

RAPPORT

Natuurlijk(er) Markermeer IJmeer

Aanlegstrategie en kosten

Klant: RWS Dienst IJsselmeergebied

Referentie: RDCOR_9V6742A4_R0199_906140_f

Versie: 01/Finale versie

Datum: 28 oktober 2015

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Postbus 151
6500 AD Nijmegen
Netherlands
Rivers, Deltas & Coasts
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
+31 24 323 93 46 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Natuurlijk(er) Markermeer IJmeer

Ondertitel: NMIJ Aanlegstrategie

Referentie: RDCOR_9V6742A4_R0199_906140_f

Versie: 01/Finale versie

Datum: 28 oktober 2015

Projectnaam: Natuurlijker Markermeer IJmeer

Projectnummer: 9V6742A4

Auteur(s): Esther Rosenbrand, Wouter Kanger, Martin de Kant

Gecontroleerd door: Gert Jan Akkerman
Datum/Initialen: 28 oktober 2015
Goedgekeurd door: Fred Haarman
Datum/Initialen: 28 oktober 2015

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The quality management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001.

Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Kader en achtergrond	5
1.2	Aanpak en eerdere studies	5
1.3	Leeswijzer	6
2	Geologie Markermeer	8
2.1	Geologische geschiedenis	8
2.2	Globale bodem opbouw	8
2.2.1	Diepteligging	8
2.2.2	Geologische kaart	9
2.2.3	Bodem opbouw	11
3	Luwtestructuren	12
3.1	Inleiding	12
3.2	Aanlegprincipes	12
3.2.1	Locatie	12
3.2.2	Vormgeving	13
3.2.3	Stabiliteit en zetting	16
3.3	Aanlegstrategie	17
3.4	Kosten	18
3.4.1	Uitgangspunten kostenraming	18
3.4.2	Kosten per eenheid	19
4	Verdiepingen	21
4.1	Inleiding	21
4.2	Aanlegprincipes en grondstromenbeheer	21
4.2.1	Stabiliteit en opvulling verdiepingen	23
4.3	Kosten	23
4.3.1	Uitgangspunten kostenraming	23
4.3.2	Kosten per eenheid	25
5	Afdekken Meerbodem	27
5.1	Inleiding	27
5.2	Aanlegprincipes	27
5.2.1	Locaties	27
5.2.2	Aanlegstrategie	28
5.3	Kosten	32
5.3.1	Uitgangspunten kostenraming	32
5.3.2	Kosten per eenheid	33

6	Grootschalig Moeras	34
6.1	Inleiding	34
6.2	Aanlegprincipes	34
6.2.1	Locatie	34
6.2.2	Afmeting	34
6.2.3	Buitenrand	35
6.2.4	Opvulling moeras	37
6.2.5	Stimuleren moerasvorming	40
6.3	Kosten	42
6.3.1	Uitgangspunten kostenraming	42
6.3.2	Kosten per eenheid	44
7	Vooroevers en oeverdijken	46
7.1	Inleiding	46
7.2	Aanlegprincipes	46
7.2.1	Locatie	46
7.2.2	Vormgeving	47
7.2.3	Stabiliteit en zetting	48
7.3	Aanlegstrategie	49
7.4	Kosten	51
7.4.1	Uitgangspunten kostenraming	51
7.4.2	Kosten per eenheid	52
8	Vergroten van de Peildynamiek	54
8.1	Inleiding	54
8.2	Vormgeving en uitvoering	54
8.3	Kosten	55
9	Vismigratiemaatregelen	56
9.1	Inleiding	56
9.2	Vormgeving	57
9.3	Kosten	58
9.3.1	Uitgangspunten kostenraming	58
9.3.2	Kosten per locatie	58
10	Verbinding Markemeer-IJsselmeer	60
10.1	Inleiding	60
10.2	Vormgeving	60
10.3	Aanlegstrategie	61
10.4	Kosten	64

11	Beantwoording Onderzoeksvragen	66
12	Referenties	113

Bijlagen

Uitgangspunten bij de kostenramingen

Grondstromen

1 Inleiding

1.1 Kader en achtergrond

Momenteel voldoet het Markermeer niet (meer) aan natuur- en waterkwaliteitsdoelstellingen. Om deze situatie te verbeteren zijn onderzoeken opgezet naar de oorzaken van de achteruitgang, Autonome Neergaande Trend (ANT), en naar concrete maatregelen om natuurwaarden te versterken, Natuurlijk(er) Markermeer IJmeer (NMIJ).

In 2009 is door de regio het Toekomstbeeld (of Toekomstvisie) voor Markermeer en IJmeer (TMIJ) opgesteld. Het creëren van een toekomstbestendig ecologisch systeem (TBES) is een van de drie kernambities (wonen – bereikbaarheid - ecologie) in het Rijks-Regioprogramma Amsterdam – Almere – Markermeer (RRAAM).

Vier ecologische vereisten waaraan een TBES moet voldoen zijn (RRAAM 2011):

- 1 Ondiepe zones met helder water.
- 2 Een gradiënt in slib van helder naar troebel water.
- 3 Geleidelijke land-water overgangen.
- 4 Versterkte ecologische verbindingen.

In dit rapport worden de aanlegstrategie en kosten van verschillende maatregelen behandeld. Dit rapport is onderdeel van het onderzoeksproject NMIJ.

1.2 Aanpak en eerdere studies

Dit rapport is gebaseerd op ontwerpen voor maatregelen en kostenramingen die in een eerdere fase zijn gemaakt. De volgende studies zijn onder meer gebruikt:

- Een initiële kostenraming uit 2008 door Ecorys (Witmond et al. 2008).
- Initiële bureaustudies, en updates hierop, in het kader van NMIJ (Boderie 2010; Vijverberg & Visser 2010; Visser et al. 2010; Van Herpen *et al.*, 2015).
- De optimalisatie van een pakket van samenhangende maatregelen om kosteneffectief een TBES te realiseren, opgesteld in 2011 door de Werkmaatschappij Markermeer-IJmeer (WMIJ) (RRAAM 2011).
- Alternatieve visies op de maatregelen van WMIJ 2011 gemaakt door drie consortia en Natuurmonumenten (Marker Wadden):
 - Witteveen+Bos, Altenburg & Wymenga, Boskalis, Bware, Hosper, Radboud Universiteit Nijmegen (Klinge, 2012).
 - de combinatie Grontmij en de Vries & Van de Wiel (Kollen & Jaspers 2012).
 - Consortium Kransmeer, bestaande uit Tauw, Posad, LAGroup, Robusta, Tebezo (Consortium-Kransmeer 2012).
 - Marker Wadden (Natuurmonumenten) (Verschoor & Rijdsdorp 2012).
- De kostenramingen voor de bovenstaande visies (m.u.v. Marker Wadden) (Haarman, Kanger 2012; Kanger 2012).
- Het eindrapport van WMIJ opgesteld in 2012 (RRAAM 2012).

- De veldproef luwtestructuren (Vijverberg et al. 2013).
- Eindrapport Pilot Moeras Markermeer (Dankers et al., 2015), inclusief kostenraming
- De verkenning luwtmaatregelen Hoornse Hop in het MIRT 2 rapport naar aanleiding van de structuurvisie in RRAAM (Maronier & Koenraadt 2014).
- Het integraal tussenadvies NMIJ 2013 (Knoben 2014).
- De 'Notitie NMIJ Maatregel Vooroever Lepelaarplassen' (Haarman et al. 2013).
- Het rapport 'Dijkversterking Markermeerkust Hoorn- Amsterdam; De oeverdijk als extra alternatief?' (Royal Haskoning 2010).
- De 'Rapportage Maatregel Afdekken', (Vijverberg, T., Boderie, P. Noordhuis 2015).
- Bureaustudie Natuurlijker Markermeer en IJmeer. Ecologische verbindingen en Habitatdiversiteit (van Herpen et al., 2015)
- Het verslag expertsessie (semi-) open verbinding Markermeer-IJsselmeer (Knoben en Haarman 2015).
- De notitie '(Semi-) open verbinding Markermeer-IJsselmeer' (Knoben en Haarman 2015).

1.3 Leeswijzer

In dit rapport worden de uitvoeringsaspecten en kosten van verschillende maatregelen behandeld. Per maatregel is een korte inleiding over het doel en werkingsprincipe van de maatregel vermeld. De nadruk ligt op de aanlegprincipes en op de kostenraming en op mogelijkheden voor optimalisatie van grondstromenbeheer.

De beschouwde maatregelen in dit (deel) rapport zijn:

- luwtestructuren;
- verdiepingen;
- afdekken van slib;
- grootschalig moerasgebied;
- vooroevers en oeverdijken;
- vergroten van de peildynamiek;
- vismigratiemaatregelen;
- verbinding Markermeer-IJsselmeer.

De geologie van het Markermeer wordt in hoofdstuk 2 behandeld.

Hoofdstuk 3 gaat in op luwtestructuren en hoofdstuk 4 op verdiepingen.

In hoofdstuk 5 wordt het afdekken van de slibbodem uitgewerkt, terwijl in hoofdstuk 6 de aanleg van een moeras wordt behandeld.

Hoofdstuk 7 betreft vooroevers en oeverdijken, hoofdstuk 8 het vergroten van de peildynamiek, hoofdstuk 9 vismigratiemaatregelen, en hoofdstuk 10 mogelijkheden voor méér verbinding tussen het Markermeer en het IJsselmeer. In hoofdstuk 11 worden de onderzoeksvragen uit de vraagspecificatie, welke de leidraad voor het onderzoek in NMIJ vormt, beantwoord.

Referenties zijn in hoofdstuk 12 aangegeven.

In bijlage 1 zijn de algemeen gehanteerde uitgangspunten bij de kostenramingen opgenomen. Specifieke of afwijkende uitgangspunten worden bij de maatregelen apart benoemd. In bijlage 2 wordt ingegaan op mogelijkheden om verschillende werken in het Markermeer te combineren om optimaal gebruik van beschikbare grondstromen te maken, en de aspecten die hierbij een rol spelen.

2 Geologie Markermeer

2.1 Geologische geschiedenis

Het Markermeer is deel van het Zuiderzeebekken dat deel uitmaakt van het Noordzeebekken. Tijdens het Quartair, Holoceen en Pleistoceen, zakte dit gebied door bodemdaling, waardoor een dik pakket zand en kleilagen is afgezet (Lenselink & Menke 1995).

Tijdens het Pleistoceen was het klimaat variabel, ijstijden werden afgewisseld door interglacialen. Tijdens het Saalien, de op een na laatste ijstijd waarin gletsjers het verste naar het zuiden kwamen, werden glaciële bekkens geërodeerd. Het Markermeer valt samen met een deel van het bekken van Amsterdam. Onder de gletsjer werden keileem met zwerfkeien afgezet op tijden dat de gletsjer stilstond. In het Eemien interglaciaal zijn mariene zanden afgezet in het Markermeer, met later ook zandige kleien. In de laatste ijstijd, het Weichselien, kwamen gletsjers niet tot Nederland, en werden in het Markermeer eerst fluviatiele zanden en later onder invloed van sneeuw en wind dekzanden afgezet (Lenselink & Menke 1995).

De Holocene lagen zijn afgezet sinds de laatste ijstijd. Het Basisveen is in het begin van het Holoceen afgezet (Berendsen 2001). Later in het Atlanticum, toen het zeeniveau hoger stond, maakte het Markermeer deel uit van een lagune en zijn kleiige lagen, de Oude Getijde Afzettingen, afgezet (Lenselink & Menke 1995). Op locaties buiten het bereik van de Getijde Afzettingen werd Hollandveen afgezet. Hierdoor komen ook opeenvolgingen van Hollandveen en kleiige Oude Getijde Afzettingen voor. Door erosie van veen aan de oevers van de toenmalige lagune bevatten de lagune afzettingen veel verslagen veen (veen dat elders is afgeslagen en later sedimenteerde op de bodem van het meer) (Berendsen 2001).

Doordat de verbindingen met zee dichtslibden vormde zich het meer Flevo (Berendsen 2001). Hierin werden de Flevomeer afzettingen, humeuze lagen van fijn zand en slik, en de Almere afzettingen, humeuze kleilagen afgezet (Lenselink & Menke 1995).

Na 1250 AD ontstond de Zuiderzee door een verbinding met de Waddenzee (Berendsen 2001). Door erosie van de Pleistocene zanden in getijdegeulen werden aan het einde van deze geulen zandplaten afgezet zoals het Enkhuizerzand (Lenselink & Menke 1995). Hoewel deze afzettingen horen bij de Zuiderzee Afzettingen, zijn kleiige lagen karakteristiek voor Zuiderzee afzettingen. Het zandgehalte van de kleiige Zuiderzee afzettingen neemt van het noordelijk deel naar het zuidelijk deel van de Zuiderzee af, al bevatten afzettingen nabij de toenmalige kust meer zand door vermenging met de Pleistocene zanden (Berendsen 2001).

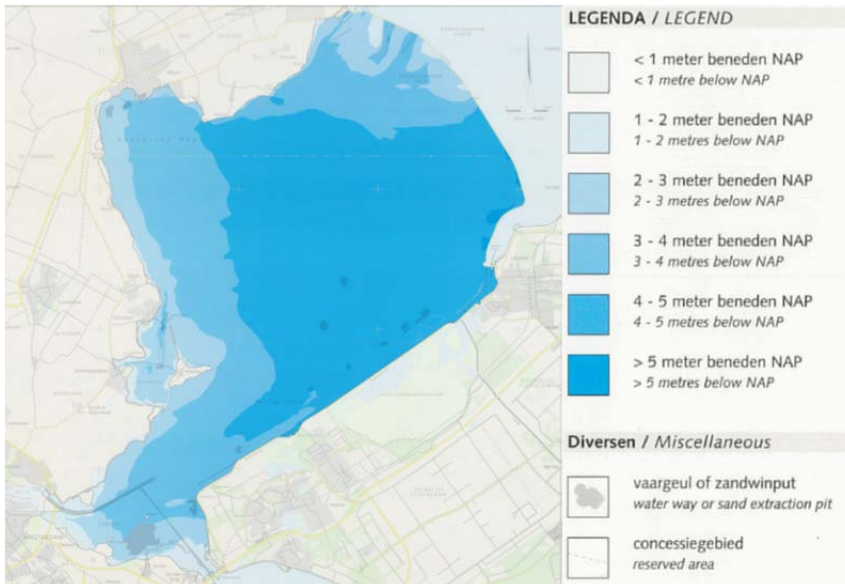
Na de aanleg van de Afsluitdijk (1932) zijn de humeuze kleiige lagen van de IJsselmeer afzettingen voornamelijk in de diepere delen van het meer afgezet (Lenselink & Menke 1995). In 1976 is de Houtribdijk aangelegd, die het Markermeer van het IJsselmeer scheidt. Hoewel erosie en sedimentatie overal voor kan komen, afhankelijk van de windrichting, is er een netto sedimentatie in het diepere oostelijke/zuidoostelijke deel van het meer (Vijverberg, T., Boderie, P. Noordhuis 2015).

2.2 Globale bodem opbouw

2.2.1 Diepteligging

De diepteligging van de Markermeerbodem is weergegeven in Figuur 1. Globaal gezien neemt de diepte toe richting het zuidoosten. Het diepere deel van het meer is 4-5 m onder NAP en de bodem is relatief vlak (Lenselink & Menke 1995).

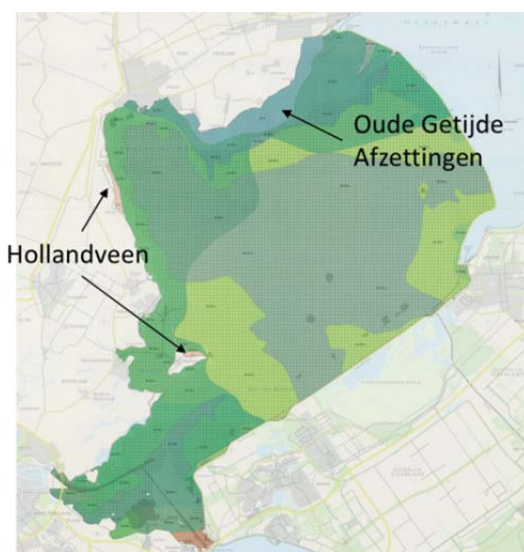
Ondiepere delen bevinden zich langs de Noord-Hollandse kust, het Hoornse Hop en bij Enkhuizerzand waar de diepte afneemt tot 1-2 m onder NAP. Het meer heeft relatief steile oevers waardoor er weinig areaal is met een diepte < 1 m onder NAP.



Figuur 1: Diepteligging Markermeerbodem. Kaart uit (Lenselink & Menke 1995)

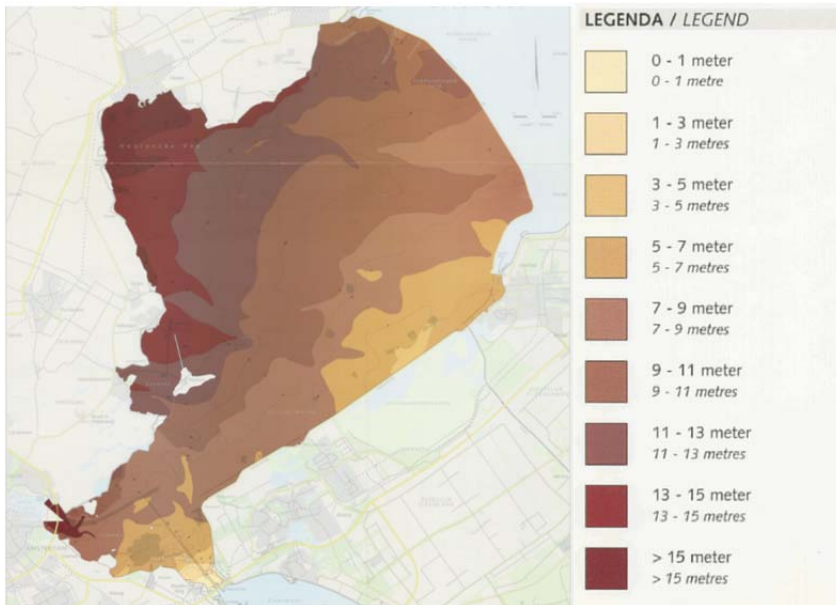
2.2.2 Geologische kaart

De toplaag van het Markermeer bestaat voornamelijk uit Holocene lagen. Op de meerbodem bevinden zich IJsselmeer en Zuiderzee afzettingen met daaronder Almere afzettingen en (vertandingen van) Hollandveen, zie Figuur 2 (Lenselink & Menke 1995). Langs de Noord-Hollandse kust (tussen Warder en Schardam) en aan de noordzijde van het eiland Marken bevindt zich Hollandveen aan de oppervlakte. Aan de kust tussen Hoorn en Enkhuizen bestaat de toplaag uit Oude Getijde Afzettingen.

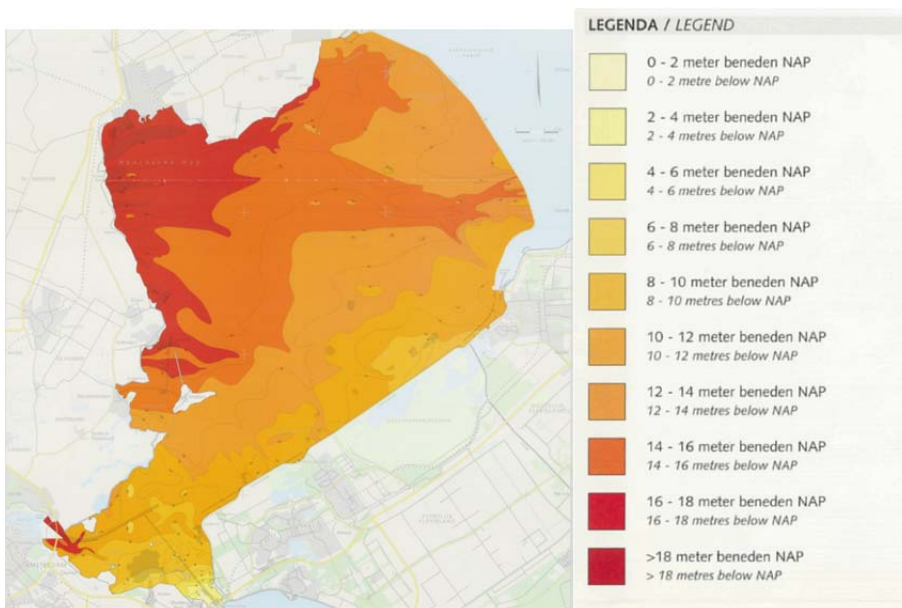


Figuur 2: Geologische kaart van de Markermeerbodem van (Lenselink & Menke 1995). In groene gebieden liggen IJsselmeer en Zuiderzee afzettingen op de bodem; in roze gebieden bevindt zich Hollandveen, en in het blauwe gebied bevinden zich Oude Getijde Afzettingen.

De dikte van de Holocene lagen neemt globaal gezien af van het noordwesten naar het zuidoosten, zie Figuur 3 (Lenselink & Menke 1995). De dieptekaart van het Pleistocene zand vertoont sterke overeenkomsten met de diktekaart van de holocene lagen, zie Figuur 4 (Lenselink & Menke 1995). De dikte is het geringst (10-12 m) langs de Oostvaardersdijk en neemt geleidelijk toe (tot 16-18 m) richting het noordwesten. De dikte van de Holocene lagen kan plaatselijk toenemen tot meer dan 18 m, waar het Pleistocene zand is geërodeerd door oude getijdegeulen tijdens het Atlanticum (Lenselink & Menke 1995).



Figuur 3: Dikte van Holocene lagen (Lenselink & Menke 1995)



Figuur 4: Dieptekaart van de bovenkant van het Pleistocene Zand (Lenselink & Menke 1995)

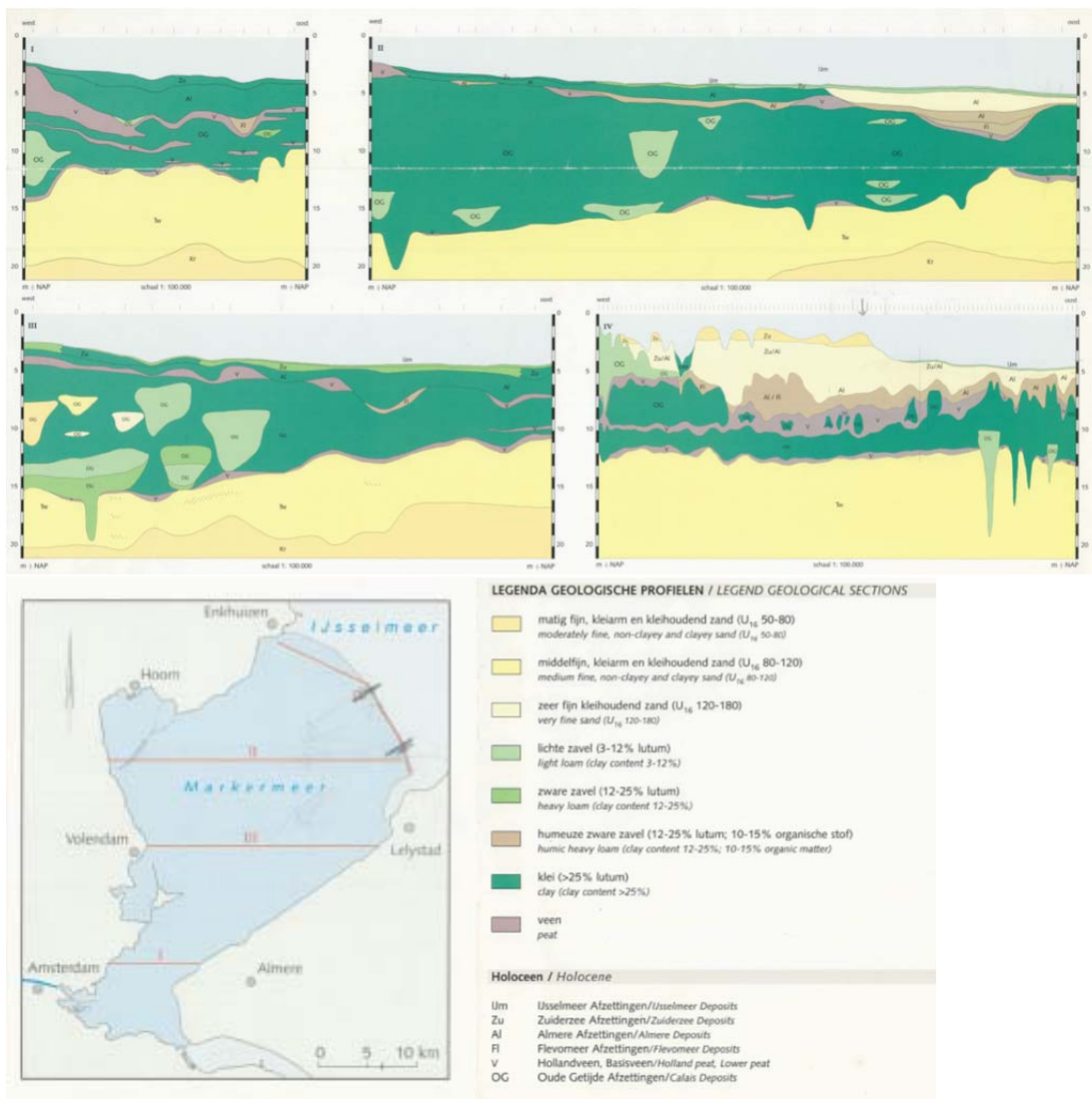
2.2.3 Bodem opbouw

Profielen door het Markermeer, zie profielen I, II, III in Figuur 5 (Lenselink & Menke 1995), tonen de aanwezigheid van veenlagen aan het oppervlak of dicht onder het oppervlak langs de Noord-Hollandse kust. Dergelijke veenlagen zijn tevens aangetroffen in geotechnische lengteprofielen van de dijk en het voorland op de strekking Edam-Amsterdam (Fugro 2010).

Bij Enkhuizerzand liggen 3-6 m dikke (kleihoudende) zandlagen boven humeuze kleilagen en veenlagen, zie profiel IV in Figuur 5.

In het grootste deel van het meer bestaat de bodem uit dikke (5- 18 m) opeenvolgingen van humeuze kleilagen met dunne veenlagen en soms (kleiige) zandlagen.

De Oude Getijdde Afzettingen tussen Hoorn en Enkhuizen zijn sterk gelaagd en vertonen een variabiliteit die samenhangt met het afzettingsmilieu (Lenselink & Menke 1995). Grover materiaal werd afgezet in geulen, waar het water sneller stroomde, en het fijner materiaal bezonk op plaatsen met een lagere stroomsnelheid.



Figuur 5 Dwarsprofielen van Markermeer (Lenselink & Menke 1995)

3 Luwtestructuren

3.1 Inleiding

Luwtemaatregelen kunnen bijdragen aan het behalen van meerdere doelen:

- stimuleren van de ontwikkeling van een gevarieerde onderwatervegetatie;
- verbeteren van doorzicht voor waterfauna en vogels;
- bevorderen van voedselbeschikbaarheid (algen);
- bieden van een rust en ruigebied voor watervogels;
- bijdragen aan waterveiligheid.

Het voornaamste effect van luwtemaatregelen is het verminderen van de slibconcentratie in de waterkolom (Maronier & Koenraadt 2014). De sliblaag in het Markermeer lijkt qua samenstelling op de kleibodem, dit suggereert dat het slib voor een groot deel bestaat uit geërodeerde klei van de meerbodem (Klinge 2012). Luwtestructuren zorgen voor zones van golfluwte, waardoor er minder slibdeeltjes van de bodem opgewerveld worden, en/of zones van stromingsluwte, waardoor er minder slibrijk water naar een ander gebied stroomt (Visser et al. 2010).

Luwtestructuren in de nabijheid van dijken kunnen de golf en ijsbelasting op dijken verminderen. Berekeningen voor het Markermeer wijzen uit dat luwtemaatregelen op een beperkte afstand van de dijk moeten zijn geplaatst, orde-grootte van maximaal 500 m, om de maatgevende belasting significant te verlagen (Boderie 2010).

3.2 Aanlegprincipes

3.2.1 Locatie

Luwtestructuren kunnen in principe in alle ondiepe delen van het Markermeer toegepast worden om lokaal heldere zones te creëren (Knoben 2014). De aanlegkosten zijn mede afhankelijk van de hoogte van de structuur, en nemen toe met waterdiepte.

Het westelijk deel van het Markermeer langs de Noord Hollandse kust en het Hoornse Hop heeft een bodemdiepte van ca. 2 m en is daarmee gunstiger qua kosten dan het midden en het oostelijk deel met een bodemdiepte van ca. 4 m (Figuur 1).

De bodemopbouw speelt ook een rol aangezien deze bepaalt in hoeverre de luwtestructuren na de aanleg kunnen dalen door zettingen. Ter compensatie van de te verwachten zettingen dient de aanleghoogte hoger te zijn dan de beoogde hoogte van de luwtestructuur. De mate van zetting op verschillende locaties wordt behandeld in paragraaf 3.2.3.

Het Hoornse Hop is relatief golfluw bij westen en zuidwesten winden, waardoor dit gebied geschikt wordt geacht voor luwtestructuren (Maronier & Koenraadt 2014). Berekeningen van Deltares wijzen uit dat luwtemaatregelen langs de Noord Hollandse kust en in het Hoornse Hop een beduidend effect op de lokale slib concentraties hebben, waardoor deze een belangrijke bijdrage leveren aan het TBES, en aan de Natura2000 doelen (RRAAM 2011). Bij grootschalige luwtestructuren dient wel rekening gehouden te worden met bestaande vaarroutes, wat voor luwtemaatregelen in het Hoornse Hop inhoudt dat de toegang tot de haven gewaarborgd dient te blijven (RRAAM 2012).

3.2.2 Vormgeving

Afmeting

Om genoeg golfuwte te creëren dient de luwtestructuur boven het water oppervlak uit te steken. Tevens geldt dat een starre structuur het meest effectief de golfenergie opneemt (Vijverberg et al. 2013). Het eerste conflicteert wel met het RRAAM uitgangspunt dat de structuren zo min mogelijk zichtbaar zijn. Een modelstudie van Deltares (Boderie & Genseberger 2010) geeft aan dat structuren minimaal 1200 m lang dienen te zijn om de slib concentratie merkbaar te verlagen. In het Veldexperiment Luwtestructuur is een 1800 m lange damwand geplaatst. Deze had inderdaad een meetbaar effect op zowel golven als slibstromen (Vijverberg et al. 2013). Modelstudies geven aan dat relatief kleine luwtestructuren, vanaf 1200 m al een significant lokaal effect hebben; dit effect neemt toe voor langere structuren (Boderie & Genseberger 2010).

Vormgeving

Verschillende vormen van luwtestructuren zijn in een initiële bureaustudie beschreven waaronder: dammen, schermen, schotten, drijvende golfbrekers, en eilanden (Visser et al. 2010). Schermen zijn flexibel, en dienen voornamelijk als slib afvang. Starre schotten, zoals een stalen damwand, nemen tevens golfenergie op en dragen daardoor ook bij aan golfuwte (Visser et al. 2010). Een stalen damwand voldoet echter niet aan de gewenste ruimtelijke kwaliteit voor het TBES (Maronier & Koenraadt 2014). In de onderzoeksfase kunnen stalen damwanden wel als tijdelijke structuur gebruikt worden zoals bij het Veldexperiment Luwtestructuur (Vijverberg et al. 2013). Voor de absorptie van golfenergie is daarbij gekozen voor een starre constructie. Bij de keuze voor een damwand speelden duurzaamheid, de mogelijkheid tot hergebruik van het materiaal na het experiment en beperking van de verstoring van de omgeving een rol: damwand constructies zijn gemakkelijker aan te leggen en te verwijderen dan steenachtige luwtedammen of eilanden.

Voor permanente structuren verdienen natuurlijke materialen, zoals breuksteen, zand, schelpen en gras de voorkeur. Hoewel breuksteen een onnatuurlijk habitat is vormt dit wel een gunstig substraat voor verschillende flora en fauna (Van Herpen et al., 2015)

In de verkenning van luwtemaatregelen in het Hoornse Hop voor RRAAM zijn luwtedammen en luwte-eilanden beschouwd. Door de hoge aanlegkosten van eilanden is het gunstiger om in de eerste fase luwtedammen aan te leggen. Deze kunnen op termijn uitgebreid worden tot eilanden (Maronier & Koenraadt 2014).

Materialen

In het kader van NMIJ zijn in verschillende rapportages alternatieve uitvoeringen van luwtedammen beschouwd waaronder:

- zanddammen;
- dammen met een zand kern en breuksteen bekleding;
- dammen van Geotubes met een breuksteen bekleding;
- breuksteen dammen;
- rif van haakjes.

Zanddammen

Een ontwerp voor zanddammen is uitgewerkt door de combinatie Grontmij en de Vries & Van de Wiel (Kollen & Jaspers 2012). Bij het Enkhuizerzand kunnen zanddammen met lokaal gewonnen zand aangelegd worden (Kollen & Jaspers 2012). Deze hebben een kruinbreedte van 20 m, een kruinhoogte van 1,5 m boven het gemiddelde waterpeil, en flauwe taluds van 1:40. Door de flauwe taluds dragen deze dammen bij aan de doelstelling om meer land-water overgangen te creëren. Uitgegaan wordt van begroeiing op deze dammen. Bij de aanleg van de zanddammen moet ook rekening gehouden worden met de effecten van golfwerking en stroming op het erodeerbare zand. De haalbaarheid van zanddammen op deze schaal op een slib bodem is nog onzeker (RRAAM 2012).

Voorziene onderhoudswerkzaamheden zijn maaien en zandsuppletie (Kollen & Jaspers 2012).

Dammen met een zand kern en breuksteen bedekking

Door de kruin en taluds van de hierboven genoemde zanddammen een bedekking van breuksteen te geven kunnen deze bestendig gemaakt worden tegen erosie en golfafslag (Kollen & Jaspers 2012). In dat geval kunnen kleinere kruinbreedtes (orde grootte 2 m) en steilere taluds worden aangehouden.

Taludhellingen zijn daarbij afhankelijk van de lokale grondopbouw en zullen in de orde van 1:3 tot 1:4 liggen. Om erosie van zand door de breuksteen bekleding tegen te gaan kan de zandkern beschermd worden door een geotextiel. Bovenop dit geotextiel komt een fijnere sortering breuksteen (maximaal 5 – 40 kg), om beschadiging aan het geotextiel te voorkomen, en daar bovenop komt een grovere stabiele sortering (orde 40 - 200 kg of 60 - 300 kg afhankelijk van de golf en ijs belasting) die bestendig(er) is tegen erosie (Blokland 2013).

Dammen van Geotubes met een breuksteen bedekking

Ontwerpen voor dammen van geotubes¹ met een breuksteen bedekking zijn uitgewerkt door Witteveen+Bos (Mols 2006; Klinge 2012). In het ontwerp wordt uitgegaan van een kruinbreedte van 3 m, een kruinhoogte die overeenkomt met de ontwerp waterstand en taluds van 1:2. De geotubes worden beschermd door een geotextiel, en vervolgens met breuksteen afgedekt.

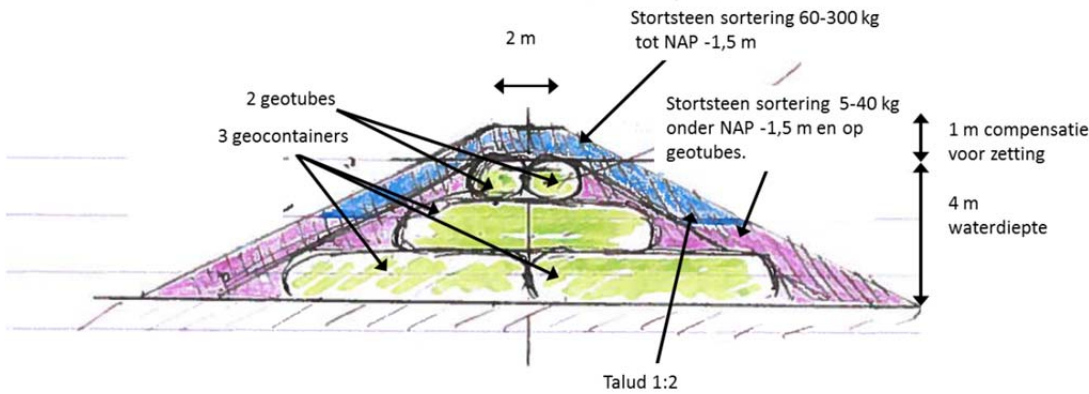
Geotubes kunnen gevuld worden met zand of zo mogelijk met slib of (licht verontreinigde) baggerspecie (Mols 2006). Praktijkproeven in de Loosdrechtse Plassen wijzen uit dat met slib gevulde containers na het vullen consolideren; door deze vervolgens bij te vullen wordt het volledige werkvolume benut (Mols 2006). Onvermeld is hoe lang deze consolidatie duurt, en hoe deze versneld kan worden. De producent ten Cate betwijfelt de geschiktheid van gebaggerd slib als vulling; dit kan mede afhangen van de korrelgrootteverdeling van het materiaal (Haarman & Kanger 2012).

Door de smallere kruin en de steilere taluds is minder materiaal nodig dan voor de zanddammen. Echter de maximale hoogte van de geotubes is circa 2,5 meter en dus is een stapeling van geotubes nodig bij grotere waterdiepten (Haarman & Kanger 2012). Dit beïnvloedt ook het talud van de dam.

Bij de Pilot Moeras is de buitenrand aangelegd door een combinatie van geotubes en geocontainers. De waterdiepte bedraagt circa 4 m op de locatie van de pilot. De constructie bestaat daarbij uit een stapeling van 3 langwerpige Geocontainers (2 onder en één daarboven), met daarbovenop 2 ronde geotubes. De kruin en de taluds zijn afgedekt met breuksteen zoals geschematiseerd in Figuur 6. Op deze manier is in eerste instantie een stevige hoge rand aangelegd. Wel is gebleken dat de geocontainers en geotubes, welke gevuld waren met zand, gaandeweg iets uitzakken. Hierdoor was het kort na aanleg nodig om extra stortsteen te gebruiken om zodoende een voldoende hoge rand te verkrijgen.

¹ *Worstachtige structuren bestaande uit geotextiel gevuld met zand of slib van producent ten Cate die ter plaatse met een zand/water mengsel worden gevuld. Brede structuren worden als geocontainers aangeduid. Dit is ook het geval als geotubes in zijn geheel onder water worden geplaatst.*

Ook is gebleken dat dit type rand, vanwege de grote laag stortsteen aan de bovenkant, niet goed waterdicht is en daarmee minder luwte creëert dan met een ander type rand mogelijk is. Een kleine aanpassing in het ontwerp kan er voor zorgen dat de rand voldoende waterdicht wordt en goed luwte creëert.



Figuur 6: Opbouw van een dam zoals toegepast bij de Pilot Moeras



Figuur 7: Rand van het Pilot Moeras ca. 1 jaar na aanleg

Breuksteen

Breuksteen dammen hebben dezelfde taluds en afmetingen als dammen van geotubes in het ontwerp van consortium Witteveen+Bos (Klinge 2012). Ook de verkenning luwtemaatregelen Hoornse Hop bevat breuksteen dammen, echter hierbij zijn taluds van 1:3 tot 1:5 (Maronier & Koenraadt 2014) aangehouden. Hierbij geldt evenals bij de geotube dammen met breuksteen bekleding en de zanddammen met breuksteen bekleding dat de sortering van de breuksteen fijner kan zijn op een diepte vanaf 1,0 - 1,5 m onder het gemiddeld waterpeil. In de kern van de dam wordt een fijne fractie breuksteen toegepast (lichte breuksteen 63-180 mm).

Rif van haakjes

Een veldproef is uitgevoerd met een rif van haakjes, ontworpen door het consortium Boskalis/Anome/Witteveen+Bos. De haakjes zijn gemaakt van bio-composiet. Op de meerbodem is een stalen kooi (ca. 11 m breed) geplaatst die gevuld is met haakjes, hierboven zijn haakjes gestort om een kruinhoogte van ca. 0,4 m boven NAP te realiseren met taluds van 1:1 of 1:2. Daaroverheen is een stalen net aangebracht om te voorkomen dat watervogels in de structuur beklemd raken (Knoben 2014). Hoewel deze structuur voor golf en stromingsluwte zorgt, was in de veldproef na een half jaar een deel van de haakjes afgeschoven, en bleken de overgangen van de stalen kooi kwetsbaar te zijn. Tevens trad verweking van de haakjes op, waardoor het rif uiteen is gevallen. In deze praktijkproef is het materiaal nog niet blootgesteld geweest aan ijsgang. De verwachting is dat het rif bestaande uit de haakjes die in de proef gebruikt zijn hiertegen zeker niet bestand zal zijn.

3.2.3 Stabiliteit en zetting

De grondmechanische stabiliteit van de luwtedam moet te allen tijde worden gewaarborgd. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen de bouwfase en de gebruiksfase. In de gebruiksfase zijn taluds onder 1:3 a 1:4 haalbaar voor dammen met een zandkern (steilere taluds zijn haalbaar voor dammen bestaande uit Geotubes). Om de stabiliteit van de zandkern in de bouwfase te waarborgen dient gefaseerd te worden opgehoogd en zijn mogelijk flauwere taluds in het zand noodzakelijk. Ook is het mogelijk om een deel van de slappe bodemlagen te verwijderen (vooraf baggeren van een cunet).

In paragraaf 2.2 is de globale bodemopbouw van het Markermeer geschetst. Deze bestaat vooral uit zettingsgevoelige Holocene lagen. De mate van zetting hangt af van de dikte van de verschillende slappe lagen (Figuur 2, Figuur 3, en Figuur 5), de sterkte van deze lagen, en van het gewicht van de dam.

Ten behoeve van een consistente raming van kosten zijn voor drie verschillende locaties vier verschillende typen luwtedammen beschouwd. Hiervoor zijn realistische locaties en robuuste ontwerpen van de dammen beschouwd. Deze zijn niet direct overgenomen uit eerder genoemde rapportages aangezien die ontwerpen een specifiek type dam op een specifieke locatie beschouwen. Om een consistente vergelijking voor de kosten van hetzelfde type dam op verschillende locaties te kunnen maken is rekening gehouden met het effect van de ondergrond op het ontwerp: op een sterkere ondergrond (bijvoorbeeld, Enkhuizerzand) kunnen steilere taluds gerealiseerd worden dan op een slappere ondergrond.

De zetting voor deze dammen is berekend voor verschillende locaties in het Markermeer die binnen NMIJ overwogen zijn als locatie voor luwtestructuren. De ondergrond op deze locaties is geschematiseerd, gebruik makend van de ondergrondinformatie die is beschreven in paragraaf 2.2, aangevuld met geotechnische langprofielen van de Noord-Hollandse kust (Fugro 2010), boringen van DinoLOKET, grondonderzoek en ontwerpen voor de Pilot Moeras (Heerebeek 2012; Blokland 2013). De geometrie van de verschillende typen dammen is gegeven in Tabel 1, en de resultaten van de zettingsberekeningen zijn samengevat in Tabel 2.

Tabel 1: Geometrie van luwtestructuren voor zettingsberekening

Locatie	Type dam	Diepte bodem van Markermeer (m onder NAP)	Kruinbreedte (m)	Talud
Enkhuizerzand	<i>zanddam</i>	2	20	1 op 20
	<i>zandkern met breuksteen bekleding</i>	2	2	1 op 4
	<i>Geotube met breuksteen bekleding</i>	2	4	1 op 1,5*
	<i>volledig breuksteen</i>	2	2	1 op 1,5*
Hoornse Hop	<i>zanddam</i>	3	20	1 op 20
	<i>zandkern met breuksteen bekleding</i>	3	2	1 op 4
	<i>Geotubes met breuksteen bekleding</i>	3	2	1 op 2
	<i>volledig breuksteen</i>	3	2	1 op 2
Noord-Oost Markermeer	<i>zanddam</i>	4	20	1 op 20

Locatie	Type dam	Diepte bodem van Markermeer (m onder NAP)	Kruinbreedte (m)	Talud
	<i>zandkern met breuksteen bekleding</i>	4	2	1 op 4
	<i>geotube met breuksteen bekleding</i>	4	2	1 op 2
	<i>volledig breuksteen</i>	4	2	1 op 2

*Nagegaan dient nog te worden of dit talud bij de lokale golfbelasting te realiseren is.

Uitgegaan is van een beoogde kruinhoogte van NAP + 0,6 m na zetting.

