



Werkmaatschappij Markermeer IJmeer  
T.a.v. de heer R. Balk  
Postbus 55  
8200 AB LELYSTAD

<b>Datum</b>	<b>Ons kenmerk</b>	<b>Aantal pagina's</b>
27 oktober 2011	1205484-000-ZWS-0005-vj	1
<b>Contactpersoon</b>	<b>Doorkiesnummer</b>	<b>E-mail</b>
Maarten van der Wal	+31 (0)88 33 58 074	maarten.vanderwal@deltares.nl

**Onderwerp**  
Aanbieding definitief rapport Verkenning Markermeermoeras en Houtribdijk

Geachte heer Balk,

Hierbij zenden wij u één exemplaar van het definitieve eindrapport "Verkenning Markermeermoeras en Houtribdijk". De opmerking in het rapport over grondstromen is op uw verzoek afgestemd met de heer B. Witmond van Ecorys. Uw commentaar op het concept rapport is in het definitieve rapport verwerkt.

In het kader van het kwaliteitssysteem dat Deltares hanteert (ISO 9001) zouden wij het op prijs stellen van u te vernemen hoe u de dienstverlening van Deltares tijdens dit project hebt gewaardeerd. Ik wil u vriendelijk verzoeken om het bijgaande formulier in te vullen en te retourneren. Indien u het op prijs stelt om hierover in een persoonlijk gesprek van gedachten te wisselen, dan zijn wij daarvoor vanzelfsprekend beschikbaar.

Wij vertrouwen erop dat de resultaten naar uw tevredenheid zijn en bieden u in de toekomst graag wederom onze diensten aan.

Hoogachtend,



dr. ir. A.G. Segeren  
Sectordirecteur Zoetwatersystemen

**Bijlage(n)**  
- Evaluatieformulier  
- Rapportage



## Projectevaluatie

Organisatie:	Werkmaatschappij Markermeer IJmeer		
Contactpersoon:	de heer R. Balk		
Projectnummer:	1205484-000	Rapportnummer:	1205484-000-ZWS-0004
Projectnaam:	Verkenning oeverdijk Houtribdijk		
Contactpersoon:	Maarten van der Wal	ZWS	Datum: 27 oktober 2011

Cijfer: 10) uitmuntend; 1) zeer slecht

Algemeen	Cijfer	Eventuele toelichting
Hoe tevreden bent u over dit project		
In hoeverre is er voldaan aan uw verwachtingen		
Hoe beoordeelt u onze objectiviteit / onafhankelijkheid		
Hoe beoordeelt u onze kennis / deskundigheid		

Ons product	Cijfer	Eventuele toelichting
Hoe waardeert u de bruikbaarheid van ons product / advies		
Hoe waardeert u de kwaliteit van ons eindproduct		

Onze prijs	Cijfer	Eventuele toelichting
Hoe waardeert u onze prijs / kwaliteit verhouding		

Onze dienstverlening	Cijfer	Eventuele toelichting
Hoe waardeert u onze levertijd		
Hoe waardeert u onze klantgerichtheid en communicatie		

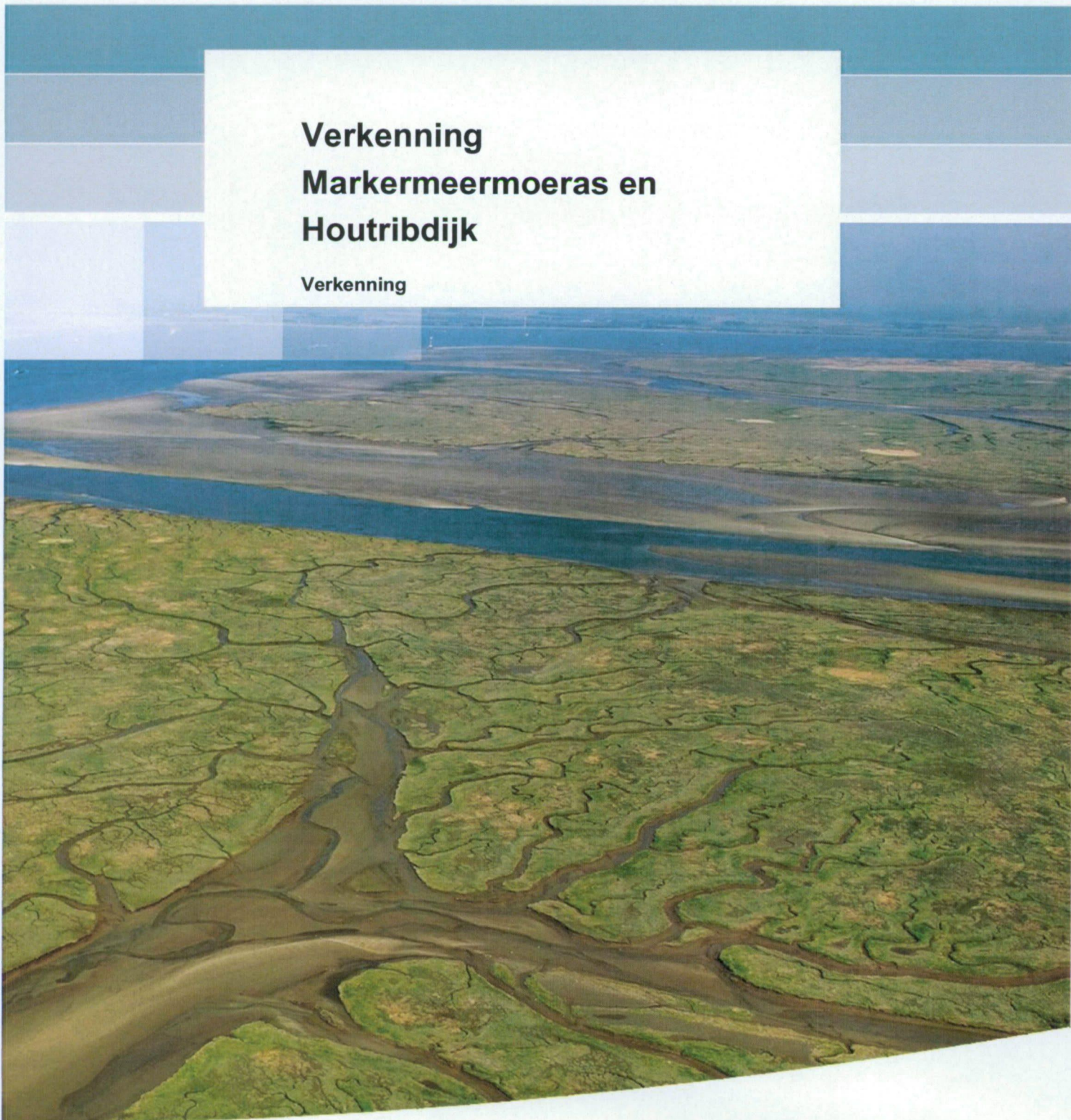
Uw mening	Ja/nee	Eventuele toelichting
Zou u Deltares opnieuw inschakelen?		
Zou u Deltares bij anderen aanbevelen?		

Heeft u suggesties het geleverde product / advies te verbeteren?  
Wilt u dat wij contact met u opnemen?

Dank u voor uw tijd en moeite

**Verkenning  
Markermeermoeras en  
Houtribdijk**

Verkenning



# **Verkenning Markermeermoeras en Houtribdijk**

**Verkenning**

M. van der Wal  
B.G.H.M. Wichman  
M.B. de Vries

1205484-000

**Titel**  
Verkenning Markermeermoeras en Houtribdijk

**Opdrachtgever**  
Werkmaatschappij  
Markermeer IJmeer

**Project**  
1205484-000

**Kenmerk**  
1205484-000-ZWS-0004-vj30

**Pagina's**

**Trefwoorden**  
Markermeer, Houtribdijk, eco-engineering.

**Samenvatting**  
Een grootschalig moeras, dat aangelegd wordt als vooroever in het afgekeurde dijkvak Trintelhaven / Lelystad van de Houtribdijk kan bijdragen aan de veiligheid van de dijk, omdat een dergelijk vooroever/moerasgebied de significante golfoploop verlaagt en de hydraulische belasting vermindert. Het vooroever/moerasgebied moet wel aan bepaalde voorwaarden voldoen wat betreft ligging, ontwerp, opbouw, kwaliteit van de buitenrand. Het in fasen aanleggen van een zacht en veilig voorland/moerasgebied is kostenbesparend en kan toch tijdig voldoende veiligheid bieden voor de Houtribdijk.

In een optimale combinatie krijgt het moeras een min of meer langgerekte vorm langs de Houtribdijk. Bij de inrichting van het moeras wordt rekening gehouden met de gewenste reductie van de golfhoogte in een extreme 1 in 10.000 jaar storm en met het beperken van de schade aan het moeras tijdens zo een storm.


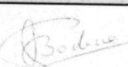
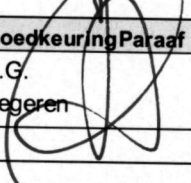
Het is aantrekkelijk de versterking van de Houtribdijk met een zacht voorland uit te voeren als het grootschalig moeras later aangelegd zal worden dan die versterking. Een zacht voorland is een no-regret maatregel. De aanleg van het voorland kan voor een deel op dezelfde wijze worden gefinancierd als de aanleg van het moeras.

- Een voorland bestaat uit een onderlaag van slib tussen geocontainers en afgedekt met een laag zand. De geotechnische stabiliteit dient nader te worden onderzocht.
- Een zacht voorland kan onderdeel gaan uitmaken van het grootschalig moeras.
- Het hoogste deel van een zacht voorland kan met riet begroeid raken. Het wortelstelsel van het riet draagt bij aan golfdemping en vergroting van de erosiebestendigheid van de toplaag.
- Het verdient aanbeveling verschillende kennisleemten gerelateerd aan de werking van een zacht voorland op te vullen.

