



RAPPORT

Beantwoording NMIJ onderzoeksvragen

Klant: Rijkswaterstaat Midden-Nederland

Referentie: RDC9V6742.A2/R0215/50124/BW/Nijm

Versie: 01/Finale versie

Datum: 28-10-2015

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Postbus 1132
3800 BC Amersfoort
Netherlands
Rivers, Deltas & Coasts
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Beantwoording NMIJ onderzoeksvragen

Ondertitel: Onderzoeksvragen
Referentie: RDC9V6742.A2/R0215/50124/BW/Nijm
Versie: 01/Finale versie
Datum: 28-10-2015
Projectnaam: NMIJ
Projectnummer: 9V6742
Auteur(s): Ir. R.A.E. Knoben, ir. T. Vijverberg, dr. P. Dankers, ir. W. Kanger, P. Boderie en
drs. R. Noordhuis

Opgesteld door:

Dr. S. Groot; Externe reviewers:
Gecontroleerd door: prof.dr. J.T.A. Verhoeven, prof. E.
Toorman, ir. G.J. Akkerman

Datum/Initialen: 13 juli 2015

F.G. Haarman
Goedgekeurd door:

Datum/Initialen: 28 oktober 2015

Classificatie

Open



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.

Inleiding

Het onderzoeksprogramma Natuurlijk(er) Markermeer-IJmeer (NMIJ) is sinds 2010 in uitvoering en liep tot eind 2015. Het programma is uitgevoerd door Royal HaskoningDHV (voorheen Royal Haskoning) in combinatie met Deltares in de rol van kennismanager.

Het programma NMIJ is een praktijkgericht onderzoeksprogramma waarin vier onderzoeksmiddelen zijn ingezet:

- bureaustudies;
- modelstudies;
- monitoring bestaande situaties;
- veldexperimenten.

De veldexperimenten bestonden uit 2 experimenten (namelijk de pilot Luwtestructuur en de pilot Moeras) die door de Managing Contractor zijn uitgevoerd en de zogenaamde waterproeftuin, waarin 7 experimentele initiatieven van derden in zijn uitgevoerd.

Met deze onderzoeksmiddelen is een groot aantal onderzoeksvragen beantwoord. De vragen hebben betrekking op de volgende thema's:

- vermindering slibgehalte;
- vergroten habitatdiversiteit en –dynamiek;
- versterken ecologische verbindingen;
- evenwichtige vispopulaties.

Daarnaast is er een aantal algemene en integrale vragen. Voor elk thema is een aantal mogelijke maatregelen ter verbetering van de natuurwaarde benoemd die onderwerp van studie zijn geweest binnen NMIJ.

Ecologische onderzoeksvragen uit dit rapport zijn voorgelegd aan em. Prof.Dr. J.T.A. Verhoeven voor een wetenschappelijke review. Voor de slibvragen is dat gedaan door aan Prof. E. Toorman. Vragen rond aanlegstrategie en kosten van maatregelen zijn ter review voorgelegd aan Ir. G.J. Akkerman.

Naast deze rapportage over de specifieke onderzoeksvragen heeft het NMIJ- onderzoeksprogramma in 2015 een kennissysteem opgeleverd waarin alle resultaten en opgedane inzichten zijn opgenomen.

Leeswijzer

Het rapport is thematisch opgebouwd. Binnen elk thema (hoofdstuk) worden per maatregel (paragrafen) de onderzoeksvragen in oplopende volgorde achtereenvolgens behandeld.

Per vraag is de opbouw als volgt:

Onderzoeksvraag: letterlijke vraag uit het onderzoeksprogramma
<i>In enkele gevallen waar de vraag daartoe aanleiding geeft of niet eenduidig is, is op deze plaats een opmerking opgenomen over de wijze waarop de onderzoeksvraag is opgevat.</i>
Onderzoeksmiddelen: die zijn ingezet om het antwoord samen te stellen
Antwoord: samenvatting van antwoord uit NMIJ producten
Referenties: documenten/producten die in de tekst worden aangehaald en waaruit het samengevatte antwoord op de onderzoeksvraag is samengesteld. Referenties naar de bronnen staan achter in dit rapport.

Overzicht thema's, maatregelen en periode van beantwoording van de onderzoeksvragen in NMIJ

Thema	Maatregel	Aantal vragen	December 2014	Juli 2015	Oktober 2015
Verminderen slibgehalte					
	Algemeen	7	2	5	0
	Luwtemaatregelen	9	0	9	0
	Verdiepingen	11	2	8	1
	Afdekken slib	7	0	7	0
Vergroten habitatdiversiteit en –dynamiek					
	Grootschalig moeras	18	1	8	9
	Vooroever Lepelaarplassen	3	2	1	0
	Heldere ondiepe zones	14	0	14	0
	Vergroten dynamiek	4	4	0	0
Versterken ecologische verbindingen					
	Vismigratie	6	3	3	0
	Verbinden binnen-buitendijks	6	0	6	2
	Semi-open verbinding IJsselmeer-Markermeer	8	0	8	5
Evenwichtige visstand					
	Visserijreductie	4	4	0	0
Algemeen/integraal		13	0	11	2

Opmerkingen

- De onderzoeksvragen en achterliggende ideeën zijn opgesteld in 2009 en de daaraan voorafgaande voorbereidingsjaren. Door voortschrijdend inzicht, nieuwe en onverwachte ontwikkelingen in politiek en beleid zijn sommige gebezigde termen in het Onderzoeksprogramma inmiddels achterhaald of gewijzigd.
- De term oermoeras is vervangen door: grootschalig moeras.
- De term ecologisch surplus wordt beleidsmatig niet meer gehanteerd en is vervangen door robuust ecologisch systeem.

Belangrijkste ontwikkelingen gedurende de looptijd

ANT (Autonome Neerwaartse Trends)

Het parallel lopende fundamentele onderzoeksproject ANT heeft belangrijke inzichten opgeleverd over het functioneren van het Markermeer systeem. Dit plaatst sommige onderzoeksvragen in een ander daglicht. Deze inzichten zijn in de beantwoording van vragen verwerkt (Noordhuis et al., 2014).

Marker Wadden

In 2012 is het concept van de Marker Wadden door Natuurmonumenten ingebracht en geleidelijk aan verweven met NMIJ. De aanbesteding voor de eerste fase voor de aanleg van een moeras is inmiddels een feit en is te beschouwen als de concrete invulling van een grootschalige land-waterovergang (moeras) in de zin van het NMIJ Onderzoeksprogramma.

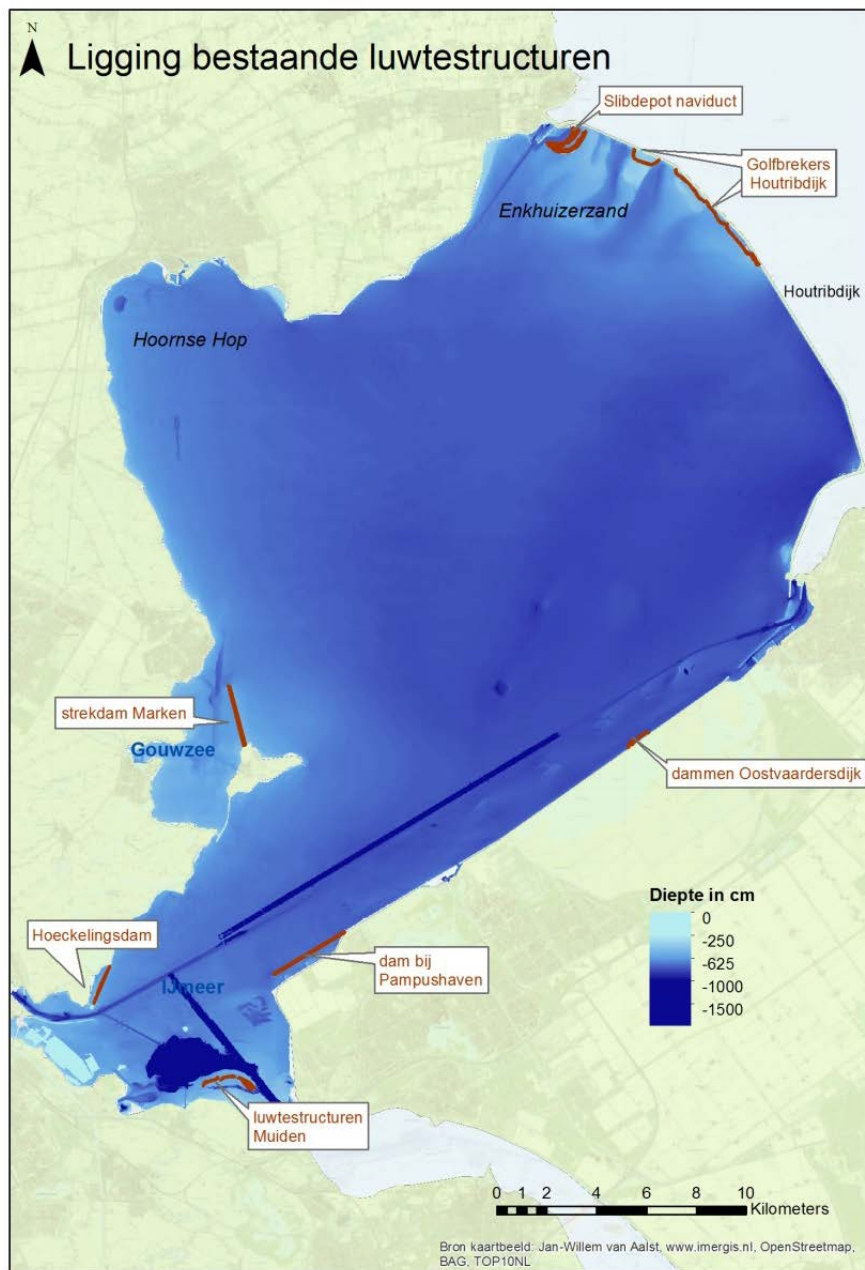
Deltaprogramma IJsselmeergebied (DPIJ)

Dit programma heeft een uitgebreide studie gemaakt naar een toekomstig en klimaatbestendig peilbeheer in het IJsselmeergebied. Dit leidde eind 2014 tot een Deltabeslissing. Deze is te zien als randvoorwaarde voor de ontwikkelingen in het Markermeer, omdat in DPIJ een integrale afweging is gemaakt. NMIJ richt zich slechts op het onderzoek aan natuurmaatregelen en maakt geen afweging.

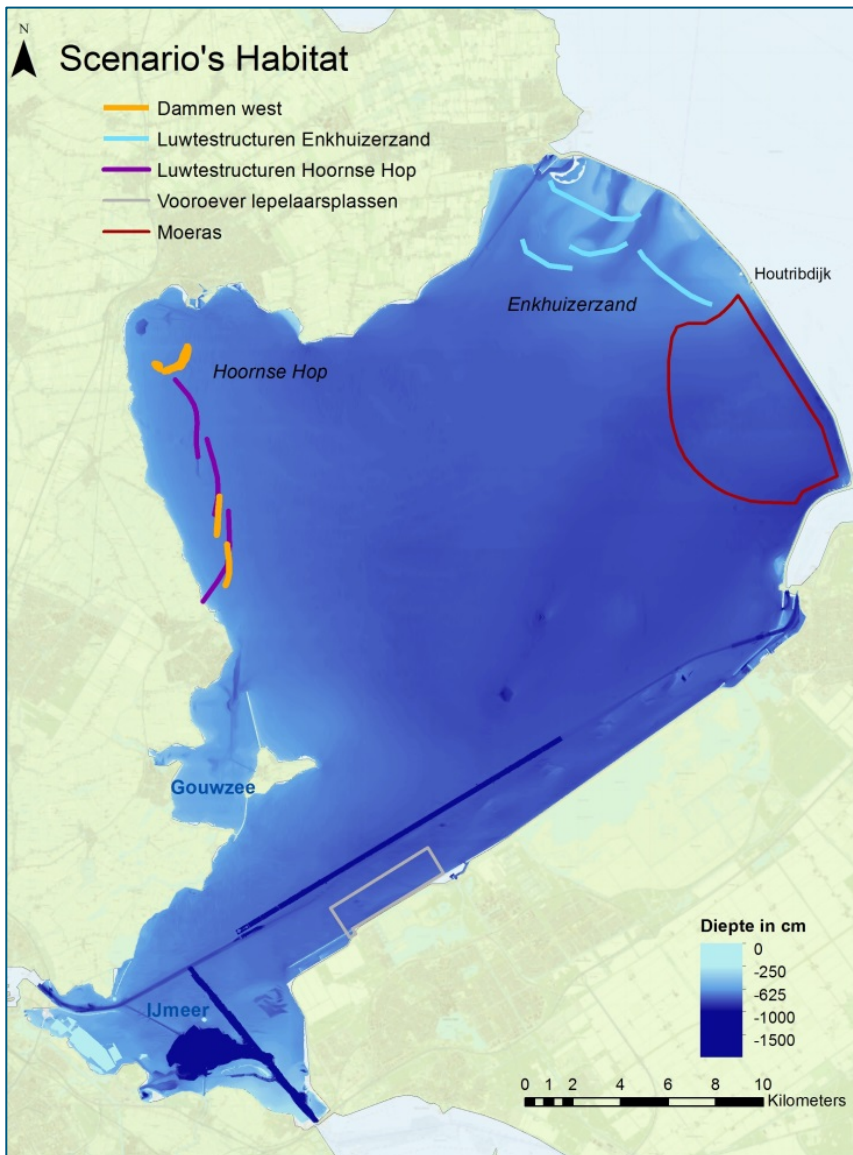
Locaties

Bij de beantwoording van de onderzoeksvragen komt een groot aantal namen van locaties en structuren aan bod. Op onderstaande kaarten zijn deze verklaard. Het gaat om drie categorieën structuren:

- bestaande luwtestructuren;
- potentieel aan te leggen structuren die in NMIJ modellering zijn doorgerekend.

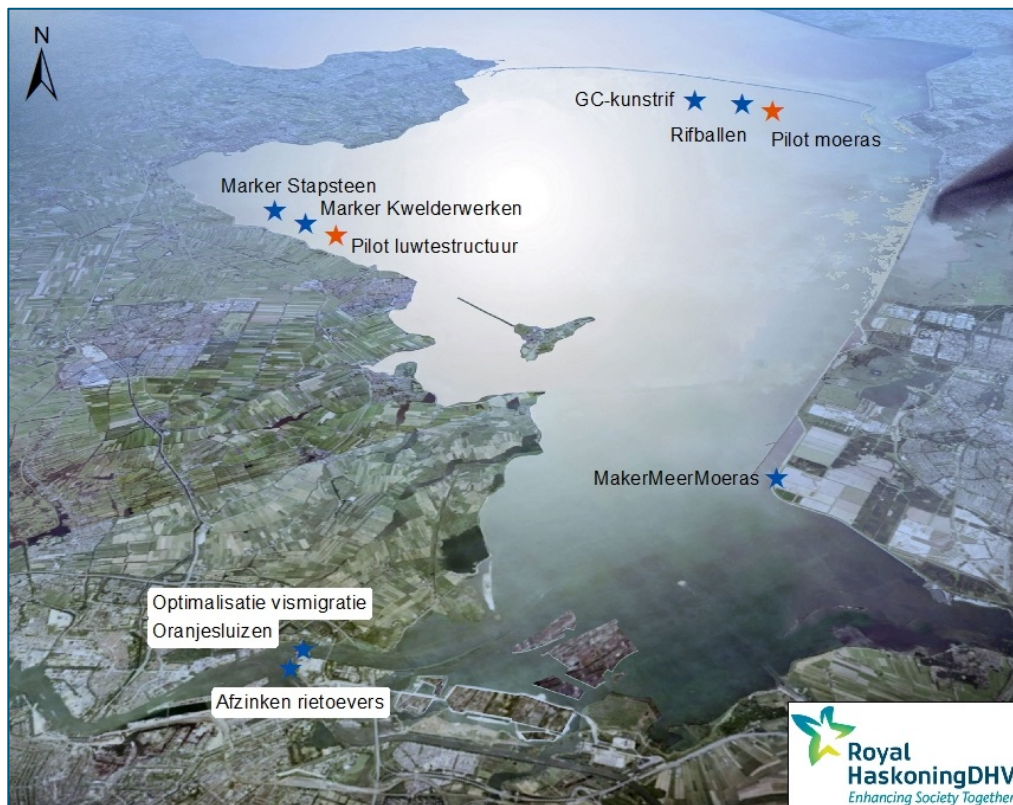


Bestaande dammen en luwtestructuren, die genoemd worden in dit onderzoek



Structuren die in slib- en habitatmodellering zijn doorgerekend

De situering van de veldexperimenten en de waterproeftuin experimenten staat weergegeven in de onderstaande figuur.



Situering veldexperimenten en experimenten in de waterproeftuin

Onderzoeksvraag: S1

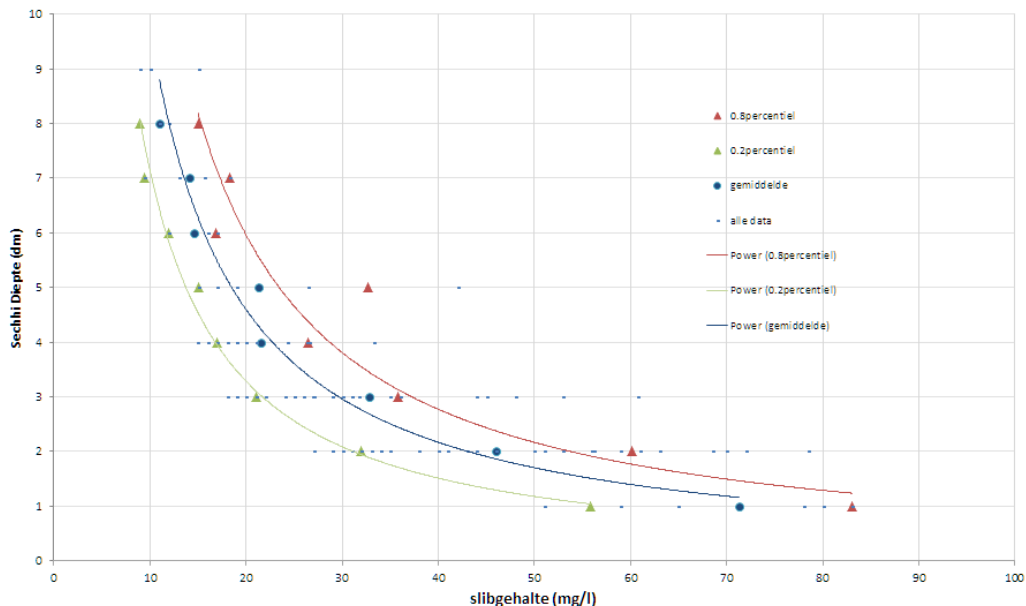
Kan de slibstroming op systeemniveau (op het niveau van het watersysteem Markermeer-IJmeer) zodanig worden beïnvloed dat er een significante vergroting van het gemiddelde doorzicht plaatsvindt? Significants in de zin dat het doorzicht dusdanig toeneemt (doorzicht minimaal 90 centimeter) dat daarmee de condities voor de ontwikkeling van o.a. waterplanten verbeteren.

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, modelstudie, veldmetingen

Antwoord oorspronkelijke vraag:

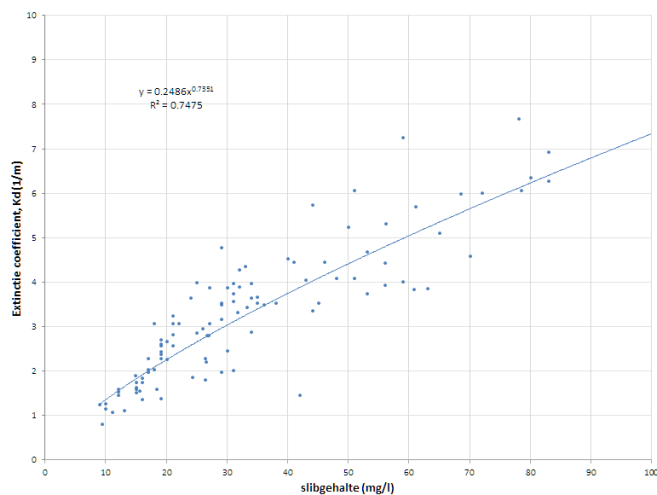
Het huidige gemiddelde doorzicht in het MWTL meetpunt Markermeer midden bedraagt ongeveer 40 cm voor de periode 1982-2008 (Van Kessel et al., 2009) en varieert over het seizoen met de hoogst gemeten doorzichten (45-55 cm) in de zomer (Genseberger, 2013). In recente jaren lijkt het doorzicht af te nemen (30 cm gemiddelde voor 2003-2012). Uit metingen in het midden van het Markermeer tussen 2003 en 2013 is onderstaand verband tussen gemeten Secchi diepte (dm) en gemeten totaal zwevend stof gehalte (mg/l) opgesteld. Totaal zwevend stof bevat de bijdragen van algen, organisch en anorganisch materiaal gemeten op een diepte van 50 cm onder de wateroppervlakte. Te zien is dat er grote marges in de doorzicht-Kd relatie zitten. Dat heeft verschillende oorzaken¹ die buiten het bereik van deze vraag vallen. Aangenomen is, bij gebrek aan meer metingen, dat de relatie van slibgehalte met doorzicht en Kd voor het hele Markermeer hetzelfde is. Ondanks de ruime marges biedt de relatie een bruikbaar handvat om slibmaatregelen aan ecologische doelen te koppelen.

**Relatie slibgehalte – Secchi diepte**

Om het gemiddelde doorzicht tot 90 cm toe te laten nemen moet het slibgehalte erg laag worden (orde 8 tot 15 mg/l). Dit vereist vermindering van de gemiddelde slibconcentratie (35 mg/l) met ongeveer 75% ten opzichte van het huidige niveau.

Bij een doorzicht van 90 cm hoort een extinctie coëfficiënt (K_d) van orde $1 - 1,3 \text{ m}^{-1}$ (zie

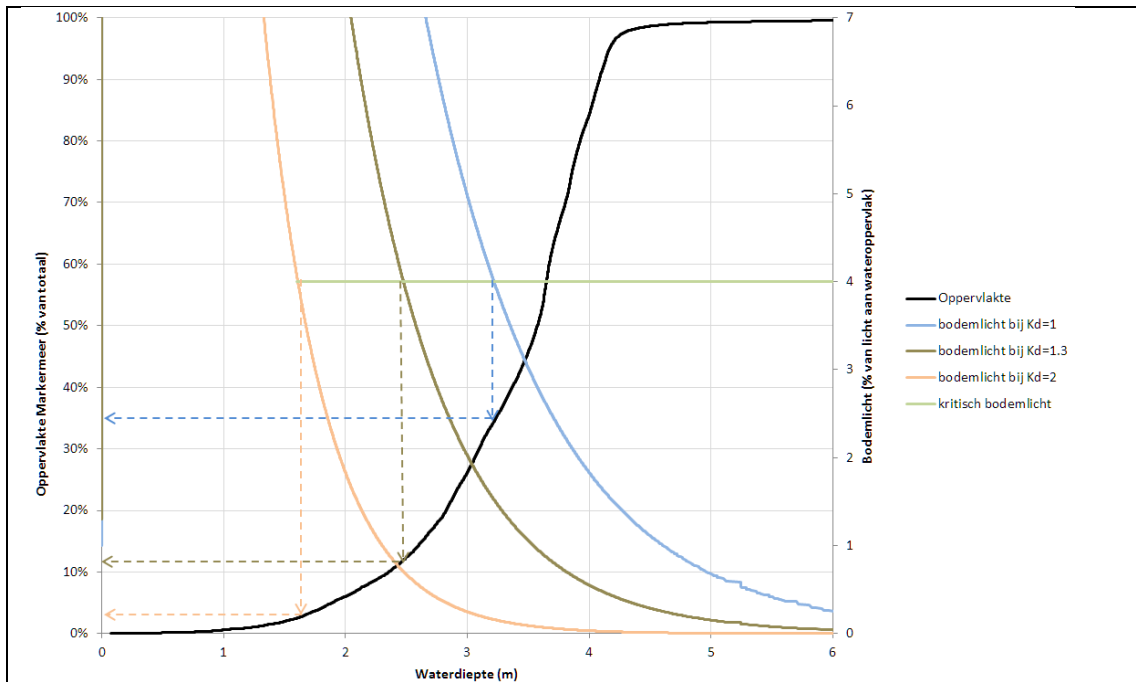
onder staande figuur).



Relatie slibgehalte extinctie coëfficiënt

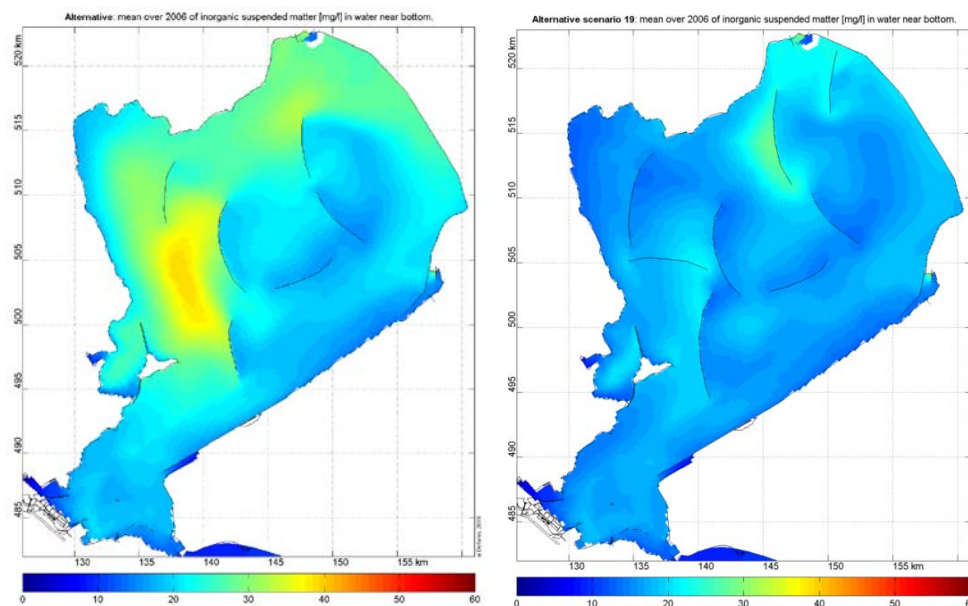
Bij een K_d waarde van $1,0 \text{ m}^{-1}$ is tot een diepte van 4,5 m minimaal 1% licht aanwezig, waarmee er praktisch in het hele meer licht aan de bodem is. Voor een iets hogere extinctiewaarde van $1,3 \text{ m}^{-1}$ daalt dit percentage al naar minder dan 50% (zie ook onderstaande figuur).

Om meer licht aan de bodem te krijgen is een nog lagere K_d waarde nodig. Penning (2012) houdt een waarde van minimaal 4% bodem licht aan voor de ontwikkeling van waterplanten. Bij een doorzicht van 90 cm blijkt dan een groot deel van het meer (12-34%) geschikt voor waterplanten (7.500-22.000 ha). Onderstaande figuur illustreert de bandbreedte. Het snijpunt van de 4% bodemlicht lijn met de curven voor $K_d=1,3 \text{ m}^{-1}$ en $K_d=1,0 \text{ m}^{-1}$ liggen bij respectievelijk 2,5 en 3,2 m bij dieptes horen respectievelijk 12% tot 34% van de oppervlakte van het Markermeer. De zwarte curve representeert de bathymetrie van het Markermeer (zonder het IJmeer) waarbij 100% ongeveer overeenkomt met 64.000 ha).



Percentage van oppervlak Markermeer dat bij een bepaalde waterdiepte een hoeveelheid licht aan de bodem heeft

Met extreme slibmaatregelen (orde 40 km extra luwte door het hele Markermeer) is dit in principe te realiseren (zie onderstaande figuur: jaargemiddelde slibconcentratie nabij de bodem met (links) 6 luwtestructuren samen 32 km en (rechts) 7 luwtestructuren met samen 35 km. De schaal van dit soort zeer grootschalige maatregelen wordt echter als onrealistisch gezien.



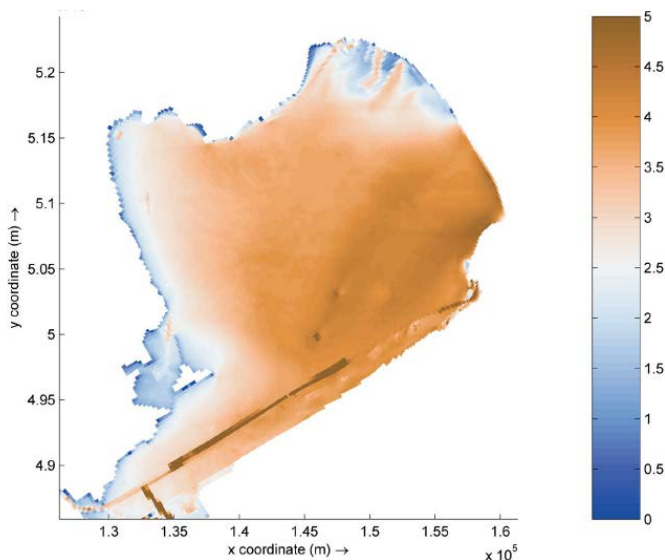
Gemiddelde slibgehalten aan de bodem voor 2 scenario's met diverse luwtestructuren in het meer

Antwoord aangepaste vraag:

Een gemiddeld doorzicht van >90 cm is dus praktisch niet haalbaar en ecologisch gezien

blijkt dit ook niet nodig te zijn en daarom wordt een significante vergroting van het gemiddeld doorzicht als volgt gedefinieerd: *Vergroting tot een doorzicht van minimaal 60 cm in het voorjaar. ANT studie (Noordhuis et al, 2014) heeft aangetoond dat dit de vereiste ecologische doelstelling is, voor een belangrijk deel is de eis terug te voeren op de ontwikkeling van waterplanten.*

Om een doorzicht van orde 60 cm te bereiken is een slibgehalte kleiner dan 20 mg/L gewenst. Met behulp van bovenstaande figuren is af te leiden dat de daarbij behorende lichtuitdoving (K_d) gelijk is aan orde $2,0 \text{ m}^{-1}$ waardoor alle delen die ondieper zijn dan 1,6 m geschikt worden voor waterplanten (op basis van het criterium 4% bodemlicht). In het Markermeer (m.u.v. het IJmeer) is dat een areaal van slechts 3% (1.600 ha) van het meer, voornamelijk aan de randen van het meer: de kust van Noord Holland, het Hoornse Hop en het noordoostelijk deel bij Enkhuizen. Hierbij dient de nuancering dat er grote marges in doorzicht- K_d relatie zijn en grote onzekerheid in het benodigd percentage bodemlicht. Het is lastig om grote arealen met voldoende bodemlicht te realiseren omdat de daarvoor geschikte diepteklassen slechts beperkt voorkomen. Door de exponentiele uitdoving van het onderwaterlicht is het alleen met grote inspanning mogelijk om hetzelfde via slib reducerende maatregelen te bereiken.



Dieptekaart van het Markermeer

Voor een TBES (toekomstbesteding ecologisch systeem) is minimaal 3.500 tot 4.000 ha waterplanten nodig voor condities op systeemniveau (Noordhuis et al, 2015). Ten opzichte van het huidige aanwezige oppervlak waterplanten met meer dan 15% bedekkingsgraad betekent dit een extra oppervlak van 1.500 tot 2.500 ha. Dit betekent dat er in die gebieden 10% licht aan de bodem moet zijn (Noordhuis et al, 2014). Het gevolg daarvan is dat die gebieden in de ondiepe delen van het meer gerealiseerd moeten worden: tot ongeveer 2 meter diepte is bij het te bereiken doorzicht ook 10% licht aan de bodem. In diepere delen is het ondanks goede helderheid toch te donker op de bodem. In het Hoornse Hop levert het alternatief "Dammen West" (Noordhuis et al, 2014) met 5,3 km luwtedammen bijvoorbeeld het gewenste extra areaal van 2.500 ha op, maar wel met een lagere bedekkingsgraad.

In deze studie is het berekende percentage licht aan de bodem (modelberekening in combinatie met het verband tussen slib en K_d) gecorreleerd met veldmetingen van de bedekking van waterplanten.

Het antwoord op de vraag of de slibstroom dusdanig kan worden beïnvloed zodat deze extra oppervlakte aan waterplanten gerealiseerd zou kunnen worden, is dus ja. Maatregelen die hiervoor nodig zijn, zijn luwtestructuren en of moerasontwikkeling zoals Marker Wadden voorstaat. Het zoekgebied voor de ontwikkeling zijn ondiepe zones van het meer die door de “badkuip” bathymetrie niet breed voorhanden zijn.

Ook uit metingen blijkt ook dat het doorzicht als gevolg van luwtedammen flink kan verbeteren. De dammen langs de Houtribdijk (Hockeystickdammen en het Naviduct) liggen vrijwel dwars op de overheersende (zuid)westelijke wind. Achter deze dammen is weinig tot geen slib aanwezig en veel waterplanten, met een beperkte bedekking van driehoeksmosselen op en tussen deze planten. Hoewel er geen metingen zijn is het doorzicht er (inschatting Ruurd Noordhuis) tussen 60 en 80 cm. Grotere doorzichten zijn dus in de juiste omstandigheden (luw, waterplanten mosselen) dus haalbaar.

¹Secchidiepte wordt per 10 cm gerapporteerd, een vrij grove indeling van de klassen. Daarnaast variëren de optische eigenschappen van algen (met de wisseling van soorten over het seizoen) in de tijd. De optische eigenschappen a slib variëren met de fijnheid van het slib. Hierdoor is de relatie tussen Kd en Secchi diepte afhankelijk van het seizoen. Daarnaast is het mogelijk dat over de jaren ook optische eigenschappen van algen-klei conglomeraten de eenduidigheid van de relatie vermindert.

NMIJ referentie:

Noordhuis et al. (2015)

Externe referenties:

Noordhuis et al. (2014)

Penning (2012)

Van Kessel et al. (2009)

Noordhuis et al. (2014)

Genseberger (2010)

Onderzoeksvraag: S2

Welke maatregelen zijn denkbaar om heldere landwaterzones te realiseren waarmee een slib gradiënt van helder water (Noord Holland) naar troebel water (centraal Markermeer) kan ontstaan? Tot nu toe: combinatie van maatregelen als geleiding van de stroming (dammen, eilanden etc.), verdiepingen (putten/geulen), afdekken van slib.

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, modelstudie¹

Antwoord:

Heldere landwaterzones worden bij de beantwoording van deze vraag gedefinieerd als heldere ondiepe waterzones waar ontwikkeling van waterplanten mogelijk is doordat er licht aan de bodem komt. De gevraagde slibgradiënt heeft betrekking op de horizontale variatie van slibgehalten en doorzicht. Doorzicht is een maat voor de helderheid van het water, ook in helder water met goed doorzicht kan de bodem onzichtbaar zijn en het te donker zijn voor (de gewenste) ontwikkeling van waterplanten. Zones met goed doorzicht in de waterkolom kunnen ook worden gerealiseerd in diep water. Voor ontwikkeling van waterplanten is naast goed doorzicht ook beperkte waterdiepte nodig om voldoende licht op bodem te garanderen.

Luwtestructuren zijn het meest effectief om bestaande ondiepe zones (tot orde 2 m diep in verband met waterplantontwikkeling) helder te maken en er zo ontwikkeling van waterplanten te stimuleren.