Tabel 2: Indicatie van kruinzetting in m, uitgaande van kruinniveau op NAP + 0,6 m na 30 jaar

Locatie	Zand-dammen	Dammen met een zand kern en breuksteen bekleding	Dammen van Geotubes en Geocontainers met een breuksteen bekleding	Breuksteen dammen
Enkhuizerzand	0,46	0,39	0,36	0,33
Hoornse Hop	1,45	1,15	1,20	1,15
Noord-Oost Markermeer	1,22	1,12	1,03	1,11

Uit Tabel 2 blijkt dat het ontwerp van de dam relatief weinig invloed heeft op de totale zetting. De grotere zetting bij de zanddammen wordt veroorzaakt door de grotere breedte van deze dammen. De locatie heeft echter wel een grote invloed. In het Hoornse Hop en op de locatie Noord-Oost Markermeer bestaat de ondergrond uit een dik pakket slappe klei en veen lagen (Figuur 5) en dit leidt tot een grotere zetting dan bij het Enkhuizerzand.

De aanleghoogte van luwtestructuren in het Hoornse Hop of op de locatie Noord-Oost Markermeer is daarom ca. 1-1,5 m hoger dan de gewenste uiteindelijke hoogte, om het effect van zetting te compenseren. Een vergelijkbare mate van zetting van gemiddeld 1,5 meter is berekend in de verkenning luwtmaatregelen Hoornse Hop, het MIRT 2 rapport (Maronier & Koenraadt 2014), echter hierin wordt tevens een relatief grote marge van 0,5 m tot 3,5 m aangegeven.

In de Pilot Moeras is er gemeten aan de zetting van de randen. In totaal is er een hoogteverlies opgetreden variërend tussen 26 en 77 cm over de eerste 2 jaar. De 90% eindzetting wordt na 3 jaar verwacht. In paragraaf 6.2.3 wordt hier verder op ingegaan.

3.3 Aanlegstrategie

Het aanbrengen van het zand zal bij het Enkhuizerzand vrijwel alleen kunnen plaats vinden met materieel met geringe diepgang. Voor de onderbouwing van de prijzen is een vergelijking gemaakt tussen een verwerking met een kraanponton, lossen en verwerken uit een kleine beunbak en het verwerken met een bakken-zuiger, met een drijvende leiding met sproeiponton van ca. 1000 m naar de plaats van verwerking. De productie ligt bij een bakkenzuiger echter wel veel hoger. Voor de locaties met grotere waterdiepte is een bakkenzuiger daarmee de voordeligste oplossing. Bij winlocaties dicht bij de verwerkingslocatie kunnen kosten nog iets lager zijn, indien volledig hydraulisch gewerkt kan worden.

In het voorbeeld van de kostenraming is voor zanddammen uitgegaan van aanlegtaluds van 1:20; deze worden haalbaar geacht voor zandtaluds. Bij de uitvoering dient er aandacht besteed te worden dat het zand hiervoor geschikt is. Wanneer het zand een grote fractie aan fijner materiaal, silt, slib of klei, bevat, is 1:20 mogelijk te steil. Bij een flauwer talud is het benodigde volume materiaal navenant groter.

Het aanleggen van de geotubes vindt op 2 verschillende wijzen plaats en is afhankelijk van de waterdiepte ter plaatse van de luwtedam. Bij voldoende waterdiepte kan een geotube 'afgezonken' worden, in dat geval spreken we feitelijk van een geocontainer. Bij ondiepten (of om een extra laag op een geocontainer aan te brengen) wordt een geotube geplaatst. Het benodigde zand wordt aangevoerd in een beunbak. Mogelijk is een kostenbesparing mogelijk indien lokaal gewonnen slib gebruikt wordt, zoals voorgesteld in paragraaf 3.2.2.

De benodigde breuksteen wordt in alle gevallen en locaties per beun aangevoerd en met een kraanponton gelost en verwerkt. Bij het Enkhuizerzand moet met extra overladen van breuksteen worden gerekend vanwege de beperkte waterdiepte.

Gerekend is met de volgende opbouw bij de dammen met breuksteen afdekking:

- filterdoek / geotextiel;
- filterlaag breuksteen 5-40 kg, laagdikte 0,3 m;
- afdeklaag breuksteen 60-300 kg, laagdikte 0,8 m.

3.4 Kosten

3.4.1 Uitgangspunten kostenraming

Kosten zijn geraamd voor de volgende situaties:

- zanddammen;
- zanddammen bekleed met breuksteen;
- dammen volledig bestaand uit breuksteen;
- dammen bestaand uit Geotubes/Geocontainers bekleed met breuksteen.

De hoeveelheden zijn ontleend aan de geometrieën van de dammen in Tabel 1 en de berekende zettingen in Tabel 2.

Om een gewenste eindhoogte van ca. NAP +0,6 m te bereiken na zetting, zijn de hoogtes van het aan te brengen materiaal (zand / Geotubes / breuksteen afhankelijk van het type dam) als volgt: Hoornse Hop 5 m; Enkhuizerzand 3 m; locatie Noord-Oost Markermeer 5,8 m. In de prijsvorming is rekening gehouden met de aanleg van tenminste enkele kilometers luwtedam.

In de kostenraming is uitgegaan van vullen van de geocontainers en geotubes met geleverd zand. Met het oog op de beperkte hoeveelheden en lage productie bij het vullen is het niet rendabel om hiervoor lokaal zand te winnen, waarbij ook kosten voor verwijderen van de deklaag meespelen. Een uitzonderling hierop is mogelijk bij het Enkhuizerzand waar fijn zand in de deklaag ligt. Bij de oplossing met geotubes/-containers is dus een domeinvergoeding in het tarief opgenomen.

Het beheer en onderhoud aan de luwtedammen is omgerekend naar kosten per jaar.

Op het zand zal begroeiing ontstaan (gras, riet); hiervan is het uitgangspunt dat er 1 keer per jaar gemaaid wordt. Daarnaast is gerekend met zandsuppletie van de zanddam; een inschatting hiervan is dat deze 10% bedraagt van het totale volume voor elke 10 jaar. Er zijn geen ervaringsgegevens bekend van suppleties in het Markermeer die dit zouden kunnen onderbouwen. Daarnaast is een zanddam ook locatie-gevoelig (stromingen, aanval door wind). Bij de overige dammen waar een breuksteenbekleding is toegepast, bestaat het beheer en onderhoud uit het verwijderen van houtopslag (1 x per 2 jaar) en het bijstorten en herstellen van het profiel van de dam, eens per 10 jaar. Hierbij is gerekend dat er 5% breuksteen wordt bijgestort op delen met zetting of afkalving en 20% van het oppervlak wordt aangeheeld.

In de raming zijn kosten voor jaarlijkse inspecties en monitoring geraamd. De monitoring bestaat uit het uitvoeren van hoogtemetingen, daarbij is onderscheid gemaakt tussen boven- en onder waterprofiel. Naast het onderhoud aan de luwtedam zelf, is ook gekeken naar het onderhoud van de luwtezone in het invloedsgebied van de dam. Per 1 km luwtedam is ca. 140 ha luwtezone voorzien. Het beheer en onderhoud bestaat uit monitoring van de waterbodem en onderhoud aan waterplanten, in die gebieden waar een te grote dichtheid ontstaat of waar een luwtedam in gebieden met intensieve recreatie ligt.

3.4.2 Kosten per eenheid

Hieronder worden de resultaten van de in de voorgaande paragrafen beschreven verschillende typen luwte-dammen weergegeven, voor 3 verschillende locaties.

Gerekend is met locatie Enkhuizerzand (waterdiepte ca. 2 m), Hoornse Hop (waterdiepte ca. 3 m) en Noord-Oost Markermeer langs de Houtribdijk tussen Trintelhaven en Lelystad (waterdiepte ca. 4 m).

Uit Tabel 3 (prijzen per m) en Figuur 8 (prijzen per km) blijkt duidelijk dat de kosten van zanddammen beduidend hoger liggen dan de kosten van de overige drie varianten. Dit heeft voornamelijk te maken met de grotere hoeveelheid materiaal die benodigd is voor zanddammen.

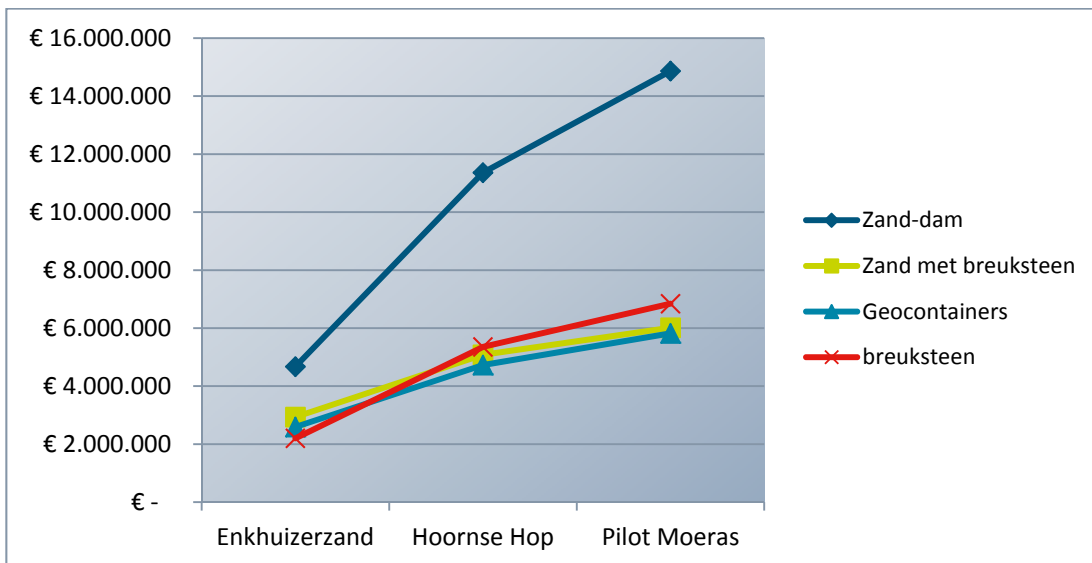
Tabel 3: Investeringskosten van verschillende luwtedammen, in prijs per meter

Investeringskosten	Enkhuizerzand	Hoornse Hop	Noord-Oost Markermeer
Zanddam	€ 4.700	€ 11.400	€ 14.900
Zandkern met breuksteen bekleding	€ 3.000	€ 5.100	€ 6.000
geotubes met breuksteen bekleding	€ 2.600	€ 4.800	€ 5.900
Volledig breuksteen	€ 2.200	€ 5.400	€ 6.900

Bedragen inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%

De hierboven genoemde kosten hebben betrekking op de ontwerpen genoemd in de tabellen 1 en 2 in par. 3.2 en de benoemde uitgangspunten.

Er zijn al diverse ontwerpen en ramingen van luwtedammen in het verleden gemaakt, er is dan ook sprake van een bandbreedte in kosten, al naar gelang vormgeving. De geraamde dammen in de MIRT Verkenning Hoornse Hop, bijvoorbeeld, zijn geschat op gemiddeld € 3.300 per m inclusief BTW. Deze dammen bestaan uit een zandkern, afgedekt met breuksteen. De grondslag van dit bedrag is niet bekend (ontwerp, mate van zetting, etc.).



Figuur 8: Investeringskosten van verschillende typen luwtedammen, in prijs per 1.000 meter, inclusief BTW

De geraamde beheer en onderhoudskosten, omgerekend per jaar, zijn in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 4: Beheer en Onderhoudskosten van verschillende typen luwtedammen, in prijs per meter, per jaar

Beheer en Onderhoud	Enkhuizerzand	Hoornse Hop	Noord-Oost Markermeer
Zanddam	€ 55	€ 110	€ 140
Zandkern met breuksteen bekleding	€ 17	€ 25	€ 27
Geotubes met breuksteen bekleding	€ 14	€ 17	€ 18
Volledig breuksteen	€ 11	€ 16	€ 17

Bedragen inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%

De kosten voor monitoring en beheer en onderhoud van de luwtezone achter de luwtedam zijn eveneens geraamd.

Tabel 5: Beheer en Onderhoudskosten luwtezone, in prijs per hectare, per jaar

Beheer en Onderhoud	per ha
Luwtezone – beperkt onderhoud waterplanten	€ 400
Luwtezone – volledig onderhoud waterplanten	€ 1.100

Bedragen inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%

Bij de luwtezone met beperkt onderhoud is gerekend met 20 % van 140 ha onderhoud aan waterplanten en bij volledig onderhoud is gerekend met het volledig oppervlak per km luwtedam. In beide bedragen is monitoring van het volledige invloedsgebied van 140 ha voorzien.

4 Verdiepingen

4.1 Inleiding

Het doel van verdiepingen is het invangen en deels immobiliseren van slib ter hoogte van de verdieping, waardoor een verlaging van de slibconcentratie in de waterkolom ontstaat. Door een lagere stroomsnelheid boven de verdieping kan fijn materiaal naar de bodem van de verdieping zinken en hebben golven tevens een minder opwervelende werking waardoor het slib minder snel weer in suspensie gebracht wordt. Dit leidt tot een hoge netto sedimentatie in de verdieping. De sedimentatie wordt nog versterkt door diffusief transport van slib in de waterkolom richting de verdieping als gevolg de slibgradiënt en door dichtheidsstroming bij de bodem die door horizontale gradiënten in slibconcentratie bij de randen van de verdieping wordt opgewekt. Dit draagt tevens bij aan een verdere lokale verlaging van de slibconcentratie in de waterkolom boven de verdieping (Vijverberg & Visser 2010) als ook in de directe omgeving van de verdieping.

De dimensies van de verdieping, het bodemprofiel rond de verdieping, de stroomsnelheid en de hoek tussen residuele stroming en de lengterichting van de verdieping beïnvloeden het effect van de verdieping op het stromingspatroon (Vijverberg & Visser 2010). Uit studies blijkt dat de effectiviteit van een verdieping het grootste is voor putten met een diepte groter dan 6 - 7 m (Knoben 2014). Voor langwerpige verdiepingen geldt dat deze het snelste slib afvangen wanneer zij haaks op de stromingsrichting staan (Consortium-Kransmeer 2012; Vijverberg & Visser 2010).

In diepe putten (diepte > 8 m – 10 m) kan gedurende een deel van het jaar tevens thermische stratificatie optreden. De ecologische effecten hiervan zijn beschouwd in de Bureaustudie Ecologie in 2010, en de update op die studie in 2012 (van Herpen 2010; Van Herpen *et al.*, 2015).

Verdiepingen nabij de kust kunnen leiden tot verhoogde kwel in de polders rondom het Markermeer (Knoben 2014). Het ontgraven leidt tot een verhoogde infiltratie in de diepere zandlagen, en dit beïnvloed de waterspanningen in het gebied rond de verdieping. De afmeting van het gebied dat beïnvloed wordt door een verdieping hangt af van de doorlatendheid van de ondergrond (Knoben 2014). Een ander risico van verdiepingen langs de kust betreft de stabiliteit van de oevers en van bestaande waterkeringen. Daarom dienen verdiepingen buiten het invloedsgebied van bestaande waterkeringen aangelegd te worden.

4.2 Aanlegprincipes en grondstromenbeheer

De afmetingen van verdiepingen hangen af van het doel dat zij dienen, kleinere verdiepingen hebben slechts een lokaal effect op de slibconcentraties. Voor een ruimtelijk uitgestreker effect zijn grootschalige verdiepingen rond het midden van het Markermeer beoogd, zoals bijvoorbeeld in het Marker Wadden project (Verschoor & Rijdsdorp 2012).

In het midden van het Markermeer bestaat de bodem uit een dikke deklaag (10 m tot 14 m) van slappe (klei/silt) lagen (Figuur 5) met daaronder zand. Bij grootschalige verdiepingen kan de deklaag met fijn zand en slib/klei/veen met een cutterzuiger verwijderd worden en hydraulisch naar een afzetlocatie verpompt worden. Onderliggend zand kan hydraulisch met behulp van een steekzuiger/winzuiger verwijderd worden en naar een afzetlocatie verpompt worden. Bij te grote pers-afstanden worden beunschepen ingezet. De omvang van de verdieping bepaalt grotendeels de inzet van het benodigde materieel (groot met hoge producties of juist omgekeerd bij kleine omvang). Bij kleinere verdiepingen zal veeleer mechanisch gebaggerd worden en kunnen beunschepen ingezet worden voor transport. Bij het ontgraven van de verdieping kan een slibscherm ingezet worden om vertroebeling tegen te gaan.

Combinatie van verdiepingen met andere ecologische maatregelen is in veel gevallen zinvol, zowel vanuit het oogpunt van verlaging van het slibgehalte als ook om kostentechnische redenen. Langs de kustlijn van het Markermeer bestaan diverse plannen voor de aanleg van luwtestructuren of vooroevers die aangelegd kunnen worden met zand afkomstig uit verdiepingen. Ook fijner materiaal zoals klei en slib kunnen gebruikt worden voor de realisatie van vooroevers of voor de aanleg van een moeras.

Het is efficiënt om de verdiepingen te realiseren nabij de aan te leggen werken om transportkosten te beperken. De beschikbare zandfractie speelt echter eveneens een grote rol wanneer zand gebruikt wordt voor bijvoorbeeld luwtestructuren of vooroevers. Het kan daarmee toch voordeliger zijn om een winput op (wat) grotere afstand van het te realiseren werk te kiezen waar veel van de gewenste zandfractie in zit.

Er kan dus een spanningsveld ontstaan tussen de ecologisch meest gewenste locatie, de locatie die het gunstigste is met betrekking op de transportkosten van de verdieping naar de afzetlocatie, en de locatie met het optimale materiaal. Ook de combinatie van verdiepingen met de aanleg van bijvoorbeeld luwtestructuren, vooroevers of moerasedeilanden, kan een ecologische meerwaarde leveren. Als kleinere verdiepingen aangelegd worden bij openingen in luwtestructuren: aan de rand van vooroevers, en aan de randen van een grootschalig moeras wordt de hoeveelheid slib die het gebied instroomt door de opening beperkt (Knoben 2014). Dit versterkt het effect van de structuur op de vermindering van de slibconcentratie in de waterkolom en tevens kan materiaal dat vrijkomt uit de verdieping benut worden voor verondiepingen achter deze structuren.

Bij het Enkhuizerzand zijn thans reeds zandlagen aanwezig op de meerbodem. Het zand dat gewonnen wordt bij de aanleg van verdiepingen op deze locatie kan gebruikt worden om ter plaatse luwtestructuren aan te leggen (Kollen & Jaspers 2012). Hierbij dient rekening gehouden te worden met het effect van verdiepingen op de stabiliteit van de aan te leggen zanddammen.

Een ander effect waar rekening mee gehouden dient te worden is dat na aanleg van structuren, zoals luwtestructuren, natuurlijke bodemverdieping kan optreden langs de randen ervan. Dit kan plaatsvinden in gebieden met hogere turbulentie en/of stroomconcentratie. Bij de structuren moet hierop worden geanticipeerd, bijvoorbeeld door adequate vooroeververdediging.

Aan het eind van de structuren zal geconcentreerde erosie plaatsvinden en net buiten dat gebied sedimentatie. Vergelijkbaar met openingen in golfbrekers kunnen hier juist verdiepingen worden gerealiseerd, waarmee extra sediment en slib wordt ingevangen door diffusief transport en dichtheidsstromen. Voor grote structuren zouden zo twee ronde of ovale verdiepingen ter weerszijden van elke structuur kunnen worden gerealiseerd, waarmee het erosie en sedimentatiegebied wordt 'omsloten'. Hiermee kan extra sediment worden ingevangen, wat enerzijds dient om het achterliggende gebied minder sedimentrijk te laten zijn en dat anderzijds na winning kan worden gebruikt als bouwstof.

Bij een complex stelsel van kleinschalige structuren kan voor een andere oplossing worden gekozen. Zo wordt bij de Marker Wadden voor een geulsysteem gekozen voor het invangen van slib. De locaties van de geulen zijn gebaseerd op een optimale afstand tussen winning en gebruik van zand en slib. Het ontwerp bevat vier geulen van 3-4 km lengte in het midden van het Markermeer. Het materiaal uit de verdiepingen wordt gebruikt voor de aanleg van een archipel van eilanden in het noordelijk deel van het Markermeer. De verdiepingegeulen lopen af richting een slenk met in het midden een grote zandwinput. Het zand wordt benut voor het aanleggen van luwtedammen, waarbinnen de eilanden gecreëerd worden. De eilanden worden voornamelijk opgebouwd uit het slappe materiaal uit de deklaag en met het slib wat gedurende lange periode ingevangen wordt in de verdiepingen. De verwachting is dat het slib dat wordt ingevangen in de geulen richting de slenk en zandwinput vloeit.

Van daaruit wordt het materiaal verpompt naar de eilanden (Verschoor & Rijdsdorp 2012). Zo worden de geulen ook op diepte gehouden en tegelijkertijd wordt met het verkregen materiaal een moeras ontwikkeld.

4.2.1 Stabiliteit en opvulling verdiepingen

Onderhoud van verdiepingen is nodig aangezien deze in de loop der tijd opvullen. Het tempo waarmee verdiepingen opvullen hangt zowel af van de snelheid van slibvang als van de consolidatie van het ingevangen slib. De snelheid van dit laatste proces is nog onzeker (Vijverberg & Visser 2010). Een bureaustudie van verdiepingen (Vijverberg & Visser 2010) wijst op sedimentatiesnelheden van ca. 2 m per jaar voor verdiepingen met een diepte >2 m onder de huidige meerbodem. Hierbij wordt opgemerkt dat instabiliteit van de randen van de verdieping (dichtheidsstroming) een bijdrage kunnen hebben aan het opvullen van de verdieping (Vijverberg & Visser 2010). Deze sedimentatiesnelheid is orden groter dan wat in het Markermeer in vlakke sedimentatiegebieden wordt geconstateerd. Dit geeft de effectiviteit aan van de verdiepingen als slibvang.

De taludhelling van de randen van de verdieping heeft weinig effect op de snelheid waarmee slib ingevangen wordt in modelberekeningen (Vijverberg & Visser 2010). Echter een steiler talud leidt in de praktijk wel tot een grotere kans op zettingsvloeiing en op het afkalven van de randen van de verdieping. Naast het talud spelen ook de diepte van de verdieping en de ondergrond een belangrijke rol. Statische afschuiving kan optreden als er sprake is van doorsnijding van slappe lagen. Vrijwel overal in het Markermeer is sprake van dergelijke doorsnijdingen (Figuur 5). Indien taluds worden aangehouden die flauwer zijn dan circa 1:3 zal de stabiliteit in het algemeen gewaarborgd zijn. Indien de putten zo diep zijn dat ze insnijden in het Pleistocene zand (ca. 14-16 m in het noordwesten, en ca. 6-12 m in het zuidoosten, zie Figuur 4) of indien er sprake is van Holocene (tussen)zandlagen (bij Enkhuizerzand of in het westen, zie Figuur 5) is er kans op zettingsvloeiing of bressen en zijn mogelijk flauwere taluds noodzakelijk. In het algemeen geldt dat taluds 1:7 of flauwer stabiel zijn.

4.3 Kosten

4.3.1 Uitgangspunten kostenraming

Zoals in de voorgaande paragraaf al is vermeld kunnen verdiepingen in diverse vormen en dieptes worden aangelegd. Voor het bepalen van de kosten van verdiepingen zijn daarom enkele kenmerkende scenario's bepaald en doorgerekend, deze staan beschreven in Tabel 6.

Tabel 6: Scenario's voor verdiepingen

Scenario	verdieping in m ³	afstand afzet/verwerkingslocatie		
scenario 1: kleine verdieping 5 m diep alleen verwijderen deklaag (klei/slib)	200.000	1 km	2 km	4 km
mechanisch: kraanponton	Transport:	beun	beun	beun
scenario 2: medium verdieping 10 m diep verwijderen deklaag (klei/slib) en zand 50%/50%	1.000.000	1 km	2 km	4 km

Scenario	verdieping in m ³	afstand afzet/verwerkingslocatie		
hydraulisch: deklaag met cutterzuiger	Transport:	persleiding	persleiding	persleiding
hydraulisch: zand met steekzuiger	transport:	persleiding	persleiding	persleiding
scenario 3: grote verdieping 20 m diep verwijderen deklaag (klei/slib) en zand 33%/67%	3.000.000	1 km	2 km	4 km
hydraulisch: deklaag met cutterzuiger	Transport:	persleiding	persleiding	persleiding
hydraulisch: zand met steekzuiger	Transport:	persleiding	persleiding	persleiding

Er is een indicatieve kostenraming gemaakt voor de in Tabel 6 genoemde scenario's. Het gaat hier om het realiseren van een verdieping, waarbij de vrijgekomen materialen ingezet worden in een werk, bijvoorbeeld een vooroever en/of moeras.

Bij de kostenraming gelden, naast de genoemde punten in de tabel, verder de volgende uitgangspunten:

- Bij scenario 1 is gerekend met het afvoeren van de deklaag (slib/klei) in splijtbakken en beunbakken met verhouding 50%/50%. Bij toepassing van beunbakken wordt het materiaal op de afzetlocatie gelost met een kraanponton.
- Toepassen van een slibscherm op de ontgravingslocatie om vertroebeling tegen te gaan.
- Bij scenario 2 en 3 is voor het zand gerekend met verwerken onder en boven water met verhouding 50%/50% (sproeiponton / walploeg).
- Er is niet gerekend met opbrengsten, of samenloop voordeel met eventuele andere projecten.

De beheer- en onderhoudskosten van verdiepingen bestaan uit het op diepte houden van de geulen/verdiepingen. De onderhoudsfrequentie zal bij ondiepe verdiepingen hoger zijn dan bij diepe verdiepingen. Zowel ingevangen slib als inzakking van de randen van de verdieping kunnen bijdragen aan deze slibaanwas. Voor de kostenraming is rekening gehouden met dezelfde scenario's als in Tabel 6. Een put met groot invangoppervlak zal relatief meer slib kunnen opvangen. Daarnaast is de taludhelling van een put van belang voor het totale volume per jaar dat ingevangen kan worden. Voor de kostenraming is daarom uitgegaan van een percentage aanwas naar putvolume, van 10% per jaar.

Het nog niet geconsolideerde slib kan met een steek/winzuiger verwijderd worden en eveneens toegepast worden in een vooroever of moeras.

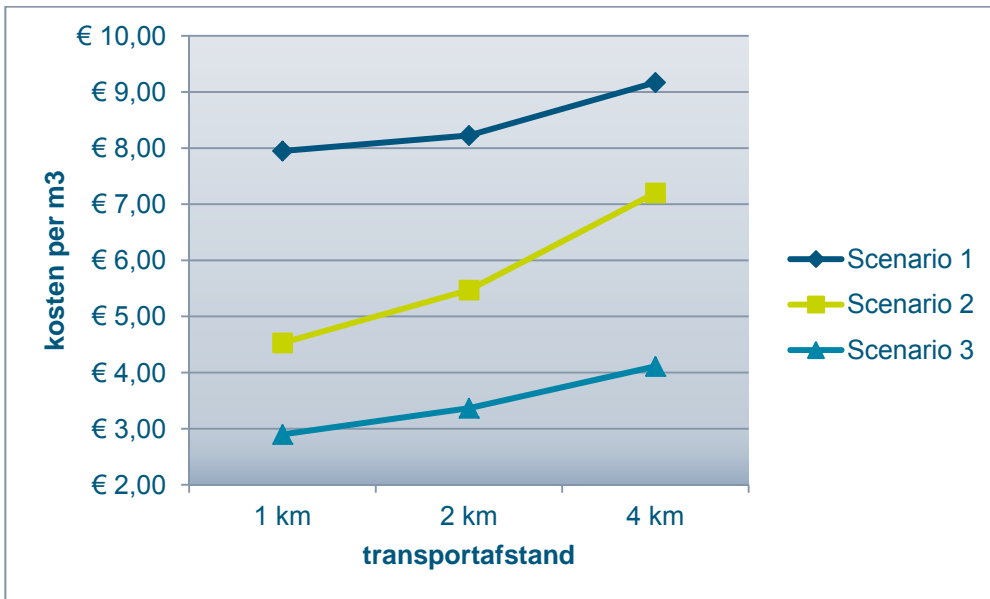
4.3.2 Kosten per eenheid

Kostenraming van de investeringskosten, op basis van de in paragraaf 4.3.1 genoemde uitgangspunten.

Tabel 7: Investeringskosten van de aanleg van een verdieping en de prijs per m³

Soort verdieping en ontgraving	Volume m ³	Investeringskosten per transport afstand en –methode*		
Kleine verdieping (diepte 5 m.) alleen deklaag mechanisch met kraanpontoon	200.000	1 km Beun	2 km beun	4 km Beun
Investeringskosten		€ 1.600.000	€ 1.650.000	€ 1.840.000
kosten per m ³		€ 8,00	€ 8,50	€ 9,00
Middel grote verdieping (diepte 10 m.) deklaag en zand (50%/50%) hydraulisch met cutter-/steekzuiger	1.000.000	1 km persleiding	2 km persleiding	4 km persleiding
Investeringskosten		€ 4.530.000	€ 5.470.000	€ 7.250.000
kosten per m ³		€ 4,50	€ 5,50	€ 7,25
Grote verdieping (diepte 20 m.) deklaag en zand (33%/67%) hydraulisch met cutter-/steekzuiger	3.000.000	1 km Persleiding	2 km persleiding	4 km persleiding
Investeringskosten		€ 8.700.000	€ 10.100.000	€ 12.300.000
kosten per m ³		€ 3,00	€ 3,50	€ 4,00

Bedragen afgerond: inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%



Figuur 9: Investeringskosten van de aanleg van een verdieping, in prijs per m3, inclusief BTW

De beheer- en onderhoudskosten zijn in onderstaande tabel weergegeven:

Tabel 8: Beheer- en Onderhoudskosten van de verdieping en de prijs per m³ per jaar

Soort verdieping en onderhoudsfrequentie	Aanslibbing (m ³)	Beheer en onderhoudskosten per transportafstand*		
		1 km	2 km	4 km
Kleine verdieping (diepte 5 m)	20.000	1 km	2 km	4 km
Kosten per jaar		€ 41.000	€ 42.000	€ 46.000
kosten per m ³ slib		€ 2,05	€ 2,10	€ 2,30
Middelgrote verdieping (diepte 10 m)	100.000	1 km	2 km	4 km
Kosten per jaar		€ 158.000	€ 167.000	€ 186.000
kosten per m ³ slib		€ 1,58	€ 1,67	€ 1,86
Grote verdieping (diepte 20 m)	300.000	1 km	2 km	4 km
Kosten per jaar		€ 453.000	€ 481.000	€ 537.000
kosten per m ³ slib		€1,50	€ 1,60	€1,80

Bedragen afgerond: inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 40%

5 Afdekken Meerbodem

5.1 Inleiding

Het afdekken van de slib laag op de meerbodem kan bijdragen aan het verminderen van de slib concentratie in de waterkolom. In 'Rapportage Maatregel afdekken' (Vijverberg *et al.*, 2015) wordt deze maatregel uitgebreid behandeld, gebruik makend van informatie uit eerdere bureaustudies en eerdere numerieke simulaties. In het voorliggende hoofdstuk zijn delen van de voornoemde rapportage die betrekking hebben op aanlegstrategie en kosten, overgenomen.

5.2 Aanlegprincipes

5.2.1 Locaties

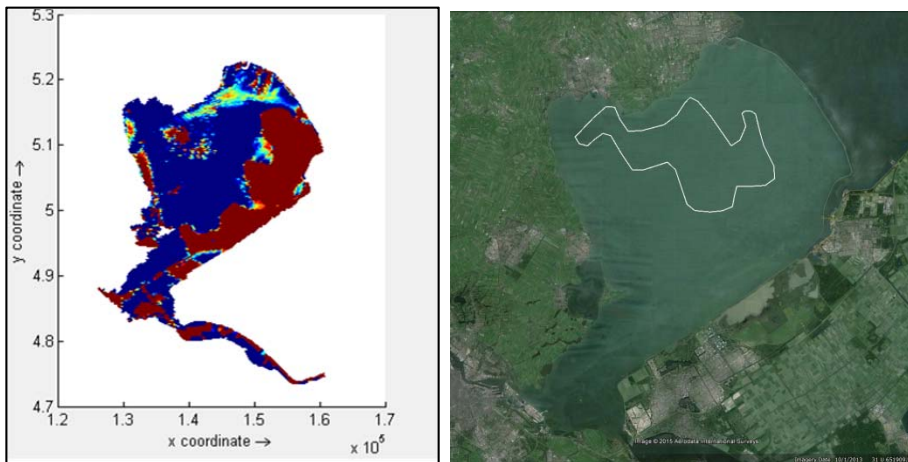
In essentie is afdekken van slib een maatregel om te voorkomen dat slib in suspensie komt en daardoor de troebelheid van het water verhoogt. Omdat depositie en resuspensie in het Markermeer overal wel eens voorkomt, afhankelijk van de windsterkte en –richting, zou geconcludeerd kunnen worden dat afdekken over het gehele meer potentieel zinvol is. Dit is echter niet het geval. In het Markermeer zijn gebieden aan te wijzen die netto eroderen en gebieden die netto sedimenteren. Afdekken in netto sedimentatie gebieden heeft weinig meerwaarde, omdat na loop van tijd een sliblaag zich zal afzetten op de afdeklaag en de afdeklaag daardoor zijn functie verliest. Opnieuw afdekken zou dan nodig zijn. In dat geval moet naast eenmalige kosten ook rekening worden gehouden met beheerskosten voor continue afdekken.

Om die reden is het waarschijnlijk efficiënter om alleen sliblagen af te dekken waar netto erosie plaatsvindt en waar erosie dus een continue bron van slib is. Door (een deel van) de eroderende laag af te dekken zal deze bron verminderen waardoor de totale hoeveelheid slib in het Markermeer kan afnemen (als we aannemen dat onttrekking van slib door invang in diepere delen, putten en achter luwtestructuren doorgaat).

Het Markermeer slibmodel berekent erosie en sedimentatie. Netto sedimentatie vindt plaats in het diepere zuidoostelijke deel van het Markermeer (zie Figuur 10, linker plaatje). In 'Rapportage Maatregel Afdekken' is het niet-sedimentatiegebied afgeleid uit het modelresultaat, dit gebied komt dan overeen met het blauwe gebied uit het linker plaatje in Figuur 10. In dit gebied zijn deelgebieden aan te wijzen die ongeschikt zijn om afdekken toe te passen zoals:

- gebieden met natuurlijke afdekking (schelpen);
- gebieden met ecologische waarde (bijvoorbeeld mosselen en waterplanten);
- gebieden met veel scheepvaart (zowel recreatievaart en beroepsvaart).

Op basis van bovenstaande overwegingen is uiteindelijk bepaald welk gebied overblijft als potentieel geschikt gebied om de maatregel afdekken toe te passen. In Figuur 10 (rechter plaatje) is de begrenzing van dit gebied met een witte contour aangegeven. Hierbij dient rekening gehouden te worden dat afdekken buiten de vaargeul plaatsvindt in verband met stabiliteit (de vaargeul is buiten het plaatje gehouden omdat dit zou wegvallen in de schaal). Verder moet worden opgemerkt dat ter plaatse van het Enkhuizerzand al zand aanwezig is, dus afdekken is hier minder zinvol.



Figuur 10: Links: de berekende jaarlijkse aanslibbing uit het Markermeer slibmodel, gebieden waar nauwelijks sedimentatie plaatsvindt zijn blauw (< 0.3). Rechts: Potentieel geschikt gebied voor het toepassen van de maatregel afdekken (Vijverberg et al., 2015).

5.2.2 Aanlegstrategie

Bij de aanleg van de afdeklaag is er van uitgegaan dat de aanwezige sliblaag aanwezig blijft. Een variant om bijvoorbeeld de (fluffy) laag te verwijderen en een laag zand direct over het geconsolideerde slib aan te brengen, wordt hier niet beschouwd.

De volgende afdektechnieken worden hierna uitgewerkt:

1. Sproeien (=nevelen).
2. Onderzuigen.

Beide methodes gaan uit van het afdekken van de sliblaag met een zandlaag van enkele decimeters (2 tot 4 dm).

De dikte van de afdeklaag wordt vooral bepaald door de zwaarte van het in te zetten materiaal. Bij groot materiaal zal de minimale deklaag wat dikker zijn dan bij lichter materiaal vanwege nauwkeurigheidsbeperkingen bij zwaarder materiaal (bij gelijkblijvende methodiek). Omdat op dit moment niet precies duidelijk is wat aannemers zullen toepassen in het Markermeer is uitgegaan van een bredere range.

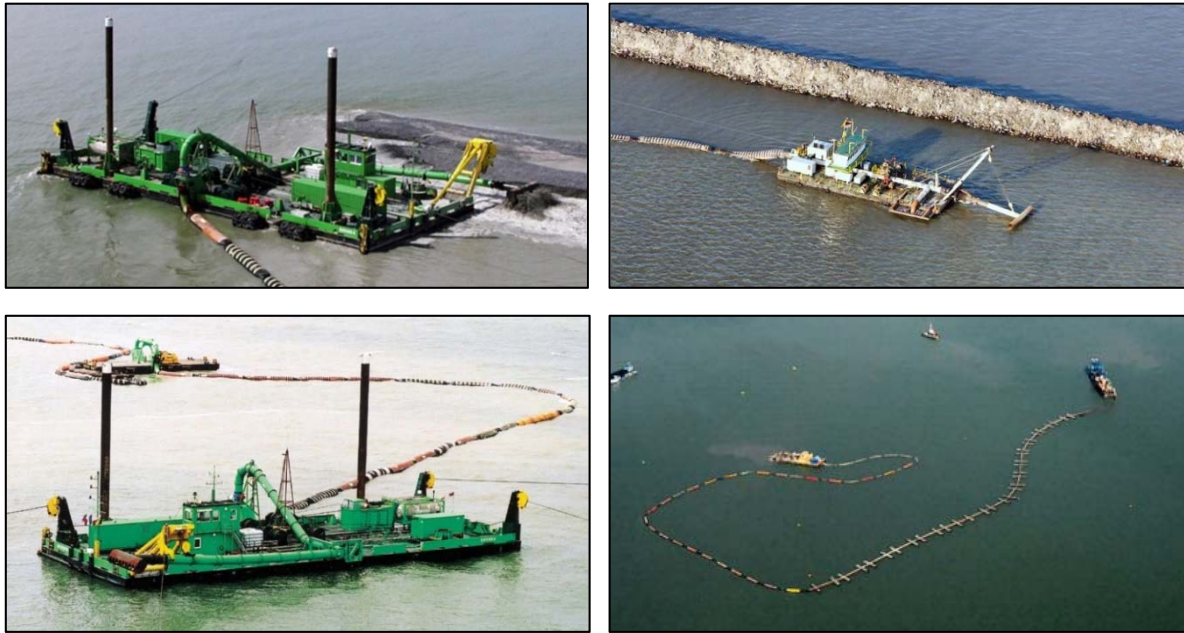
Sproeien

Bij de techniek 'sproeien' wordt het materiaal via een pijp veelal onder water aangebracht. De pijp met sproeikop hangt aan een schip (ponton, zuiger of hopper) en wordt afgehangen tot ongeveer 1 meter boven de bodem. Bij schoon zand kan de kop eventueel ook boven water gehouden worden om een nog fijnere afdeklaag te creëren.

Het zand kan in de pijp gebracht worden via een kraan met trechter, maar overwegend zal dit gebeuren via een perspomp (bijv. van een snijkopzuiger of sleephopperzuiger). Het zandige materiaal wordt doorgaans via een drijvende leiding naar een sproeiponton verpompt. Meestal is de sproeiponton voorzien van een sproeikop die ervoor zorgt dat het hydraulisch zand-watermengsel goed wordt verdeeld en als het ware vernevelt op het slappe slib. Hierdoor worden grote vervormingen en formatie van moddergolven grotendeels voorkomen.

Bij het sproeisysteem is monitoring van groot belang: het proces moet nauwkeurig gecontroleerd worden met peilingen. Indien de sliblaag zeer slap is wordt de zandlaag vaak in twee lagen aangebracht: de eerste laag, die de "wapening" vormt voor de tweede laag, wordt 'ingeregend' om een soort van stabiliserende deken te verkrijgen.

In Figuur 11 zijn enkele typisch voorbeelden gegeven van een sproeiponton, gekoppeld aan een drijvende leiding.



Figuur 11: Typische voorbeelden van sproeipontons (bron: DEME / Van Oord / Boskalis)

Onderzuigen

Bij de techniek 'onderzuigen' gaat het om het realiseren van een bodemverlaging door bruikbaar materiaal (meestal zand) weg te zuigen van onder een bovenlaag onbruikbaar materiaal. Het karakter en de samenstelling van de bovenlaag wordt hierbij grotendeels bewaard. Vrijkomend zand kan gebruikt worden voor het afdekken van vervuild slib waardoor de waterkwaliteit verbeterd. Door onder de bovenlaag zand te baggeren en dit op de bodem te plaatsen wordt de bestaande bodem geïmmobiliseerd. Na enige tijd zal door het gewicht van de zandlaag bovendien de oorspronkelijke bodem inklinken. Hierdoor treedt een verlaging op van het bodemniveau.

Onderzuigen kan zowel op land als op water worden toegepast.

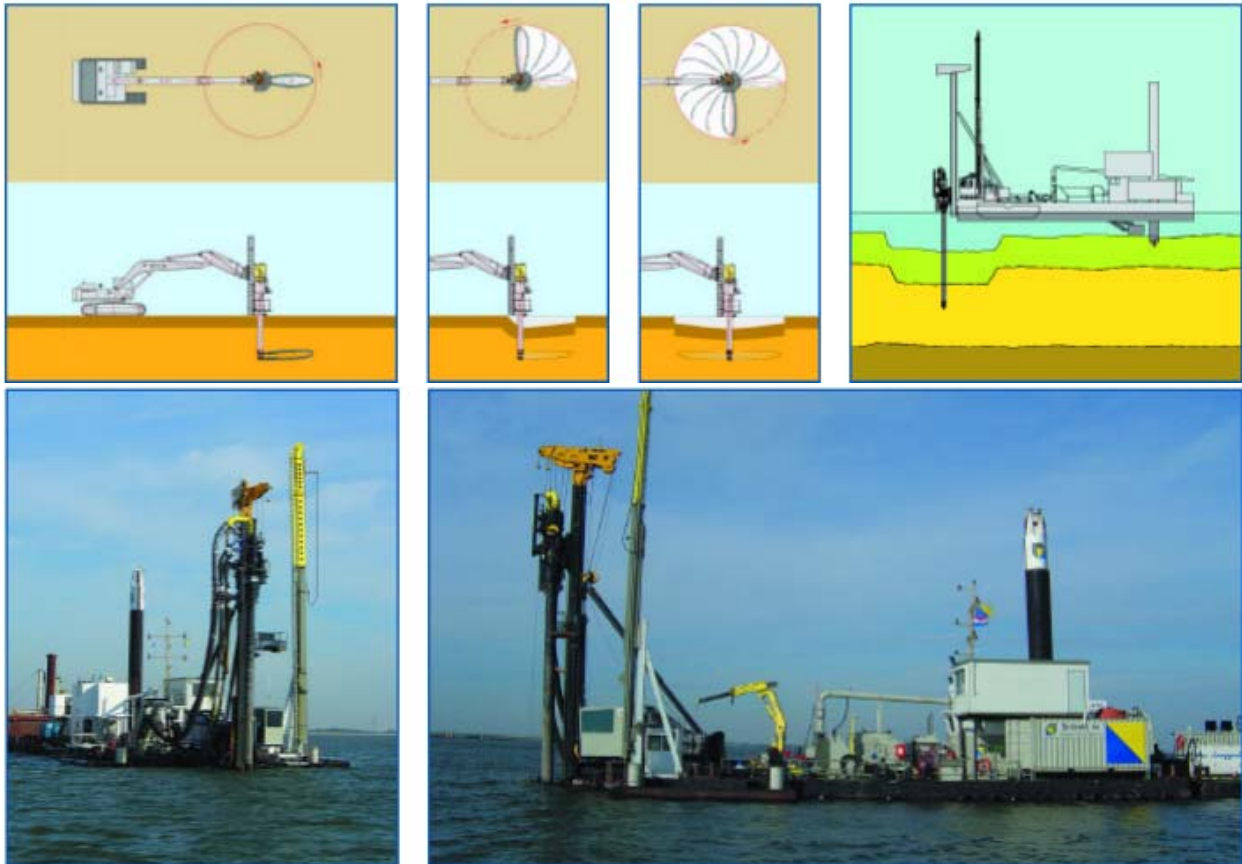
Het werktuig voor de onderzuigtechniek bestaat uit een meerledig samenstel van buizen, bevestigd aan een ponton of kraan. Het samenstel kan verticaal bewegen en om de langsas roteren. Onderin het roteerbare deel wordt met een horizontaal gerichte waterstraal onder hoge druk het zand los gespoten. Het zand-watermengsel wordt door de binnenbuis opgezogen. Tijdens het proces wordt het volume van het injectiewater en het afgevoerde mengsel exact op elkaar afgestemd, waardoor geen ongewenste stromingen ontstaan.