Deze aanpak past binnen de kaders van het hoogwaterbeschermings programma HWBP en de randvoorwaarden die door de provincie worden gesteld.

**Referenties**

E-mail R. Balk dd 3 oktober 2011 11:35.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	okt. 2011	M. van der Wal		P.M.A. Boderie		A.G. Segeren	
		B.G.H.M. Wichman					
		M.B. de Vries					

**Status**  
definitief

## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2 Inventarisatie</b>	<b>3</b>
<b>3 Kansen</b>	<b>5</b>
3.1 Inleiding	5
3.2 Hydraulische randvoorwaarden en normstelling Houtribdijk	5
3.3 Versterkingsopgave Houtribdijk	7
3.4 Het toekomstbeeld van het Markermeer IJmeer	8
3.5 Het toekomstbeeld van het Markermeermoeras	9
3.6 Hydraulische randvoorwaarde buitenrand	11
3.7 Kansen en voorwaarden	11
<b>4 Ontwerpvarianten</b>	<b>15</b>
4.1 Plattegrond	15
4.2 Dwarsprofielen	16
<b>5 Haalbaarheid</b>	<b>19</b>
5.1 Grondstromen	19
5.2 Combinatie met Markermeermoeras	20
5.3 Variant met voorland	21
5.4 Bestuurlijke implicaties van een voorland	22
<b>6 Samenvatting en conclusies</b>	<b>25</b>
6.1 Veiligheidsprobleem Houtribdijk kan worden opgelost door aanleg vooroever/moerasgebied	25
6.2 Om veiligheid te waarborgen moet vooroever/moerasgebied aan voorwaarden voldoen	25
6.3 Aanleg van zacht, veilig voorland/moerasgebied in fasen bespaart geld en is toch voldoende veilig	26
6.4 Aanleg van zacht veilig voorland geeft antwoord op kennisvragen	26
6.5 Aanpak past binnen kaders van HWBP en Provincie	27
<b>7 Literatuur</b>	<b>29</b>

## 1 Inleiding

Toekomstbestendig Markermeer IJmeer, TMIJ, heeft het Ontwikkelingsperspectief uit 2008 in 2009 verder uitgewerkt tot een Toekomstbeeld. Het resultaat is een uitgebreide studie naar de mogelijkheden van ecologische verbetering en de ontwikkelingsperspectieven op het gebied van recreatie, stadsontwikkeling en economie.

Het Toekomstbeeld is tot een Toekomstbestendig Ecologisch Systeem uitgewerkt. Om dat doel van een toekomstbestendig ecologisch systeem te verwezenlijken is de Werkmaatschappij Markermeer IJmeer (ook wel genoemd werkmaatschappij TBES) opgericht. Het doel is de ecologische doelstellingen van TBES effectiever, goedkoper en slimmer te realiseren. Dat kan door de mogelijkheden voor kostenbesparing te bestuderen, bijvoorbeeld door het koppelen van TBES met andere programma's, zoals NMIJ (Natuurlijker Markermeer IJmeer), HWBP (Hoogwater beschermingsprogramma), IJmeerverbinding en het Deltaprogramma.

In relatie tot de Houtribdijk kan de veiligheid van de dijk gekoppeld worden aan natuurontwikkeling in de vorm van luwtestructuren, een voorland of een oeverdijk met een bijdrage aan de verbetering van de waterkwaliteit van het Markermeer. Hier kan de analogie met de huidige oeverdijk studie langs de Waterlandse kust worden benut. Bij de laatste vijfjaarlijkse toetsing volgens het Voorschrift Toetsen op veiligheid is vastgesteld dat de Houtribdijk niet voldoet aan de vereiste veiligheidsnorm van 1/10.000 per jaar. Door de Houtribdijk te versterken zal de dijk aan de veiligheidsnorm kunnen voldoen. Bij deze versterking moet rekening worden gehouden met de weginfrastructuur op de dijk en de beperkte breedte van het zand-cunet dat de basis vormt voor de dijk.

Door een voorland of oeverdijk wordt de maatgevende belasting op de dijk tijdens een storm verminderd en hoeft de weginfrastructuur niet te worden aangepast. Met een voorland of oeverdijk kan de versterking van de Houtribdijk mogelijk goedkoper worden uitgevoerd of zelfs achterwege blijven. In eerdere studies zijn de traditionele mogelijkheden voor de versterking van de Houtribdijk geïnventariseerd (Wichman, 2009).

In deze studie worden kansen voor synergie van het zogenaamde Markermeermoeras met een veilige Houtribdijk geanalyseerd.

De vraag die de Werkmaatschappij (R. Balk, email dd 3 oktober 2011) aan Deltares gesteld heeft luidt:

*Wat kan het oermoeras (Het ecologisch perspectief van RWS, rapportage van TAUW en tussenrapport NMIJ) betekenen voor het verkleinen van de dijkversterkingsopgave van de Houtribdijk (remmen golfoploop, beperken golfaanval). Wat levert dat financieel op?*

*Als gezocht wordt naar een optimale en maximale synergie tussen ecologie, veiligheid en kosten, wat betekent dit voor de locatie en vorm van het oermoeras. Zijn er vanuit de dijkversterking aandachtspunten naar WMIJ mee te geven in relatie tot de realisatie van het oermoeras (do en don't).*

*Uitgangspunt is een aaneengesloten moerasgebied van ca 4000 ha (plus/min 500ha) gelegen tussen Trintelhaven en Lelystad met een habitatverdeling zoals in de rapportage van TAUW verwoord.*

*Ik ben mij er van bewust dat deze vraagstelling behoorlijk complex is om te beantwoorden. Daarom willen wij jullie vragen om het in twee stappen te doen:*

- a) - eerst een snelle verkenning / quick scan die wij nog mee kunnen nemen in ons Optimalisatierapport (dat wil zeggen uiterlijk 15 oktober beschikbaar);*
- b) - daarna een diepgaander onderzoek, uit te voeren in de context van de projectvoorbereiding voor de versterking van de Houtribdijk.*

*Voor onderdeel a) is de WMIJ opdrachtgever. De uitkomst daarvan moet de beslisinformatie opleveren voor bestuurders om te kunnen besluiten om onderdeel b) te gaan uitvoeren. Voor onderdeel b) zijn straks DG Water, Rijkswaterstaat en/of WMIJ naar verwachting de opdrachtgever.*

Deze verkenning is door Ir. M. van der Wal, Ir. M.B. de Vries en Dr. B.G.H.M. Wichman uitgevoerd. Het project is namens de Werkmaatschappij Markermeer IJmeer door de heer R. Balk begeleid.



## 2 Inventarisatie

De studie is begonnen met een korte inventarisatie van bestaande kennis uit eerdere studies en uitgevoerde projecten uit het gebied Markermeer, Noord-Hollandse kust in aansluiting op kennisvragen voor het oeverdijk project, toegespitst op de specifieke condities van de Houtribdijk.

De kenmerkende gegevens van de Houtribdijk zijn vastgelegd in het ontwerp van een legger (ministerie Verkeer en Waterstaat, 2009). De versterkingsopgave van een deel van de Houtribdijk is beschreven in (Wichman, 2009)

Het beeld van het grootschalige moeras is uitgewerkt door (Balkema et al, 2009). In een volgende stap heeft Haskoning het beeld verder uitgewerkt ten behoeve van het ontwerp van een pilot van het grootschalige moeras (Haskoning 2011a) en het monitoringsplan van deze pilot (Haskoning 2011b). Eerder uitgevoerde modelleringen aan een moeras met een omvang van 4500 ha gesitueerd in de oksel van de Houtribdijk bij Lelystad zijn samengevat in Boderie (2009).

De potentiële toepassingsmogelijkheden van het concept van een zachte kering of een bestaande kering versterkt met een zacht voorland is recentelijk ten behoeve van het Deltaprogramma geïnventariseerd (Fiselier et al, 2011). Een deel van de Noord-Hollandse dijken zijn ook onvoldoende veilig. Ter versterking van die dijken is het concept van een zachte oeverdijk geïntroduceerd (Haskoning 2010 of Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, 2010, van Meurs et al, 2010). Een variant van een oeverdijk is een zachte ecologisch geoptimaliseerde oeverdijk.

De belasting van de dijken en oevers van het Markermeer is ten aanzien van waterstanden en golfhoogten onderzocht door Verheij (Verheij, 2006). Belastingen door aanvaringen of door kruie ijs tijdens een vorstperiode worden in deze verkenning buiten beschouwing gelaten. De sterkte eigenschappen en de golfdemping van riet en biesmatten zijn door Verheij onderzocht (Verheij, 1994, 1995). Een verkennend onderzoek naar de golfdemping door drijvende wiepenmatten met wortelstekken van riet is recentelijk in de Deltagoot van Deltares uitgevoerd (van Steeg et al, 2011)

De te verwachten grondstromen in het gebied van het Markermeer zijn belangrijk voor de financiering van het Markermeermoeras en mogelijk ook voor de financiering van de dijkversterking (Slobbe et al, 2009). Ten behoeve van een beter inzicht in de kosten en de mogelijke financiering van die kosten is een kostenmodule gemaakt (Witmond et al, 2009)

## **3 Kansen**

### **3.1 Inleiding**

De kansen van het combineren van het versterken van de veiligheid van de Houtribdijk met het ontwerp van het Markermeermoeras worden in dit hoofdstuk bepaald.

Het Markermeermoeras wordt ontworpen voor de dagelijkse omstandigheden die bepalend zijn voor de ecologische ontwikkeling. Zeer extreme condities zijn minder van belang omdat die naar verwachting zelden zullen optreden en daarom de ontwikkeling van het moeras weinig beïnvloeden.