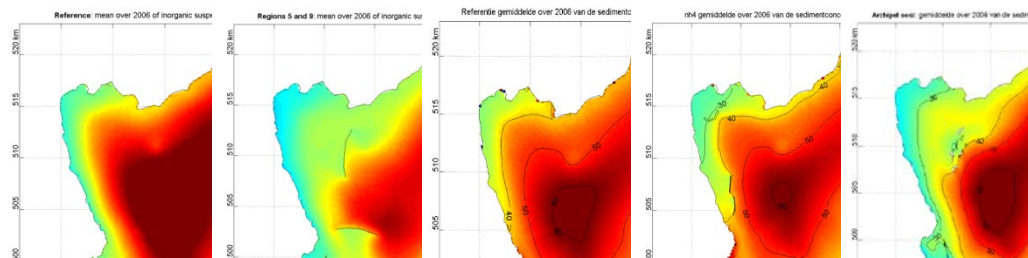
Slibgradiënten worden automatisch ook gecreëerd als luwtestructuren zijn aangelegd en moerasontwikkeling plaatsvindt (zie ook vraag S9). Indien een grotere gradiënt nodig is, zowel in oppervlak als in verlaging van slibconcentratie, kunnen verdiepingen op geschikte locaties worden ingezet. Verdiepingen zorgen voor helder water ter plaatse van de verdieping. Putten dragen bij aan de gradiënt als ze efficiënt aansluitend op ondiepe heldere delen worden aangelegd, in de grotere dieptes. Als putten in ondiepe gebieden worden gerealiseerd wegen de ecologische nadelen (vernietiging van bestand bodemfauna en waterplanten ter plekke van de aanleg) wellicht niet op tegen de ecologische voordelen die diepte putten hebben (overwinteringsfunctie voor vis en de daaraan verbonden foerageerfunctie voor visetende vogels in het vroege voorjaar).

Afdekken van slib wordt niet gezien als effectieve maatregel voor deze doelen.

Uit de Noordhuis et al. (2015) blijkt dat van de klasse watertype met een horizontale gradiënt van west naar oost van doorzicht tussen 40-80 cm in de winter, een extra areaal van 3000-5000 ha ten opzichte van de huidige situatie nodig is. Een doorzicht van 40 cm komt overeen met orde 30 mg/L slib (kleurschaal groen in onderstaande figuren van het jaargemiddeld slib aan de bodem). Daarvan is er in de huidige situatie in het Markermeer ongeveer 5000 ha aanwezig. Dit is echter niet alleen aan de Westkant van het Markermeer aanwezig, waar dit wel gewenst is. Een verdubbeling van het areaal gradiënt 40-80 cm doorzicht betekent het verlagen van de slibconcentratie in gebieden waar slib nu hoger is dan b.v. 40 mg/L naar waarden kleiner dan 30 mg/l in het gebied voor de kust van Noord-Holland richting midden Markermeer (omzetten van geel rood naar groen in onderstaand figuren). Dat is mogelijk maar daartoe moeten de structuren wel relatief ver uit de kust worden gelegd (in relatief diep water). De linker twee figuren laten het effect van een alternatief met 8,3 km luwte structuur zien (Genseberger, 2010). Hier ontstaat een relatief groot areaal met de gewenste gradiënt. Het alternatief dammen west (twee meest rechter figuren)

met totaal 5,3 km luwtestructuur in Hoornse Hop en langs de Noord-Hollandse kust genereert maar weinig areaal van deze gradiënt. Dammen in dieper en slibrijker water dragen effectiever bij aan het vormen van areaal van deze gradiënt.

Een dam in diep water draagt in dat geval weliswaar bij aan de beoogde slibgradiënt met doorzicht 40-80 cm, maar de combinatie van dit intermediaire doorzicht met de (te) grote diepte levert geen bijdrage aan de ontwikkeling van waterplanten. In plaats van luwtestructuren (waarbij de bodemligging niet wijzigt) kunnen verdiepingen ook als middel om doorzicht te bevorderen worden ingezet.



(Van links naar rechts): Referentie en alternatief (Genseberger, 2010) referentie, dammen west en Archipel Oost (NMIJ 2014 en MIRT)

In het overzicht dat bij S10 is gegeven is te zien tot welke doorzichten verschillende (combinaties) van maatregelen leiden. In de MIRT studie (Maronier & Koenraadt, 2014) is in detail gekeken naar alternatieven in het Hoornse Hop. De toename van de zone met slib 20-30 mg/l draagt bij aan de gewenste slibgradiënt op de juiste locatie. In de referentiesituatie is in het Hoornse Hop een areaal van ongeveer 1800 ha slibklasse 20-30 mg/l beschikbaar (let op: de waarde in appendix G in Noordhuis et al 2014 heeft betrekking op het hele Markermeer, niet op de Noord-Hollandse kust en de HH specifiek waar deze vraag over gaat). In het Hoornse Hop is met onderzochte maatregelen maximaal een toename van 2500 tot 2700 ha realiseerbaar (appendix G, Noordhuis et al. 2014). Dat is een forse vermeerdering t.o.v. het huidige areaal in die slibklasse in het Hoornse Hop (1800 ha), maar minder dan de gewenste 3000-5000 ha. Door inzet van verdiepingen kan het areaal worden uitgebreid. Het alternatief archipel oost (5,5 km dam in dieper water (3 m) net buiten het HH) levert met 2700 ha de grootste bijdrage aan de gewenste gradiënt.

¹Het gebruikte model is de best beschikbare methode voor het kwantificeren van slib en zwevend stof in het Markermeer. Het blijft echter een onvolledige benadering van de wekelijkheid en kan daarvan dus van afwijken. Het model wordt daarom vooral toegepast om verschillen tussen varianten en maatregelen te evalueren.

NMIJ referenties:

Bakker & Vijverberg (2014)
Noordhuis et al. (2015)

Externe referenties:

Noordhuis et al. (2014)
Genseberger (2010)
Maronier & Koenraadt (2014)

Onderzoeksvraag: S3

Bij welke concentratie gesuspendeerd slib is het doorzicht nog voldoende voor de ontwikkeling van waterplanten?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies

Antwoord:

Groei van planten en algen wordt grotendeels bepaald door diepte en licht. Hoe dieper in het water hoe meer het licht uitdooft. Groen en rood licht dringen dieper in het water door dan blauw licht. Fotonen onder water hebben te maken met absorptie en verstrooiing. Adsorptie en verstrooiing worden vooral veroorzaakt door deeltjes in het water. Kleideeltjes verstrooien het licht veelal, terwijl organisch materiaal fotonen adsorbeert. Beide dragen bij aan de extinctie van licht onder water (light attenuation) en de zichtdiepte (secchi-diepte). Verstrooiing heeft een grote invloed op zichtdiepte maar minder op lichtextinctie omdat fotonen ook naar diepere waterlagen verstrooid kunnen worden. Dit speelt bijvoorbeeld in het Markermeer waar kleideeltjes het licht sterk verstrooien, waardoor zichtdiepte minder groot is dan op basis van extinctie gemeten wordt. Oftewel: de zichtdiepte is beperkt maar fotonen dringen wel dieper in het water door. Soortsaamenstelling van waterplanten wordt vooral bepaald door verschillen in diepte en doorzicht. Bij een slecht lichtklimaat zijn waterplanten in het voordeel die tot aan het wateroppervlak groeien en daar uitspreiden (o.a. schedefonteinkruid en doorgroeid fonteinkruid). Als het licht dieper kan doordringen in de waterlaag verliezen fonteinkruiden de concurrentie van soorten die meer licht nodig hebben maar niet tot aan het oppervlakte komen (bv kranswier).

Op de vraag bij welke concentratie gesuspendeerd slib nog voldoende doorzicht is voor de ontwikkeling van waterplanten, kan niet een eenduidig antwoord worden gegeven. Duidelijk moet zijn tot op welke diepte plantengroei mogelijk is (euphotic depth, diepte tot waar fotosynthese mogelijk is), hoe de waterbodem zich verhoudt tot de euphotic depth en hoe het zit met concentraties detritus en chlorofyl en hoe deze concentraties zullen veranderen bij verandering van zwevend stof gehalte en hoe ze veranderen in de tijd. Als de bodem ondieper ligt dan de euphotische diepte kan er zich in het voorjaar vanuit kiemplanten en uitlopers een ondergedoken vegetatie ontwikkelen. Ligt de bodemdiepte onder de euphotische diepte dan is er veel kans dat hier geen vegetatie gaat groeien

Literatuur geeft aan dat bij een zichtdiepte van meer dan 1,0 m waterplanten kunnen groeien tot een diepte van 2,5 m met dichte velden van waterplanten tot op zeker 1,0 m diepte. Er is voor het Markermeer modelmatig gerekend aan opwervelingen in bodemsediment en gevolgen daarvan voor lichtextinctie in het Markermeer. Voor plantengroei tot op 2 m diepte is het maximale gehalte opgewerveld sediment (organisch en anorganisch) ca. 13 mg/l.

Voor een doorzicht van minimaal 85 cm (komt maar heel weinig voor) is gekeken naar het corresponderende zwevend stof gehalte. De mediane waarde van de routinematige metingen voor zwevend stof komt uit op 9,5 mg/l (n = 12).

NMIJ Referenties:

Van Herpen et al. (2010), Buskens & den Held (2012)

Onderzoeksvraag: S4

Waterplanten ontwikkelen zich in ondiepe biotopen van ca. 15 cm tot enkele meters. Afhankelijk van het bodemprofiel hebben peilveranderingen invloed op deze zone en op de grootte ervan. Wat is de invloed van mogelijke peilveranderingen op de grootte van het areaal luwtegebied (gebied waarin zich geen windgolven kunnen opbouwen) voor waterplanten?

Onderzoeksmiddelen:

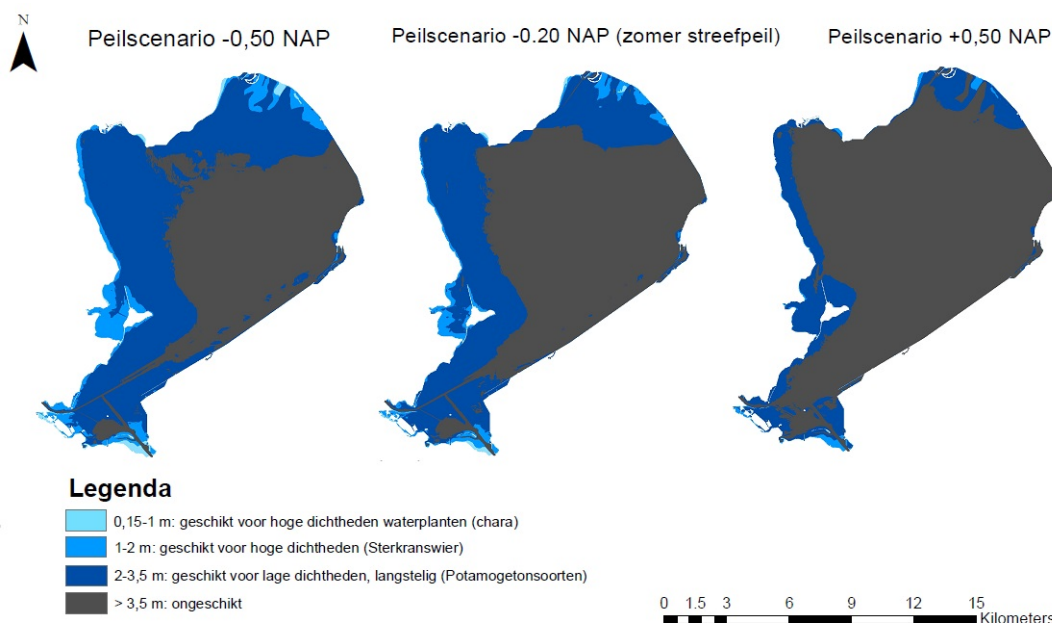
Bureaustudies

Antwoord:

Peilverandering resulteert in wijziging in het areaal ondiepten, die geschikt zijn voor waterplanten. De invloed van peilveranderingen op het areaal ondiepte is door middel van een GIS bewerking met de dieptekaart uitgevoerd. De dieptekaart gebruikt in modellen is gebaseerd op een gemiddeld peil van -0,20 NAP(zomer streefpeil).

Arealen in diepteklassen bij verschillende peilen

Gemiddeld peil [m]	areaal in ha			
	0,15-1 m diep	1-2 m diep	2-3,5m diep	>3,5m diep
-0,50	718	4973	32412	31736
-0,40	588	4193	29017	35790
-0,30	455	3608	26623	38702
-0,20	305	2866	24928	41355
+0,30	9,7	1055	14456	53863
+0,50	0,6	720	11035	57765

**Arealen geschiktheid voor waterplanten bij verschillende peilen**

Niet alle gebieden met beperkte diepte zijn te beschouwen als luwtegebieden die geschikt zijn voor waterplanten. Als gevolg van de windexpositie zijn bv. ondiepe,

onbeschermde gebieden op het Enkhuizerzand te dynamisch voor waterplanten, maar door de inrichting en diepteverdeling van het Markermeer kunnen de meeste andere ondiepten als luwtegebied worden beschouwd. Hoe lager het peil hoe groter het areaal ondiepten en luwe zones.

Het areaal van zones met diepte 0,15 – 1 m is in luwe gebieden geschikt voor hoge bedekkingen van waterplanten met daaronder vooral veel Chara-kranswier. Dit areaal verdubbelt bij peilverlaging van -0,20 tot -0,50 tot ruim 700 ha, terwijl het bijna tot 0 reduceert bij peilverhoging tot +0,50 m. Het aandeel op het totale meeroppervlak beweegt tussen 0 en 1% (nu 0,44%). Zones met deze diepte bevinden zich vooral in het IJmeer tussen Muiden en Muiderberg, in de baai bij Schellinkhout (Hoorn), in de baai onder Broekerhaven (bij Enkhuizen) en op de Enkhuizerzand-ondiepte ten westen van het Pottengat (deels achter een dam, deels geëxponeerd).

Zones met een diepte van 1-2 m zijn bij voldoende luwte eveneens geschikt voor hoge bedekkingen, met een belangrijk aandeel van Sterkranswier. Deze zones nemen bij peilverlaging tot -0,50 m toe met zo'n 2000 ha en bij verhoging tot +0,50 m nemen ze af met een zelfde areaal. Het oppervlakte aandeel varieert daarbij in de range van 1 tot 7% (nu 4,1%). Zones van deze diepte bevinden vooral in de Gouwzee (luw) en delen van het Enkhuizerzand (minder luw en zonder aanpassing weinig geschikt voor planten), maar ook in een (luwe) strook langs de oevers van het Hoornse Hop en in het IJmeer.

De derde zone uit de tabel, van 2-3,5 meter diepte, is geschikt voor een vegetatie als er in het voorjaar meer dan ca. 2% van het licht op de bodem valt (wat in de andere twee dieptezones in de regel het geval is, met uitzondering van de onbeschermde delen van het Enkhuizerzand). Het gaat dan om een begroeiing met een met toenemende diepte afnemende dichtheid en een grotere rol voor langstengelige waterplanten zoals Doorgroeid Fonteinkruid. Deze zones nemen bij peilverlaging tot -0,50 m toe met zo'n 7500 ha en bij verhoging tot +0,50 m nemen ze af met ca. 14.000 ha. Dit is 16-46% van het meeroppervlak (nu 36%), maar door de ruimtelijke gradiënten in helderheid en expositie betreft dit echter niet allemaal geschikte gebieden voor planten.

NMIJ Referenties:

Factsheet peildynamiek

Onderzoeksvraag: S5

Welk (gradiënt in het) doorzicht is wenselijk voor het bereiken van een toekomstbestendig ecologisch systeem (TBES)? Daarbij is een duurzame instandhouding van soorten mogelijk met een systeem dat veerkrachtig is en ruim voldoet aan de kernopgave van Natura 2000. Het is een systeem dat verstoringen kan opvangen en t.o.v. de huidige situatie gekenmerkt wordt door een toename van bodemleven, waterplanten, vissen en vogels.

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies

Antwoord:

Gradiënten in doorzicht zijn van belang voor alle soortgroepen in het Markermeer. troebele delen zijn gewenst voor vissen zodat deze voor predatoren (vogels en andere vissen) kunnen vluchten naar troebeler water. Doorzicht is belangrijk voor de groei van waterplanten die op hun beurt ook weer paai- en opgroei habitat bieden voor aquatische fauna (vissen en macrofauna). Helder water help mosseletende vogels ook om hun prooien te vinden. De aanwezigheid van driehoeks- en sinds kort ook de quagga-mossel zorgt er ook voor dat het water helderder wordt dorodat deze soorten het wateren filteren. Aan de andere kant is het voor viseters als visdief van belang dat iets minder helder water ervoor zorgt dat ze minder direct zichtbaar zijn voor proovissen. Het vangstsucces van sterns kent een optimum in water dat niet al te helder is, maar ook niet al te troebel.

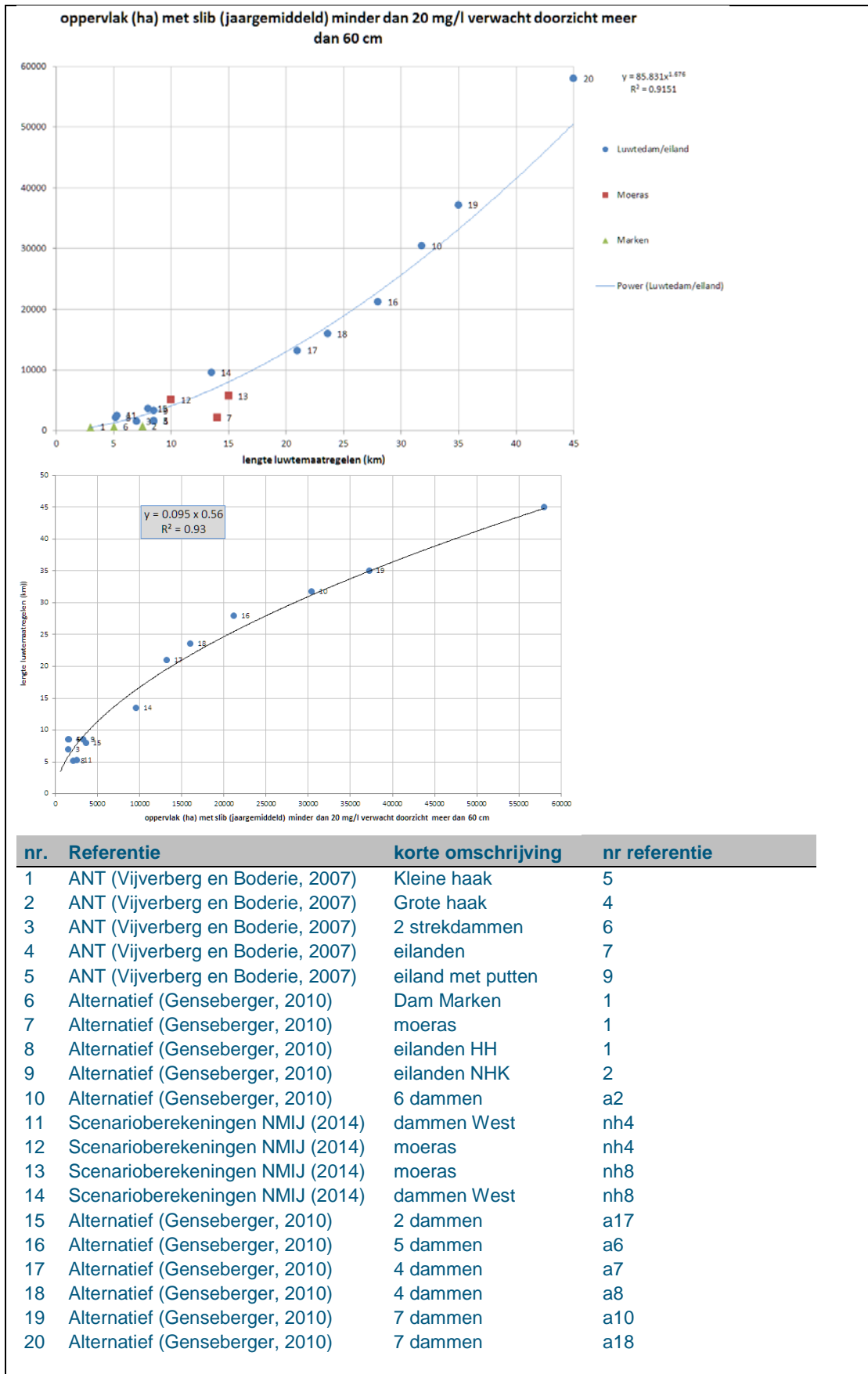
De aanwezigheid van gradiënten in doorzicht garandeert dat dit optimum ergens aanwezig is. Het is hierbij van belang dat de gradiënten zo breed mogelijk zijn. De overgangszones van helder naar troebel water zijn van nature al op verschillende plaatsen in het Markermeer-IJmeer aanwezig. Voor de groei van waterplanten is minimaal een doorzicht van 1 m nodig in delen van het Markermeer (zie onderzoeksvraag S3). De benodigde omvang van deze zone is moeilijk kwantificeerbaar en hangt samen met de omvang aan helder water. Wanneer een voldoende areaal aan zones met helder water kan worden gecreëerd door bijv. luwtemaatregelen dan zijn in principe voldoende gradiënten in doorzicht te verwachten en hoeven hiervoor geen aparte maatregelen te worden getroffen.

In Haarman et al. (2012) is een expert schatting gemaakt van het benodigde areaal aan helder water in het Markermeer. In de huidige situatie is in principe voldoende areaal aan zones met helder water aanwezig om te voorzien in de voedselbehoefte van de mosseleters. Voor voldoende draagkracht voor de viseters is ingeschat dat een uitbreiding van het totaalareaal aan zones met helder water (met de juiste condities) benodigd is van globaal minimaal 3000 ha. In een later stadium is deze waarde aangepast naar een oppervlak van minimaal 1500 ha. met een vegetatiedichtheid van > 15%. Dit zal gerealiseerd moeten worden met luwtemaatregelen.

NMIJ Referenties:

Buskens & den Held, 2012

<p>Onderzoeksvraag: S6 Op welke wijze dienen maatregelen gecombineerd en dusdanig ingericht te worden (ruimtelijke constellatie), dat daarmee het slibgehalte het meest vermindert (m.b.t. doorzicht)?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie, modelstudie¹</p>
<p>Antwoord: Het antwoord op deze vraag wordt gegeven op basis van modelberekeningen. In de vraag ligt een vermindering van het slibgehalte besloten specifiek ten behoeve van het doorzicht. Daarom is een analyse gemaakt van de inspanning die het kost om zoveel mogelijk areaal van een geschikt doorzicht te bereiken. Als geschikt doorzicht is hier 60cm gebruikt. Dit doorzicht kan in het hele Markermeer worden gerealiseerd en is bijvoorbeeld niet specifiek gebonden aan ondiepe delen. We hebben geen aparte analyse gemaakt voor de inspanning die nodig is om gradiënten te realiseren omdat bij de meeste (luwte)maatregelen er vanzelf gebieden met dit intermediair doorzicht ontstaan (als de slibwolk richting het midden van het Markermeer wordt ingeperkt, ontstaan bij de overgang van ondiep naar diep in principe de gewenste gradiënten).</p> <p>Om te kunnen afleiden in welke arealen luwte ontstaat door de aanleg van luwtestructuren is in onderstaande figuur het modelresultaat van een aantal studies vergeleken. Op de horizontale as staat de extra lengte luwtestructuur ten opzichte van de huidige situatie, op de verticale as het areaal dat als gevolg van deze hoeveelheid luwte helderder wordt (modelresultaat).</p> <p>De maatregelen die in de figuur zijn uitgezet zijn grotendeels extreem (tot wel 40 km luwtestructuur) maar bieden daarmee wel het voor deze vraag benodigde perspectief. De maatregelen die in het Hoornse Hop worden voorbereid (MIRT verkenning) zijn klein ten opzichte van de schaal van het Markermeer.</p> <p>Uit de figuur is onder meer af te lezen dat voor een areaal van 2500 ha 5-10 km luwte nodig is. Het alternatief "Dammen West" (Noordhuis et al, 2014) in het Hoornse Hop blijkt daarmee een effectieve maatregel: het levert met 5,3 km luwtedammen- al het gewenste extra areaal van 2500 ha op. Dit laat zien dat optimalisatie van de locatiekeuze en vorm loont. Ook de maatregel bij het Enkhuizerzand (14) scoort relatief hoog (veel areaal met relatief weinig lengte luwtestructuur).</p> <p>De figuur laat verder zien dat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Er een sterk verband is tussen lengte van de structuur en het oppervlak waar de structuur de slibconcentratie significant verlaagt c.q. het doorzicht vergroot. • Als vuistregel voor luwtestructuren (zie tweede grafiek) geldt dat de gewenste hoeveelheid areaal A (in ha) bereikt kan worden met de volgende relatie: benodigde lengte (km) = $0,095 \times A^{-0,56}$. • De effectiviteit toeneemt naarmate de totale lengte van de luwtestructuur groter is. • Ontwerp en locatiekeuze zijn belangrijk: luwte elementen die niet specifiek als luwte element zijn ontworpen zoals moerasvormen (punten 7 en 13) leveren per lengte dam duidelijk minder areaal op (dit is voor het moeras ook geen doel overigens). • Maatregelen in gebieden waar het in de referentie situatie al relatief luw is (zoals bij Marken) scoren ook niet hoog omdat ze weinig areaal winst boeken in de hier beoordeelde klasse tot 20 mg/L.



¹Het gebruikte model is de best beschikbare methode voor het kwantificeren van slib en zwevend stof in het Markermeer. Het blijft echter een onvolledige benadering van de wekelijkheid en kan daarvan dus van afwijken. Het model wordt daarom vooral toegepast om verschillen tussen varianten en maatregelen te evalueren.

NMIJ referentie:

Bakker & Vijverberg (2014)

Externe referenties:

Vijverberg & Boderie (2007)

Genseberger (2010)

Noordhuis et al. (2014)

<p>Onderzoeksvraag: S7 Hoe hierbij 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> <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).</p>
<p>NMIJ Referenties:</p>

Onderzoeksvraag: S8

Op welke locaties zijn geleidingsstructuren het meest effectief in te zetten om het slibgehalte te verminderen en de habitatdiversiteit te vergroten?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, modelstudie

Antwoord:

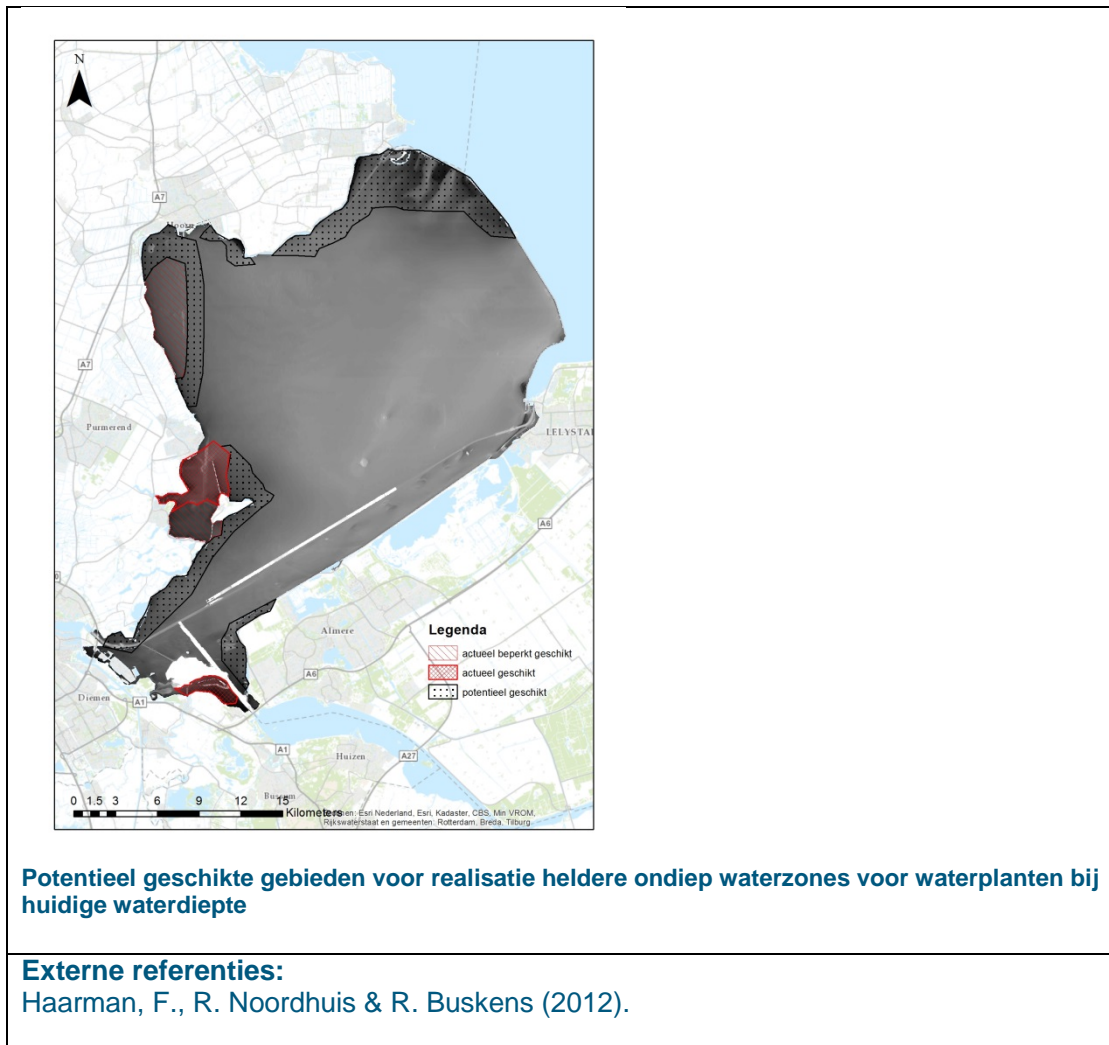
Zoals bij vraag S2 is aangegeven zijn luwtestructuren vooral geschikt om heldere ondiepe waterzones te realiseren waar waterplantenontwikkeling mogelijk is. Door middel van deze zones zal de habitatdiversiteit worden vergroot.

Om deze zones te realiseren zal het slibgehalte moeten worden verminderd (door middel van luwtestructuren) en zal het licht aan de bodem moeten toenemen. Voor dit laatste speelt ook de diepte een belangrijke rol. Op basis van het best mogelijk te realiseren doorzicht door luwtemaatregelen (90 cm bij slibgehaltenes rond 10 mg/L) is bij vraag S1, met de nodige onzekerheid, afgeleid dat bij een waterdiepte van 3,2 m er 4% licht de bodem bereikt, dat is een kritische grens voor de ontwikkeling van waterplanten. Om de gewenste dichtheid (15%) waterplanten binnen een waterplantenveld te realiseren is nog meer licht aan de bodem nodig (10%). Bij het best realiseerbare slibgehalte (10 mg/L) komt dat overeen met een maximale diepte van 2,3 m. In onderstaande figuur wordt toch (net als bij vraag H27 en I2) een diepte van 3 m aangehouden als maximaal geschikte diepte. De reden daarvoor is dat het bekend is dat als er eenmaal waterplanten groeien het water in het waterplantenveld nog helderder wordt (slibgehalte lager dan 10 mg/L in dit geval) waardoor ook op 3m diepte nog het gewenste percentage licht de bodem bereikt.

Daarmee zijn grote delen van het Markermeer te diep en dus niet geschikt om deze zones te realiseren. Onderstaand figuur geeft aan welke zones potentieel geschikt zijn om waterplanten (en dus habitatdiversiteit) te realiseren met luwtestructuren. Een deel van deze zones heeft in de huidige situatie al waterplantenvelden. Dat is aangegeven in de rood gearceerde gebieden. In de zwart gearceerde gebieden is uitbreiding mogelijk.

Om deze uitbreiding te bewerkstelligen zullen luwtestructuren minimaal op de randen van deze gebieden aangelegd moeten worden. Daarnaast kan het nodig zijn om ook luwtestructuren te plaatsen tussen deze randen en de waterkeringen, omdat anders te strijklengte te groot wordt en de golfbelasting dusdanig groot wordt dat het slibgehalte toeneemt en/of de belasting op de waterplant velden te groot is. Zie verder bij de antwoorden op H35 en H36. Overigens is de maximale afstand tussen de structuren afhankelijk van de locatie in het meer omdat ze in essentie door de strijklengte en windcondities wordt bepaald.

De totale oppervlakte van het potentiële geschikte gebied is circa 9000 ha. Om een TBES te realiseren is het echter niet nodig om in dit hele gebied heldere ondiep-waterzones te realiseren. Locaties in het Hoornse Hop en op het Enkhuizerzand hebben de grootste meerwaarde en zijn daarom realistisch.



Onderzoeksvraag: S9

Welke vorm en omvang moeten/kunnen deze hebben (denk aan mogelijke combinaties van doelen zoals vergroten habitatdiversiteit, denk aan Hoornse Hop luwte, grootschalig moeras aanleg etc.? Innovatieopties)?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, modelstudie¹

Antwoord:

De vraag is niet heel specifiek en het antwoord er op is in principe, in ieder geval deels, al gegeven in S8 (combinaties) en S6 (omvang). Het aanvullend antwoord heeft betrekking op de afmeting (is er een minimum?) en de oriëntatie van luwtestructuren (de benodigde vorm, m.n. de aspecten hoogte en breedte zijn in H35 beantwoord).

Minimale lengte van een luwtestructuur

Op basis van het experiment luwtestructuur (zowel de modelstudie vooraf als het veld experiment zelf) kan worden gesteld dat een dam kleiner dan 1200m een nauwelijks meetbaar effect op de slibreductie heeft. De resultaten van het veldexperiment luwtestructuur laten ook zien dat de effecten van de structuur op golven, stroming en slib goed te bepalen zijn bij een structuur van 1800 m. Bij de MIRT studie is gewerkt met een minimale omvang van 2,5 km. De grafiek bij S6 laat als “kleinste” dam de bestaande dam bij Marken (3km) zien. Een minimale afmeting van een effectieve luwtestructuur in het Markermeer is ongeveer 3km (daarmee wordt een areaal luwte gecreëerd van orde 500 ha).

Oriëntatie

Luwtestructuren die loodrecht op veel voorkomende windrichting zijn georiënteerd reduceren –bij voldoende strijklengte- effectief de golfenergie en dragen dan ook effectief bij aan reductie van slib. Om natuurlijke luwten –waar golfdemping niet sterk bijdraagt- tegen aanvoer van slib van elders te beschermen kunnen slibscheren het best loodrecht op de heersende slib gradiënt worden georiënteerd (dus langs de isosliblijnen). Vanwege de complexe interactie tussen golven en stroming zijn dit soort generieke uitspraken in praktijk niet erg hanteerbaar. Om die reden blijft het testen (en optimaliseren) van een specifiek voorgenomen ontwerp altijd aanbevolen.

In het Eemmeer (Boderie en Hulsbergen, 2009) zijn verschillende uitvoeringsvormen van een dam onderzocht (verspringend, onder water, half onder water, gaten, gaten en onderwater). De dichte dam tot 20 cm boven NAP levert –zoals verwacht- de grootste slibreductie en toename licht aan de bodem op. Bij dammen met gaten kan de stroomsnelheid door die gaten voor extra ongewenste erosie zorgen, dat bleek met name te spelen als de dam boven water uitgevoerd werd (en stroming alleen door de openingen kon gaan). Om die reden is het ook aan te bevelen een luwtestructuur op de kust aan te sluiten om te sterke stroming tussen het einde van de dam en te kust te voorkomen.