Zie Figuur 12 voor een voorbeeld en werkingsprincipe van onderzuigmaterieel.

Vergelijkbaar met de sproei-techniek wordt bij de onderzuigtechniek ook gebruik gemaakt van een sproeiponton en een drijvende leiding.

Het werkponton met de “onderzuig-kraan” zuigt zand onder de sliblaag vandaan en via een grondpers wordt dit hydraulische zandmengsel via een drijvende leiding naar een sproeiponton verpompt. Het sproeiponton brengt vervolgens een afdeklaag zand aan over het slib.

Het onderzuigen is een relatief nieuwe techniek waarmee een aantal pilotprojecten zijn uitgevoerd tussen 2002-2008. Momenteel worden de eerste projecten uitgevoerd met deze techniek (bv. Project Waterfront Harderwijk door Boskalis).



Figuur 12: Voorbeelden van onderzuigmaterieel (bron: Boskalis)

Vergelijking Sproeien en Onderzuigen

Beide afdektechnieken zijn in principe effectief en bieden feitelijk dezelfde immobilisatie van de sliblaag. Immers bij het onderzuigen wordt er ook een afdeklaag over het slib gespreid. Het verschil is dat bij onderzuigen het afdek materiaal heel lokaal wordt gewonnen en vervolgens wordt verspreid, terwijl het bij alléén sproeien van elders wordt aangevoerd.

Zowel sproeien als onderzuigen hebben beide hun voor- en nadelen. En voor beide geldt ook dat de lokale omstandigheden aan moeten sluiten bij de vereisten van de verschillende technieken. Is er bijvoorbeeld geen geschikt materiaal aanwezig in de onderlagen om opgezogen te worden dan valt het onderzuigen als mogelijke afdektechniek al af.

Te denken valt ook aan het toepassen van de ene techniek op de ene locatie en de andere techniek op een andere locatie. Mocht vanwege vaardiepte beperkingen het sproeien van een halve meter zand niet mogelijk zijn, dan kan in het vaargebied wellicht het onderzuigen worden toegepast en voor de overige gebieden het snellere en waarschijnlijk goedkopere sproeien met een externe zand bron.

Hieronder worden enkele algemene voor- en nadelen beschreven voor sproeien en onderzuigen. Waar mogelijk is dit specifiek gemaakt voor de situatie in het Markermeer.

Voor- en nadelen Sproeien/Nevelen

Voordelen sproeien

1. Bekende techniek (vaker toegepast).
2. Grote producties haalbaar en continuïteit.
3. Zandwinning voor sproeien mogelijk te combineren met baggeren van slibputten. Omdat in het Markermeer verschillende projecten in uitvoering gaan de komende jaren, is dit een reële mogelijkheid die voordelen kan bieden.
4. Goedkopere methode dan onderzuigen.
5. Te combineren met andere werken waar een zand/slib overschot is.
6. Meerdere mogelijkheden voor zandlevering (hopperzuiger, steekkopzuiger, bakken).

Nadelen sproeien:

1. Afhankelijk van aanwezigheid van geschikt afdek materiaal.
2. Grotere CO₂ belasting aangezien er meer/groter materieel nodig is.

Voor- en nadelen Onderzuigen

Voordelen onderzuigen

1. "Werk met werk maken", dus duurzame methode.
2. Netto bodemdaling dus gunstig in gebieden met beroeps- en pleziervaart.
3. Innovatief en stimuleert marktontwikkeling.
4. Zand wordt lokaal gewonnen en dus minder afhankelijk van supply-chain.

Nadelen onderzuigen

1. Relatief onbekende techniek waarmee nog niet veel ervaring is opgedaan.
2. Een of twee spelers op de markt die deze techniek hebben (minder marktwerking en concurrentie).
3. Relatief lage producties en veel onderbrekingen in het proces (ponton elke keer verplaatsen).
4. Duurdere methode dan sproeien.
5. Onbekend wat de lange termijn effecten zijn in de onderbodem (verstoring).
6. Afhankelijk van aanwezigheid van geschikt zand en voldoende volume in de onderlagen. In het Markermeer zit het zand aan de westzijde op een diepte van 15 m. Aan de oostzijde is dat orde 5 m. Daarom lijkt deze techniek moeilijk toepasbaar aan de westzijde van het meer. De techniek is voornamelijk geschikt tot een diepte van circa 5 m.
7. Veel grondonderzoek nodig om precieze laagdiktes te bepalen.

Conclusie

In het algemeen zijn zowel sproeien als onderzuigen geschikte en effectieve technieken om slib af te dekken, ieder met eigen specifieke voor- en nadelen. In deze fase waarin specifieke en essentiële project informatie (waterstanden, grondonderzoeken, locatie, volumes, etc.) ontbreekt, kan op voorhand niet definitief bepaald worden welke techniek het best kan worden toegepast.

Deze paragraaf heeft dus vooral een informatief karakter en kan meehelpen aan het betere begrijpen van de voor- en nadelen en uiteindelijk voor het kiezen van een bepaalde techniek.

Wel kan worden gesteld dat sproeien naar alle waarschijnlijkheid de beste methode voor het Markermeer zal zijn, in ieder geval aan de westzijde: onderzuigen is daar namelijk moeilijk toepasbaar, omdat de zandlaag daar op een te grote diepte ligt. Aangezien aan de oostzijde de maatregel afdekken niet zal worden toegepast, blijft dus waarschijnlijk alleen de methode sproeien over. Het afdekzand zal dan van verder moeten worden aangevoerd.

5.3 Kosten

5.3.1 Uitgangspunten kostenraming

Voor het bepalen van de realisatiekosten voor het afdekken van slib is onderscheid gemaakt naar omvang van het af te dekken oppervlak.

Het verschil in projectgrootte is bedoeld om de bandbreedte in kosten inzichtelijk te maken:

- gebied afdekken van 200 m x 200 m;
- gebied afdekken van 1 km x 1 km;
- gebied afdekken van 5 km x 5 km.

Voor de laagdikte is gerekend met gemiddeld 0,20 m (aangebracht in één laag). Afhankelijk van de grootte van het in te zetten materieel ligt de aanlegnauwkeurigheid tussen 0,10 m en 0,30 m. Hiermee wordt bedoeld dat bij de inzet van kleiner materieel met lagere producties 0,21 m te halen is met een afwijking van +/- 0,05 m en bij groter materieel zal dat 0,3 m zijn met +/- 0,15 m.

Voor het kleine gebied dient 8.000 m³ zand te worden toegepast in de afdeklaag. Bij deze geringe hoeveelheid is in de raming uitgegaan van kopen van het zand, inclusief afdracht domeinvergoeding. Bij Middelgroot en Groot gebied is uitgegaan van winning op korte afstand (3 km) van de verwerkingslocatie. Daarbij is rekening gehouden met het verplaatsen van de aanwezige deklaag en afzet van een deel hiervan op een dieper gelegen gebied, waarna zand gewonnen wordt. De rest van de deklaag kan worden omgeput. Het kostenkengetal is ontleend aan de kostenramingen welke voor project Marker Wadden zijn gemaakt door Royal HaskoningDHV. Hoewel in de voorgaande paragraaf de wintechniek met onderzuigen is toegelicht, zal deze qua kosten waarschijnlijk in de range van het gehanteerde kengetal uitkomen.

Bij kleinere werken worden de aanlegkosten vooral gedomineerd door de mobilisatie / demobilisatie kosten van het in te zetten materieel. Bij de grotere werken valt dat effect weg in de totale kosten. Er is verder onderscheid gemaakt in omvang van het materieel, met name in het type bakkenzuiger die de beunbakken leegt en het zand vervolgens naar het sproeiponton verpompt.

Bij het beheer en onderhoud van de afdeklaag is alleen monitoring meegenomen, gerekend met 1 maal per 2 jaar. Er wordt niet gerekend met het aanvullen van de zandlaag na verloop van tijd.

Vooralsnog wordt uitgegaan van toepassing van voldoende laagdikte en grof zand, zodat erosie een verwaarloosbaar effect heeft. De afdekking is ook alleen nuttig in gebieden waar (geringe) slib-erosie plaats vindt. Niet gerekend met afdekking in sedimentatie gebieden, dus aanwas van nieuw slib op de zandlaag wordt dan ook gering geacht (zie par. 5.2.1). Indien uit monitoring blijkt dat er, zoals aangenomen, geen aanwas van slib of erosie van de zandlaag plaats vindt, kan de frequentie van monitoring ook aangepast worden.

5.3.2 Kosten per eenheid

De realisatiekosten op basis van bovengenoemde projectgroottes zijn hieronder weergegeven, gebaseerd op de ramingen in rapport (Vijverberg, T., Boderie, P., Noordhuis, R. 2015) en een laagdikte van 0,2 m.

Tabel 9: Gemiddelde realisatie kosten per m² voor het afdekken van slib

Investeringskosten	Prijs per m ²
Klein gebied (200 meter bij 200 meter)	€ 6,30
Middelgroot gebied (1 km bij 1km)	€ 2,00
Groot gebied (5 km bij 5 km)	€ 1,40
<i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i>	

Tabel 10: Realisatiekosten voor het afdekken van slib

Investeringskosten	Kosten totaal
Klein gebied (200 meter bij 200 meter)	€ 300.000
Middelgroot gebied (1 km bij 1km)	€ 2.000.000
Groot gebied (5 km bij 5 km)	€ 35.000.000
<i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i>	

Het beheer en onderhoud bestaat uit monitoring op basis van metingen van de afdeklaag. Hierbij wordt gemeten in hoeverre erosie van de zandlaag plaats vindt of in hoeverre zich eventueel nieuw slib afzet op het zand.

Tabel 11: Beheerkosten voor het afdekken van slib

Beheerkosten	Grootte	Aantal metingen	Kosten per jaar	Kosten per ha
Klein gebied	4 ha	1 per ha	€ 4.000	€ 2.000
Middelgroot gebied	100 ha	1 per 5 ha	€ 11.000	€ 215
Groot gebied	2500 ha	1 per 10 ha	€ 122.000	€ 100
<i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i>				

6 Grootschalig Moeras

6.1 Inleiding

Een moeras is een land-water zone, met overgangen tussen helder en slibrijk water. Doelen van een grootschalig moeras zijn:

- vergroten van het areaal aan land-waterovergangen;
- toevoegen van nieuwe natuurwaarden;
- vergroten van ecologische draagkracht;
- stabiliseren en versterken van bestaande natuurwaarden;
- versterken van ruimtelijke diversiteit.

Door luwte te creëren kan een moeras mogelijk ook slib invangen en bijdragen aan een lokale reductie van de slib concentratie (RRAAM 2011). Verder zorgt het moeras door zijn aanwezigheid ook voor een afdekking van de bodem, waardoor er ook minder slib opgewerveld wordt dan in de huidige situatie.

6.2 Aanlegprincipes

6.2.1 Locatie

In het kader van NMIJ is de aanleg van een moeras nabij de Houtribdijk in de buurt van Trintelhaven beschouwd. Er zijn verschillende argumenten die pleiten voor deze locatie:

- Op deze locatie zijn momenteel geringe natuurwaarden en er is geen conflict met lokaal gebruik, dit bevordert de acceptatie van het aanleggen van een moeras (Van Herpen, 2015).
- Hier vormt een moeras een stepping stone tussen andere waardevolle natuurgebieden (Knoben 2014).
- Deze hoek van het Markermeer heeft de meeste waterstandvariatie. Deze dynamiek draagt bij aan het creëren van een gewenste leefomgeving voor flora en fauna.
- De ontwikkeling van een moeras op korte afstand van Lelystad is opgenomen in de kustvisie van Lelystad (Van Herpen *et al.*, 2015).
- Het moeras kan een positieve bijdrage leveren aan de dijkveiligheid van de Houtribdijk (Knoben 2014; RRAAM 2011).

Vanuit een aanleg-technisch oogpunt zou Enkhuizerzand een gunstige locatie zijn. Door de zandige ondergrond zijn zettingen geringer, en zand kan ondiep lokaal gewonnen worden. Hier heeft een moeras echter een negatief effect op bestaande ecologische en morfologische waarden waardoor de voorkeur naar de bovengenoemde locatie uitgaat.

6.2.2 Afmeting

De afmetingen die een moeras zou kunnen hebben om goed te functioneren zijn geschat op basis van vergelijkingen met natuurlijke situaties zoals in het Peipsi meer en het Vörtsjärv meer. Hieruit komt een areaal naar voren van ca. 4.500 ha (van Eerden *et al.* 2007).

Een moeras van 4.500 ha kan om kostentechnische redenen waarschijnlijk niet in één keer aangelegd worden. In dat geval is een gefaseerde aanleg mogelijk, waarin materiaal uit diverse projecten in het Markermeer gebruikt kan worden wanneer dit beschikbaar komt (Knoben 2014). Het Consortium Kransmeer ontwierp een moeras dat modulair kan worden gebouwd. In een minimumvariant krijgt dit moeras een oppervlakte van 1.500 ha welke binnen 40 jaar zou worden gerealiseerd; in een maximum variant krijgt het moeras een oppervlakte van 4.500 ha in een tijd van 60 jaar (Consortium-Kransmeer 2012). Ook bij het project Marker Wadden wordt gedacht aan een opbouw in fases. Verschillende eilanden worden hierbij aangelegd achter een luwtestructuur. De eerste stap bestaat uit de realisatie van een eiland met onderwaterlandschap van 300 ha. Dit kan doorgroeien tot een archipel van ongeveer 800 hectare waarin moerasvegetatie, ondiepe plassen, kreken en geulen elkaar afwisselen (www.natuurmonumenten.nl)

6.2.3 Buitenrand

Bij de aanleg van een grootschalig moeras dient eerst een buitenrand aangebracht te worden. De buitenrand sluit de grond die aangebracht wordt in het moeras in, kan voor golfuwte zorgen en beschermt het moeras daarmee tegen erosie. Het is echter onwenselijk om een geheel gesloten buitenrand om het moeras te hebben. Openingen in de buitenrand zijn nodig zodat het water in het moeras ververst wordt en zodat vissen kunnen tussen het meer en het moeras kunnen zwemmen (Van Herpen et al., 2015).

De rand kan uit verschillende materialen bestaan en zelf ook onderhevig zijn aan erosie. Erosie is het gevolg van dwars en langstransport door golfwerking en/of stroming. Het tegengaan van erosie kan door de belasting door golven en stroming zo klein mogelijk te houden, zoals door de aanleg van vooroeverdammen, strekdammen en door te werken met heel flauwe taluds waarop de golf zijn energie verliest voordat de oeverlijn wordt bereikt. Men kan de oeverlijn ook direct beschermen door inzet van harde constructies, geotextiel of (ingeplante) oevervegetatie

Bij de Pilot Moeras is een ovaalvormige buitenrand aangelegd. Deze buitenrand dient ook als golfbreker en steekt boven het wateroppervlak uit. Deze buitenrand bestaat uit geotubes bekleed met breuksteen, en is beschreven in Hoofdstuk 3. Aan de zijde van het moeras die bloot staat aan de sterkste golfbelasting, het zuidwesten, is een grovere sortering breuksteen toegepast dan aan de noordoostelijke zijde van het moeras waard de golfbelasting aanzienlijk lager is.

De buitenrand is op twee plaatsen onderbroken waardoor uitwisseling van water en sediment tussen de pilot en het Markermeer mogelijk is. Vanaf de opening in de buitenrand richting het moeras loopt een geul. De vorming van deze geul is vooral een gevolg van de gehanteerde aanlegmethode (zie Opvulling Moeras) en veel minder van morfologische activiteit (Dankers et al., 2015) Hieruit blijkt dat het goed mogelijk is om openingen in de rand aan de luwe zijde van een moeras te realiseren. Dit wordt bevestigd door monitoring van de natuureilanden in de IJsseldelta (Evers, 2012)



Figuur 13 Links: Luchtfoto van de Pilot Moeras nabij de Houtribdijk, 2014. Rechts: Opname 30 juni 2015 (ontleend aan Google Earth)

In het referentieontwerp (Fiselier en Ebbens, 2012) voor Marker Wadden heeft het moeras een buitenrand van zand. Om dit zand stabiel te houden is voorgesteld om palenrijen in het zand te plaatsen met een tussenafstand van 100 m. Aan de zijden met de hoogste golfbelasting, de westelijke en de zuidelijke zijde, wordt een breuksteen bekleding ter bescherming van de buitenrand aangebracht.

Bij de aanleg van de buitenrand dient rekening gehouden te worden met het effect van zettingen tijdens de levensduur. Hierdoor kan het wenselijk zijn dat de buitenrand in eerste instantie hoger boven het wateroppervlak uit steekt; hier wordt in paragraaf 3.2.3 verder op ingegaan.

In plaats van de rand van het moeras met een overhoogte aan te leggen kan deze later alsnog opgehoogd worden indien dit in de loop van de tijd nodig blijkt. In dat geval kan de rand in eerste instantie lager aangelegd worden, wat tot winst leidt indien zettingen kleiner blijken te zijn dan verwacht. Indien zettingen echter wel zodanig zijn dat alsnog opgehoogd moet worden, kunnen kosten hoger uitvallen dan bij het in één keer aanleggen, aangezien materieel in dat geval tweemaal gemobiliseerd moet worden.

In de Pilot Moeras is de zetting van de randen gemeten. In totaal is er een hoogteverlies opgetreden variërend tussen 26 en 77 cm. Dit hoogteverlies heeft verschillende oorzaken:

- Zetting van de Markermeer bodem ten gevolge van het opgebrachte gewicht.
- Squeezing (wegduwen) van de toplaag van zacht slib op de Markermeerbodem bij het aanbrengen van de geocontainers. Een dergelijke squeezing is inderdaad geobserveerd.
- Het nazakken van het materiaal in de geocontainers en geotubes onder het gewicht van de bestorting.
- Door golfwerking kan de constructie deformeren en elementen kunnen verschuiven.

Tijdens de aanleg is direct hoogteverlies van 6 – 37 cm opgetreden in zeer korte tijd. De grote zettingen van de randen bij aanleg bestaan uit de initiële zetting maar kunnen ook het gevolg zijn van de genoemde squeezing. Na deze initiële zetting bij aanleg heeft er over een periode van 2 jaar nog 20 – 40 cm extra zetting plaatsgevonden. De zetting gaat nog langzaam door. Uit consolidatieberekeningen volgt dat de 90% eindzetting na 3 jaar is bereikt. (Dankers et al., 2015)

Erosie aan de randen van de pilot bestaat alleen uit het verdwijnen van stortstenen vanaf de rand. De geocontainers en geotubes kunnen niet eroderen. Wel heeft duidelijk vervorming/uitzakking van de geocontainers en geotubes plaatsgevonden. Hierdoor is de beoogde starthoogte niet gehaald en moest de rand verder worden aangevuld met extra breuksteen. Dit heeft geleid tot een groter gewicht op de Markermeerbodem en vervolgens ook tot een grotere zetting dan initieel was voorzien. Twee jaar na aanleg is er sterke variatie in de hoogte zichtbaar langs de rand. De verschillen in hoogte, welke op korte afstand van elkaar voorkomen, is waarschijnlijk vooral een gevolg van instabiele breuksteen, en mogelijk lokale vervorming/uitzakking van geocontainers/geotubes en in mindere mate van variatie in zetting.

6.2.4 Opvulling moeras

Hoe de aanleg/opvulling van een grootschalig moeras het beste kan worden gerealiseerd, zal o.a. afhangen van de gewenste grootte en het type beschikbare en toe te passen materiaal (klei, slib, zand of veen). Bij het gebruik van slib kan een keuze worden gemaakt uit het toepassen van mechanisch gebaggerd slib (zoals in de Pilot Moeras is toegepast) of hydraulisch gebaggerd slib (Marker Wadden). Winnen van slib vraagt de inzet van baggermaterieel. De inzet daarvan is duur. Het is dus zaak om slib geconcentreerd in te winnen (hydraulisch of mechanisch), met minimale toevoeging van (proces) water. Dit laatste is weer nodig om kosteneffectief te kunnen verpompen en het slib te kunnen inbrengen in relatief hoge dichtheden. Dit laatste geeft een betere uitgangssituatie voor de vervolgstappen zoals consolidatie en rijping.

Om land-water overgangen en verschillende ecologische milieus te realiseren is het wenselijk om een variatie aan waterdieptes en voldoende droog areaal aan land te hebben. Verschillende specifieke milieu omstandigheden die wenselijk zijn in het moeras zijn beschreven in het Integraal Tussenadvies NMIJ 2013. Dit betreft gebieden als: plas-dras, ondiep water, diep water, eiland, geulen en oevers (Knoben 2014). Hiervoor is het wenselijk dat bij de aanleg van het moeras een zekere mate van reliëf gerealiseerd wordt in de opgebrachte grond.

In de Pilot Moeras bleek dat het moeilijk is om bij het aanbrengen van slap materiaal taluds te realiseren, aangezien het slappe materiaal uitvloeit. Een helling van meer dan 1:100 bleek lastig te realiseren. Om in de Pilot Moeras proefvakken met een specifieke maaiveldligging aan te leggen is het moeras door middel van stalen damwanden opgedeeld in kleine (10 x 10 m) proefvakken die tot verschillende hoogten gevuld zijn. Voor een permanent moeras is het echter wenselijk om natuurlijke materialen te gebruiken als binnenranden.

Rijshouten dammen zijn gebruikt om slib op in te vangen in het experiment de Marker Kwelderwerken (Wielakker et al. 2014). Uit het experiment blijkt dat rijsdammen goed in staat zijn het slib vast te houden, en dat deze gebruikt kunnen worden om luwe heldere ondiepe oeverzones te realiseren. Daarnaast functioneren de Marker Kwelderwerken als ecologisch verantwoorde oeverzone.

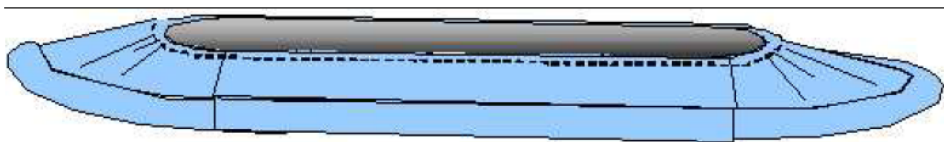
Voor de ontwikkeling van vegetatie maakte de vorm van de Marker Kwelderwerken niet uit, echter de waterdiepte en de variatie in diepte had een belangrijk effect op de mate van ontwikkeling. Daarbij bleek het belangrijk dat drooggevallen slibbige gronden aanwezig waren in het Kwelderwerk. Verder bleek een trapsgewijze constructie gunstig voor de stabiliteit van de constructie.

Tijdens een storm in oktober 2013 is schade opgetreden aan de voorste palenrij. Als buitenrand lijken de rijshouten dammen voor een grootschalig moeras dus onvoldoende robuust. Wel zouden deze rijshouten dammen als interne randen gebruikt kunnen worden om compartimenten en hoogteverschillen te realiseren.

In het ontwerp van het Consortium Kransmeer wordt het moeras modulair opgebouwd uit slibdepots. In dit ontwerp kan het moeras gefaseerd uitgebreid worden door nieuwe slibdepots aan te leggen. Het principe van het slibdepot is te zien in onderstaande figuur uit het rapport 'Kunstmatige structuren als katalysator voor ecologie in het Markermeer-IJmeer' (Consortium-Kransmeer 2012).

Een slibdepot bestaat uit een ronde rand van Geotubes op de bodem van het meer. Hieraan is een scherm van geotextiel bevestigd dat aan de bovenkant vast zit aan drijvers. Binnen het scherm wordt het depot gevuld met gebaggerd slib. Tijdens het vullen ligt er een drijvend eiland boven het depot, waardoor het depot in fases gevuld kan worden als materiaal beschikbaar komt. Wanneer het depot gevuld is wordt een kleilaag aangebracht.

De drijvende eilanden kunnen in principe meerdere malen gebruikt worden. De eilanden bestaan uit tempex met daaromheen een geotextiel (HDPE 2 mm) dat de eilanden beschermt tegen vraat (Consortium-Kransmeer 2012).



Figuur 3.7 Voorbeeld van een slibdepot, bestaande uit een geotube op de bodem en drijvers rondom de opening. Aan de binnenzijde ontstaat een luwtegebied. (inhoud bij 4 meter diepte ca. 55.000 m³)



Figuur 14 Boven: Illustratie van een slibdepot uit het ontwerp van Consortium Kransmeer. Onder illustratie van drijvend eiland boven slibdepot. Figuren uit 'Kunstmatige structuren als katalysator voor ecologie in het Markermeer-IJmeer' (Consortium-Kransmeer 2012).

De hoogte van het opgebrachte materiaal binnen het moeras wordt ook beïnvloed door consolidatie van het materiaal en door zetting van de ondergrond. Dit draagt bij aan een wisselend reliëf wat de variëteit in waterdieptes en land-water overgangen vergroot (Maronier & Koenraadt 2014). Dit is onder andere geobserveerd bij de aanleg van De Kreupel (Knoben 2014).

Voor het opvullen en opbouwen van een moeras kunnen verschillende methoden worden toegepast, o.a. afhankelijk van het type opvulmateriaal. In de Pilot Moeras, waar mechanisch gebaggerd Holoceen materiaal (slap materiaal) is gebruikt is in verschillende stappen gewerkt waarbij geëxperimenteerd is met verschillende aanlegmethodes. Allereerst is een lage buitenring aangelegd van geocontainers. Vervolgens is het sediment via onderlossers in het moeras gebracht. Het continue invaren met schepen heeft geleid tot de vorming van een geul in het moeras. Vervolgens is de rand verder afgewerkt met geotubes en breuksteen en is het opvulmateriaal binnen de rand verder aangebracht via transportbanden. De transportbanden transporteerden het ophoogmateriaal vanaf baggerschepen buiten de pilot naar het binnengebied. De transportbanden zijn verschillende keren verplaatst omdat het materiaal niet voldoende 'vloeiende' om vanuit één aanbrengpunt het gehele gebied van 10 ha te vullen. Omdat segregatie optreedt en uitvloeijing vanaf een aantal verschillende lospunten plaatsvond, zijn in de pilot duidelijk verschillende hoge delen herkenbaar en zijn van boven af cirkelvormige structuren te zien, zie figuur 15. De variatie in de hogere delen is dus vooral een gevolg van het gebruik van de werkmethode met transportbanden. In de laatste fase is voor de opvulling langs de buitenrand het materiaal met kraanschepen over deze rand getild.



Figuur 15: Bovenaanzicht pilot tijdens aanleg: duidelijk zijn de cirkelvormige structuren te zien t.g.v. de aanleg met transportbanden (puntdepositie)

Het initieel aanbrengen van zinvol reliëf, meer dan het minimale reliëf t.g.v. de aanlegmethode, bleek lastig te realiseren in de pilot. Hiervoor had het materiaal te weinig stevigheid. Bij het gebruik van zandiger materiaal zal dit gemakkelijker gaan. In de pilot is de ontwikkeling van het reliëf gemonitord. De vraag was of verschillen in consolidatie van het ophoogmateriaal en zetting van de ondergrond, gecombineerd met morfologische processen, vanzelf tot een gevarieerd hoogtebeeld zou leiden. De morfologische ontwikkeling wordt in Dankers et al. (2015) uitgebreid beschreven. Geconstateerd wordt dat morfologische processen wel een rol spelen maar dat deze vooral lokaal tot variaties in maaiveldhoogte leiden, zoals de ontwikkeling van een erosie laagte achter de stortstenen rand als gevolg van golfwerking. In het grootste deel van de compartimenten vinden morfologische processen als resuspensie en sedimentatie wel plaats maar leiden deze niet tot de gewenste variaties in reliëf.

De consolidatie van de ophoog laag en zetting van de ondergrond, zoals gemeten in de pilot, is weergegeven in onderstaande tabel 12 (Dankers et al., 2015). Hierbij wordt opgemerkt dat de getallen vooral zijn herleid voor de hogere (droge) delen. De lagere delen welke vanaf het begin onder water hebben gelegen hebben een totale consolidatie en zetting van 30 – 40 cm.

Tabel 12: Consolidatie en zetting in de Pilot Moeras

	Zetting ondergrond		Consolidatie ophooglaag		Totaal	
	Na 2 jaar	90% eindsituatie	Na 2 jaar	90% eindsituatie	Na 2 jaar	90% eindsituatie
Randen	20 -40 cm (4)	3 jaren	N.v.t.	N.v.t.	20 – 40 cm	3 jaren
Gesloten compartiment	10 – 30 cm (4)	2 jaren	60 – 90 cm (2)	2 jaren	70 – 100 cm	2 jaren
Open compartiment	2 – 15 cm (4)	2 jaren	55 – 60 cm (1)	2 jaren	60 – 70 cm	2 jaren
Proefvakken	2 – 20 cm (4)	1 jaar	10 – 40 cm (3)	1 jaar	10 – 60 cm	1 jaar

- (1) Bovengrens voor consolidatie in open compartiment uit metingen.
- (2) Volgt uit maaiveldmeting van hoge droge delen, nagerekend met FSconbag.
- (3) Volgt uit metingen.
- (4) Afgeleid uit metingen en op basis van modellering ingeperkt tot range. Voor het gesloten compartiment geldt dat voornamelijk naar hogere delen is gekeken.

Uit de pilot blijkt dat als bij aanleg grotere hoogteverschillen gecreëerd moeten worden, het noodzakelijk is om ophoogmateriaal te gebruiken met een grotere consistentie. Als er toch met slapper materiaal moet worden gewerkt is het advies om sterk gefaseerd op te hogen. Wanneer consolidatie en rijping het materiaal hebben verstevigd is dit een betere ondergrond voor extra te deponeren slib. Indien op grotere schaal gewerkt gaat worden kunnen, mede afhankelijk van de locatie, verschillen in zetting van de waterbodem gaan optreden die significant zijn voor het bereiken van de gewenste diepteklassen. Als er gevarieerd wordt met het type ophoogmateriaal (klei en veen) kunnen er ook substantiële verschillen in zetting optreden (Dankers et al., 2015). Een andere mogelijkheid is het gebruiken van compartimenten om hoogteverschillen te creëren, zoals de proefvakken in de Pilot Moeras. Als het materiaal voldoende is gerijpt en geconsolideerd kunnen de tijdelijke scheidingswanden worden verwijderd.

In plaats van te kiezen voor het kunstmatig aanbrengen van reliëf en hier veel energie en tijd aan te besteden kan er ook voor worden gekozen om de variatie in hoogte en diepte niet zozeer te zoeken in de verschillende compartimenten/modules van een grootschalig moeras maar juist in de gebieden tussen deze compartimenten/modules en langs de randen.

In het project Marker Wadden wordt gewerkt met een innovatieve techniek om het moeras op te vullen. Er wordt een speciale slibgeul aangelegd dicht bij het eerste te ontwikkelen eiland. Door de natuurlijke stroming in het meer komt het slib vanzelf in deze geul terecht. Dit slib wordt vervolgens gebruikt voor de bouw van het eiland. Een grote pomp op een ponton zuigt het slib op en transporteert het naar het eiland. Daar rijpt het slib en klinkt het in. Dit proces wordt diverse keren herhaald om uiteindelijk de gewenste plas-dras habitat te vormen (www.natuurmonumenten.nl).

6.2.5 Stimuleren moerasvorming

Er zijn meerdere ontwerpen en studies geweest naar het stimuleren van moerasvorming. De belangrijkste lessen hieruit met betrekking op de aanleg van een grootschalig moeras worden in dit hoofdstuk kort toegelicht.

Om moerasvorming te stimuleren stelt het consortium Kransmeer het gebruik van begroeide veenmatten voor. Deze bestaan uit een geotextiel gevuld met veen. De matten kunnen ingezaaid worden met bijvoorbeeld riet.

De matten kunnen drijvend worden getransporteerd, en zinken na verloop van tijd, of ze kunnen direct afgezonken worden door gewicht aan te brengen (Consortium-Kransmeer 2012). Deze veenmatten zijn een innovatie van Consortium Kransmeer waarvan de effectiviteit nog bewezen moet worden (RRAAM 2012).

Experimenten zijn uitgevoerd om het effect van type substraat en waterniveau op de ontwikkeling van flora en fauna in een moeras te bestuderen door het Center for Ecology and Hydrology (CWE 2014). De deeldoelstellingen van deze experimenten waren:

- het identificeren van mogelijke risicofactoren in het bodemtype die de ontwikkeling van moeras zouden kunnen hinderen;
- het kwantificeren van spontane ontwikkeling en de ontwikkeling van aangeplante moerasvegetatie en macrofaunagemeenschappen bij twee peilregimes.

Uit het experiment blijkt dat kleisubstraat het meest geschikt is voor vegetatie; slib is ongeschikter door hoge ammoniumconcentraties en ongunstige kiemomstandigheden. Ondiep water is nodig voor de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten. Tijdelijke droogval is noodzakelijk voor de ontwikkeling van een helofytenmoeras. Tevens bleek dat macrofaunaontwikkeling vooral gestuurd is door de aanwezigheid van vegetatie. Macrofauna ontwikkeling was succesvoller in ondiep water dan in plas-dras situaties. De diversiteit (soortensamenstelling) en abundantie van macrofauna bleven laag in de experimenten; dit suggereert dat met het huidige substraat uit het Markermeer waarschijnlijk een laagproductief moeras kan worden ontwikkeld.

In het experiment Rietontwikkeling van 2012 tot en met 2014 dat is uitgevoerd langs de westoever van het Zeeburgereiland en langs het Amsterdam-Rijnkanaal door Deltares (2015) is onderzocht of met riet beplante rijsmatten kunnen fungeren als zinkstuk en daarmee als natuurlijke oeververdediging. Uit het experiment bleek dat het goed mogelijk is riet op een rijsmat element te laten ontwikkelen en vervolgens het element te laten afzinken. De rietkraag vangt de belasting door golven op en de rijsmat heeft een lange levensduur en heeft geen onderhoud nodig. De vraatschade aan het riet was echter aanzienlijk. Een aandachtspunt dat voortkwam uit dit experiment is het belang van een heel groeiseizoen waarin het waterriet kan groeien en zich vastzetten. Dat betekent dat een rietoever op een rijsmat bij voorkeur in het begin van het groeiseizoen in maart en april wordt aangelegd. Het ontwerp en de aanleg van een afzinkbare rietoever vereist tevens een zorgvuldige voorbereiding en uitvoering door een aannemer. Omdat rietstengels boven het water moeten blijven uitsteken, kan afzinken van een rijsmat tot een maximale diepte van één meter. Tevens werkt rietontwikkeling op zinkstukken alleen op locaties met niet al te zware golfslag, dit zou dus geschikt zijn binnen een moeras.

Uit de in hoofdstuk 6.2.4 genoemde Marker Kwelderwerken experimenten bleek dat de oevervegetatie zich relatief snel ontwikkelt. De onderwatervegetatie ontwikkelt zich echter langzamer, mede door de golfwerking in de compartimenten in dat experiment. De macrofaunagemeenschap ontwikkelde zich maar in beperkte mate, de verwachting is dat dit meer tijd nodig heeft dan de duur van het experiment (2 jaar).

Vraat door watervogels kan de ontwikkeling van plantengroei teniet doen, dit kan worden beperkt door periodieke droogval. Dit principe wordt bij de Oostvaarders Plassen toegepast (Van Herpen *et al.*, 2015). Beheer van de plantgroei op het moeras kan nodig zijn. Bij het opgespoten eiland voor kust Waterland (Hoecklingsdam) nam de aantrekkelijkheid van het eiland als broedplaats af door verbossing en verruiging (Van Herpen *et al.*, 2015). Periodieke inundatie kan verruiging tegen gaan. Hierdoor zou de aanleg van een moeras een grotere meerwaarde hebben wanneer deze maatregel uitgevoerd wordt in combinatie met het vergroten van de peildynamiek (zoals behandeld in Hoofdstuk 8).

In de Pilot Moeras is geëxperimenteerd met vegetatiebeschermingsgebieden in de natte (onderwater) delen van het moeras. Opvallend was dat aanvankelijk, 1 jaar na aanleg, de bedekking van de watervegetatie hier veel hoger was dan in de rest van het onderwater gedeelte van het moeras. Twee jaar na aanleg waren de beschermingsgebieden beschadigd en was er geen verschil meer zichtbaar in begroeiing tussen de beschermde en onbeschermde delen. In de hogere (droge) delen van het moeras heeft geen stimulering van moerasvorming plaatsgevonden. Desondanks is het gehele boven water liggende gebied 2 jaar na aanleg begroeid geraakt met pioniersoorten. (Dankers et al., 2015).

6.3 Kosten

In het verleden zijn al diverse kostenramingen opgesteld voor een grootschalig moeras in het Markermeer.

De Pilot Moeras is inmiddels gerealiseerd en de Marker Wadden zal binnen afzienbare tijd worden gerealiseerd. De omvang van de Pilot Moeras is ca. 10 ha, de Marker Wadden - 1^e fase - heeft een omvang van ca. 180 ha met mogelijkheid tot uitbreiding naar 325 ha.

Om de kosten van een grootschalig moeras van 5.000 ha te kunnen ramen, conform onderzoeksvragen H19 en H20, wordt gebruik gemaakt van de kennis welke is opgedaan bij verkennende studies, de pilot en de ervaringen die inmiddels zijn opgedaan bij de aanbesteding van Marker Wadden. Deze ervaringen leiden tot inzicht in de aanlegmethodieken, aanlegkosten en de bandbreedte in de kosten.

6.3.1 Uitgangspunten kostenraming

De raming van de WMIJ ('Naar een toekomstbestendig ecologisch systeem', 2012) is gebaseerd op een moeras met een buitenrand opgebouwd uit geotubes, gevuld met lokaal gewonnen slib en aan de buitenzijde afgewerkt met stortsteen. De hoogte van de rand is 4 m. Het moeras wordt mechanisch gevuld met slib afkomstig uit andere werken. Er is gerekend met het aanleggen van compartimenteringsdammen om het moeras geleidelijk en gefaseerd te kunnen opvullen. Het beheer en onderhoud bestaat uit inspecties en vegetatiebeheer. De kosten waren geraamd voor een moeras van 4.500 ha en zijn omgerekend naar een moeras met een omvang van 5.000 ha.

Bij de WMIJ raming is voornamelijk gerekend met inspecties en vegetatiebeheer gebaseerd op een kengetal van Staatsbosbeheer. Er is gerekend met een normbedrag van € 340,- per ha per jaar voor het deel wat boven de waterlijn uitkomt (ca. 1.500 ha). Omgerekend voor een moeras van 5.000 ha bedragen de kosten per ha dan ca.€ 110,-. In het bedrag is geen onderhoud aan de buitenrand voorzien. Geconcludeerd kan dus worden dat de totale onderhoudskosten te laag zijn begroot aangezien er zeker onderhoud aan de rand nodig zal zijn, bijvoorbeeld herstel stortsteenbekleding door storm en zetting en onderhoud wilgenopslag.

Marker Wadden

Inmiddels heeft de aanbesteding van dit project plaats gevonden en is Natuurmonumenten voornemens fase 1 van totaal 180 ha moeras aan te leggen. Voor de raming van Marker Wadden is gebruik gemaakt van de inschrijving door de aannemer voor de eerste fase van het project. Het omvat het aanleggen van een buitenrand, deels van geheel zand en deels verdedigd door een met breuksteen beklede rand. Gerekend is met een steenklasse 40-200 kg. De zandige rand is noordelijk en westelijk van het moeras gesitueerd. Naast de harde rand bestaat de rand uit een zandstrand/zandrug. De hoogte van de zandrug varieert van ca. NAP+1,8 m tot NAP+3,0 m.

In de luwe zone achter de dam wordt het moeras gemaakt. Kaden opgezet van lokaal gewonnen klei, zorgen voor de compartimenten, waarbinnen holoceen materiaal wordt aangebracht in meerdere ophoogslagen. De kaden worden met kraanpontons gemaakt, het vullen van de compartimenten vindt hydraulisch plaats met een cutterzuiger, leidingen en sproeiponton met lokaal gewonnen materiaal uit een slibgeul en winput, waar ook het zand voor de rand uit komt. Er is gerekend met leidingen met diameter 800 mm, er wordt met hoge producties gerekend.

Het deel boven de waterlijn wordt eveneens hydraulisch gevuld, hier worden de leidingen op de kades gelegd en regelmatig verlegd om de compartimenten te vullen.

Het proceswater wordt steeds aan de achterzijde (oostzijde) uitgelaten, hierdoor ontstaat een hellend terrein: west hoger en oost lager gelegen.

Er wordt riet geplant in de moerascompartimenten. Verder wordt een haven aangelegd, alsmede onderhoudspaden en recreatieve paden. Een havengebouw, beheerdersgebouw en enkele uitkijktorens completeren het project.

Fase 1 bestaat uit de aanleg van een moeras van totaal 180 ha met de mogelijkheid tot uitbreiding tot 325 ha. De buitenrand van zand in combinatie met een breuksteen bekleding is in eerste aanleg 3400 m tot 5600 m lang.

De eerste fase omvat nog geen 10% van het totale uiteindelijk oppervlak van 5.000 ha, de kosten zijn daarom geëxtrapoleerd. Wel is daarbij een correctie toegepast van 10% in verband met de schaalgrootte en een aangepaste verhouding buitenrand versus moeras, omdat naar verwachting de lengte van de buitenrand minder snel toe neemt dan de omvang van het moeras.

In het project is een onderhoudstermijn voor de aannemer opgenomen van 10 jaar. Binnen deze 10 jaar wordt verondersteld dat geen zandsuppletie nodig is, aangezien bij aanleg al een zandbuffer is voorzien. Hierbij is gerekend met een zandtransport van ca. 25.000 m³ per jaar. Bij het onderhoud over een langere periode dient hier dus wel rekening mee gehouden te worden. In de tabel met onderhoudskosten zijn die kosten meegenomen.

Het onderhoud bestaat verder uit inspecties en monitoring van de inrichting als ook uit peilingen en analyses van de waterbodems rondom en tussen de moeras compartimenten. Er is ook rekening gehouden met onderhoud aan de begroeiingen, voornamelijk riet en opkomende wilgen. De raming is ontleend aan de inschrijving en aanvullende informatie over het project en vervolgens omgerekend naar een moeras van 5.000 ha.

Een aandachtspunt bij de kosten voor de aanleg van een grootschalig moeras zijn de kosten die gepaard gaan met de fasering, bijvoorbeeld aan- en afvoerkosten van materieel, mobilisatie van materieel en leidingen. Indien grote delen van het moeras in een keer worden aangelegd (bijvoorbeeld meer dan 100 ha in een keer), zijn de aanlegkosten per hectare naar verhouding lager dan bij meerdere kleinere compartimenten.

Pilot Moeras

Het moeras van de pilot is relatief klein, 10 ha, en is met name bedoeld om ervaringen op te doen met aanlegmethodieken, zettingen en vegetatie ontwikkeling. Vanwege de beperkte omvang zijn de kosten van de buitenrand relatief hoog ten opzichte van het moeras zelf.

De kostenramingen van de pilot kunnen door deze kleine omvang niet zonder meer gebruikt worden voor het vellen van een oordeel over een grootschalig moeras.

De aannemer van het project Pilot Moeras heeft op basis van zijn ervaringen met de pilot een kostenraming opgesteld voor een grootschalig moerasediland in het Markermeer van 5.000 ha. In deze raming is een buitenrand opgenomen bestaande uit geocontainers en geotubes gevuld met zand en aan de buitenzijde verdedigd met stortsteen op een kraagstuk. Het moeras wordt gevuld met mechanisch gewonnen slib / klei, vervoerd over een afstand van maximaal 30 km en ook mechanisch verwerkt in het moeras. Er wordt gesteld dat compartimenteringsdammen niet benodigd zijn om het moeras op te bouwen.

De beheer- en onderhoudskosten welke gebaseerd zijn op de ervaringen van de aannemer van Pilot Moeras omvatten naast maandelijkse inspecties en onderhoud aan de buitenrand ook het onderhoud aan het moeras (herstel als gevolg van zettingen en uitspoeling, resp. 1x per 10 jaar en 1x per 5 jaar). Vegetatiebeheer is niet meegenomen.

6.3.2 Kosten per eenheid

De kosten voor een grootschalig moeras van ca. 5.000 ha zijn ontleend aan diverse studies en projecten en liggen naar verwachting tussen € 700 mln. en € 1.300 mln. Zie onderstaande tabel met investeringskosten en prijs per ha.

Investeringskosten grootschalig moeras

Grootschalig Moeras 5.000 ha	Investeringskosten	Prijs per ha
Bron: raming WMIJ	€ 800 M€	€ 160 K€
Bron: raming Marker Wadden	€ 700 M€	€ 140 K€
Bron: raming Moerasediland Markermeer	€ 1.300 M€	€ 260 K€
Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca.25%		

De bandbreedte in de kosten wordt veroorzaakt door de verschillende gehanteerde uitgangspunten.