De veiligheid van de Houtribdijk wordt bepaald door berekening van de sterkte van de dijk onder zeer extreme condities. Die condities zijn in paragraaf 3.2 beschreven. Uit vorige toetsrondes is gebleken dat de veiligheid van de dijkvakken 4, 5 en 6 tussen de Trintelhaven en Lelystad onvoldoende is, zie figuur 3.1 voor de dijkvakken 4, 5 en 6. De daaraan ontleende versterkingsopgave is in paragraaf 3.3 beschreven

De vraag is hoe het moeras zich gedraagt onder die extreme condities en onder welke voorwaarden een moeras in die situatie een bijdrage aan de sterkte van de Houtribdijk kan leveren. Als uitgangspunt voor het beantwoorden van die vraag wordt een beeld van het Markermeermoeras in paragraaf 3.4 beschreven.

De kansen voor synergie vertalen zich in wensen en randvoorwaarden voor ontwerp van een moeras dat voldoende veiligheid biedt onder extreme condities ( paragraaf 3.5).

### **3.2 Hydraulische randvoorwaarden en normstelling Houtribdijk**

De hydraulische randvoorwaarden aan de Markermeerzijde van de Houtribdijk zijn bepaald voor dijkvak 4. Voor dijkvakken 5 en 6 is de belasting iets groter dan die voor dijkvak 4.



### 3.3 Versterkingsopgave Houtribdijk

De versterkingsopgave van de Houtribdijk kan uit verschillende onderdelen bestaan:

- 1) Reduceren van het overslagdebiet.
- 2) Herstellen van schade aan de bekleding of het vervangen van bekleding.
- 3) Verbeteren van het funderingscunet.

1) Het reduceren van het overslagdebiet.

Delen van dijkvakken 5 en 6 hebben in ontwerpomstandigheden een overslagdebiet  $> 10$  l/m/s en dijkvak 4 heeft deels een overslagdebiet  $> 1$  l/m/s (zie de hydraulische toetsing 2004). Het overslagdebiet kan worden gereduceerd door de volgende maatregelen:

- *Verhogen van de kruin.* Er is weinig ruimte voor het verhogen van de kruin, omdat de breedte van het cunet onder de dijk onvoldoende is voor een verhoging met dezelfde taludhellingen. Een alternatief is het ontwerpen van steilere taludhellingen.
- *Het plaatsen van een keermuur op de dijk.* Deze maatregel wordt toegepast in situaties waar weinig ruimte beschikbaar is voor een dijkverhoging of een dijkverhoging kostbaarder is dan de kosten van een keermuur.
- *Het aanbrengen van een voorland.* Dit kan met de aanleg van een moeras worden gecombineerd.

Een verlaging van het niveau van significante golfoploop betekent dat de dijk niet meer hoeft te worden verhoogd, en dat daardoor er geen problemen zullen optreden met de stabiliteit van de dijk als geheel.

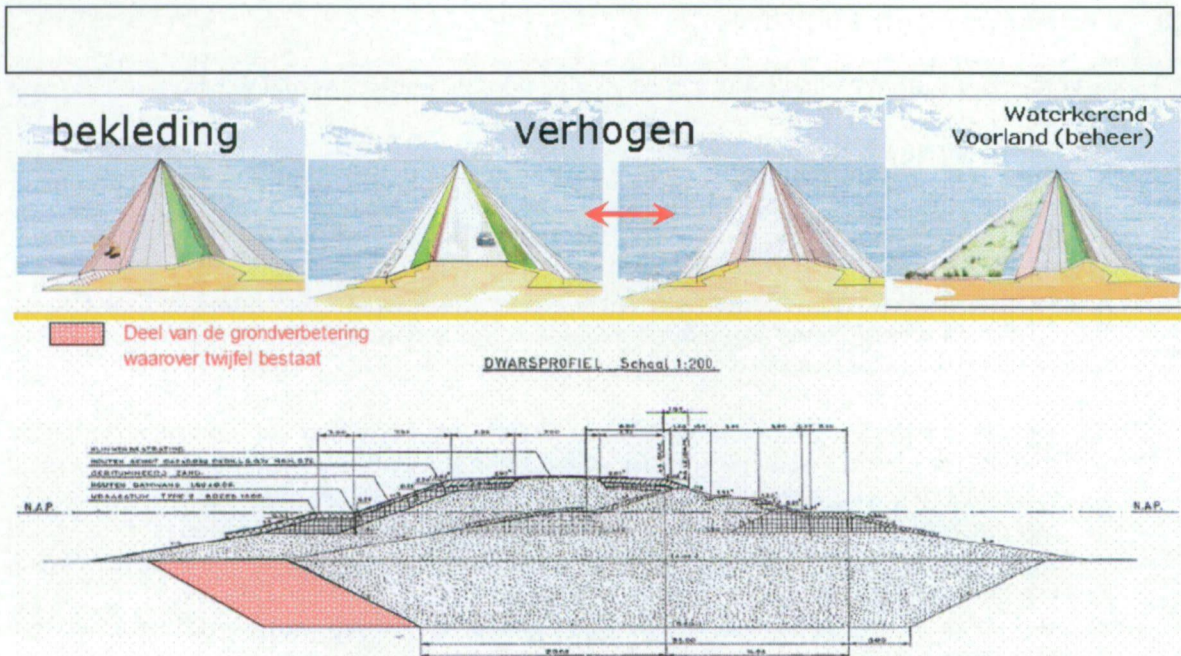
2) Het herstellen van de bekleding

De bekleding is afgekeurd omdat de steensortering te licht is en omdat er gaten, scheuren en verzakkingen van de bekleding zijn waargenomen. De bestaande bekleding moet daarom door een nieuwe bekleding worden vervangen.

Als de hydraulische belasting kan worden verminderd, dan kan worden bespaard op het materiaal van de bekleding door een kleinere dikte van de bekleding en een kleiner oppervlak van de bekleding. Dat leidt tot een kostenbesparing.

3) Verbeteren van het funderingscunet

Dit is een erg dure maatregel en technisch lastig, omdat de bestaande dijk met weginfrastructuur in tact moet blijven.



1

Figuur 3.2 Schets van de mogelijke versterkingsmaatregelen van de Houtribdijk uit de derde toetsing op veiligheid.

### 3.4 Het toekomstbeeld van het Markermeer IJmeer

De doelstelling van een toekomst bestendig ecologisch systeem TBES van het Markermeer IJmeer is uitgewerkt in de volgende vier basiselementen:

- Zones met helder water langs de kust  
Omdat de Flevolandse kust te diep is voor de ontwikkeling van waterplanten, is het basiselement "zones met helder water langs de kust" gespecificeerd in "zones met helder water langs de Noord-Hollandse kust". Een versterkte Houtribdijk met een breed voorland of een moeras levert een geringe bijdrage aan het verbeteren van de waterkwaliteit langs de Noord-Hollandse kust. De verbetering van de waterkwaliteit bij de Houtribdijk wordt over een grote afstand gemengd voordat het water de Noord-Hollandse kust bereikt en dan is die verbetering sterk afgenomen. Na de aanleg van het grootschalige moeras met een ondiepe waterzone langs de Houtribdijk is deze "heldere zone langs de Houtribdijk" ook een invulling van dit basiselement, omdat daar waterplanten kunnen groeien.
- Geleidelijke overgang van helder naar slibrijk water  
De inrichting van luwtestructuren, een voorland of een moeras langs de Houtribdijk kan aan een geleidelijke overgang van helder naar slibrijk water langs de Houtribdijk bijdragen. De inrichting bepaalt of sediment in suspensie kan bezinken in de oeverdijk of het voorland. Bijvoorbeeld in langzaam stromend water door een rietland kan veel gesuspendeerd sediment worden gevangen. Na bezinking van het gesuspendeerde sediment wordt het water helder.
- Grootschalige land-water zone  
Een voorland of een moeras gecombineerd met luwtestructuren langs de Houtribdijk heeft een aanzienlijke breedte en een grote lengte langs de dijk. Voor de breedte geldt

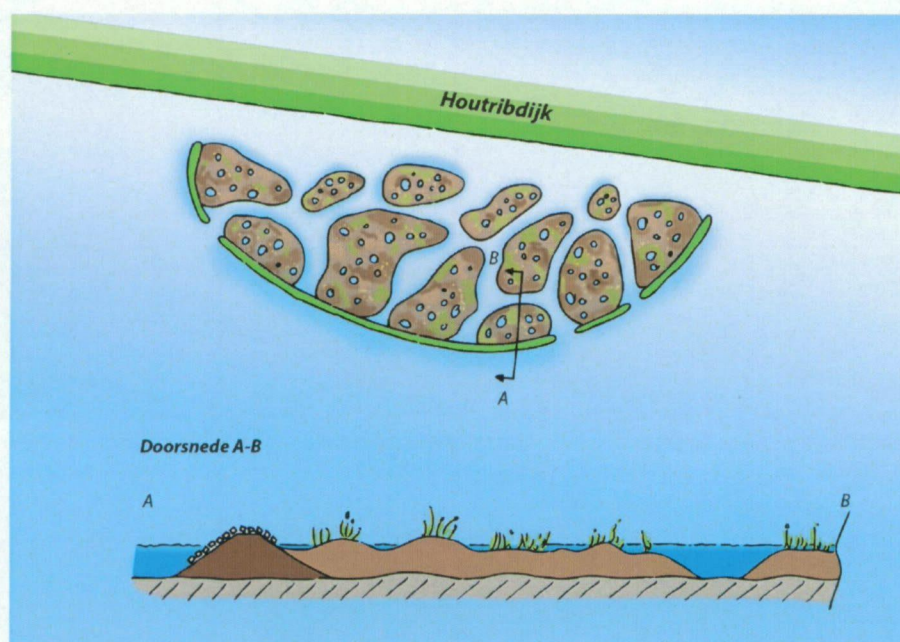
een minimum waarde om effectieve bijdrage aan de veiligheid van de dijk te kunnen leveren, maar er geldt geen maximum waarde. Er voldoende ruimte voor een grootschalige land-water zone.