Verspringende dammen (“lamel structuur”) hebben als voordeel dat ze wel golven uit alle richtingen tegen kunnen houden en tegelijkertijd enige stroming toelaten waardoor achter de dam de verblijftijd en kans op plaagalggen afneemt. Er zijn geen vuistregels afgeleid voor de configuratie van de dammen. Het slibmodel kan worden gebruikt om het effect van dammen op sliberosie als gevolg van stroming te bereken. Aan de westkust van het Markermeer blijkt aansluiting van een dam op de kust een manier om erosie tussen de dam en het vaste land te voorkomen.

¹Het gebruikte model is de best beschikbare methode voor het kwantificeren van slib en zwevend stof in het Markermeer. Het blijft echter een onvolledige benadering van de wekelijkheid en kan daarvan dus van afwijken. Het model wordt daarom vooral toegepast om verschillen tussen varianten en maatregelen te evalueren.

NMIJ referenties:

Boderie & Genseberger (2010)

Vijverberg et al. (2012)

Externe referentie:

Boderie & Hulsbergen (2009)

Onderzoeksvraag: S10 Tot welk gemiddeld doorzicht leiden de maatregelen om met geleidingsstructuren het slibgehalte te verminderen?					
Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie, modelstudie ¹ en veldexperimenten					
Antwoord: In de afgelopen 7 à 8 jaar zijn diverse modelberekeningen uitgevoerd (in het kader van NMIJ, maar ook daarbuiten), waarin allerlei type luwtestructuren zijn doorgerekend met in principe hetzelfde slibmodel van het Markermeer (de modellering van golven is in de tijd geavanceerder geworden) Onderstaande tabel geeft een samenvatting van deze berekeningen. Per type en locatie van luwtestructuren is aangegeven wat de gemiddelde slibconcentratie is in de referentiesituatie (dus zonder maatregel) en na luwtmaatregel. Hierbij is vooral gekeken naar de effecten binnen de luwte die door de maatregel ontstaat en (waar mogelijk) naar gemiddelde condities in het voorjaar. Vervolgens zijn deze gemiddelde slibconcentratie vertaald met behulp van de slib-doorzicht relatie (grafiek uit vraag S1) naar doorzicht. Gezien de marges in de relatie geven de gepresenteerde verbeteringen doorzicht slechts een indicatie van de orde grootte van het te verwachten effect.					
Jaar	Rapport	Type luwtestructuur en locatie	Gemiddelde slibconcentratie referentie (lente/zomer)	Gemiddelde slibconcentratie na luwtmaatregel (lente/zomer)	Toename in doorzicht
2008	Vijverberg en Boderie	Flippers aan weerszijden Hoornse Hop	30-40 mg/l	20-30 mg/l	van 20-30 cm naar 30-40 cm
		Rij Luwtestructuren over gehele breedte Hoornse Hop	30-40 mg/l	20-25 mg/l	van 20-30 cm naar 40-50 cm
		Haak bij Marken (Groot)	30-40 mg/l	20 mg/l	van 20-30 cm naar 50 cm
		Haak bij Marken (Klein)	30-40 mg/l	20-30 mg/l	van 20-30 cm naar 30-40 cm
2009	Genseberger, vd Wal, Burger, vKessel	IJland IJburg 2. Eilanden tussen Almere en Waterland	20-30 mg/l in IJmeer	10-20 mg/l in IJmeer	van 30-40 cm naar 60-70 cm
2009	Genseberger en Boderie	Rij Luwtestructuren over gehele breedte Hoornse Hop	30-45 mg/l	20-30 mg/l	van 20-30 cm naar 30-40 cm
		Lamellen voor de westkust	30-45 mg/l	15-20 mg/l	van 20-30 cm naar 50-60 cm
		Haak bij Marken	30-40 mg/l	15-20 mg/l	van 20-30 cm naar 50-60 cm
2010	Genseberger	tot 30 km luwtestructuren door het hele meer heen, rekening houden met vaarroutes	30-60 mg/l	10-20 mg/l	van 10-30 cm naar 60-70 cm

2010	Boderie & Genseberger	Flippers aan weerszijden Hoornse Hop	30-45 mg/l	20-35 mg/l	van 20-30 cm naar 25-35 cm
		Flipper aan westkust	30-45 mg/l	20-30 mg/l	van 20-30 cm naar 30-40 cm
		Halve flipper aan westkust	30-45 mg/l	30 mg/l	van 20-30 cm naar 30 cm
		kwart flipper aan westkust	30-45 mg/l	30-35 mg/l	van 20-30 cm naar 25-30 cm
		Gebogen eilanddam Edam	30-45 mg/l	30 mg/l	van 20-30 cm naar 30 cm
		Schiereiland Edam	30-45 mg/l	15-25 mg/l	van 20-30 cm naar 40-60 cm
2011	Genseberger	Gekromde lamellen Hoornse Hop	30-45 mg/l	15-20 mg/l	van 20-30 cm naar 50-60 cm
2012	van den Berg	Lamellen Hoornse Hop	30-45 mg/l	15-20 mg/l	van 20-30 cm naar 50-60 cm
2012	Vijverberg, Knoben, Boderie	1800 m lange damwand nabij westkust Warder		Maximale reductie in voorjaar 10 - 20 mg/l in bovenlaag en 20-40 mg/l in onderlaag	
2013	Bakker en Vijverberg	MIRT scenario dammen west	25-30 mg/l	15-20 mg/l	van 30-40 cm naar 50-60 cm
		Marker Wadden 500 ha	30-35 mg/l	25-30 mg/l	van 25-30 cm naar 30-40 cm
		Luwtestructuren Enkhuizerzand	30 mg/l	15-20 mg/l	van 30 cm naar 50-60 cm
		Marker Wadden 5000 ha	30 mg/l	15 mg/l	van 30 cm naar 60-70 cm
2014	Noordhuis, Genseberger, Thiange	Dammen west	30-45 mg/l	20-30 mg/l	van 20-30 cm naar 30-40 cm
		Eiland Centraal	30-45 mg/l	25-35 mg/l	van 20-30 cm naar 25-30 cm
		Archipel Oost	30-45 mg/l	30-35 mg/l	van 20-30 cm naar 25-30 cm

Op basis van bovenstaande tabel kunnen de volgende algemene conclusies worden getrokken:

- Luwtemaatregelen verbeteren het doorzicht met 1 tot enkele decimeters, afhankelijk van de locatie en de afmeting van de maatregel.
- Luwtemaatregelen die aansluiten op de kust (bv Lamellen en Haak bij Marken) geven de grootste vermindering van slibgehalte en leiden tot de grootste verbetering van doorzicht (meerdere decimeters) dan maatregelen die op een afstand van de kust liggen.

- Met behulp van luwtemaatregelen kan het doorzicht tot maximaal 60 tot 70 cm worden verbeterd. De grootste doorzichten worden gehaald in gebieden die van nature al relatief luw zijn, deze liggen dicht bij de kust.
- De luwtestructuren op het Enkhuizerzand zijn vrij effectief, deze geven een verbetering van het doorzicht van meerdere decimeters.

¹Het gebruikte model is de best beschikbare methode voor het kwantificeren van slib en zwevend stof in het Markermeer. Het blijft echter een onvolledige benadering van de wekelijkheid en kan daarvan dus van afwijken. Het model wordt daarom vooral toegepast om verschillen tussen varianten en maatregelen te evalueren.

NMIJ referenties:

Visser & Vijverberg (2010)
Vijverberg et al. (2012)
Boderie & Genseberger (2010)
Bakker & Vijverberg (2013)
Van den Berg (2012)

Externe referenties:

Genseberger et al. (2009)
Genseberger & Boderie (2009)
Genseberger (2010)
Genseberger (2011)
Noordhuis et al. (2014)

Onderzoeksvraag: S11

Wat zijn de te verwachten ecologische effecten van het inzetten van deze maatregelen?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, monitoring bestaande situaties, modelstudie, veldexperimenten

Antwoord:

Een luwtestructuur genereert een gebied met luwte (afname golfdynamiek, afname transport slibrijk water), meer doorzicht en grotere vestigingskansen voor waterplanten, maar biedt zelf ook een substraat met vestigingsmogelijkheden voor organismen. Een luwtestructuur is ook uit te breiden naar een landschapselement waar nog weer andere soorten een habitat kunnen vinden (eiland, landtong, zandplaat, combinatie met strand enz.). (Buskens & den Held, 2012)

Waterplanten zullen groeien op locaties waar in het voorjaar meer dan 4-5% van het ingevallen licht op de bodem terecht komt. Langs de dieptegradiënt zal een zonering ontstaan met Zannichellia en smalbladige fonteinkruiden op de meest ondiepe locaties, dan achtereenvolgens Chara-kranswier, sterkranswier en langstengelige soorten als doorgroeid fonteinkruid. De vegetatie vormt een habitat voor ongewervelden en een paai- c.q. opgroei gebied voor vis, met name baars en blankvoorn en op termijn mogelijk limnofiele soorten als snoek en rietvoorn. Tussen de planten is eveneens ruimte voor ongewervelden als slakken en waterinsecten. Deze gemeenschap is aantrekkelijk voor foeragerende watervogels, met name herbivoren en omnivoren als meerkoet, tafeleend en krooneend. Luwtegebieden worden in het algemeen ook intensief gebruikt als rustgebied door vogels, en als het gebied voldoende groot is kunnen zich omvangrijke aantallen ruiende vogelpopulaties ontwikkelen (o.a. Kuifeend). (Buskens & den Held, 2012).

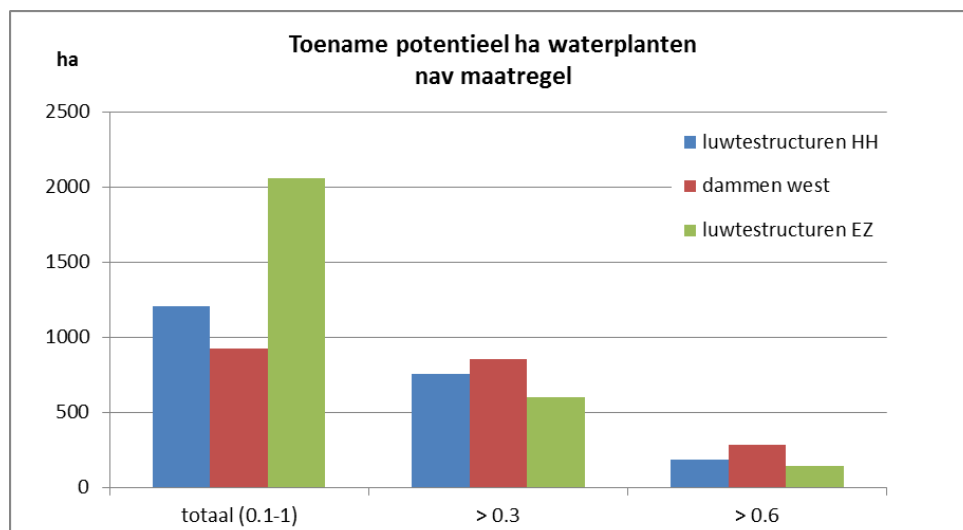
Monitoring van de bestaande vooroevers aan de zuidkant van de Houtribdijk en de haakvormige structuur bij het Naviduct ('gronddepot') bij de Houtribdijk laat zien dat een ligging dwars op de overheersende (zuid)westelijke wind positieve ecologische effecten heeft. Binnen de luwte is duidelijk meer ondergedoken vegetatie en visbroed gevonden en iets meer vissoorten. Op de stenen van de dammen zelf komen ook meer Quagga- en Driehoeksmosselen voor dan op de bodem van het open water. Het gebied wordt intensief gebruikt als rust- rui-, foerageer- en broedgebied door diverse soorten watervogels. Het water is er echter niet per definitie helderder, maar wel minder turbulent bij veel wind. Het onderzoek in 2011 laat zien dat waterplanten in hoge bedekking en gevarieerde soortensamenstelling voorkomen, maar vrijwel uitsluitend in het luwtegebied tussen de vooroevers en de Houtribdijk de dammen. Er is geen uitstraling of verbreiding buiten de dammen. In de meest beschutte delen van het luwtegebied op grotere afstand van de contactzones met open water is er minder aanvoer van slib. Zaden en sporen van waterplanten raken door de lagere dynamiek en de dunnere sliblaag minder zelf (te diep) begraven.

De vooroever/dam voor de Oostvaardersplassen kent een andere expositie ten opzichte van de overheersende windrichting dan de dammen bij de Houtribdijk. In combinatie met de grote diepte achter de dam (4 m) en ongehinderde slibaanvoer treden daar geen positieve effecten op. Ondergedoken waterplanten in zeer ondiep water zoals in het gronddepot Naviduct (<0,5 meter) zijn wel extra gevoelig voor vraat door watervogels waardoor de bedekking behoorlijk kan fluctueren door het jaar (Evers et al, 2011).

Een aantal mogelijk configuraties van luwtestructuren afzonderlijk en in combinatie is met het model Habitat doorgerekend op ecologische effecten voor soortgroepen. In onderstaande tabel en figuur is de gemodelleerde toename van het areaal per afzonderlijke maatregel weergegeven, zoals berekend met Habitat (Snijders, 2015).

Toename van potentieel areaal van waterplanten in drie dichtheidsklassen voor afzonderlijke maatregelen. NB: drempelwaarde voor de kans op voorkomen is 0,1

Luwte maatregel	Totale bedekking waterplanten		
	0,1-1	>0,3	>0,6
Luwtestructuren Hoornse Hop	1207 ha	760 ha	188 ha
Dammen west	924 ha	856 ha	283 ha
Luwtestructuren Enkhuizerzand	2060 ha	602 ha	145 ha



Vergelijking toename potentieel habitat waterplanten per maatregel, afhankelijk van gehanteerde ondergrens in de hoeveelheid licht voor kans op voorkomen. HH = Hoornse Hop, EZ = Enkhuizerzand

Veldexperimenten

Het veldexperiment met een luwtestructuur van GC-haken heeft weliswaar een golfdempend effect gehad, maar de ecologische effecten in de luwe zone konden niet aangetoond worden. Het verschil in bedekking van waterplanten tussen referentiegebied, de oorspronkelijke situatie en de situatie achter het rif was zo gering dat betwijfeld moet worden of dit door het rif veroorzaakt is (Schoonen, 2015). Het experiment Marker Kwelderwerken heeft ook een onverwacht luwte-effect teweeg gebracht. Tussen het experiment en de dijkvoet heeft zich een laag sediment afgezet, die in het tweede groeiseizoen ook begroeid is geraakt met riet (Wielakker et al, 2014).

NMIJ referenties:

Buskens & den Held (2012)
Evers et al. (2011)
Snijders (2015)
Wielakker et al. (2014)
Schoonen (2015)

Onderzoeksvraag: S12

Ontstaan er betere mogelijkheden voor de ontwikkeling (habitat) voor driehoeksmosselen, waterplanten en vis indien deze maatregelen worden ingezet?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, monitoring bestaande situaties, modelstudie, veldexperimenten

Antwoord:

Ja, met monitoring van bestaande situaties, modelstudies en veldexperimenten is aangetoond dat er betere ontwikkelingsmogelijkheden ontstaan bij het aanbrengen van luwtestructuren, afhankelijk van de situering. Monitoring in bestaande luwtegebieden (Gouwzee, Hoornse Hop, Pampushaven, Muiden, Hockeysticks Houtribdijk, diverse gebieden IJsselmeer en randmeren) toont aan dat in veel gevallen inderdaad luwte ontstaat waarin zich ondergedoken vegetaties ontwikkelen met een opgroefunctie voor jonge vis (baars en blankvoorn). Monitoring van vis in oevergebonden habitats in het Markermeer laat zien dat de visgemeenschap in deze deelgebieden (baars, blankvoorn, winde) sterk verschilt van die van het open water (spiering en pos). Spiering, in het verleden de sleutelsoort voor visetende vogels, lijkt gebieden met waterplanten in hoge mate te mijden. Door de habitatverdeling te manipuleren, kan de soortensamenstelling van de totale visgemeenschap dus worden beïnvloed. Open fonteinkruidvegetaties hebben daarbij een grotere betekenis voor vis dan de gesloten en laag blijvende kranswiervetaties. Concentraties ongewervelde dieren (slakjes, vlokreeftjes) tussen de planten trekken vogelsoorten aan die vroeger in hoge mate van Driehoeksmosselen afhankelijk waren.

Mosselpopulaties ontwikkelen zich vooral op het stortsteen langs de oever en op de bodem in de diepere delen waar minder planten staan, waarbij ijle fonteinkruidvegetaties een opgroehabitat vormen voor het broed.

Uit de analyse van gegevens uit veldkarteringen (2007, 2011) blijkt dat in bestaande luwtegebieden de dichtheden van mosselen vaak relatief laag zijn. Dat komt bijvoorbeeld doordat daar dichte kranswiervelden voorkomen, die dichte begroeiing met mosselen min of meer uitsluiten (Gouwzee), maar ook door accumulatie van slib (Pampushaven). Ook blijkt dat mosselen in deze gebieden niet harder groeien dan in open water met meer zwevend slib. Recent onderzoek (Noordhuis et al, 2014) suggereert dat de mosselen slechter zijn gaan groeien door verminderde voedingswaarde van het fytoplankton, waarbij in het Markermeer ook nog een deel van dat voedsel niet beschikbaar is doordat de algen zich binden aan slibdeeltjes. Dit laatste effect zou in luwtegebieden kunnen worden beperkt door te voorkomen dat slibdeeltjes opgewerveld worden.

Door de combinatie van hun verslechterde conditie en de toename van andere ongewervelden (tussen waterplanten) is het belang van mosselen als stapelvoedsel voor vogels afgenomen.

Een onjuiste situering van een luwtestructuur, zoals de vooroever langs de Oostvaardersdijk, (zuidwest-noordoost en open aan beide zijden) leidt tot veel aanvoer van slibrijk water en veel turbulentie achter de dam, waardoor een dikke sliblaag kon ontstaan. Hierdoor hebben zich daar nauwelijks ondergedoken waterplanten en mosselen kunnen ontwikkelen (Evers et al, 2011)

Modelstudies

De modelstudies met Habitat (Snijders, 2015) laten zien dat alle soorten waterplanten

profiteren van luwtemaatregelen, vooral doordat luwtestructuren de strijklengte en de lichtextinctie verkleinen. Geringe golfwerking en groter doorzicht hebben een positief effect op de ontwikkeling van waterplanten. Voor mosselen is door het model geen verandering in potentieel areaal voorspeld, doordat het type bodem en aanwezigheid en type substraat belangrijke sturende factoren zijn die niet worden beïnvloed door luwtestructuren. Dit wordt min of meer bevestigd door de eerder genoemde gedetailleerde mosselkarteringen in en rond bestaande gebieden, waarbij dichtheden en conditie (lengte) van de mosselen binnen en buiten deze luwtegebieden nauwelijks bleken te verschillen. Eventuele effecten via de kwaliteit van het voedsel (verhouding en interactie algen en anorganisch slib) zijn niet met Habitat te simuleren.

Veldexperimenten

De Marker Kwelderwerken (Wielakker et al., 2014) hebben laten zien dat zich in de luwte van het experiment een diverse emerse pioniervegetatie heeft kunnen vestigen op de ondiepe en drooggevallen slibbige locaties, met macrofauna, vis, vogels en zelfs amfibieën. Riet heeft zich in korte tijd ontwikkeld van enkele wortelstokken tot een dichte rietvegetatie binnen de vakken. Diverse soorten vis profiteerden van dit voedselaanbod en gebruikten de ondiepe, luwe oeverzones als paai- en opgroeihabitat.

Een gebied met rifballen blijkt geen luwte-effecten onder water te geven. Waterplanten zijn na 2½ jaar nog niet aanwezig, maar ontwikkeling op langere termijn is niet uit te sluiten. Wel kan mosselbroed zich beter vestigen op de rifballen dan op de waterbodem; de dichtheden en biovolumes zijn hoger. Dit geldt ook voor de Quagga-mossel, maar het aandeel Driehoeksmosselen in de populatie was op de rifballen hoger dan op de bodem.

De rifballen bieden voor vis een ecologische functie als schuil-, opgroei- en foerageerplek (Bak et al., 2014).

NMIJ referenties:

Buskens & den Held (2012)

Evers et al. (2011)

Snijders (2015)

Wielakker et al. (2014)

Bak et al. (2014)

Onderzoeksvraag: S13

Wat is de te verwachten bijdrage van geleidingsstructuren aan een veerkrachtig ecologisch systeem? Een veerkrachtig systeem dat dusdanig robuust is (qua omvang en diversiteit) dat verstoringen kunnen worden opgevangen.

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies, monitoring bestaande situaties, veldexperimenten

Antwoord:

De ecologische betekenis van luwe zones achter geleidingsstructuren strekt zich uit van waterplanten, mosselen en vis tot vogelsoorten (Buskens & den Held, 2012). De luwte maatregelen zijn het belangrijkste instrument voor vergroting van de diversiteit van het aquatische deel van het systeem. Via de toename van waterplanten en een daarmee verbonden diversiteit van vis en ongewervelden zal een aantal aquatisch foeragerende vogelsoorten juist van deze maatregelen profiteren, waaronder een aantal visetende en omnivore soorten die de laatste twee decennia een neergaande trend hebben vertoond. Door een grotere waterplanten-diversiteit kan efficiënter gebruik worden gemaakt van de resterende nutriënten en krijgt het ecosysteem meer weerstand tegen voortgaande druk van afname van voedselrijkdom, klimaatverandering en toenemend menselijk gebruik. In een diverser systeem zijn vogels tevens minder afhankelijk van "sleutelsoorten" als spiering en driehoeksmossel, doordat alternatieven aanwezig zijn als deze populaties verdwijnen.

Dat dit kan werken blijkt uit het feit dat de verspreiding van vogelsoorten die vroeger grotendeels van Driehoeksmosselen afhankelijk waren (Tafeleend, Kuifeend, Brilduiker), verschuift in de richting van gebieden waar waterplanten zijn toegenomen (Gouwzee, in het IJsselmeer bij Lemmer). Uit voedselonderzoek (ANT) blijkt dat mosselen daarbij als voedsel minder belangrijk zijn geworden. De prooikeuze is diverser, met veel slakjes en vlokreeftjes. De vogelaantallen worden niet of nauwelijks meer gestuurd door veranderingen in de omvang van de mosselpopulatie (bijv. Als gevolg van de invasie van de Quaggamossel).

Luwtegebieden zijn van relatief groot belang voor Natura 2000 vogelsoorten met neergaande trends en een anderszins moeilijk te realiseren behouds- of verbeteropgave. Met name enkele visetende vogelsoorten (Grote Zaagbek, Nonnetje) zullen echter vermoedelijk niet of nauwelijks van de grotere luwtegebieden profiteren. Voor deze soorten zijn maatregelen ter versterking van de spieringpopulatie belangrijk (Haarman et al. 2012).

NMIJ Referenties:

Buskens & den Held (2012)

Haarman et al. (2012)

Onderzoeksvraag: S14

Wat kunnen we leren van bestaande geleidingsstructuren?

Onderzoeksmiddelen:

Monitoring bestaande structuren

Antwoord:

In het Markermeer zijn enkele bestaande geleidestructuren aanwezig, zoals: vooroeverdammen (hockeysticks) bij de Houtribdijk, de vooroeverdam Oostvaardersdijk en dammen bij Pampushaven.

Bij deze bestaande structuren is in 2011 monitoring uitgevoerd, identiek aan het onderzoek dat in 2006 is verricht (Noordhuis en Van Schie, 2007). Het hoofdaccent lag op de ecologische ontwikkeling. Onderzocht zijn waterplanten, mosselen en vis. Daarnaast waren ongepubliceerde ruwe gegevens van Dreissena-opnames beschikbaar voor drie van dergelijke structuren (Bureau Waardenburg, ongepubl), die in het NMIJ project zijn bewerkt (Evers et al, 2011).

Slibeffecten

Bij de vooroeverdammen bij de Houtribdijk zijn ook slibdiktes en doorzicht bepaald. Bij de derde vooroeverdam vanaf Trintelhaven in NW-richting is de slibdikte 10 á 15 cm en het doorzicht 60 tot 110 cm, afhankelijk van het moment van meting. Bij vooroeverdam nr. 4 is de gemiddelde slibdikte circa 8 cm (variërend van 0 tot 70 cm) en het gemiddelde doorzicht circa 100 cm (variërend van 60 tot 130 cm). In het referentiegebied buiten de vooroeverdammen was de slibdikte 0 cm en het doorzicht 40 tot 100 cm (Bouma & Broeckx, 2011). Luwtestructuren bij de Houtribdijk blijken dus aanslibbing te bevorderen en aan de luwe zijde het doorzicht te verbeteren.

Ecologische effecten

Luwtedammen hebben voor alle onderzochte soortgroepen een (aanzienlijke) toegevoegde waarde ten opzichte van het grote oppervlak open water (Evers, 2011). Vooral voor ondergedoken waterplanten en in mindere mate mosselen is het belangrijk dat de dammen dwars op de wind liggen met zo min mogelijk instroming van slibrijk water. Naarmate er achter de dam minder slibaanwas plaatsvindt, zijn er meer planten en mosselen aanwezig. Voor vissen lijkt de slibdikte achter de dam minder relevant, maar in grote lijnen hebben dammen die dwars op de overheersende windrichting liggen (zuidwest) de hoogste ecologische potenties. Voor kranswieren is een diepte van ca. één meter het meest ideaal (weinig vraat), terwijl een diepte van ca. twee meter leidt tot meer fonteinkruiden. Gebieden met een open vegetatie van fonteinkruiden hebben meer potenties voor mosselen en (jonge) vis dan dichte kranswiervelden. Een variatie in diepte is dus belangrijk om een zo groot mogelijke variatie in ecotopen te kunnen realiseren.

Een luwtestructuur kan op de hier geschetste wijze het voorkomen van mosselen ten goede komen (voorkomen opwerveling; bieden van hard substraat) en leiden tot grotere dichtheden mosselen (Muiden). Echter, als de luwtestructuur tot te grote ophoping van slib leidt, verhindert dit de vestigingsmogelijkheden waardoor dichtheden van mosselen lager zijn (b.v. bij de Pampushaven, de vaargeulen bij Muiden en de dam voor de Oostvaardersdijk).

Locaties met veel oude schelpen hebben meer potentie voor mosselen; ook een wat hardere bodem met zand kan een positief effect hebben. De dammen zelf bieden ook een geschikt substraat voor mosselen.

NMIJ Referenties:

Evers et al (2011).

Bouma & Broeckx (2011)

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 niet werkzaam. 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 <i>Onderzoeksvraag H30</i> . 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. 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 inderdaad 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 strekken de 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. Indien lokaal (< 4 km) zand hydraulisch gewonnen kan worden met een geschikte sortering, kan op de zandkosten bespaard worden.

Voor de vulling van geotubes is uitgegaan van zand. 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.

<p>Onderzoeksvraag: S16 Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van de verschillende typen geleidingsstructuren?</p>																				
<p>Onderzoeksmiddel: Bureaustudie</p>																				
<p>Antwoord: Luwtestructuren zorgen voor zowel golf- en stromings- luwte, en kunnen daardoor beschouwd worden als geleidingsstructuren. Verder is het bieden van stromingsluwte zonder golfuwte niet werkzaam. 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 - € 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.</p> <p>Verschillende typen luwtestructuren kunnen op grote schaal toegepast worden zoals beschreven in de beantwoording van <i>Onderzoeksvraag H30</i>. 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 <i>Onderzoeksvraag S15</i> voor de realisatiekosten en geometrie van de structuren).</p> <p>Beheer en onderhoudskosten prijs per meter per jaar voor dammen met kruinhoogte ca. NAP +0,6 m, met bandbreedte van ca. 25%.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Enkhuizerzand</th> <th>Hoornse Hop</th> <th>Noord Oost Markermeer</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Zanddam</td> <td>€ 55</td> <td>€ 110</td> <td>€ 140</td> </tr> <tr> <td>Zandkern met breuksteen bekleding</td> <td>€ 17</td> <td>€ 25</td> <td>€ 27</td> </tr> <tr> <td>Geotubes met breuksteen bekleding</td> <td>€ 14</td> <td>€ 17</td> <td>€ 18</td> </tr> <tr> <td>Volledig breuksteen</td> <td>€ 11</td> <td>€ 16</td> <td>€ 17</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Bedragen inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i></p> <p>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.</p> <p>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'.</p> <p>De kosten voor monitoring en beheer en onderhoud van de luwtezone achter de luwtedam zijn eveneens geraamd en hierna aangegeven.</p>		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
	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																	

Beheer en Onderhoudskosten luwtezone, in prijs per hectare

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.

<p>Onderzoeksvraag: S17 Op welke locaties hebben verdiepingen het grootste effect ten aanzien van de reductie van slib?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies en Modelstudies</p>
<p>Antwoord: Met reductie van slib wordt voor het beantwoorden van deze onderzoeksvraag de reductie van slib in de waterkolom, dus verlaging van gesuspendeerd slib bedoeld. Daarnaast wordt bij deze vraag ook ingegaan op ecologische effecten, omdat geschikte locaties niet alleen door de reductie van slib maar ook door ecologie worden bepaald.</p> <p>Verdiepingen hebben in het algemeen de volgende effecten ten aanzien van slib in de waterkolom. Doordat stroomsnelheden afnemen boven de verdieping (mits de verdieping juist is gepositioneerd) kan slib uitzakken uit de waterkolom en sedimenteren in de verdieping. In de verdiepingen kunnen golven de bodem niet meer bereiken (mits de verdieping diep genoeg is). Hierdoor wordt het slib niet meer opgewerveld. Op korte termijn is er dus minder slib in de waterkolom doordat het slib uitzakt. Op lange termijn onttrekken verdiepingen slib aan het watersysteem. Hierdoor zal in principe ook de gemiddelde slibconcentratie in het Markermeer lager worden. Of dit in praktijk ook zal gebeuren en of de verlaging blijvend is onzeker en hangt af van de slibbalans van het meer. Zolang er meer bezinkt dan netto uit andere posten (zoals in- en uitstroom en bioturbatie) bijkomt wordt de concentratie slib in het meer lager.</p> <p>Ten aanzien van de locatie van verdiepingen kunnen de volgende zaken worden geconcludeerd: Op plaatsen waar de slibconcentratie hoog is, bijvoorbeeld in het centrale deel van het Markermeer (Van Kessel, 2013), vangen de verdiepingen meer slib in dan nabij de kust van Noord Holland (Koning, 1986). Meer invang van slib leidt ook tot een grotere verlaging van slib in het water boven en de nabijheid van de verdieping. Verdiepingen hebben vooral een lokaal effect op het slibgehalte. Om op grote schaal het doorzicht te verbeteren moeten dus op grote schaal verdiepingen worden aangelegd. Het jaargemiddelde slibgehalte boven en in de directe nabijheid van een grootschalige verdieping (groter dan orde 70 Mm³) wordt dan met ± 30 tot 40 mg/l ofwel 35% verlaagd ten opzichte van de omgeving. In de winter is de verlaging groter (-50%) en in de zomer kleiner (-10%). Daarnaast dient rekening gehouden te worden met resuspensie van het afgezette slib. Over het algemeen geldt hoe dieper de verdieping (ten opzichte van de waterstand), hoe kleiner de resuspensie. Verdiepingen zijn in dat opzicht het meest efficiënt in relatief diepe delen van het Markermeer (Noordhuis, 2013), omdat daar minder diep gegraven hoeft te worden om resuspensie tegen te gaan.</p> <p>Voor het behoud van gradiënten van helder naar troebel (ecologische doelstelling) is het echter niet altijd logisch juist in het centrale of diepere oostelijke deel van het Markermeer een verdieping aan te leggen. In het ondiepe deel is verlaging van de slibconcentratie gunstiger voor de ecologie, omdat waterplanten daar beter kunnen gedijen.</p> <p>Ecologische waarden stellen ook beperkingen aan de locaties van verdiepingen. Verdiepingen moeten bij voorkeur niet aangelegd worden op ondiepe plaatsen waar waterplanten en/of driehoeksmosselen (in potentie) voorkomen.</p> <p>Er kan dus worden geconcludeerd dat de beste locatie voor verdiepingen afhangt van het doel waarmee ze worden aangelegd. Om een reductie van slib op de schaal van</p>

het Markermeer te bereiken moet een voldoende grote verdieping op een locatie worden aangelegd waar veel slib aanwezig is zoals in het midden van het Markermeer. Voor het versterken van habitat dient de locatie van een verdieping aan te sluiten bij bestaande habitat(s), veelal nabij oevers of toekomstige eilanden en of luwtestructuren. Om werk met werk te kunnen maken is de locatie van het werk vanzelfsprekend leidend.

NMIJ Referenties:

Vijverberg, T., Knobben, R., Dankers, P. en Van Herpen, F. (2011). Inventarisatie mogelijkheden Locatie en Omvang Verdiepingen.

Schuurman, F. en Boderie, P. (2014). Update Bureaustudie Slib 2014.

Externe referenties:

Van Kessel T. (2013) Aanslibbing Marker Wadden memo 2013:1-8.

Koning J, Ente. (1986) Inslibbing zuigputten IJsselmeergebied. Rijkswaterstaat Riza. werkdocument 1986 -42 abw.

Noordhuis R. (2013) ANT Kennisdocument. Deltares. 1202088.

Genseberger, M. (2011). Quickscan slibeffecten verbreding gedeelte vaargeul Markermeer. Deltares 1205557

Onderzoeksvraag: S18

Op welke schaal moet verdieping plaatsvinden om significant effect (> 90 cm) te sorteren op het gemiddeld doorzicht?

Onderzoeksmiddelen:

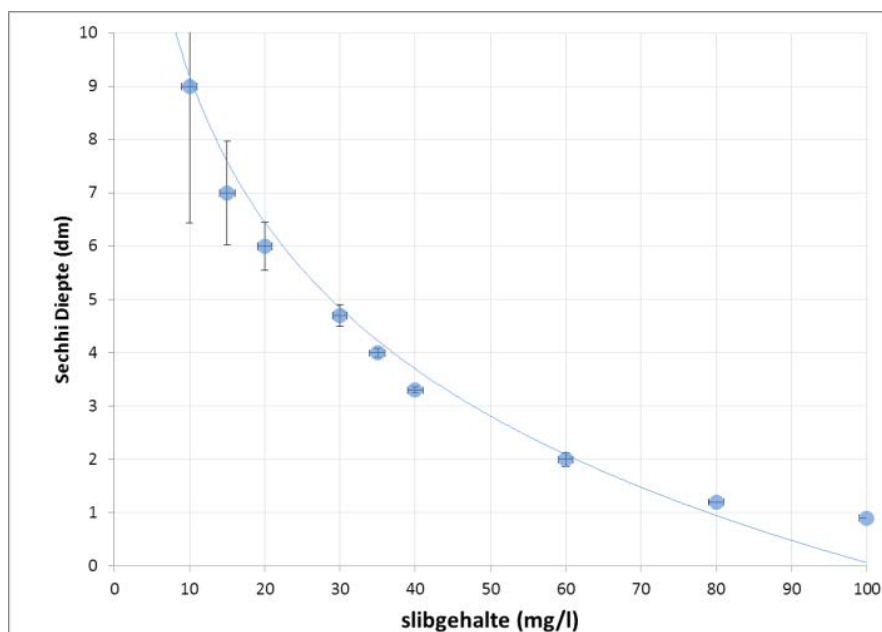
Bureaustudies en Modelstudies

Antwoord:

Doorzicht wordt bepaald door alle optisch actieve stoffen in het water. In het Markermeer levert anorganisch zwevend stof de belangrijkste bijdrage aan de uitdoving van licht (K_d) maar ook algen en organisch materiaal dragen significant bij. Omdat de interactie tussen slib en algen complex en deels nog onbegrepen is, kan deze vraag met minder zekerheid worden beantwoord dan vragen die over het effect van maatregelen op slib gaan.