In geen van de ramingen zijn domeinvergoedingen opgenomen.

De beheer en onderhoudskosten van een grootschalig moeras liggen tussen € 0,5. mln. en € 2,7 mln. per jaar.

Kosten beheer en onderhoud grootschalig moeras per jaar

Beheer en onderhoudskosten bij 5.000 ha	Jaarlijks gemiddelde	Per ha
Bron: raming WMIJ	€ 555 K€	€ 110
Bron: raming Marker Wadden	€ 1.175 K€	€ 235
Bron: raming Moerasediland Markermeer	€ 2.720 K€	€ 540
Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca.25%		

De jaarlijkse bedragen zijn ontleend aan de kostenramingen zoals deze door diverse partijen zijn opgesteld.

Bij de WMIJ raming is voornamelijk gerekend met inspecties en vegetatiebeheer, gebaseerd op een kengetal van Staatsbosbeheer. Er is gerekend met een normbedrag van € 340,- per ha per jaar voor het deel wat boven de waterlijn uitkomt (ca. 1.500 ha). Omgerekend voor een moeras van 5.000 ha bedragen de kosten per ha dan ca.€ 110,-. In het bedrag is geen onderhoud aan de buitenrand voorzien. Geconcludeerd kan dus worden dat de totale onderhoudskosten te laag zijn begroot aangezien er zeker onderhoud aan de rand nodig zal zijn, bijvoorbeeld herstel breuksteenbekleding door storm en zetting en onderhoud wilgenopslag.

7 Vooroevers en oeverdijken

7.1 Inleiding

Vooroevers en oeverdijken zijn buitendijkse zones langs bestaande oevers met een geleidelijke overgang van droog naar nat. Deze kunnen bijdragen aan het behalen van verschillende doelen (Knoben 2014; Van Herpen *et al.*, 2015):

- vergroten van areaal land-water overgangen;
- versterken van lokale natuurwaarden;
- realiseren van ecologische verbindingen binnendijks-buitendijks;
- versterken van ruimtelijke diversiteit;
- versterken of overnemen veiligheidsfunctie bestaande dijk.

7.2 Aanlegprincipes

7.2.1 Locatie

Vooroevers Lepelaarsplassen

Vooroevers kunnen op verschillende plaatsen langs de Markermeer-IJmeerkust aangelegd worden. Bij voorkeur worden deze aangelegd op locaties waar de bestaande natuurwaarden, onderwatervegetatie, dichtheid aan mosselen, laag zijn, aangezien het aanbrengen van vooroevers de bestaande waterbodem afdekt.

Vooroevers nabij de Lepelaarsplassen kunnen een bijdrage leveren aan het TBES, en aan de Natura2000 doelen (RRAAM 2011). In dit aan de Lepelaarsplassen grenzende deel van het Markermeer zijn de oevers steil en is de bodem diep en slibrijk. Daardoor zijn er slechts geringe natuurwaarden die verstoord worden door de aanbreng van vooroevers. Op deze locatie dragen vooroevers tevens bij aan de ecologische verbinding met de binnendijkse Lepelaarsplassen (Knoben 2014).

Oeverdijken Noord Holland

Oeverdijken kunnen een alternatief vormen voor conventionele dijkversterking, en tevens bijdragen aan ecologische doelen (Knoben 2014; Royal Haskoning 2010). Een groot gedeelte van de dijken tussen Hoorn en Amsterdam heeft een te geringe stabiliteit (Royal Haskoning 2010). Een verkenning naar oeverdijken als alternatief voor conventionele dijkversterking is uitgevoerd voor Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier door Royal Haskoning (2010). Hierin werd geconcludeerd dat een oeverdijk een zinvol alternatief voor conventionele dijkversterking is op grote delen van het tracé.

Oeverdijken Houtribdijk

Ook bij de Houtribdijk is onderzocht om een oeverdijk toe te passen als variant voor de geplande dijkversterking. De Houtribdijk is totaal ca. 27 km lang, bijna 23 km hiervan is afgekeurd en dient versterkt te worden. Toepassen van een oeverdijk is het meest interessant en 'concurrerend' met een traditionele harde bekleding in het traject tussen Enkhuizen en Trintelhaven (voormalig werkhaven van RWS), vanwege de ligging bij het Enkhuizerzand en de geringere waterdiepte in dit traject. Deze oeverdijk kan aan beide zijden van de Houtribdijk worden aangebracht.

7.2.2 Vormgeving

Vooroevers nabij de Lepelaarsplassen

De vooroevers bestaan uit verschillende elementen:

- een golfbreker die zorgt voor golfluwte en stromingsluwte (bij voorkeur bestand uit natuurlijk materiaal);
- een luwe zone met helder ondiep water tussen de golfbreker en het land;
- begroeide land-water overgangen met flauwe oevers (Knoben & Buskens 2013; Sas 2007).

Van belang is dat de golfbreker aan de buitenzijde van de vooroever voldoende robuust en hoog is om een golfluwe zone met helder water te creëren (Sas 2007). Voor de vormgeving en uitvoering van verschillende typen golfbrekers wordt verwezen naar de luwtestructuren in Hoofdstuk 3.

De afstand tussen de golfbreker en de huidige oever dient beperkt te zijn om voldoende luwte tussen de oever en de structuur te creëren (Vijverberg et al. 2013).

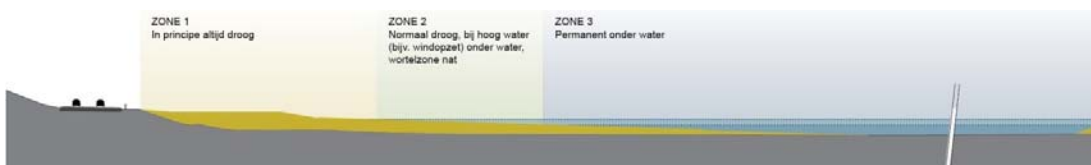
De golfbreker kan tevens de instroom van slibrijk water tegen gaan, hiertoe moet deze wel een geschikte oriëntatie ten opzichte van de overheersende windrichting en de bestaande oever hebben (Van Herpen et al., 2015).

Om eutrofiëring van het water in de vooroever te voorkomen dienen voldoende openingen in de golfbreker aanwezig te zijn, net als de openingen in de externe rand van een grootschalig moeras. Verdiepingen op de locaties van de openingen in de golfbreker kunnen de instroom van slib door openingen verminderen (Sas 2007; Van Herpen et al., 2015).

Om voldoende land-water overgangen en verschil in hoogte te hebben voor de ecologische functies dienen vooroevers een breedte tussen de 0,5 km en 5 km te hebben en hoogtes variërend tussen de +2 m en -2 m ten opzichte van het gemiddelde waterpeil waarbij ca. 50% van het totale oppervlak boven het gemiddelde waterpeil uitkomt (Sas 2007).

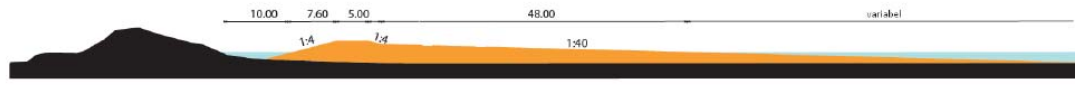
Oeverdijken algemeen

Een oeverdijk is een geheel buitendijkse, halfhoge 'zachte' waterkering met een flauw talud (1:20 tot 1:40) die de waterkerende functie van de bestaande dijk overneemt. Een dergelijke oeverdijk wordt voor versterking van de Houtribdijk overwogen, zie onderstaande figuur.



Figuur 16: Principeschets van een oeverdijk langs de Houtribdijk met vooroeverdam

Bij de oeverdijk welke bij de Noord-Hollandse kust wordt overwogen ligt het zandprofiel los van de bestaande waterkering.



Figuur 17: Principeschets van oeverdijk langs de Noord-Hollandse kust (HHNK 2015)

Een ecologische variant van de oeverdijk biedt ruimte voor de ontwikkeling van nat riet- of grasland.

De benodigde hoogte en taluds van de oeverdijk hangen in eerste instantie samen met de veiligheidseisen voor de dijk. Bij ecologische varianten van een oeverdijk kunnen verdere verondiepingen aangebracht worden tussen het verhoogde deel van de oeverdijk en de bestaande oever om een groter areaal aan land-water overgangen en flauwe taluds te creëren (Van Herpen *et al.*, 2015).

Afhankelijk van de locatie van de oeverdijk moeten strekdammen of vooroeverdammen / golfbrekers aangelegd worden om de erosie van de zandige oeverdijk te voorkomen. Een robuuste oplossing is toepassing van dammen van breuksteen, maar ook dubbele palenrijen zijn mogelijk als strekdam. De afstand van de strekdammen onderling wordt bepaald door windrichting en stroming van het water langs de vooroever.

7.2.3 Stabiliteit en zetting

Vooroevers Lepelaarsplassen

Voor de stabiliteit en zetting van de golfbrekers bij vooroevers gelden dezelfde overwegingen als voor luwtestructuren in Hoofdstuk 3. De Lepelaarsplassen liggen in het zuidoostelijke deel van het Markermeer waar de zettingsgevoelige Holocene lagen een dikte van ca. 7-9 m hebben (Figuur 3). De ondergrond bestaat uit kleilagen, met lokaal veenlagen ertussen, de waterdiepte nabij de Lepelaarsplassen is ca. 2-3 m (Figuur 1). In vergelijking met de geschatte zettingen in Hoofdstuk 3 lijkt de ondergrond het meeste op de ondergrond in Noord-Oost Markermeer; door de geringere waterdiepte bij de Lepelaarsplassen is het te verwachten dat de zetting van golfbrekers daar geringer is dan de geschatte zetting in Noord-Oost Markermeer (Tabel 2). Echter, de geschatte zettingen in Tabel 2 zijn gebaseerd op een globaal bodemprofiel, en lokale variaties in bodemopbouw kunnen een belangrijke invloed op de daadwerkelijke zettingen hebben. Deze schattingen geven dus enkel een indicatie van de orde grootte van verwachte zettingen.

Wanneer openingen in de golfbrekers worden gecombineerd met verdiepingen dient rekening gehouden te worden met de stabiliteit van de verdieping, zoals behandeld in Hoofdstuk 4, en met de invloed van de verdieping op de stabiliteit van de golfbreker.

Voor de consolidatie en zetting van de aangebrachte grond bij de verondiepingen in vooroevers gelden dezelfde overwegingen als bij het grootschalig moeras. Door de geringere waterdiepte bij de Lepelaarsplassen dan bij de locatie van de Pilot Moeras (4,2 m) wordt een dunner laag materiaal opgebracht bij de vooroevers. Daardoor zal, wanneer de relatieve consolidatie van het materiaal gelijk is voor beide locaties, het totale hoogteverlies door consolidatie kleiner zijn (minder totaal hoogteverlies in een dunner pakket opgebrachte grond). Doordat er minder grond aangebracht wordt zal er ook minder extra gewicht op de onderliggende lagen komen waardoor zettingen geringer kunnen zijn bij eenzelfde bodemopbouw.

Door lokale verschillen in de bodemopbouw en in de mate van zetting kan een natuurlijk reliëf ontstaan.

Oeverdijken Noord Holland

Langs de Noord-Hollandse kust bestaat de ondergrond voornamelijk uit slappe klei en veen lagen; dit pakket kan een dikte van ca. 9 m – 13 m hebben (Figuur 3). De waterdiepte in dit gebied is ca. 1-3 m (Figuur 1). In het project Oeverdijk is geschat dat de zettingscompensatie bij de aanleg van oeverdijken hier ca. een factor 2 bedraagt (HHNK 2015). Voor de consolidatie en zetting van de aangebrachte grond geldt evenals bij de Pilot Moeras en bij vooroevers dat differentiële zettingen zelfs een positief effect kunnen hebben op het creëren van land-water overgangen.

Bij de aanleg van een oeverdijk zoals in de principeschets in Figuur 17 is het effect op de stabiliteit van de bestaande dijk van belang. Het binnentalud van de bestaande waterkering kan afschuiven over glijcirkels die door het dijklichaam lopen. Ophoging op het buitentalud die in de invloedsfeer van de glijcirkels zijn geplaatst kunnen de kans op afschuiven van de bestaande dijk vergroten. Daarom dient een afstand van 25 tot 30 m tussen de kruin van de oeverdijk en van de bestaande dijk te worden aangehouden met een greppel tussen de beide dijken. Hierdoor heeft de oeverdijk naar verwachting geen significant negatief effect op de glijcirkels en daarmee op het faalmechanisme afschuiven van het binnentalud.

Een ruimte tussen de oeverdijk en de bestaande dijk heeft langs de Noord-Hollandse kust ook de voorkeur om te voorkomen dat de oeverdijk de freatische lijn in het bestaande dijklichaam beïnvloed. Dit zou het geval zijn wanneer de oeverdijk bestaat uit slecht doorlatend materiaal dat direct op het dijklichaam wordt aangebracht, waardoor het water niet uit het dijklichaam zou kunnen stromen bij hoogwater of extreme neerslag. Een hogere freatische lijn in het dijklichaam kan leiden tot vervorming of afschuivingen van het binnentalud.

Oeverdijk in Houtribdijk

Voor de Houtribdijk kan worden uitgegaan van een zandig talud dat direct op de bestaande dijk wordt aangelegd (Figuur 16). Door de aanleg van dit zandlichaam met flauwe taluds wordt de stabiliteit van de dijk vergroot (de oeverdijk is aan beide zijden van de dijk gepland, de dijk is hiermee opgesloten). Mogelijk treedt een geringe zetting op door het gewicht van het opgebrachte materiaal, echter doordat de ondergrond op het tracé Enkhuizen-Trintelhaven een dunnere deklaag heeft, en doordat de bestaande dijk op een zand cunet is aangelegd blijven deze waarschijnlijk beperkt.

7.3 Aanlegstrategie

Algemeen

Om een luwe zone met ondiep water te realiseren wordt voor de oeverdijken of vooroevers grond aangebracht tussen een golfbreker en de huidige oever of dijk. Uit kostentechnisch oogpunt is het gebruik van slib, klei en zand uit de Markermeerbodem gunstiger dan gebruik van ingekocht zand.

Wanneer tevens verdiepingen aangebracht worden (bij openingen in de golfbreker) kan het materiaal dat hierbij vrijkomt gebruikt worden voor de aanleg van de vooroever (Knoben 2014). Hierbij is hydraulisch baggeren gunstig aangezien het gewonnen materiaal slechts over korte afstand verpompt hoeft te worden. Als de verdieping voldoende diep is om zand te winnen, dan is toepassen van zand in de vooroever(of oeverdijk) ook gunstiger dan het inkopen van zand.

Vooroever Lepelaarsplassen

Bij de Lepelaarsplassen bevindt de Pleistocene zandlaag zich op een diepte van ca. 8-12 m (Figuur 4) waardoor voornamelijk slib en klei gewonnen wordt uit verdiepingen op deze locatie. In Ecorys rapport 'Actualisatie TBES' is uitgegaan van een vooroever die 50% boven water uitkomt, waarbij de oever voornamelijk opgebouwd is uit slib met een afdeklaag van zand van 0,5 m. Het materiaal (klei/slib en zand) wordt gewonnen in het Markermeer op 5 km afstand van de vooroever.

De deklaag wordt in dat geval verwijderd met een cutterzuiger en hydraulisch naar de locatie verpompt. Het verwerken boven de waterlijn vindt plaats met een kraanponton die in de natte delen het materiaal opwerkt. Hier kan zand uit dezelfde winlocatie, onder de deklaag, gewonnen worden. Bij grote volumes kan een winzuiger ingezet worden, maar een cutterzuiger is ook mogelijk.

De golfbreker voor deze vooroever kan bestaan uit een kern van lokaal gewonnen zand dat wordt afgedekt met een geotextiel en bekleed met breuksteen. De materialen voor de golfbreker kunnen aangevoerd worden per beunschip en met een kraanschip/kraanponton worden verwerkt.

Oeverdijken Noord Holland

Vanwege een dikke deklaag is het niet rendabel om lokaal zand te winnen voor de aanleg van de zandige oeverdijk langs de Noord Hollandse kust. Het zand kan worden gewonnen in het IJsselmeer en aangevoerd in beunschepen; het kan met een bakkenzuiger met leidingen en sproeiopont vanaf het water worden verwerkt (sproeien en spuiten). Het deel boven het waterpeil kan met landleidingen en een walploeg worden verwerkt.

In het gebied zijn grote zettingen te verwachten, de zettingsfactor op het totale volume te verwerken zand bedraagt ca. 2 (HHNK 2015). In het ontwerp van project Oeverdijk wordt geen grondverbetering toegepast en er worden geen slib of kleilagen verwijderd; hier wordt het zand dus rechtstreeks op de aanwezige bodem geplaatst en verwerkt. Het afgraven van slappere lagen kan leiden tot minder zetting van de ondergrond, echter dit materiaal moet afgevoerd worden en vervolgens dient meer materiaal opgebracht te worden waardoor kosten waarschijnlijk hoger zijn dan wanneer het zand op de bestaande bodem aangebracht wordt.

Om het aangebrachte zand te beschermen tegen erosie kunnen strekdammen van breuksteen aangelegd worden. De benodigde materialen kunnen via het water aangevoerd worden, en via tijdelijke loswallen gelost. Het aanbrengen van de strekdammen kan grotendeels vanaf het land plaatsvinden. De dammen worden op het zand aangelegd.

De aangebrachte zandlichamen kunnen aan de binnenzijde van de oeverdijk, en op de kruin worden bekleed met een laag klei en teelaarde om bij golfoverslag erosie tegen te gaan. Op de zandige buitenoever is aanplant van grassen (helmgras) nodig om verstuiving tegen te gaan en het zand zo veel mogelijk 'vast te houden'.

Oeverdijk Houtribdijk

De oeverdijk langs de Houtribdijk, op de strekking Enkhuizen-Trintelhaven, kan worden aangelegd met zand uit lokale winputten. Hiertoe dient eerst de aanwezige deklaag verwijderd te worden. Op het Enkhuizerzand bestaat de deklaag uit fijn zand, hieronder bevinden zich kleilagen en veenlagen met daaronder grover zand. Het fijne zand kan toegepast worden in het onderwater profiel van de oeverdijk en kan hydraulisch met een cutterzuiger gewonnen en met leidingen verpompt worden. De klei en veenlagen kunnen eveneens hydraulisch verwijderd worden maar hiervoor speelt de afzetlocatie een rol. Toepassing van deze grond is niet voorzien in de oeverdijk, en het materiaal moet dus een andere bestemming krijgen, bijvoorbeeld in het moeras van Marker Wadden.

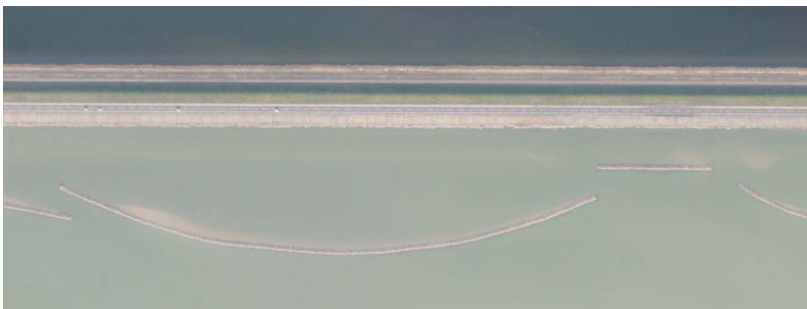
Bij te grote afstanden tussen de bron van het materiaal en de toepassing is het gunstiger om het grondwerk mechanisch te doen en om beunschepen voor transport in te zetten. Aspecten die een rol spelen bij het uitwisselen van grondstromen tussen verschillende werken in het Markermeer worden besproken in Bijlage 2.

Voor het verwijderen van de zandlagen onder de deklaag kan een steek- of winzuiger gebruikt worden, vanwege de diepte van het zand op deze locatie. Een deel van het zand kan worden gespreid en boven water worden verwerkt met landleidingen en een walploeg.

Het aangebrachte zand op het hogere deel van de oeverdijk kan worden afgedekt met een laag teelaarde en ingezaaid met gras om verstuiving tegen te gaan. In het geval van de Houtribdijk is dit zeker van belang om de overlast voor de weggebruikers op de N302 te beperken.

Wind en stroming langs de Houtribdijk zorgen ervoor dat hier robuuste vooroeverdammen/golfbrekers nodig zijn om het aangebrachte zand tegen erosie te beschermen. In de huidige situatie liggen al vooroeverdammen, zie onderstaande foto. Deze hebben zowel een ecologische functie, als een beschermende functie als ijs-breker. De huidige dammen, ook wel hockey-sticks genoemd, zullen bij realisatie van een nieuwe oeverdijk, verwijderd moeten worden en vervangen door nieuwe/grotere golfbrekers.

Achter de hockey-sticks ligt momenteel een ecologisch waardevol gebied, dat bij aanleg van de oeverdijk verloren zal gaan. Een mitigerende maatregel kan zijn om de aanwezige bodem met waterplanten te verplanten achter de nieuwe vooroeverdam.



Figuur 18 luchtfoto deel van Houtribdijk, met de 'hockey-sticks' in het Markermeer

De nieuwe vooroeverdammen kunnen volledig uit breuksteen bestaan, of hier kan ook weer een dam met een kern van zand, afgedekt met kraagstuk en breuksteen aangelegd worden. De vooroeverdammen kunnen in het geheel vanaf het water aangelegd worden met kraanpontons. Vanwege de ondiepe wateren moet gerekend worden met overlading van de te leveren breuksteen in kleinere beunschepen of ondiep stekende pontons.

7.4 Kosten

7.4.1 Uitgangspunten kostenraming

De in deze paragraaf genoemde kosten voor een vooroever ter hoogte van de Lepelaarsplassen zijn gebaseerd op de kostenraming uit het rapport Actualisatie TBES en de actualisatie WMIJ Eindrapport TBES, Basisvariant PRA. Hier is een vooroever van 1000 ha en van 300 ha beschouwd met respectievelijk een lengte van 5 km en 1,5 km gemeten langs de dijk. De breedte bedraagt 2 km tussen golfbreker en dijk.

Bij de kosten van de oeverdijkoplossing moeten niet de totale aanlegkosten beschouwd worden, omdat hierin ook een groot aandeel zit dat bijdraagt aan de dijkversterking. Het gaat dus om de extra kosten voor ecologie.

De oeverdijk langs de Noord Hollandse kust draagt zonder aanleg van een vooroeverdam weinig bij aan ecologische waarden. In de kostenraming wordt daarom gerekend met aanleg van een dam zodat achter deze dam een plas/dras-zone gecreëerd kan worden. De overige kosten van de aanleg van de oeverdijk zijn volledig nodig voor dijkveiligheid (ook de aanplant van helmgras om het zand vast te houden). De aanlegkosten van een oeverdijk op het Enkhuizerzand tegen de Houtribdijk, liggen dicht bij een traditionele dijkversterking, waarbij dijkbekledingen worden vervangen. Dus hier is het mogelijk om een ecologisch aantrekkelijke oeverdijk aan te leggen zonder meerkosten.

7.4.2 Kosten per eenheid

In Tabel 14 zijn de investeringskosten weergegeven, de kosten per m² en de kosten per meter, parallel aan de kustlijn.

Tabel 13: Investeringskosten van de aanleg van vooroevers en oeverdijken

Locatie	Investeringskosten	per m ²	per m
Lepelaarsplassen - 1000 ha	€ 256.000.000	€ 26	€ 51.000
Lepelaarsplassen - 300 ha	€ 84.000.000	€ 28	€ 56.000
Noord Holland – 1 km	€ 2.500.000 / € 5.500.000	€ 25 / € 55	€ 2.500 / € 5.500
Houtribdijk – 1 km	€ nihil	€ nihil	€ nihil

Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%

De bandbreedte bij de oeverdijk Noord-Holland komt voort uit vormgeving van de golfbreker en mate van zettingen van de ondergrond.

Het beheer en onderhoud van de vooroevers uit de voorgaande paragrafen bestaat uit inspecties en het onderhoud aan begroeiing en het bijwerken van de stortstenen luwtestructuur. Voor land/water gebied bij de Lepelaarsplassen is het tarief gehanteerd uit het Normenboek Natuur, Bos en Landschap 2014 van Alterra, onderdeel: 5.1 moeras.

Het onderhoud bij de oeverdijken bestaat vooral uit maaiwerkzaamheden van vegetatie boven de waterlijn en onderhoud aan de additionele golfbreker (Noord Hollandse kust). Het helmgras bij de Noord-Hollandse kust vergt minder onderhoud dan het gras op de teelaarde laag bij de Houtribdijk.

Er is niet gerekend met inspecties, deze vinden plaats in het kader van in stand houden van de waterkering.

De kosten voor het jaarlijkse onderhoud is hieronder weergegeven, wederom voor het areaal, per m² en per strekkende m van de vooroever.

Tabel 14: Beheer en onderhoudskosten van vooroevers en oeverdijken

Kosten per Jaar	Beheer en Onderhoud	per m ²	per m
Vooroever 1000 ha	€ 1050.200	€ 0,10	€ 210
Vooroever 300 ha	€ 310.000	€ 0,10	€ 210
Noord Holland – 1 km	€ 24.000	€ 0,17	€ 24
Houtribdijk – 1 km	€ 8.000	€ 0,20	€ 8

Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%

8 Vergroten van de Peildynamiek

8.1 Inleiding

Het huidige peil in het Markermeer is relatief hoog (streefpeil NAP -0,2 m) tijdens de zomermaanden, om een waterbuffer te creëren voor gebruik door de landbouw en drinkwaterproductie. In de winter is het peil lager (streefpeil NAP -0,4 m) om piekafvoer van rivieren op te vangen. In 2017 wordt voorzien dat het winterstreefpeil van het IJsselmeer op gemiddeld NAP -0,25 m zal worden vastgesteld. Vooralsnog wordt aangenomen dat dit voor het Markermeer geen consequenties heeft, omdat in principe de peildynamiek op het Markermeersysteem en het IJsselmeersysteem als gescheiden wordt beschouwd.

Het vergroten van de peildynamiek en het aanhouden van een seizoensgebonden peil draagt bij aan verschillende doelen (Van Herpen *et al.*, 2015):

- ontwikkeling van oevervegetatie;
- fourageermogelijkheden voor vogels;
- paaimogelijkheden voor vissen.

In de huidige situatie, met weinig land-water overgangen, hebben peilfluctuaties binnen de aanvaardbare grenzen van 0,8 m beperkte ecologische meerwaarde (RRAAM 2011). Naarmate er meer flauwe taluds zijn krijgen peilfluctuaties een hogere ecologische effectiviteit (Van Herpen *et al.*, 2015).

8.2 Vormgeving en uitvoering

In het Nationaal Waterplan 2009-2015 (Min. van V&W *et al.* 2009) zijn richtinggevende uitspraken gedaan over het peilbeheer in het IJsselmeergebied. Het kabinet kiest ervoor om zowel het Markermeer als de Veluwerandmeren los te koppelen van het IJsselmeer. De dijken om die meren heen hoeven hierdoor niet te worden verhoogd als antwoord op de zeespiegelstijging. Ook kan het peilbeheer voor de lange termijn afgestemd worden op het halen van ecologische doelen.

Eventuele peilstijging na 2050 geldt niet voor het Markermeer en de Veluwerandmeren. In het Nationaal Waterplan 2009-2015 is namelijk reeds vastgelegd dat het peilbeheer van het Markermeer en de Veluwerandmeren bij peilstijging wordt losgekoppeld van het IJsselmeer. Aan dit besluit wordt vastgehouden volgens het Deltaprogramma IJsselmeergebied (DPIJ 2014).

Vanuit een puur ecologisch perspectief wordt op basis van natuurlijke fluctuaties in het vergelijkbare Peipsi-meer (Meijer *et al.* 2009) een peilfluctuatie van 0,65 m – 1 m als wenselijk beschouwd voor het IJsselmeergebied. Periodieke langdurige inundaties (3-4 maanden) kunnen verrijking en verbossing van het moeras tegengaan (Van Herpen *et al.*, 2015). Ook is een korte piek in waterstanden nodig om dood organisch materiaal af te voeren waardoor in bestaande rietlanden kieming van nieuwe planten kan plaatsvinden.

Echter het peilbeheer wordt mede bepaald door verschillende gebruiksfuncties, waaronder beroepsscheepvaart, recreatie, zoetwatervoorziening, waterafvoer en pompkosten, en veiligheid (Knoben 2014). Met het oog op de randvoorwaarden die gesteld worden door veiligheidsaspecten en de verschillende gebruiksfuncties is een streefpeil uitgewerkt in het Deltaprogramma IJsselmeergebied (DPIJ 2014). Kenmerkend zijn een verhoging van het peil in maart en een daling in augustus. De peildalingen kunnen met behulp van spuien gerealiseerd worden. De beheerder krijgt de flexibiliteit om van het streefpeil af te wijken, bijvoorbeeld op basis van prognoses voor rivierafvoer.

De mate waarin het voorgestelde peilregime wordt doorgevoerd hangt af van de nog te maken beleidskeuzes met betrekking tot de winst voor de natuur, de doelen die zijn gesteld vanuit Natura 2000 en de KRW, de doelen die gesteld zijn voor watervoorziening en voor de normen voor waterveiligheid.

In anticipatie op een verruiming van de peildynamiek kunnen maatregelen zoals de aanleg van vooroevers en oeverdijken ingezet worden om de robuustheid van het systeem te vergroten. Door een grotere areaal aan flauwe taluds en land water overgangen hebben peilfluctuaties een groter ecologisch effect

8.3 Kosten

Studies van Deltares hebben uitgewezen dat er in het voorjaar altijd voldoende water beschikbaar zal zijn om een eventuele peilverhoging begin maart te realiseren (DPIJ 2014). Het desgewenst laten dalen van het peil vanaf half maart en begin augustus kan geschieden middels spuien en brengt daardoor geen extra pompkosten met zich mee (DPIJ 2014).

Flexibilisering van het peil kan leiden tot beperkte maatregelen voor buitendijkse gebieden liggend aan het Markermeer (DPIJ 2014).

De besluiten betreffende peildynamiek worden in het kader van het Deltaprogramma genomen, daarom worden in het kader van NMIJ geen extra kosten voor seizoensgebonden peildynamiek geraamd.

9 Vismigratiemaatregelen

9.1 Inleiding

Verbindingen tussen Markermeer-IJmeer en het IJsselmeer, regionale watersystemen, en het Noordzeekanaal bevatten momenteel meerdere knelpunten met betrekking tot vismigratie (Van Herpen *et al.*, 2015). Vismigratiemaatregelen kunnen bijdragen aan verschillende doelen (Van Herpen *et al.*, 2015):

- instandhouding visetende watervogels;
- vergroten diversiteit aan vissoorten;
- uitbreiden paai en foerageerhabitat;
- toename herstelcapaciteit na grote vissterfte.

In onderstaande tabel is een overzicht van locaties van knelpunten ten aanzien van vismigratie opgenomen binnen het Markermeergebied.

Tabel 15: Locatie knelpunten vismigratie

Locatie	Maatregel	planning
Oranjesluizen	Optimaliseren vispassages Oranjesluizen	2016 - 2021
Houtribdijk	Visvriendelijk beheer schutsluizen	2016 – 2021
	Aanleg vispassage Houtribdijk in sluizen	2016 – 2021
Wortman	vispasseerbaar maken inlaat	niet gepland
Blocq van Kuffeler	vispasseerbaar maken inlaat	niet gepland
Diemerdamsluis	aangepast sluisbeheer + voorziening	2016-2017
Ipenslotersluis	aangepast sluisbeheer + voorziening	2016-2017
inlaat Steenen Beer	vispasseerbaar maken inlaat	2016-2021
Zeesluis Muiden	aangepast sluisbeheer	opgelost
gemaal de Poel - Monnickendam	gemaalpassage + visinlaat	2016-2021
Grafelijkheidssluis+inlaat	aangepast sluisbeheer/aanpassing inlaat	opgelost
gemaal Warder	gemaalpassage + visinlaat	2016-2021
Inlaat Lutjeschardam	aangepast sluisbeheer, aanpassen inlaat, i.c.m. Noordersluis Schardam	nog niet gepland
inlaat Schardam	aangepast sluisbeheer, aanpassen inlaat, i.c.m. Noordersluis Schardam	opgelost
Gemaal Westerkogge	gemaalpassage + visinlaat	2016-2021
Gemaal De Drieban	gemaalpassage + visinlaat	2016-2021

Een aantal voormalige knelpunten zijn al aangepakt, zoals bijvoorbeeld: de knelpunten voor vismigratie tussen het gebied van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en het Markermeer zijn met het gereedkomen van de migratievoorzieningen in de zeesluis bij Edam en de Noordersluis van Schardam opgelost (HHNK 2014). Hier laat een wijziging van het spui en sluis regime gunstige resultaten zien (Knoben 2014).

9.2 Vormgeving

Vissen gebruiken de spuiokers van de sluisen om te migreren tussen het Markermeer en het IJsselmeer wanneer deze open staan. Bij ongelijk peil kunnen vissen tijdens het spuien passeren indien de stroomsnelheden niet te hoog zijn; hoe hoger de stroomsnelheid des te beperkter de mogelijkheid om door de sluisen te zwemmen. Aangepast spui en schut beheer, evenals de aanleg van technische maatregelen (bijv. vispassages, of innovatieve oplossingen zoals een vismigratierivier) kunnen vismigratie bevorderen.

Aangepast sluisbeheer

Door aanpassingen in het sluis- en schutbeheer kunnen grotere groepen vissen sluisen passeren. De bedoeling is dat de spuisluisen in de Houtribdijk volledig geautomatiseerd worden in de toekomst. Hierbij kan visvriendelijk spuien geprogrammeerd worden (RHDHV 2015).

Het zo lang mogelijk openhouden van spuisluisen vergt geen extra handelingen en leidt ook niet tot een toename van het energieverbruik (RHDHV 2015). Het (langer) open laten staan van de sluisen bij gelijk peil is ook effectief gebleken bij de zeesluis Muiden (Knoben 2014). Ook het langer open laten staan van de schutsluisen bij ongelijk peil leidt niet tot extra handelingen of energieverbruik. Dit geeft vis meer tijd om tegen de stroom in te zwemmen, waardoor meer vis de sluisen kan passeren. Het langer open houden van spui- of schutsluisen kan daarom als kosteneffectieve maatregel kan worden gezien.

Extra schutten, naast het schutten voor de scheepvaart, vereist echter een extra handeling en hiervoor zijn aanpassingen en is mogelijk extra capaciteit benodigd. Tevens is deze optie energie-intensief waardoor dit een duurdere variant is (RHDHV 2015).

Bij een klein verval zouden sluisdeuren of spuideuren op een kier gezet kunnen worden. Dit leidt weliswaar tot extra handelingen en mogelijk is extra capaciteit benodigd, echter dit kost geen extra energie.

Aanleg vispassages

Vispassages worden aangelegd in de spuioker of in een aparte leiding; door de inrichting van de passage stroomt het water hierin langzamer. Daardoor kunnen vissen zelfs bij een groter verval in beide richtingen passeren (van Herpen 2010).

Vispasseerbaar maken inlaten

Naast gemalen zijn er ook vaak inlaatconstructies aanwezig tussen Markermeer en achterland. Deze constructies zijn te vergelijken met sluisen die in tijde van watertekorten in de polder geopend kunnen worden om water uit het Markermeer gecontroleerd in te laten. Het vispasseerbaar maken van de inlaten kan variëren van het inregelen van de inlaatconstructies (openen – afsluiten) tot het aanbrengen van een vispassage (bijv. van het vertical slot type) in of naast het inlaatwerk.

Gemaalpassage en visinlaat

Het vispasseerbaar maken van gemalen is eenrichtingsverkeer en is er vooral op gericht om de mortaliteit te verkleinen. Dat kan worden gedaan door te voorkomen dat vissen het gemaal in komen (in dat geval geen vispassage) of door het gemaal aan te passen waardoor vissterfte omlaag gaat, bijvoorbeeld door:

- het aanpassen van schoepen;
- het verlagen van de rotatiesnelheid;
- door een alternatieve route aan te bieden om het gemaal heen (bijvoorbeeld met een hevelpassage, een De Wit Sluispassage etc.).

9.3 Kosten

9.3.1 Uitgangspunten kostenraming

De kosten van verschillende varianten van visvriendelijk sluisbeheer voor de spuisluisen in de Houtribdijk zijn kwalitatief geschat in de rapportage 'Bureaustudie Ecologie NMIJ' door RHDHV (2015). Het betreft kosten die gemaakt worden bij het uitvoeren van additionele handelingen (boven het normale spuibeleid), die leiden tot de inzet van extra personeel (bij handmatige bediening), mechanische slijtage, en extra kosten als gevolg van energieverbruik. Hierbij komen ook eenmalige kosten die afhangen van de aanpassingen die nodig zijn om het spuibeheer te wijzigen. Deze laatste kosten hangen er mede van af of sluisen handmatig bediend worden of dat deze centraal worden aangestuurd. In het eerste geval, wanneer geen aanpassingen nodig zijn, zijn er kosten voor de opleiding van de beheerders, en mogelijk de inzet van extra personeel. In het tweede geval moeten ook de technische aanpassingen worden meegerekend. De bedragen zijn exclusief onderzoeken, training, jaarlijkse kosten en stakeholder-processen.

Er zijn vooralsnog geen plannen voor het vispasseerbaar maken van de twee gemalen en inlaatwerken vanuit Flevoland naar het Markermeer. Stel dat hier wel aanpassingen gedaan worden ten behoeve van de vismigratie dan zijn dit forse investeringen omdat er constructies aangelegd moeten worden over de dijk heen vanwege het ontbreken van inlaatwerken (orde grootte: enkele tonnen tot miljoenen).

De kosten voor aanpassen van de kunstwerken van Waternet zijn gebaseerd op gesprekken met Waternet, juni 2015 (locatie Diemerdammersluis, Ipenslotersluis, Zeesluis Muiden). De werkzaamheden worden waar mogelijk meegenomen met geplande renovatiewerkzaamheden.

Voor het vispasseerbaar maken van de knelpunten van Hollands Noorderkwartier zijn geen kosten per knelpunt bekend, alleen voor het hele beheergebied; de bedragen van deze maatregelen zijn ingeschat op basis van ervaring met gelijksoortige oplossingen.

9.3.2 Kosten per locatie

In de kostentabel zijn de investeringskosten weergegeven van de vismigratie-maatregelen per locatie, conform tabel 16.

Tabel 16: Investeringskosten van de vismigratiemaatregelen per locatie

Locatie	Maatregel	Kosten
Oranjesluizen	Optimaliseren vispassages Oranjesluizen	€ 50 - 100 k
Houtribdijk	Visvriendelijk beheer schutsluisen	€ 50 - 100 k
	Aanleg vispassage Houtribdijk	€ 100 – 500 k
Wortman	niet gepland (vis passeerbaar maken inlaat)	€ 1000 – 2000 k
Blocq van Kuffeler	niet gepland (vis passeerbaar maken inlaat)	€ 1000 – 2000 k
Diemerdammersluis	aangepast sluisbeheer + voorziening	< 50 k
Ipenslotersluis	aangepast sluisbeheer + voorziening	€ 50 - 100 k
inlaat Steenen Beer	Vis passeerbaar maken inlaat	€ 50 - 100 k
Zeesluis Muiden	aangepast sluisbeheer	< 50 k
gemaal de Poel - Monnickendam	gemaalpassage + visinlaat	€ 500 – 1000 k

Locatie	Maatregel	Kosten
Grafelijkheidssluis+inlaat	aangepast sluisbeheer/aanpassing inlaat	€ 100 – 500 k
gemaal Warder	gemaalpassage + visinlaat	€ 500 – 1000 k
Inlaat Lutjeschardam	aangepast sluisbeheer, aanpassen inlaat, i.c.m. Noordersluis Schardam	€ 100 – 500 k
inlaat Schardam	aangepast sluisbeheer, aanpassen inlaat, i.c.m. Noordersluis Schardam	€ 100 – 500 k
Gemaal Westerkogge	gemaalpassage + visinlaat	€ 500 – 1000 k
Gemaal De Drieban	gemaalpassage + visinlaat	€ 500 – 1000 k
<i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i>		

De kosten voor beheer en onderhoud bestaan uit elektriciteit voor het extra schutten van sluisen en kosten voor het in standhouden van de constructies voor de vispassages. De bedragen liggen tussen enkele duizenden euro's per jaar tot ca. € 50.000 per jaar voor inspecties, kleine reparaties en kleine vervangingen van onderdelen van een vispassage.

10 Verbinding Markemeer-IJsselmeer

10.1 Inleiding

De Houtribdijk scheidt momenteel het Markermeer van het IJsselmeer. Een open verbinding tussen het Markermeer en het IJsselmeer kan een bijdrage leveren aan de volgende doelen:

- afvoeren van slib en versterken van slib gradiënten;
- herverdelen van voedingsstoffen;
- bevorderen vismigratie;
- verbetering waterkwaliteit.

In expertsessies zijn de bestaande kennis en inzichten over deze maatregel in kaart gebracht. Deelnemers waren A. Remmelzwaal, T. Garritsen, M. Platteeuw, K. Harnack, R. Noordhuis, P. Boderie, F. Haarman, R. Knoben, met schriftelijke bijdrage van M. van Eerden.

10.2 Vormgeving

Drie mogelijke vormen waarin een (semi) open verbinding gerealiseerd kan worden zijn besproken:

- grootschalige opening: hierbij wordt ca. 1/3 van de Houtribdijk vervangen door een brug waardoor de verkeersfunctie van de dijk in stand blijft;
- kleinere opening: hierbij komt een afsluitbare opening van enkele tientallen tot 100 m breedte, met een brug waardoor de verkeersfunctie van de dijk in stand blijft;
- een serie afsluitbare buizen door de dijk, of een serie van hevelbuizen.

Locatie

De effecten van de drie varianten zijn niet modelmatig doorgerekend. Verwacht wordt echter dat een grootschalige opening het meeste bijdraagt aan de vorming van een slibgradiënt wanneer deze tussen Trintelhaven en Lelystad gerealiseerd wordt. Hier is het verschil tussen de slib concentratie in het Markermeer (hoge slib concentratie) en het IJsselmeer (helder water) relatief groot. Tevens wordt de aanleg van de Marker Wadden die ook bijdragen als trekpleister voor watervogels op deze locatie gepland. Dit deel van de dijk, tussen Trintelhaven en de bocht is ca. 8 km en voldoet daarmee aan de genoemde 1/3 van de lengte van de Houtribdijk, zie luchtfoto.



Figuur 19: Luchtfoto Houtribdijk tussen Trintelhaven en Lelystad

Van een kleinere opening wordt nauwelijks een merkbaar effect op de slibgradiënt verwacht aangezien de slibconcentratie voornamelijk wind gedreven is. Bij sterke wind zou de verbinding uit veiligheidsoverwegingen gesloten worden, waardoor er geen uitwisseling tussen de meren is. In dat geval zou het voor vismigratie gunstig zijn om de opening op enige afstand van de Houtribsluizen te plaatsen, zodat er een spreiding is tussen openingen waardoor vis kan migreren.

10.3 Aanlegstrategie

Grootschalige opening

Bij een grootschalige open verbinding kan het peil van het Markermeer niet afzonderlijk van het IJsselmeer gehandhaafd worden. Dit vormt een mogelijke belemmering voor het gewenste flexibel peilbeheer, zoals vermeld in Hoofdstuk 8, aangezien het peil in het IJsselmeer in eerste instantie wordt afgestemd op andere functies zoals zoetwatervoorziening en veiligheid.

Voor realisatie van een grote opening in de Houtribdijk, zullen eerst de dijken rondom het IJsselmeer en Markermeer/IJmeer op hoogte moeten worden gebracht. Dit kan deels vanuit autonome ontwikkeling en bestaande dijkversterkingsprojecten. Mogelijk dat door de verbinding de dijken ook enkele decimeters hoger aangelegd dienen te worden dan nu is voorzien. Versterking van alle kunstwerken, zoals sluizen en stuwen dienen hierin eveneens meegenomen te worden.

Bij toepassing van een grote open verbinding vervalt de functie van alle kunstwerken in de Houtribdijk, zoals de sluizen en spuisluizen (Houtrib, Krabbersgat) en het Naviduct nabij Enkhuizen.

Wanneer de dijken op hoogte zijn kan de bouw van de brug plaats vinden, hierbij dient naast wegverkeer ook rekening met recreatief fietsverkeer gehouden te worden. Meest aannemelijk is dat deze naast de huidige Houtribdijk wordt aangelegd, zodat dijk zijn functie behoudt als waterkering maar ook voor het verkeer op de N302. Vanaf de bocht in de dijk kan een aansluiting worden gemaakt op de nieuwe constructie, en vervolgens ook bij Trintelhaven.