- Ecologische relaties met binnendijkse natuur

Een oeverdijk of een moeras verbindt de natuur bij het naviduct Krabbersgat en de bestaande vooroeververdedigingen (golfbrekers in de vorm van zogenaamde hockeysticks) langs de dijk. Er ontstaat een groter en robuuster geheel. Afhankelijk van hoe ver het voorland of het moeras in zuidoostelijke richting wordt voortgezet, is de afstand tot de Zuigerplas in Lelystad en Oostvaardersplassen slechts enkele kilometers.

### 3.5 Het toekomstbeeld van het Markermeermoeras

Het beeld van het moeras is afhankelijk van het programma van eisen en het ontwerp van het moeras. De ontwerputgangspunten van het Markermeermoeras zijn in een aparte studie beschreven (J. Balkema et al, 2010). Nu wordt een pilot van Markermeermoeras voorbereid met een eigen programma van eisen (Haskoning, 2011a). Hier wordt uitgegaan van het beeld dat in een bijlage van het concept ontwerp van de pilot van het Markermeer moeras is opgenomen (Haskoning, 2011b in voorbereiding). Op moment van schrijven is dit rapport nog niet definitief. De schets getoond in figuur 3.3. is het meest actuele beeld van hoe het moeras er uit zou kunnen komen te zien.



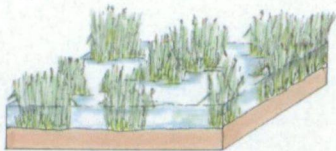




Figuur 3.3: Indicatieve schets van de plattegrond en dwarsdoorsnede van het Markermeer moeras (let op: afstanden zijn niet in verhouding) (Haskoning, 2011b).

De volgende informatie is overgenomen uit een beschrijving van het Markermeermoeras door Haskoning (Haskoning 2011).

Een moeras bestaat uit meer water (ondiep, plasdras) dan uit land. Het water en het moeras hebben een kleiige bodem (voedselrijk) en verlandings heeft nog niet plaatsgevonden. Het gebied is visrijk en rijk aan water- en moerasvogels. Het milieu is dynamisch met

overstromingen, peilvariaties en erosie- en sedimentatiegebieden door golven, stroming en kruierend ijs. Een korte beschrijving van de bouwstenen waaruit een moeras idealiter wordt opgebouwd is opgenomen in Tabel 3.1. Deze bouwstenen gelden voor het uiteindelijke moeras. De pilot zal niet uit al deze bouwstenen hoeven te bestaan.

Tabel 31: Bouwstenen van een moeras.

Bouwsteen	Niveau (m + NAP))	Grootte
Plasdras 	0 tot -0,5	Bouwsteen is 400 – 500 ha
Oeverzone 	0 tot -2	Contact-zone
Geul of kreek 	0 tot -2	Bouwsteen is 5 km
Slik of plaat 	0,3 tot -0,3	Geëxponeerd bouwsteen is 5 – 25 ha
Ondiep water 	-0,5 tot -2	

Het wensbeeld van het Markermeermoeras bestaat uit combinaties van bouwstenen, waarbij het eindresultaat een afwisselend beeld geeft, zie plattegrond in figuur 4.1.

Het algemene beeld van het grootschalige moeras is een uitgestrekt rietmoeras met hier en daar hogere gedeelten met ruigte en bomen. Het moeras wordt begrensd door een buitenrand. De buitenrand kan verdeeld worden in secties: een sectie die grenst aan het

Markermeer en die door hoge golven kan worden belast (ongeveer  $H_s = 2,5$  m) en een sectie van de buitenrand die voor de Houtribdijk ligt en die voor een geringe hydraulische belasting wordt ontworpen. De buitenrand kan een gesloten rand vormen of een rand met hier en daar openingen.

### 3.6 Hydraulische randvoorwaarde buitenrand

De beoogde werking van het moeras is om door een combinatie van ondieptes en begroeiing binnenkomende golven te dempen tijdens extreme condities zodat de hydraulische belasting op de Houtribdijk wordt gereduceerd.

De buitenrand kan worden ontworpen voor dezelfde criteria als toegepast bij het ontwerp van een golfbreker (B. Wichman, 2009):

Schade bij 1:100 jaar conditie: "initial", d.w.z. schadegetal  $S = 2$ ;

Schade bij 1:10.000 jaar conditie: "intermediate", d.w.z. schadegetal  $S = 6$ .

Uitgangspunt is dat de buitenrand openingen heeft en dat de waterstand in het moeras de waterstandsverhoging op het Markermeer volgt.

Indien de buitenrand zonder openingen aansluit op de Houtribdijk, dan kan de waterstand in het moeras lager zijn dan op het Markermeer ten tijde van de 1:10.000 jaar storm. Deze variant wordt niet nader beschouwd op basis van het in paragraaf 3.5 geschetste beeld van het moeras. Met een gesloten buitenrand wordt aan het verbeteren van de waterkwaliteit in het Markermeer geen bijdrage geleverd. De natuurlijke dynamiek (erosie en sedimentatie) van een moeras zal klein zijn bij een gesloten buitenrand.

### 3.7 Kansen en voorwaarden

Ecologen wensen enige dynamiek in het moeras waarbij op sommige plekken verlande stukken weer eroderen zodat de ontwikkeling van de vegetatie opnieuw kan starten. Bij een extreme 1:10.000 jaar storm is het gewenst de dynamiek in het moeras en de buitenrand te beperken om ook in die situatie een betrouwbare bijdrage te kunnen leveren aan de veiligheid van de Houtribdijk. Bij voldoende robuust ontwerp is dynamiek toelaatbaar omdat voldoende golfremming dan te allen tijde kan worden gegarandeerd,

Het moeras biedt kansen voor een veilige Houtribdijk als aan de volgende randvoorwaarden wordt voldaan. Tijdens extreme storm kan het moeras de hydraulische belastingen reduceren door het beperken van de golfhoogte in het moeras, via het beïnvloeden van de volgende aspecten:

- Beperken van de strijklengte,
- Beperken van de waterdiepte,
- Vergroten van de bodemruwheid door begroeiing en
- Absorberen van golfenergie door vastzittend, drijvend en ophopend organisch materiaal

Tijdens die extreme storm wordt de sterkte van het moeras bepaald door de sterkte van de begroeiing. Uit proeven is gebleken dat rietstengels breken bij een frequente en langdurige (vele uren) golfbelasting met  $H_s > 0,3$  m en mattenbiesstengels bij een  $H_s > 0,2$  m (Verheij, 1994). Tijdens kortdurende belasting (enkele uren) kunnen rietstengels een belasting tot  $H_s = 0,4$  m weerstaan (Verheij, 1994).



Nadat rietstengels en stengels van mattenbies zijn afgebroken blijft een taai rietwortelstelsel achter. Een rietwortelstelsel heeft ongeveer 5 tot 10 jaar nodig om zich te ontwikkelen. Daarna heeft het waarschijnlijk een aanzienlijke sterkte en kan de golfbelasting gedurende een storm opnemen. Deze sterkte is een kennisleemte en het verdient aanbeveling die nader te onderzoeken. Rietvelden op basis van doorwortelde rijsmatten zijn mogelijk aanzienlijk sterker vanaf het moment van aanbrengen.

### **Versterken onbeschermd gebied**

Gebieden die in het moeras niet met riet zijn begroeid en door golven worden aangevallen kunnen met wiepenroosters versterkt met rietmatten en of zinkstukken worden versterkt. Dit geldt voor geulen in het moeras. Om grootschalige erosie tegen te gaan, dienen de strijklengten en/of de waterdiepten van geulen in het moeras te worden beperkt.

### **Beperken van de strijklengte**

Door de strijklengte te beperken tot enkele honderden meters blijft de golfgroei in het moeras beperkt, zie ook resultaten oeverdijk studie en bijbehorende modelberekeningen (Verheij, 2006)

### **Begroeiing**

Opgaande begroeiing in een strook enkele tientallen meters breed evenwijdig langs de Houtribdijk veroorzaakt een effectieve demping van inkomende golven en reduceert de golfgroei benedenwinds van de begroeiing. Dit effect is analoog aan het effect dat voor een groene golfremmende dijk in de Noordwaard is berekend. Hier lijkt een binnenrand met een hoogte van tenminste 0,5 m boven het hoogste meerpeil voor de ontwikkeling van bomen en een breedte van ongeveer 80 meter voldoende om tenminste 70% van de inkomende golfhoogte tijdens een extreme storm weg te nemen.

### **Drijvend plantaardig materiaal dempt golven**

De geweldige hoeveelheid drijvend plantaardig materiaal wordt tijdens een storm richting de Houtribdijk geblazen. Het drijvende en plantaardige materiaal kan de golfbelasting op de Houtribdijk aanzienlijk reduceren. In de Deltagoot van Deltares zijn in 2010 enkele verkennende proeven naar de golfdemping door drijvende rijsmatten met succes uitgevoerd (Steeg et al, 2011). Deze proeven wijzen hebben een golfdempende werking van die rijsmatten aangetoond.

### **Aanlegfase**

Tijdens de aanlegfase is er minder synergie, dat betekent dat met de aanleg van het moeras moet worden begonnen, ruim voordat de veiligheid van de Houtribdijk in orde moet zijn.