Het huidige gemiddelde doorzicht bedraagt zo'n 40 cm (Van Kessel et al, 2009) en varieert over het seizoen met de beste doorzichten (45-55cm) in de zomer (Genseberger, 2013). Uit metingen in het midden van het Markermeer tussen 2003 en 2013 volgt onderstaand verband tussen gemeten Sechhi diepte (dm) en slibgehalte (mg/l). Te zien is dat de onzekerheid in de waarde van de Sechhi diepte toeneemt voor lagere slibgehalten.

Om het gemiddelde doorzicht tot 90 cm toe te laten nemen moet het slibgehalte erg laag worden (orde 10 mg/l). Dit vereist vermindering van de gemiddelde slibconcentratie (35 mg/l) met ongeveer 70% ten opzichte van het huidige niveau.

**Relatie zwevend stof en doorzicht.**

Verdiepingen zorgen voor een significante verlaging van de slibconcentratie. Zoals aangegeven bij vraag S17 hebben verdiepingen vooral een lokaal effect op het slibgehalte en wel ter hoogte van en in de directe nabijheid van de verdieping. Om een significante verbetering van doorzicht te krijgen moet dus een significant groot oppervlak aan verdiepingen worden aangelegd in het Markermeer.

Grootschaligere verdiepingen zoals bij een Halterput in het midden van het meer

(volume is ± 50 miljoen m^3), blijkt een ruimer invloedsgebied te kennen (vooral westelijk van dit systeem). Nog grootschaliger toepassing, zoals bij de Oervallei (volume is ± 225 miljoen m^3), heeft invloed op het gehele systeem en een dergelijk grootschalige toepassing heeft een belangrijke invloed op de algehele slibinvang. Ook het grootschalig verbreden van de vaargeul heeft een dergelijk effect (Genseberger, 2011).

De minimale afmeting voor een verdieping (zie vraag 23) is in de orde van 500m. Kleinere verdieping vangen minder effectief gesuspendeerde slib in omdat er onvoldoende tijd is voor het uitzakken in de verdiepingen.

Als het doel is om een zo groot mogelijk volume van slib in te vangen is het uiteindelijk effectiever om meerdere kleinere verdiepingen te realiseren, dan één grote verdieping (Van Kessel, 2013). Dit heeft te maken met dichtheidsstroming aan de bodem (zie bij vraag S19) naar de verdieping toe. Hoe langer de randen van de verdiepingen zijn, hoe meer slib er via dichtheidsstromen in de verdieping terecht komt. Bij eenzelfde oppervlakte verdieping hebben meerdere kleinere verdiepingen meer randlengte dan een grotere verdieping.

NMIJ Referenties:

Vijverberg, T., Knoben, R., Dankers, P. en Van Herpen, F. (2011). Inventarisatie mogelijkheden Locatie en Omvang Verdiepingen.
 Visser K.P., Vijverberg T. (2010) Natuurlijker Markermeer-IJmeer - Initiële bureaustudie slib 2010. Royal Haskoning. 9V6742.A5
 Bakker, M. en Vijverberg, T. (2014). NMIJ scenario berekeningen 2014. 9V6742.A2/R0199/903718/MJANS/Nijm

Externe referenties:

Van Kessel T. (2013) Aanslibbing Marker Wadden memo 2013:1-8.
 Van Kessel T, De Boer G, Boderie P. (2009) Calibration suspended sediment model Markermeer. Deltares rQ4408
 Duin EV, Blom G, Los H, Maffione R, Zimmerman R, Cerco, et al. (2001) Modeling underwater light climate in relation to sedimentation, resuspension, water quality and autotrophic growth. Hydrobiologia, 444(1), 25–42.
 Genseberger, M. (2011) Quickscan slibeffecten verbreding gedeelte vaargeul Markermeer. Deltares. 1205557-000.
 Genseberger, M., Thiange, C., Noordhuis, R. (2013). Luwtmaatregelen Hoornse Hop - Bijdrage Deltares aan MIRT verkenning Hoornse Hop. 1207128-000-ZWS-0010

Onderzoeksvraag: S19

Welke vorm, oppervlak en diepte zijn optimaal voor het invangen van het fijnste zwevende materiaal? Is het zinvol/mogelijk te voorkomen dat de fluffy (fijn slib) bodemlaag in de put/verdieping zakt?)

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies en Modelstudies

Antwoord:

Bij de beantwoording van deze vraag worden de aspecten vorm en diepte apart behandeld. Het aspect oppervlak (schaal) is al aan de orde gekomen bij vraag S18. Bij het aspect vorm wordt ook de oriëntatie van verdiepingen behandeld. Bij het aspect diepte speelt de helling van het talud van de verdieping ook een rol.

Vorm/oriëntatie

De oriëntatie van verdiepingen heeft een sterke invloed op de efficiëntie van de slibvang. Verdiepingen die met hun lengterichting loodrecht op de overheersende stroomrichting worden aangelegd zijn effectiever als slibvang dan verdiepingen met parallelle richting. De oorzaak hiervan is de afname van de (dieptegemiddelde) stroomsnelheid bij verdiepingen loodrecht op de stroomrichting en toename van de stroomsnelheid bij parallelle verdiepingen.

Een toename van stroomsnelheid leidt tot meer opwerveling van slib in de verdieping. Omdat in het Markermeer stroomrichtingen vaak wisselen zal elke verdieping netto sediment invangen mits de verdieping groot en diep genoeg is, richtingen van waaruit het meeste sediment wordt aangevoerd leveren daarbij de grootste bijdrage. Deze richtingsgevoeligheid is vanzelfsprekend minder van belang voor rondvormige of vierkante verdiepingen.

Verdiepingen waarbij de lengte en breedte min of meer gelijk is, en die diep zijn, zijn het meest effectief voor invang van slib. 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 opwerveling vergroot. Daarnaast kan er opwerveling ontstaan door scheepvaart.

Diepte / taludhelling

Bij verdiepingen geldt dat deze voldoende diep moeten zijn voor het invangen van sediment én voor het voorkómen van resuspensie. In diepe, geïsoleerde verdiepingen in het Markermeer (proefputten A en B) blijkt uit metingen dat de netto aanslibbing vrij plotseling sterk toeneemt wanneer de diepte groter wordt dan 6 tot 7 m –NAP. Dat komt door de sterke afname van erosie als gevolg van windgolven met de diepte. Slib dat in de verdieping wordt ingevangen en beneden deze erosiedrempel komt, kan niet meer opwervelen (resuspenderen). De aanslibbing is dan gelijk aan de bruto sedimentatie (de beste schatting van de maximale aanslibbingsnelheden op basis van ladinggegevens bedraagt 1,5 à 2,0 m per jaar). Modelberekeningen ondersteunen de vorm en ligging van deze scherpe grens. Het omslagpunt waarbij de aanslibbing sterk toeneemt ligt op grotere diepte (orde 10 m -NAP) wanneer naast windgolven ook stroming in de verdieping voor erosie zorgt. Dat is bijvoorbeeld het geval wanneer de verdieping in de vaargeul Amsterdam-Lemmer ligt.

De bijdrage van dichtheidstroming aan het invangen van slib is met een theoretische beschouwing vergeleken met de depositie van slib uit de waterkolom. Dichtheidstroming zorgt voor extra sedimenttransport over een nagenoeg vlakke bodem naar de put toe. Die bijdrage is voor het Markermeer kleiner dan 10% geschat.

Daarnaast verhoogt dichtheidstroming de efficiëntie waarmee slib wordt ingevangen. De bijdrage van dichtheidstroming kan voor puthellingen van 1:10 en overigens karakteristieke Markermeer omstandigheden op lopen tot stroomsnelheden die gelijk zijn aan die van windgedreven stroming (orde 0.15 m/s). Het relatieve belang van de extra slibflux naar de put hangt af van de omtrek ten opzichte van het oppervlak en is groter voor kleinere putten.

Geotechnische berekeningen laten zien dat een taludhelling van een verdieping van 1:3 tot NAP -20 m stabiel is. Voor de zekerheid wordt echter een helling van 1:4 aangeraden voor delen dieper dan NAP -10 m, een helling van 1:7 tussen NAP -5 m en NAP -10 m. De overgang van de waterbodem naar de zandwinput is gevoelig voor erosie, daarom wordt daar een nog geleidelijkere overgang aangeraden.

Fluffy bodemlaag

De fluffy bodemlaag heeft een grotere dichtheid dan water, er zal daardoor extra sedimenttransport over de bodem naar de verdieping toe plaatsvinden, vooral in de overgangszone van de nagenoeg vlakke bodem naar de verdieping toe. Daarnaast verhoogt het dichtheidsverschil extra uitzakking in de verdieping waardoor de efficiëntie van invang wordt vergroot. Zonder maatregelen verdwijnt de fluffy bodem-toplaag binnen een bepaalde afstand van de putrand (schatting orde 0.5-1 km) in de verdieping. Dit wordt bevestigd doordat relatief veel fijn slib wordt gevonden in sedimenten van de proefputten A en B.

Of het zinvol is om te voorkomen dat de fluffy bodemlaag in de verdieping zakt, hangt af van doel waarvoor en de omstandigheden waarin de verdieping wordt aangelegd. Door dichtheidstroming rondom de verdieping wordt meer slib ingevangen en wordt het water rondom de verdieping gemiddeld helderder omdat de fluffy laag rondom de verdieping dunner wordt. De verdieping vult daardoor sneller op wat gunstig is als het ingevangen materiaal eventueel toegepast gaat worden als bouw materiaal voor een moeras zoals beoogd in Marker Wadden.

Volgens De Lucas (2014) verandert echter de chemie van de bodem als de fluffy laag verdwijnt. Daardoor neemt de gevoeligheid van het sediment voor opwerveling toe als gevolg van opwoeling door bodemorganismen (bioturbatie). Op locaties met een goed ontwikkeld bodemleven kan de fluffy bodemlaag dan weer worden aangevuld. Daarbij kan slib uit geconsolideerde klei gemobiliseerd worden die eerder, in aanwezigheid van de fluffy bodemlaag, niet erodeerbaar was. De tijdschaal van deze terugkoppeling is niet goed bekend maar het zou wel eens enkele jaren kunnen duren.

Om te voorkómen dat de beschermende fluffy bodemlaag door dichtheidsstroming in de verdieping terecht komt, zou een soort ring van enkele decimeters om de verdieping heen kunnen worden gelegd.

NMIJ Referenties:

Vijverberg, T., Knoben, R., Dankers, P. en Van Herpen, F. (2011). Inventarisatie mogelijkheden Locatie en Omvang Verdiepingen.
 Visser K.P., Vijverberg T. (2010) Natuurlijker Markermeer-IJmeer - Initiële bureaustudie slib 2010. Royal Haskoning. 9V6742.A5
 Schuurman, F. en Boderie, P. (2014). Update Bureaustudie Slib 2014.

Externe referenties:

Lucas, Miguel de. (2014). Fine Sediment Dynamics in Markermeer. PhD thesis TU Delft.
 Van Kessel, T. (2013). Notitie omgevingsfactoren aanslibbing geulen Marker Wadden. Deltares, 1207623.

<p>Onderzoeksvraag: S20 Welke mogelijkheden zijn er om ingevangen slib te benutten voor uitbouw oermeeras of vooroevers (innovatieopties)?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie, veldexperiment</p>
<p>Antwoord: <u>Bureaustudie</u> Voor het invangen van slib kan onderscheid gemaakt worden naar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. <p><i>Natuurlijke invang en verlanding met slib</i> 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.</p> <p>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 golf luwe 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.</p> <p><i>Bouwen met slib</i> 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 golf luwte 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 Marker Wadden (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).</p> <p>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.nieuwlandergoed.nl).</p>

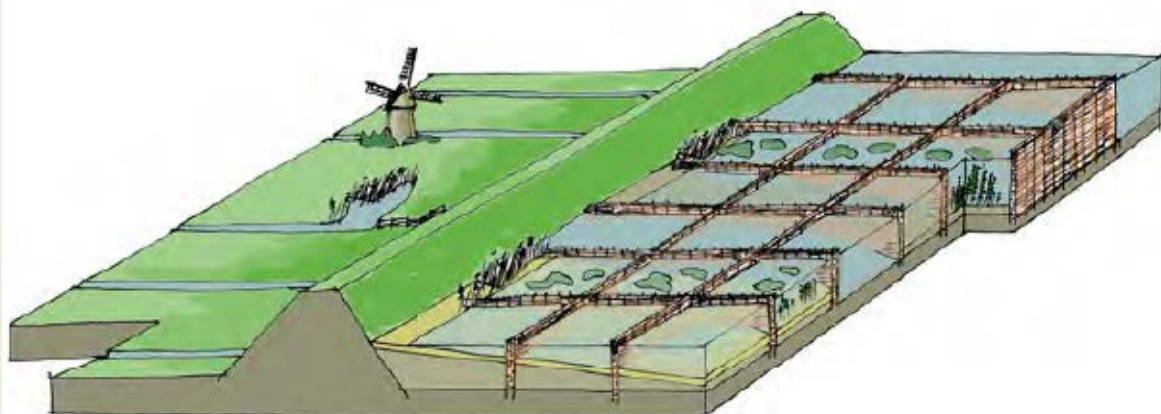
Veldexperimenten

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).

Marker 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 rijsdammen 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

<p>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?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen:</p>
<p>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.</p> <p>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.</p>
<p>NMIJ Referenties:</p>

Onderzoeksvraag: S22

Hoe effectief zijn verdiepingen in de vorm van putten, geulen en dergelijke om slib af te vangen of om de stroming te beïnvloeden?

Onderzoeksmiddelen:**Antwoord:**

De effectiviteit van verdiepingen hangt af van de karakteristieken van de verdieping zelf (vorm, omvang etc.) en van de combinaties waarin de verdieping is ingepast (locatie en positie ten opzichte van andere maatregelen). Het effect van de vorm en oriëntatie is in vraag S19 besproken en relevante aspecten worden voor de leesbaarheid hier kort herhaald. Met het slibmodel van het Markermeer zijn in de afgelopen jaren verschillende combinaties van maatregelen doorgerekend. Voor de beantwoording van deze vraag is gekeken de effectiviteit van verdiepingen in eerdere berekeningen.

Afmeting

Het principe van de werking van een verdieping is dat slib erin kan uitzakken tot onder een diepte waar geen erosie meer plaatsvindt. Een verdieping moet daarom (in de richting waaruit slib met waterstroming wordt aangevoerd) een minimale afmeting hebben zodat er voldoende tijd is voor slib om diep genoeg uit te zakken. In het Markermeer is die minimale lengte in de orde van 500m. Kleinere verdiepingen zijn minder effectief.

Diepte

In geïsoleerde verdiepingen is de minimale diepte voor netto invang van $\pm 6-7$ m onder NAP (Boderie et al 2010). Ondiepere verdiepingen vangen netto geen slib in. Boven een diepe verdieping is de verlaging van de slibconcentratie ca. 15 mg/l en 5-10 mg/l in de nabije omgeving van de verdieping (orde paar honderd meter vanaf de verdieping).

Vorm

Voor verdiepingen waarbij de lengte min of meer gelijk is aan de breedte, is de effectiviteit niet afhankelijk van de oriëntatie op de (grootschalige) stroomrichting. De effectiviteit van langwerpige verdiepingen, zoals een vaargeul, is sterk afhankelijk van de oriëntatie. In de lengterichting van zo'n verdieping kan een versterkte stroming ontstaan die voor opwerveling zorgt waardoor de effectiviteit van de slibvangst kleiner worden.

Oriëntatie

Verdiepingen die met hun lengterichting loodrecht op de overheersende stroomrichting worden aangelegd zijn effectiever dan die met parallelle richting. Omdat in het Markermeer de stroomrichtingen vaak wisselen zal weliswaar elke verdieping netto sediment invangen (mits groot en diep genoeg) maar is optimalisatie mogelijk.

Stroming

De effectiviteit van verdiepingen wordt in belangrijke mate bepaald door de grootschalige stroming in het meer. Verdiepingen zelf zijn niet het meest aangewezen middel om die grootschalige stroming te beïnvloeden, daarvoor zijn luwtmaatregelen zoals dammen meer geëigend.

Combinaties

De effectiviteit van een verdieping wordt sterk beïnvloed door het aanbod van slib. Zo is de effectiviteit van invang van slib in een zandwinput bij Warder (Koning, 1986) voor de kust van Noord Holland veel minder groot (0.6 tot 0.1 m/jaar voor de periode 1975-1983) dan in de proefputten (1.5-2m /jaar) in het veel troebeler deel van het meer.

De effectiviteit van verdiepingen kan worden verhoogd door (1) te zorgen dat er geen versterkte stroming door de (langsrichting) van de verdieping ontstaat zodat erosie beperkt blijft en (2) er voor te zorgen dat slibrijk water in de (dwarsrichting) van de verdieping stroomt zodat sedimentatie wordt vergroot.

In de afgelopen jaren zijn diverse verdiepingen met verschillende vorm en oriëntatie in combinatie met andere slibmaatregelen met het slibmodel van het Markermeer doorgerekend. Onderstaande tabel geeft een overzicht. Geconcludeerd wordt dat:

- kleine verdiepingen (no 2,8) veel minder effectief zijn;
- erg grote verdiepingen (no 1, 3, 6) effectief zijn en op grote schaal de slibconcentratie verlagen (maar vanwege kosten waarschijnlijk niet realiseerbaar zijn);
- Verdiepingen met een realiseerbaar volume (no 4, 5, 7) effectief kunnen zijn, vooral in combinatie met andere maatregelen;
- de configuratie kan worden geoptimaliseerd (7) door de invang te maximaleren en gelijktijdig de erosie te minimaliseren.

Met het Markermeer slibmodel gesimuleerde maatregelen waarbij ook verdiepingen zijn onderzocht. De kolommen locatie, dimensie en vorm hebben betrekking op de verdieping. In de kolom effectiviteit is het effect van de verdieping op het slib in de het water geschat

No	Locatie	Dimensie		Vorm	Effectiviteit
1	Grote verdieping centraal in Markermeer	100 miljoen m ³	12 km ²	ster put, halterput	redelijk effectief voor slib
2	Rij van 4 verdiepingen Hoorsche Hop	20 miljoen m ³	2-4 km ²	rond, ovaal	in Hoornsche hop matig effectief
3	Oergeul of oervallei	300 miljoen m ³	30 km ²	recht 30 km x 1 km x 10 m	extreme maatregel, maar effectief voor slib
4	Verdiepingen in combinatie met eilanden (bv bij Hoornsche Hop)	te bepalen		specifiek in ontwerp	vermindering slib door luwte groter icm verdiepingen
5	Vaargeul Amsterdam-Lelystad	30 km x 300m		recht 30 km x ±300 m diepte varieert van 4-14 m -NAP	lokaal effectief voor slib
6	verbreding vaargeul	13.5 km x 3 km		recht 13.5 km x 3 km diepte 15 m - NAP	extreme maatregel, maar effectief voor slib
7	Marker Wadden	5 tot 8=7 km x 500m		Divers, gekromd, recht, "vinger" patroon	effectief voor slib
8	NMIJ scenario's 2014	11.2 – 23.1 ha (0.1 – 0.3 km ²)		rond	niet erg effectief in HH (lokaal 2% minder slib) Erosie rondom putrand

NMIJ Referenties:

Bakker, M. en Vijverberg, T. (2014). NMIJ scenario berekeningen 2014. 9V6742.A2/R0199/903718/MJANS/Nijm
Schuurman, F. en Boderie, P. (2014). Update Bureaustudie Slib 2014.

Bakker, M. en Vijverberg, T. (2013). NMIJ scenario berekeningen zomer 2013.
Vijverberg, T. (2013). Update Bureaustudie Slib.
9V6742.A2/N0091/903718/MJANS/Nijm, februari 2013.
Visser K.P., Vijverberg T. (2010) Natuurlijker Markermeer-IJmeer - Initiële bureaustudie
slib 2010. Royal Haskoning. 9V6742.A5

Onderzoeksvraag: S23

Hoeveel bedraagt de relatieve bijdrage van verdiepingen ten opzichte van de andere voorgestelde maatregelen om het slibgehalte te reduceren?

Onderzoeksmiddelen:

Bureau studies en Modelstudies

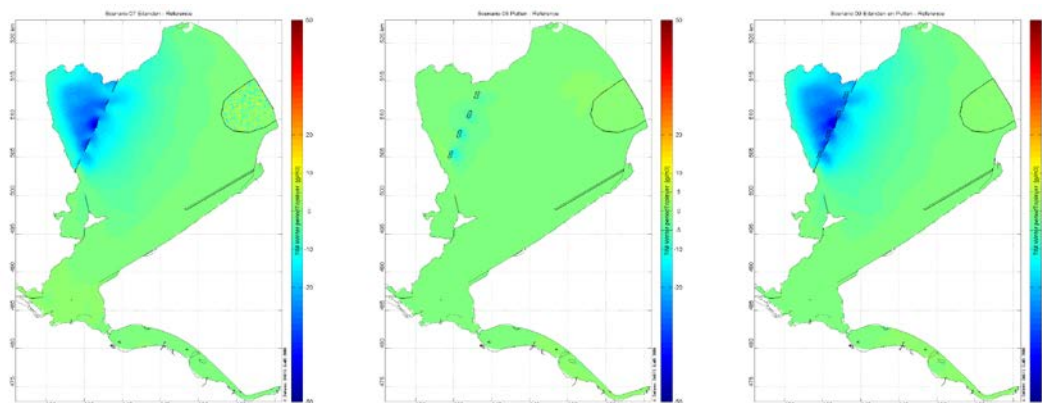
Antwoord:

Bij de beantwoording van deze vraag wordt de volgende definitie gehanteerd van reductie van slibgehalte: verminderen van gesuspendeerd fijn sediment in de waterkolom.

Het effect van verdiepingen in relatie tot andere maatregelen kan niet direct generiek worden bepaald. Dit hangt voornamelijk af van de exacte dimensionering, positionering en type van zowel de maatregelen als de verdiepingen.

Met het slibmodel van het Markermeer zijn in de afgelopen jaren wel verschillende combinaties van maatregelen doorgerekend. Voor de beantwoording van deze vraag is daarom gebruik gemaakt van deze eerdere berekeningen.

Vijverberg en Boderie (2008) hebben een tiental scenario's doorgerekend, waarbij ook scenario's met luwtmaatregelen en verdiepingen in het Hoornse Hop. De luwtstructuur en de verdieping liggen daar ongeveer op dezelfde locatie en zijn van dezelfde orde grootte. Resultaten van de berekeningen (zie figuur hieronder) laten zien dat de verdiepingen veel minder effectief zijn dan luwtmaatregelen in de verlaging van slibconcentratie in de waterkolom als ze op dezelfde schaal worden toegepast. Luwtmaatregelen geven effect in het gehele Hoornse Hop (figuur links), terwijl verdiepingen (figuur midden) alleen effect geven boven en in de directe nabijheid van de verdieping. Ten opzichte van alleen luwtstructuren geeft een combinatie van beide maatregelen (figuur rechts) een verdere verlaging van slibconcentratie in het Hoornse Hop.



Verlaging van gemiddeld slibgehalte bij 3 scenario's met luwtstructuren en/of verdiepingen

In dezelfde studie is ook een verdieping op veel grotere schaal doorgerekend: de zogenoemde halterput. In latere studies (Genseberger 2009 en 2011) zijn ook andere grootschalige verdiepingen doorgerekend, een zogenoemde "oervallei" dwars over het meer en een grootschalige verbreding/verdieping van de vaargeul Amsterdam-Lelystad. Resultaten van al deze berekeningen laten zien dat, alleen als verdiepingen op dergelijke schaal worden uitgevoerd, de effectiviteit van deze maatregel vergelijkbaar is met luwtstructuren.

Recente scenarioberekeningen (2014b) bevestigen dat de bijdrage van kleine zandwinputten (oppervlakte tussen 10 en 20 ha) aan het verlagen van de slibconcentratie op Markermeer schaal relatief klein is. De verdiepingen zorgen voor een lokale verlaging van de slibconcentratie van 0,5 – 1 mg/l. In vergelijking, luwtestructuren in het Hoornse Hop zorgen voor een verlaging van ongeveer 5 mg/l en bij het Enkhuizerzand zorgen structuren voor verlaging van 5 tot 10 mg/l. Op beide locaties is het invloedsgebied van deze luwtemaatregelen veel groter dan bij de verdiepingen.

Verdiepingen kunnen echter ook slim ingezet worden in combinatie met andere maatregelen, zodat de efficiëntie toeneemt. Zo beïnvloeden luwtestructuren bijvoorbeeld de stroming en dus ook het slibtransport. In openingen tussen luwtestructuren kan nog wel slibtransport plaatsvinden. Door in deze openingen een verdieping te maken kan een deel van het slibtransport door de openingen worden afgevangen.

Ook bij het concept Marker Wadden (Royal HaskoningDHV, 2013) is gebruik gemaakt van een slimme combinatie van het moeras en de verdiepingen. De afmeting en vorm van het moeras heeft effect op de effectiviteit van de geulen, omdat de stroming rondom het moeras gestuurd wordt en dus de stroming over de geulen beïnvloedt. De geulen zijn ten opzichte van het moeras en de gemiddelde windrichting zo gepositioneerd dat de stroming loodrecht richting te geulen staat. Dit levert een gemiddelde verlaging van ca. 15 mg/l op boven de geul, en 5-10 mg/l in de directe omgeving van de geulen. Daarmee zijn deze verdiepingen (oppervlakte orde 300-400 ha) orde grootte even effectief als de luwtestructuren in het Hoornse Hop (luwtestructuur met lengte 7-8 km).

De combinatie van verdiepingen en luwtestructuren is in bepaalde gevallen echter ook inefficiënt, omdat de luwtestructuren de stroming over de geulen nadelig kan beïnvloeden en omdat de slibvanggeulen een deel van het slib opvangen dat anders achter de luwtestructuur zou bezinken. Goed ontwerp is daarom altijd cruciaal.

NMIJ Referenties:

Visser K.P., Vijverberg T. (2010) Natuurlijker Markermeer-IJmeer - Initiële bureaustudie slib 2010. Royal Haskoning. 9V6742.A5
 Bakker, M. en Vijverberg, T. (2014). NMIJ scenario berekeningen 2014. 9V6742.A2/R0199/903718/MJANS/Nijm
 Bakker, M. en Vijverberg, T. (2013). NMIJ scenario berekeningen zomer 2013.

Externe Referenties:

Vijverberg, T. en Boderie, P. (2008). Analyse scenarioberekeningen Markermeer. Deltares rapport Q4613.
 Genseberger M. en Boderie P. (2009). Simulaties hydrodynamica & slibtransport scenario's Toekomstbeeld Markermeer. Deltares rapport 1200097.007.
 Genseberger M. (2011). Quicksan slibeffecten verbreding gedeelte vaargeul Markermeer.
 Royal HaskoningDHV (2013). rapport Marker Wadden Resultaten Slibberekeningen, reg. nr: BA8757-103-104/R/903718/Nijm.

Onderzoeksvraag: S24

Wat zijn de ecologische effecten van verdiepingen? Let ook op de rol van verdiepingen voor het creëren van habitatdiversiteit bijvoorbeeld voor refugia vis etc.

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies

Antwoord:

De ecologische effecten van verdiepingen zijn zowel positief als negatief.

sedimentatie

Boven de verdieping wordt het water helderder door sedimentatie van zwevend materiaal uit de waterkolom met enige uitstraling naar de omgeving, ordegrootte één keer de afmeting van de put. Maar deze toename van helderheid resulteert niet noodzakelijkerwijs in een toename van de algenbiomassa aangezien het Markermeer fosfaatgelimiteerd is. Uit het ANT-onderzoek is gebleken dat er echter nog onvoldoende kennis is over de daadwerkelijke ontwikkeling bij verminderde slibconcentraties omdat ook de algensamenstelling kan veranderen en de interactie tussen slibdeeltjes en algen soort-specifiek is, waardoor ook de respons van zoöplankton niet goed bekend is (Noordhuis et al, 2014). Zichtjagers op vis kunnen eventueel profiteren van de nieuwe ontstane gradiënten.

stratificatie

In diepe putten (> 8-10 m, maar mede afhankelijk van de grootte van de put) treedt gedurende een deel van de zomer temperatuurstratificatie op (STOWA, 2010). Dat is een verandering van de oorspronkelijk homogene habitat, waarbij de onderste waterlaag niet meer gemengd wordt en de temperatuur en het zuurstofgehalte onder een abrupte "spronglaag" aanzienlijk lager wordt. Hierdoor wordt de bodemfauna ten opzichte van de oorspronkelijke toestand sterk verarmd (Klink, 1985) en is de onderste waterlaag ("hypolimnion") niet alleen qua zuurstof, maar ook qua voedsel in de zomer ongeschikt voor de meeste vis. In de winter, wanneer eventuele stratificatie wordt opgeheven, vormen diepe putten vaak juist een geschikt overwinteringshabitat voor vis.

Vooraf in het vroege voorjaar zijn diepe putten daarom ook in trek als foerageergebied voor visetende vogels. Putten met een zodanig grote oppervlakte/diepte verhouding dat geen of minder vaak stratificatie optreedt, zijn mogelijk ook in de zomer aantrekkelijk voor koudeminnende vis zoals spiering. De randen van putten, waar het water wel koeler is maar het zuurstofgehalte niet te laag, kunnen specifieke natuurwaarden herbergen in de vorm van verhoogde dichtheden van macrofauna of (bij gering omgevingsdiepte) bepaalde waterplanten (vergelijk specifiek voorkomen van Sterkranswier en Smalle Waterweegbree op de randen van de vaargeul in het Veluwemeer). Het is slecht bekend of macrofauna, zoals bijvoorbeeld Driehoeksmossels in verhoogde dichtheden op de randen vóórkomt. Mogelijk is de hydrodynamiek hier op die plaats te groot.

Samenvattend: het meest relevante negatieve effect van de aanleg van nieuwe diepe putten lijkt een verlies van bodemfauna (en planten bij beperkte startdiepte), de meest relevante positieve effecten zijn de eventuele overwinteringsfunctie voor vis en de daaraan verbonden foerageerfunctie voor visetende vogels in het vroege voorjaar.

NMIJ Referenties:

Van Herpen et al. (2010)

Onderzoeksvraag: S25

Wat is de relatieve bijdrage van verdiepingen i.r.t. de andere maatregelen voor slibreductie op de realisatie van een veerkrachtig ecologisch systeem?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies, modelstudies (Habitat)

Antwoord:

Verdiepingen brengen habitats (diepteklassen) aan die nu in het Markermeer ondervertegenwoordigd zijn. Daardoor neemt in principe de robuustheid van het systeem toe. De effecten zijn echter tijdelijk en kunnen mogelijk gepaard gaan met negatieve effecten (diepere putten, stratificatie, lage zuurstofconcentraties en verarming bodemfauna). De effectiviteit van verdiepingen is het grootst bij combinatie met luwtmaatregelen; de bijdrage kan op deze manier worden gezien als versterking van de effectiviteit van die maatregelen. (Buskens & den Held, 2012).

Diepe putten kunnen fijn sediment uit de waterkolom invangen en vastleggen (niet meer erodeerbaar door de golven). Het doel hiervan is het verwijderen van slib en het vergroten van de (lokale) helderheid. Het succes is afhankelijk van formaat en volume van de put (Uittenboogaard et al. 2008, Penning et al. 2009). De diepte moet groter zijn dan 6 meter om slib in te vangen, maar liever nog dieper dan 10 meter, anders treedt toch nog erosie op, die zorgt voor afname van de sedimentatie naar mate de diepte afneemt (Boderie et al. 2010). Voor slibreductie die relevant is op systeemniveau zijn zeer grote putten nodig van 5-10% van het meeroppervlak (Vijverberg & Boderie 2008, Genseberger et al. 2011). Afhankelijk van de locatie kan op die schaal verlies van areaal voor op bodemorganismen foeragerende watervogels een rol gaan spelen.

Positieve ecologische effecten zijn overwinteringsmogelijkheden voor vis en, in samenhang daarmee, foerageermogelijkheden voor visetende vogels boven de randen van de putten in het voorjaar, en voor bodemfauna (mosselen) op de randen door veranderingen in het erosie-sedimentatie evenwicht. Lokale effecten op doorzicht kunnen gradiënten in helderheid toevoegen met kansen voor vis en viseters. Overgangen in bodemeigenschappen op de randen kunnen lokaal gunstig zijn voor bodemfauna waardoor de lokale diversiteit kan toenemen.

Uit analyse van continue metingen van de waterkwaliteit op verschillende dieptes blijkt dat dagstratificatie in de meren tijdens hittegolven meerdere dagen kan aanhouden, en dat in die situatie het zuurstofgehalte in de onderlaag afneemt (Noordhuis et al, 2014). In diepe putten zal dat sterker het geval zijn, zodat de diepere lagen geen schuilplaats vormen tegen hogere watertemperaturen in de bovenlaag voor bijv. spiering.

De ecologische potentie van verdiepingen is door hun geringe omvang ten opzichte van de rekengridresolutie en de grote diepte (geen potentie voor onderzochte soortgroepen) niet met Habitat te berekenen (Snijders, 2015). Ook los daarvan zal de invloed van de toename van diversiteit op de veerkracht van het totale systeem zeer afhangen van de schaal en het aantal van de verdiepingen. Enerzijds is (de duur van) het optreden van stratificatie (en zuurstoftekort in de onderlaag) gerelateerd aan de afmetingen van de verdiepingen, anderzijds zijn bepaalde aspecten van diversiteit gerelateerd aan de randlengte en de verspreiding.

NMIJ Referenties:

Buskens & den Held (2012)
Snijders (2015)

Onderzoeksvraag: S26

Wat kunnen we leren van bestaande putten?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies

Antwoord:

Bij het beantwoorden van deze vraag is uitgegaan van een aantal aannamen. Alleen bestaande putten (verdiepingen) in het Markermeer zijn bekeken, geen putten in andere meersystemen. De vaargeul Amsterdam Lemmer wordt hierbij niet gezien als put, omdat hierbij andere fysische processen een rol spelen en ook de invloed van schepen significant is.