Na realisatie van de nieuwe verbinding kan de Houtribdijk doorgebroken worden. De bestaande dijk is opgebouwd uit een kern van zand met perskaden van keileem. Verder is de dijk bekleed met kraagstukken, bestort met breuksteen, asfaltbekledingen en basaltzuilen en uiteraard grasbekledingen op de hoge delen. Tegen de tijd dat de uitvoering van de brug plaats zou vinden is de dijk versterkt (2018) en is de opbouw van de bekleding mogelijk afwijkend. De meeste bouwstoffen kunnen hergebruikt worden, waarbij aannemelijk is dat de dijk vanuit het midden opgebroken wordt zodat afvoer van het materiaal over de oude dijk mogelijk is. Een groot deel van de steenbekleding zal via het water worden verwijderd en afgevoerd.



Figuur 20: Foto Zeelandbrug (5 km lang), destijds 77 miljoen gulden, 1965

Afsluitbare opening

Bij een kleinere opening worden geen gevolgen voor de waterkeringen verwacht, en is er dus geen dijkversterkingen rondom het IJsselmeer en Markermeer nodig. Met betrekking tot de waterveiligheid is het hierbij van belang dat de opening vanaf een bepaald peilverschil tussen de twee meren gesloten blijft. Het realiseren van een dergelijke constructie gaat gepaard met het waarborgen van de waterkerende functie van de dijk gedurende de bouw, in combinatie met het borgen van beschikbaarheid van de provinciale weg N302 voor het wegverkeer. Dat betekent dat ook hier de optie is om het kunstwerk direct naast de Houtribdijk te realiseren waarna aansluiting met grondwerk, bekleding en nieuwe weg plaats kan vinden. Een andere mogelijkheid is de aanleg van een tijdelijke dijk in het Markermeer of IJsselmeer, met voldoende waterkerende functie waarover het verkeer kan rijden. Het kunstwerk kan dan aangelegd worden in lijn met de huidige dijk. In dit geval zullen geen aanpassingen aan de maximale snelheid op de dijk nodig zijn, terwijl bij een verlegging van de weg dit mogelijk wel het geval is.

Voorbeelden van afsluitbare kunstwerken met een vergelijkbare afmeting van ca. 100 m zijn hieronder weergegeven.



Figuur 21: Spuisluizen Lauwersoog: totaal 120 m opening



Figuur 22: Spuisluizen Houtribdijk: totaal 100 m opening in 6 sluizen

Serie afsluitbare buizen of kokers

Bij een serie afsluitbare buizen of hevelbuizen worden geen gevolgen voor de waterkeringen rondom het IJsselmeer en Markermeer verwacht.

De bouw van een relatief klein kunstwerk in de dijk zal waarschijnlijk in 2 fasen plaats vinden. Ter plaatse van het kunstwerk zal de dijk tijdelijk verbreed moeten worden, waarbij het verkeer deels omgeleid kan worden. De bouw kan dan binnen damwandkuipen plaats vinden. Na de bouw van het eerste deel kan het verkeer over de gebouwde constructie rijden, waarna in een volgende bouwkuip het overige deel gebouwd kan worden. Na verwijderen van de tijdelijke constructies en verbreding, moeten de dijkbekledingen hersteld worden. Een afbeelding van een constructie met een vergelijkbare afmeting is te zien in onderstaand figuur.



Figuur 23: Bathse spuisluis, bouw gereed 1987

Bij afsluitbare buizen dient de maximale stroomsnelheid beperkt te worden om erosie tegen te gaan. Vanaf een bepaald peilverschil dienen de buizen daarom afgesloten te kunnen worden. Bij hevelbuizen geldt ook dat erosie bij de in en uitstroom punten voorkomen dient te worden door middel van bodemverdedigingen.

10.4 Kosten

Voor de realisatie van de maatregelen zelf en voor de bijbehorende maatregelen om bovengenoemde negatieve neveneffecten tegen te gaan is een globale kostenschatting gemaakt op basis van expert judgement en vergelijkbare projecten:

1. Grote opening met brug: vanaf € 500.000.000.
2. Kleinere afsluitbare opening: vanaf € 100.000.000.
3. Buizen of hevels: vanaf € 10.000.000.

1. Een brug van met een lengte van ca. 8.000 m kost ca. € 60 K tot € 75 K per m afhankelijk van de wegindeling op de brug (2 x 1 of 2 x 2). De totale investeringskosten van een brug bedragen dan tussen ca. € 500 mln en € 600 mln incl. BTW. Dit is nog exclusief de aanpassingen aan de dijken en kunstwerken in de Houtribdijk.

2. Een kunstwerk met afsluitbare secties over een lengte van ca. 100 m kost tussen de € 100 mln en € 250 mln.

3. De kosten van een constructie met 5 kokers van 5 x 3 m inwendig, en tweezijdig afsluitbare kokers zijn geraamd op ca. € 30 mln. De Bathse spuisluis, afbeelding hierboven, koste destijds in 1987 ca. 15 mln gulden.

De beheer- en onderhoudskosten van bovengenoemde constructies bestaan uit monitoring, schoonhouden, kleine reparaties en vervangingen en de energiekosten van de afsluitbare delen. Bij de grote brug zijn geen bewegende delen voorzien (geen bascule).

De beheer- en onderhoudskosten voor de grote opening met brug worden geschat op ca. € 1,5 tot 2,5 mln per jaar.



Voor het kunstwerk met afsluitbare opening, van ca. 100 m, bedragen de beheer- en onderhoudskosten minimaal € 200 K per jaar. Dit bedrag is gebaseerd op de kosten genoemd in het meerjaren beheer- en onderhoudprogramma van Provincie Groningen 2013-2016 voor het sluiscomplex bij Lauwersoog.

De beheer- en onderhoudskosten voor de kleinere constructie worden geschat op € 50 K tot € 100 K per jaar.

11 Beantwoording Onderzoeksvragen

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van de voorliggende bureaustudie naar aanlegstrategie en kosten een antwoord gegeven op de onderzoeksvragen. Een overzicht van de vragen met betrekking op kosten en aanlegstrategie is gegeven in Tabel 17, hierin zijn de vragen gerangschikt naar hoofdstukindeling.

Tabel 17: Overzicht van onderzoeksvragen

Hfdstk	Code	Onderzoeksvraag
3	H30	Welk type golfbreker kan het best gebruikt worden en welk materiaal is het meest geschikt? Maak daarbij onderscheid in een onderzoeksfase en een eventuele grootschalige aanleg (constructie van bodem tot boven wateroppervlak, zoals dam, Geotubes, damwanden, caissons, houten constructie, e.d.)
3	H31	Is gefaseerd uitbouw van luw gebied mogelijk (bijvoorbeeld vanaf de oevers richting midden)?
3	H40	Wat zijn de realisatiekosten van de verschillende mogelijkheden om luwtezones te creëren?
3	H41	Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van de verschillende mogelijkheden voor het creëren van luwtezones?
3	H42	Wie draagt zorg voor het beheer na aanleg van gebieden met golfuwte?
3	S15	Wat zijn de realisatiekosten van de verschillende typen geleidingsstructuren?
3	S16	Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van de verschillende typen geleidingsstructuren?
4	S27	Wat zijn de realisatiekosten van het aanleggen van verdiepingen (eenheidskosten)?
4	S28	Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van het aanleggen van verdiepingen (eenheidskosten)?
5	S34	Wat zijn de realisatiekosten van de meest effectieve techniek voor het afdekken van slib?
5	S35	Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van de meest effectieve techniek om slib af te dekken?
6	S20	Welke mogelijkheden zijn er om ingevangen slib te benutten voor uitbouw grootschalig moeras of vooroevers (innovatieopties)?
6	H2	Is de aanleg van een duurzaam moeras mogelijk?
6	H7	Hoe kan gefaseerde aanleg het best worden uitgevoerd? (Modulaire opzet?)
6	H8	Hoe verloopt de consolidatie en zetting van een met schone baggerspecie opgehoogd gebied op de zettingsgevoelige Markermeerbodem?
6	H10	Gegeven de ecologische eisen aan hoogteligging (resultierend in 25% ongestoord water van ca. 4 meter diep, 35% ondiep water van ca. 1 meter diep, 30% plas/dras ca. 0 meter diep en 10% droog (gemiddeld 1 meter boven waterpeil) en maaiveld daling, wat is de meest wenselijke ophoogstrategie?
6	H11	Welke aanlegmethode is aan te bevelen om moerasvorming mogelijk te maken na afloop van de Pilot Moeras? Dit geschiedt onder andere aan de hand van de resultaten zoals die in het project 'Ijsselmonding' (Vastleggen van slib in vooraf aangelegde constructies) en Gooi-Eemmeer verkregen worden en op basis van de resultaten van de Pilot Moeras (gebruik maken van windgedreven hydrodynamische processen). Denk ook aan "moerasaanwinningswerken" (innovatieopties bouw).
6	H12	Welke aanlegmethodes kunnen het best gekozen worden voor het aanbrengen van de baggerspecie, het insluiten van de specie (compartimenteringsdammen, en /of metalen damwanden, en /of geotubes, geocontainers, geobags; andere oplossing?) en het versnellen van consolidatie?
6	H13	Welke methode kan het best gebruikt worden om erosie van de aangebrachte/ingevangen grond tegen te gaan? Denk daarbij aan variabele taludhelling (van 1:3 bij harde constructies tot 1:1000 bij zachte constructies) en verschillende opties voor harde constructies (breuksteen, zetsteen, gesloten bekleding en houtconstructie)?
6	H19	Wat zijn de realisatiekosten van het aanleggen van een grootschalig moeras van 5000 ha?

Hfdstk	Code	Onderzoeksvraag
6	H20	Wat zijn de kosten voor beheer- en onderhoud van een grootschalig moeras van 5000 ha?
6	H21	Wie draagt zorg voor het beheer van het moeras na overdracht?
9	V2	Op welke manier kunnen de ecologische verbindingen gerealiseerd worden en aan welke functionele eisen (technische specificatie) moeten ze voldoen?
9	V5	Wat zijn de realisatiekosten van ecologische verbindingen
9	V6	Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van ecologische verbindingen
9	V11	Wat zijn de realisatiekosten van verbindingen binnen- buitendijks (eenheidskosten)?
9	V12	Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van binnen/buitendijkse verbindingen (eenheidskosten)?
10	V14	Is een open verbinding technisch mogelijk? (veiligheidsaspecten + no-regret gehalte in relatie tot toekomstige waterhuishouding (peilstijging)
10	V15	Op welke manier kan een open verbinding gerealiseerd worden (technische specificatie)?
10	V19	Wat zijn de kosten van een (semi) open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer
10	V20	Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van een (semi) open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer
x	I13	Hoe kunnen de maatregelen optimaal bijdragen aan de versterking van de ruimtelijke kwaliteit?
x	I14	Hoe en op welk moment worden de natuurmaatregelen ingepast in de integrale inrichtingsvisie van het gebied?
x	S7	Hoe hierbij (voor vermindering slibgehalte) gebruik te maken van zandwinning en vaargeulonderhoud die toch al aan de orde zijn?
x	S21	Verken de mogelijkheden van PPS (Publiek Private Samenwerking) i.r.t. combinatie verdiepingen, natuurontwikkeling en zandwinning in de onderzoeksfase en later bij mogelijke grootschalige aanleg?
x	I5	Welke aanpak (inhoudelijk en procedureel) van waterveiligheid en waterbeheer, vooroevers en eilanden, natuurbeheer en recreatie, leidt tot de beste resultaten uit oogpunt van opbrengst aan natuurkwaliteit en kosteneffectiviteit?
X	I6	Wat zijn de effecten van aanleg van een (semi-) open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer op andere functies (zoals scheepvaart, recreatie, zoetwatervoorraad, veiligheid, e.d.) in het gebied?
X	I7	Welke combinatiemogelijkheden ontstaan er met andere functies?
X	I8	Wat zijn de effecten van aanleg van een (semi-) open verbinding op vaargeulbeheer en -onderhoud?
x	I12	Welke uitvoeringsstrategie kan het best gehanteerd worden voor het realiseren van een (semi-) open verbinding (uitvoeringsagenda)?
x	I9	Welke investeringskosten zijn verbonden aan de verschillende (natuurontwikkelings) alternatieven?
x	I10	Wat zijn de kosten voor beheer en onderhoud van een dergelijke constructie (eenheidskosten)?

Een aantal vragen kennen een zekere overlap.

Dit betreft onder meer de vragen **S15** en **H40**, en **S16** en **H41**. Vragen **S15** en **S16** gaan over de kosten voor realisatie en onderhoud van geleidingsstructuren, vragen **H40** en **H41** betreffen de kosten voor realisatie en onderhoud van luwtestructuren. In deze rapportage zijn luwtestructuren beschouwd: deze zorgen voor zowel golfuwte als voor stromingsluwte en zijn daarmee tevens geleidingsstructuren. Voor de beantwoording van vraag **S15** wordt daarom verwezen naar vraag **H40**, en voor vraag **S16** wordt verwezen naar **H41**.



Vragen **S34** en **S35** zijn beschreven in rapport 9V6742.A02_R0208_RWS_Defrap. Rapportage Maatregel Afdekken_v2.

Vragen **V11** en **V12** (binnen- en buitendijkse verbindingen) hebben een overlap met vragen **V5** en **V6** en zijn ondervangen in **V5** en **V6**.

Onderzoeksvraag: H30

Welk type golfbreker kan het best gebruikt worden en welk materiaal is het meest geschikt? Maak daarbij onderscheid in een onderzoeksfase en een eventuele grootschalige aanleg (constructie van bodem tot boven wateroppervlak, zoals dam, Geotubes, damwanden, caissons, houten constructie, e.d.)

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord

Golfbrekers bestaande uit starre structuren die boven het wateroppervlak uitsteken zijn geschikt als luwtestructuren. In de onderzoeksfase is een (tijdelijke) damwandconstructie geschikt, echter voor grootschalige (permanente) aanleg hebben dammen opgebouwd uit zand, breuksteen of Geotubes die zijn bekleed met breuksteen, de voorkeur. Deze typen lenen zich voor grootschalige toepassing.

Om voldoende golfuwte te creëren dient de golfbreker boven het wateroppervlak uit te steken (Vijverberg et al. 2013). Dit is ook wenselijk met het oog op de zichtbaarheid van de structuur voor scheepvaart en recreatievaart. Hiermee vermindert echter wel de ruimtelijke kwaliteit (RRAAM 2012). Een starre constructie neemt de golfenergie het effectiefste op (Vijverberg et al. 2013).

In de onderzoeksfase kan gebruik gemaakt worden van damwandconstructies zoals in het Veldexperiment Luwtestructuur (Vijverberg et al. 2013). Bij de keuze voor een damwand speelden duurzaamheid (met name de mogelijkheid tot hergebruik van het materiaal na het experiment), en verstoring van de omgeving een rol. Damwand constructies zijn gemakkelijker aan te leggen en te verwijderen dan luwtedammen of eilanden. Echter bij permanente structuren verdienen maatregelen opgebouwd uit natuurlijk materiaal de voorkeur (RRAAM 2012). Een rif van GC-haakjes vervaardigd uit bio-composiet bleek in een proef niet voldoende stabiel te zijn. Dit rif werd in de proef niet blootgesteld aan ijsgang, en zou gezien de ervaringen bij normale condities deze belasting zeer waarschijnlijk niet kunnen weerstaan.

Grootschalige luwtedammen uit zand, zand bekleed met breuksteen, Geotubes bekleed met breuksteen, of enkel breuksteen zijn beschouwd in ontwerpen en/of pilot proeven in het kader van NMIJ (Klinge 2012; Kollen & Jaspers 2012; Blokland 2013; Mols 2006; Maronier & Koenraadt 2014). Geotubes kunnen mogelijk gevuld worden met slib (Mols 2006); de geschiktheid van gebaggerd slib als vulling voor de Geotubes van ten Cate wordt door de fabrikant echter betwijfeld. Indien vulling van Geotubes met slib opportuun is (om wat voor reden dan ook), dan is hiervoor meer onderzoek nodig.

Luwtedammen bestaande uit zand dienen flauwe taluds te hebben (orde 1:20). Hierdoor is een aanzienlijk grotere hoeveelheid materiaal nodig dan voor dammen met breuksteen bekleding. Breuksteen bekleding beschermt tevens tegen erosie waardoor minder (of in de praktijk nauwelijks) materiaalaanvulling nodig is in vergelijking met zanddammen. Een grovere sortering breuksteen is nodig op het deel van de structuur rond het gemiddelde waterpeil en daarboven, dit is het deel dat blootgesteld is aan golf en ijs belasting. Op een diepte groter dan ca. 1,5 m kan fijnere breuksteen toegepast worden (Blokland 2013). Grovere sortering breuksteen kan niet direct op geotextiel of Geotubes geplaatst worden, hiervoor moet een tussenlaag met een fijnere gradering geplaatst worden die het geotextiel of de Geotubes beschermt (Blokland 2013). Deze fijnere laag mag niet door de grovere laag heen worden uitgespoeld en moet dus voldoen aan de geldende filterregels.

De opbouw van de ondergrond beïnvloedt de stabiliteit en zetting van de structuren. Op een zandige ondergrond, zoals bij Enkhuizerzand, kunnen dammen bestaande uit Geotubes met en breuksteen bekleding, of breuksteen dammen onder een steiler talud aangelegd worden dan op locaties zoals het Hoornse Hop en de locatie van de Pilot Moeras waar de ondergrond uit een dik pakket slappe lagen bestaat.

De mate van zetting verschilt weinig tussen de verschillende structuren: deze hangt voornamelijk af van de hoogte van de structuur en van de bodemsamenstelling.

Zowel in aanleg als in beheer en onderhoud zijn zanddammen significant duurder dan de overige drie typen dammen, die vergelijkbare kosten met zich meebrengen. Voor kostenramingen wordt verwezen naar de beantwoording van **Onderzoeks-vragen H40 en H41**. Met het grotere oppervlak en de flauwe taluds dragen zanddammen wél bij aan het creëren van een groter areaal aan geleidelijke land-water overgangen.

Onderzoeksvraag: H31

Is gefaseerd uitbouw van luw gebied mogelijk (bijvoorbeeld vanaf de oevers richting midden)?

Onderzoeksmiddel:

Bureau studie

Antwoord:

Ja, een gefaseerde uitbouw van een luw gebied is mogelijk. Verschillende studies en ontwerpen voor een toekomstbestendig ecologisch systeem (TBES) gaan uit van een gefaseerde uitbreiding van het aantal luwtedammen, of van de lengte van de dammen (Kollen & Jaspers 2012; Klinge 2012; Maronier & Koenraadt 2014).

Aandachtspunten zijn de minimale afmeting die een luwtestructuur moet hebben om voldoende luwte te creëren, mogelijkheden om grondstromenbeheer te optimaliseren door het combineren van de aanleg van luwtestructuren met aanleg van verdiepingen en door het combineren met andere gebruiksfuncties zoals beperking van de hinder voor vaarroutes.

Een modelstudie van Deltares (Boderie & Genseberger 2010) geeft aan dat structuren minimaal 1200 m lang dienen te zijn om de slibconcentratie merkbaar te verlagen. In het Veldexperiment Luwtestructuur was een 1800 m lange damwand geplaatst, en deze had inderdaad een goed meetbaar effect op zowel golven als slibstromen (Vijverberg et al. 2013). Modelstudies geven aan dat relatief kleine luwtestructuren vanaf 1200 m al een significant lokaal effect hebben; dit effect neemt verder toe voor langere structuren (Boderie & Genseberger 2010).

Bij de uitbreiding van een luw gebied dienen andere gebruiksfuncties, zoals vaarroutes, beschouwd te worden (RRAAM 2011). Bij luwtegebieden dicht bij de kust, zoals vooroevers, zijn onderbrekingen gewenst om eutrofiering achter de luwtestructuur tegen te gaan. Deze onderbrekingen in luwtestructuren kunnen gecombineerd worden met verdiepingen om de instroom van slibrijk water in het gebied achter de luwtestructuur tegen te gaan (Knoben 2014).

Onderzoeksvraag: H40

Wat zijn de realisatiekosten van de verschillende mogelijkheden om luwtezones te creëren?

Onderzoeksmiddel:

Bureau studie

Antwoord:

De realisatiekosten van luwtestructuren vallen in een grote bandbreedte van orde grootte € 2.000 tot € 15.000 per strekkende meter. Deze grote bandbreedte hangt vooral samen met de vormgeving van de luwtestructuur en de locatie, aangezien deze aspecten bepalend zijn voor het volume materiaal dat nodig is om de structuur te realiseren.

Verschillende typen luwtestructuren kunnen op grote schaal toegepast worden zoals beschreven in de beantwoording van **Onderzoeksvraag H30**.

Kosten zijn in dit rapport geraamd voor luwtestructuren op drie kenmerkende locaties in het Markermeer (zie onderstaande tabel voor de realisatiekosten).

De realisatie kosten per strekkende meter van deze structuren hangen vooral af van de waterdiepte, de lokale opbouw van de bodem, de vormgeving van de structuur en de herkomst van de grondstoffen.

Tabel H40-1: Investeringskosten aanleg luwtedammen: De aanleghoogten resulteren na zetting in een kruinhoogte van ca. NAP + 0,6 m, Steilere taluds van 1: 1,5 bij Enkhuizerzand geven aan dat de ondergrond daar gunstig is (nagegaan dient te worden of dit talud bij de lokale golfbelasting daadwerkelijk te realiseren is). Taluds van 1:20 voor zanddammen gaan uit van de toepassing van grof zand.

		Water- diepte (m)	Dikte aan te brengen materiaal (m)	Kruin- breedte (m)	Talud	Kosten per strekkende meter
Enkhuizerzand	<i>zanddam</i>	2	3	20	1 op 20	€ 4.700
	<i>zandkern met breuksteen bekleding</i>	2	3	2	1 op 4	€ 3.000
	<i>Geotubes met breuksteen bekleding</i>	2	3	4	1 op 1,5	€ 2.600
	<i>volledig breuksteen</i>	2	3	2	1 op 1,5	€ 2.200
Hoornse Hop	<i>zanddam</i>	3	5	20	1 op 20	€ 11.400
	<i>zandkern met breuksteen bekleding</i>	3	5	2	1 op 4	€ 5.100
	<i>Geotubes met breuksteen bekleding</i>	3	5	2	1 op 2	€ 4.800
	<i>volledig breuksteen</i>	3	5	2	1 op 2	€ 5.400
Noord-Oost Marker-meer	<i>zanddam</i>	4	5,8	20	1 op 20	€ 14.900
	<i>zandkern met breuksteen bekleding</i>	4	5,8	2	1 op 4	€ 6.000
	<i>Geotubes met breuksteen bekleding</i>	4	5,8	2	1 op 2	€ 5.900
	<i>volledig breuksteen</i>	4	5,8	2	1 op 2	€ 6.900

Bedragen inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%

Bij de kostenraming is uitgegaan van zand vrijkomend uit een werk in het Markermeer, bijvoorbeeld een verdieping, en een transportafstand van 10 km. Er zijn geen domeinkosten gerekend, behalve bij de Geotubes, hier wordt uitgegaan van leveren vanwege relatief kleine volumes en lage vulproductie.

Indien lokaal (< 4 km) zand hydraulisch gewonnen kan worden met een geschikte sortering, kan op de zandkosten bespaard worden.

Indien Geotubes met lokaal gewonnen slib gevuld zouden kunnen worden, kan dit ook tot een kostenreductie leiden. De geschiktheid van slib als vulling wordt echter vooralsnog door de fabrikant (ten Cate) betwijfeld en dient nader te worden aangetoond.

Onderzoeksvraag: H41

Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van de verschillende mogelijkheden voor het creëren van luwtezones?

Onderzoeksmiddel:

Bureau studie

Antwoord:

De onderhoudskosten hangen sterk af van het materiaal waarmee de luwtestructuur is opgebouwd en van de locatie: deze kosten zijn in de orde van € 10 tot € 140 per meter per jaar. De hogere kosten zijn voor grotere (bredere) structuren zonder bekleding, waar begroeiing maaikosten met zich mee brengt en waar meer suppletie nodig is dan bij structuren met een breuksteen bekleding.

Verschillende typen luwtestructuren kunnen op grote schaal toegepast worden zoals beschreven in de beantwoording van **Onderzoeksvraag H30**. Onderhoudskosten zijn in dit rapport geraamd voor luwtestructuren op drie locaties in het Markermeer (zie onderstaande tabel voor beheer en onderhoudskosten en de beantwoording van **Onderzoeksvraag H40** voor de realisatiekosten en geometrie van de structuren).

Tabel H41-1: Beheer en onderhoudskosten prijs per meter per jaar voor dammen met kruinhoogte ca. NAP +0,6 m

	Enkhuizerzand	Hoornse Hop	Noord Oost Markermeer
Zanddam	€ 55	€ 110	€ 140
Zandkern met breuksteen bekleding	€ 17	€ 25	€ 27
Geotubes met breuksteen bekleding	€ 14	€ 17	€ 18
Volledig breuksteen	€ 11	€ 16	€ 17

Bedragen inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%

Door de kruinhoogte van 0,80 m boven het gemiddelde zomerpeil, zal begroeiing ontstaan op de zanddam. Het uitgangspunt is dat er 1 keer per jaar gemaaid wordt. Daarnaast is bij de zanddammen gerekend met zandsuppletie van 10% van het totale volume elke 10 jaar. Hierbij is uitgegaan van ingekocht zand uit een concessie in het Markermeer of IJsselmeer, met een transportafstand van 20 km. Lokaal winnen is bij kleinere hoeveelheden, zoals bij suppletie, duur vanwege de inzet en mobilisatiekosten van het materieel om de deklaag te verwijderen en dan het zand te winnen.

Voor de overige dammen met breuksteen bekleding is uitgegaan van het verwijderen van houtopslag (1 keer per 2 jaar) en het bijstorten en herstellen van het profiel van de dam (1 keer per 10 jaar). Hierbij is gerekend dat er 5% breuksteen wordt bijgestort en 20% van het oppervlak wordt aangeheeld.

De kosten voor monitoring en jaarlijkse inspecties zijn inbegrepen. Er zijn geen vervangingskosten opgenomen aan einde 'levensduur'.

De kosten voor monitoring en beheer en onderhoud van de luwtezone achter de luwtedam zijn eveneens geraamd en hierna aangegeven.

Tabel H41-2: Beheer en Onderhoudskosten luwtezone, in prijs per hectare per jaar

Beheer en Onderhoud	per ha
Luwtezone – beperkt onderhoud waterplanten	€ 400
Luwtezone – volledig onderhoud waterplanten	€ 1.100

Bedragen inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%

Bij de luwtezone met beperkt onderhoud is gerekend met 20% van 140 ha onderhoud aan waterplanten en bij volledig onderhoud is gerekend met het volledig oppervlak per km luwtedam. In beide bedragen is monitoring van het volledige invloedsgebied van 140 ha voorzien.

Onderzoeksvraag: H42

Wie draagt zorg voor het beheer na aanleg van gebieden met golfuwte?

Onderzoeksmiddelen:
Antwoord:

Dit is afhankelijk van de wijze waarop de luwtestructuren zullen worden uitgevoerd. Als deze alleen worden aangelegd voor het creëren van luwe gebieden voor een betere ecologische kwaliteit, dan zal de beheerder van het rijkswater (i.c. Rijkswaterstaat Midden Nederland) ook de zorg dragen voor het beheer van de structuren.

Indien deze structuren tevens een functie hebben als golfbreker ten behoeve van waterveiligheid, dan zijn deze daarmee onderdeel geworden van de primaire waterkering en ligt het voor de hand dat de betreffende waterbeheerder ook het onderhoud leidt.

Indien de luwtestructuren ook een recreatieve functie krijgen, ligt het voor de hand dat de beheerder van deze functie tevens een taak heeft in het beheer van de structuren.

Dit staat overigens los van de wijze waarop het luwe gebied achter de structuren wordt beheerd. Indien het doel van de luwtestructuren bestaat uit het creëren van een dichtere waterplantvegetatie zal dit gevolgen kunnen hebben voor de bevaarbaarheid van het gebied. Het tijdig maaien van de waterplanten is dan een mogelijke oplossing voor een deel van de overlast. Tot nu toe is het onduidelijk wie verantwoordelijk is voor dit type beheer. Rijkswaterstaat zorgt voor een goede bevaarbaarheid van de vaargeulen in het gebied en het zou voor de hand liggen dat Rijkswaterstaat dit beheer zal uitvoeren.

NMIJ Referenties:
Onderzoeksvraag: S15

Wat zijn de realisatiekosten van de verschillende typen geleidingsstructuren?

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

Luwtestructuren zorgen voor zowel golf- als stromings-luwte, en kunnen daardoor beschouwd worden als geleidingsstructuren. Verder is het bieden van stromingsluwte zonder golfuwte praktisch gesproken niet werkzaam in de situatie van het Markermeer. Dit komt omdat de golfwerking relatief sterk is en de waterdiepte beperkt is. Structuren die uitsluitend stromingsluwte bieden zouden hiermee een beperkte hoogte boven de bodem moeten hebben (anders worden ze ook golfuwte-structuren) en zijn daarmee niet goed werkzaam als stroomgeleider. De realisatiekosten voor geleidingsstructuren zijn hiermee vergelijkbaar met de realisatiekosten voor luwtestructuren.

De realisatiekosten van luwtestructuren vallen in een grote bandbreedte van orde grootte € 2.000 tot € 15.000 per strekkende meter. Deze grote bandbreedte hangt vooral samen met de vormgeving van de luwtestructuur en de locatie, aangezien deze aspecten bepalend zijn voor het volume materiaal dat nodig is om de structuur te realiseren.

Verschillende typen luwtestructuren kunnen op grote schaal toegepast worden, zoals beschreven in de beantwoording van **Onderzoeksvraag H30**. Kosten zijn in dit rapport geraamd voor luwtestructuren op drie kenmerkende locaties in het Markermeer (zie onderstaande tabel voor de realisatiekosten).

De realisatie kosten per strekkende meter van deze structuren hangen vooral af van de waterdiepte, de lokale opbouw van de bodem, de vormgeving van de structuur en de herkomst van de grondstoffen.

Tabel S15-1: Investeringskosten aanleg luwtedammen: De aanleghoogten resulteren na zetting in een kruinhoogte van ca. NAP + 0,6 m, Steilere taluds van 1: 1,5 bij Enkhuizerzand geven aan dat de ondergrond daar gunstig is (nagegaan dient te worden of dit talud bij de lokale golfbelasting daadwerkelijk te realiseren is). Taluds van 1:20 voor zanddammen gaan uit van de toepassing van grof zand.

		Water- diepte (m)	Dikte aan te brengen materiaal (m)	Kruin- breedte (m)	Talud	Kosten per strekkend e meter
Enkhuizer zand	<i>zanddam</i>	2	3	20	1 op 20	€ 4.700
	<i>zandkern met breuksteen bekleding</i>	2	3	2	1 op 4	€ 3.000
	<i>Geotubes met breuksteen bekleding</i>	2	3	4	1 op 1,5	€ 2.600
	<i>volledig breuksteen</i>	2	3	2	1 op 1,5	€ 2.200
Hoornse Hop	<i>zanddam</i>	3	5	20	1 op 20	€ 11.400
	<i>zandkern met breuksteen bekleding</i>	3	5	2	1 op 4	€ 5.100
	<i>Geotubes met breuksteen bekleding</i>	3	5	2	1 op 2	€ 4.800
	<i>volledig breuksteen</i>	3	5	2	1 op 2	€ 5.400
Noord-Oost Marker-meer	<i>zanddam</i>	4	5,8	20	1 op 20	€ 14.900
	<i>zandkern met breuksteen bekleding</i>	4	5,8	2	1 op 4	€ 6.000
	<i>Geotubes met breuksteen bekleding</i>	4	5,8	2	1 op 2	€ 5.900
	<i>volledig breuksteen</i>	4	5,8	2	1 op 2	€ 6.900

Bedragen inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%

Bij de kostenraming is uitgegaan van zand vrijkomend uit een werk in het Markermeer, bijvoorbeeld een verdieping, en een transportafstand van 10 km. Er zijn geen domeinkosten gerekend, behalve bij de Geotubes, hier wordt uitgegaan van leveren vanwege relatief kleine volumes en lage vulproductie.

Indien lokaal (< 4 km) zand hydraulisch gewonnen kan worden met een geschikte sortering, kan op de zandkosten bespaard worden.

Indien Geotubes met lokaal gewonnen slib gevuld zouden kunnen worden, kan dit ook tot een kostenreductie leiden. De geschiktheid van slib als vulling wordt echter vooralsnog door de fabrikant (ten Cate) betwijfeld en dient nader te worden aangetoond.

Onderzoeksvraag: S16

Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van de verschillende typen geleidingsstructuren?

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

Luwtestructuren zorgen voor zowel golf- en stromings- luwte, en kunnen daardoor beschouwd worden als geleidingsstructuren. Verder is het bieden van stromingsluwte zonder golfuwte praktisch gesproken niet werkzaam in de situatie van het Markermeer. Dit komt omdat de golfwerking relatief sterk is en de waterdiepte beperkt is. Structuren die uitsluitend stromingsluwte bieden zouden hiermee een beperkte hoogte boven de bodem moeten hebben (anders worden ze ook golfuwte-structuren) en zijn daarmee niet goed werkzaam als stroomgeleider. De beheer- en onderhoudskosten voor geleidingsstructuren zijn hiermee vergelijkbaar met die voor luwtestructuren.

De onderhoudskosten hangen sterk af van het materiaal van de luwtestructuur en van de locatie waarop deze is opgebouwd: deze kosten zijn in de orde van € 10 tot € 140 per meter per jaar. De hogere kosten zijn voor grotere (bredere) structuren zonder bekleding, waar begroeiing maaikosten met zich mee brengt en waar meer suppletie nodig is dan bij structuren met een breuksteen bekleding.

Verschillende typen luwtestructuren kunnen op grote schaal toegepast worden zoals beschreven in de beantwoording van **Onderzoeksvraag H30**. Onderhoudskosten zijn in dit rapport geraamd voor luwtestructuren op drie locaties in het Markermeer (zie onderstaande tabel voor beheer en onderhoudskosten en de beantwoording van **Onderzoeksvraag S15** voor de realisatiekosten en geometrie van de structuren).

Tabel S16-1: Beheer en onderhoudskosten prijs per meter per jaar voor dammen met kruinhoogte ca. NAP +0,6 m

	Enkhuizerzand	Hoornse Hop	Noord Oost Markermeer
Zanddam	€ 55	€ 110	€ 140
Zandkern met breuksteen bekleding	€ 17	€ 25	€ 27
Geotubes met breuksteen bekleding	€ 14	€ 17	€ 18
Volledig breuksteen	€ 11	€ 16	€ 17
<i>Bedragen inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i>			

Door de kruinhoogte van 0,80 m boven het gemiddelde zomerpeil, zal begroeiing ontstaan op de zanddam. Het uitgangspunt is dat er 1 keer per jaar gemaaid wordt. Daarnaast is bij de zanddammen gerekend met zandsuppletie van 10% van het totale volume elke 10 jaar. Hierbij is uitgegaan van ingekocht zand uit een concessie in het Markermeer of IJsselmeer, met een transportafstand van 20 km. Lokaal winnen is bij kleinere hoeveelheden, zoals bij suppletie duur vanwege de inzet en mobilisatiekosten van het materieel om de deklaag te verwijderen en dan het zand te winnen.

Voor de overige dammen met breuksteen bekleding is uitgegaan van het verwijderen van houtopslag (1 keer per 2 jaar) en het bijstorten en herstellen van het profiel van de dam (1 keer per 10 jaar). Hierbij is gerekend dat er 5% breuksteen wordt bijgestort en 20% van het oppervlak wordt aangeheeld.

De kosten voor monitoring en jaarlijkse inspecties zijn inbegrepen. Er zijn geen vervangingskosten opgenomen aan einde 'levensduur'.

De kosten voor monitoring en beheer en onderhoud van de luwtezone achter de luwtedam zijn eveneens geraamd en hierna aangegeven.

Tabel S16-2: Beheer en Onderhoudskosten luwtezone, in prijs per hectare per jaar

Beheer en Onderhoud	per ha
Luwtezone – beperkt onderhoud waterplanten	€ 400
Luwtezone – volledig onderhoud waterplanten	€ 1.100
<i>Bedragen inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i>	

Bij de luwtezone met beperkt onderhoud is gerekend met 20% van 140 ha onderhoud aan waterplanten en bij volledig onderhoud is gerekend met het volledig oppervlak per km luwtedam. In beide bedragen is monitoring van het volledige invloedsgebied van 140 ha voorzien.

Onderzoeksvraag: S27

Wat zijn de realisatiekosten van het aanleggen van verdiepingen (eenheidskosten)?

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

De aanlegkosten van verdiepingen hangen af van onder andere de afmeting van de verdieping en de afstand naar de verwerkingslocatie van het vrijkomende materiaal. De kosten kunnen daarmee uiteen lopen van ca. € 3 tot € 9 per m³ voor verschillende scenario's zoals aangegeven in de onderstaande tabel.

Verdiepingen kunnen diverse vormen en dieptes hebben. Voor het bepalen van de kosten van verdiepingen zijn daarom kenmerkende scenario's gedefinieerd, zoals in onderstaande tabel is weergegeven. Het gaat hier om het realiseren van een verdieping, waarbij de vrijgekomen materialen ingezet worden in een ander werk, bijvoorbeeld een vooroever en/of moeras.

Tabel S27-1: Investeringskosten van de aanleg van een verdieping en de prijs per m³.

Soort verdieping en ontgraving	Volume m ³	Investeringskosten per transport afstand en – methode		
Kleine verdieping (diepte 5 m) alleen deklaag mechanisch met kraanponton	200.000	1 km beun	2 km beun	4 km beun
		€ 1.600.000	€ 1.700.000	€ 1.900.000
		€ 8,00	€ 8,50	€ 9,00
Middel grote verdieping (diepte 10 m) deklaag en zand (50%/50%) hydraulisch met cutter-/steekzuiger	1.000.000	1 km persleiding	2 km persleiding	4 km persleiding
		€ 4.6000.000	€ 5.500.00	€ 7.200.000
		€ 4,50	€ 5,50	€ 7,25
Grote verdieping (diepte 20 m) deklaag en zand (33%/67%) hydraulisch met cutter-/steekzuiger	3.000.000	1 km persleiding	2 km persleiding	4 km persleiding
		€ 8.700.000	€ 10.100.000	€ 12.300.000
		€ 3,00	€ 3,50	€ 4,00
<i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i>				

Bij de kostenraming gelden, naast de genoemde punten in de tabel, verder de volgende uitgangspunten:

- Bij scenario 1 is gerekend met het afvoeren van slib en klei in splijtbakken en beunbakken met verhouding 50 % / 50 %. Bij toepassing van beunbakken wordt het materiaal op de afzetlocatie gelost met een kraanponton;
- Toepassen van een slibscherm op de ontgravingslocatie om vertroebeling tegen te gaan;
- Bij scenario 2 en 3 is voor het zand gerekend met verwerken onder- en boven water met verhouding 50 % / 50 % (sproeioponton / walploeg);
- Geen domeinvergoeding gerekend,
- Er is niet gerekend met opbrengsten, of samenloop voordeel met eventuele andere projecten.

Onderzoeksvraag: S28

Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van verdiepingen (eenheidskosten)

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

In onderstaande tabel zijn de onderhoudskosten weergegeven voor de verdiepingen in de scenario's zoals bij vraag S27 zijn gehanteerd.

Tabel S28-1: Beheer- en Onderhoudskosten van de verdieping en de prijs per m³ per jaar

Soort verdieping en onderhoudsfrequentie	Aanslibbing (m ³)	Beheer en onderhoudskosten per transportafstand		
		1 km	2 km	4 km
Kleine verdieping (diepte 5 m)	20.000	1 km	2 km	4 km
Kosten per jaar		€ 41.000	€ 42.000	€ 46.000
kosten per m ³ slib		€ 2,05	€ 2,10	€ 2,30
Middelgrote verdieping (diepte 10 m)	100.000	1 km	2 km	4 km
Kosten per jaar		€ 158.000	€ 167.000	€ 186.000
kosten per m ³ slib		€ 1,58	€ 1,67	€ 1,86
Grote verdieping (diepte 20 m)	300.000	1 km	2 km	4 km
Kosten per jaar		€ 453.000	€ 481.000	€ 537.000
kosten per m ³ slib		€1,50	€ 1,60	€1,80

Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 40%

De beheer- en onderhoudskosten van verdiepingen bestaan uit het op diepte houden van de geulen/verdiepingen. De onderhoudsfrequentie bij ondiepe verdiepingen zijn hoger dan bij diepe verdiepingen.

Een put met groot invangoppervlak zal relatief meer slib kunnen opvangen. Daarnaast is de taludhelling van een put van belang voor het totale volume per jaar dat ingevangen kan worden. Voor de kostenraming is daarom uitgegaan van een percentage aanwas naar putvolume, van 10% per jaar (aannee). Naast ingevangen slib is dit ook materiaal dat afkomstig is uit de wanden als gevolg van uitzakking van de putwanden

Het nog niet geconsolideerde slib kan met een steek/winzuiger verwijderd worden. Aannee hierbij is dat het slib toegepast kan worden in bijvoorbeeld aanleg van een vooroever en/of moeras.

Onderzoeksvraag: S34

Wat zijn de realisatiekosten van de meest effectieve techniek voor het afdekken van slib?

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

De kosten voor afdekken van een slibhoudende meerbodem variëren naar omvang van het projectgebied en zijn, voor verschillende projectgroottes hieronder weergegeven. Daarbij is uitgegaan van sproeien van zand uit een beunschip of uit een verdieping.

Tabel S34-1: Investeringskosten afdekken slib per m²

Investeringskosten	prijs per m ²
Klein gebied (200 meter bij 200 meter)	€ 6,30
Middelgroot gebied (1 km bij 1km)	€ 2,00
Groot gebied (5 km bij 5 km)	€ 1,40
<i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i>	

Tabel S34-2: Investeringskosten afdekken slib totaal

Investeringskosten	Kosten totaal
Klein gebied (200 meter bij 200 meter)	€ 300.000
Middelgroot gebied (1 km bij 1km)	€ 2.000.000
Groot gebied (5 km bij 5 km)	€ 35.000.000
<i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i>	

In het algemeen zijn zowel sproeien als onderzuigen geschikte en effectieve technieken om slib af te dekken, ieder met eigen specifieke voor- en nadelen. In deze fase waarin specifieke en essentiële project informatie (waterstanden, grondonderzoeken, locatie, volumes, etc.) ontbreekt, kan op voorhand niet definitief bepaald worden welke techniek het best kan worden toegepast. Wel kan worden gesteld dat sproeien naar alle waarschijnlijkheid de beste methode voor het Markermeer zal zijn, in ieder geval aan de westzijde: onderzuigen is daar namelijk moeilijk toepasbaar, omdat de zandlaag daar op grotere diepte ligt. Aangezien aan de oostzijde van het Markermeer de maatregel afdekken niet zal worden toegepast, blijft dus waarschijnlijk alleen de methode sproeien over.

Gerekend is met een afdeklaag van zand van 0,20 m.

Afhankelijk van de grootte van het in te zetten materieel ligt de aanleg nauwkeurigheid tussen 0,10 m en 0,30 m. Hiermee wordt bedoeld dat bij de inzet van kleiner materieel met lagere producties 0,10 m te halen is met een afwijking van +/- 0,05 m en bij groter materieel zal dat 0,30 m zijn met +/- 0,15 m.

Bij het kleine gebied is gerekend met levering van zand, dus inclusief domeinheffing. Het gaat hierbij om 8.000 m³ en daarbij loont het niet om lokaal te winnen.

Het benodigde zand voor het middelgrote en groot gebied wordt gewonnen nabij de verwerkingslocatie. In de kostenraming is hierbij uitgegaan van het verplaatsen van de aanwezige deklaag en afzet van een klein deel hiervan op een dieper gelegen gebied, waarna het zand gewonnen wordt. De rest van de deklaag kan worden omgeput. Er is gerekend met een winlocatie op gemiddeld 3 km van de verwerkingslocatie.

Bij kleinere werken worden de aanlegkosten vooral gedomineerd door de mobilisatie / demobilisatie kosten van het in te zetten materieel. Bij de grotere werken valt dat effect weg in de totale kosten.

Onderzoeksvraag: S35

Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van de meest effectieve techniek om slib af te dekken.

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

De kosten variëren van € 100 tot € 2.000 per ha en zijn afhankelijk van de grootte van het projectgebied.

De aanlegmethodiek (sproeien of onderzuigen) is niet onderscheidend voor het beheer en onderhoud van de afdeklaag.