### **Conclusie**

Bovenstaande randvoorwaarden kunnen tegen de ecologische doelstellingen van het moeras worden afgewogen. In het huidige stadium van het ontwerp van het moeras lijkt het goed mogelijk om aan deze randvoorwaarden te voldoen.

De ontwerprandvoorwaarden van de buitenrand dienen speciale aandacht. Het zou kunnen zijn dat de hydraulische randvoorwaarden voor het ontwerp van de buitenrand lichter zullen zijn dan de hydraulische randvoorwaarden vereist voor het weerstaan van een 1:10.000 jaar storm met beperkte schade als het moeras areaal voldoende robuust wordt ontworpen

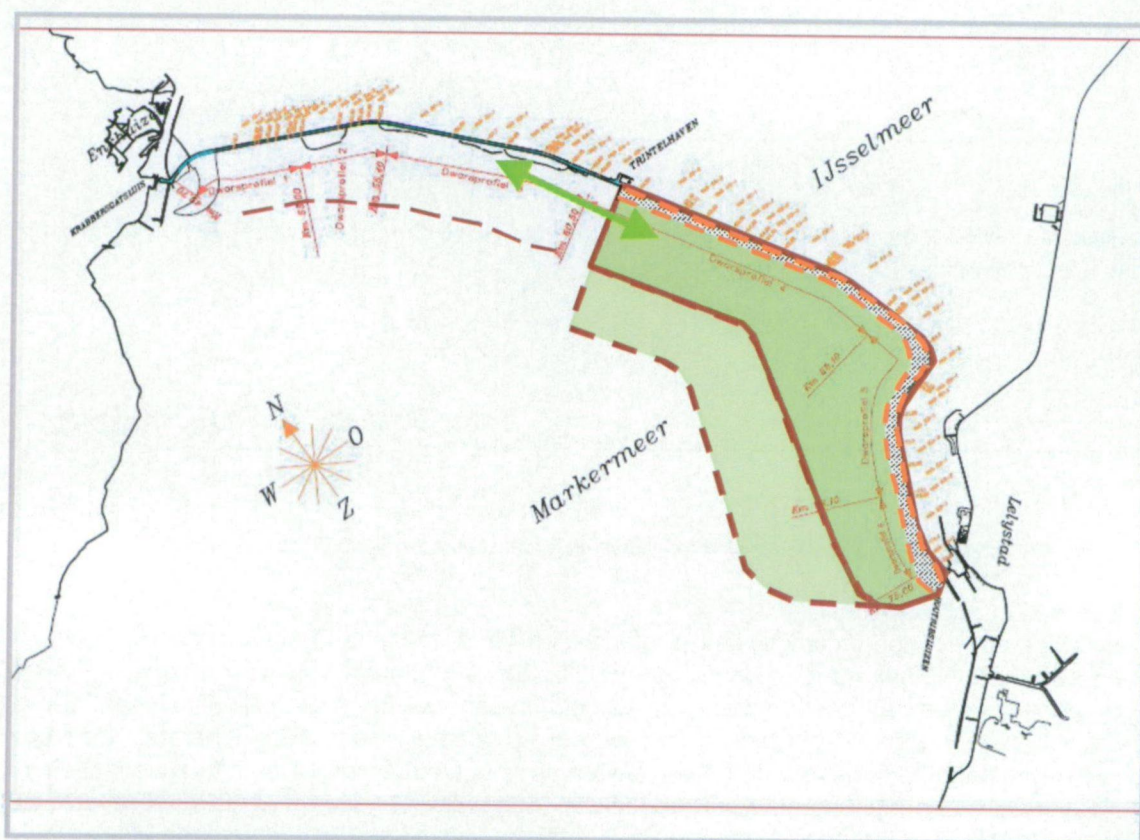
Belangrijk is om rekening te houden met een aanlegperiode van ten minste 5 jaar voordat het moeras daadwerkelijk bijdraagt aan het reduceren van de belasting op de Houtribdijk. Evenwel elke verondieping, zelfs nog zonder moerasvegetatie, zal de inkomende maximale golfhoogte al reduceren.

## 4 Ontwerpvarianten

Met de beschikbare kennis zijn enkele ontwerpvarianten van natuurlijke zachte oplossingen geselecteerd die in meer of mindere mate een bijdrage leveren aan de versterkingsopgave van de Houtribdijk.

### 4.1 Plattegrond

Bij de omvang van het Markermeermoeras wordt gedacht aan een oppervlakte van ten minste 4.000 ha om de habitatdiversiteit te vergroten. De werkelijk te realiseren grootte is afhankelijk van beschikbaar budget en van de grondstromen. Voor een optimale combinatie van de dijkversterking van de Houtribdijk met de aanleg van een Markermeermoeras is een langgerekte vorm van het Markermeermoeras gewenst, zodanig dat het Markermeermoeras voor de beschouwde 15 kilometer van de Houtribdijk komt te liggen, bijvoorbeeld zoals geschetst in figuur 4.1.

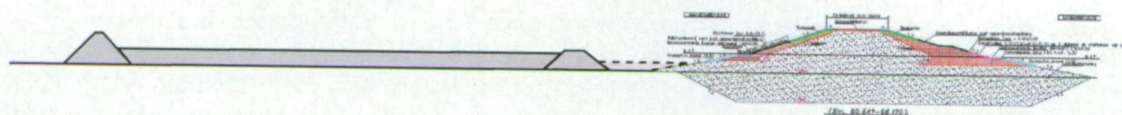


- Groen = voorgestelde vorm van het grootschalige moeras
- Oranje = voorgestelde versterking van de Houtribdijk met een voorland
- Groene pijlen = verbinding met bestaande natuurontwikkeling langs de Houtribdijk
- Bruin = rand van het moeras (getrokken eerste fase, streep – streep mogelijke volgende fasen)

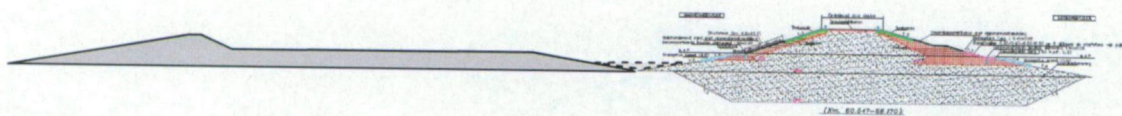
Figuur 4.1 Plattegrond van het Markermeermoeras.

## 4.2 Dwarsprofielen

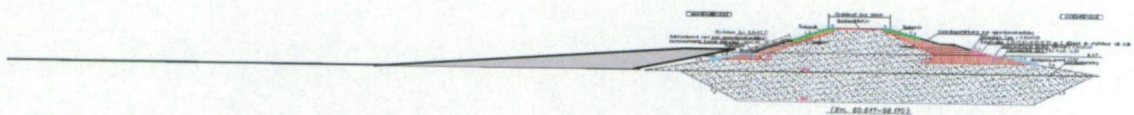
Drie varianten van de combinatie van Markermeermoeras en versterking van de Houtribdijk worden nader beschouwd, zie figuren 4.2, 4.3 en 4.4. Het dwarsprofiel van de Houtribdijk is afkomstig uit de legger (Min Verkeer en Waterstaat, 2009). In alle varianten volgt de waterstand voor de Houtribdijk de waterstand op het Markermeer. Dat betekent tijdens de 1:10.000 jaar storm een waterstand van ongeveer 1,6 m + NAP. Doelstelling van de ontwerpen is om de golfbelasting op de dijk tot nagenoeg nul te reduceren, waardoor verdere versterking van de dijk niet meer nodig is.



Figuur 4.2 Schets 1 van het dwarsprofiel van de Houtribdijk met Markermeermoeras met een harde buitenrand en een harde binnenrand (niet op schaal)



Figuur 4.3 Schets 2 van het dwarsprofiel van de Houtribdijk met het Markermeermoeras met een zachte buitenrand en een zachte binnenrand (niet op schaal)



Figuur 4.4 Schets 3 van het dwarsprofiel van de Houtribdijk met een zacht voorland (niet op schaal)

### Toelichting Schets 1:

Het Markermeermoeras krijgt in deze variant een harde buitenrand aan de Markermeerszijde en een harde binnenrand voor de Houtribdijk. De afmetingen van de buitenrand komen ongeveer overeen met het ontwerp van een golfbreker voor de Houtribdijk (Wichman, 2009). De kruinhoogte van de buitenrand kan worden geoptimaliseerd. De binnenrand heeft een lagere kruinhoogte ongeveer een meter boven de hoogste meerpeil. De natte zone tussen de Houtribdijk en de binnenrand wordt gedeeltelijk opgevuld met slib en heeft een breedte van ongeveer 100 m. Daardoor ontstaat er een ondiepe waterzone waar tijdens een storm kleine golven worden opgewekt. Deze zone heeft een diepte van 1 tot 2 tot ten opzichte van NAP. Tijdens een storm kunnen golven worden opgewekt met een hoogte van 0,5 tot maximaal 0,9 m. De geotechnische stabiliteit van deze natte zone gedeeltelijk opgevuld met slib moet nader worden onderzocht mede in verband met de mogelijk beperkte breedte van het cunet onder de dijk. Het is mogelijk dat de geotechnische stabiliteit eisen stelt aan de uitvoering, bijvoorbeeld een gefaseerde uitvoering.

De golfbelasting op de Houtribdijk kan verder gereduceerd worden door de natte zone tussen de dijk en het moeras gedeeltelijk op te vullen met een enkele meters dikke sliblaag.

#### Toelichting schets 2:

Het Markermeermoeras krijgt in deze variant een zachte buitenrand aan de Markermeerzijde en een zachte binnenrand voor de Houtribdijk. De zachte, met riet en ruigte begroeide binnenrand levert een prachtig glooiende oever richting Houtribdijk, zoals achter de hockeysticks. Een zachte buitenrand heeft een flauwe taludhelling die afhankelijk is van de grootte van de deeltjes in de toplaag. Naarmate de deeltjes groter zijn, kan het talud steiler worden aangelegd. De kruin van een zachte, begroeide buitenrand ligt ongeveer op 1,5 m boven NAP. De taludhelling en de kruinhoogte zijn aspecten die in een ontwerp kunnen worden geoptimaliseerd.