Deze vraag is beantwoord met behulp van het onderzoeksmiddel bureaustudies. Dit betekent dat alleen bestaande gerapporteerde kennis is meegenomen. Ecologische aspecten zijn behandeld bij de beantwoording van vraag S24 en S25. Bij deze vraag wordt alleen gekeken naar effecten van bestaande putten op hydrodynamica en slib. In de bestaande literatuur is kennis aanwezig over drie onderwerpen:

Aanslibsnelheid en evenwichtsdiepte

Informatie over aanslibsnelheden en evenwichtsdieptes is vooral bekend van de proefputten A en B en de put bij Warder (Noord-Hollandse Kust) (Koning, 1986). In de proefputten A en B, in het centrale deel van het Markermeer, bedragen de maximale sedimentatiesnelheden 1,5-2 m per jaar terwijl voor de kust van Noord Holland de gemeten aanslibsnelheid 0,5-0,7 m/jaar bedraagt. Deze snelheden zijn geheel gebaseerd op bodemlodingsgegevens. Hierbij wordt opgemerkt dat de dichtheid van deze snel opbouwende en typisch slibrijke laag waarschijnlijk een stuk lager is dan van ondiepere afzettingen. In diepe putten vindt immers geen agitatie van de bodem plaats, waardoor een ijle skeletstructuur (dat wil zeggen lage pakkingsgraad) toch stabiel kan zijn, dit in tegenstelling tot ondiepere delen (Boderie et al, 2010). Ook wordt opgemerkt dat dit gebaseerd is op metingen in putten in het meest troebele deel van het Markermeer. Waarnemingen aan een zandwinput bij Warder (Koning, 1986) voor de kust van Noord Holland laten minder (0,6- 1 m) aanslibbing zien voor de periode 1975-1983.

Om deze aanslibsnelheden te realiseren moet de put voldoende diep zijn (> 6 a 7 m - NAP). De aanslibbing in putten waar nog erosie als gevolg van golven of stroming optreedt is veel lager (orde decimeters). Ondiepe putten slibben niet meer vol (zo zijn de restanten van de put bij Warder (4 m NAP tov lokale diepte -2,0m) nu 35 jaar na aanleg nog zichtbaar. De overgang van wel of geen aanslibbing is scherp, rond 6 m - NAP. Op basis van de metingen lijkt er geen effect van de taludhelling op de aanslibbing te zijn.

Sediment samenstelling

Metingen aan bodemsamenstelling (Cesium gehalte) van het sediment in de bovenlaag (eerste meter) van de oude proefputten hebben laten zien dat vooral fijn sediment aanwezig is in deze bovenlaag. Hieruit kan worden geconcludeerd dat fijn sediment naar de putten is getransporteerd en is geaccumuleerd in de putten. Het cesiumgehalte van metingen net buiten de putten is erg laag, hetgeen betekent dat sediment in de nabijheid van de putten continu kan opwoelen door golven en stroming. Alleen in de putten is genoeg luwte aanwezig om fijn sediment te accumuleren. Het consolideren van sediment in de verdiepingen gebeurt traag, omdat het organische gehalte van het

sediment hoog is.

Uitstraling effect boven en rondom put

De effecten van proefputten (1982/1983) lijken beperkt te zijn tot de directe omgeving van de putten. Positieve invloed op de waterkwaliteit is alleen direct boven zeer diepe putten merkbaar (Doef, 2004).

Metingen aan oude putten in het Markermeer laten alleen bodemniveaus zien in verschillende jaren. Hieruit is de aanslibsnelheid berekend. Hier is echter geen extra informatie uit te halen, zoals dichtheid van het slib in de put of samenstelling van het slib over de diepte. Berekende aanslibsnelheden uit deze gegevens wijken af van berekeningen van aanslibbing met bijvoorbeeld het 3D-slibmodel van het Markermeer. Het berekenen van aanslibbing en consolidatie van slib in het algemeen blijft tot op heden een bijna onmogelijke opgave. Dit ligt voor een groot deel aan de verkeerde aannames die worden gemaakt in klassieke (geotechnische) consolidatieberekeningen, waar men de permeabiliteit en korrelspanningen als eenvoudige empirische relaties met densiteit als sluitingsvergelijkingen voor de momentumballans (bv. Gibsons vergelijking) gebruikt. Conceptueel kan men bijvoorbeeld eenvoudig uitleggen waarom permeabiliteit ook afhankelijk moet zijn van korrelspanning (Toorman & Leurser, 2000).

Uit de gemeten bodemniveaus is door beperkte metingen niet direct af te leiden wat de hoeveelheden (volumes) van de aanslibbing in de putten zijn geweest. Het is hierdoor op dit moment niet duidelijk of er processen ontbreken in de modellen (bv. dichtheidstromen of afkalving van taluds), of dat de hoeveelheden wel in dezelfde orde van grootte liggen als de metingen.

NMIJ Referenties: Visser & Vijverberg (2010)

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 m ³ 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.				
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
Investeringskosten		€ 1.600.000	€ 1.700.000	€ 1.900.000
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		€ 4.600.000	€ 5.500.00	€ 7.200.000
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
<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: <ul style="list-style-type: none"> - 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 % (sproeiponton / 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.				
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		
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
Middel grote 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
<i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 40%</i>				
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 (aannname). 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. Aanneme hierbij is dat het slib toegepast kan worden in bijvoorbeeld aanleg van een vooroever en/of moeras.				

Onderzoeksvraag: S29

Op welke locaties in het Markermeer-IJmeer draagt het afdekken van slib het meeste bij aan slibreductie?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie

Antwoord:

Op basis van opgedane kennis uit verschillende NMIJ studies is aan te geven waar afdekken het meest bijdraagt aan de reductie van slib.

Afdekken draagt het meest bij aan slibreductie op locaties in het Markermeer waar slib regelmatig wordt opgewerveld in de waterkolom. Hoewel depositie en resuspensie in het Markermeer –afhankelijk van de windsterkte en windrichting– overal wel eens voorkomt, zijn gebieden aan te wijzen die netto eroderen en gebieden die netto sedimenteren. Grofweg is het (noord)westzijde een erosiegebied en de oostzijde een sedimentatiegebied.

Afdekken in netto-sedimentatiegebieden heeft weinig meerwaarde, omdat na verloop van tijd er een sliblaag zal ontstaan op de afdeklaag. Hierdoor verliest de afdeklaag zijn functie. Opnieuw afdekken zou dan nodig zijn. Het is kostbaar om dit continue uit te voeren.

Daarnaast zijn verschillende gebieden aan te geven waar afdekken juist niet toegepast kan worden, omdat daar bijvoorbeeld ecologische waarde aanwezig is die door afdekken verloren gaat.

Onderstaand plaatje geeft aan waar afdekken bij kan dragen aan slibreductie zonder te interfereren met gebieden waar mosselen en waterplanten voorkomen. Binnen het zoekgebied (witte contour in onderstaand plaatje) kan afdekken, mits lokaal en buiten de vaargeul toegepast, bijdragen aan slibreductie die resulteert in een netto positief ecologisch effect. Hierbij moet nog wel rekening gehouden worden dat afdekken op het Enkhuizerzand niet nodig is, omdat daar al zand aanwezig is.



Locaties waar afdekken mogelijk is

NMIJ referenties: Vijverberg et al. (2015)

<p>Onderzoeksvraag: S30 Welke technieken (zoals onderzuigen, sproeien en nevelen) bestaan er om slib af te dekken en welke is het meest effectief?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie</p>
<p>Antwoord: Er bestaan twee gangbare methoden om een sliblaag in het Markermeer af te dekken met zand:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Sproeien.2. Onderzuigen. <p>In het algemeen zijn beide methoden geschikt en effectief om slib af te dekken, elk met eigen specifieke voor- en nadelen. Zo is sproeien een gekende techniek en onderzuigen innovatiever, minder vaak toegepast en daardoor waarschijnlijk duurder, omdat het materieel minder efficiënt kan werken. Het voordeel van onderzuigen is dat zeer lokaal zand kan worden gewonnen (werk met werk maken), maar hiervoor zijn wel gedetailleerde bodemgegevens nodig. Een ander voordeel is dat onderzuigen niet een netto verhoging van de bodem geeft, wat gunstig is voor de scheepvaart. Daarnaast is deze methode niet toepasbaar als het zand in lagen dieper dan 5 m aanwezig is. Dit laatste is een belangrijke beperking van onderzuigen: de zandlaag in het Markermeer is op een grotere diepte aanwezig. Hierdoor kan gesteld worden dat sproeien, met van elders aanvoeren van zand, de beste methode voor het Markermeer zal zijn.</p>
<p>NMIJ referenties: Vijverberg et al. (2015)</p>

<p>Onderzoeksvraag: S31 Draagt deze techniek duurzaam bij aan de beperking van de mobiele sliblaag?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies</p>
<p>Antwoord: De oorzaak van de verhoogde turbiditeit in het Markermeer is opwerveling van de mobiele sliblaag. De onderliggende oorzaak van de aanwezige mobiele sliblaag is bioturbatie van compacte kleilagen door bodemorganismen. Deze organismen zijn in staat de vaste kleilaag om te zetten in een mobiele sedimentlaag die vervolgens makkelijk erodeert.</p> <p>Als de Markermeer waterbodembodem met een laag zand afgedekt wordt, zal het zand zeker de erosie van de kleibodem en de fluffy bodem blokkeren. Het afdekzand zelf kan als gevolg van golfwerking bij harde wind ook eroderen maar het zal snel terugvallen naar de bodem omdat de sedimentatiesnelheid van zand groot is in vergelijking met die van de fijne deeltjes. Als de zandlaag voldoende dik is wordt menging met onderliggend slib voorkomen omdat het onderliggende slib niet kan ontsnappen. Op basis van erosiesnelheid en duur van windgebeurtenissen in het Markermeer is geschat dat een afdeklaag met een homogene dikte van orde 10 cm voldoende is. Afdekken met grof zand of gravel kan technisch bij het aanbrengen mogelijk voor uitdagingen zorgen omdat het risico toeneemt dat het grove materiaal in de mobiele (fluffy) sedimentlaag waarop het wordt aangebracht wegzakt. Dit risico is bij ons weten nooit in praktijk getest. Het lijkt verstandig om de afdeklaag zo geconcentreerd mogelijk te plaatsen en het proces eerst kleinschalig in de praktijk te testen.</p> <p>Omdat het effect dat afdekken op bioturbatie heeft niet recht-toe-rechtaan is, hangt het lange termijn resultaat van afdekken af van karakteristieken van de afdeklaag (het slibgehalte, de dikte en de compactheid van de laag) en daarnaast ook van de mate waarin de afdeklaag op de lange termijn door fijn slib van elders beïnvloed wordt (afzetting op en indringen in de afdeklaag). De matrix van de afdeklaag moet moeilijk doordringbaar zijn voor fijn slib (compact met lage porositeit).</p> <p>Als de afdeklaag niet compact genoeg of te dun is aangebracht zullen wormen en andere bodemorganismen er in slagen om door de zandlaag heen het onderliggende voedselrijkere slib te bereiken om vervolgens fecale pellets, bestaande uit slib, aan het oppervlak te deponeren. Het niet stoppen van bioturbatie leidt dan uiteindelijk weer tot een troebele waterfase.</p> <p>Op lange termijn kan de efficiëntie van afdekken afnemen omdat slib van elders uit het Markermeer blijvend op de afdeklaag wordt afgezet. Ook dat leidt uiteindelijk tot kolonisatie van de nieuw afgezette laag en tot vorming van een fluffy laag die een heldere waterfase tegengaat. Afdekken van gebieden in het meer waar accumulatie van slib op de lange termijn het dominante proces is, is dus niet efficiënt (zie ook vraag S29).</p> <p>Onderzoek in het veld (pilot) om de relatie tussen karakteristieken van de afdeklaag en bioturbatie te leggen en waar mogelijk te kwantificeren is nodig alvorens afdekken op grote(re) schaal toegepast kan worden.</p>
<p>NMIJ Referenties: Vijverberg T. , Boderie P. en Noordhuis R. (2015). Rapportage Maatregel Afdekken. 9V6742.A02/R0208/903718/BW/Nijm</p>

Onderzoeksvraag: S32 Hoe reageert de fluffy bodemlaag (fijn slib) op een afdeklaag?
Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies
Antwoord: Het antwoord op deze vraag houdt sterk verband met het antwoord op vraag S31, omdat de reactie van de bodem op afdekken bepaalt hoe duurzaam de maatregel is. Daarom zijn beide vragen bij onderzoeksvraag S31 beantwoord.
NMIJ Referenties: Vijverberg T. , Boderie P. en Noordhuis R. (2015). Rapportage Maatregel Afdekken. 9V6742.A02/R0208/903718/BW/Nijm

Onderzoeksvraag: S33

Wat zijn de ecologische effecten van afdekken?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies, modelstudies

Antwoord:

Bioturbatie door ongewervelde bodemfauna is de belangrijkste oorzaak van erosie van het oude Zuiderzee sediment in het Markermeer (de Lucas Pardo, 2014). Door hersedimentatie ontstaat een mobiele toplaag waardoor het meer doorgaans troebel is. Beperking van resuspensie door (lokale) afdekking heeft als gevolg dat er minder vlokvorming van het slib met planktonische algen optreedt, waardoor deze algen voor het voedselweb beschikbaar blijven en bijdragen aan de productiviteit. Filteraars zoals watervlooien en mosselen, kunnen niet met grote vlokken overweg. Na afdekken treedt minder resuspensie van slib op, zodat in de waterkolom minder vlokvorming optreedt en algen minder snel bezinken. Doordat ook de helderheid door afdekken toeneemt, kan de reductie van resuspensie op plaatsen met beperkte diepte worden versterkt door toename van waterplanten. Dit effect is het sterkst tot op diepten van 2 meter, waar kranswieren in hoge dichtheden kunnen groeien. Bij toename van de helderheid door afdekking kunnen echter ook hogere waterplanten zoals Doorgroeid Fonteinkruid op grotere diepte (tot 3-3,5 m) in dichtheid toenemen. Bij de huidige dichtheden (<5%) is dit effect beperkt, zowel ruimtelijk als in het seizoen, doordat de bovengrondse delen van fonteinkruiden al in de loop van augustus weer verdwijnen. Bij toenemend doorzicht zal echter vooral Sterkranswier, met een veel langer groeiseizoen, op grotere diepte (dan momenteel tot ca 2.5 m) gaan groeien.

Bodemorganismen zoals wormen en muggenlarven, die verantwoordelijk zijn voor bioturbatie, ondervinden geen nadeel van de vlokvorming en kunnen dit materiaal na hersedimentatie als voedsel gebruiken. Een (toegenomen?) deel van de totale productie verloopt dus via deze weg, en ook dat is waardevol. Maar voor een divers en productief systeem is meer balans in het voedselweb wenselijk, en dat betekent meer productie in de waterkolom (niet in vlokken gebonden fytoplankton in de keten via watervlooien naar kleine vis zoals Spiering) in ondiepe gebieden met (meer kansen voor) waterplanten. Als afdekken en andere maatregelen leiden tot minder vlokvorming en een betere conditie van de mosselen, neemt in principe de draagkracht voor vogels (verder) toe.

Het aanbrengen van een afdeklaag van zand op de bodem van het Markermeer verandert de ecologische omstandigheden ter plaatse van de ingreep, maar heeft waarschijnlijk ook invloed daar buiten.

Afhankelijk van de methode van aanbrengen zullen eventueel aanwezige, niet-mobiele organismen begraven worden. Sommige organismen zullen blijvend verdwijnen, maar voor andere soorten komt er geschikt habitat voor in de plaats. Doordat het zand bovenop het slib ligt, is er nu meer interactie tussen zand en water in plaats van tussen organische sediment en water (Van der Wijngaart, 2008). Het zand bevat geen nutriënten in tegenstelling tot het onderliggende sediment. Hierdoor neemt de interne eutrofiëring af. Bovendien is zand aanmerkelijk zwaarder dan de slib- en kleideeltjes en zal het niet worden opgewerveld, waardoor de hoeveelheid zwevend stof in de waterkolom afneemt en het doorzicht toeneemt (Lamers et.al., 2006).

Het is daarmee in eerste instantie aannemelijk dat het afdekken met zandig materiaal van slibrijke gebieden buiten de gebieden met mosselen of waterplanten een netto positief effect heeft op de verschillende habitats in het Markermeer.

Afdekken van mosselbanken is niet wenselijk. Hoewel mosselen minder voedzaam zijn geworden voor eenden, omdat ze magerder zijn geworden als gevolg van enerzijds verminderde voedselkwaliteit van de algen, anderzijds de vlokvorming die filtering verhindert, zijn mosselbanken toch van belang voor de diversiteit. Tussen de mosselen komen namelijk veel andere ongewervelden voor. Bij afdekking is het dus enerzijds zaak om mosselbanken (en gebieden met waterplanten) te ontzien, terwijl anderzijds de conditie, het vleesgewicht en de voedingswaarde van mosselen voor vogels weer kan toenemen door beperking van vlokvorming. En dat kan door de opwerveling van slibdeeltjes buiten de mosselgebieden te beperken. Bij het toepassen van afdekking als maatregel is het dus zaak locaties te kiezen die geen mossel- of waterplantenbedekking hebben.

Vooraf voor mosselen is vast of stevig substraat, zoals zand en steen, een betere ondergrond dan een slibrijke bodem (Bij de Vaate, 1991). De recente toename van de Quagga-mossel heeft voor een autonome, natuurlijke toename van "afdek materiaal" (in de vorm van mosselschelpen) gezorgd die wellicht al enig remmend effect op de erosie heeft gehad, maar de bestendigheid van deze ontwikkeling is nog niet duidelijk. Het afdekken van sliblagen kan hoe dan ook aanvullende positieve effecten hebben naast ontwikkeling en groei van mosselbanken.

Voor waterplanten lijkt lokale toepassing van de maatregel afdekken met zand weinig nadelige effecten te hebben. Zand is steviger dan slib en hier kunnen ondergedoken waterplanten waarschijnlijk beter in wortelen (Van der Wijngaart, 2008). Wel verschilt de soort samenstelling op zand enigszins van die op slib of klei. Als het af te dekken gebied al vegetatie bevat, kan deze zich wellicht herstellen vanuit zaden of plantendelen in de afgedekte ondergrond, mits de dikte van de afdeklaag niet te groot is

NMIJ Referenties:

Buskens & den Held (2012)

Vijverberg & Boderie (2015)

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 beunship of uit een verdieping.

Investeringskosten afdekken slib per m²

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

Investeringskosten afdekken slib totaal

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

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 aanlegnauwkeurigheid 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 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 /

Open

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 is 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.

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: H1

Op welke locatie(s) is een grootschalige landwaterzone het meest effectief voor het realiseren van meer habitatdiversiteit?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies

Antwoord:

Een grootschalig moeras bestaat in zijn uiteindelijke vorm uit grote arealen van verschillende habitattypen, met een dominant accent op de halfnatte (plas/dras) typen. Vanuit oogpunt van het realiseren van meer habitatdiversiteit is de precieze ligging in het Markermeer minder relevant dan de aard en omvang van de te realiseren habitats.

Als optimum tussen verschillende overwegingen is een locatie in de noordoosthoek van het Markermeer nabij de Houtribdijk tussen Trintelhaven en Lelystad gekozen. Deze overwegingen zijn:

- De noordoosthoek van het Markermeer heeft de meeste waterstandvariaties (wind- en golfdynamiek). Veel dynamiek is gewenst voor het in stand houden van het moeras en het creëren van de gewenste leefomgeving voor flora en fauna, zeker bij een gelijkblijvend vast zomer- en winterpeil.
- De diversiteit en natuurwaarde van de meerbodem ter plaatse is laag;
- Locatie nabij Houtribdijk en Lelystad is sinds lange tijd gewenst door de omgeving vanuit oogpunt van recreatie.
- Vanuit het perspectief van het natuurbeleid (realiseren EHS) en regionale inbedding wordt deze locatie ook in beleidstukken genoemd als tussenstation (stepping stone) tussen andere waardevolle natuurgebieden.

Afhankelijk van de exacte vormgeving zijn nog meer overwegingen relevant:

- De Houtribdijk fungeert als bescherming aan de minst aan de windwerking geëxponeerde zijde; wel zal er een kerngebied van een zekere (nader te bepalen) breedte moeten zijn om de verstoring van buiten (wegverkeer op de dijk en recreatievaart) te beperken.
- Ook ontstaat er een grote luwe, open water zone tussen Houtribdijk en moeras; dit kan bijdrage aan sedimentatie van slib in het gebied en een gradiënt in slibgehalte en doorzicht in het water.

De locatie kent ook nadelen vanuit het oogpunt van aanlegstrategie en kosten.

- De waterdiepte is groot, waardoor veel materiaal nodig is voor constructie van rand en vulling;
- Wind- en waterdynamiek zijn groot, waardoor de constructie relatief zwaar moet zijn voor bescherming van het moeras.

Een beschermingsdam parallel aan de Houtribdijk kan op langere termijn een bijdrage leveren aan het terugbrengen van de instandhoudingskosten van de Houtribdijk door het reduceren van de golfbelasting hierop vanaf het Markermeer. Het ruimtelijk onderzoek laat zien dat een oppervlak van 4500 ha beter in de hoek van de Houtribdijk te realiseren is zonder conflict met één van de andere functies zoals (historische) vaarroutes of visgronden.

Het actuele ontwerp van de Marker Wadden fase 1 ligt verder van de Houribdijk dan in voor NMIJ moeras in gedachten was. De volgende fasen breiden wel in de richting van de dijk uit. Het ontwerp gaat uit van zachte randen van zand, zodat daar grote hoeveelheden voor nodig zijn, die lokaal gewonnen gaan worden.

NMIJ Referenties:

Van Herpen *et al.* (2010)

Knoben, R.A.E. (2012, 2014)

Onderzoeksvraag: H2

Is de aanleg van een duurzaam moeras mogelijk?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, veldexperiment

AntwoordBureaustudie

De beantwoording van deze vraag houdt nauw verband met de beantwoording van vraag H3. Met de nodige inzet van technische middelen kan altijd een bestendig moeras worden gemaakt. Als met duurzaam wordt bedoeld zelfregulerend, met weinig beheersinspanning dan is nog steeds een duurzaam moeras mogelijk. Er moet dan wel aan enkele voorwaarden worden voldaan. Op zich is het Markermeer niet een milieu waar een onbeschermd moeras lang in stand kan blijven. De invloed van golven is daarvoor te groot. Ook langs de randen van het Markermeer zien we dat er nauwelijks van nature moerasvorming optreedt. Alleen op zeer luwe, door de mens gecreëerde, situaties is dat het geval zoals de eilanden in de IJsseldelta (Buskens, 2012). Een belangrijke voorwaarde is daarom het aanleggen van een voldoende robuuste rand, waarmee golven grotendeel kunnen worden buitengesloten (Rosenbrand et al., 2015). Interactie met het Markermeer is daarbij in principe mogelijk, net zoals deze aanwezig zijn bij de natuureilanden in de IJsseldelta (Buskens, 2012).

Veldexperiment

Uit het experiment met de pilot moeras blijkt dat de aanwezigheid van een rand van essentieel belang is indien wordt gewerkt met slap ophoogmateriaal (in dit geval Holoceen materiaal afkomstig van de bodem van het Markermeer) (Dankers et al., 2015). Indien aan deze voorwaarde wordt voldaan zou een duurzaam moeras gecreëerd moeten kunnen worden. De pilot zoals in het Markermeer is aangelegd heeft naar verwachting geen duurzaam karakter. De randen zijn daarvoor te laag en doorlaatbaar. Hierdoor treedt al vanaf het begin golferosie op (Dankers et al., 2015). Dit proces zal naar verwachting doorgaan totdat er geen delen meer boven het waterniveau aanwezig zijn. Op dat moment is er geen sprake meer van een moeras met afwisseling tussen natte en droge delen maar alleen een gebied met onderwater areaal.

Naast het effect van golferosie treedt ook significante maaiveld daling op. De totale maaiveld daling in de pilot in de eerste twee jaar is ongeveer 50 – 100 cm geweest (Dankers et al., 2015). Dit heeft mogelijk de vegetatiesuccessie bemoeilijkt. Daarbij moet worden bedacht dat de meeste pioniersoorten voor moerassen starten in een verlandend milieu dat langzaam omhoog komt, en niet in een milieu waarbij het maaiveld nog (snel) daalt.

In de pilot is de tijd vooralsnog te kort geweest om te kunnen vaststellen of door consolidatie en rijping, in combinatie met de ontwikkeling van moeras- en oevervegetatie, een moeras kan ontstaan dat voldoende bestand is tegen beperkte golf- en stroomwerking. Momenteel is de begroeiing in het moeras niet in staat om afkalving tegen te gaan (Dankers et al., 2015). Bij een uitgebreidere begroeiing, ook van grotere soorten, zou de vegetatie wel voldoende beschermend kunnen werken.

Samenvatting

Het aanleggen van een duurzaam moeras is mogelijk, mits aan een aantal randvoorwaarden wordt voldaan. Voldoende luwte is hierbij vooral een belangrijk aspect. Vervolgens is het zaak het gebied spontaan te laten ontstaan en niet te gericht te sturen op gewenste maaiveldhoogtes welke moeilijk te realiseren zijn (o.a. vanwege

onzekerheid in consolidatie, rijping, zetting en het aanslaan van vegetatie). Nadat het gebied zich heeft ontwikkeld kan eventueel nog worden bijgestuurd door beperkt in te grijpen. Ook kunnen op dat moment nog op handige locaties openingen worden gecreëerd. Met deze 'bouwen vanuit de natuur' methode wordt het gemakkelijker om een duurzaam moeras te creëren.

NMIJ Referenties:

Buskens et al (2012)
Dankers et al (2015)
Rosenbrand et al (2015)

<p>Onderzoeksvraag: H3 Welke hydro- en morfodynamiek is wenselijk voor het realiseren van een grootschalig moeras (= een zich zelf instandhoudend moerasgebied van enige omvang d.w.z. zonder al te veel beheerinspanning functionerend)? <i>NB: De term grootschalig moeras vervangt de oorspronkelijke term oermoeras.</i></p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie, monitoring bestaande situaties, veldexperimenten</p>
<p>Antwoord: <u>Bureaustudies</u> De kenmerken van een moeras zijn als volgt te omschrijven (Buskens, 2011).</p> <p><i>Systeemvoorwaarden</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Voldoende groot oppervlak (ten minste 1.500 ha) vanwege de benodigde ruimte voor opbouw en afbraak (dynamiek) en het voorkomen van typische moerassoorten • Het moeras ligt grotendeels nabij of onder waterlijn. Ondiepe vloedvlakten fungeren als paaigebied voor vissen (bijv. snoek). • Ecotopen verdeling: aanzienlijk areaal is plasdras (1.200 tot 2.000 ha bij een eindbeeld van 4500 ha), aandeel slik: ten minste 3 slikken met omvang van 5 ha of groter en een onbepaald aandeel ondiep water. • Veel oeverlengte; vertakt geulensysteem en/of veel eilandsituaties. Eilandvorming is gunstig voor vogels vanwege afwezigheid predatoren (rat, vos, marters). • Verschillende, geleidelijke overgangen tussen land en water vooral door (zeer) flauwe hellingen zodat een gering peilverschil al groot effect op het oppervlak land-waterovergang heeft. <p><i>Hydromorfodynamiek</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ten minste een deel van het moeras is een hydrologisch open systeem, waardoor uitwisseling met Markermeerwater mogelijk wordt en vissen hun gehele levenscyclus kunnen volbrengen (in Markermeer-IJmeer). • Geulen en inhammen (doodlopende zijtakken). • Variatie in geulen en inhammen; lagere dynamiek naarmate geulen kleiner en ondieper zijn. • Temporeel: seizoensvariatie waterdynamiek en -peil (dagelijks, seizoen, jaren). Bij voorkeur in de loop van de zomer uitzakkend peil, in sommige jaren tot onder het winterstreefpeil, zodat slik droogvalt. De natuurlijke amplitude tussen het peil in het voorjaar en nazomer is ongeveer een meter (gegevens Friese boezem in de negentiende eeuw en overeenkomst seizoensverloop IJsselafvoer). In Maarse & Noordhuis, 2012 wordt als minimum voor natuurlijk peil -0,6 m NAP voorgesteld (overzicht natuurlijk peil in Meijer et al, 2009), bij voorkeur te realiseren op de schaal van het gehele meer, liever niet in gesloten compartimenten. Dit streven is echter lastig te realiseren omdat in de Deltasbeslissing natuur niet de doorslag heeft gegeven. <p><u>Monitoring bestaande situaties</u> Alle onderzochte bestaande situaties in de wateren van het IJsselmeergebied en in de pilot moeras kennen een vaste seizoensdynamiek met een vast peil in de zomer en een vast peil in de winter. Zij geven daardoor maar beperkt inzicht in optimale hydrodynamische omstandigheden die voor moerasvorming eigenlijk noodzakelijk zijn. De natuureilanden IJsselmonding zijn aangelegd om het areaal waterriet te vergroten om zodoende de doelstelling voor de Grote karekiet te bereiken. Elk eiland heeft de</p>

vorm van een atol, met aan de IJsselmeerzijde een versterkte oever en aan de rivierzijde een zandwal met in het midden een plas. Sommige plassen staan in open verbinding met het Ketelmeer omdat de zanddam doorgebroken is. Het aanwezige mozaïek van kreekjes, poelen, plas-dras-zones en drogere plekken zorgt voor een hoge soortenrijkdom (Buskens et al, 2012).

Op veel plaatsen zowel op als tussen de eilanden ontbreken echter de beoogde helofytenvegetaties, vermoedelijk omdat de hydrodynamische omstandigheden ter plaatse niet optimaal zijn. Het waterpeil van het IJsselmeer/Ketelmeer ligt in principe per seizoen vast, maar varieert door op- en afwaaiing en door de afvoerdynamiek van de IJssel. Bij hoge rivierafvoeren kunnen de eilanden geheel inunderen. De incidentele inundatie verhindert niet dat op de drogere (zand)delen zodanig grootschalig en onbeheerst wilgenopslag optreedt, dat de beheerder zich genoodzaakt ziet met groot materieel alle wilgen te verwijderen.

Rietontwikkeling tussen de eilanden treedt nauwelijks op door combinatie van vast peilbeheer en grote belasting door golven of stroming. Het ontbreken van voldoende diepte en doorzicht worden als belangrijke factoren gezien. Er zijn aanwijzingen voor vraat door vogels als beperking van de rietontwikkeling. De enige hydromorfologische manier om onbeheersbare wilgenbosvorming tegen te gaan is een dynamischer peilbeheer. Het vóórkomen van wilgen als onderdeel van de gradiënt van nat naar droog is niet per se ongewenst, bosvorming voorkomt echter het duurzaam voortbestaan van die gradiënt.

Veldexperimenten

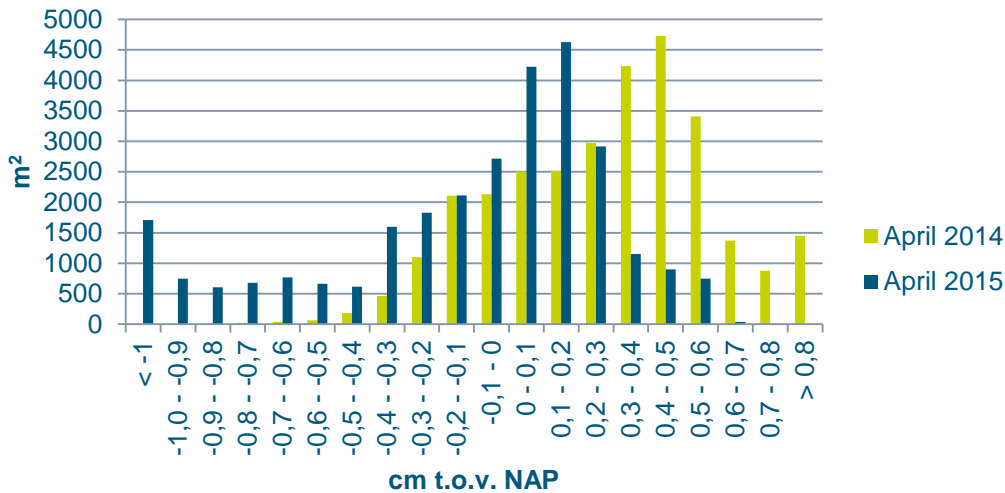
In het Open Compartment van de pilot moeras (Van Kerkvoorde, 2015) zorgen twee geconstrueerde openingen in de rand voor uitwisseling met Markermeerwater en een peilverloop gelijk aan het meer. In het open water van dit compartiment heeft zich al in het eerste jaar spontaan onderwatervegetatie ontwikkeld. Ook zijn vissen gevangen en is al macrofauna aanwezig, zij het nog geen schelpdieren.

Bij elk van de twee openingen in de rand van het open compartiment is een geul ontstaan. Dit is eerder het gevolg van de aanlegmethode geweest dan van daadwerkelijke erosie. Er is geen grote wegspoeling van sediment als gevolg van erosie gemeten op basis van het slibgehalte in de waterkolom en van sedimentatie buiten het moeras aan de luwe zijde bij de twee openingen.

Het water in het gesloten compartiment was in het eerste groeiseizoen na aanleg erg troebel, maar was er geen sprake van grote zichtbare algenbloei in de vorm van drijflagen.

Door de voortgaande zetting van de rand is er in het gesloten compartiment zoveel veel materiaal weggeslagen dat het oppervlak is afgenomen.

Hoogteverdeling april 2014/2015



De hoogteverdeling van het gesloten (droge) compartiment op 2 momenten. De verschuiving van de verdeling naar lagere hoogten gedurende een jaar is duidelijk zichtbaar

Met het veldexperiment Afzinken rietoevers is onderzocht of deze rietoevers als bescherming tegen erosie van geulen zouden kunnen dienen in een aan te leggen moeras (Van der Wal & Coops, 2014).

Uit dit experiment is afgeleid dat ter bescherming van de waterlopen die aansluiten op de openingen in de buitenrand van het moeras, een golfhoogte kleiner dan 0,4 m gewenst is. De stroomsnelheid in het midden van de waterlopen moet kleiner zijn dan ongeveer 1 m/s. Bij hogere stroomsnelheden bestaat kans op aanzienlijke oevererosie tijdens een storm. Bij golfhoogten hoger dan 0,4 m is er een kans dat rietstengels afbreken.

Als de optredende golfhoogten en de stroomsnelheid groter worden dan hier aangegeven dan zou een tijdelijke afsluiting van de opening in de buitenrand overwogen kunnen worden, ter bescherming van de rietoevers. Door het flexibel kiezen van de lengte van die perioden van afsluiting kan de morfodynamiek in het moeras worden gestuurd zonder al te veel beheersinspanning. Dit principe is ook bij het ontwerp van de langsdammen in de Waal gebruikt voor het beheren van de morfodynamiek in de oevergeulen (Van der Wal & Coops, 2014).

Samenvattend:

Moeras met een ruime, functionele gradiënt van nat naar droog blijft alleen in stand met bij een gevarieerd peil, waarbij hoge waterstanden in het vroege voorjaar verlanding tegengaan en uitzakkend peil in de zomer afslag tegengaat en uitbreiding en onderhoud van in het water staande oevervegetatie mogelijk maakt. Hoe dichter bij de natuurlijke jaarlijkse amplitude van een meter of meer, hoe minder onderhoud noodzakelijk is. Daarbij is ook verschil tussen jaren (meer of minder uitzakken) belangrijk (zie ook H4). Voor de ontwikkeling van moerasvegetatie is een plasdrassituatie in het voorjaar essentieel. Voor de ontwikkeling van onderwatervegetatie volstaat ondiep water (0,5 m).

NMIJ referenties:

Buskens & den Held (2012)

Buskens et al. (2012)
Van Kerkvoorde (2015)
Van der Wal & Coops (2014)
Externe referentie:
Meijer et al. (2009)
Maarse & Noordhuis (2012)

Onderzoeksvraag: H4

Wat is de relatie van een duurzame ontwikkeling van een moeras met het waterpeil?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, veldexperimenten

Antwoord:Bureaustudies

Uit de bureaustudie van Van Herpen (2014) komt naar voren dat vegetatie-ontwikkeling van een moeras in belangrijke mate wordt gestuurd door waterpeil.