De genoemde kosten voor beheer en onderhoud bestaan uit monitoring op basis van metingen van de afdeklaag, gerekend met 1 maal per 2 jaar. Hierbij wordt gemeten in hoeverre erosie van de zandlaag plaatsvindt of in hoeverre zich eventueel nieuw slib afzet op het zand.

Er is niet gerekend met sedimentatie op de afdeklaag. Aangenomen wordt dat de afdekking op een locatie wordt toegepast waar geen slib-sedimentatie plaats vindt.

Er wordt ook niet gerekend met het aanvullen van de zandlaag na verloop van tijd.

Vooralsnog wordt uitgegaan van toepassing van voldoende laagdikte en grof zand, zodat erosie een verwaarloosbaar effect heeft. De afdekking is ook alleen nuttig in gebieden waar (geringe) slib-erosie plaats vindt.

Indien uit monitoring blijkt dat er, zoals aangenomen, geen aanwas van slib of erosie van de zandlaag plaats vindt, kan de frequentie van monitoring ook aangepast worden.

De geraamde beheerskosten zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel S35-1: Beheerkosten afdekken slib per ha per jaar

Beheerkosten	Grootte	Aantal metingen	Kosten per jaar	Kosten per ha
Klein gebied	4 ha	1 per ha	€ 4.000	€ 2.000
Middelgroot gebied	100 ha	1 per 5 ha	€ 11.000	€ 215
Groot gebied	2500 ha	1 per 10 ha	€ 122.000	€ 100

Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%

Onderzoeksvraag: S20

Welke mogelijkheden zijn er om ingevangen slib te benutten voor uitbouw oermoeras of vooroevers (innovatieopties)?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, veldexperiment

Antwoord:

Bureaustudie

Voor het invangen van slib kan onderscheid gemaakt worden naar:

- natuurlijke invang van slib en daarop volgende verlanding en moerasvorming en
- het actief inzamelen, opspuiten en aanbrengen van slib zodat een moeras kan ontstaan ofwel bouwen met slib.

Natuurlijke invang en verlanding met slib

Er zijn meerdere natuurlijke situaties waarbij moerassen of vooroevers worden gevormd door invang van slib, zoals in kwelders, slibdelta's, uiterwaarden en ook rietlanden (Provincie Friesland, 2014). In het kader van NMIJ is ook onderzoek gedaan aan kwelderwerken langs het Markermeer (Wielakker et al, 2014). Ook deze vangen actief slib in.

Natuurlijke invang treedt op als slibrijk water in golf en stromingsluwe condities komt, zoals in de luwte van vooroeverdammen, eilanden of tussen vegetatie. Slib kan alleen in geval van zeer luwe situaties blijven liggen en tot verlanding en moerasvorming leiden. Voor golfuwe gebieden is er een bepaald niveau tot waar het slib zich kan ophopen (afhankelijk van golven, waterstandverschillen en evt. getij). Van belang daarbij is dat dit niveau de vestiging van waterplanten mogelijk maakt. Hierbij moet wel worden bedacht dat veel ondergedoken waterplanten in de winterperiode nauwelijks aanwezig zijn, dit is juist in het stormseizoen. Helofyten, zoals riet en biezen, zijn ook in de wintermaanden aanwezig en daarmee zeer geschikt om slib in te vangen. Op verschillende locaties vangen rietlanden actief slib in, zoals bijvoorbeeld aan de rand van boezemmeren. Luwte is hierbij een voorwaarde aangezien riet geen grote golven verdraagt (Coops et al, 1991, Coops et al., 1996). Het slib moet echter wel kunnen worden aangevoerd. Structuren die vrijwel helemaal gesloten zijn en weinig wateruitwisseling hebben met het Markermeer, zullen dan ook weinig slibafzetting laten zien.

Bouwen met slib

Wil men met slib bouwen dan moet dit ingevangen, gewonnen, getransporteerd of aangebracht worden en vervolgens tot een moeras of voorland kunnen aangroeien. Zoals hiervoor is aangegeven is stroom- en golfuwe en aanvoer van slib een voorwaarde voor het invangen. Dit kan in een put, in de luwte van een luwtestructuur of in een slibgeul, zoals voorzien in het project Markerwadden (www.natuurmonumenten.nl). Winnen van slib vraagt de inzet van baggermaterieel. De inzet daarvan is duur. Het is dus zaak om slib geconcentreerd in te vangen, zodat het gewonnen kan worden, met minimale toevoeging van (proces) water. Dit laatste is weer nodig om kosteneffectief te kunnen verpompen en het slib te kunnen inbrengen in relatief hoge dichtheden. Dit laatste geeft een betere uitgangssituatie voor de vervolgstappen zoals consolidatie, rijping en zetting van de ondergrond (Rosenbrand et al., 2015).

Voor ontwatering en afwatering is de omvang van het slibcompartiment van invloed. Grotere compartimenten wateren moeilijker af, een reden dat vaak oppervlakkige greppels worden gegraven in slibdepots. De ontwatering kan worden bevorderd door het inmengen van zand, bijvoorbeeld in de vorm van banen. Deze werken dan als drains en voeren bodemwater af. Inzaaien helpt ook de ontwatering, omdat wortels dieper en effectiever water kunnen onttrekken (www.nieuwlanderfgoed.nl).

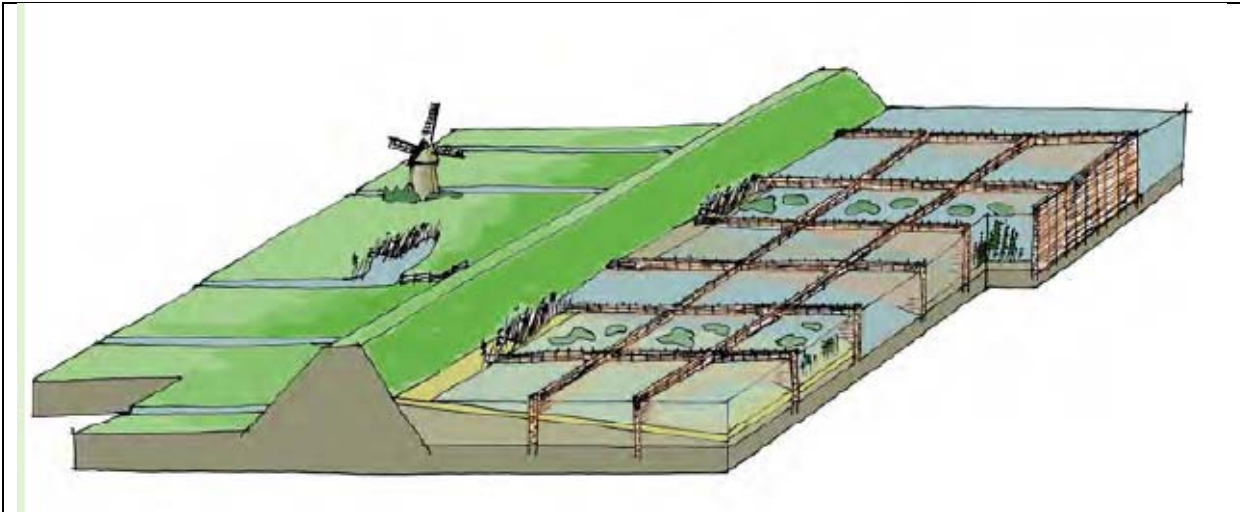
Veldexperimenten

Pilot Moeras

In de moeras pilot is geen gebruik gemaakt van ingevangen slib. De pilot is opgevuld met Holoceen materiaal dat is weggehaald van de bodem van het Markermeer en met baggerschepen is verplaatst. Het veldexperiment heeft wel laten zien dat slib wordt ingevangen in het luwe gebied aan de noordoostzijde van de pilot, waar voldoende luwte is. Het sediment dat achter de pilot terecht is gekomen, is waarschijnlijk deels uit de pilot zelf afkomstig en deels elders uit het Markermeer (Dankers et al., 2015).

Kwelderwerken

Het waterproeftuin experiment Marker Kwelderwerken van Consortium Kranswier (Wielakker et al., 2014) had tot doel te onderzoeken of met een kwelderachtige constructie zwevend slib kon worden ingevangen om zo land-water overgangen te creëren waarin ecologische ontwikkeling kon plaatsvinden.



Uit het experiment blijkt dat rijdsdammen goed in staat zijn slib vast te houden. Het experiment heeft daarnaast laten zien dat op semi-praktijkschaal ook in een meer met vast waterpeil het kwelderproces met beoogde ecologische ontwikkeling optreedt. Dit biedt goede kansen voor een opschaling van de Marker Kwelderwerken tot een grootschalige land-waterovergang en daarmee het creëren van groter oppervlak ondiepe oeverzone. Een constructie op grotere schaal en voor de langere termijn dient bestendig te zijn tegen de dynamiek van het Markermeer en zal daarmee robuuster uitgevoerd moeten worden dan in het (tijdelijke) experiment (Wielakker et al., 2014).

NMIJ Referenties:

Dankers et al (2015)
Rosenbrand et al (2015)
Wielakker et al (2014)

Externe referenties:

Provincie Friesland (2014).
Coops et al (1991)
Coops et al (1996)
www.natuurmonumenten.nl
www.nieuwlanderfgoed.nl

Onderzoeksvraag: H7

Hoe kan gefaseerde aanleg het best worden uitgevoerd? (Modulaire opzet?)

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, veldexperiment

Antwoord
Bureaustudie

Voor de ontwikkeling van een grootschalig moeras wordt gedacht aan een modulaire opbouw om de volgende redenen:

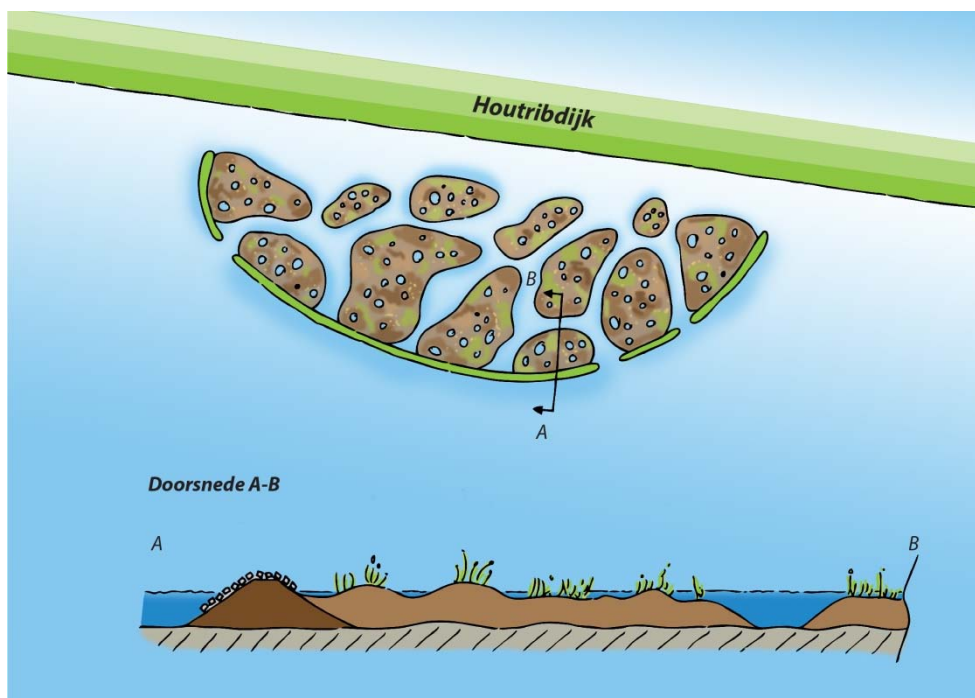
- Naar verwachting is niet bij start van de aanleg voldoende budget beschikbaar om het gehele moeras te realiseren. Dit zal dus sowieso in fasen moeten.
- Een structuur van eilanden met daartussen gelegen ondiep en luw gelegen water is een goed vertrekpunt om een groot en divers moeras te maken, met ook veel landwater overgangen en randlengte (Van Herpen *et al*, 2015).
- Voor het opsluiten van slib en Holoceen materiaal uit het Markermeer is het opsluiten binnen randen noodzakelijk (ervaring vanuit slibdepot IJsseloo, natuureilanden IJsseldelta) (Dankers et al, 2015).

- Binnen modules kan gespeeld worden met verschillende hydrologische condities, zoals peil, diepte, een open verbinding met het Markermeer aan de loefzijde (vooral opwaaiing) of lijzijde (vooral afwaaiing). Op deze wijze kunnen ecologisch sterk verschillende milieus worden gemaakt.

De randen hebben als functie het vasthouden van het ophoogmateriaal, het bieden van luwte, het beperken van vertroebeling tijdens aanleg, het mogelijk maken van peilbeheer en het voorkomen van golfoverslag (zodat rijping op kan treden).

In het ontwerp van Markerwadden wordt uitgegaan van een onderwaterdam aan de luwe zijde. Bij veel wind kan resuspensie van materiaal optreden. (www.natuurmonumenten.nl). Het is echter onwenselijk om een geheel gesloten buitenrand om het moeras te hebben. Openingen in de buitenrand zijn nodig het water in het moeras te verversen, stoffen aan- en af te voeren en om vissen kunnen tussen het meer en het moeras te kunnen laten bewegen (Buskens & den Held 2012).

Bij een modulaire aanleg, waarbij in verschillende fases delen van het moeras worden aangebouwd, is het verstandig om allereerst een luw gebied te creëren (Rosenbrand et al, 2015). Er kan gekozen worden voor aparte modules met elk hun eigen (harde) rand (verschillende delen moeras zoals de Pilot Moeras bij elkaar) of voor één grote rand/golfbreker waarachter verschillende modules kunnen worden aangelegd (zie onderstaande figuur) of voor een tussenvorm. In het geval van één grote rand/golfbreker kan er gemakkelijker worden gewerkt tijdens de aanleg vanwege de luwte en hoeft ook niet elke module door een harde rand of robuuste zachte rand te worden beschermd. Er kan gemakkelijker worden gevarieerd met zachte oeverbescherming en daaruit voortvloeiende land-water overgangen.



Het type sediment waarmee het moeras wordt opgebouwd bepaalt in belangrijke mate de uiteindelijke vormgeving. Hydraulisch gebaggerd slib bevat meer water dan mechanisch gebaggerd en gestort sediment en zal aan alle kanten goed beschermd moeten worden. Door het gebruik van hydraulisch gebaggerd slib zal daardoor een vrij vlak gebied ontstaan. Bij mechanisch gebaggerd slib heeft het materiaal iets meer stevigheid. Het ontwerp van MarkerWadden gaat uit van combinatie modules welke gevuld zijn met verschillende sedimenten (www.natuurmonumenten.nl)

Inmiddels heeft de aanbesteding van het project Markerwadden plaatsgevonden en is Natuurmonumenten voornemens fase 1 van circa 150 ha moeras aan te leggen.

Het ontwerp van Markerwadden gaat uit van verschillende type randen (harde randen, zachte randen van zand, onderwaterdam) (www.natuurmonumenten.nl).

Naast het ontwerp voor MarkerWadden zijn er in de afgelopen jaren meerdere ontwerpen geweest voor de aanleg van een grootschalige moeras (voorontwerpen NMIJ studie). De meeste gaan uit van een samenstel van eilanden en maken daarbij gebruik van hardere en robuustere randen aan de loefzijde en zachtere randen in de luwte. In veel gevallen gaat het om inzet van breukstenen dammen en zand constructies, zoals ook in het voorgaande ontwerp. Ook is gedacht aan houten constructies, drijvende constructies, en dergelijke. Uitgangspunt bij de ontwerpen is doorgaans een beperkte lengte aan dure randen met daarbinnen een vrij groot luw gelegen moerasgebied.

In het ontwerp van het Consortium Kransmeer wordt het moeras modulair opgebouwd uit slibdepots. In dit ontwerp kan het moeras gefaseerd uitgebreid worden door nieuwe slibdepots aan te leggen (Consortium-Kransmeer 2012).

Veldexperiment

In de Pilot Moeras is geëxperimenteerd met een kleinschalig moeras van 10 ha. Tijdens de aanleg en de monitoringsfase in de twee opvolgende jaren is gebleken dat de aanwezigheid van randen, welke de golfenergie dempen of zelfs volledig tegenhouden, essentieel is om een duurzaam aanwezig moeras te creëren (Dankers et al, 2015).

Het sediment is in de pilot zowel tot boven water aangebracht (gesloten compartiment) als onder water (open compartiment). Bij materiaal dat tot boven water wordt aangebracht kan rijping optreden zodat een korst ontstaat, die iets meer golfslag aan kan. Uit de pilot is wel gebleken dat ook dit gebied toch gauw door golven kan worden ondermijnd. Er vormen zich daarbij kleinere klifjes. Naar verwachting zal ook vegetatie die op de gerijpte grond tot vestiging is gekomen daarmee ondermijnd kunnen worden.

Een andere situatie ontstaat wanneer Holoceen materiaal wordt aangebracht tot onder waterpeil. Dit materiaal kan niet rijpen en kan alleen onder eigen gewicht geleidelijk aan dichtheid winnen. De consolidatie verloopt hier langzaam. De pilot (Dankers et al, 2015) heeft laten zien dat, in het geval dat met mechanisch gebaggerd holoceen materiaal, en daarmee logischerwijs ook met hydraulisch gebaggerd materiaal, wordt gewerkt, bescherming aan alle zijden (eventueel met zand) nodig is. Ook is gebleken dat het lastig is om met dit materiaal, zonder bijmenging van zand, in het droge voldoende reliëf aan te brengen.

Samenvattend

Luwte is een belangrijk aspect bij het opbouwen van een (modulair) moeras. Bij toepassing van zand, ook tezamen met een deel slib, kan een stevige module worden opgebouwd. Hierbij kan voldoende reliëf worden opgebouwd en is bescherming van de randen van de module niet direct nodig. Eventueel kan wel gekozen worden voor één lange buitenrand waarachter de verschillende modules worden opgebouwd. Bij toepassing van overwegend holoceen materiaal daarentegen zal elke module beschermd moeten worden middels een beschermende rand.

Bij een gefaseerde (modulaire) aanleg is het te verwachten dat in verschillende fases wisselende typen materiaal beschikbaar zal zijn om het moeras te ontwikkelen. Dit heeft als voordeel dat daarmee ook verschillende modules kunnen worden opgebouwd, elk met hun eigen type basismateriaal en daarom ook elk met hun eigen daaruit voortvloeiende mate van reliëf, type randafwerking en ecologische ontwikkeling.

NMIJ Referenties:

Dankers et al (2015)
Rosenbrand et al (2015)
Van Herpen et al (2015)

Externe referenties:

Consortium-Kransmeer 2012
www.natuurmonumenten.nl

<p>Onderzoeksvraag: H8 Hoe verloopt de consolidatie en zetting van een met schone baggerspecie opgehoogd gebied op de zettingsgevoelige Markermeerbodem?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Veldexperiment</p>
<p>Antwoord Voor het veldexperiment Pilot Moeras is een moeras van 10 ha aangelegd in het Markermeer. Het moeras bestaat uit een open compartiment, een gesloten compartiment en 8 proefvakken, allen gevuld met Holoceen materiaal (slib) afkomstig van de bodem van het Markermeer. In de compartimenten en proefvakken zijn zakbakens geplaatst en is het maaiveld regelmatig opgemeten. In verschillende proefvakken zijn drains toegepast om consolidatie te bevorderen. Bij de beantwoording van de vraag wordt onderscheid gemaakt tussen consolidatie en zetting:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consolidatie betreft de consolidatie van het ophoogmateriaal; eventuele klink (uitdroging van de toplaag) wordt hierin meegenomen. - Zetting betreft de zetting van de oorspronkelijke bodem, die zal dalen als gevolg van het gewicht van het opgebrachte materiaal. <p>Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag is gebruik gemaakt van de monitoringsresultaten van het veldexperiment. Daarnaast zijn consolidatie berekeningen met behulp van een rekenmodel uitgevoerd om de te verwachten eindzetting in te kunnen schatten (Dankers et al, 2015).</p> <p><u>Consolidatie</u> Voor het consolidatie gedrag is naast de samenstelling en het gewicht van de vaste delen ook de consistentie van het materiaal sterk bepalend. In de pilot was er geen sprake van homogeen slib, maar van materiaal met een consistentie die grofweg vergelijkbaar is met yoghurt, waarbij ook klontjes van centimeters grootte aanwezig waren. Uit diverse literatuurbronnen blijkt dat het adequaat modelleren van dit type materiaal nog zeer lastig is. Uit de waarnemingen gedaan bij de pilot blijkt dat de consolidatie relatief snel gaat (Dankers et al, 2015). De droge, hoger gelegen delen consolideren het snelst, ongeveer 60 tot 100 cm in 2 jaar. De modelberekeningen geven een range aan van circa 55 tot 90 cm na 2 jaar, wat goed met de metingen overeen komt. De lage, onder water gelegen, delen binnen de compartimenten consolideren minder snel. Hier kan voornamelijk een getal aan worden toegekend omdat ook morfologische processen een rol spelen.</p> <p>Het consolidatieverloop wordt in sterke mate beïnvloed door de wijze van baggeren en de wijze van aanbrengen van het slib. Het baggeren en het transport bepaalt het watergehalte en de consistentie van het materiaal, d.w.z. of het klontig is of homogeen. Klontig slib consolideert aanzienlijk sneller dan homogeen slib. De wijze van deponeren heeft ook veel effect op de consolidatie, en dus op de zettingen en zettingsverschillen (Dankers et al, 2015). Het gaat hierbij om zaken als: het snel in één laag of geleidelijk deponeren, grootte van de valhoogte (onder water), de stroomsnelheden en het al dan niet verplaatsen van het stortpunt.</p> <p>Omdat een deel van de compartimenten relatief hoog en droog ligt zal klink (door uitdroging) optreden. De klink van hoger gelegen materiaal kan 10 tot 20 cm bedragen, afhankelijk van de mate van drooglegging. Er is hierbij structuurvorming zichtbaar, wat duidt op rijping. In Gebr. Van der Lee (2015) wordt hier nader op ingegaan.</p> <p>Uit de metingen van het sliboppervlak in de 8 proefvakken volgt dat het weinig materiaal het minst consolideert en het hydraulisch gebaggerde slib het meest (dit laatste blijkt overigens niet goed meetbaar).</p>

Mechanisch gebaggerd slib en klei geven een tussenliggende en vergelijkbare mate van consolidatie. Er is geen merkbaar effect van de aangebrachte drainage te bespeuren. Het materiaal uit het open compartiment (in vakken 1 t/m 3) en de klei (in vak 4) bereiken min of meer een eindconsolidatie na ongeveer 1 jaar, voor het venige materiaal in vak 5 is er vrijwel geen consolidatie.

De conclusie is dat consolidatie substantieel bijdraagt aan de gemeten maaiveldddaling in de compartimenten, maar dat de snelheid waarmee dit gebeurt variabel en onzeker is. Ook is de exacte mate van consolidatie in het open en gesloten compartiment lastig vast te stellen omdat hier ook zetting en morfologische processen een rol spelen. In de proefvakken was sprake van een beschermde omgeving en is de mate van consolidatie wel kwantitatief gemaakt (Dankers et al, 2015)

Zetting

Naast de consolidatie van het opgebrachte slib, is er duidelijke zetting van de Markermeerbodem waarneembaar onder het slib en onder de randen. Deze zetting is kleiner dan de consolidatie van de sliblaag. De zakbaakmetingen onder de ophooglaag en in de randen laten zien (Dankers et al, 2015) dat de zetting na 2 jaar (gemeten op 16 juli 2015) veelal 20 cm tot 40 cm bedraagt. In het open compartiment is de zetting iets lager i.v.m. de kleinere dikte van de ophooglaag. Deze zettingsmetingen komen qua grootte redelijk goed overeen met de berekeningen met het rekenmodel DSettle (24 cm na 4 jaar). De zetting bereikt naar verwachting 90% van zijn eindwaarde na 4 jaren, wat ook volgt uit DSettle, bij een juiste keuze van de consolidatie coëfficiënt Cv. Na 4 jaar is de zetting, die dan veroorzaakt wordt door kruip, veel kleiner. De zakbaakmetingen in de randen suggereren dat de hydrodynamische periode van de bodemzetting 2 tot 5 jaar duurt, en de gemeten zetting bedraagt 20 tot 40 cm (vanaf 25-9-2013). Volgens berekeningen met DSettle duurt de hydrodynamische periode 4 jaar, waarbij op dat moment de zetting 25 tot 28 cm bedraagt. In de DSettle berekeningen is gebruik gemaakt van kennis van de ondergrond uit een eerder project (Deltares 2009). Zeer lokaal is ten gevolge van heterogeniteit een grotere zetting mogelijk dan welke volgt uit het globale ondergrondmodel (Deltares 2009). De door BMNED uitgevoerde sonderingen (BMNED 2013) bevestigen echter dat de ondergrond ter plekke van de pilot over het algemeen weinig heterogeen is en dat daarmee variatie in zetting ter plaatse van de pilot, ten gevolge van variaties in ondergrond, niet verwacht hoeft te worden.

De resultaten van de analyse van de metingen en van de modellering voor zetting en consolidatie zijn in onderstaande tabel samengevat:

	<i>Zetting ondergrond</i>		<i>Consolidatie ophooglaag</i>		<i>Totaal</i>	
	<i>Na 2 jaar</i>	<i>90% eindsituatie</i>	<i>Na 2 jaar</i>	<i>90% eindsituatie</i>	<i>Na 2 jaar</i>	<i>90% eindsituatie</i>
<i>Randen</i>	<i>20 -40 cm (4)</i>	<i>3 jaren</i>	<i>N.v.t.</i>	<i>N.v.t.</i>	<i>20 – 40 cm</i>	<i>3 jaren</i>
<i>Gesloten compartiment</i>	<i>10 – 30 cm (4)</i>	<i>2 jaren</i>	<i>60 – 90 cm (2)</i>	<i>2 jaren</i>	<i>70 – 100 cm</i>	<i>2 jaren</i>
<i>Open compartiment</i>	<i>2 – 15 cm (4)</i>	<i>2 jaren</i>	<i>55 – 60 cm (1)</i>	<i>2 jaren</i>	<i>60 – 70 cm</i>	<i>2 jaren</i>
<i>Proefvakken</i>	<i>2 – 20 cm (4)</i>	<i>1 jaar</i>	<i>10 – 40 cm (3)</i>	<i>1 jaar</i>	<i>10 – 60 cm</i>	<i>1 jaar</i>

(5) Bovengrens voor consolidatie in open compartiment uit metingen

(6) Volgt uit maaiveldmeting van hoge droge delen, nagerekend met FSconbag

(7) Volgt uit metingen

(8) Afgeleid uit metingen en op basis van modellering ingeperkt tot range.

Voor het gesloten compartiment geldt dat voornamelijk naar de hoge delen is gekeken.

NMIJ Referenties:

BMNED (2013)
Gebr. Van der Lee (2015)
Dankers et al (2015)

Externe referenties:

Deltares (2009)

Onderzoeksvraag: H10

Gegeven de ecologische eisen aan hoogteligging (resultierend in 25% ongestoord water van ca. 4 meter diep, 35% ondiep water van ca. 1 meter diep, 30% plas/dras ca. 0 meter diep en 10% droog (gemiddeld 1 meter boven waterpeil) en maaiveldaling, wat is de meest wenselijke ophoogstrategie?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, veldexperiment

Antwoord:Bureaustudie

Om land-water overgangen en verschillende ecologische milieus te realiseren is het wenselijk om een variatie aan waterdieptes en daarnaast voldoende droog landareaal te hebben. Verschillende specifieke milieu omstandigheden die wenselijk zijn in het moeras zijn beschreven in het Integraal Tussenadvies NMIJ 2013. Dit betreft gebieden als: plas-dras, ondiep water, diep water, eiland, geulen en oevers (Knoben, 2014). Hiervoor is het wenselijk dat bij de aanleg van het moeras een zekere mate van reliëf gerealiseerd wordt, en/of ontstaat, in het aangebrachte grondmateriaal.

Reliëf en hoogteverschillen kunnen worden opgebouwd door middel van de gekozen aanlegmethode en variatie in type materiaal.

De hoogte van het opgebrachte materiaal binnen het moeras wordt ook beïnvloed door consolidatie van het materiaal en door zetting van de ondergrond. Dit draagt bij aan een wisselend reliëf wat de variëteit in waterdieptes en land-water overgangen vergroot (Maronier & Koenraadt, 2014). Dit is onder andere geobserveerd bij de aanleg van De Kreupel (Knoben, 2014).

Wat betreft de zetting van de Markermeerbodem onder het grote moeras: Met een stochastisch ondergrond-model kan geschat worden in welke segmenten van de waterbodem de zettingen het grootst zijn. Op de locatie en de schaal van de pilot varieert het type ondergrond relatief weinig. De berekeningen geven aan dat op bepaalde locaties (andere dan die van de pilot) zettingsverschillen kunnen optreden tot maximaal 1 meter over een afstand van 50 meter voor aanvullagen van ca. 5 m dik op een Markermeerbodem op ca. -4 m NAP (Deltares, 2009).

Veldexperiment

De achtergrond van deze vraag is dat het veldexperiment zou moeten aangeven welke aanlegmethodes het gewenste resultaat kunnen opleveren, qua diepteklassen voor het grote moeras, en qua zetting in de tijd. In de NMIJ Pilot Moeras is gewerkt met diverse aanlegmethodes (Dankers et al, 2015 en Rosenbrand et al, 2015). Het gebruik van verschillende aanlegmethodes heeft geleid tot variaties in hoogte.

- De geul in het open compartiment is een gevolg van het feit dat deze route tijdens de aanleg is gebruikt door schepen om sediment naar binnen te transporteren.
- Hogere delen in de compartimenten zijn ontstaan ten gevolge van het feit dat de transportband op verschillende locaties sediment heeft gelost. De loslocaties hebben de grootste hoogte. Van daaruit is uitvloeiing en segregatie opgetreden wat heeft geleid tot zeer flauwe hellingen.

Naast de aanlegmethode is het type toegepaste materiaal van belang voor het creëren van hoogte. Het toegepaste materiaal in het moeras had de consistentie van yoghurt met klontjes (slib en klei van de bodem van het Markermeer) (Dankers et al, 2015).

Het bleek niet mogelijk om echte hoogteverschillen te creëren met dit type materiaal, hooguit enkele decimeters over een afstand van 100 m. Variatie in consolidatie en zetting heeft ook slechts bijgedragen aan maximaal enkele decimeters verschil in hoogteligging in de compartimenten van de Pilot Moeras. In de proefvakken, waar sterk verschillende typen sediment zijn gebruikt, is wel meer variatie in consolidatie opgetreden, waarbij sterk weinig ophoogmateriaal de minste consolidatie vertoont (Dankers et al, 2015).

Het aanbrengen van een overhoogte (boven het waterniveau) kan de consolidatie versnellen, met name als deze gaat rijpen (Dankers et al, 2015). Ook wordt het sliboppervlak door rijping steviger en minder vatbaar voor afslag. In (Van der Lee, 2015) is een beschouwing t.a.v. de te hanteren overhoogten gegeven, het type aanvulmateriaal en de te realiseren eindhoogte.

Bij het experiment Marker Kwelderwerken (Wielakker et al., 2014) zijn rijshouten dammen gebruikt om slib vast te houden. Deze rijshouten dammen kunnen in een moeras als interne randen worden gebruikt om binnen compartimenten beperkte hoogteverschillen te laten ontstaan.

Samenvattend

Om bij aanleg voldoende reliëf te creëren is het noodzakelijk om ophoogmateriaal te gebruiken met een grotere consistentie, zodat bij aanleg het gewenste reliëf reeds goeddeels kan worden aangebracht en het ontstaan hiervan niet geheel aan het toeval wordt overgelaten. Als er toch met slapper materiaal moet worden gewerkt is het advies om gefaseerd op te hogen. Wanneer consolidatie en rijping het materiaal hebben verstevigd is dit een betere ondergrond voor extra te deponeren slib. Indien op grotere schaal gewerkt gaat worden kunnen, mede afhankelijk van de locatie, verschillen in zetting van de waterbodem gaan optreden die significant zijn voor het bereiken van de gewenste diepteklassen. Als er gevarieerd wordt met het type ophoogmateriaal treden er ook substantiële verschillen in zetting op, welke bijdragen aan extra reliëfvorming.

In plaats van te kiezen voor het initieel aanbrengen van reliëf en hier veel energie en tijd in te stoppen, kan er ook voor worden gekozen om de variatie in hoogte en diepte niet te zoeken binnen de verschillende compartimenten/modules van een grootschalig moeras maar juist in de gebieden tussen deze compartimenten/modules en langs de randen.

NMIJ Referenties:

Dankers et al (2015)
Gebr. Van der Lee (2015)
Knoben (2014):
Rosenbrand et al (2015)
Wielakker,D et al (2015)

Externe referenties:

Deltares, (2009)
Maronier (2014)

Onderzoeksvraag: H11

Welke aanlegmethode is aan te bevelen om moerasvorming mogelijk te maken na afloop van de Pilot Moeras? Dit geschiedt onder andere aan de hand van de resultaten zoals die in het project 'IJsselmonding' (Vastleggen van slib in vooraf aangelegde constructies) en Gooi-Eemmeer verkregen worden en op basis van de resultaten van de Pilot Moeras (gebruik maken van windgedreven hydrodynamische processen). Denk ook aan "moerasaanwinningswerken" (innovatieopties bouw).

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, veldexperiment

Antwoord:Bureaustudie

In het project IJsselmonding zijn slibeilanden aangelegd waarbij aan de geëxponeerde zijde harde randen zijn gebruikt. Aan de luwe zijde is gebruik gemaakt van zand om het slib in te sluiten. In een latere fase is op sommige locaties spontaan een opening ontstaan aan de luwe zijde. Hierdoor is een meer natuurlijke situatie ontstaan waarbij een overgang aanwezig is van hogere droge delen naar lagere natte delen. (Buskens et al, 2012)

Veldexperimenten

In de Pilot Moeras is gebruik gemaakt van geocontainers en geotubes als rand. Daarbinnen is materiaal met verschillende technieken aangebracht. De eerste laag ophoogmateriaal is aangebracht via het klappen vanuit schepen. Na enige tijd was een hoogte bereikt waardoor schepen het moeras niet meer in konden varen. Vervolgens is gebruik gemaakt van een lopende band waarmee vanaf een schip buiten de rand van het moeras materiaal is ingebracht. In de laatste fase is ook materiaal met een kraan vanaf buiten de rand in het moeras gebracht. Deze combinatie van aanlegmethodes heeft geleid tot enige variatie in hoogte (Dankers et al, 2015)

Uit de consolidatie en zetting proeven in de pilot is gebleken dat op de kleine schaal van de pilot geen grote verschillen in consolidatie en zetting optreden en daarmee ook geen grote variaties in hoogte ontstaan. Bij de aanleg van een grootschalig moeras kan wel gezocht worden naar locaties waarbij variatie in de ondergrond gaat zorgen voor meer variatie in zetting en daarmee in uiteindelijke hoogteligging (Dankers et al, 2015). Ook het toepassen van verschillende ophoogmaterialen (klei en slib versus veen) geeft variatie in hoogte (Dankers et al, 2015).

Hydrodynamische processen hebben in de pilot alleen langs de rand geleid tot grote veranderingen in maaiveldhoogte. Hier is ten gevolge van golven een grote erosie laagte ontstaan. Het overige maaiveld is niet sterk veranderd ten gevolge van hydrodynamische processen. De maaiveld daling is vooral een gevolg te zijn van consolidatie en zetting (Dankers et al., 2015).

Een deel van de pilot was boven water aangelegd. In dit gedeelte heeft snel rijping van de bovenlaag plaatsgevonden. De bodem is hierdoor steviger geworden en beter bestand tegen erosie. Ook is op deze locaties uitgebreide pionierbegroeiing ontstaan (Dankers et al, 2015).

Verschillende experimenten elders hebben aangetoond dat een moeras ook kan groeien i.p.v. aangelegd te worden. Bijvoorbeeld, door gebruik te maken van rijshouten dammen kan slib worden ingevangen en vastgehouden, zoals in de Marker Kwelderwerken is aangetoond (Wielakker et al., 2014). Ook kan een meer innovatieve techniek worden gebruikt zoals het aanleggen van drijvende eilanden (Didderen et al., 2014).

NMIJ Referenties:

Buskens et al (2012)
Didderen et al (2014)
Wielakker et al., 2014.

Onderzoeksvraag: H12

Welke aanlegmethodes kunnen het best gekozen worden voor het aanbrengen van de baggerspecie, het insluiten van de specie (compartimenteringsdammen, en/of metalen damwanden, en/of geotubes, geocontainers, geobags; andere oplossingen/) en het versnellen van consolidatie?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, veldexperiment

AntwoordBureaustudie

In Gebr. van der Lee (2015) zijn diverse aanlegmethoden voor de randen en voor de (correctieve) ophoging beschreven en geanalyseerd. Het betreft zowel redelijk standaard alternatieven als stalen en houten damwanden en zandige en stortstenen randen als meer onconventionele oplossingen als afgezonken treinwagons. Randen zijn weliswaar nodig om specie in te sluiten maar er moeten wel mogelijkheden zijn om water te verversen en vispassage mogelijk te maken (openingen in de buitenrand) (Van Herpen *et al*, 2015).

Een moeras kan een buitenrand van zand hebben. Om dit zand stabiel te houden kunnen dan palenrijen in het zand worden geplaatst met een tussenafstand van 100 m. Aan de zijden met de hoogste golfbelasting wordt in dat geval ook een breuksteen bekleding ter bescherming van de buitenrand aangebracht (Fiselier & Ebbens, 2012).

Veldexperiment

De aanleg van de NMIJ Pilot Moeras was een try-out van diverse aanlegmethodes (Rosenbrand *et al*, 2015). In de pilot is het slib (Holocene toplaag van bodem van Markermeer) aangebracht met behulp van onderlossen, met een transportband, en met de inzet van een kraan vanaf een ponton om het slib te verplaatsen. Op de schaal van de pilot heeft dit redelijk gewerkt (Dankers *et al*, 2015). Bij een groter moeras of grotere compartimenten zal het lastig worden om slib met transportbanden ver genoeg het gebied in te krijgen. Uiteindelijk zal het materiaal bij gebruik van transportbanden zich wel door het gehele gebied verspreiden maar het is de verwachting dat in dat geval het gebied bij de randen het hoogst ligt en het middelpunt van het compartiment/module het laagst.

Bij gebruik van opvulmateriaal met weinig consistentie, zoals toegepast in de pilot, zal het materiaal moeten worden ingesloten met een rand. In de pilot is gekozen voor een smalle harde rand bestaande uit geocontainers met daarop geotubes en een steenbestorting als toplaag. Deze rand was zwaar en zette zich flink, waardoor er aanvullende bestortingen nodig waren. Ook de geocontainers en geotubes verloren zelf aan vorm waardoor hoogteverlies van de rand optrad (Dankers *et al*, 2015).

Indien er met slib met een soortgelijke consistentie en samenstelling als in de pilot wordt gewerkt, zal naar verwachting de consolidatie en zetting vrij snel kunnen optreden (in enkele jaren, afhankelijk van de dikte en de ondergrond). Echter weinig materiaal, dat hier en daar in het Markermeer voorkomt, zal zich veel minder zetten, wat volgt uit de waarnemingen in het betreffende proefvak in de pilot (Dankers *et al.*, 2015)

In de pilot hebben de drains in de proefvakken, welke tot doel hadden de consolidatie te versnellen, niet goed gewerkt; mogelijk zijn deze beschadigd geraakt of te snel dichtgeslibd. Bij zettingssnelheden zoals nu gemeten zijn drains ook niet echt nodig.

De ervaringen met de pilot kunnen worden veralgemeniseerd voor als er voor een groot deel onder water snel wordt opgehoogd met een dikke laag slap slib. Er kunnen dan nauwelijks hellingen worden gecreëerd (hooguit enkele decimeters over 100 meter). Bij hydraulisch baggeren is het slib nog waterrijker dan in de compartimenten van de pilot. Als steeds op hetzelfde punt wordt gelost kan de zandfractie, als het watergehalte hoog is, segregeren. Het zand komt het dichtst bij het lospunt terecht, terwijl de rest van het slib zich wel over grotere afstanden verspreidt. Als opwerveling en verspreiding van het aangebrachte slib ongewenst is, moet deze worden beschermd met een rand. Door al dan niet tijdelijk te compartimenteren kunnen er hoogteverschillen worden gecreëerd. Als het materiaal vervolgens is gerijpt en geconsolideerd, kunnen delen van de scheidingswanden worden verwijderd (Dankers *et al*, 2015 en Rosenbrand *et al.*, 2015)).

NMIJ Referenties:

Dankers *et al* (2015)
Gebr. van der Lee (2015)
Van Herpen *et al* (2015)

Rosenbrand et al (2015)

Externe referenties:

Fiselier & Ebbens (2012)

Onderzoeksvraag: H19

Wat zijn de realisatiekosten van het aanleggen van een grootschalig moeras van 5.000 ha?

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

De kosten voor een grootschalig moeras van ca. 5.000 ha zijn ontleend aan diverse studies en projecten en liggen naar verwachting tussen € 700 mln. en € 1.300 mln. Zie onderstaande tabel met investeringskosten en prijs per ha.

Investeringskosten grootschalig moeras

Grootschalig Moeras 5.000 ha	Investeringskosten	Prijs per ha
Bron: raming WMIJ	€ 800 M€	€ 160 K€
Bron: raming Marker Wadden	€ 700 M€	€ 140 K€
Bron: raming Moeraseiland Markermeer	€ 1.300 M€	€ 260 K€
Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca.25%		

De bandbreedte in de kosten wordt veroorzaakt door de verschillende gehanteerde uitgangspunten.

De raming van de WMIJ ('Naar een toekomstbestendig ecologisch systeem', 2012) is gebaseerd op een moeras met een buitenrand opgebouwd uit geotubes, gevuld met lokaal gewonnen slib en aan de buitenzijde afgewerkt met stortsteen. Het moeras wordt mechanisch gevuld met slib afkomstig uit andere werken. De kosten waren geraamd voor een moeras van 4.500 ha en zijn omgerekend naar een moeras met een omvang van 5.000 ha.

Voor de raming van Marker Wadden is gebruik gemaakt van de inschrijving door de aannemer voor de eerste fase van het project. Het omvat het aanleggen van een buitenrand, deels van geheel zand en deels verdedigd door een met breuksteen beklede rand. Daarachter wordt een moeras in compartimenten aangelegd met lokaal gewonnen holoceen materiaal. De aanleg van de rand en het vullen van het binnengebied vindt voornamelijk hydraulisch plaats. De eerste fase omvat nog geen 10% van het totale oppervlak van 5.000 ha, de kosten zijn daarom geëxtrapoleerd. Wel is daarbij een correctie toegepast van 10% in verband met de schaalgrootte en een aangepaste verhouding buitenrand versus moeras: naar verwachting neemt de lengte van de buitenrand minder snel toe dan de omvang van het moeras.

De aannemer van het project Pilot Moeras heeft op basis van zijn ervaringen met de pilot een kostenraming opgesteld voor een grootschalig moeraseiland in het Markermeer van 5.000 ha. In deze raming is een buitenrand opgenomen bestaande uit geocontainers en geotubes gevuld met zand en aan de buitenzijde verdedigd met stortsteen op een kraagstuk. Het moeras wordt gevuld met mechanisch gewonnen slib / klei, vervoerd over een afstand van maximaal 30 km en ook mechanisch verwerkt in het moeras.

In geen van de ramingen zijn domeinvergoedingen opgenomen.

NMIJ Referenties:

WMIJ (2012)

Rosenbrand et al. (2015)
Van Tiggelen (2015)

Onderzoeksvraag: H20

Wat zijn de kosten voor beheer- en onderhoud van een grootschalig moeras van 5000 ha?

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

De beheer en onderhoudskosten van een grootschalig moeras worden geraamd op € 0,5 mln. en € 2,7 mln. per jaar.

Kosten beheer en onderhoud grootschalig moeras per jaar

Beheer en onderhoudskosten bij 5.000 ha	Jaarlijks gemiddelde	Per ha
Bron: raming WMIJ	€ 555 K€	€ 110
Bron: raming Marker Wadden	€ 1.175 K€	€ 235
Bron: raming Moeraseiland Markermeer	€ 2.720 K€	€ 540
Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca.25%		

De jaarlijkse bedragen zijn ontleend aan de kostenramingen zoals deze door diverse partijen zijn opgesteld, zie onderzoeksvraag H19.

