de golven te keren, enkele verankerde drijvende rollen van wiepen boven een lokale bodembescherming, en een drijvend rietmoeras. Uit een eenvoudige berekening blijkt dat de significante golfhoogte gereduceerd kan worden van 2,8 m tot 0,4 m aan de teen van de Houtribdijk, en dat een niet-meebewegend rietmoeras de golven meer reduceert dan een meebewegend rietmoeras. De constructie is snel aan te leggen en behoeft geen zettingstijd. Echter, er is tot op heden weinig ervaring met dit type constructie. In het rapport wordende slibaspecten niet behandeld.

6. Penning et al. (2013), artikel Effects of suspended sediments on food uptake for zebra mussels in Lake Markermeer, The Netherlands, Inland Waters 3, pp. 437-450.

Dit artikel beschrijft het effect van slib op mossels in het Markermeer op basis van veldmetingen. De punten die betrekking hebben op slib zijn:

- Zebromossels vormen een belangrijk onderdeel van de voedselketen in meren, en filteren zowel organisch als anorganisch materiaal. Ze leven vooral op schelpen.
- Sinds 1980 zijn de zebromossels kleiner geworden: van een mediane lengte van 13 mm in 1980 tot 5 mm in 2010. Bovendien is het percentage hele kleine mossels in het Markermeer duidelijk groter dan in het IJsselmeer (48% t.o.v. 9%). Ook is de verhouding tussen de biomassa van de mossels en lengte in het Markermeer kleiner dan in het IJsselmeer. De afmetingen zijn uniform over het Markermeer.
- Een toename van de slibconcentratie leidt tot een duidelijke afname van slibopname door Zebromossels. Dit geldt vooral voor kleinere mossels. Slibopname heeft een optimum bij een slibconcentratie van ca. 0,5 g/l, waarschijnlijk als een balans tussen inname van eetbare en niet-eetbare stoffen.

- Het kleiner worden van de zebramosseels sinds 1980 kan niet direct veroorzaakt zijn door een toename in slibconcentratie, aangezien de slibconcentratie in de Markermeer vrij constant is gebleven sinds de afsluiting. Maar wel kan slibafzetting op de zeeschelpen geresulteerd hebben in een afname van goede leefplekken voor de mossels. Slibafzetting op de zebramosseels zelf kan ook hebben bijgedragen aan het kleiner worden van mossels.
- Voor monitoring dienen de slibconcentraties nabij de bodem gemeten worden, i.p.v. hoger in de waterkolom.
- Daarnaast wordt verwezen naar eerdere studies die uitwijzen dat o.a. minimumtemperatuur en nutriëntenconcentraties effect hebben op zebramosseels.

7. Witteveen+Bos (2013), *notitie Aanpak ontwikkeling GC-kunstrif, T. Wilms d.d. 2 september 2013.*

Deze memo beschrijft kort de veldmetingen en –observaties van golfdemping door het GC-kunstrif. Er is waargenomen dat het kunstrif beschadigd is na aanleg, waardoor de golfdemping verminderd is. Desondanks voldoet het rif nog aan de vereiste mate van golfdemping. Verder geeft de memo geen nieuwe inzichten.

8. Vijverberg et al. (2013), *artikel Mitigating high turbidity in a shallow lake, Findings of an extensive field experiment with sheltering structure, Int. Conf. on Cohesive Sediment Transport Processes (INTERCOH) 2013.*

Dit korte artikel beschrijft het effect van een 1800 meter lange luwtestructuur op basis van veldmetingen. De resultaten van deze veldmetingen zijn al in eerdere rapporten in het kader van NMIJ beschreven.

9. Boderie et al. (2013), *artikel Fine Sediment Dynamics in a Shallow Lake: model setup and application to a sheltering structure field experiment, Int. Conf. on Cohesive Sediment Transport Processes (INTERCOH) 2013.*

Dit korte artikel beschrijft het modeleren van de hydrodynamiek en sedimentconcentraties met Delft3D. De resultaten van deze studie zijn al in eerdere rapporten in het kader van NMIJ beschreven.