Een vast peil geeft in het IJsselmeergebied aanleiding tot bosontwikkeling op oevers en platen die boven de waterlijn liggen (bijvoorbeeld bij nieuwe eilanden bij de Stichtse Brug in het Eemmeer). Daarbij zijn bij een vast peil minder mogelijkheden voor kieming en uitbreiding van Riet en wordt minder organische stof (strooisel) afgevoerd. Overigens heeft variatie in waterdiepte een positief effect op de uitdoving van golven. Variaties in waterdiepte kunnen gemakkelijker worden gehandhaafd bij een flexibel peil. Een flexibel peil biedt meer perspectief voor een moeras met helofytenvegetaties dan een vast peil. Uit onderzoek in de Oostvaardersplassen en het Volkerak-Zoommeer is gebleken dat bij een flexibel peil (lager in de zomer, hoger in de winter) rietvegetaties flink kunnen uitbreiden. Een soort zoals Mattenbies is slecht bestand tegen uitdroging.

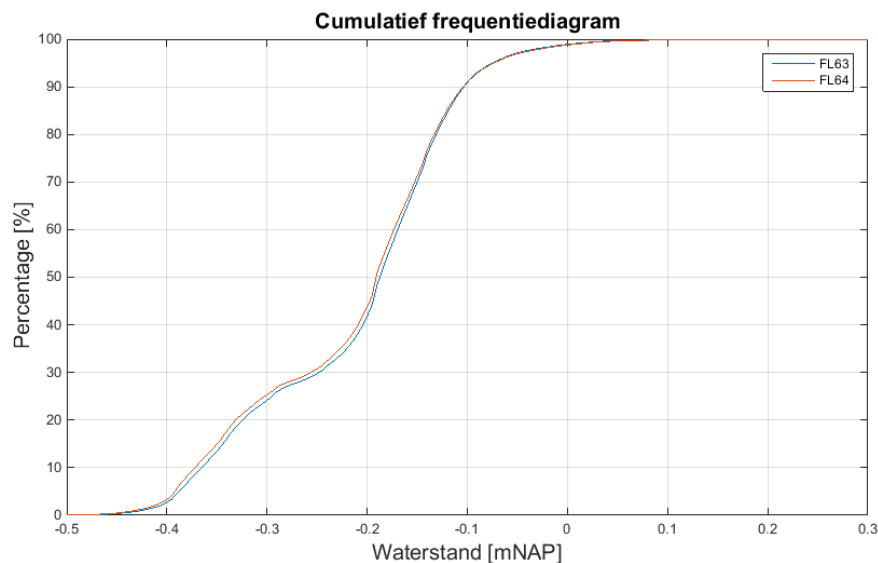
Voor de ontwikkeling van een moeras met emerse vegetatie kan een meer natuurlijk peilverloop als een vereiste worden gezien. Een meer natuurlijke peildynamiek wil zeggen in de zomer laag en de winter hoog onder invloed van in ieder geval neerslag en verdamping (zoals in een afgesloten meer zonder peilbeheersing). De gewenste waterstandfluctuatie voor peildynamiek over seizoenen bedraagt 40-100 cm, zodat oeverlanden periodiek 'kniediep' langdurig onderlopen en in het voorjaar paaiplaatsen ontstaan voor vissen.

Monitoring bestaande situaties

Bij de eilanden in de IJsselmonding (Buskens et al, 2012) is waargenomen dat er veel ophoping van slib of organisch materiaal is (hetgeen kan worden versterkt door het constante peilbeheer) en er te weinig peilfluctuatie is. Dit resulteert in het ontbreken van helofytenvegetaties in de moeraszone. Voor Riet geldt dat bij vast peil de wortelstokken maar matig dieper het water in wortelen.

Veldexperimenten

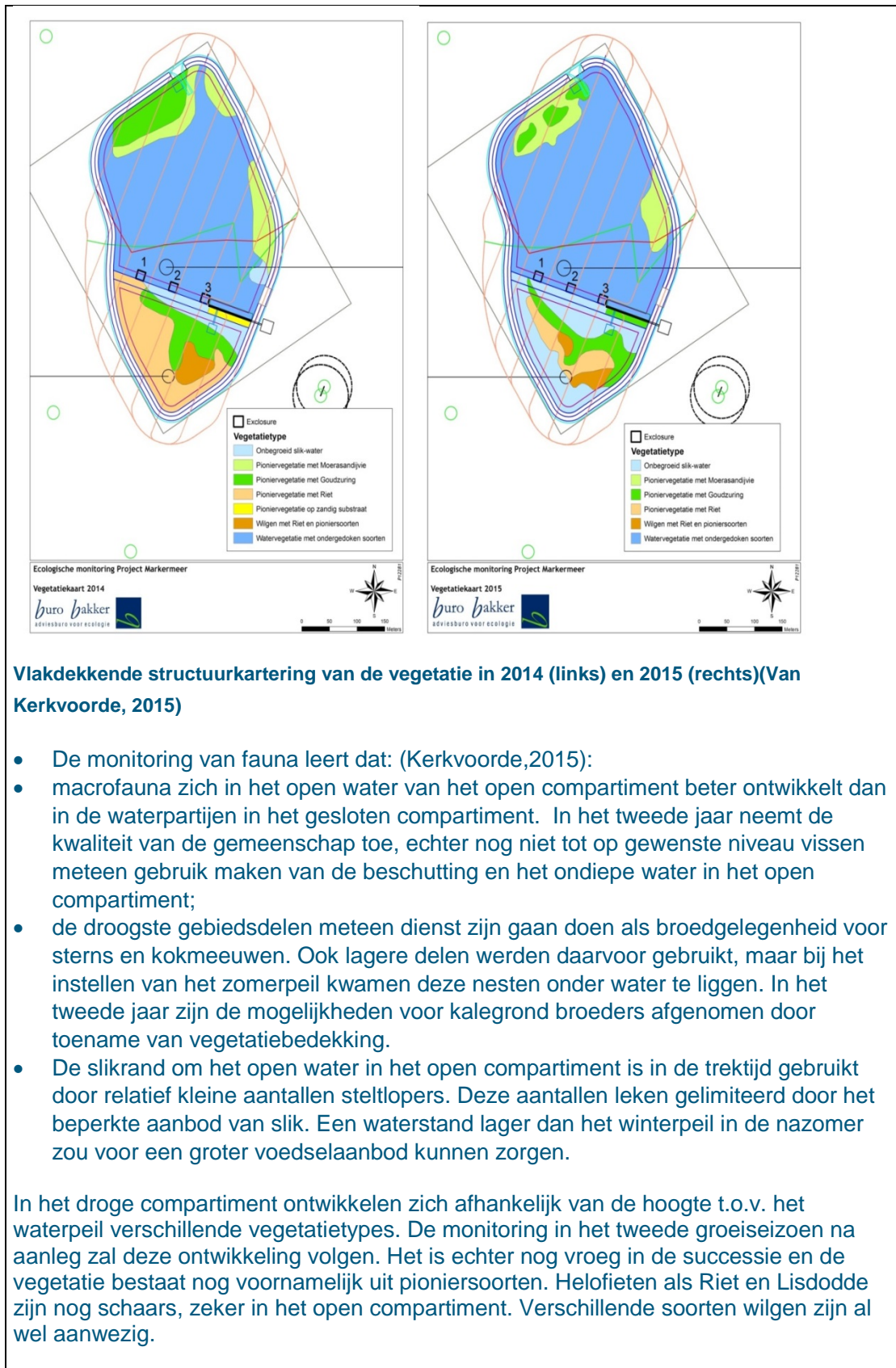
In de pilot moeras (Van Kerkvoorde, 2015) zijn situaties gecreëerd die kunnen leiden tot verschillen in peilregime. Het waterpeil varieert enigszins (binnen enkele decimeters) door op- en afwaaiing, waardoor er een natte en slijkige zone van variërende breedte ontstaat rondom het permanente open water.



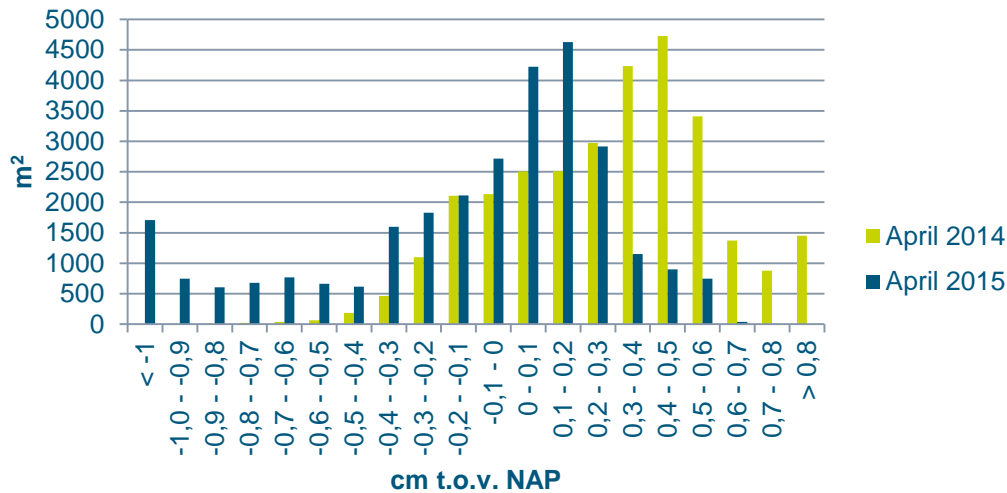
Cumulatieve verdeling van waterstand in het Markermeer (rood) en het moeras (blauw) gedurende de monitoringsperiode (winterpeil = -0,40 NAP zomerpeil: -0,20)

De monitoring van de vegetatie leert het volgende:

- relatief hoog gelegen en daarmee sneller oppervlakkig uitdrogende delen herbergen de meeste soorten en kennen een hoger aandeel Riet en wilgen;
- de permanent natte delen zijn in vergelijking daarmee soortenarmer;
- in het open compartiment hebben ondergedoken waterplanten zich in het eerste jaar al tot behoorlijke bedekkingen ontwikkeld;
- deze watervegetatie is al snel ontdekt door foeragerende eenden, ganzen en zwanen. Met name in het najaar trekt het open water hoge aantallen watervogels, die tot op zekere hoogte limiterend werken op de vegetatieontwikkeling. Dit blijkt uit de hogere vegetatiedichtheden en grotere soortenrijkdom onder de exclusures. Een nuancering is dat ook in het open compartiment op sommige plaatsen dezelfde dichtheden bereikt worden;
- de vraat van watervogels vindt in beperkte mate plaats en werkt dus niet limiterend voor de vegetatieontwikkeling op de droge delen in het gesloten compartiment. Deze vegetatie, in 2015 in zijn tweede jaar, bestaat echter nog voornamelijk uit pioniersoorten zoals Blaatrekkende Boterbloem, Klein kruiskruid en Goudzuring, vooral in het open compartiment is ook Moerasandijvie aspectbepalend. Helofyten als Riet en Lisdodde zijn nog schaars.



Hoogteverdeling april 2014/2015



De hoogteverdeling van het gesloten (droge) compartiment op 2 momenten. De verschuiving van de verdeling naar lagere hoogten gedurende een jaar is duidelijk zichtbaar.

In het veldexperiment Markermeermoeras (van den Berg et al, 2014) bleken in ondiep water (50 cm) enkele potentiële knelpunten voor moerasontwikkeling waarneembaar. In het geval van een slibsubstraat was dit duidelijk een verhoogde (of hoog blijvende) turbiditeit waardoor weinig doorzicht ontstond in het water. Dit hield de vegetatieontwikkeling tegen. Het slib bleek instabiel waardoor geringe wind en golfslag al resulteerden in het opnieuw in suspensie gaan van slibdeeltjes met negatieve gevolgen voor het doorzicht. Een duurzame vegetatieontwikkeling op dit substraat in deze ondiep-watersituatie werd ook tegengehouden door verhoogde ammonium concentraties welke potentieel toxische waarden bereiken voor gevoelige plantensoorten. Alleen bij kleisubstraat in een onderwatersituatie (50 cm water) ontwikkelen ondergedoken waterplanten zich spontaan.

De kieming en vestiging van helofyten werden in ondiep water ernstig belemmerd en deze experimenten hebben aangetoond dat voor de ontwikkeling van een helofytenmoeras een plas-dras situatie met tijdelijke droogval noodzakelijk is. Een dergelijk waterpeil heeft fysieke voordelen voor de helofyten (de planten kunnen kiemen en zich vasthouden aan de verdroogde substraten waardoor er vestigingsmogelijkheden ontstaan) en biogeochemische voordelen (de oxidatieve omstandigheden zorgen voor geringe concentraties aan ammonium en sulfide, welke potentieel toxisch zijn voor met name kiemplanten). Echter, in tegenstelling tot de vegetatie laten de macrofaunamonsters zien dat ondiep water gewenst is. Vooral de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten is van groot belang voor de ontwikkeling van macrofauna in het moeras. Aangezien moeras bestaat uit zowel onderwatersituaties als drogere, plas-dras situaties zullen beide habitats tot ontwikkeling moeten komen. De resultaten van dit (kortdurende) experiment laten zien dat na 2 jaar de hoogste biodiversiteit wordt bereikt op kleisubstraat.

De duurzaamheid van de ontwikkeling van een moeras zal afhangen van de mogelijkheden die ontstaan voor kieming en vestiging en de verhouding tussen plas-dras en ondiep water. Planten kiemen en vestigen zich in het voorjaar en het is evident dat in deze periode een plas-dras situatie wenselijk is. Voor een onderwatervegetatie is

dit van minder belang, mits het doorzicht tot op de bodem reikt.
De ontwikkeling van onderwatervegetatie in het open compartiment heeft laten zien dat dit al in het eerste jaar plaatsvindt.

Samenvattend:

Een ontwikkeling naar een duurzaam maar onderhoudsarm moeras met een substantiële en functionele gradiënt van nat naar droog is alleen mogelijk bij voldoende peildynamiek. Daarbij dient het water hoog te zijn in het vroege voorjaar en uit te zakken in de loop van de zomer, liefst tot onder het winterpeil, in sommige jaren sterker dan in andere. Hoe dichter het verschil bij een natuurlijke amplitude van ongeveer een meter, hoe minder onderhoud (zie ook H3). In de pilot moeras is de successie nog in een pionierstadium en is er nog nauwelijks sprake van moerasvorming.

NMIJ referenties:

Buskens & den Held (2012)

Buskens et al. (2012)

Van Kerkvoorde (2015)

Van den Berg et al. (2014)

Onderzoeksvraag: H5

Welke functies gelden voor het te ontwikkelen moeras? Formuleer concrete eisen (functie-eisen) waaraan het moeras minimaal moet voldoen (voor paaien, als stepping stone voor vogels of als niche (moeras) op zich, of een (geïsoleerd) moeras als slibvang?) om bij te dragen aan een veerkrachtig ecologisch systeem in het Markermeer-IJmeer.

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, monitoring bestaande situaties, veldexperimenten

Antwoord:Bureaustudies

Een grootschalig moeras kan de volgende functies vervullen met bijbehorende eisen (Buskens & den Held, 2012):

Functie	Eisen
Paai- en opgroei gebied voor vissen (Snoek, Baars, Blankvoorn) voor oa visetende vogelsoorten	Ondiep water Submerse vegetatie Open verbinding met Markermeer
Rustgebied voor ruiende watervogels	Luwte/geringe golfdynamiek, kleine strijk lengte open water aanwezigheid baaien/ krekens
Broedgebied voor riet- en moerasvogels	Groot areaal waterriet
Leefgebied voor toppredatoren zoals Otter, Zeearend, Visarend	Areaal moeras ten minste 1200 ha
Habitat voor ondergedoken waterplanten	Licht (>20% aan de bodem) waterdiepte < 2 m
Ontwikkeling helofyten/riet	Geleidelijke land-waterovergang Peildynamiek Incidenteel uitzakken zomerpeil/droogval
Invang slib	Luwte binnen wateren/geulen in moeras

De functie van paai- en opgroei gebied voor vis is vooral gebaat bij beschutting tegen te hoge golfdynamiek en tegen predatie, met schuilgelegenheid tussen waterplanten of tussen oeverplanten die in het water staan. Daarbij dient tenminste tijdelijk (in het voorjaar en in de winter) open verbinding te bestaan met het meer, waar de volwassen dieren leven.

De functie van rustgebied voor ruiende watervogels vraagt veel ruimte, omdat watervogels tijdens de vleugelrui (onstreeks augustus) niet kunnen vliegen. Daarom moet voldoende ruimte te bestaan om verstoring en predatie te kunnen vermijden. Sommige soorten verschuilen zich tijdens de rui in uitgestrekt moeras, andere verblijven in grote concentraties op open water. Voor deze laatste groep moet overdag uitgestrekt doch beschut open water aanwezig zijn met vrij uitzicht op potentiële verstoringsbronnen en een open verbinding met het meer, omdat ze moeten kunnen zwemmen naar de foerageergebieden in het open water (vaak in de schemer).

De functie van broedgebied voor moerasvogels is, enigszins afhankelijk van de vogelsoort, gebaat bij:

- uitgestrektheid (slechte vindbaarheid broedvogels voor grondpredatoren; bijv. Kiekendieven, kolonies van Lepelaar, Purperreiger etc.);
- een brede zone (tenminste 5 m) Waterriet ten behoeve van de Grote Karekiet;
- veel randlengte voor goede foerageermogelijkheden (grillige vormen langs inhammen en krekens; Roerdomp, Porseleinhoen e.d.).

De functie voor toppredatoren vraagt een (zeer) grootschalig gebied met variatie aan habitattypen (Zeearend) en een ruim voedselaanbod in rijk viswater (Otter, Visarend) en/of een functionele ruimtelijke binding met omliggende gebieden (m.n. Otter).

De functie als habitat voor waterplanten is gebaat bij water met een zodanige relatie tussen diepte en doorzicht dat 20% of meer van het licht op de bodem valt, waarbij de diepte een gradiënt vertoont en aansluiting heeft op het diepere water van het meer, zodat een ruimtelijke variatie aan soorten (en structuur als habitat voor vis en ongewervelden) ontstaat. Zeer ondiep water (<30-50 cm, soms droogvallend bij winterpeil) is ongeschikt voor ondergedoken waterplanten.

De functie voor helofyten zoals Riet is afhankelijk van natuurlijker peilfluctuaties, zie hiervoor vragen H3 en H4.

De functie als slibvang is gebaat bij een zo ruim en geleidelijk mogelijke overgang van water naar land, met ruime toegang tot het land vanaf open water via inhammen en kreken met afnemende dynamiek in het moeras.

Veldexperimenten

Uit het experiment Markermeermoeras (van den Berg et al, 2014) blijkt dat een aan te leggen moeras mogelijk laag-productief zal zijn, afhankelijk van de beschikbaarheid van het in de bodem aanwezige fosfaat (slecht beschikbaar voor planten als het is gebonden aan calcium, beter als het is gebonden aan ijzer) en in dat geval in de eerste plaats een functie zal vervullen in het kader van verhoging van de biodiversiteit. Input van voedingsstoffen via inundatie zal beperkt zijn omdat sinds ca. 2005 de nutriëntgehalten in water en zwevend stof sterk gedaald zijn. Wat vegetatie en macrofauna betreft zal een moeras waardevol zijn als extra habitat waarin de variatie door de aanwezigheid van gradiënten zeker hoger is dan in de huidige oeverzones van het Markermeer. In de proef ontwikkelde de moerasfauna zich echter onvoldoende om als een significante voedselbron te fungeren voor vogels en vissen. Daarvoor was de dichtheid aan vegetatie en prooidieren te laag.

Mogelijk is dit een schaal- of locatiegebonden probleem. Indien in de bodem voldoende voedingsstoffen beschikbaar zijn, zou de ontwikkeling van een moeras, of keten van moeras' modules' zeker ook van waarde kunnen zijn als stepping stone tussen geïsoleerde stukken bestaand habitat met populaties van doelsoorten in de nabije omgeving. De voedselrijkdom van het moeras zal hoger worden naarmate het systeem ouder wordt (door de te verwachten afbraak van organisch plantenmateriaal en guanotrofiëring (=vermesting door vogels)) maar dit is een proces van lange termijn. Ook als het moeras niet heel productief is kan het wel dienen als rust- of broedplaats voor watervogels, die foerageren op het Markermeer. Gedurende de monitoringsperiode van twee jaar zijn in totaal 53 vogelsoorten op het moeras aangetroffen, waarvan 19 eenmalig.

Samenvattend:

De (ecologische) functies die het moeras kan vervullen zijn vooral gebaat bij ruime schaal, rust, natuurlijke dynamiek, ruime geleidelijke gradienten en luwte versus openheid. Ook kan het op termijn voor toename van de voedselrijkdom in het meer zorgen.

NMIJ referenties:

Buskens & den Held (2012)
Van den Berg et al. (2014)

Onderzoeksvraag: H6

Welke omvang en welke ecologische structuur van een moeras is wenselijk?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, modelstudie, veldexperimenten

Antwoord:Bureaustudies

De gewenste omvang van een grootschalige land-waterovergang of moeras wordt in hoge mate bepaald door de gewenste soorten die daarvan gebruik kunnen gaan maken en is daarmee arbitrair.

Om tot een minimale en optimale omvang te komen zijn benodigde oppervlaktes voor aanwezigheid van een aantal karakteristieke moerasdiersoorten vastgesteld:

- > 20 ha voor Rietzanger, Blauwborst, Grutto;
- > 50 ha voor rallen,
- > 100 ha voor Grauwe gans, Baardman, Grote karekiet,
- > 200 ha voor Snor, Watersnip, Lepelaar;
- > 500 ha voor Porseleinhoen;
- > 750 ha voor Otter.

Voor kernpopulaties van Kwartelkoning, Rietzanger, Waterral, Slobeend, Grauwe gans is 1000 tot 4000 ha klei-moeras gewenst (waarvan minimaal 1/3 aandeel plas-dras bij gemiddeld peil). Bij meer dan 5000 tot 6000 ha zijn kernpopulaties van Grote karekiet en Baardman te verwachten (Bal et al, 2001). Het aandeel plasdras (meest geschikte biotoop voor de bovengenoemde soorten) is op basis hiervan te bepalen op 1200 tot 2000 ha.

Uitgaande van een geschiktheid voor groot aantal riet- en moerasvogels (inclusief aanwezigheid Porseleinhoen als broedvogel) is het minimaal benodigde oppervlak aan het ecotoop 'plas-dras' 400 tot 500 ha.

Uit de bureaustudie (Buskens & den Held, 2012) is uiteindelijk een minimale omvang van 1500 ha en een optimale omvang van 4500 ha moeras afgeleid waarvan 50% plas-dras, 15% slik, 20% ondiep water en 15% overige habitats.

De belangrijkste structuurgerelateerde aspecten vanuit referentiesituaties zijn verder:

- dynamisch, met opbouw en afbraak, pioniermilieus;
- bodemniveau grotendeels op of onder water (winterpeil);
- peilfluctuatie, opwaaiing, overstroming;
- erosie en sedimentatie o.i.v. wind, stroming, peilverschillen, kruisend ijs;
- voldoende groot oppervlak, met variatie en rust (voor kolonievogels, ganzen, roofvogels, Bever, Otter) en schuilplaats (koloniebroeders) tegen predatie door Vos (mogelijk niet relevant in MM);
- Grootschalig moeras in combinatie met grote randlengte door inhammen en kreken en watterrietzones van meer dan 5 meter breed.

Modelstudies

In de modelberekeningen met Habitat (Snijders, 2015) is vanwege het ontbreken van een definitieve inrichting de omtrek van het moeras (klein of grootschalig) in de verschillende scenario's als harde structuur opgenomen. Uitgaande van een optimum van 4500 ha, bedraagt het oppervlak van moeras ca. 7% van het Markermeer als geheel. Hierdoor is de modeloutput van Habitat een onderschatting van het totale

mogelijke areaal voor de soortgroepen die profiteren van de aquatische onderdelen van het moeras zoals ondiep water. Binnen het moeras komen namelijk ook luwe zones en ondiepten met helder water voor waar emergente oeverplanten en ondergedoken waterplanten zich zullen vestigen. Vanuit de gedefinieerde randvoorwaarden in de bureaustudies voor de inrichting van het moeras is het aandeel van deze habitats in tabel H6-1 aangegeven.

Relatieve verdeling van habitats in het moeras (Sniijders, 2015; naar bureaustudies)

	%	ha
Grootschalig moeras nabij houtribdijk	100%	4500
plas-dras	50%	2250
slik	15%	675
ondiep water	20%	900
overige habitats	15%	675

De maatregel 'aanleg moeras' zorgt dus voor extra habitat van 900 ha ondiep water (in aanvulling op luwtemaatregelen elders in het Markermeer). Dit leidt ook tot een groter areaal foerageergebied voor waterplantetende vogels en vis. Hiervan is een deel (< 0,30 m) te ondiep voor waterplanten. Naar schatting omvat het moeras 500 ha ondiep water dat geschikt is voor waterplantvelden met een dichtheid groter dan 15% (zie ook I2). De zone ondiep water tot 30 cm is bij natuurlijker peilbeheer wel geschikt voor uitbreiding van emergente oeverplanten in aanvulling op het areaal plas-dras.

Veldexperimenten waterproeftuin

In aanvulling op de bovenstaande bureaustudie uitgaande van een soortenbenadering leidt het experiment Markermeermoeras tot een alternatief advies voor de gewenste omvang, namelijk vanuit productiviteit gedacht. Aangezien de gebruikte substraten uit het Markermeer, afhankelijk van de manier waarop voedingsstoffen in de bodem gebonden zijn, tot een relatief soortenarm moeras met een lage biomassa kunnen leiden (zeker wat betreft de vegetatie na 3 jaar), kan het zijn dat een fors oppervlak nodig is om succesvolle populaties doelsoorten, zoals moerasvogels, te ondersteunen wanneer zij van het moeras zelf afhankelijk zijn voor hun voedselvoorziening (Van den Berg et al, 2014). Om dit in te kunnen schatten zal de chemie van het te gebruiken materiaal nader moeten worden onderzocht, te meer daar via het water en zwevend stof momenteel nog maar weinig voedingsstoffen kunnen worden aangevoerd.

Uiteindelijk zal de grootte ook erg belangrijk zijn voor de duurzaamheid van het moeras voor wat betreft erosie door wind- en golfwerking. Hoe groter, hoe robuuster het moeras zal zijn. Een groter deel is dan afgeschermd van de winddynamiek. Dit zal ook erg afhangen van de fysieke randvoorwaarden voor de aanleg, zoals hoogte boven het wateroppervlak en mate van bescherming tegen erosie door middel van luwte-zones, eventueel beschermd met afgezonken rietmatten (Van der Wal et al, 2015).

In natuurlijke moerassen is enige verstoring van de bodem (door peilfluctuatie of begrazing bijvoorbeeld) een belangrijke factor die zorg draagt voor een hoge biodiversiteit. Verstoring zorgt namelijk voor het ontstaan van verschillende habitats en veel soorten zijn afhankelijk van een het tegelijkertijd aanwezig zijn daarvan. Het is echter ook een gegeven dat relatief nutriëntarme vegetaties moeilijker tegen verstoringen kunnen doordat hergroei en hervestiging belemmerd worden door gebrek aan voedingsstoffen. Relatief kleine populaties watervogels kunnen al forse verstoringen veroorzaken en het is de vraag of een moerasvegetatie in een jonge

ontwikkelingsfase zoals getest in dit experiment op een arme bodem tegen dergelijke verstoringen kan.

De pilot moeras laat al zien dat er sprake is van vraat door vogels in het open compartiment (Van Kerkvoorde, 2015).

Schaalvergroting (inclusief wat dieper water met planten, waar de graasdruk lager is) is in dit systeem een mogelijkheid om de robuustheid en daarmee de duurzaamheid van de ontwikkeling te verhogen. Hierbij geldt ook dat verschillende habitats in een sterk afwisselend patroon moeten voorkomen om incidentele catastrofes (verstoringen door vraat bijvoorbeeld) tot een minimum te beperken. Daarnaast is afwisseling in gradiënten van droog naar nat belangrijk om variatie aan insecten en macrofauna te kunnen herbergen. De pilot Moeras laat het verschil tussen een gesloten en open compartiment al in het eerste ontwikkelingsjaar zien (Van Kerkvoorde, 2015). Dit is goed voor de voedselvoorziening van vogels – zij kunnen dan op verschillende momenten op verschillende plaatsen voedsel vinden, bijvoorbeeld bij gedeeltelijke overstroming of droogval (Van den Berg et al, 2014). Een matige of ruimtelijk verspreide verstoring kan dus positief bijdragen aan de ontwikkeling van het moeras.

Samenvattend:

Voor een grootschalig moeras is een minimale omvang van 1500 ha moeras nodig en een optimale omvang van 4500 ha wenselijk. De gewenste ecologische structuur bestaat uit 50% van het oppervlak plas-dras, 15% slik, 20% ondiep water (incl. 400 ha zeer ondiep) en 15% overige habitats. Dit leidt tot een streefbeeld van een grootschalig moeras in combinatie met grote randlengte langs inhammen en kreken, waterrietzones van meer dan 5 m breedte.

NMIJ referenties:

Buskens & den Held (2012)

Snijders (2015)

Van den Berg et al. (2014)

Van Kerkvoorde (2015)

Externe referentie:

Bal et al. (2001)

Onderzoeksvraag: H7

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

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, veldexperiment

Antwoord:Bureaustudie

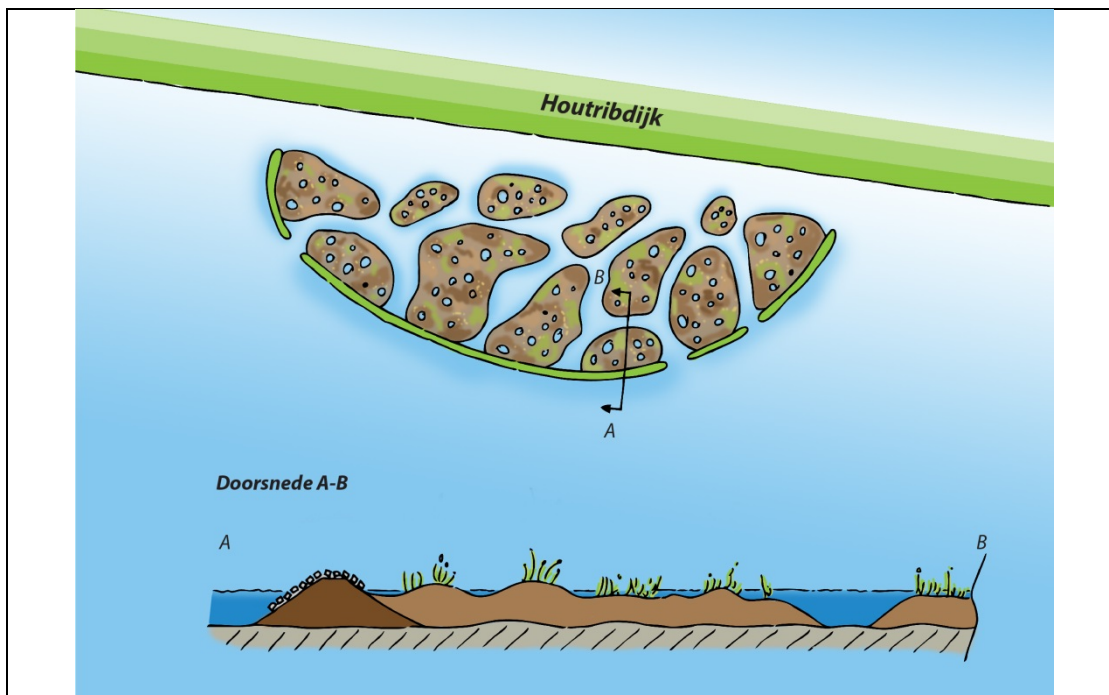
Voor de ontwikkeling van een grootschalig moeras wordt gedacht aan een modulaire opbouw om de volgende redenen:

- 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 Marker Wadden gaat uit van combinatie modules welke gevuld zijn met verschillende sedimenten (www.natuurmonumenten.nl)

Inmiddels heeft de aanbesteding van het project Marker Wadden 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 Marker Wadden 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 opeenvolgende 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

Onderzoeksvraag: H8

Hoe verloopt de consolidatie en zetting van een met schone baggerspecie opgehoogd gebied op de zettingsgevoelige Markermeerbodem?

Onderzoeksmiddelen:

Veldexperiment

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:

- 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.

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).

Consolidatie

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.

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.

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.

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). 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 C_v . 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:

	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	Nvt	Nvt	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 FScnabag
- (3) Volgt uit metingen
- (4) 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: H9

Wat zijn de ecologische vereisten voor de gewenste landwaterzone van een moeras om substantieel bij te dragen aan een vergroting van de habitatdiversiteit in het Markermeer-IJmeer?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies, monitoring bestaande situaties

Antwoord:Bureaustudies*Creëren nieuwe habitats*

Uit de bureaustudie van Buskens & den Held (2012) blijkt dat de effectiviteit van de maatregel grootschalig moeras zeer hoog wordt ingeschat. Het moeras voegt namelijk een aantal meerbiotopen en habitats toe die momenteel in het Markermeer grotendeels ontbreken. Paai- en opgroeigebied voor vissen en rust-, rui en broed- gebieden voor moeras- en watervogels zullen beschikbaar komen.

Peildynamiek

De ecologische effectiviteit is echter sterk afhankelijk van het heersende peilregime. Voor de ontwikkeling van een moeras met emergente vegetatie (waterriet) is een meer natuurlijk peilverloop een vereiste (zie verder paragraaf 3.3). Het eindresultaat van het DPIJ programma IJsselmeergebied in 2014 is echter zodanig dat de mogelijkheden voor flexibilisering van het peilregime in de komende decennia weliswaar niet helemaal uitgesloten, maar toch heel beperkt zijn (ongeveer 10-20 cm afwijking van het huidige peilregime en een maand verschil in timing). Dit betekent dat het talud zeer flauw moet zijn om periodieke droogval van voldoende areaal voor uitbreiding van oevervegetatie mogelijk te maken. Omdat een afwijking van 10-20 cm kleiner is dan de huidige peilfluctuaties in de winter wordt hiermee weinig toegevoegd aan de doorspoeling die de successie (verruiging) van waterrietvegetaties moet tegengaan. Bij de beperkte peilfluctuaties blijft bovendien oevererosie aandacht vergen.

Schaal

Ook de schaal van het moeras is sterk bepalend voor de mate waarin een substantieel effect op het Markermeersysteem zal kunnen optreden. Hoe groter het oppervlak, hoe meer kans op vestiging van koloniebroedende vogels (Purperreiger, Grote Zilverreiger, Lepelaar) en ruimtevragende soorten (Roerdomp, Zeearend).