De natte zone tussen de Houtribdijk en de binnenrand heeft een maximum breedte van ongeveer 100 m. In deze waterzone worden tijdens een storm golven opgewekt, omdat deze zone een diepte heeft van 4 tot 5 tot ten opzichte van NAP. Tijdens een storm kunnen golven worden opgewekt met een hoogte van minder dan 1m (zie Verheij, 2006).

De golfbelasting op de Houtribdijk kan verder gereduceerd worden door de natte zone tussen de dijk en het moeras gedeeltelijk op te vullen met een enkele meters dikke sliblaag.

#### Toelichting schets 3

De Houtribdijk is in deze variant versterkt met een langzaam oplopend voorland tot een hoogte van ongeveer 1 m + NAP. De breedte van het voorland is ongeveer 300 m en de helling is ongeveer 1:50. De hoeveelheid materiaal is ongeveer 900 m<sup>3</sup>/m (900.000 m<sup>3</sup>/km). In een optimalisatieslag kan dat aanzienlijke volume naar verwachting worden verminderd. Het voorland bestaat uit slib opgesloten met bijvoorbeeld een buitenrand bestaande uit geotube en afgedekt met een laag zand. Onderzocht dient te worden welke eisen aan het zand worden gesteld. Het is mogelijk dat een deel van de toplaag (daar waar golfwerking nog aanzienlijk is) versterkt dient te worden door het zand bijvoorbeeld af te dekken met een laag grind of met een wiepenrooster met rietzoden. Het wortelstelsel van riet kan wellicht ook bijdragen aan het vergroten van de stabiliteit van de toplaag. Richting dijk kan het voorland variabel worden ingericht (analogie met ontwerp oeverdijk)

De combinatie begroeiing en hoogte van het hoogste deel van het voorland geeft een additionele en mogelijk complete reductie van de golfbelasting op de Houtribdijk. Bij het ontwerp en de uitvoering moet waarschijnlijk aandacht besteed worden aan de draagkracht van de bodem.

De variant van een voorland met een harde buitenrand in de vorm van een golfbreker is in detail uitgewerkt in een voorgaande studie (Wichman et al, 2009). Deze variant heeft als nadeel dat de golfbreker overbodig wordt als in een later stadium voor de golfbreker het Markermeermoeras wordt aangelegd. Onze uitgangspunt is dat de aanleg van een voorland een no-regret maatregel moet zijn, in afwachting van de aanleg van een groter moeras systeem. Dit maakt een zachte buitenrand een gewenste voorwaarde omdat dit goed aansluit bij het moeras en er zelfs onderdeel van kan uitmaken.

Een combinatie van een vooroever afgewisseld met aanleg van een robuuste variant van de zachte binnenrand van het grootschalige moeras is interessant omdat dan hier en daar helder, rustig water langs de Houtrib ontstaat met voldoende veiligheids nivo met prima kansen voor verdere uitbreiding van moeras aan Markermeerzijde.

## 5 Haalbaarheid

Globale analyse van haalbaarheid van ontwerpvarianten inbreng van aspecten zoals veiligheid, uitvoerbaarheid, toetsbaarheid, aanleg- en onderhoudskosten, ecologische baten en risico's en openstaande kennisvragen.

### 5.1 Grondstromen

In een verkenning van de te verwachten grondstromen in het Markermeer-IJmeer in de periode 2010 – 2040 zijn het aanbod en de vraag naar grond en zand geïnventariseerd (Slobbe et al ,2009) en recent door Ecorys (Witmond, 2011). In dit laatste genoemde concept rapport wordt beschreven dat de Werkmaatschappij Markermeer – IJmeer een optimalisatie van natuurontwikkelingsprojecten heeft voorgesteld om de kosten van de aanleg te reduceren. Bijvoorbeeld is voorgesteld het grootschalige moeras gefaseerd aan te leggen en elke fase op effectiviteit te onderzoeken. Het 'eindbeeld' is niet aangepast en bedraagt 4.500 hectare. Rekening houdend met deze optimalisaties is er zowel voor zand als grond een bandbreedte opgesteld, zie tabel 5.1

Tabel 5.11 Grond en zand in verhouding.

	grond en zandvraag in Mm <sup>3</sup> en %	
	min	max
Totale vraag zand	118	201
Totale vraag grond met 1e fase moeras	88	113
<i>Verhouding grond 1e fase / zand</i>	<i>75%</i>	<i>56%</i>
Totale vraag grond met 2e fase moeras	200	242
<i>Verhouding grond 1e en 2e fase / zand</i>	<i>169%</i>	<i>120%</i>

Uit tabel 5.1 blijkt dat de benodigde hoeveelheden zand en grond redelijk in evenwicht zijn. Hierbij moet worden opgemerkt dat fasering van de projecten belangrijk is om daadwerkelijk de gecombineerde winning van zand en grond goed mogelijk te maken. Daarbij is het gewenst dat het vullen van het grootschalige moeras met grond zich aanpast aan het ritme van de zandvraag. Omdat de gevraagde hoeveelheden van grond en zand redelijk in evenwicht zijn, kan bij gecombineerde winning bijvoorbeeld een laag van 5 meter grond worden gecombineerd met 2,5 tot 5 meter zand. In die verhouding wordt een eenheid zandwinning gecombineerd met 1 tot 1,5 eenheden grond voor de natuur.

Grote grondvragers zijn de vooroever bij de Lepelaarsplassen en het grootschalige moeras. In de ramingen is rekening gehouden met een grote slibput, waar veel grond uit gewonnen kan worden.

Op zich beschikt het Markermeer/IJmeer over voldoende materiaal om aan de vraag te voldoen. Dus; als er toestemming verkregen wordt voor het ontgraven van meer grond en zand voor de te maken werken, dan is er geen probleem. De grondbalans kan dan altijd gesloten gemaakt worden.

## 5.2 Combinatie met Markermeermoeras

De varianten van het Markermeermoeras voor de Houtribdijk met een diepe of een ondiepe natte zone kunnen de maatgevende golfbelasting sterk reduceren. Daarmee wordt de versterkingsopgave ruwweg gehalveerd en bij een optimaal ontwerp en beheer is de golfbelasting op de Houtribdijk verwaarloosbaar. De grondvraag is aanzienlijk en overstijgt aanbod. Dat betekent dat er goede kansen om te winnen zand tegen een goede prijs te vermarkten, mits het bovenliggende materiaal nuttig kan worden gebruikt

Kennisleemten zijn de sterkte van een ontwikkeld wortelstelsel van riet in het moeras en de golfdempende werking van een dikke laag bestaande uit drijvende rietstengels.

Onzeker is wanneer het Markermeermoeras wordt aangelegd. De bijdrage van het Markermeermoeras aan het reduceren van de belastingen ontwikkelt zich in enkele jaren na de aanleg. Indien de versterking van de Houtribdijk voor 2020 moet zijn uitgevoerd, dan betekent dit dat de daadwerkelijke aanleg van het Markermeermoeras rond 2015 dient te starten. De variant van de zachte buiten- en de zachte binnenrand leent zich zeer goed voor een gefaseerde aanleg waarbij in een volgende fase van de aanleg een bestaande zachte buitenrand opgenomen wordt in het moeras en meer naar buiten een nieuwe zachte buitenrand wordt aangelegd

### *Variant met harde randen*

De variant van het Markermeermoeras met een harde buitenrand en een harde binnenrand wordt door weinig flexibiliteit gekenmerkt voor toekomstige uitbreidingen of een gefaseerde aanleg. De bijdrage van deze variant aan de veiligheid van de Houtribdijk is vrij nauwkeurig met de bestaande kennis te bepalen. De kosten van de aanleg kunnen daarom beschouwd worden als de kosten van de referentievariant.

### *De variant met zachte randen*

De variant van het Markermeermoeras met zachte randen wordt gekenmerkt door een grote flexibiliteit voor toekomstige uitbreidingen of een gefaseerde aanleg. De bijdrage van deze variant aan de veiligheid van de Houtribdijk is onzeker door enkele kennisleemten en de onzekere morfologische dynamiek van zachte randen. De kosten van deze variant kunnen in potentie lager zijn dan de kosten van de referentievariant. Omdat voor de aanleg veel grond en zand nodig is de prijs van zand en grond in sterke mate bepalend voor de totale kosten van deze variant.