Bij de WMIJ raming is voornamelijk gerekend met inspecties en vegetatiebeheer, gebaseerd op een kengetal van Staatsbosbeheer. Er is gerekend met een normbedrag van € 340,- per ha per jaar voor het deel wat boven de waterlijn uitkomt (ca. 1.500 ha). Omgerekend voor een moeras van 5.000 ha bedragen de kosten per ha dan ca. € 110,-. In het bedrag is geen onderhoud aan de buitenrand voorzien. Geconcludeerd kan dus worden dat de totale onderhoudskosten te laag zijn begroot aangezien er zeker onderhoud aan de rand nodig zal zijn, bijvoorbeeld herstel stortsteenbekleding door storm en zetting en onderhoud wilgenopslag.

In de kostenraming van Marker Wadden is gerekend met inspecties, vegetatiebeheer (riet en voorkomen van wilgenopslag) en zandsuppletie ten behoeve van de buitenrand. De raming is ontleend aan de inschrijving en aanvullende informatie over het project en vervolgens omgerekend naar een moeras van 5.000 ha.

De beheer- en onderhoudskosten welke gebaseerd zijn op de ervaringen van de aannemer van Pilot Moeras omvatten naast maandelijkse inspecties en onderhoud aan de buitenrand ook het onderhoud aan het moeras (herstel als gevolg van zettingen en uitspoeling).

NMIJ Referenties:

WMIJ (2012)

Rosenbrand (2015)

Van Tiggelen (2015)

Onderzoeksvraag: H21 Wie draagt zorg voor het beheer van het moeras na overdracht?
Onderzoeksmiddelen:
Antwoord: Het beheer van de Pilot Moeras na 2015 zal worden gevoerd door het District IJsselmeergebied, onderdeel van RWS Midden Nederland. Het zal vooral een technisch beheer betreffen, gericht op de instandhouding van de aangelegde structuren ter voorkoming van negatieve gevolgen voor andere aan het gebied toegewezen functies en beheer ten behoeve van het borgen van de veiligheid.
NMIJ Referenties:

Onderzoeksvraag: V2 Op welke manier kunnen de ecologische verbindingen gerealiseerd worden en aan welke functionele eisen (technische specificatie) moeten ze voldoen?
Onderzoeksmiddel: Bureaustudie
Antwoord: Het type ecologische verbinding hangt af van de soorten en het type natuur waarvoor de verbinding wordt aangelegd of versterkt. Te denken valt aan verbindingen voor vissen, luwtestructuren en vooroevers voor vogels. <i>Vismigratie maatregelen</i> Vissen gebruiken de spuikokers van de sluisen om te migreren tussen het Markermeer en het IJsselmeer wanneer deze open staan. Aangepast spui- en schutbeheer, evenals de aanleg van technische maatregelen (bijv. conventionele vispassages, of innovatieve oplossingen zoals een passage met wisselbekken of een vismigratierivier) kunnen vismigratie bevorderen. Door aanpassingen in het sluis- en schutbeheer kunnen grotere groepen vissen sluisen passeren. De bedoeling is dat de spuisluisen in de Houtribdijk volledig geautomatiseerd worden in de toekomst. Hierbij kan visvriendelijk spuien geprogrammeerd worden. Het zo lang mogelijk openhouden van spuisluisen vergt geen extra handelingen en leidt ook niet tot een toename van het energieverbruik. Het (langer) open laten staan van de sluisen bij (nagenoeg) gelijk peil is ook effectief gebleken bij de zeesluis Muiden (Knoben 2014). Ook het langer open laten staan van de schutsluisen bij ongelijk peil leidt niet tot extra handelingen of energieverbruik. Dit geeft vis meer tijd om tegen de stroom in te zwemmen, waardoor meer vis de sluisen kan passeren. Het langer open houden van spui- of schutsluisen kan daarom als kosteneffectieve maatregel worden gezien. Extra schutten met een schutsluis voor het bevorderen van vismigratie, naast het schutten voor de scheepvaart, vereist echter een extra handeling en hiervoor zijn aanpassingen en is mogelijk extra capaciteit benodigd. Tevens is deze optie energie-intensief waardoor dit een duurdere variant is. Bij een klein verval zouden sluisdeuren of spuideuren op een kier gezet kunnen worden. Dit leidt weliswaar tot extra handelingen en mogelijk is extra capaciteit benodigd, echter dit kost geen extra energie. Vispassages worden aangelegd in de spuikoker of in een aparte leiding; door de inrichting van de passage stroomt het water hierin langzamer. Daardoor kunnen vissen zelfs bij een groter verval in beide richtingen passeren (van Herpen 2010). Naast gemalen zijn er ook vaak inlaatconstructies aanwezig tussen Markermeer en achterland.

Deze constructies zijn te vergelijken met sluizen die in tijde van watertekorten in de polder geopend kunnen worden om water uit het Markermeer gecontroleerd in te laten. Het vispasseerbaar maken van de inlaten kan variëren van het anders inregelen van de inlaatconstructies (openen – afsluiten) tot het aanbrengen van een vispassage (bijv. van het type vertical slot) in of naast het inlaatwerk.

Het vispasseerbaar maken van gemalen is eenrichtingsverkeer en is er vooral op gericht om de mortaliteit te verkleinen. Dat kan worden gedaan door te voorkomen dat vissen het gemaal in komen (in dat geval geen vispassage) of door het gemaal aan te passen waardoor vissterfte omlaag gaat, bijvoorbeeld door:

- het aanpassen van schoepen;
- het verlagen van de rotatiesnelheid;
- door een alternatieve route aan te bieden om het gemaal heen (bijvoorbeeld met een hevelpassage, een De Wit Sluispassage etc.).

Luwtestructuren

Voor vogels die binnendijks fourageren en die op het water slapen, is luwte van belang. De aanleg van luwtestructuren nabij de kust kan hieraan bijdragen. Om voldoende golfuwte te creëren dient de golfbreker boven het wateroppervlak uit te steken (Vijverberg et al. 2013). Hiermee vermindert echter wel de ruimtelijke kwaliteit (RRAAM 2012). Een starre constructie neemt de golfenergie het effectiefste op (Vijverberg et al. 2013).

Maatregelen opgebouwd uit natuurlijk materiaal verdienen de voorkeur (RRAAM 2012). Een rif van GC-haakjes vervaardigd uit bio-composiet bleek in een proef niet voldoende stabiel te zijn. Dit rif werd in de proef niet blootgesteld aan ijsgang, en deze structuur zou gezien de ervaringen bij normale condities deze belasting zeer waarschijnlijk niet kunnen weerstaan.

Grootschalige luwtedammen bestaande uit zand, uit zand bekleed met breuksteen, uit Geotubes bekleed met breuksteen, of enkel uit breuksteen, zijn beschouwd in ontwerpen en/of pilot proeven in het kader van NMIJ (Klinge 2012; Kollen & Jaspers 2012; Blokland 2013; Mols 2006; Maronier & Koenraadt 2014). Geotubes worden in principe gevuld met zand, maar kunnen mogelijk gevuld worden met slib (Mols 2006); de geschiktheid van gebaggerd slib als vulling voor de Geotubes van ten Cate wordt door de fabrikant echter betwijfeld. Indien vulling van Geotubes met slib opportuun is (om wat voor reden dan ook), dan is hiervoor meer onderzoek nodig.

Luwtedammen bestaande uit zand dienen flauwe taluds te hebben (orde 1:20). Hierdoor is een aanzienlijk grotere hoeveelheid materiaal nodig dan voor dammen met breuksteen bekleding. Breuksteen bekleding beschermt tevens tegen erosie waardoor minder (of in de praktijk nauwelijks) materiaalaanvulling nodig is in vergelijking met zanddammen. Een grovere sortering breuksteen is nodig op het deel van de structuur rond het gemiddelde waterpeil en daarboven, dit is het deel dat blootgesteld is aan golf en ijs belasting. Op een diepte groter dan ca. 1,5 m kan fijnere breuksteen toegepast worden (Blokland 2013). Grovere sortering breuksteen kan niet direct op geotextiel of Geotubes geplaatst worden, hiervoor moet een tussenlaag met een fijnere gradering geplaatst worden die het geotextiel of de Geotubes beschermt (Blokland 2013). Deze fijnere laag mag niet door de grovere laag heen worden uitgespoeld en moet dus voldoen aan de geldende filterregels.

De opbouw van de ondergrond beïnvloedt de stabiliteit en zetting van de structuren. Op een zandige ondergrond, zoals bij Enkhuizerzand, kunnen dammen bestaande uit Geotubes met en breuksteen bekleding, of breuksteen dammen onder een steiler talud aangelegd worden en zijn daar beter toepasbaar dan op locaties zoals het Hoornse Hop en de locatie van de Pilot Moeras waar de ondergrond uit een dik pakket slappe lagen bestaat.

Vooroevers

Voor land- moerassoorten zijn de aanwezigheid van een gevarieerde inrichting van water, plas-dras situaties, en land-water overgangen van belang. Deze kunnen worden gerealiseerd met de aanleg van vooroevers of oeverdijken, of met de aanleg van een moeras in de nabijheid van de kust.

De vooroevers bestaan uit verschillende elementen:

- een golfbreker die zorgt voor golfluwte en stromingsluwte (bij voorkeur bestaand uit natuurlijk materiaal);
- een luwe zone met helder ondiep water tussen de golfbreker en het land;
- begroeide land-water overgangen met flauwe oevers (Knoben & Buskens 2013; Sas 2007).

Van belang is dat de golfbreker aan de buitenzijde van de vooroever voldoende robuust en hoog is om een golfluwe zone met helder water te creëren (Sas 2007). Voor de vormgeving en uitvoering van verschillende typen golfbrekers wordt verwezen naar de boven beschreven luwtestructuren. De afstand tussen de golfbreker en de huidige oever dient beperkt te zijn om voldoende golfluwte tussen de oever en de structuur te creëren (Vijverberg et al. 2013).

De golfbreker kan tevens de instroom van slibrijk water tegen gaan, hiertoe moet deze wel een geschikte oriëntatie ten opzichte van de overheersende windrichting en de bestaande oever hebben (BVan Herpen et al., 2015).

Om eutrofiëring van het water in de vooroever te voorkomen dienen voldoende openingen in de golfbreker aanwezig te zijn, net als de openingen in de externe rand van een grootschalig moeras. Verdiepingen op de locaties van de openingen in de golfbreker kunnen de instroom van slib door openingen verminderen Van Herpen *et al.*, 2015).

Onderzoeksvraag: V5

Wat zijn de realisatiekosten van ecologische verbindingen

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

De kosten variëren van € 5.000 tot miljoenen euro's, en zijn dus sterk afhankelijk van het type verbinding of maatregel, bijvoorbeeld variërend van het aanpassen van het schutregime bij een sluis tot de aanleg van een vispassage door een waterkering, of aanleg van een vooroever.

Dit antwoord is ook van toepassing op **onderzoeksvraag V11**.

Zie onderstaande tabel van mogelijke maatregelen welke rondom het Markermeer spelen.

Tabel V5-1: realisatiekosten ecologische verbindingen.

Locatie	Maatregel	Kosten
Oranjesluizen	Optimaliseren vispassages Oranjesluizen	€ 50 - 100 k
Houtribdijk	Visvriendelijk beheer schutsluizen	€ 50 - 100 k
	Aanleg vispassage Houtribdijk in sluizen	€ 100 – 500 k
Wortman	Vis passeerbaar maken inlaat	€ 1000 – 2000 k
Blocq van Kuffeler	Vis passeerbaar maken inlaat	€ 1000 – 2000 k
Diemerdamsluis	Aangepast sluisbeheer + voorziening	< 50 k
Ipenslotersluis	Aangepast sluisbeheer + voorziening	€ 50 - 100 k
inlaat Steenen Beer	Vis passeerbaar maken inlaat	€ 50 - 100 k
Zeesluis Muiden	Aangepast sluisbeheer	< 50 k
gemaal de Poel - Monnickendam	Gemaalpassage + visinlaat	€ 500 – 1000 k
Grafelijkheidssluis+inlaat	Aangepast sluisbeheer / aanpassing inlaat	€ 100 – 500 k
gemaal Warder	Gemaalpassage + visinlaat	€ 500 – 1000 k

Inlaat Lutjeschardam	Aangepast sluisbeheer, aanpassen inlaat, i.c.m. Noordersluis Schardam	€ 100 – 500 k
inlaat Schardam	Aangepast sluisbeheer, aanpassen inlaat, i.c.m. Noordersluis Schardam	€ 100 – 500 k
Gemaal Westerkogge	Gemaalpassage + visinlaat	€ 500 – 1000 k
Gemaal De Drieban	Gemaalpassage + visinlaat	€ 500 – 1000 k
Lepelaarsplassen – 1000 ha	Vooroever van klei/slib en zand met golfbreker 5 km	€ 256 mln
Lepelaarsplassen – 300 ha	Vooroever van klei/slib en zand met golfbreker, 1,5 km	€ 84 mln
Noord Hollandse Kust	Oeverdijk – 1 km, zandig profiel met golfbreker	€ 2,5 – 5,5 mln
Houtribdijk – tussen Enkhuizen / Trintelhaven	Oeverdijk – 1 km, zandig profiel met golfbreker	Nihil
<i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i>		

Bij de kosten van de vooroever en oeverdijk zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Vooroever Lepelaarsplassen: klei en slib worden hydraulisch gewonnen op 5 km afstand in het Markermeer en naar de locatie van de vooroever getransporteerd via een onderwater persleiding. De kern van de golfbreker/vooroeverdam bestaat uit zand, ook gewonnen uit het Markermeer, onder de kleiïge deklaag. Voor deze bouwstoffen is niet gerekend met domeinvergoeding. De golfbreker wordt afgedekt met te leveren breuksteen op doek. De lengte van de golfbreker is 5 km (1000 ha) en 1,5 km (300 ha). De breedte van de vooroever is 2 km.
- Oeverdijken: een groot deel van de kosten van de oeverdijk zijn primair ten behoeve van de waterveiligheid. Bij de Noord-Hollandse kust is gerekend met aanleg van een vooroeverdam om een ecologische oeverdijk te creëren (in de basis zijn alleen strekdammen voorzien). Bij de oeverdijk van de Houtribdijk zijn de kosten nihil, want ze zijn volledig nodig voor versterken van de waterkering.

Onderzoeksvraag: V6

Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van ecologische verbindingen

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

De kosten variëren van € 5.000 per jaar (elektriciteitskosten voor ander schutregime) tot aan € 1 mln per jaar (beheer van een grote vooroever van 1000 ha), en zijn dus zeer sterk afhankelijk van de grootte en type van de ecologische verbinding / maatregel.

Dit antwoord is ook van toepassing op **onderzoeksvraag V12**.

Onderhoud aan vispassages kunnen tot € 50.000,- per jaar bedragen. Ook hier is het onderhoud afhankelijk van de situatie (bijvoorbeeld als een passage gecombineerd is met een andere functie, is het beheer en onderhoud voordeliger dan als solitaire maatregel).

Het beheer en onderhoud van de vooroevers bestaat uit jaarlijkse inspecties, het onderhoud aan begroeiing, 1 x per jaar, en het bijwerken van de breuksteen in de golfbreker, gerekend met 1 x per 10 jaar en 20% van het oppervlak. Voor het land/water gebied bij de Lepelaarsplassen is het tarief gehanteerd uit het Normenboek Natuur, Bos en Landschap 2014 van Alterra, onderdeel: 5.1 moeras en dit betreffen jaarlijkse kosten.

Het onderhoud bij de oeverdijken bestaat vooral uit maaiwerkzaamheden van vegetatie boven de waterlijn en onderhoud aan de golfbreker (met gelijk onderhoudsregime als bij de vooroever). Er is niet gerekend met inspecties, deze vinden plaats in het kader van in stand houden van de waterkering.

De kosten voor het jaarlijkse onderhoud is hieronder weergegeven, wederom voor het areaal, per m² en per strekkende m van de vooroever.

Tabel V6-1: Beheer en onderhoudskosten van vooroevers en oeverdijken per jaar

Beheer en onderhoud	Kosten per jaar	per m ²	per m
Vooroever 1000 ha	€ 1.050.200	€ 0,10	€ 210
Vooroever 300 ha	€ 310.000	€ 0,10	€ 210
Noord Holland – 1 km	€ 24.000	€ 0,17	€ 24
Houtribdijk – 1 km	€ 8.000	€ 0,20	€ 8

Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%

Onderzoeksvraag: V11

Wat zijn de realisatiekosten van verbindingen binnen- buitendijks (eenheidskosten)?

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

Verbindingen binnen-buitendijks vallen onder ecologische verbindingen en zijn ook van toepassing op **onderzoeksvraag V5**.

De kosten variëren van € 5.000 tot miljoenen euro's, en zijn dus sterk afhankelijk van het type verbinding of maatregel, bijvoorbeeld variërend van het aanpassen van het schutregime bij een sluis tot de aanleg van een vispassage door een waterkering, of aanleg van een vooroever.

Zie onderstaande tabel van mogelijke maatregelen welke rondom het Markermeer spelen.

Tabel V11-1: realisatiekosten ecologische verbindingen.

Locatie	Maatregel	Kosten
Oranjesluizen	Optimaliseren vispassages Oranjesluizen	€ 50 - 100 k
Houtribdijk	Visvriendelijk beheer schutsluizen	€ 50 - 100 k
	Aanleg vispassage Houtribdijk in sluisen	€ 100 – 500 k
Wortman	Vis passeerbaar maken inlaat	€ 1000 – 2000 k
Blocq van Kuffeler	Vis passeerbaar maken inlaat	€ 1000 – 2000 k
Diemerdamsluis	Aangepast sluisbeheer + voorziening	< 50 k
Ipenslotersluis	Aangepast sluisbeheer + voorziening	€ 50 - 100 k
inlaat Steenen Beer	Vis passeerbaar maken inlaat	€ 50 - 100 k
Zeesluis Muiden	Aangepast sluisbeheer	< 50 k
gemaal de Poel - Monnickendam	Gemaalpassage + visinlaat	€ 500 – 1000 k
Grafelijkheidssluis+inlaat	Aangepast sluisbeheer / aanpassing inlaat	€ 100 – 500 k
gemaal Warder	Gemaalpassage + visinlaat	€ 500 – 1000 k
Inlaat Lutjeschardam	Aangepast sluisbeheer, aanpassen inlaat, i.c.m. Noordersluis Schardam	€ 100 – 500 k
inlaat Schardam	Aangepast sluisbeheer, aanpassen inlaat, i.c.m. Noordersluis Schardam	€ 100 – 500 k
Gemaal Westerkogge	Gemaalpassage + visinlaat	€ 500 – 1000 k
Gemaal De Drieban	Gemaalpassage + visinlaat	€ 256 mln

Lepelaarsplassen – 1000 ha	Vooroever van klei/slib en zand met golfbreker, 5 km	€ 84 mln
Lepelaarsplassen – 300 ha	Vooroever van klei/slib en zand met golfbreker, 1,5 km	€ 2,5 – 5,5 mln
Noord Hollandse Kust	Oeverdijk – 1 km, zandig profiel met golfbreker	Nihil
Houtribdijk – tussen Enkhuizen / Trintelhaven	Oeverdijk – 1 km, zandig profiel met golfbreker	€ 100 k – € 500 k
<i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i>		

Bij de kosten van de vooroever en oeverdijk zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Vooroever Lepelaarsplassen: klei en slib worden hydraulisch gewonnen op 5 km afstand in het Markermeer en naar de locatie van de vooroever getransporteerd via een onderwater persleiding. De kern van de golfbreker/vooroeverdam bestaat uit zand, ook gewonnen uit het Markermeer, onder de kleiïge deklaag. Voor deze bouwstoffen is niet gerekend met domeinvergoeding. De golfbreker wordt afgedekt met te leveren breuksteen op doek. De lengte van de golfbreker is 5 km (1000 ha) en 1,5 km (300 ha). De breedte van de vooroever is 2 km.
- Oeverdijken: een groot deel van de kosten van de oeverdijk zijn primair ten behoeve van de waterveiligheid. Bij de Noord-Hollandse kust is gerekend met aanleg van een vooroeverdam om een ecologische oeverdijk te creëren (in de basis zijn alleen strekdammen voorzien). Bij de oeverdijk van de Houtribdijk zijn de kosten nihil, want ze zijn volledig nodig voor versterken van de waterkering.

Onderzoeksvraag: V12

Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van verbindingen binnen- buitendijks (eenheidskosten)?

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

Verbindingen binnen-buitendijks vallen onder ecologische verbindingen en is ook van toepassing op **onderzoeksvraag V6**.

De beheer- en onderhoudskosten variëren van € 5.000 per jaar (elektriciteitskosten voor ander schutregime) tot aan € 1 mln per jaar (beheer van een grote vooroever van 1000 ha), en zijn dus zeer sterk afhankelijk van de grootte en type van de ecologische verbinding / maatregel.

Onderhoud aan vispassages kunnen tot € 50.000,- per jaar bedragen. Ook hier is het onderhoud afhankelijk van de situatie (bijvoorbeeld als een passage gecombineerd is met een andere functie, is het beheer en onderhoud voordeliger dan als solitaire maatregel).

Het beheer en onderhoud van de vooroevers bestaat uit jaarlijkse inspecties, het onderhoud aan begroeiing, 1 x per jaar, en het bijwerken van de breuksteen in de golfbreker, gerekend met 1 x per 10 jaar en 20% van het oppervlak. Voor het land/water gebied bij de Lepelaarsplassen is het tarief gehanteerd uit het Normenboek Natuur, Bos en Landschap 2014 van Alterra, onderdeel: 5.1 moeras en dit betreffen jaarlijkse kosten.

Het onderhoud bij de oeverdijken bestaat vooral uit maaiwerkzaamheden van vegetatie boven de waterlijn en onderhoud aan de golfbreker (met gelijk onderhoudsregime als bij de vooroever). Er is niet gerekend met inspecties, deze vinden plaats in het kader van in stand houden van de waterkering.

De kosten voor het jaarlijkse onderhoud is hieronder weergegeven, wederom voor het areaal, per m² en per strekkende m van de vooroever.

Tabel V12-1: Beheer en onderhoudskosten van vooroevers en oeverdijken per jaar

Beheer en onderhoud	Kosten per jaar	per m ²	per m
Vooroever 1000 ha	€ 1.050.200	€ 0,10	€ 210
Vooroever 300 ha	€ 310.000	€ 0,10	€ 210
Noord Holland – 1 km	€ 24.000	€ 0,17	€ 24
Houtribdijk – 1 km	€ 8.000	€ 0,20	€ 8
<i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i>			

Onderzoeksvraag: V14

Is een open verbinding technisch mogelijk? (veiligheidsaspecten + no-regret gehalte in relatie tot toekomstige waterhuishouding (peilstijging))

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie en expertsessies

Antwoord:

Een (semi-)open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer kan op verschillende wijzen worden uitgevoerd. Binnen het onderzoeksprogramma zijn 3 varianten in beschouwing genomen:

- 1) Grootschalige niet-afsluitbare opening van globaal 1/3 deel van de Houtribdijk waarbij de opening wordt vervangen door een brug om de verkeersfunctie van de dijk in stand te houden.
- 2) Kleinere en afsluitbare opening van enkele 10-tallen tot maximaal 100 meter breedte. Ook hier wordt ter plaatse van de opening een brug aangebracht voor het verkeer.
- 3) Een serie afsluitbare buizen/kokers door de dijk of hevelbuizen.

Bij alle varianten geldt dat de drijfveer wordt gevormd door het realiseren van ecologische doelen en dat mogelijke negatieve effecten voor andere functies moeten worden gemitigeerd. Een grote opening in de Houtribdijk is vooral gericht op het creëren van slibgradiënten en vrije uitwisseling van vis tussen beide meren. Een daarmee samenhangende toenemende dynamiek van het watersysteem heeft echter ook de nodige (negatieve) consequenties voor andere functies. Kleinere afsluitbare openingen zijn vooral gericht op het vergroten van de vismigratie mogelijkheden en hebben over het algemeen weinig/geen gevolgen voor andere functies.

De bovengenoemde afmetingen vloeien voort uit een sessie die is uitgevoerd door experts van Rijkswaterstaat, Royal HaskoningDHV en Deltares en vormen een eerste indicatie op basis van expert judgement. Er zijn geen berekeningen uitgevoerd om deze afmetingen te onderbouwen of te optimaliseren. Daarvoor zal een verdere verkenning noodzakelijk zijn.

Bij een grootschalige en niet-afsluitbare opening is echter sprake van aanzienlijke gevolgen voor het waterveiligheidsbeleid. De Houtribdijk is een primaire waterkering met een duidelijke compartimenteringsfunctie. Bij een grootschalige open verbinding heeft dat gevolgen voor:

- scheefstand; door op- en afwaaiing zullen in een groter watersysteem grotere peilverschillen optreden;
- golfoploop; de strijklengte en daarmee de golfhoogte wordt in geval van een opening vergroot;
- doorwerking van peilpieken van IJsselmeer naar Markermeer; hoge IJsselafoeren worden in geval van een opening ook aan het Markermeer doorgegeven.

- peilbeheer: een afzonderlijk peilbeheer voor Markermeer/ IJmeer/ Veluwemeren en voor het IJsselmeer is dan niet meer mogelijk.

Een van de gevolgen hiervan is dat waterkeringen rond de meren moeten worden aangepast (versterkt/opgehoogd) om aan de geldende veiligheidsnormen te voldoen.

Kleinere, afsluitbare openingen in de Houtribdijk hebben op zich geen onoverkomelijke consequenties. Deze dienen wel op zodanige wijze te worden uitgevoerd dat de dijk niet wordt verzwakt en ze moeten worden voorzien van een robuust operationeel beheersysteem dat ervoor zorgt dat de openingen worden gesloten bij overschrijding van een vast te stellen peilverschil tussen beide meren. Overigens bestaat deze functionaliteit nu al met de Houtribsluizen, dus het is de vraag of hiermee veel toegevoegde waarde wordt gecreëerd.

In het Nationaal Waterplan 2009-2015 is de keuze gemaakt om zowel het Markermeer als het Veluwemeer los te koppelen van het IJsselmeer. De dijken om die meren hoeven dan niet te worden verhoogd als antwoord op de zeespiegelstijging. Het peilbeheer voor de lange termijn kan worden afgestemd op het halen van ecologische doelen. In de loop der tijd is vanuit het Deltaprogramma IJsselmeergebied nadrukkelijk het accent gelegd op waterveiligheid en watervoorziening als doelstellingen. Waar mogelijk kunnen ambities op het gebied van ruimtelijke kwaliteit en ecologie worden meegekoppeld. Tot 2050 blijft het gemiddeld waterpeil in het IJsselmeer op het huidige niveau (Deltabeslissing). Een eventuele peilstijging in het IJsselmeer na 2050 geldt niet voor het Markermeer. Vanuit een beleidsmatige optiek is daarmee een grootschalige niet-afsluitbare opening tussen Markermeer en IJsselmeer niet mogelijk, tenzij een andere compartimenteringsdijk in het IJsselmeer zou worden aangelegd. Dit laatste is het geval bij het concept van de Aansluitdijk, een dijkverbinding (tevens energiedijk) tussen Enkhuizen en Staveren.

NMIJ Referenties:

Notitie (semi-)open verbinding Markermeer-IJsselmeer (2015)

Onderzoeksvraag: V15

Op welke manier kan een open verbinding gerealiseerd worden (technische specificatie)?

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie en expertsessies

Antwoord:

Een (semi-)open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer kan op verschillende wijzen worden uitgevoerd. Binnen het onderzoeksprogramma zijn 3 varianten in beschouwing genomen:

- 1) Grootschalige niet-afsluitbare opening van globaal 1/3 deel van de Houtribdijk waarbij de opening wordt vervangen door een brug om de verkeersfunctie van de dijk in stand te houden.
- 2) Kleinere en afsluitbare opening van enkele 10 talen tot maximaal 100 meter breedte. Ook hier wordt ter plaatse van de opening een brug aangebracht voor het verkeer.
- 3) Een serie afsluitbare buizen/kokers door de dijk of hevelbuizen

Vanuit zuiver technisch opzicht zijn deze vormen van een open verbinding goed realiseerbaar.

Ten aanzien van de technische uitvoering van de maatregelen zelf moet vooral rekening worden gehouden met de robuustheid van de uitvoering. Bij peilverschil tussen beide meren (door bijvoorbeeld scheefstand of hoge IJsselafvoeren) moeten bodem en randen van de opening zodanig worden uitgevoerd dat hoge stroomsnelheden geen erosie of schade veroorzaken. In het geval van een afsluitbare opening moet het afsluitmechanisme in alle voorkomende gevallen goed functioneren (robuust en geautomatiseerd) zodat de stabiliteit van de constructie en de waterveiligheid wordt gewaarborgd.

In het geval van kokers of buizen door het dijklichaam dienen speciale voorzieningen te worden getroffen om het dijklichaam niet te verzwakken. Dat geldt tevens voor ongewenste erosie en sedimentatie bij in- en uitlaatopeningen.

Daarnaast zijn eisen ten aanzien van de instandhouding van de verkeersfunctie van N302 van belang. Indien deze tijdens de aanleg van de maatregel moet worden behouden dienen hiervoor tijdelijke voorzieningen te worden aangebracht.

NMIJ Referenties:

Notitie (semi-)open verbinding Markermeer-IJsselmeer (2015)

Onderzoeksvraag: V19

Wat zijn de kosten van een (semi) open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

Voor de (semi) open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer zijn een drietal opties bekeken.

1. Grootschalige opening: hierbij wordt ca. 1/3 van de Houtribdijk vervangen door een brug waardoor de verkeersfunctie van de dijk in stand blijft.
2. Kleinere opening: hierbij komt een afsluitbare opening van enkele tientallen tot 100 m breedte, met een brug waardoor de verkeersfunctie van de dijk in stand blijft.
3. Een serie afsluitbare buizen door de dijk, of een serie van hevelbuizen.

Ad 1. Een brug van met een lengte van ca. 8.000 m kost ca. € 60 K tot € 75 K per m afhankelijke van de wegindeling op de brug (2 x 1 of 2 x 2). De totale investeringskosten van een brug bedragen dan tussen ca. € 500 mln en € 600 mln incl. BTW. Dit is nog exclusief de aanpassingen aan de dijken en kunstwerken in de Houtribdijk.

Ad 2. Een kunstwerk met afsluitbare secties over een lengte van ca. 100 m kost tussen de € 100 mln en € 250 mln.

Ad 3. De kosten van een kunstwerk met kleine afsluitbare openingen, bijvoorbeeld een constructie met 5 kokers van 5 x 3 m inwendig, en tweezijdig afsluitbaar, zijn geraamd op ca. € 30 mln.

Genoemde bedragen zijn investeringskosten, inclusief BTW, en zijn globaal gebaseerd op kengetallen of kosten van gelijkwaardige gerealiseerde kunstwerken.

Onderzoeksvraag: V20

Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van een (semi) open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer

Onderzoeksmiddel:

Bureaustudie

Antwoord:

Voor de (semi) open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer zijn een drietal opties bekeken.

1. Grootschalige opening: hierbij wordt ca. 1/3 van de Houtribdijk vervangen door een brug waardoor de verkeersfunctie van de dijk in stand blijft.
2. Kleinere opening: hierbij komt een afsluitbare opening van enkele tientallen tot 100 m breedte, met een brug waardoor de verkeersfunctie van de dijk in stand blijft.
3. Een serie afsluitbare buizen door de dijk, of een serie van hevelbuizen.

Ad. 1. De beheer- en onderhoudskosten van de grote opening met brug zijn geschat op € 1,5 tot € 2,5 mln per jaar, uitgaande van een vaste constructie, zonder beweegbare bruggen.

Ad. 2. Voor het kunstwerk met afsluitbare openingen van ca. 100 m, bedragen de jaarlijkse kosten minimaal € 200 K.

Ad. 3. Bij een kleiner kunstwerk met afsluitbare kokers door de dijk zijn de jaarlijkse beheer- en onderhoudskosten geschat op € 50 K tot € 100 K.

Bij de hier genoemde jaarlijkse kosten zijn geen reserveringen opgenomen voor grootschalige vervangingen.

Onderzoeksvraag: I13

Hoe kunnen de maatregelen optimaal bijdragen aan de versterking van de ruimtelijke kwaliteit?

Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie

Antwoord:

Om deze vraag te beantwoorden is het allereerst van belang om te weten wat de ruimtelijke kwaliteit van de betreffende locatie is waar de maatregel wordt uitgevoerd is.

Ruimtelijke kwaliteit wordt in dit geval beschreven als de kwaliteit die ontstaat door de gebruikswaarde, belevingswaarde en toekomstwaarde. Voor het Markermeer worden de gebruikswaarde bij uitstek vertegenwoordigd door (water)recreatie, ecologie, visserij en beroepsvaart.

In het verleden zijn er diverse ruimtelijke kwaliteitskaders geschreven voor het IJsselmeergebied. Het meest recente ruimtelijk kwaliteitskader van het IJsselmeergebied is in 2013 (Strootman, 2013) opgesteld in opdracht van het College van Rijksadviseurs, onder de verantwoordelijkheid van Rijksadviseur voor het landschap en water, Eric Luiten. Aanleiding was de vraag vanuit het Deltaprogramma IJsselmeergebied (DPIJ) om een visie te ontwikkelen op de samenhang tussen ingrepen in het waterbeheer en de ruimtelijke kwaliteiten en ontwikkelingen op het niveau van het hele IJsselmeergebied. De boodschap van het kader is dat de ruimtelijke kwaliteit versterkt kan worden door de samenhang te versterken met het onderliggende landschap (topografische en historische kernmerken) en door regionale samenwerking. Dit is per definitie locatie-specifiek en daarvoor dient per project gekeken te worden naar de specifieke kwaliteiten en potenties van het gebied.

In het kwaliteitskader worden wel een aantal overkoepelende kwaliteiten genoemd (hoofdstuk 3: De ruimtelijke werking van het grote water). Deze overkoepelende kwaliteiten zijn vooral gericht op de belevingswaarde van het Markermeer en bestaan uit:

- Rust en ruimte
 - Weidsheid en leegte
 - Zicht op water
 - Rust en duisternis
 - Landmark en silhouetten
- Ruimtereeksen (belevingswaarde)
 - Markermeer is met het IJsselmeer een van de twee hoofdruimten met daarop georiënteerde baaien van IJmeer, Gouwzee, Hoornsche Hop en bij Enkhuizen
 - In de baaien is de kust waarneembaar. In de hoofdruimten overheerst het gevoel van onbegrensde ruimte.
- Drie typen kustbelijning
 - Baaien kapen
 - Hoekige kusten (nieuwe kusten)
 - Bochtige overgangen
- Luwe kusten, dynamisch achterland

■ Waterfronten als parels aan een ketting
Zichtbare maatregelen (boven water)

De maatregelen luwtestructuren, grootschalig moerasgebied en vooroevers en oeverdijken zijn allen permanent (min of meer) zichtbare maatregelen. Deze maatregelen hebben dan ook een directe relatie met de kernkwaliteiten en in het bijzonder met de beleving van rust en ruimte en ruimtereeksen. Hieronder worden kort deze drie maatregelen gekoppeld aan de gebruiks-, belevings- en toekomstwaarde.

Luwtestructuren

Door vergroting van de luwte ontstaan er rustige delen wat zeer wenselijk is voor de ecologie en daarmee een vergroting is van de gebruikswaarde. Eventuele koppeling met aanlegsteigers en ankerplaatsen kan daarbij de waarde voor de recreatievaart vergroten. Luwtestructuren zullen vooral nabij de kust in de ondiepere delen van het Markermeer aangelegd worden, in de zogenaamde baaien. Interessant is dan ook om de relatie met de huidige kust te benadrukken in het ontwerp. Zijn de dammen zichtbaar of onzichtbaar, beplant of onbeplant? Dit zijn allemaal keuzes die direct invloed hebben op de kernkwaliteiten zicht op het water en in mindere mate weidsheid en leegte.

Vooroevers en oeverdijken

De aanleg van vooroevers en/of oeverdijken geeft een impuls aan de ecologische waarde van het Markermeer door onder meer de vergroting van het areaal land-waterovergangen. Koppeling met recreatieve functies zoals strandjes, aanlegmogelijkheden, struinnatuur etc., vergroot in hoge mate de gebruikswaarde voor de recreanten. Daarnaast bieden vooroevers en oeverdijken mogelijkheden om als primaire waterkering te gaan functioneren. Door de goede aanpasbaarheid van de kering bij een gewijzigde situatie leveren deze maatregelen ook een duidelijk bijdrage aan de toekomstwaarde. Vooroevers en oeverdijken zijn direct gekoppeld aan de rand van het Markermeer en daarmee aan de baaien. Deze maatregelen hebben dan ook direct invloed op de weidsheid en leegte, zicht op water en de beleving van de kust. Aandachtspunt zijn de vormgeving, inrichting en beheer van deze maatregelen. Door een passende schaal en een robuuste inrichting te hanteren zullen deze nieuwe randen onderdeel vormen van de schaal van het Markermeer. Uitwerking hiervan is locatie-afhankelijk. Specifiek aandachtspunt is het al dan niet ontwikkelen van (moeras-)bos: ecologisch een aanvulling op het systeem, maar ruimtelijk erg bepalend in het open landschap van het Markermeer.

Grootschalig moerasgebied

Evenals bij de luwtestructuren en de vooroevers heeft een grootschalig moerasgebied een duidelijk meerwaarde voor de gebruikswaarde en toekomstwaarde. Ook hier is het effect op de belevingswaarde een aandachtspunt en dan vooral de beleving van de weidsheid en leegte. Moerasgebieden worden dan ook vanuit ruimtelijke kwaliteit bij voorkeur aangelegd in de hoofdruimte omdat de schaal van de moerasgebieden past bij de schaal van deze ruimtemaat waardoor de weidsheid minder wordt aangetast dan de aanleg nabij de kust.

Onzichtbare maatregelen (onder water, waterpeil regime)

Verdiepingen, afdekken van de meerbodem, vergroten peildynamiek en vismigratie hebben allen gemeen dat deze minder zichtbaar zijn en daarmee in directe zin ook minder invloed hebben op de huidige belevingswaarden. Daarnaast is minder slib en helderder water positief voor de beleving van het Markermeer. Bij de maatregelen verdieping (inclusief zandwinning) of afdekken is het van belang dat de bestaande ecologische en morfologische waarden van de onderwatertopografie wordt meegenomen.

NMIJ Referenties:

<p>Onderzoeksvraag: I14 Hoe en op welk moment worden de natuurmaatregelen ingepast in de integrale inrichtingsvisie van het gebied?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie</p>
<p>Antwoord: De natuurmaatregelen zijn ingepast in de Rijksstructuurvisie Rijk-Regio-Amsterdam-Almere-Markermeer (RSV RRAAM) van november 2013. Op korte en middellange termijn betreft dit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bijdrage van € 9 mln. waarvan een rijksbijdrage van € 6 mln. aan de realisatie van de Luwtemaatregelen Hoornsche Hop (ministerie van IenM, provincies Flevoland en Noord-Holland). • Bijdrage van € 1,2 mln. aan de aanleg van vispassages in het Markermeer-IJmeer (ministerie van IenM). • Bijdrage van € 6 mln. van Rijk aan de (gerealiseerde) Pilot “Moeras” in het Markermeer voor het ervaring opdoen met de aanleg en effecten ervan (ministerie van IenM). • Startkapitaal van € 45 mln. waarvan een rijksbijdrage van € 30 mln. aan de uitvoering van de eerste fase van het plan Marker Wadden. De overige € 15 mln. is door de Nationale Postcode Loterij via Natuurmonumenten beschikbaar gesteld voor de uitvoering van de eerste fase van het plan (ministeries van EZ en van IenM). <p>Voor de lange termijn bezien Rijk, provincies Flevoland en Noord-Holland op basis van het boekhoudsysteem of en welke vervolgstappen wanneer nodig zijn. Dit is mede afhankelijk van de ecologisch effectiviteit van voorgenomen natuurmaatregelen op Natura 2000/KRW-doelen, budgettaire mogelijkheden en toekomstige ruimtelijke ontwikkelingen.</p> <p>Het ligt voor de hand om natuurmaatregelen zo veel mogelijk te koppelen aan opgaven op het gebied van infrastructuur, waterveiligheid of recreatie.</p>
<p>NMIJ Referenties: Rijksstructuurvisie RRAAM (2013)</p>

<p>Onderzoeksvraag: S7 Hoe hierbij (voor vermindering slibgehalte) gebruik te maken van zandwinning en vaargeulonderhoud die toch al aan de orde zijn?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen:</p>
<p>Antwoord: Verdiepingen in de vorm van zandwinning en vaargeulonderhoud kunnen bijdragen aan de reductie van het slibgehalte. Verdiepingen zorgen ervoor dat de stroomsnelheden afnemen boven de verdieping en dat kan slib dan uitzakken waardoor het boven de verdieping helder wordt en er zal ook minder slib worden opgewerveld. Ook is er enige uitstraling naar de omgeving.</p> <p>Verdiepingen waarbij lengte en breedte min of meer gelijk zijn, en die bovendien diep zijn, zijn het meest effectief voor invang van slib (bijvoorbeeld ronde diepe zandwinputten). Langwerpige verdiepingen, zoals een vaargeul, vangen per volume verdieping minder slib in omdat in de lengterichting van zo'n verdieping (wind geïnduceerde) stroming (kan) ontstaan die de opwerveling vergroot.</p> <p>Vanuit de ecologie is het meest relevante positieve effect de eventuele overwinteringsfunctie voor vis en de daaraan verbonden foerageerfunctie voor visetende vogels in het vroege voorjaar. Een zandwinput die in de vaargeul ligt is hiervoor vanwege verstoring door vaarbewegingen minder geschikt. Het meest relevante negatieve effect van de aanleg van diepe putten lijkt een verlies van bodemfauna (en planten, bij beperkte startdiepte). Vanuit dit perspectief zijn putten in diepe delen van het Markermeer of bij of in de vaargeul (combinatie met vaargeul onderhoud) interessanter.</p>

Combinaties tussen zandwinning en vaargeulonderhoud zijn lastig te plannen omdat ze gestuurd worden door prijsmechanismen. Als geslaagde combinatie kan worden vermeld dat zandwinners in het IJsselmeergebied tegen geringe vergoeding voor het onderhoud van de Vaargeul Amsterdam-Lemmer (VAL) zorgden. De combinatie van onderhoud en zandwinning vindt om aanbesteding-technische redenen niet meer plaats als gevolg van een ongunstige zandprijs (de zand-markt rond het IJsselmeer wordt verdrongen door zeezand).

NMIJ Referenties:

Onderzoeksvraag: S21

Verken de mogelijkheden van PPS (Publiek Private Samenwerking) i.r.t. combinatie verdiepingen, natuurontwikkeling en zandwinning in de onderzoeksfase en later bij mogelijke grootschalige aanleg?

Onderzoeksmiddelen:

Expertsessie

Antwoord:

Gedurende de loop van het NMIJ-programma is voor het Markermeer een mooie vorm van Publiek Private Samenwerking (PPS) tot stand gekomen in de vorm van de eerste fase van de Marker Wadden. De NGO Natuurmonumenten zorgt voor een aanzienlijke private financiële inbreng en treedt ook op als initiatiefnemer en beheerder van Marker Wadden. Het rijk en provincie Flevoland nemen financieel deel aan deze samenwerking. Daarnaast treedt Rijkswaterstaat op als mede-ontwikkelaar en aanbestedende dienst voor de eerste fase van Marker Wadden. Een echte PPS-dus.

Er zijn nog meer PPS-mogelijkheden. De projecten Marker Wadden en Houtribdijk leren dat natuurontwikkeling is gebaat bij het optimaliseren van grondstromen. Een samenwerking waarin de overheden het speelveld inrichten door middel van een aantal ontgrondingsmogelijkheden en waarbij de markt in concurrentie die ontgrondingen gebruikt, kan tot aanzienlijke voordelen leiden voor de totale kosten van zandwinning en afvoer van deklaag etc. Het vraagt om een regierol van de overheid in een niet vooraf helemaal duidelijke markt. Dit wijkt af van de praktijk die de laatste jaren vooral gericht was op het zich zelf laten organiseren van de markt. Rond grondstromen zal die organisatie vanuit de markt er niet gemakkelijk komen en zou PPS een mogelijkheid kunnen bieden, mits de overheid een actieve regierol in deze neemt.

NMIJ Referenties:

Onderzoeksvraag: I5

Welke aanpak (inhoudelijk en procedureel) van waterveiligheid en waterbeheer, vooroevers en eilanden, natuurbeheer en recreatie, leidt tot de beste resultaten uit oogpunt van opbrengst aan natuurkwaliteit en kosteneffectiviteit?

Onderzoeksmiddelen:

Expertsessies

Antwoord:

De projecten Houtribdijk, Markermeerdijken en Marker Wadden leren dat, om zachte land-waterovergangen te bereiken, het innovatief werken gericht op het realiseren en beheren tegen lage kosten cruciaal is. Een beleid van lokaal ontgronden staat daarin centraal.