De ontwikkeling in een moerasgebied met vergelijkbare omvang, de Oostvaardersplassen, heeft laten zien dat een dergelijk moeras door zijn grote schaal een grote uitstralende werking naar de omgeving kan hebben die voor sommige soorten tot landelijk niveau reikt (Grote Zilverreiger, Zeearend, Baardmannetje, Blauwborst). Van belang hierbij zijn onder meer grote randlengtes van land-water overgangen en/of doorsnijdingen van moeras door kreken (Roerdomp, Porseleinhoen; vergelijk recente verbeteringen in de structuur van rietvelden van het Zwarte Meer door Natuurmonumenten) en slechte bereikbaarheid voor predatoren door grotere breedte van de emergente vegetatie (waterriet, Lisodde, biezen die in het water staan). Vuistregel uit onderzoek naar Grote Karekieten (i.v.m. predatie door Vossen) is een breedte van de waterrietzone van meer dan vijf meter, waarbij riet kan groeien in water van maximaal ca. 50 cm diepte bij zomerpeil. Daaruit is dus een ondergrens aan de helling toe te kennen van 1:10, waarbij moet worden opgemerkt dat dan het areaal droogval bij uitzakkend peil nog maar zeer beperkt is.

Een grootschalig moeras draagt echter maar beperkt bij aan de vigerende Natura 2000 instandhoudingsdoelen voor mossel- en visetende watervogels.

Monitoring bestaande situaties

Uit bestaande situaties blijkt dat er ook faalfactoren zijn aan te wijzen voor de succesvolle ontwikkeling van een land-waterzone in de vorm van een moeras. In de Oostvaardersplassen is gebleken dat bij een vast peilregime de vraat door ganzen een zodanig groot risico is dat dit de ontwikkeling van een rietgordel compleet kan verstoren of terugzetten in de tijd. Dit leidt er toe dat er bij beperkte peildynamiek periodiek grootschalige ingrepen nodig zijn, zoals tijdelijke droogval, om de situatie te herstellen (cf voormalig "cyclisch peilbeheer" Oostvaardersplassen, nu opnieuw toegepast). Al of niet kunstmatige peilverschillen tussen jaren zijn hierbij een belangrijk instrument, omdat ganzenvraat maximaal is als de vogels tussen het riet kunnen zwemmen. Terwijl droogval, afhankelijk van duur en timing, dus enerzijds de predatierisico's tijdelijk kan vergroten, kunnen droge jaren een cruciale rol spelen voor herstel en voortbestaan van waterriet en andere typen van emergente (in het water staande) oevervegetatie op de lange-termijn.

Ook bij de natuureilanden IJsselmonding is gebleken dat helofytenvegetaties op veel plaatsen in (en ook rond) de eilanden lijden onder begrazing door watervogels. In de ondiepe delen (tot 0.5 m waterdiepte) groeien nauwelijks ondergedoken planten, mogelijk mede veroorzaakt door een gebrek aan licht. Dit is vooral essentieel voor kieming en vestiging van (ondergedoken) waterplanten. In de meren van het IJsselmeergebied ontbreken meer in het algemeen waterplanten in de meest ondiepe gebieden, waarschijnlijk door een combinatie van golfwerking, predatie en het lagere peil in de winter. Open aansluiting op wat diepere delen is daarom zinvol. De oevers aan de binnenzijde van de eilanden in de IJsselmonding zijn rijk begroeid met lokaal flinke stroken met emerse waterplanten en oeverplanten (Pijlkruid, Zwanenbloem, Moerasvergeetmijnietjes en Watermunt). De oeverrand zelf is meestal begroeid met riet, lisdodde en mattenbies. Oevers zonder oeververdediging zijn meestal begroeid. De begroeiing bestaat vaak uit Wilgenroosje en/of Riet met soms wat Lisdodde.

Samenvattend

De omvang van de land-water overgangszone moet groter zijn, vanwege het flauwere talud, als de peilfluctuaties beperkt zijn (arealen zie ook H6). De zone met waterriet (zomerpeil tot 50 cm daar onder) moet meer dan 5 m breed zijn. Groot oppervlak is belangrijk in combinatie met grote randlengte (inhammen en kreken).

NMIJ Referenties:

Buskens & van Held (2012)
Evers et al. (2012)

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 maaiveld daling, 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: H13

Welke methode kan het best gebruikt worden om erosie van de aangebrachte/ingevangen grond tegen te gaan? Denk daarbij aan variabele taludhelling (variërend van 1:3 bij harde constructies tot 1:1000 bij zachte constructies) en verschillende opties voor harde constructies (stortsteen, zetsteen, gesloten bekleding en houtconstructie)?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, Veldexperiment

AntwoordBureaustudie

Bij de aanleg van een moeras in het Markermeer zal, indien gewerkt wordt met Holoceen ophoogmateriaal, een rand nodig zijn. Deze rand voorkomt erosie van het aangebrachte materiaal. De rand kan uit verschillende materialen bestaan en kan zelf ook onderhevig zijn aan erosie. Erosie is het gevolg van dwars en langstransport door golven en/of door stroming. Het tegengaan van erosie kan door de golf- en stroomwerking zo klein mogelijk te maken. Dit kan op verschillende manieren, zoals door de aanleg van vooroeverdammen, strekdammen en door te werken met heel flauwe taluds waar de golf zijn energie verliest voordat de oeverlijn wordt bereikt. Men kan de oeverlijn ook direct beschermen door inzet van stabiele harde constructies, geotextiel of (ingeplante) oevervegetatie. (Rosenbrand et al, 2015).

In het referentieontwerp voor Marker Wadden heeft het moeras een buitenrand van zand. Om dit zand voldoende stabiel te houden is voorgesteld om palenrijen in het zand te plaatsen met een tussenafstand van 100 m (Fiselier en Ebbens, 2012). Flauwe zandtaluds worden ook gebruikt bij de pilot Ecoshape aan de Houtribdijk (www.ecoshape.nl). Dit is een oplossing die vooral geschikter is voor ondieper water en meer golfvloed gelegen condities. In principe kan ook op diep water en bij veel golfenergie met een zachte bescherming worden gewerkt maar dan is veel zand nodig en is bij een hoge zandprijs een dijk goedkoper. Ook zal er veel onderhoud nodig zijn. Bij de pilot Ecoshape aan de houtribdijk wordt ook geëxperimenteerd met oevervegetatie zoals riet en biezengras, aangebracht op het zand. Dit is een oplossing die gekozen kan worden als er maar weinig golfslag is (www.ecoshape.nl) en transporterend zand door de aanwezigheid van de dijk niet zo snel verloren gaat als in het geval van een eiland.

Veldexperiment

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 geocontainers en geotubes, bekleed met breuksteen. Bij de aanleg van de buitenrand dient rekening gehouden te worden met het effect van zettingen tijdens de levensduur. Hierdoor kan het nodig zijn dat de buitenrand in eerste instantie hoger boven het wateroppervlak uit steekt. In plaats van de rand van het moeras met een overhoogte aan te leggen kan deze ook 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 minder blijken 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. (Rosenbrand et al., 2015). Bij de pilot is de rand in eerste instantie op de juiste hoogte aangelegd. Hier bleek de zetting echter groter dan verwacht waardoor de rand uiteindelijk te laag is komen te liggen.

Samenvattend

Er zijn in principe verschillende haalbare methodes om aangebracht materiaal te beschermen tegen erosie. In alle gevallen zijn het randen, uitgevoerd als harde constructie of als zachte brede zone. Ook zijn tussenvormen denkbaar ('dynamisch stabiele' oplossingen, zoals met een grinddam). De beste methode is afhankelijk van de eisen en wensen die aan dergelijke randen worden gesteld. Alle opties hebben een ander kostenplaatje en richten zich op verschillende specifieke condities. Een algemeen ontwerp is dus niet aan te geven. De randen zullen dan ook steeds specifiek op eisen, wensen, functionaliteit en optredende golf- en stroomrandvoorwaarden moeten worden ontworpen.

NMIJ Referenties:

Rosenbrand et al (2015)

Externe referenties:

Fiselier & Ebbens (2012)

www.ecoshape.nl

Onderzoeksvraag: H15

Hoe snel verloopt de natuurontwikkeling in de pilot moeras en wat is het ecologisch rendement?

Nb: De pilot moeras is in januari 2014 gereedgekomen, één jaar later dan vooraf gepland. Het hoofdaccent lag op de aanlegstrategie, zetting en hydromorfodynamiek. Op voorhand was duidelijk dat de duur van de proef te kort was voor de monitoring van de beoogde ecologische ontwikkeling. Het onderstaande antwoord is een zeer voorlopige conclusie op basis van 1 jaar ecologische ontwikkeling.

Onderzoeksmiddelen:

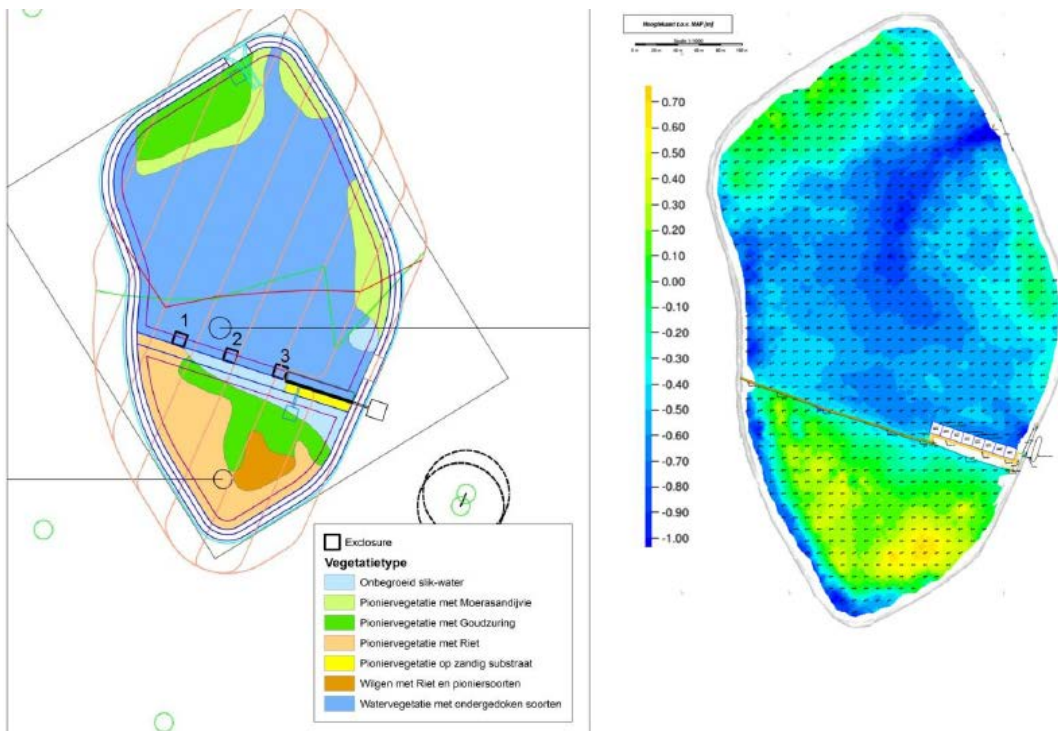
Bureaustudie, veldexperimenten

Antwoord:Veldexperiment pilot moeras

In het eerste groeiseizoen na aanleg heeft zich de volgende ecologische ontwikkeling voorgedaan (Van Kerkvoorde, 2015):

In het gesloten compartiment hebben zich in het eerste groeiseizoen na aanleg meer dan 50 plantensoorten ontwikkeld in verschillende vegetatietypen, afhankelijk van de bodemhoogte (en dus het vochtgehalte). De droogste delen zijn het meest soortenrijk. De permanent slikkige delen zijn minder soortenrijk en hier is een pioniervegetatie met Moerasandijvie aspectbepalend. Waar de bovenlaag is uitgedroogd, is het milieu voor deze soort minder aantrekkelijk en ontbreekt deze nagenoeg. Hier zijn soorten als Klein kruiskruid, Meldes, Riet en Goudzuring het algemeenst.

Vanwege de late vegetatieontwikkeling is Moerasandijvie nergens tot bloei gekomen. Dit geldt ook voor het overgrote deel van de Goudzuring. Naar verwachting zullen deze soorten in het tweede groeiseizoen wel tot bloei komen (voor Moerasandijvie is dit inmiddels gebleken) en hun zaad verspreiden. De vegetatie wordt op het land in het gesloten compartiment nog nergens beperkt door vraat van vogels.



In het open compartiment heeft zich een watervegetatie met 8 ondergedoken soorten ontwikkeld. Uit het verschil in vegetatieontwikkeling tussen het open water en drie exclusies blijkt dat de ontwikkeling in het open water in zeker mate beperkt is door vraat van vogels. Begrazing door eenden en zwanen zal beperkend werken op de bedekking en mogelijk de soortensamenstelling van de watervegetatie. Dergelijke begrazing is echter onderdeel van de natuurlijke toestand in dit milieu en is mede een gevolg van de geringe diepte. Opmerkelijk in dit stadium is het vrij talrijke voorkomen van wilgen op het eiland. In combinatie met het frequente voorkomen van Riet en Grote Lisdodde is het waarschijnlijk dat het eiland zich op termijn zal ontwikkelen tot een wilgenmoeras met Riet, waarbij pioniersoorten als Moerasandijvie en Goudzuring beperkt zullen blijven tot de permanent natte en slikrijke randzones. De toekomstige vegetatieontwikkeling van het zandige deel is nog onduidelijk. Voorlopig lijkt de ontwikkeling richting een grazige ruigte te gaan.

De ontwikkeling van de macrofaunagemeenschap vertoont al duidelijke verschillen tussen juni en oktober in het eerste groeiseizoen. Zo zijn de totale dichtheden op alle vier de lokaties globaal een factor 2-3 hoger dan in juni, maar belangrijker is dat de diversiteit van de macrofauna op alle meetlocaties ook is toegenomen. De gemeenschap bestaat in juni voornamelijk uit muggenlarven, wormen en vlokreeften. Het water is nog niet gekoloniseerd door mosselen. In het najaar verschijnen ook meer watermijten, aasgarnalen en kokerjuffers. Deze veranderingen leiden veelal tot een hogere EKR-waarde in het najaar dan in het voorjaar. Voor locatie 1 is ook het kwalitatieve oordeel verbeterd van “ontoereikend” naar “matig”. Voor de andere drie locaties blijft het oordeel “ontoereikend”.

De toegenomen diversiteit en de daarmee ook toegenomen EKR-waarden zijn goed te verklaren vanuit het optredende kolonisatie-proces. Ook het feit dat er verschillende ondergedoken waterplanten op de lokaties in het open compartiment zijn aangetroffen leiden veelal tot een hogere diversiteit in de macrofauna. Naar verwachting is deze kolonisatie nog niet voltooid.

Vogels

Na een aarzelend begin na het gereedkomen van het moerasediland (met veelal aanwezigheid van verschillende soorten meeuwen), is de ontwikkeling vanaf de lente in het eerste groeiseizoen snel gegaan. Vooral de massale vestiging van broedende visdieven en Kokmeeuwen gebeurde onverwacht snel. Na de broedtijd vervult het eiland gedurende de najaarstrek een belangrijke rol voor plantenetende vogelsoorten (vooral Krakeenden), die foerageren op en rond het open water compartiment. In de winter vervult het eiland na 1 jaar nog geen belangrijke rol voor vogelsoorten en wordt het alleen door meeuwen als rustgebied en slaappleaats gebruikt.

Vis

De aangetroffen vissoorten zijn vooral algemene soorten en soorten met een voorkeur voor harde substraten (stortsteen), zoals exotische grondels. Opvallend is de massale aanwezigheid van Driedoornige stekelbaars in een plas in het gesloten compartiment (dat vanuit het open compartiment door een pomp gevoed werd om land-waterovergangen in stand te houden). In het tweede groeiseizoen blijkt de gemeenschap diverser te zijn geworden.

Tijdens een voorjaarsbezoek in het tweede seizoen (12 mei 2015) bleek de waterstrook rond het gesloten deel zich door overslag van water over de rand vanuit het westen te hebben uitgebreid door afslag van de oevers van het opgespoten deel. In het open compartiment werden nog vrijwel geen waterplanten gevonden, behoudens een kiemplantje van Zannichellia. In de zijdelings afgeschermd exclusies stonden echter

al forse planten van Doorgroeid fonteinkruid, Gekroesd fonteinkruid en Aarvederkruid, wellicht in hun groei gestimuleerd door de beschutting en het microklimaat. Vele planten van Moerasandijvie groeiden op de droogvallende delen van het open compartiment en waren uitbundig tot bloei gekomen. In de exclusies zonder waterlaag groeiden vele zeer forse planten van Blaartrekkende boterbloem.

In het gesloten compartiment groeiden op de hogere delen jonge wilgen en Lisdodde, op de lagere delen opnieuw massaal Klein kruiskruid en Goudzuring. Er was nog geen sprake van een gesloten vegetatie. Opnieuw waren de hogere delen bevolkt door honderden paren Visdieven en Kokmeeuwen en ook door enkele paren Kluten en een Kleine plevier. Bij aankomst waren ook enkele rustende (onvolwassen) Lepelaars aanwezig.

Veldexperimenten in waterproeftuin

De ontwikkeling van een aangeplant moeras (van den Berg et al, 2014) gaat erg snel en laat een bedekking van 30% van het areaal (met riet) zien binnen 1 jaar na aanplant. In een situatie van autonome ontwikkeling is de ontwikkeling traag en ontstaan kiemplanten, vaak van ruderaal en/of pionier-soorten. Riet komt in deze proefvlakken voor in de vorm van kiemplanten maar de bedekking na 1 jaar is niet groot (5%). De ontwikkeling van helofyten is sterk afhankelijk van het waterpeil en een plas-dras situatie kan de ontwikkeling enorm versnellen. De ontwikkeling van ondergedoken waterplanten zoals kranswieren en Zannichellia is snel en kan op een kleisubstraat in 1 jaar leiden tot een bodembedekking van 80-100%. De macrofaunasoortensamenstelling is sterk gestuurd door habitat (en dus vegetatie) en is daarom volgend op de plantenontwikkeling, ook wat betreft de snelheid van ontwikkeling. Duidelijk was dat aan het eind van de proef (na 3 jaar) de macrofauna nog niet was uitontwikkeld tot volwaardige moerasgemeenschappen. Mogelijk speelt hierbij de geringe connectiviteit een rol. Connectiviteitsproblemen zullen ook ontstaan voor vegetatie omdat de afstanden die veel plantensoorten afleggen vaak slechts gering is.

In de pilot moeras blijkt al in het eerste groeiseizoen in het open compartiment met ondiep water submerse vegetatie zich wel goed te ontwikkelen, vermoedelijk door de open verbinding en/of aanwezigheid van zaden in het vulmateriaal.

Samenvattend:

Zowel het gesloten, droge moerascompartiment als het ondiepe water van het open compartiment werden in het eerste seizoen direct gekoloniseerd door diverse plant- en diersoorten. Op land bestond de vegetatie uit pioniersoorten die in de regel na enkele jaren weer afnemen, Riet was nog nauwelijks aanwezig. Meerdere soorten wilgen waren in het eerste seizoen al wel aanwezig. De kolonisatie van de ondiepten door waterplanten verliep onverwacht snel met maar liefst acht soorten in het eerste seizoen. Ook onverwacht snel was de vestiging van honderden broedparen van Visdief en Kokmeeuw in het eerste zowel als het tweede seizoen. De natuurontwikkeling verloopt dus zeer snel en het ecologisch rendement is hoog (zeer snelle respons van waterplanten en groot aandeel in de Visdiefpopulatie in het Markermeer). Een deel van de huidige waarden (Visdief) is echter verbonden aan het pionierstadium en zal zonder specifiek beheer worden vervangen door andere waarden.

NMIJ referenties:

Van Kerkvoorde (2015)

Van den Berg et al. (2014)

Onderzoeksvraag: H16

Wat zijn de effecten van het grootschalig moeras op de golfbelasting voor de nabij liggende waterkeringen?

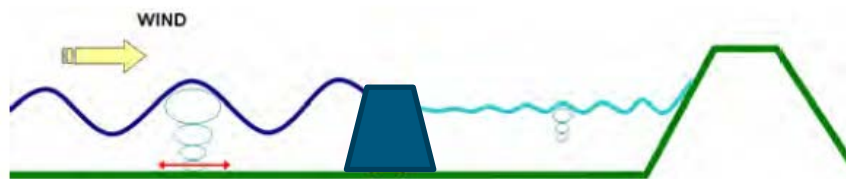
Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie

Antwoord:

Het grootschalig moeras is een voorbeeld van een golfdempende maatregel en kan daarom worden beschouwd als een soort golfbreker. Ook zou een moeras beschreven kunnen worden als een luwtestructuur, aangezien deze maatregelen op dezelfde manier werken. In de beantwoording van deze vraag worden deze termen door elkaar gebruikt, maar op eenzelfde manier beschouwd.

De effectiviteit van het moeras als golfbreker wordt gekenmerkt door de afname van de golfdynamiek in het achtergelegen gebied (de luwtezone). Dit is vooral zichtbaar door de afname van golfhoogtes (schematisch weergegeven in onderstaand figuur). De effectiviteit wordt bepaald door de vorm (geometrie en materiaal), lengte en positionering van de golfbreker ten opzichte van de dijk en door de optredende golfcondities (golfkarakteristieken, frequenties en hoek van inval). De grootte van het gebied waarover het effect op de golfcondities doorwerkt is afhankelijk van de golfgroei over de gegeven strijklengte en de dimensies van het moeras.

**Indicatieve werking van luwtestructuur**

Belangrijke parameters bij de geometrie van een golfbreker zijn: kruinhoogte, kruinbreedte en hellingshoek van het talud. Uit de bureaustudie (2010) is naar voren gekomen dat bij een structuur die dient als golfbescherming deze duidelijk boven de waterlijn moet liggen, tenzij het een drijvende structuur is (zie ook vraag H36). In het rapport van Deltares (Smale et al. 2012) is het effect van verschillende configuraties van luwtestructuren op de golfhoogte tijdens de maatgevende conditie (in dit geval een 1/10 jaar storm) beschouwd. Hieruit blijkt dat voor afstanden van 2 à 3 km uit de kust de golfhoogtereductie bij de teen van de dijk voor een structuur met kruinhoogte op NAP hooguit 15% is. Voor een hogere dam met kruinhoogte NAP +1 m is een golfhoogtereductie van hooguit 30% haalbaar. Deze maximale reductie treedt lokaal op langs een korte zone ongeveer midden achter de luwtestructuur.

Voor het overgrote deel van de luwtezone is de reductie minder dan bovengenoemde percentages: hiervoor wordt 7 en 15% gehanteerd voor een luwtestructuur met een kruinhoogte van respectievelijk NAP+ 0,0 meter en NAP +1,0 meter. Indien luwtestructuren dicht bij de kust liggen is de reductie groter.

Andere invloedsfactoren op het gebied van vormgeving worden bepaald door de eigenschappen van de gekozen materialen: doorlatendheid van de golfbreker en de ruwheid van bekleding van de golfbreker. In het geval van het moeras zijn deze beide parameters niet van invloed omdat het moeras breed wordt aangelegd met dicht materiaal waardoor golven moeilijk door kunnen dringen. Bovendien zal het moeras zelf ook beschermd moeten worden door een golf brekende constructie. Er zal aan de

westrand van het moeras een dam aangelegd worden ter bescherming tegen hoge golven. Hierdoor wordt het nog onwaarschijnlijker dat er golven overblijven in de luwtezone van het moeras.

De locatie van het moeras is nu voorzien aan de oostkant van het Markermeer (Markerwadden, Natuurmonumenten 2012). Het project Markerwadden zal in verschillende fases worden aangelegd. In het begin zal de afstand van het moeras tot de waterkering relatief groot zijn (orde 4 tot 5 km), maar op den duur is het de bedoeling dat het gebied tussen moeras en waterkering aanslibt. Bovendien wordt het moeras verder uitgebreid met het materiaal uit de slibgeulen. Daarmee wordt het golfreducerend effect alleen maar groter: de afstand tussen het moeras en de kering wordt kleiner (kortere strijklengte) en het moeras neemt toe in oppervlakte waardoor een groter gedeelte van de (Houtrib)dijk golfreductie zal ondervinden.

NMIJ referentie:

Visser & Vijverberg (2010)

Externe referenties:

Smale et al. (2012)

Wichman (2012)

Natuurmonumenten (2012)

Onderzoeksvraag: H17

Wat is de relatieve bijdrage van land-waterzones (i.r.t. de andere voorgestelde maatregelen voor habitatdiversiteit) op de realisatie van een veerkrachtig ecologisch systeem?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, modelstudie, veldexperiment

Antwoord:Bureaustudies

Een veerkrachtig ecologisch systeem stoelt in het Markermeer op vier systeempijlers:

- ondiepe zones met helder water;
- land-waterovergangen;
- gradiënten in slibgehalte in de waterkolom;
- ecologische verbindingen.

Het onderlinge relatieve belang is moeilijk te kwantificeren en afhankelijk van de gekozen insteek. Vanuit een juridische invalshoek zijn de ondiepe zones met helder water en de gradiënten in slibgehalten van groot belang omdat met name deze pijlers momenteel beperkend zijn voor het behalen van de formele Natura2000 doelen. Vooral de visetende vogels, die baat hebben bij de gradiënten, lopen sterk achter op de formele doelen.

Vanuit een biodiversiteits-insteek zijn de land-waterovergangen van groter belang omdat deze nieuwe biotopen en habitats toevoegen die momenteel ontbreken, zoals slikken, plas-drassituaties, Waterriet-moeras en oevervegetaties. Het systeem wordt daarmee completer, gaat meer lijken op de structuur van een natuurlijk meer en kan meer soorten en life support functies herbergen dan met luwtmaatregelen bereikt kan worden.

Buskens & den Held (2012) stellen dat de maatregel luwtstructuren naar verwachting een positief effect heeft op fonteinkruiden, kranswieren en oevervegetatie. Lokaal zal de ecologische kwaliteit toenemen. De maatregel luwtstructuren draagt daardoor bij aan het behalen van de Natura-2000 doelen voor herbivore vogels, maar ook benthivore vogels. De watervegetatie biedt structuur voor macrofauna, wat geschikt voedsel is voor deze vogels.

Daarnaast ontstaan door luwtstructuren ook nieuwe gradiënten in slibgehalte in de waterkolom die bijdragen aan de foerageermogelijkheden van visetende vogels.

De geplande aanleg van grootschalige land-waterovergangen als onderdeel van een grootschalig moeras (de Marker Wadden) heeft naar verwachting een positief effect op alle groepen en soorten behalve enkele typische bewoners van grootschalig open water, zoals de Spiering. De ontwikkeling is in het bijzonder gunstig voor vegetatie, riet- en moerasvogels en oevergebonden zoogdieren (Noordse woelmuis, Waterspitsmuis, Otter), amfibieën en reptielen (Ringslang). Vooral in combinatie met dynamischer peil zijn land-water overgangen ook van betekenis als paaiplaats voor vissoorten en als kraamkamer voor juveniele vis, en daarmee stimuleren ze tevens de diversiteit en duurzaamheid van de visgemeenschap in de diepere delen van het meer. Vooral in combinatie met oeverontwikkeling bij dijkonderhoud en dijkverbetering (Houtribdijk, Oeverdijk Noord Holland) kunnen geïsoleerde populaties van oevergebonden soorten met elkaar worden verbonden.

De ecologische verbindingen met het achterland (m.n. vispassages) zijn voor de ondergedoken levensvormen van het ecosysteem van aanvullend belang. Naar

verwachting zijn vismigratiebevorderende maatregelen pas ten volle effectief als voldoende paai- en opgroei-habitat in het Markermeer beschikbaar is (gerealiseerd met luwtmaatregelen en/of land-waterovergangen) en bovendien de invloed van visserij is afgenomen.

De combinatie van maatregelen voor alle pijlers is het meest gunstig voor het bereiken van een toekomstbestendig ecologisch systeem. De additieve en mogelijk synergistische waarde die wordt behaald bovenop de waarde van individuele maatregelen (aanleg van luwe ondiepten, aanleg van moeras en land-water overgangen) is naar verwachting groot (onderlinge versterking van hydrologische processen, stepping stone werking), en daarom is dit scenario vanuit ecologisch perspectief het meest wenselijk.

Modelstudie

Met het Habitat model is het niet mogelijk alle vier systeempijlers op een zodanig kwantitatief niveau door te kunnen rekenen dat een onderling vergelijking van de relatieve bijdrage gemaakt zou kunnen worden. Ecologische verbindingen en spatiele interacties kunnen niet gemodelleerd worden.

Veldexperiment

Het veldexperiment pilot moeras heeft laten zien dat de ecologische ontwikkeling al in het eerste groeiseizoen na aanleg snel op gang komt. Op de droge delen ontstaat meteen een pioniersvegetatie, die in het tweede jaar al bijna vlakdekkend is en waar verschillen in hoogte liggen in andere vegetatietypen tot uitdrukking komt. Grote aantallen op kale-grond broedende vogels hebben de droge delen gekoloniseerd. Ook in het ondiepe water is submerse vegetatie meteen opgekomen en heeft herbivore vogels aangetrokken. De macrofaunagemeenschap laat ook binnen twee jaar een ontwikkeling zien die samenhangt met aanwezigheid van waterplanten. Ook vis vindt, zij het in kleine aantallen, het open water van het moeras en maakt gebruik van schuilmogelijkheden in de stortstenen van de rand van het moeras. In totaal hebben 53 soorten vogels het moeras gevonden, waarvan 19 eenmalig (Kerkvoorde, 2015).

Samenvattend:

De bijdrage van land-waterzones aan een veerkrachtig ecologisch systeem bestaat dus onder meer uit het vergroten van diversiteit en duurzaamheid van levensgemeenschappen in het meer (vis), het versterken en toevoegen van oevergebonden natuurwaarden (riet- en moerasvogels) en het verbinden van geïsoleerde populaties oevergebonden soorten (zoogdieren, Ringslang).

NMIJ referentie:

Buskens & den Held (2012)
Kerkvoorde (2015)

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€
<i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca.25%</i>		
<p>De bandbreedte in de kosten wordt veroorzaakt door de verschillende gehanteerde uitgangspunten.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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. Door deze wijze van werken valt deze raming veel hoger uit dan de eerder behandelde wijzen.</p> <p>In geen van de ramingen zijn domeinvergoedingen opgenomen.</p>		
NMIJ Referenties: WMIJ (2012)		

Open

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

<p>Onderzoeksvraag: H20 Wat zijn de kosten voor beheer- en onderhoud van een grootschalig moeras van 5000 ha?</p>														
<p>Onderzoeksmiddel: Bureaustudie</p>														
<p>Antwoord: De beheer- en onderhoudskosten van een grootschalig moeras worden geraamd tussen €0,5 mln. en €2,7 mln. per jaar.</p> <p>Kosten beheer en onderhoud grootschalig moeras per jaar</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Beheer- en onderhoudskosten bij 5.000 ha</th> <th>Jaarlijks gemiddelde</th> <th>Per ha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bron: raming WMIJ</td> <td>€ 555 K€</td> <td>€ 110</td> </tr> <tr> <td>Bron: raming Marker Wadden</td> <td>€ 1.175 K€</td> <td>€ 235</td> </tr> <tr> <td>Bron: raming Moeraseiland Markermeer</td> <td>€ 2.720 K€</td> <td>€ 540</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca.25%</i></p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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).</p>			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
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												
<p>NMIJ Referenties: WMIJ (2012) Rosenbrand (2015) Van Tiggelen (2015)</p>														

<p>Onderzoeksvraag: H23 Op welke manier is het ecologisch rendement van vooroevers/ ondiep-water-zones te optimaliseren (in termen van bijdrage die een vooroever levert aan een veerkrachtig ecologisch systeem Markermeer-IJmeer bovenop een baseline van N2000; verbeterde draagkracht van het systeem dat zich laat vertalen in een toename van bodemleven, waterplanten, vissen en vogels)?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, monitoring bestaande situaties, modelstudies, veldexperimenten</p>
<p>Antwoord: Vooroevers kunnen voor alle bovengenoemde soortgroepen een (aanzienlijke) toegevoegde waarde hebben ten opzicht van het grote oppervlak open water. Vooral voor ondergedoken waterplanten en in mindere mate mosselen is het belangrijk dat de dammen dwars op de wind liggen met zo min mogelijk instroming van slibrijk water. Ook moet de waterdiepte dusdanig groot zijn dat de vraat door watervogels beperkt blijft. Bij een diepte van circa 2 meter krijgen ook fonteinkruiden weer een voordeel ten opzichte van de (dichte) kranswieren. Dergelijk gebieden hebben ook meer potenties voor (jonge) vis en mosselen. (Buskens & den Held, 2012)</p> <p>Vooroevers kunnen ecologische meerwaarde creëren doordat ze feitelijk als luwtestructuur werken. Wanneer de aanvoer met slibrijk water beperkt is, kunnen hier uitgebreid ondergedoken waterplanten gaan groeien. Dit water moet grotendeels wel dieper dan ca. 0,50-0.75 meter zijn omdat anders vraat door watervogels de vegetatie sterk onder druk kan zetten.</p> <p>Locaties met veel oude schelpen hebben meer potentie voor mosselen; ook een wat hardere bodem met zand kan een positief effect hebben. Het aanbrengen van dergelijk geschikt substraat in de omgeving van een luwtestructuur zal daarom gunstig uitwerken op de dichtheid aan mosselen. De dammen zelf hebben in veel gevallen ook datzelfde effect door de aanwezigheid van hard substraat als golfbreker. Dit geldt ook voor substraat zoals palen en basaltblokken die boven een eventuele sliblaag uit steken. (Evers et al, 2012)</p> <p>De effecten van de maatregel Vooroever Lepelaarplassen zijn in 2012 met het slibmodel doorgerekend. De effecten op de slibhuishouding en troebelheid waren alleen lokaal en verwaarloosbaar op systeemniveau (hele Markermeer-IJmeer). De berekende potentie voor ondergedoken waterplanten en in mindere mate mosselen is lokaal sterk verhoogd achter de vooroever ten opzichte van het diepe open water in de huidige situatie. De ecologische potentie neemt vooral toe door de verondieping achter de vooroever.</p> <p>Het ontwerp van het veldexperiment Marker Stapsteen bevat verschillende principes die binnen het ontwerp van vooroevers zouden kunnen worden toegepast. Het ontwerp van de Stapsteen omvatte zowel geïsoleerde bovenwater rustgebieden voor vogels als driedimensionale onderwaterstructuren voor mosselen, macrofauna en vis, die kunnen leiden tot optimalisatie van het ecologisch rendement van vooroevers.</p> <p>Onderwaterstructuren dragen bij aan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • een toename van habitat en habitatdiversiteit. • een toename van bodemleven, vissen (weinig effect) en vogels. <p>Beide losse modules (driedimensionale onderwaterstructuren en bovenwater rust- en broedgebieden voor vogels) kunnen ook op andere, meer natuurlijke, wijze worden uitgevoerd en worden ingepast in vooroeverontwerpen.</p>

Het ecologische rendement van de vooroever is voor vis te optimaliseren door er voor te zorgen dat trekvissoorten zoals aal en driedoornige stekelbaars de vooroever kunnen bereiken. Het aantal toegangen vanaf de zee naar het Markermeer-IJmeer is beperkt tot het Noordzeekanaal en de Afsluitdijk. Versterking van de trekvispopulatie in het IJsselmeer en MIJ-meer zal zorgen voor verbetering van de voedselbeschikbaarheid in de voedselketen voor diverse beschermde vogelsoorten (van den Wijngaard et al, 2014)

Optimalisatie is verder mogelijk door het bewerkstelligen van ruimtelijke samenhang tussen verschillende vooroeverprojecten onderling en tussen vooroevers en andere buitendijkse natuur met land-water overgangen. Door middel van samenhang kan meerwaarde ontstaan ten opzichte van de som van de effecten per project, door versterking van luwte-effecten of stapsteenwerking voor populaties van oevergebonden soorten.