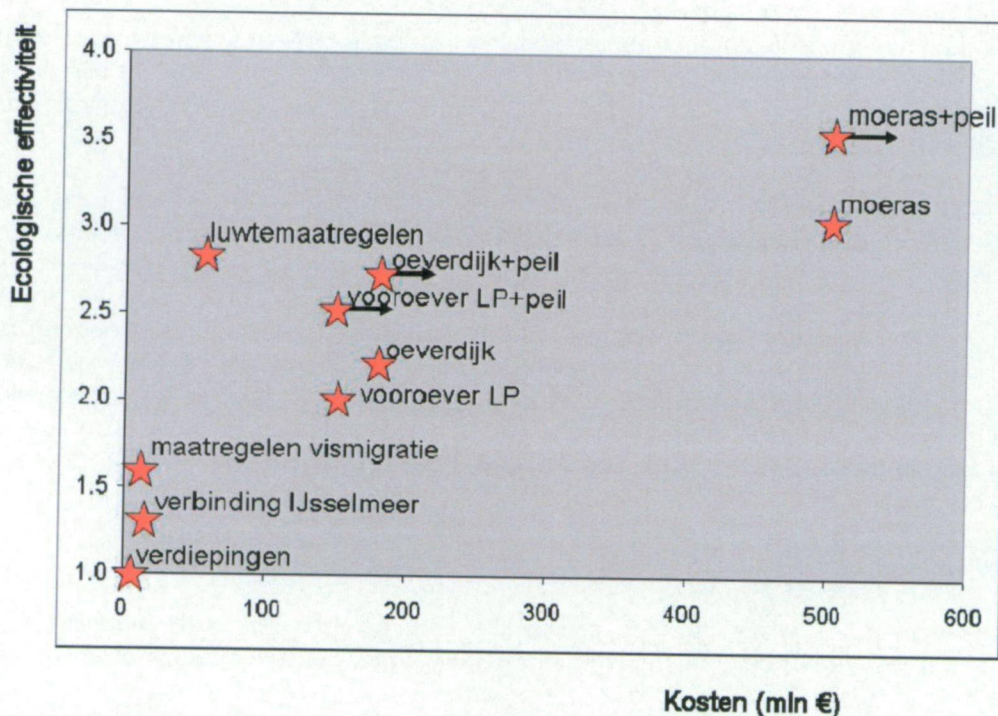
De aanbevelingen zijn:

- Verricht onderzoek naar de kennisleemten en
- Vergroot het inzicht in de prijs van grond en zand.

De ecologische effectiviteit en de kosten van de volgende maatregelen zijn door Haskoning (Haarman, 2011) met elkaar vergeleken:

- Luwtmaatregelen Noord-Hollandse kust,
- Verdiepingen,
- Oeverdijken Noord Holland (huidig peil),
- Oeverdijken Noord-Holland (seizoensgebonden peil),
- Grootschalig moeras (huidig peil),
- Grootschalig moeras (seizoensgebonden peil),
- Vooroever Lepelaarsplassen (huidig peil),
- Vooroever Lepelaarsplassen (seizoensgebonden peil),
- Verbinden watersystemen binnendijks – buitendijks,
- Semi-open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer en
- Maatregelen vismigratie.

De ingeschatte ecologische effectiviteit van deze maatregelen is uitgezet tegen de kosten van die maatregelen, zie figuur 5.1 De ecologische effectiviteit is daarbij gedefinieerd als de gewogen bijdrage van de maatregel aan de verschillende ecologische doelen (N2000 doelen voor 50 %, KRW doelen voor 30 % en EHS doelen 20 %). Uit deze figuur blijkt dat een vooroever en een oeverdijk gunstig afsteken tegen de andere maatregelen. De kosten van de aanleg van een grootschalig moeras zijn relatief hoog, daarom is het juist dat mogelijkheden voor het reduceren van die kosten door een gefaseerde aanleg worden onderzocht (Witmond 2011).



Figuur 5.1 Kosten en ecologische effectiviteit van verschillende maatregelen (F. Haarman, 2011).

### 5.3 Variant met voorland

De variant van het versterken van de Houtribdijk met een voorland kan onafhankelijk van de aanleg van het Markermeermoeras worden uitgevoerd. Het voorland kan mogelijk goed aansluiten op het Markermeermoeras. Het Markermeer is een Natura 2000 gebied.



In zo een gebied kunnen voorwaarden worden gesteld aan het type voorlandoplossingen. Eerste schatting van grond- en zandvraag is ongeveer 15 miljoen m<sup>3</sup>.

De kosten van het voorland kunnen voor een deel worden gedekt op de wijze waarop het Markermeermoeras gefinancierd zal worden. Door op de winlocatie eerst een laag slib te verwijderen en te gebruiken voor het opbouwen van het voorland, kan daarin zand gewonnen worden. Het voorstel is om een deel van het zand te vermarkten en een deel van het zand te gebruiken als toplaag van het voorland.

Afhankelijk van de grondstromen wordt een keuze gemaakt voor de winlocatie van de benodigde grond. Met het verwijderen van een deel van de sliblaag in het Markermeer draagt de aanleg van dat voorland bij aan de ecologische verbetering van het Markermeer.

Met deze wijze van financiering kan naar verwachting bespaard worden op het budget begroot voor de versterkingsopgave van de Houtribdijk.

Deze variant is zonder risico's voor 2020 uit te voeren en past globaal binnen de nu bekende grondbalans.

De aanleg van het Markermeermoeras kan leren van de ervaringen met de aanleg van het voorland.

Het lijkt in potentie mogelijk dat met deze oplossing meer dan 50% bespaard worden op de begrote versterkingsopgave van de Houtribdijk omdat dan waarschijnlijk ook het vervangen van de te lichte bekleding niet meer nodig is. Het verdient aanbeveling deze oplossing nader te onderzoeken.

Het voorland kan per dijkvak gefaseerd worden aangelegd. Het voorland zelf kan in fases op gebouwd in verband met zettingen en consolidatie van de grond en de draagkracht van de ondergrond.

Onderzocht dient te worden welke eisen aan het zand worden gesteld. Het is mogelijk dat een deel van de toplaag (daar waar golfwerking nog aanzienlijk is) versterkt dient te worden door het zand bijvoorbeeld af te dekken met een laag grind of met een wiepenrooster met rietzoden. Het wortelstelsel van riet kan wellicht ook bijdragen aan het vergroten van de stabiliteit van de toplaag. Richting dijk kan het voorland variabel worden ingericht (analogie met ontwerp oeverdijk

#### **5.4 Bestuurlijke implicaties van een voorland**

De provincie heeft de wens dat de provinciale weg gelegen op de Houtribdijk wordt verbeterd. De ze verbetering is gepland om tegelijk met de dijkverbetering te worden uitgevoerd.

In 2009 had men de volgende uitgangspunten bij de beoogde dijkverbetering van de Houtribdijk:

- Het realiseren van een veiligheidsniveau van 1:10.000 omstreeks 2020,
- De verkeersfunctie van de weg op de dijk blijft in stand,
- Waarborging van de toegankelijkheid en voldoende veiligheid voor het scheepvaartverkeer en
- Geen maatregel die een verdergaande versterking (zoals voorgesteld door de Commissie Veerman) belemmert en die een uitbreiding van de verkeersfunctie beperkt.

Sinds enige tijd is het werk aan de planstudie stilgelegd, ten gevolge van een herprioritering binnen het HWBP. De start notitie M.E.R. is nog niet gereed gekomen. De oplossingsrichtingen uit figuur 3.2 uit paragraaf 3.3 waren nog wel in de scope van deze startnotitie.

Vooralsnog kan men er dus van uit gaan dat de beoogde dijkverbetering nog ruimte biedt voor een golfremmend voorland, mits de kosten hiervan opwegen tegen de besparingen op de dijkversterking, of mits er medefinanciering komt voor dit voorland.

## 6 Samenvatting en conclusies

### 6.1 Veiligheidsprobleem Houtribdijk kan worden opgelost door aanleg vooroever/moerasgebied

Bij de laatste vijfjaarlijkse toetsing volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid is vastgesteld dat de Houtribdijk niet voldoet aan de vereiste veiligheidsnorm van 1/10.000 per jaar. Het betreft de veiligheid van de dijkvakken 4, 5 en 6 tussen de Trintelhaven en Lelystad. Door de Houtribdijk te versterken zal de dijk aan de veiligheidsnorm kunnen voldoen. De versterking van de Houtribdijk zal een combinatie zijn van de volgende twee onderdelen, (1) reduceren van het overslagdebiet en (2) herstellen van schade aan de bekleding of het vervangen van bekleding. Bij deze versterking moet rekening worden gehouden met de weginfrastructuur op de dijk en de beperkte breedte van het zand-cunet dat het fundament vormt voor de dijk, die de mogelijkheden om de harde kern van de dijk te verbreden zeer beperkt.

Een moeras, aangelegd als vooroever/moerasgebied langs de sectie Trintelhaven - Lelystad draagt bij aan de veiligheid van de dijk, omdat vooroever/moerasgebied de significante golfoploop verlaagt en de hydraulische belasting vermindert. Immers:

- 1) Een verlaging van het niveau van significante golfoploop betekent dat de dijk niet meer hoeft te worden verhoogd, en dat daardoor er geen problemen zullen optreden met de stabiliteit van de dijk als geheel;
- 2) Als de hydraulische belasting op de dijk kan worden vermindert, dan kan worden bespaard op het materiaal van de bekleding door een kleinere dikte van de bekleding en een kleiner oppervlak van de bekleding.

### 6.2 Om veiligheid te waarborgen moet vooroever/moerasgebied aan voorwaarden voldoen

Een optimaal veilig moeras heeft een langgerekte vorm, ligt langs de dijk tussen Trintelhaven en Lelystad en reduceert de golfaanval tot nagenoeg nul op de dijk. Om veiligheid te waarborgen moeten vanuit de Markermeer binnenkomende golven tijdens extreme condities voldoende worden geremd om de hydraulische belasting op de Houtribdijk voldoende te reduceren.

Tegelijkertijd moet het vooroever/moeras voldoende robuust zijn om deze golfdempende werking voldoende lang te realiseren (oftewel het moeras mag niet zwaar worden beschadigd door een extreme storm of een serie van stormen).

Bepalende parameters zijn beperking van de strijklengte, beperking van de diepte, het vergroten van de bodemruwheid en –stabiliteit door begroeiing, absorberen van golfenergie door aanwezige biomassa en een dynamisch stabiele buitenrand en stabilisatie van niet-begroeiende gebieden die door golven worden aangevallen.

Dynamiek (erosie en aangroei, vegetatie successie, graas en vraat) is geen veiligheidsprobleem als het moerasgebied voldoende robuust is ontworpen.