Ook laten recente studies zien dat fasering en integratie van functies bij de aanleg goede perspectieven biedt.

Zo zal in de realisatiefase aannemers gevraagd moeten worden de inrichting zó uit te voeren dat niet alleen een goed te beheren dijk wordt verkregen die voldoet aan veiligheidseisen, maar dat ook de inrichting tegelijk zo wordt geregeld dat natuurwaarden een optimale kans krijgen. Dit is nu nog niet vanzelfsprekend zo geregeld.

Naast beheer door de beheerder van de dijken (RWS, HHNK etc.) kan worden overwogen om natuur- en landschapsbeheerders het (natuurgerichte) beheer van oeverdijken te laten doen. Deze instanties zijn meer gericht op een beheer waarin natuurwaarden en combinatie met recreatief medegebruik centraal staan. Ook agrarisch natuurbeheer zoals RWS bij de IJssel toepast (in kader Ruimte voor de Rivier) kan hier zinvol zijn, afhankelijk van de functie(s) die een oeverdijk krijgt.

Als de komende tijd de projectbesluiten genomen zijn is de tijd mogelijk rijp hier intensiever actie op te ondernemen. De initiërende verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij de dijk/gebiedsbeheerders, maar afstemming met andere partijen en het stimuleren van aandacht voor aanpakken die elders succesvol worden toegepast kan meerwaarde opleveren.

NMIJ Referenties:**Onderzoeksvraag: I6**

Wat zijn de effecten van aanleg van een (semi-) open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer op andere functies (zoals scheepvaart, recreatie, zoetwatervoorraad, veiligheid, e.d.) in het gebied?

Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie en expertsessies**Antwoord:**

Een (semi-)open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer kan op verschillende wijzen worden uitgevoerd. Binnen het onderzoeksprogramma zijn 3 varianten in beschouwing genomen:

- 1) Grootschalige niet-afsluitbare opening van globaal 1/3 deel van de Houtribdijk waarbij de opening wordt vervangen door een brug om de verkeersfunctie van de dijk in stand te houden.
- 2) Kleinere en afsluitbare opening van enkele 10 talen tot maximaal 100 meter breedte. Ook hier wordt ter plaatse van de opening een brug aangebracht voor het verkeer.
- 3) Een serie afsluitbare buizen/kokers door de dijk of hevelbuizen.

Effecten maatregel op waterveiligheid

De Houtribdijk is een primaire waterkering met een duidelijke compartimenterings-functie. Bij een grootschalige open verbinding heeft dat gevolgen voor:

- scheefstand; door op- en afwaaiing zullen in een groter watersysteem grotere peilverschillen optreden;
- golfoploop; de strijklengte en daarmee de golfhoogte wordt in geval van een opening vergroot;
- doorwerking van peilpieken van IJsselmeer naar Markermeer; hoger IJsselafvoeren worden in geval van een opening ook aan het Markermeer doorgegeven;

- peilbeheer: een afzonderlijk peilbeheer voor Markermeer/ IJmeer/ Veluwemeren en voor het IJsselmeer is dan niet meer mogelijk.

De omvang van deze effecten is niet vastgesteld maar zal zeker tot gevolg hebben dat waterkeringen moeten worden aangepast (versterkt/opgehoogd) om aan de geldende veiligheidsnormen te voldoen.

Kleinere, afsluitbare openingen in de Houtribdijk hebben mits goed uitgevoerd en beheerd geen effecten op de waterveiligheid. Kunstwerken dienen op zodanige wijze te worden uitgevoerd dat de dijk niet wordt verzwakt en te worden voorzien van een zeer robuust operationeel beheersysteem dat ervoor zorgt dat het kunstwerk wordt gesloten bij overschrijding van een vast te stellen peilverschil tussen beide meren.

Effecten op scheepvaart en recreatie

Een grootschalige opening in de Houtribdijk heeft tot gevolg dat de peilverschillen door open afwaaiing zullen toenemen. Dit heeft gevolgen voor de diepgang van het vaarwater (vaargeulen) waardoor met name de beroepsvaart enigermate kan worden gehinderd/beperkt. Kanttekening daarbij is, dat dit meestal zal optreden tijdens windcondities waarbij de beroepsvaart vanuit veiligheidsoverwegingen geen of minder gebruik maakt van dit vaarwater.

Een grootschalige opening in de Houtribdijk, zal voor de beroepsvaart van groot economisch belang zijn, omdat deze geen enkele belemmering meer ondervinden en niet meer hoeven te schutten. Zo nodig moet hier nog enig baggerwerk voor plaatsvinden om voldoende diepe toeleidingsgeulen te realiseren, maar dit kan waarschijnlijk beperkt blijven, omdat thans de beroepsvaart ook de Houtribsluizen reeds passeren als die openstaan.

De vergroting van het vaarwater zal ook gunstig zijn voor de recreatievaart, welke daarmee een belangrijke boost zou kunnen krijgen (wat ook weer economisch van belang is).

Omdat hoogwatersituaties bij grote afvoer vanuit de IJssel in het geval van een grootschalige open verbinding ook doorwerken op het Markermeer, zullen buitendijkse gronden, bijvoorbeeld met recreatieve functies, vaker last krijgen van wateroverlast.

Een extra kleine afsluitbare opening in de Houtribdijk kan voor de recreatievaart een voordeel opleveren omdat die bij geen/beperkt peilverschil tussen beide meren een extra verbinding vormt.

Een afsluitbare kleine opening met brug voor de recreatievaart, kan ook interessant zijn indien sprake is van te grote drukte bij de reeds bestaande sluizen. Dit is op het ogenblik echter niet het geval

Effecten op zoetwatervoorraad

Tot 2050 blijft het gemiddeld waterpeil in het IJsselmeer en het Markermeer op het huidige niveau (Deltabeslissing). Een open verbinding heeft tot die tijd dan ook geen directe effecten op de zoetwatervoorraad. Een eventuele peilstijging in het IJsselmeer na 2050 dient niet door te werken in het Markermeer. In dat geval is een grootschalige open verbinding niet mogelijk zonder grote consequenties op de omgeving.

Wegverkeer

De N302 heeft een belangrijke oost-west verkeersfunctie die bij een (semi-)open verbinding naar verwachting moet worden behouden. Daarvoor dient dan een brug te worden aangelegd die tijdens aanleg een aanzienlijke beperking van het wegverkeer met zich mee kan brengen.

NMIJ Referenties:

Notitie (semi-)open verbinding Markermeer-IJsselmeer (2015)

Onderzoeksvraag: I7 Welke combinatiemogelijkheden ontstaan er met andere functies?
Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie en expertsessies
Antwoord: <p>Een grootschalige niet-afsluitbare opening in de Houtribdijk kan voor de beroepsvaart een belangrijke economische factor zijn. Voor de recreatievaart zal een extra vaardimensie worden gecreëerd omdat het vaarwater wordt vergroot zonder dat daarbij sluzen hoeven te worden gepasseerd.</p> <p>Een kleine afsluitbare opening in de Houtribdijk kan voor de recreatievaart een voordeel opleveren omdat die bij geen/bepert peilverschil tussen beide meren een extra verbinding vormt.</p> <p>Een afsluitbare kleine opening met brug voor de recreatievaart, kan ook interessant zijn indien sprake is van te grote drukte bij de reeds bestaande sluzen. Dit is op het ogenblik echter niet het geval.</p>
NMIJ Referenties: Notitie (semi-)open verbinding Markermeer-IJsselmeer (2015)

Onderzoeksvraag: I8 Wat zijn de effecten van aanleg van een (semi-) open verbinding op vaargeulbeheer en -onderhoud?
Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie en expertsessies
Antwoord: <p>In het geval van een grootschalige niet-afsluitbare verbinding zal meer slib vanuit het Markermeer naar het IJsselmeer worden getransporteerd. Dit kan leiden tot een snellere dichtslibbing van de daar aanwezige vaargeulen. Omgekeerd zal als gevolg van netto slibtransport van het Markermeer naar het IJsselmeer het slibgehalte in het Markermeer dalen en daar de aanslibbing verminderen. Omdat het deel van de vaargeul Amsterdam Lemmer in het Markermeer in het laagste deel van het meer ligt is dit de belangrijkste slibvang van het Markermeer. De snelheid waarmee aanslibbingen veranderen is niet onderzocht in het NMIJ programma omdat geen slibmodel beschikbaar is waarin beide meren zijn opgenomen.</p> <p>De huidige aanslibbing in verdiepingen in het IJsselmeer is veel lager dan die in het Markermeer (RDIJ, 2007), wat verklaard wordt door het veel lagere slibgehalte in het IJsselmeer. Het ligt daarom in de lijn der verwachting dat bij een semi-open verbinding de aanslibbing in het Markermeer sterker zal afnemen dan de aanslibbing in het IJsselmeer zal toenemen. Hiervoor zijn twee argumenten te geven. Ten eerste zal het slibgehalte in het Markermeer sterker verlagen dan het slibgehalte in het IJsselmeer zal stijgen vanwege de grootteverhouding van beide meren. Ten tweede zijn in het IJsselmeer veel meer verdiepingen (oude Zuiderzee geulen) aanwezig waarin slib kan bezinken zonder dat dit (direct) tot een baggerbezwaar leidt.</p> <p>Hoe de financiële balans (besparing in het deel van de vaargeul in het Markermeer ten opzichte van de extra onderhoudskosten in het deel in het IJsselmeer) uitpakt is op voorhand niet in te schatten. Voor wat de Vaargeul Amsterdam Lemmer (VAL) betreft zijn de trajecten in Markermeer en IJsselmeer even lang en is de inschatting dat er in het Markermeer meer bespaard kan worden.</p>
NMIJ Referenties: Semi-open verbinding 9V6742.0A2/N0115/501245/BW/Nijm

Overige referenties

RWS, 2007. Beheervisie zandwinputten IJsselmeergebied. Van Dijk, R.M. en D.J. van 't Zet. RDIJ-IJG rapport 2007-2. ISBN 978-90-369-1398-0.

Onderzoeksvraag: I12

Welke uitvoeringsstrategie kan het best gehanteerd worden voor het realiseren van een (semi-) open verbinding (uitvoeringsagenda)?

Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie en expertsessies

Antwoord:

In het geval van een grootschalige niet-afsluitbare open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer dient het veiligheidsaspect voorop te staan. Dit betekent dat aanpassingen noodzakelijk zijn aan de waterkeringen van het Markermeersysteem en van het IJsselmeersysteem, om ook in een nieuwe situatie aan de veiligheidsnormen te voldoen. Hiertoe moeten deze aanpassingen eerst worden uitgevoerd voordat de grootschalige opening kan worden gerealiseerd.

Om de enorme kosten van de versterking/verhoging van waterkeringen en de aanleg van een brug ter plaatse van de opening enigszins te reduceren kunnen de aanpassingen het beste worden gecombineerd met thans reeds voorziene/geplande werkzaamheden aan de waterkeringen. Dit betekent echter wel dat rekening moet worden gehouden met een aanzienlijke doorlooptijd voor de uitvoering van de werken.

Voor een kleinere, afsluitbare opening gelden bovenstaande aspecten niet. Wel kunnen de werkzaamheden het beste eveneens worden gecombineerd met lopend groot onderhoud, zoals de versterkingsopgave van de Houtribdijk die momenteel in H21H21orbereiding is.

NMIJ Referenties:

Notitie (semi-)open verbinding Markermeer-IJsselmeer (2015)

Onderzoeksvraag: I9

Welke investeringskosten zijn verbonden aan verschillende (natuurontwikkelings)alternatieven?

Vraag geïnterpreteerd als aanlegkosten van maatregelcombinaties voor het bereiken van ecologische doelen.

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie

Antwoord:Realisatie van TBES

Voor het bereiken van een Toekomstbestendig Ecologisch Systeem (TBES) in het Markermeer-IJmeer is een combinatie van verschillende inrichtingsmaatregelen benodigd. Deze combinatie, opgebouwd uit de meest kosteneffectief beoordeelde maatregelen, is opgenomen in het onderstaande overzicht. De bandbreedte van de geraamde kosten voor de realisatie van TBES bedraagt € 693 mln. (laag) tot € 1.270 mln. (hoog).

Tabel aanlegkosten van TBES maatregelen

Systeempijler	Indicatie bijdrage aan gewenste systeemcondities (ingeschat o.b.v. bestaande kennis)										Indicatie aanlegkosten laag	Indicatie aanlegkosten hoog
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%		
Ondiepe zones met helder water			Luwtemaatregelen Hoornse Hop VKA (incl. verondieping)								11,7 M€	13,3 M€
				Luwtemaatregelen Hoornse Hop (middel)lange termijn (incl. verondieping)							19 M€	46 M€
				Luwtemaatregelen Enkhuizerzand							26 M€	56 M€
				Grootschalig moerasgebied (bijvoorbeeld Marker Wadden)							560 M€	1.050 M€
Geleidelijke land-waterovergangen	Marker Wadden fase 1										51 M€	51 M€
			Grootschalig moerasgebied (bijvoorbeeld Marker Wadden)								560 M€	1.050 M€
			Natuurlijker peilverloop Markermeer-IJmeer								0 M€	0 M€
		Ecologisch inrichten oeverdijken Noord Holland								20 M€	44 M€	
Gradiënt in slibgehalte		Luwtemaatregelen Hoornse Hop VKA									11,7 M€	13,3 M€
		Marker Wadden fase 1 (incl. verdiepingen)									51 M€	51 M€
			Luwtemaatregelen Hoornse Hop en Enkhuizerzand								45 M€	102 M€
		Grootschalig moerasgebied (incl. verdiepingen)								560 M€	1.050 M€	
Ecologische verbindingen		Vispassages Noord-Holland en Houtribdijk									3 M€	6 M€
			Vispassages Oranjesluizen en Flevoland								2 M€	4 M€
			Ecologisch inrichten van oeverdijken								20 M€	44 M€
			Grootschalig moerasgebied (bijvoorbeeld Marker Wadden)								560 M€	1.050 M€

Autonome ontwikkeling
 Maatregelen in voorbereiding
 Aanvullende maatregelen

Prijspeil 2015: inclusief BTW, indirecte en overige kosten.

De termen 'laag' en 'hoog' weerspiegelen een variatie in ontwerp en de wijze van aanleg. De kosten zijn zo veel mogelijk begroot op basis van bedrijfseconomische ramingen en/of met ter beschikking gestelde gegevens. Voor specifieke gevallen kunnen de werkelijke kosten anders uitpakken in verband met combinatie van maatregelen of marktwerking

- De kosten voor realisatie van luwtmaatregelen in het Hoornse Hop volgens het VKA (1,8-2,5 km), inclusief verondieping (100-300 ha) en beheer en onderhoud gedurende 10 jaar, zijn begroot op € 14,4 mln. Voor de inschatting van de aanlegkosten is dit bedrag gereduceerd met een bandbreedte voor 10 jarig onderhoud en beheer (zie tevens onderzoeksvraag I10).
- De bandbreedte voor de aanleg van aanvullende luwtmaatregelen in het Hoornse Hop voor de (midden)lange termijn (ca. 4 km) als uitbreiding van het VKA zijn begroot op basis van het type structuur; geotubes bekleed met stortsteen (laag) en zanddam (hoog). Zie tevens onderzoeksvraag H40.
- De bandbreedte voor de aanleg van luwtmaatregelen op het Enkhuizerzand (ca. 12 km) zijn begroot op basis van het type structuur; volledig stortsteen (laag) en zanddam (hoog). Zie tevens onderzoeksvraag H40.
- De kosten van de eerste fase van de Marker Wadden (ca. 325 ha) is gebaseerd op de ramingen voor aanleg van deel A, B en C.
- De aanleg van een grootschalig moerasgebied (ca. 4000 ha) als vervolg op de eerste fase van de Marker Wadden is geraamd op basis van extrapolatie van de kosten voor dit eerste deel, waarbij een reductie van 10% is aangehouden in verband met schaafeffecten. De hoge waarde is gebaseerd op een raming door de aannemer van de Pilot Moeras waarbij is verondersteld dat, net als bij de Pilot Moeras, gebruik wordt gemaakt van mechanisch baggeren en aanvoer van grotere afstand. Zie tevens onderzoeksvraag H20.
- De kosten voor de ecologische inrichting van oeverdijken langs de Noord-Hollandse kust (ca. 8 km), als aanvulling op een structuur ten behoeve van de waterveiligheid zijn geschat op € 2,5 mln. (laag) tot € 5,5 (hoog) mln. per km.

Zie tevens onderzoeksvraag V5.

- De kosten van vispassages zijn bepaald op basis van de indicaties (bandbreedtes) die zijn ontvangen van de waterbeheerders. Deze maatregelen worden grotendeels uitgevoerd onder de programmering van de Kaderrichtlijn Water. Zie tevens onderzoeksvraag V5.

De binnen NMIJ onderzochte maatregelen: afdekken meerbodem, vooroever Lepelaarplassen en (semi-)open verbinding Markermeer-IJmeer vormen geen onderdeel van dit maatregelpakket in verband met de relatief hoge kosten ten opzichte van de verwachte effectiviteit.

De Werkmaatschappij Markermeer-IJmeer heeft in 2011 een optimalisatie van het TBES uitgevoerd waarbij de daarvoor benodigde maatregelen zijn bijgesteld en opnieuw begroot. Dit maatregelpakket komt op hoofdlijnen overeen met het bovenbeschreven pakket. De totale aanlegkosten voor de TBES-maatregelen zijn toen geraamd op € 880 mln. inclusief onvoorzien en opslagen.

Realisatie doelen ANT-vogelsoorten (Natura2000)

De rapportage 'Kostenindicatie maatregelen ANT-vogelsoorten Markermeer-IJmeer' (Royal Haskoning, 2012) geeft een indruk van maatregelen en kosten die zijn benodigd om zoveel mogelijk tegemoet te komen aan het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen van de ANT-vogelsoorten. Deze zijn geraamd tussen € 40 mln. en € 65 mln.

Daarvoor worden minimaal de volgende maatregelen voorzien:

- Aanleg van luwtemaatregelen langs de Noord-Hollandse kust voor het creëren van luwe zones met aangesloten overgangen naar troebel water;
- Verhoging van de vastgestelde drempelwaarde of verbod op de spieringvisserij in het Markermeer-IJmeer;
- Oplossen van vismigratieknelpunten met IJsselmeer en binnendijkse wateren;
- Beperking van recreatie in luwte- en moerasgebieden en die gebieden die in rui- en broedperioden intensief door ANT-vogelsoorten worden gebruikt;

In de onderstaande tabel zijn de beschouwde maatregelen opgenomen met vermelding van geraamde kosten en belang voor de ANT-vogelsoorten. Daarbij wordt opgemerkt dat de inhoud van deze tabel vooruitliep op de resultaten van het ANT- en het NMIJ-onderzoek. Om de effecten van maatregelen op ANT soorten in het juiste perspectief te plaatsen zijn ook de effecten op de overige aspecten van het ecosysteem kwalitatief in beeld gebracht, onder de noemer "Belang TBES overig".

Aanlegkosten maatregelen ANT-vogelsoorten

Maatregel	Investeringskosten* (mln €)	Belang viseters	Belang mosselelers	Belang TBES overig
Luwtemaatregelen in Hoornse Hop	38 - 62	XX	XXXX	XXX
Vispassages/sluisbeheer	< 2	XX	-	XX
Visstandbeheer (beperking spieringvisserij)	< 1	XXX	-	XX
Ruimtelijke scheiding recreatie / natuur	< 1	XX	XX	XX

* Prijspeil 2012: inclusief BTW, indirecte en overige kosten

NMIJ Referenties:

WMIJ (2012)
Haarman et al. (2012)
Knoben en Haarman (2014)
Rosenbrand (2015)
Van Tiggelen (2015)

Onderzoeksvraag: I10

Wat zijn de kosten van beheer en onderhoud van een dergelijke constructie?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie

Antwoord:

Voor het bereiken van een Toekomstbestendig Ecologisch Systeem (TBES) in het Markermeer-IJmeer is een combinatie van verschillende inrichtingsmaatregelen benodigd. Deze combinatie, opgebouwd uit de meest kosteneffectief beoordeelde maatregelen, is opgenomen in het onderstaande overzicht. De geraamde kosten voor onderhoud en beheer van TBES bedragen circa € 3 mln. (laag) tot € 6 mln. (hoog) per jaar.

Beheer en onderhoudskosten TBES-maatregelen, kosten per jaar

Systeempijler	Indicatie bijdrage aan gewenste systeemcondities (ingeschat o.b.v. bestaande kennis)										Indicatie B&O kosten laag	Indicatie B&O kosten hoog
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%		
Ondiepe zones met helder water	Luwtemaatregelen Hoornse Hop VKA (incl. verondieping)										0,1 M€	0,3 M€
	Luwtemaatregelen Hoornse Hop (middel)lange termijn (incl. verondieping)										0,3 M€	0,7 M€
	Luwtemaatregelen Enkhuizerzand										0,1 M€	0,7 M€
	Grootschalig moerasgebied (bijvoorbeeld Marker Wadden)										0,9 M€	2,2 M€
Geleidelijke land-waterovergangen	Marker Wadden fase 1										0,1 M€	0,1 M€
	Grootschalig moerasgebied (bijvoorbeeld Marker Wadden)										0,9 M€	2,2 M€
	Natuurlijker peilverloop Markermeer-IJmeer Ecologisch inrichten oeverdijken Noord Holland										0 M€	0 M€
Gradiënt in slibgehalte	Luwtemaatr Hoornse Hop VKA Marker Wadden fase 1 (incl. verdiepingen)										0,1 M€	0,3 M€
	Luwtemaatregelen Hoornse Hop en Enkhuizerzand										0,8 M€	0,8 M€
	Grootschalig moerasgebied (incl. verdiepingen)										0,4 M€	1,4 M€
Ecologische verbindingen	Vispassages Noord-Holland en Houtribdijk										< 1 M€	< 1 M€
	Vispassages Oranjesluizen en Flevoland										< 1 M€	< 1 M€
	Ecologisch inrichten van oeverdijken Grootschalig moerasgebied (bijvoorbeeld Marker Wadden)										0,1 M€	0,2 M€
										0,9 M€	2,2 M€	

Autonome ontwikkeling
 Maatregelen in voorbereiding
 Aanvullende maatregelen

Prijsspeil 2015: inclusief BTW, indirecte en overige kosten.

De termen 'laag' en 'hoog' weerspiegelen een variatie in beheers- en onderhoudskosten in relatie tot verschillen in ontwerp en de wijze van aanleg.

De kosten zijn zo veel mogelijk begroot op basis van bedrijfseconomische ramingen en/of met ter beschikking gestelde gegevens. Voor specifieke gevallen kunnen de werkelijke kosten anders uitpakken in verband met combinatie van maatregelen of marktwerking

- De kosten voor beheer en onderhoud van luwtemaatregelen in het Hoornse Hop volgens het VKA (1,8- 2,5 km), inclusief verondieping (100- 300 ha) en maaien waterplanten. De bandbreedte van de kosten (laag-hoog) weerspiegelt de variatie in omvang van de maatregelen. Zie tevens onderzoeksvraag H41.
- De bandbreedte voor beheer en onderhoud van aanvullende luwtemaatregelen (ca. 4 km) voor de (midden)lange termijn in het Hoornse Hop en het maaien van waterplanten als uitbreiding van het VKA zijn begroot op basis van het type structuur: geotubes bekleed met stortsteen (laag) en zanddam (hoog) en de effectiviteit van de maatregel op het te maaien gebied met waterplanten. Zie tevens onderzoeksvraag H41.
- De bandbreedte voor het beheer en onderhoud van luwtemaatregelen op het Enkhuizerzand (ca. 12 km) zijn begroot op basis van het type structuur; volledig stortsteen (laag) en zanddam (hoog). Zie tevens onderzoeksvraag H41.

- De beheer en onderhoudskosten van de eerste fase van de Marker Wadden (ca. 325 ha) is gebaseerd op de ramingen voor deel A, B en C.
- Het beheer en onderhoud van een grootschalig moerasgebied (ca. 4000 ha) als vervolg op de eerste fase van de Marker Wadden is geraamd op basis van extrapolatie van de kosten voor dit eerste deel. De hoge waarde is gebaseerd op een raming door de aannemer van de Pilot Moeras waarbij meer rekening is gehouden met intensievere inspectie en onderhoud van randen en slap materiaal waarmee het moeras is opgebouwd. Zie tevens onderzoeksvraag H20.
- De kosten voor beheer en onderhoud van een ecologische inrichting van oeverdijken of vooroevers, als aanvulling op een structuur ten behoeve van de waterveiligheid zijn geschat op € 8 tot € 24 per m. Zie tevens onderzoeksvraag V6.
- De beheer en onderhoudskosten van vispassages zijn bepaald op basis van de indicaties (bandbreedtes) die zijn ontvangen van de waterbeheerders. Deze maatregelen worden grotendeels uitgevoerd onder de programmering van de Kaderrichtlijn Water. Zie tevens onderzoeksvraag V6.

De binnen NMIJ onderzochte maatregelen, afdekken meerbodem, vooroever Lepelaarplassen en (semi-)open verbinding Markermeer-IJmeer vormen geen onderdeel van dit maatregelenpakket in verband met de relatief hoge kosten in relatie met de effectiviteit.

NMIJ Referenties:

Knoben en Haarman (2014)
Rosenbrand et al. (2015)
Van Tiggelen (2015)

12 Referenties

- Aqualan Grou, 2014: De waterharmonica als natuurlijke schakel tussen waterketen en watersysteem. Provincie Friesland.
- Berendsen, H.J., 2001. De vorming van het land, Assen: Koninklijke van Gorcum.
- Blokland, T., 2013. Markermeer Moereseiland ontwerp van randen. *Gemeente Rotterdam*.
- BMNED, 2013: Rapport Geotechnisch bodemonderzoek, t.b.v. het project '20131878-Markermeer Moeras', BMNED, 7 oktober 2013, documentnummer 20131878-R041288-PD.
- Boderie, P., 2010. Bureaustudie modellering Oeremoeras. *Deltares*.
- Boderie, P. & Genseberger, M., 2010. Modelstudie Geleidestructuren. *Deltares*.
- Buskens, R., Zweers, H., Klijnstra, G., 2012: Resultaten monitoring bestaande structuren onderzoeksjaar 2012. Royal HaskoningDHV, V6742.A3/R0147
- Consortium-Kransmeer, 2012. Kunstmatige structuren als katalysator voor ecologie in het Markermeer-IJmeer. *Consortium Kransmeer*.
- Coops, H., R. Boeters & H. Smit, 1991. Direct and indirect effects of wave attack on helophytes. *Aquatic Botany* 41: 333-352.
- Coops, H., N. Geilen, H.J. Verheij, R. Boeters & G. van der Velde, 1996
Interactions between waves, bank erosion and emergent vegetation: an experimental study in a wave tank. *Aquatic Botany* 53: 187-198.
- CWE, 2014. Marker Meer Moeras, Nieuwe kansen voor Natura 2000. *Center for Ecology and Hydrology*.
- Dankers, P., Wichman, B., Kerkvoorde van, M., 2015: Eindrapportage Markermeer Moeras. RDCOR_BE1640_R0001_902199_f. Royal HaskoningDHV, Deltares en Buro Bakker.
- Deltares, 2009: Rapport Grondmechanisch onderzoek Houtribdijk, Deltares 29-7-2009, kenmerk 1001656-002-GEO-0002.
- Deltares, 2009: Rapport Advisering Houtribdijk onderdeel A; studie van vragen bij golfbreker en voorland opties, Deltares 29-9-2009, kenmerk 1001676-002-GEO-0005.
- Deltares, 2015. Veldexperiment afzinken rietoevers. Resultaten van de monitoring in 2012 en 2014.
- Didderen, K., J.H. Bergsma, D. Beuker, R.C. Fijn, W. Lengkeek (2014). Marker Stapsteen. Eindrapport 2013-2014. 114 pp.
- DPIJ, 2014. Een veilig en veerkrachtig IJsselmeergebied - Synthesedocument.
- Van Eerden, M., Bos, H. & van Huls, L., 2007. In the mirror of a lake. Peipsi and IJsselmeer for mutual reference.
- Evers, N (2012). Resultaten monitoring bestaande situaties 2010-2011. NMIJ rapport.
- Fiselier J.L. en E.J. Ebbens, 2012: Quick Scan Kennis en Techniek Marker Wadden. Royal HaskoningDHV
- Fugro, 2010. Geotechnisch lengteprofiel water/voorland&kruijn. Markermeerdijk Edam-Amsterdam. *Fugro Ingenieursbureau B.B.*
- Garritsen, T. et al., 2015. Notitie Semi Open Verbinding. , pp.1-9.
- Haarman, F. et al., 2013. Notitie NMIJ Maatregel Vooroever Lepelaarplassen. , pp.1-15.
- Haarman, F. & Kanger, W.H., 2012. Kosten maatregelen TBES Bevindingen audit Optimalisatierapport WMIJ. *Royal Haskoning*.
- Haarman, F., Noordhuis, R. en Buskens, R., 2012: Kostenindicatie maatregelen ANT-vogelsoorten
- Heerebeek, F.W.A., 2012. geotechnisch onderzoek veldexperiment pilot markermeer moeras. *Inpijn-blokpoel ingenieursbureau*.

- Van Herpen, R.C.J., 2010. Ecologische Verbindingen & Habitatdiversiteit. Initiële bureaustudie. *Royal Haskoning*.
- Herpen, van F., Held, den S., Buskens, R., Rooij, de G., 2015: Bureaustudie Natuurlijker Markermeer en IJmeer. Ecologische verbindingen en habitatdiversiteit. NMIJ rapport RDCEW_94672_R213
- Knoben, R., 2014: Integraal tussenadvies NMIJ. Royal HaskoningDHV
- HHNK, 2015. Oeverdijkrapportage deel 1 - Veiligheidsontwerp.
- Kanger, W.H., 2012. *Audit Kostenramingen Marktuivraag Ecologie RRAAM*. Royal Haskoning.
- Klinge, M., 2012. Luwtstructuren, de essentie van het TBES. Naar een stapsgewijze realisatie van doelen. *Witteveen+Bos*.
- Knoben, R.A., 2014. Integraal Tussenadvies NMIJ 2013 deel B Inhoudelijke onderbouwingen en onderzoeksresultaten per thema en maatregel. *Royal Haskoning DHV*.
- Knoben, R.A. & Buskens, R.F.M., 2013. Studie Vooroever Lepelaarplassen. *Royal Haskoning DHV*.
- Kollen, J. & Jaspers, H., 2012. Ecologie en veiligheid Markermeer. *Grontmij*.
- Van der Lee, 2015: Beantwoording onderzoeksvragen, 20152225-R042087-IH-C t.b.v. het project "20152225 - Markermeer Moeras" door Fa. Gebr. van der Lee, Revisie : C
Datum: 30 juni 2015 Project : 31031527.
- Lenselink, G. & Menke, U., 1995. Geologische en Bodemkundige Atlas van het Markermeer. *Directoraat Rijkswaterstaad Directie IJsselmeergebied*.
- Maarse, M., en Noordhuis, R., 2013: Toetsing natuureffecten van flexibel peilbeheer. 1208411-000, Deltares 2013.
- Maronier, V. & Koenraadt, R., 2014. MIRT 2 Verkenning Luwtmaatregelen Hoornse Hop. *Ministerie van Infrastructuur en Milieu*.
- Meijer, K. et al., 2009. Effecten van peilstrategieën in het IJsselmeergebied. Quick Scan seizoensgebonden peilbeheer. , (9V6742.A0/R0187/501245/MJANS/Nijm).
- Mols, H.J.M.A., 2006. Kosten- en efficiëntieberekening aanleg dammen. *Witteveen+Bos*.
- Rommelzwaal, A. et al., 2015. Verslag expertsessie (semi-) open verbinding Markermeer-IJsselmeer. , pp.1–8.
- RHDHV, 2015. Bureaustudie Ecologie NMIJ.
- Royal Haskoning, 2010. Dijkversterking Markermeerkust Hoorn- Amsterdam De oeverdijk als extra alternatief ? , (december).
- RRAAM, 2012. Een toekomstbestendig Markermeer-IJmeer. Eindrapport Werkmaatschappij Markermeer-IJmeer. *Rijk-regioprogramma Amsterdam-Almere-Markermeer*.
- RRAAM, 2011. Naar een toekomst bestendig ecologisch systeem. Optimalisatierapport Werkmaatschappij. *Rijk-regioprogramma Amsterdam-Almere-Markermeer*.
- Sas, H., 2007. Vooroever als land water zone MM-IJM.
- Van Tiggelen, 2015: Kostennota moerasediland Markermeer
- Verschoor, M. & Rijdsdorp, A., 2012. Marker Wadden Sleutel voor een natuurrijk en toekomstbestendig Markermeer. *Natuurmonumenten*.
- Vijverberg, T., Knoben, R. & Boderie, P., 2013. Resultaten Veldexperiment Luwtstructuur Invulling kennisleemten en beantwoording onderzoeksvragen. *Royal Haskoning DHV*.
- Vijverberg, T. & Visser, K.P., 2010. Natuurlijk (er) Markermeer IJmeer Initiële bureaustudie slib 2010 Deel II : Verdiepingen. *Royal Haskoning*.
- Vijverberg, T., Boderie, P. Noordhuis, R., 2015. Rapportage Maatregel Afdekken. *Royal Haskoning DHV*.
- Visser, K.P., Vijverberg, T. & Dankers, P., 2010. Natuurlijk (er) Markermeer IJmeer Initiële bureaustudie slib 2010 Deel I : Luwtstructuren. *Royal Haskoning*.
- Van der Wal, M., Coops, H., 2015: Veldexperiment afzinken rietoevers. Deltares 2015.



Wielakker, D., Kollen, J., Van den Boogaard, B., Van Gogh, I. en Beuker, D., 2014: Marker Kwelderwerken, Eindrapportage monitoring. Rapport nr 14-217. De Vries & van de Wiel, Bureau Waardenburg, Grontmij, BWZ ingenieurs.
Witmond, B., Overmars, K. & Bovens, J., 2008. Kostenmodule Toekomst Markermeer / IJmeer. *Ecorys Nederland BV*, (september).
WMIJ, 2012: Naar een Toekomstbestendig ecologisch systeem, t.b.v. de Rijksstructuurvisie RRAAM

Websites

www.natuurmonumenten.nl
www.nieuwlandergoed.nl
www.ecoshape.nl



Bijlage 1

Uitgangspunten bij de kostenramingen

Bij de kostenramingen in dit rapport zijn de volgende algemene uitgangspunten gehanteerd:

- Ramingen zijn opgesteld met, of geïndexeerd naar, prijspeil 2015.
- Alle kosten zijn inclusief B.T.W..
- Bij de kostenramingen zijn bandbreedtes rondom de bedragen aangegeven.
- In de kosten voor toepassen zand (en andere grondstoffen uit het Markermeer) is niet gerekend met afdracht van domeinvergoeding. Aanname is dat zand lokaal gewonnen en toegepast kan worden. Uitgangspunt daarbij is dat locatie van winning en toepassing op Rijks eigendom plaats vindt.
- Afwijking op bovenstaande regel is toepassen van zand in Geotubes of Geocontainers: hier is gerekend met zand aangevoerd in beunbakken uit een concessie, met het oog op de geringere productiecapaciteit bij het vullen.
- In de investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten zijn de algemene opslagen (nader te detailleren, indirecte kosten, engineering, overige bijkomende kosten en risicoreservering) voorzien.
- In de beheer- en onderhoudskosten is niet gerekend met vervangingskosten van de objecten.



Bijlage 2

Grondstromen

Notitie

Aan : Fred Haarman
Van : Esther Rosenbrand, Wouter Kanger
Datum : 16 april 2015
Kopie :
Onze referentie : /N/906140/Nijm

Betreft : Grondstromen strategie Markermeer

Aspecten die een rol spelen bij het afstemmen van grondstoffen vraag en aanbod zijn:

- Type ondergrond.
- Transportkosten.
- Vormgeving van de werken.
- Timing.
- Projectorganisatie.

In deze notitie wordt ingegaan op de rol die deze aspecten spelen, aan de hand van voorbeelden van verschillende projecten die lopen of worden voorzien in het Markermeer.

Bij de aanleg van werken zoals luwtestructuren, een grootschalig moerasgebied, vooroevers en oeverdijken is een aanzienlijke hoeveelheid grond, zand en/of klei benodigd. De aanlegkosten van deze maatregelen zijn dan ook sterk afhankelijk van winnings- en transportkosten voor de benodigde grond. Door de aanleg van werken af te stemmen op projecten waarbij grond vrijkomt, zoals de uitdieping van de vaargeul Amsterdam-Lemmer of de verdieping IJsseldelta, zou mogelijk een kostenreductie gerealiseerd kunnen worden.

De verdieping IJsseldelta ligt te ver van de projecten in het Markermeer om kostentechnisch aantrekkelijk te zijn voor het winnen/bekomen van zand. Wel kan het zo zijn dat moeilijk te plaatsen veenlagen die bijvoorbeeld bij de verdieping vrij komen verhoudingsgewijs tegen lage kosten naar Marker Wadden kunnen worden aangevoerd, omdat andere locaties duurder zijn. Dit komt omdat bij het wegbrengen en storten in Marker Wadden er niet eerst een depot hoeft te worden ingericht. Ook het gebruiken van grond uit de vaarweg Amsterdam – Lemmer is voor veel projecten kostentechnisch minder gunstig dan een eigen lokale winning. Een mogelijke uitzondering is het project Flevokust net ten noorden van Lelystad dat vrijwel aan de vaargeul is gelegen, en de Pilot Moeras waar materiaal uit deze vaargeul is gebruikt.

Ook het combineren van grote werken waarbij grotere volumes aan grond gewonnen worden, waardoor de kosten per kubieke meter grond dalen, kan kostenvoordeel opleveren.

Het type ondergrond varieert zowel met de diepte als met de locatie in het Markermeer. De omvang en locatie van een winningsput kunnen daardoor afgestemd worden op de eisen aan het voor de werken benodigde materiaal. In principe zal men voor veel werk liefst het grovere Pleistocene zand van dieper moeten halen. Bij inzet van een steekzuiger brest de put over de gehele verticaal aan zandlagen en wordt een mengsel aan zand gewonnen. Eventueel kan daarbij ook worden overwogen om de Holocene deklaag daarbij mee te laten bressen. Dit is echter afhankelijk van het doel waarvoor men het mengsel in wil zetten en ook van de dikte en samenstelling van de deklaag. Bij een dikke deklaag en veel klei zijn de mogelijkheden beperkt.

Echter de locaties met een gunstige ondergrond voor winning van zand bevinden zich niet altijd nabij de te realiseren werken. Bij het Enkhuizerzand is ondiep zand aanwezig, gevolgd door kleilagen; op grotere diepte is er wederom zand. In principe zou hier de diepte en afmetingen van een grondwinput afgestemd kunnen worden op de benodigde verhouding zand/klei die nodig is voor de aanleg van een moeras, zoals de Marker Wadden, of bij de vooroevers/oeverdijk langs de Noord-Hollandse kust. Wel spelen de transportkosten hier een beperkende rol. Bij afstanden groter dan 10-12 km is het over het algemeen voordeliger om in de nabijheid van een werk een put te realiseren.

Voor veel projecten geldt dat deze in principe niet zijn ontworpen vanuit het optimaal benutten van de beschikbare grondstromen. Zo is/was niet voorzien in de inzet van de Holocene kleilaag in de Luwtestructuur Hoornse Hop en ook niet bij de aanleg van de oeverdijktrajecten binnen het project Markermeerdijken. Als het ontwerp beter wordt afgestemd om de lokaal te genereren verhouding zand en deklaag te benutten, zijn grote besparingen mogelijk ten opzichte van een wijze van uitvoering waarbij het zand van ver moet worden gehaald.

Een nadeel van hydraulisch verpompt materiaal is de slappe consistentie, vergelijkbaar met yoghurt, waardoor dit ingesloten moet worden om te voorkomen dat het wegvloeit bij plaatsing onder water. Tevens duurt het lang totdat hydraulisch verpompt materiaal in voldoende mate consolideert, en daardoor duurt het ook langer totdat de zettingen van de ondergrond onder de opgebrachte laag in voldoende mate zijn voltooid. Dit kan de realisatie van de werken vertragen, waarmee mogelijk ook de doelstellingen van de werken worden beïnvloed. Het is de vraag of een beperkte menging met Holocene deklaag nog steeds een mengsel oplevert dat constructief gebruikt kan worden als ophoogmateriaal voor een primaire kering van zand.

Echter in het project Marker Wadden is het uiteindelijke doel het ontwikkelen van een plas-dras moerashabitat. Daar wordt hydraulisch verpompte deklaag binnen randen van zand opgespoten. Vervolgens volgt een periode van consolidatie van het ingebrachte materiaal, zetting van de ondergrond en rijping van de bovenlaag.

Lokaal winnen is voor het project Marker Wadden bij inzet van eigen middelen het meest gunstig. Dit komt omdat het ontwerp van Marker Wadden de verhouding deklaag en zand altijd goed kan verwerken zoals die vrijkomt bij lokale winning. Voor een project als de Houtribdijk is verhoudingsgewijs zeer veel zand nodig en kan eigenlijk nauwelijks deklaag worden ingezet. De deklaag moet dan een andere bestemming krijgen. Dit kan zijn: omputten, lokaal in depot zetten of afvoeren naar Marker Wadden. Alleen in geval van een winput die gunstig ten opzichte van Marker Wadden is gelegen, is de afvoer van de deklaag naar Marker Wadden kostentechnisch niet veel duurder dan lokaal afvoeren. Bij grotere afstanden zijn de kosten groter, ook als gekozen wordt voor mechanisch knijpen en afvoeren per boot. In dat geval is het altijd nog mogelijk dat de meerkosten van afvoeren lager zijn dan de kosten die het project Marker Wadden voor lokale winning moet maken. In dat geval kan het project Marker Wadden overwegen om de extra kosten vanwege het transport deels mee te financieren.

Langs de Noord-Hollandse kust zijn op geringe diepte veenlagen aanwezig met daaronder klei en pas op grotere diepte zand. Het veen kan veelal niet ingezet worden bij de aanleg van andere werken, tenzij het ontwerp hiervan om die reden wordt aangepast. Daardoor zouden de kosten van oeverdijken op deze locatie, waarvoor materiaal volumes in de orde van 6 miljoen m³ voorzien zijn, ook navenant hoog zijn. Op deze locatie zijn echter wel goede kansen om grondwinning voor de oeverdijken te combineren met grondwinning voor de luwtestructuren in het Hoornse Hop.

Het oorspronkelijk ontwerp voor de Luwtestructuur Hoornse Hop gaat uit van een luwtedam van breuksteen waartegen met zand verondiepingen worden aangebracht. Het zand komt daartoe uit de vaargeul Amsterdam-Lemmer en is vanwege de grote transport afstanden duur. Mede omdat dit zand duur is, ligt de bouw van een luwtestructuur met breuksteen hier meer voor de hand.

Echter men kan ook lokaal zand winnen. Als men kleine volumes wint, bijvoorbeeld alleen voor de inzet van het kernmateriaal van de luwtestructuur dan is lokaal winnen duur. Zet men in het ontwerp echter grotere volumes zand in, dan zakken de kosten sterk en ligt het voor de hand om ook de dure breuksteen zoveel mogelijk te vervangen door goedkoper zand. Door het ontwerp van de luwtestructuur zo in te richten dat ook de vrijkomende deklaag daarin een plaats krijgt, nemen de kosten verder af en kan voor hetzelfde budget een groter project worden gerealiseerd. Als in het ontwerp van de luwtestructuur meer deklaag kan worden geborgen dan vrijkomt voor de eigen zandwinning dan kan men zand vrijspelen voor de Markermeerdijken. Deze samenwerking levert dan nog extra besparingen op.

Bij dergelijke geoptimaliseerde combinaties van grondstromen bij verschillende projecten zijn timing, projectmanagement en stakeholdermanagement ook een aandachtspunt, aangezien er meerdere belangen een rol spelen.



With its headquarters in Amersfoort, The Netherlands, Royal HaskoningDHV is an independent, international project management, engineering and consultancy service provider. Ranking globally in the top 10 of independently owned, nonlisted companies and top 40 overall, the Company's 6,500 staff provide services across the world from more than 100 offices in over 35 countries.

Our connections

Innovation is a collaborative process, which is why Royal HaskoningDHV works in association with clients, project partners, universities, government agencies, NGOs and many other organisations to develop and introduce new ways of living and working to enhance society together, now and in the future.

Memberships

Royal HaskoningDHV is a member of the recognised engineering and environmental bodies in those countries where it has a permanent office base.

All Royal HaskoningDHV consultants, architects and engineers are members of their individual branch organisations in their various countries.