10. Deltares (2013), *rapport Ecosysteemontwikkeling in het Hoornsche Hop, reg. nr: 1207360-000-ZWS-0007.*

Dit rapport beschrijft op kwalitatieve manier het effect van een luwtestructuur in het Hoornsche Hop op de ecologie. Hierbij wordt zo nu en dan een kleine zijstap gezet naar slibconcentraties en sediment. Zo wordt aangegeven dat een toename van schelpdieren zorgt voor een afname van de slibconcentraties, mogelijk doordat de schelpdieren het slib opnemen en/of omdat ze de bodem stabiliseren en dus opwoeling verminderen.

11. Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2014), *rapport MIRT 2 Verkenning Luwtmaatregelen Hoornse Hop, Verkenningenrapport, Versie 2.*

Geen omschrijving?

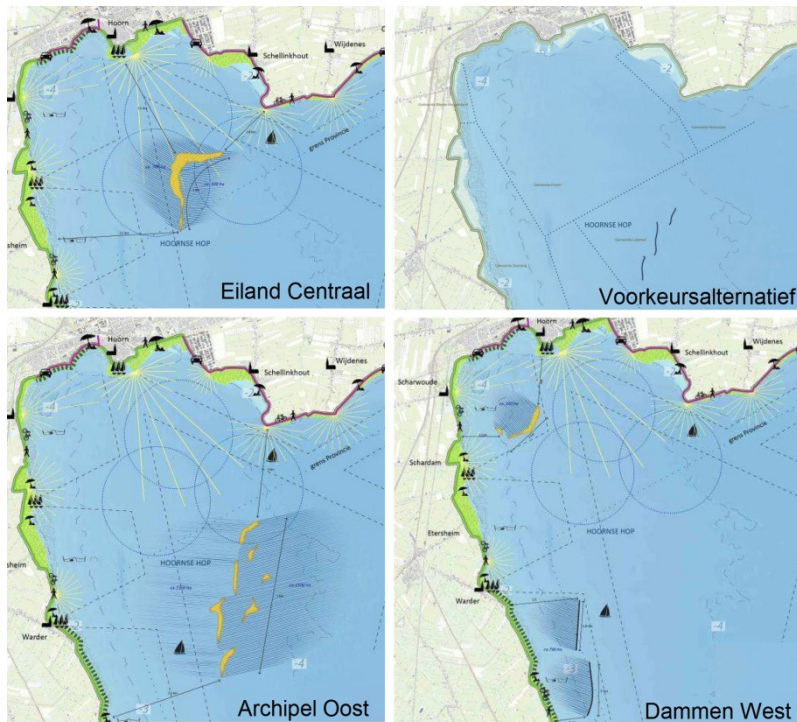
12. Deltares (2014), *rapport Luwtmaatregelen Hoornsche Hop - Bijdrage Deltares aan MIRT verkenning Hoornsche Hop, reg. nr: 1207128-000-ZWS-0018.*

Deze rapporten beschrijven de effecten van luwtestructuren in de Hoornsche Hop, waarbij drie alternatieven en één voorkeursalternatief zijn onderzocht (Figuur 2). Uit deze onderzoeken blijkt:

- Locatie Hoornsche Hop is een relatief gunstige locatie voor het verlagen van de slibconcentratie en het behalen van een groot ecologisch effect vanwege de ligging t.o.v. westen- en zuidwesten-wind, en vanwege het grote gebied met waterdiepte kleiner dan 4 m.
- De afname van de slibconcentratie over het hele jaar als gevolg van de maatregelen is vooral direct rondom de luwtestructuren (ca. 8 mg/l, met maxima van 20 mg/l bij alternatief Archipel Oost). De jaargemiddelde afname van de slibconcentratie in het gehele Markermeer door alle vier alternatieven is ca. 2-3 mg/l. De luwtestructuren vergroten de oppervlakte met een doorzicht groter dan 40-50 cm, vooral in het najaar. Het oppervlak met condities geschikt voor soortenrijke vegetatie neemt toe met ca. 3-6%
- Maatregel Archipel Oost zorgt duidelijk voor de grootste daling in slibconcentratie, daarna Dammen West, en vervolgens Eiland Centraal. Echter, Dammen West geeft de sterkste verbetering van het lichtklimaat, omdat het zwaartepunt van de verbetering aan de ondiepe (west)kant van de dieptegradiënt ligt.