Een optimaal veilig moeras vertegenwoordigt een grote natuurwaarde en draagt bij aan de doelstellingen zoals geformuleerd in TBES. Uit een analyse van Haskoning in een notitie betreffende de hypothese van NMIJ (Haarman, 2011) kan worden afgeleid dat de ecologische waarde van zo'n moeras waarschijnlijk ergens tussen de waarde van de Oeverdijk en die van het grootschalige moeras in zal liggen.

Precieze inschatting van de gerealiseerde waarde is gekoppeld aan de grootte, de inrichting van het ontwerp en vereist een nadere uitwerking.

Een geschikt dwarsprofiel kan bestaan uit een combinatie van een harde of een zachte buitenrand aan de Markermeerzijde, met een zachte binnenrand langs de Houtribdijk, met tussen de dijk en de binnenrand, een zone van rustig en helder open water, welke voldoende ondiep en smal is om golfvorming te beperken (maximaal 500 meter breed). Een mogelijke variant hiervan gaat uit van de snelle aanleg van een stabiel, veilig en volledig zacht voorland, dat hier en daar aansluit aan de dijk, en hier en daar open water langs de dijk toelaat, die als basis gaat dienen van een stapsgewijze uitbreiding van het moerasgebied, richting Markermeer. Dit voorland kan voldoende stabiel, hoog en begroeid zijn om de Houtribdijk te vrijwaren van golfwerking.

### **6.3 Aanleg van zacht, veilig voorland/moerasgebied in fasen bespaart geld en is toch voldoende veilig**

Aanleg van een voorland als start van Markermeermoeras resulteert in een grote flexibiliteit voor toekomstige uitbreidingen en een gefaseerde aanleg. Het voorland kan zonder risico's voor 2020, gefaseerd per dijkvak, worden aangelegd. Hierdoor is veiligheid gegarandeerd en wordt geld uitgespaard op de reeds begrote versterkingsopgave van de Houtribdijk.

Vanaf de start van het werk door aanleg van een veilig voorland worden doelstellingen van TBES gehaald door realisatie van helder water langs de Houtribdijk en versterking van connectiviteit. Gefaseerde uitbouw Markermeer-waarts waardoor het moerasgebied geleidelijk ontstaat, vergroot de waarde van het gebied stap voor stap.

De kosten van een zachte variant kunnen in potentie lager zijn dan de kosten van een variant met harde buitenrand. Omdat voor de aanleg veel grond en zand nodig is de prijs van zand en grond in sterke mate bepalend voor de totale kosten van deze variant.

Indien voldoende tijd beschikbaar is voor aanleg van het veilige voorland en het moerasgebied, dan wordt een combinatie van de versterkingsopgave met de aanleg van een voorland/moerasgebied steeds aantrekkelijker omdat daarmee naar verwachting aanzienlijke kostenbesparingen kunnen worden gerealiseerd. Verwacht wordt dat de aanleg van het moeras met grond en zand gefaseerd zal worden om het winbare zand goed te kunnen vermarkten. De opbrengst van het zand voor de markt draagt bij aan de financiering van de aanleg van het moerasgebied.

### **6.4 Aanleg van zacht veilig voorland geeft antwoord op kennisvragen**

De aanleg van het moeras kan leren van de aanleg van een zacht voorland, als het voorland eerder wordt aangelegd dan het moeras.

- Een voorland bestaat ons inziens uit onderlaag van slib tussen geocontainers en afgedekt met een laag zand. De geotechnische stabiliteit dient nader te worden onderzocht.
- Aanlegmethode van een stabiel en begroeid voorland, begrensd door de Houtribdijk of volledig door water omgeven, bestand tegen golfaanval behoeft nog een nadere studie.
- Kennis van ontwerp en toetsing kan worden ontleend aan Oeverdijk studie.
- Stabilisatie van onbegroeide aan golfwerking blootgestelde delen van moerasgebied moet nader worden onderzocht.
- Optimale benutting van grond in het werk moet nader worden onderzocht in combinatie met de methoden waarop dit materiaal zo effectief mogelijk kan worden gestabiliseerd.

### **Aanbeveling**

De ligging van de voorgenomen pilot van het grootschalige moeras dient bij voorkeur te passen in een vooroevervariant.

## **6.5 Aanpak past binnen kaders van HWBP en Provincie**

Vooralsnog wordt vastgesteld dat de beoogde dijkverbetering zoals voorgesteld in het HWBP nog ruimte biedt voor een golfremmend voorland, mits de kosten hiervan opwegen tegen de besparingen op de dijkversterking, of mits er medefinanciering komt voor dit voorland. Ook wordt vastgesteld dat deze oplossing past binnen de randvoorwaarde die de provincie stelt aan de beoogde versterking van de Houtribdijk.

### **Aanbevelingen**

Het verdient aanbeveling op korte termijn met een pilot te starten van een vooroevervariant, die direct een veilig dijkvak oplevert, om ontwerp en aanlegproces te optimaliseren. De aanleg van deze pilot past in een PPS constructie met een aannemer om kosten en doorlooptijd zoveel mogelijk te beperken. Het benutten van grond- en zandstromen die kunnen worden gewonnen uit een reeds gegunde zandwin concessie in Markermeer kan ook bijdragen aan een snelle realisatie van een pilot. In het proces van voorbereiding verdient het aanbeveling partijen zoals terreinbeheerders en VBIJ uit te nodigen om deel te nemen aan het voorbereidingsproces om commitment aan ontwerp te maximaliseren. Een pilot kan als voorbeeld in het HWBP en Deltaprogramma worden ingebracht om te fungeren als formaat voor andere toekomstige cases.

## 7 Literatuur

Balkema, J. S. Sollie en M. Kroes (2010) Uitgangspunten ruimtelijk ontwerp oermoeras, Tauw, project 4691432

Boderie, P. (2010). Bureaustudie modellering Oermoeras. Deltares rapport 1201198-000

Fiselier, J. et al 2011 Perspectief natuurlijke keringen, een eerste verkenning ten behoeve van het Deltaprogramma, Ecoshape, Dordrecht

Haarman, F. (2011) Hypothese NMIJ, Haskoning, kenmerk notitie 6 juni 2011, 9V6742.A2/N0050/903718/VVDM/Nijm, Nijmegen

Haskoning (2010) De oeverdijk als extra alternatief? 9W2206/R0002/500261/Rotterdam of

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (2010), Dijkversterking Markermeerkust Hoorn - Amsterdam, Oeverdijk als alternatief

Haskoning (2011c) Meerwaarde levende waterbouw, een maatschappelijke kostprijsanalyse, project 9W3635.A0 Nijmegen

Haskoning (2011a) concept Schetsontwerp pilot Markermeemoeras?? Natuurlijk(er) Markermeer - IJmeer, concept notitie 7 juli 2011 project 9V6742.AO, Nijmegen

Haskoning (2011b) concept Monitoringsplan pilot Markermeer Moeras, project 9V6742.A3, Nijmegen

Meurs, G.A.M. van, A.M.J. Mens en M.A. Altamirano (2010) Quick scan ecologische meerwaarde alternatief oeverdijk, dijkversterking op het traject Hoorn – Amsterdam, Deltares, project 1202357-006, Delft

Ministerie Verkeer en Waterstaat, 2009, Ontwerp legger Houtribdijk, 20 januari 2009, RWS IJsselmeergebied, Lelystad

Slobbe, E. van en G. Lenselink (2009) Quick scan grondverzet in het Markermeer 2010-2040, Deltares project 1002179 en Ecoshape

Steeg, P. en B. van Wesenbeek (2011) Large-scale physical modeling of wave damping of brushwood mattresses, Deltares, Delft

Verheij, H.J. (1994) Oevers begroeid met riet en mattenbies, wisselwerking belastingen en vegetatie, RIZA en Waterloopkundig laboratorium, project Q632, Delft

Verheij, H.J. (1995) Golfdamping door riet, project Q2036, waterloopkundig Laboratorium | WL, Delft

Verheij, H.J. (2006) IJsselmeer zoekt verdieping, WL | Delft Hydraulics, project 4087, Delft

Wichman, B.G.H.M. (2009) Advisering Houtribdijk onderdeel A, studie van vragen bij golfbreker en voorland opties, Deltares, project 1001676, Delft

Witmond, B., K. Overmars en J. Bovens (2009) Kostenmodule Toekomst Markermeer/IJmeer, eindrapport, Ecorys Nederland BV, project ii17982, Rotterdam

Witmond, B (2011) Grondstromen en natuur, kansen voor optimalisatie, Ecorys, tweede concept 14 oktober 2011, Rotterdam

**Deltares**  
Enabling Delta Life



**Deltares**



0  
5  
9  
8  
7  
5

DELFT

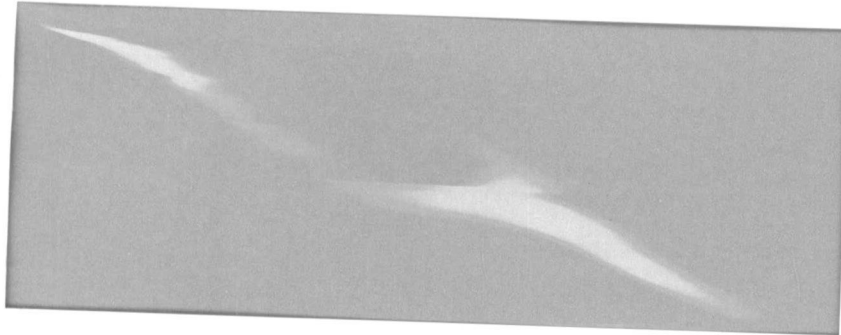
28.10.11

Postbus 177  
2600 MH

 | post

€ **00184** ct

# PB 845589  
Nederland



Provincie Flevoland  
ONTVANGEN  
31 OKT. 2011