Eiland Centraal is levert de minste afname in slibconcentratie en verbetering van lichtklimaat vanwege de kleinere omvang, en de vorm en ligging van het eiland die zorgen dat de stroomlijnen vaak evenwijdig lopen aan het eiland.

- Conclusies met betrekking tot monitoring van slib:
 - o De parameter lichtdoorlatendheid is representatief voor slibconcentratie.
 - o Variatie in slibconcentratie over de diepte is verwaarloosbaar



Figuur 2. Kaarten met de verschillende alternatieven voor Luwtmaatregelen Hoornsche Hop.

13. Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2014), rapport *Pilot voorlandoplossing Houtribdijk, Ontwerp en uitvoering, Concept-versie*.

Dit rapport beschrijft verschillende ontwerpen voor een ondiep voorland zonder of met versterking van de Houtribdijk. In dit rapport wordt niet ingegaan op slibconcentraties.

14. Deltares (2014), rapport *Wetenschappelijk eindadvies ANT-IJsselmeergebied, reg. nr: 1207767-000-ZWS-0005*.

Dit rapport is het wetenschappelijk eindadvies Autonome Neergaande Trendstudie in het IJsselmeergebied. Hierin is beschreven welke mechanismen voor de neergaande trend in het aantal watervogels zorgen, welke huidige instandhoudingsdoelen haalbaar zijn, en welke maatregelen effectief kunnen zijn. De punten uit het rapport die betrekking hebben op slib, zijn:

- De afname van doorzicht in het Markermeer is waarschijnlijk niet veroorzaakt door een toename van slibconcentratie, maar door een verandering in soortensamenstelling van fytoplankton. De verandering heeft geleid tot meer kleinere algencellen die gelijkmatiger verspreid zijn over het water. Het slibgehalte in het Markermeer is na aanleg van de Houtribdijk gemiddeld gelijk gebleven.
- Bij lage windsnelheden ontstaan grote vlokken van slib met algen, die gemakkelijk bezinken. Hierdoor is het doorzicht in de zomer vaak lager dan in de winter. Door de bezinking daalt de concentratie fytoplankton in de waterkolom in luwtegebieden, waardoor minder voedsel beschikbaar is in de voedselketen (via watervlooien). Waterplanten die voedsel uit de bodem halen zijn nodig voor voedselbeschikbaarheid.

- Verkorting van de strijklengte om golfhoogtes te verminderen leidt tot een afname van resuspensie en dus een toename van het doorzicht. Dit stimuleert waterplantengroei en versterkt flocculatie. Deze maatregel kan effectief toegepast worden in combinatie met lokale verondieping.
- Het afvoeren van slib door opening van Houtribdijk bevordert grootschalige gradiënten van troebel naar helder water voor ruimtelijke diversiteit. Het structureel verminderen van de slibconcentratie via deze maatregel is echter duur omdat een aanzienlijk deel van de Houtribdijk verwijderd zou moeten worden.
- De effectiviteit van invangen van slib in putten is afhankelijk van afmetingen van de put. De diepte dient groter te zijn dan 6 m (en liefst groter dan 10 m om resuspensie te voorkomen) om effectief te zijn. Voor relevante slibconcentratiedaling is een totaal putoppervlak van 5-10% van het Markermeer nodig. Autonome ontwikkeling zorgt al voor afname van slibconcentraties sinds 2004. Bovendien zijn de diepe delen moeilijker te bereiken voor watervogels en is vestiging voor waterplanten moeilijker.
- Aanleg van een moeras (zoals Marker Wadden) waarbij gebruik gemaakt wordt van gebaggerd slib uit een zandwinput zorgt dat de put effectief blijft en is bovendien goed voor de ecologie.
- Slibvangst door kwelderwerken (houten dammetjes) zorgt tegelijk voor een meer natuurlijke land-waterovergang. Succes is afhankelijk van stroompatroon en peilfluctuatie. Oostkant van Markermeer is het meest geschikt, maar slibreductie is zeer beperkt.
- Verzilting leidt tot flocculatie en dus snellere bezinking van slib. Deze maatregel is echter ingeschat als niet wenselijk in het Markermeer.
- Afdekking van de slibbodem door een zandlaag zorgt voor vermindering van resuspensie. Dit is alleen effectief als het hele meer tegelijk behandeld wordt. Lokale toepassing kan zinvol zijn in combinatie met andere maatregelen, anders niet realistisch.

15. Miguel de Lucas Pardo (2014), *Fine sediments in Markermeer: developed knowledge and evaluation of NMIJ measures*.

Deze notitie is een samenvatting van het proefschrift van Miguel de Lucas Pardo "Effect of biota in fine sediment transport processes. A study of Lake Markermeer" en diverse publicaties die zijn voortgekomen uit zijn PhD-werk. Het proefschrift geeft een beschrijving van het sediment in het Markermeer en de uitwisseling van slib tussen de bodem en het water. Daarnaast worden drie typen maatregelen geëvalueerd: luwtestructuren, verdieping en afdekken. De belangrijkste bevindingen zijn:

- Het Markermeer is voor 75% bedekt met een sliblaag. Het sediment heeft een karakteristieke korrelgrootte van 60 μm met een standaarddeviatie van 60 μm . De sliblaag bestaat uit een geoxideerde bovenlaag en een anoxische onderlaag. De bovenste laag is dagelijks onderhevig aan erosie, terwijl de anoxische laag alleen tijdens storm geërodeerd wordt. Bioturbatie speelt een belangrijke rol in het verzwakken van de geoxideerde bovenlaag en dus het vergroten van resuspensie.
- Er dient rekening gehouden te worden met de interactie tussen slib en algen. Een maatregel die, naast golf- en stromingsdemping, zorgt voor een toename van algensoorten die de concentratie verhogen en doorzicht verlagen is niet efficiënt.
- Consolidatie van een 15-25 cm dikke sliblaag duurt ongeveer 50 dagen. Bioturbatie kan de consolidatie versnellen. Echter, bioturbatie vermindert de sterkte van de uiteindelijke geconsolideerde sliblaag.
- Het afvangen van slib door bijv. verdieping is een tijdelijke maatregel en daarom niet efficiënt om de slibconcentratie in het Markermeer duurzaam te verlagen. De slibconcentratie daalt wel na verwijdering van het slib, maar gedurende de jaren erna wordt een nieuwe sliblaag gevormd waardoor de slibconcentratie weer stijgt.
- Luwtestructuren zijn het meest effectief wanneer ze de golven dempen tot beneden de kritieke golfhoogte waarbij erosie van de geoxideerde sliblaag plaatsvindt. Maar in ieder geval dienen ze de golven te dempen tot beneden de kritieke golfhoogte waarbij erosie van de anoxische diepere sliblaag plaatsvindt. Wel is aandacht nodig voor de dempende werking van luwtestructuren op turbulentie achter de luwtestructuren, aangezien een lagere turbulentie tot grotere slibvlokken leidt die wellicht te groot zijn voor opname door mossels.

Afdekken vermindert resuspensie en dus slibconcentraties in het water, en vermindert bioturbatie en erosie van de diepere bodemlagen. De afdekkende laag dient niet-poreus of dusdanig dik te zijn dat slibtransport door de afdekkende laag niet mogelijk is. Daarnaast dient de afdekking plaats te vinden tijdens perioden met lage slibconcentratie, dus wanneer veel slib op de bodem ligt, en dient slib-resuspensie tijdens het afdekken geminimaliseerd te worden.