NMIJ Referenties:

Buskens en Den Held (2012)
Evers et al. (2012)
Snijders (2015)
Didderen et al. (2014)
van den Wijngaard et al. (2014)

Onderzoeksvraag: H24

Welke ecologische eisen worden aan de inrichting van een Vooroever Lepelaarplassen gesteld?

De onderzoeksvraag is breder opgevat in termen van potenties van vooroevers.

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies

Antwoord:

Vooroevers zijn buitendijkse zones langs bestaande dijken met een flauw talud en een langzame overgang van droog naar nat. Uit literatuur en monitoring van bestaande situaties zijn de volgende leerpunten gesignaleerd die in algemene zin van belang zijn voor de aanleg van dammen bij oevers in het Markermeer:

- Vooroevers hebben voor waterplanten, macrofauna en de meeste vissoorten een (aanzienlijke) toegevoegde waarde ten opzichte van open water. Voor ondergedoken waterplanten is het belangrijk dat de dammen dwars op de overheersende windrichting liggen met zo min mogelijk instroming van slibrijk water. Minder aanvoer van slib leidt tot betere vestigingsmogelijkheden voor waterplanten en mosselen in het gebied tussen vooroever en de meeroever. Voor vis lijkt de slibrijkdom achter de dam minder relevant, maar in het algemeen bieden de door vooroevers beschermde zones hoge ecologische potenties. Voor kranswieren is een diepte van ca. één meter het meest ideaal (weinig vraat) en een diepte van ca. twee meter leidt tot meer fonteinkruiden. Gebieden met een open vegetatie aan fonteinkruiden hebben meer potenties voor mosselen en (jonge) vis dan dichte kranswiervelden. Een variatie in diepte en aquatische ecotopen is dus belangrijk om alle relevante soortgroepen te kunnen herbergen.
- Een luwtestructuur kan leiden tot grotere dichtheden mosselen (b.v. bij Muiden), tenzij de luwtestructuur tot grote ophoping van slib leidt (bij Pampushaven, de vaargeulen bij Muiden en de dam voor de Oostvaardersdijk). Dan is de ecologische waarde van het afgeschermd gebied gering.
- Locaties met veel oude schelpen hebben meer potentie voor mosselen; ook een wat hardere bodem met zand kan een positief effect hebben op de vestiging. Het aanbrengen van dergelijk geschikt substraat in de omgeving van een luwtestructuur zal daarom positief werken op de dichtheid aan mosselen. De dammen zelf hebben in veel gevallen ook dat effect door de aanwezigheid van hard substraat als golfbreker. Dit geldt ook voor substraat zoals palen en basaltblokken die onder water boven een eventuele sliblaag uitsteken.

De oeverzone in een vooroever biedt de mogelijkheid voor ontwikkeling van emergente vegetatie. Riet vestigt zich alleen spontaan uit zaad bij periodieke (eens per 3-10 jaar) langdurige droogval in de zomer. Andere helofyten zoals Lisdodde kunnen zich wel vestigen onder permanent natte condities. Is Riet gewenst bij een gefixeerd (tegnatuurlijk) peil dan moet dit m.b.v. stekken worden aangeplant. Hierbij moet een voldoende groot oppervlak worden aangeplant, omdat anders grote schade kan optreden door vraat door bijvoorbeeld ganzen en meerkoeten, afhankelijk van de waterstand tussen de planten. Zonder inundatie vindt verruiging plaats naar wilgenbos. In dit wilgenbos kunnen zich na verloop van jaren Aalscholvers vestigen, waarna bij kleinschalige aanleg relatief grote veranderingen in de aard van het gebied optreden (Trintelhaven). Gebruik van zacht materiaal voor de verondieping kan vervanging van Riet door Grote Lisdodde betekenen.

Vertaald naar een Vooroever Lepelaarplassen zouden de ecologische eisen zijn:

- golfbreker loodrecht op overheersende windrichting
- beperkte slibaanvoer, door eenzijdige van aansluiting op de kust

- verondieping tot 1-2 m waterdiepte tussen golfbreker en kust, bij voorkeur met steviger materiaal
- beschermde aanplant van riet, bij ontbreken van de vereiste peildynamiek.

NMIJ Referenties:

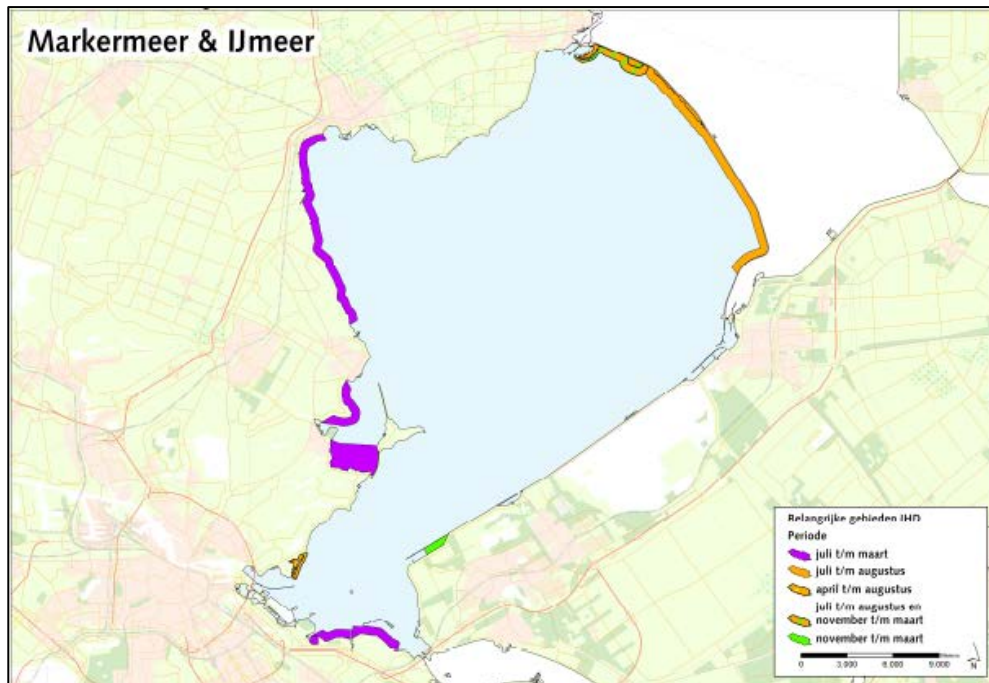
Buskens & den Held (2012)

Van Herpen & Noordhuis (2014)

<p>Onderzoeksvraag: H25 Hoe vertaalt zich dat (ecologische eisen uit vraag H24) naar een ontwerp van een dergelijke vooroever (technische specificatie)?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies</p>
<p>Antwoord: De maatregel Vooroever Lepelaarplassen is door middel van bureaustudies en modelberekeningen onder de loep genomen. De hoofdconclusie van de bestudering van deze vooroever is dat deze lokaal, naar rato van omvang en schaal, zeker habitatdiversiteit en natuurwaarde kan toevoegen. Echter op het niveau van TBES, ofwel systeemniveau, is de bijdrage als zeer beperkt beoordeeld, zowel aan de hand van expert oordeel als met de ecologische modellering. Naar verwachting treedt voor sommige soorten slechts een verplaatsing binnen het IJsselmeergebied op, maar geen netto toename. Daarbij komt dat de kosten relatief hoog zijn door de diepe ligging op de beoogde locatie voor de Lepelaarplassen.</p> <p>Gezien voorgaande conclusie is er geen gedetailleerd ontwerp voor de vooroever in NMIJ kader gemaakt en is deze vraag ook niet uitgebreider uitgewerkt.</p>
<p>NMIJ Referenties: Knoben & Buskens, (2013)</p>

<p>Onderzoeksvraag: H26 Welke locaties zijn het meest geschikt voor het aanleggen van ondiepe waterzones?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, modelstudies, veldexperimenten</p>
<p>Antwoord: <u>Bureaustudies</u> Geschikte locaties voor ondiepe waterzones zijn:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) bestaande ondiepe delen in westelijke deel van Markermeer 2) het IJmeer 3) diepe delen van Markermeer <p>ad 1) De geschiktheid voor aanleg van ondiepe waterzones hangt samen met abiotische kenmerken, ecologische meerwaarde, maatschappelijke haalbaarheid, kosten-baten verhouding en integrale afwegingen (Buskens & den Held, 2012). De maatschappelijke haalbaarheid en kosten-batenverhouding zijn in de MIRT1 verkenning luwtestructuur Hoornsche Hop verder uitgewerkt. Daaruit is gebleken dat de ecologische effectiviteit en maatschappelijke haalbaarheid van ondiepe waterzones elk hun optimum kennen, die dan ook op verschillende locaties gerealiseerd worden. Ecologisch gezien is de aanleg van ondiepten het meest wenselijk in de diepe delen van het meer (in het oosten), enerzijds vanwege het ontbreken van bestaande natuurwaarden, anderzijds vanwege de ruimtelijke spreiding. Hier is de aanleg echter ook het meest kostbaar. NMIJ heeft zich vooral gericht op de abiotische kenmerken en ecologische meerwaarde van luwtegebieden (zie hoofdstuk 2).</p> <p>Ad 2) het IJmeer is ondiep en al relatief helder, onder meer door de recent aangetroffen hoge dichtheden Quaggamosselen. Ook is er sinds de jaren negentig een goed ontwikkelde ondergedoken vegetatie met onder meer kranswier en Sterkranswier. Maatregelen zouden hier dus weinig toevoegen en ook in verband met de wens tot een meer evenwichtige spreiding van watervegetaties over de rest van het Markermeersysteem, laten we het IJmeer buiten beschouwing voor het situeren van maatregelen.</p> <p>Ad 3) In eerdere visies voor het Markermeer/IJmeer is aangegeven dat het westelijk deel van het Markermeer al tamelijk ondiep is en plantengroei kent, waaronder bijvoorbeeld vegetaties met kranswieren in de Gouwzee. Het ontwikkelen van ondiepe waterzones voegt ook op die locaties in die zin dus minder toe aan de natuurwaarde van Markermeer en IJmeer omdat deze er al zijn. Het aanleggen van ondiepe waterzones en land-waterovergangen in diepe, slibrijke delen in het oostelijk deel van het Markermeer zijn qua ecologische winst interessanter omdat hier de bestaande natuurwaarden laag zijn. De pilot moeras toont aan dat het mogelijk is ook in de diepere delen van het meer ondiepe waterzones als onderdeel van een grootschalig moeras te creëren zijn waarin ondergedoken watervegetaties met bijbehorende visgemeenschappen en foeragerende vogels een thuis vinden (Buro Bakker, 2015).</p> <p>De huidige geschiktheid voor doelsoorten is nader onderzocht. Voor het Markermeer zijn de gebieden in kaart gebracht die gedurende verschillende perioden in het jaar van belang zijn voor de instandhoudingsdoelen (IHD) van het N2000 gebied. De Houtribdijk is een belangrijk ruigebied in het najaar voor met name kuifeenden en futen. De gehele dijk van Lelystad tot het gronddepot naviduct wordt hiervoor gebruikt maar concentraties zijn het hoogst op het noordelijk deel van de dijk. Langs de kust van de Flevopolder zijn geen belangrijke gebieden met betrekking tot IHD's gelegen. Dit</p>

betekent dat bestaande natuurwaarden in deze gebieden geen belemmering vormen voor de aanleg van ondiepten.



Ligging van belangrijke gebieden in combinatie met de periode voor instandhoudingsdoelen van het N2000-gebied Markermeer en IJmeer

Uit de monitoring van de ondiepe waterzones aan de luwe zijde van de golfbrekers langs de Houtribdijk is gebleken dat zich daar uitstekend vegetaties van ondergedoken waterplanten kunnen vestigen (Evers et al, 2012; Noordhuis & van Schie, 2007)

Veldexperimenten

De Marker Kwelderwerken (Wielakker et al, 2014) zijn vooral ontworpen om luwe, heldere, ondiepe oeverzones te realiseren in het Markermeer. Het breder toepassen van dit experiment is daarom het meest logisch in gebieden waar het water al ondiep is (maximaal 2 meter diepte) maar te diep voor ecologische diversiteit. Het gaat hier dan om ondiepe oeverdelen met een steil oeverprofiel en/of harde oever gelegen langs één van de Markermeerdijken.

Met de Marker Kwelderwerken kan in deze gebieden een natuurlijk oevergradiënt gecreëerd worden vanaf de droge dijk via een plas-dras-situatie / ondiep water naar het diepere open water. Dergelijke kwelderwerken kunnen een natuurgebied op zich vormen, maar kunnen ook aansluiten op reeds bestaande natuur en daardoor dat areaal uitbreiden. Ook kunnen ze dienen als “stapsteen”, zodat er een verbinding ontstaat tussen twee of meer bestaande natuurgebieden.

Samenvattend

Voor het bepalen van de beste locaties voor de aanleg van ondiep waterzones spelen, behalve de maatschappelijke afwegingen en de kosten, ecologisch gezien de balans tussen potentiële en bestaande natuurwaarden en aspecten van ruimtelijke spreiding een rol. Om deze laatste redenen hebben locaties in het diepere oosten van het meer de voorkeur. Aspecten als kosten en technische haalbaarheid leiden waarschijnlijk deels tot meer westelijk gelegen compromissen.

NMIJ Referenties:

Buskens & den Held (2012)

Snijders (2015)

Wielakker et al. (2014)

Buro Bakker (2015)

Evers et al (2012)

Noordhuis & van Schie (2007)

Onderzoeksvraag: H27

Hoe groot is het areaal aan luwtezone dat kan worden gerealiseerd in het zoekgebied Markermeer-IJmeer?

Onderzoeksmiddelen:

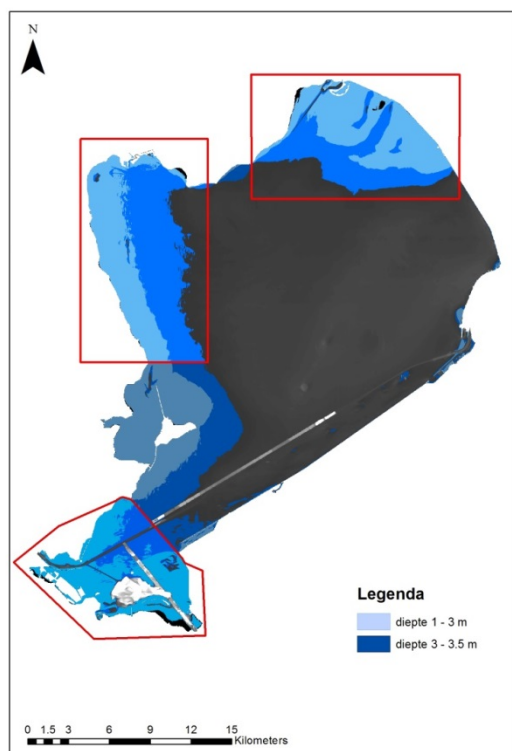
Bureaustudies, monitoring bestaande situaties, modelstudies

Antwoord:

(zie ook vragen S1 en I1)

Bureaustudies

Het 'areaal luwtezone' in de onderzoeksvraag is in dit antwoord opgevat als ondiep, helder water dat geschikt is voor waterplanten. Op basis van de bathymetrie is het maximale areaal vastgesteld waar luwte zinvol is om voldoende licht op de bodem te krijgen en waterplanten te laten groeien (figuur 3.4 en tabel 3.2).

**Diepteverdeling en deelgebieden**

Dieptezone	totaal Markermeer- IJmeer	uitsnede Hoornsche Hop	Uitsnede Enkhuizerzand	uitsnede IJmeer
1-3m	15206	3587	3847	3416
3-3,5 m	12518	4621	3067	1197
Max geschikt				
1-3,5m	27725	8209	6924	4612

Potentieel te realiseren arealen luwtezones (ha) per diepteklasse voor het Markermeer-IJmeer en enkele begrensd onderdelen.

Omtrent deze maximale arealen zijn de volgende opmerkingen te maken:

- door de aanleg van een grootschalig moeras ontstaat ook ondiep water dat

geschikt is voor waterplanten (schatting 500 ha)

- deze arealen zijn potentieel geschikt voor aanwezigheid van ondergedoken waterplanten, maar pas bij een bedekkingspercentage/dichtheid > 15% is de vegetatie waardevol voor andere soortgroepen, zoals macrofauna en vis. De werkelijke waarden zullen dus lager zijn.

Op basis van de meest recente kartering van waterplanten en modelresultaten over de hoeveelheid licht die op de bodem valt, is vastgesteld dat de grens van 15% bedekking van waterplanten ongeveer overeenkomt met die van 10% licht op de bodem in het voorjaar. Op deze manier kunnen de potentiële arealen voor ecologisch functionele ondergedoken vegetatie per inrichtingsscenario worden ingeschat.

Het areaal luwtezone dat geschikt is voor vegetaties met >15% dichtheid is:

Locatie	Areaal
Bestaand	1800
Autonome ontwikkeling	150
Luwtemaatregelen Hoornsche Hop	700
Luwtemaatregelen Enkhuizerzand	600
Ondiep water in grootschalig moeras	500
Totaal	3750

Verdeling van geschikte arealen voor dichte vegetaties

Zie ook vraag I2. Maar het is mogelijk op dezelfde en andere locaties nog meer areaal te ontwikkelen met uitgebreidere maatregelen. Daarvoor is de diepte van 1-3 m bepalend. Potentieel is er 15000 ha luw gebied dat geschikt voor waterplanten te maken is (zonder verondieping), maar dat vergt een zodanige grote lengte aan nieuw aan te leggen luwtestructuren dat dit als onrealistisch te beschouwen is uit oogpunt van maatschappelijke acceptatie. Het lijkt ook niet realistisch de dieptezone 3-3.5m geschikt te krijgen omdat bij deze diepte de kosten van een luwtestructuur te hoog worden.

Het bestaande areaal onderwatervegetatie in de verschillende monitoringsdeelgebieden is:

Deelgebied	2004	2007	2010	2013
Enkhuizen - Trintelhaven	8	54	154	74
Hoorn - Enkhuizen	0	0	7	6
Edam – Hoorn	238	48	17	117
Gouwzee	702	691	1107	806
Buiten-IJ - Marken	17	11	61	216
IJmeer	149	250	428	602
Totaal	1114	1054	1773	1821

De ontwikkeling van bestaande arealen waterplanten (ha) met een bodembedekking van meer dan 15%. (bron: RWS MWTL monitoring)

Monitoring bestaande situaties

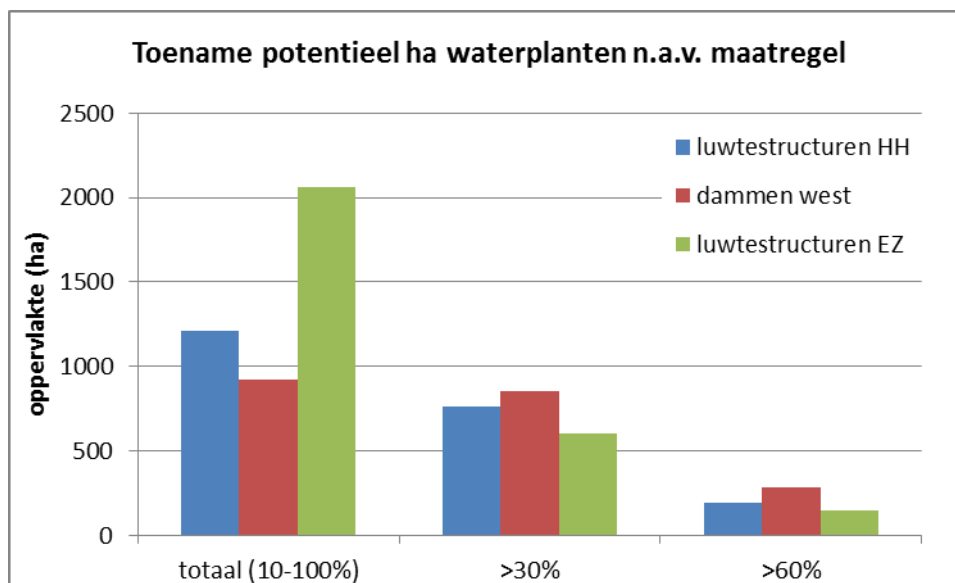
De monitoring aan de golfbrekers bij de Houtribdijk heeft laten zien dat in de luwte achter de golfbrekers inderdaad helder water en vlakdekkende vegetaties van ondergedoken waterplanten zijn ontstaan (Noordhuis & van Schie, 2007, Evers et al, 2012).

Modelstudies

Met het modelinstrumentarium Delft3D-slibmodel en het model Habitat (Snijders, 2015)

zijn diverse maatregel-scenario's doorgerekend om het te realiseren areaal dat potentieel geschikt is voor waterplanten te bepalen.

In figuur 3.5 is de toename in de potentiële aantallen hectares met waterplanten per maatregel weergegeven. De klasse 0-10% kans op voorkomen is in deze analyse niet meegenomen. De relatie tussen de dichtheidsgrens van 15% bedekking is echter moeilijk te koppelen aan een grenswaarde in de kans op voorkomen uit het model. Er zijn geen maatregelen in het IJmeer opgenomen en doorgerekend omdat het water daar al relatief helder is, daar al veel vegetatie aanwezig is. Voor het realiseren van het TBES streeft NMIJ naar een grotere spreiding van vegetaties over het Markermeer-systeem.



Vergelijking toename potentieel habitat waterplanten voor drie afzonderlijke luwtemaatregelen. HH = Hoornsche Hop, EZ = Enkhuizerzand. (zie figuur 1.2 voor situering. Dammen west is een scenario uit de MIRT verkenning luwtestructuur Hoornsche Hop).

De luwtestructuren bij Enkhuizerzand zorgen voor de grootste toename in aantal hectares, echter wanneer gekeken wordt naar de kans op voorkomen dan scoort dammen west beter bij een drempelwaarde van 30%. Naast kans op voorkomen is ook de dichtheid waarin de waterplanten voorkomen van belang voor het realiseren van een levensvatbare populatie en gunstige habitatfunctie voor vis en macrofauna. Hiervoor wordt een grens van >15% bedekking gehanteerd. De daadwerkelijke dichtheid van voorkomen is echter niet met de kennisregels in het model Habitat te voorspellen.

Samenvattend

Luwtezones worden hier geïnterpreteerd als gebieden die geschikt zijn voor een ecologisch, functionele vegetatie (die als habitat kan dienen voor vis en ongewervelden), met een dichtheid van meer dan 15% bedekking. Dit areaal kan op basis van berekeningen met het slibmodel door maatregelen worden uitgebreid van ongeveer 1800 naar 3750 ha. Het model Habitat becijfert soortgelijke potenties.

NMIJ Referenties:
Snijders (2015)

Onderzoeksvraag: H28

Welke vorm, omvang en oriëntatie moet het luwe gebied minimaal hebben om het gewenste veerkrachtig systeem op te leveren? (Welke afstand ten opzichte van de kust is optimaal?)

Het luwe gebied is in dit antwoord geïnterpreteerd als 'geschikt voor waterplanten met bedekking > 15%'.

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies, monitoring bestaande situaties, modelstudies

Antwoord: (zie ook vraag S6 en S9)Bureaustudies

Vorm: de vorm van het luwe gebied wordt bepaald door de vorm van de luwtestructuur en de kustlijn. De structuur kan zowel een geleidende als een kerende (golfbrekende) functie hebben voor slibrijk water. Golfbrekers met haakvormige uiteinden in de richting van de kustlijn zoals bij de bestaande bij de Houtribdijk blijken effectief luwte te genereren.

Omvang: het oppervlak luwe zone met waterplanten moet minimaal een oppervlak hebben van 3500 tot 4000 ha (Knoben et al, 2015). In de huidige situatie is al 1800 ha aanwezig (zie H27). Vraag S9 geeft ook antwoord op de vraag hoe lang een luwtestructuur minimaal moet zijn om significant effect te hebben op het slibgehalte. Hierbij blijkt dat dit minimaal 2,5 tot 3 km moet zijn.

Oriëntatie: een luwtestructuur die aan één zijde met de kustlijn verbonden is, ondervindt een geringere aanvoer van slibrijk water en zal daardoor eerder een luw en helder gebied opleveren dan een structuur die aan beide zijden open is. Luwtestructuren die loodrecht op veel voorkomende windrichtingen zijn georiënteerd reduceren –bij voldoende strijklengte- effectief de golfenergie en dragen dan ook effectief bij aan de reductie van slib

De afstand tot de kust mag niet te groot worden omdat de windwerking de golfhoogte dan weer vergroot en de luwte vermindert. De maximale afstand tussen luwtestructuren onderling of tussen de structuren en de kust kan ongeveer 2 à 3 km zijn, zie ook vragen H35 en H36.

Monitoring bestaande situaties

De effectiviteit van de golfbrekers voor de Houtribdijk is al genoemd. De vooroever voor de Oostvaardersdijk toont echter aan dat een haakvormige structuur niet zonder meer effectief is. De tweezijdige opening in combinatie met de ligging aan de oostzijde van het Markermeer leidt tot een sliblaag van meer dan 70 cm, waardoor vrijwel geen plantengroei optreedt en zich geen mosselen kunnen vestigen. Voor vis blijkt het habitat wel aantrekkelijker dan het gebied buiten de vooroever (Bouma & Broeckx, 2011).

Bij de Hoeckelingsdam is het vermoeden dat de waterplantenontwikkeling niet op gang komt vanwege de te grote dynamiek en stroomsnelheid. Ook dit luwtegebied heeft aan beide zijden een opening waardoor een 'schoorsteeneffect' optreedt; doordat de hoofdstroom in de lengte langs het eiland loopt wordt het water als het ware door de geul om het eiland getrokken (pers. Meded. Van der Wal, 2010). Dit is dus in lijn met bovenstaande opmerking dat een luwtestructuur het beste aan een zijde aangesloten kan zijn op de kust.

Modelstudies

Met het slibmodel en het model Habitat zijn berekeningen uitgevoerd naar het effect van afzonderlijke luwtmaatregelen. De effecten van de luwtstructuren in het Hoornse Hop ('lamellen'), die aansluiten op de Noord-Hollandse kust zijn het grootst bij eenzijdige aansluiting op de kust. Om die reden is het ook aan te bevelen een luwtstructuur op de kust aan te sluiten om te sterke stroming tussen het einde van de dam en de kust te voorkomen. Verspringende dammen ("lamel structuur") hebben als voordeel dat ze golven uit alle richtingen tegen kunnen houden en tegelijkertijd enige stroming toelaten waardoor achter de dam de verblijftijd en kans op algenbloei van groenwieren of blauwwieren afneemt.

NMIJ Referenties:

Bouma & Broeckx (2011)
Snijders (2015)
Knoben et al (2015)

Onderzoeksvraag: H29

Is golfuwte alleen genoeg of moet er ook een afscherming van het slibrijke water gerealiseerd worden om heldere zones in het Markermeer-IJmeer te creëren?

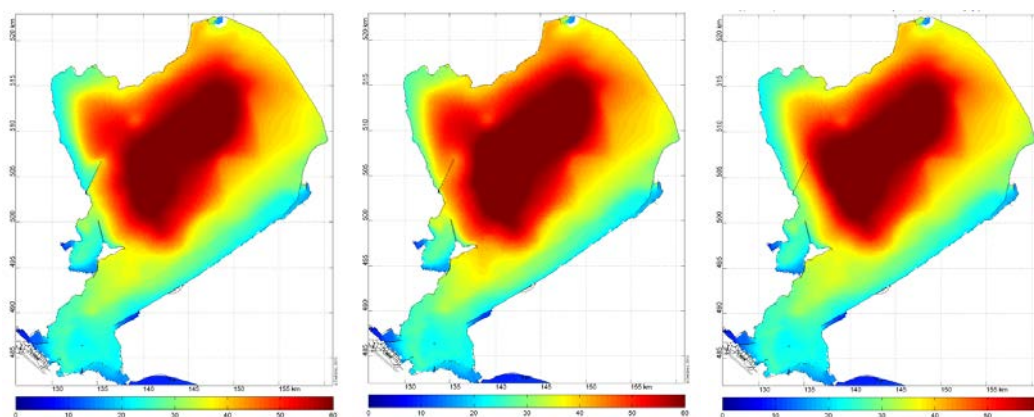
Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie, modelstudie en veldexperimenten

Antwoord:

Bij de voorbereiding van de pilot luwtestructuur zijn modelberekeningen uitgevoerd om het effect van de processen golfdemping en stromingsgeleiding te onderzoeken (Boderie en Genseberger 2010). Daartoe zijn twee extra (fysisch fictieve) berekeningen gemaakt, de een met enkel stroming (golfmodel afgezet) en de ander met enkel golfdemping (door stroming af te zetten).

De figuur hieronder geeft de gemiddelde jaarlijkse slibconcentratie weer voor de situatie met een 4 km lange luwtestructuur aan de westzijde van het meer. De twee processen zijn zowel beiden als los van elkaar onderzocht. Hieruit blijkt dat ook door geleiding alleen (dus zonder golfdemping) de slibconcentraties ook verlaagd worden, maar dat golfdemping effectiever is. Een combinatie van beide processen is het meest effectief om helderder water te creëren.



Effect van golfdemping en geleiding (links), alleen stromingsgeleiding (midden) en alleen golfdemping (rechts)

Analyse van de resultaten van de pilot luwtestructuur geven dezelfde conclusie (Vijverberg et al 2012).

Het effect van de luwtestructuur op de verandering van de slibconcentratie wordt veroorzaakt door een complex samenspel van stroming- en golfuwte, afhankelijk van windrichting en snelheid.

Met name aan de bodem wordt het effect van golfuwte gevonden en boven in het water het effect van stroming. In de middelste figuur is te zien dat het slibrijke water nabij de kust door geleiding van het scherm wordt afgebogen. Van de kust af waar het scherm onder water ligt vindt die geleiding niet plaats omdat de stroming over de structuur heen gaat. Hieruit kunnen we opmaken dat het hoge gedeelte effectiever is als luwtestructuur.

Om optimaal gebruik te kunnen maken van het luwte-effect dient de structuur geheel boven het wateroppervlak te worden aangelegd. Hierdoor ontstaat zowel golfuwte als stromingsluwte: slib van elders kan niet aan de luwe zijde van de structuur terecht

komen door stroming, hooguit door neervorming.

Bij het waterproeftuin experiment met het GC rif (Schoonen, 2015) is voornamelijk gekeken naar de effecten op golfreductie van een dergelijk rif. Het rif was te klein om te zorgen voor stromingsgeleiding. Het rif kan golven met 40 – 45 % reduceren. Vertaling naar doorzicht kan helaas niet gedaan worden, omdat de troebelheidsmetingen niet bruikbaar waren.

NMIJ referenties:

Schoonen (2015)

Vijverberg et al. (2012)

Boderie & Genseberger (2010)

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 golfwte 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 beschermd (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.

<p>Onderzoeksvraag: H31 Is gefaseerd uitbouw van luw gebied mogelijk (bijvoorbeeld vanaf de oevers richting midden)?</p>
<p>Onderzoeksmiddel: Bureaustudie</p>
<p>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).</p> <p>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.</p> <p>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).</p> <p>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).</p>

<p>Onderzoeksvraag: H33 Wanneer waterplanten tot ontwikkeling zijn gekomen, welke bijdrage leveren deze dan aan het stabiliseren van de luwe zone. M.a.w. als een waterplantenzone is ontstaan kan deze dan "duurzaam" in stand blijven zonder gebruik te maken van permanente constructies?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, monitoring bestaande situaties, modelstudies, veldexperimenten</p>
<p>Antwoord: Recente bevindingen over de relatie tussen jaar-op-jaar fluctuaties in de gemiddelde bedekking van waterplanten in IJsselmeer en Markermeer en fluctuaties in lichtuitdoving en windsnelheid (resuspensie) suggereren dat de vegetatie gelimiteerd is door licht, maar in gebieden met lange strijklengtes en oplopend diepteprofiel (Friese kust, Enkhuizerzand) ook door golfslag (update kennisregels Habitat). Dat betekent dat het vermogen van de toenemende vegetatie om gaandeweg de functie van luwte elementen over te nemen, in elk geval afhangt van de locatie, en in geëxponeerde gebieden niet aan de orde is.</p> <p>In bestaande luwe gebieden met geringe diepte worden de fluctuaties in lichtuitdoving, turbulentie en resuspensie gedempt via stabilisatie door de vegetatie zelf (met name door kranswier). Naar mate dit effect sterker is fluctueert de bedekking van de vegetatie ook minder van jaar op jaar. Of dat in wat diepere gebieden ook mogelijk is, is de vraag. Een aanwijzing is de terugval van de vegetatie langs de Friese kust in 2011 na de sterk verhoogde bedekkingen in relatie tot de lage windsnelheden en lichtuitdoving in 2010. Uit de Monitoring bestaande situatie 2011 in het Markermeer blijkt echter dat de hoge bedekkingen van kranswier in 2010 achter de hockeysticks en het Naviduct ook in 2011 nog aanwezig waren (bedekking kranswier Naviduct 75%). Ook wordt bepleit om zo nodig matten met geweven slierten (nabootsing van waterplanten) af te rollen en op strategische plaatsen te positioneren. (Buskens & den Held, 2012)</p> <p><u>Veldexperiment</u> Uit Marker Kwelderwerken komt naar voren dat water- en oeverplanten absoluut bijdragen aan het in stand houden van luwe begroeide zones. Met hun wortels kunnen zij het slib verder vastleggen. Tevens zal de invang van slib groter worden naarmate er meer vegetatie aanwezig is, omdat het slib dan "vastloopt" tussen deze planten. De omstandigheden (wind, golven) in het Markermeer zijn echter zeer dynamisch. Het is daarom niet te verwachten dat water- en/of oeverplanten deze functie volledig kunnen overnemen van de constructies van de Marker Kwelderwerken. De constructies moeten in stand gehouden worden voor het verschaffen van voldoende luwte (Wielakker et al. (2014).</p> <p>Onderhoud van de constructie hoeft echter niet heel intensief te zijn. Onderhoud bestaat met name uit het vervangen van verteerde wilgentakken en (op termijn) palen die boven het water uitsteken. Indien wilgenopslag geaccepteerd wordt in de (omgeving van de) kwelderwerken dan kan dit materiaal op termijn in de omgeving verzameld worden en gebruikt worden voor onderhoud. Zo ontstaat een mooie cyclus van verlanding, wilgenopslag en gebruik van materialen uit de omgeving.</p> <p>De conclusie van het experiment is dat het zeer wel mogelijk is om een land-waterzone door middel in de vorm van kwelderwerken uit te voeren, maar dan wel in een duurzamere uitvoering van in het experiment is toegepast.</p>

NMIJ Referenties:

Buskens & den Held (2012)

Wielakker et al. (2014)

<p>Onderzoeksvraag: H34 Welke gevolgen hebben openingen in de golfbreker op het stromingsbeeld en het slibtransport? En wat betekent dit voor het doorzicht in het luwtegebied?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie, modelstudie</p>
<p>Antwoord: Uit de inventarisatie van verschillende scenarioberekeningen met luwtestructuren (vraag S10) is gebleken dat luwtestructuren met openingen tussen de structuur en de kust minder effectief werken. Dit geldt vooral voor maatregelen aan de westzijde van het meer.</p> <p>De luwtestructuren die niet voldoende op de kust zijn aangesloten laten een verbetering zien van ongeveer 1 dm aan doorzicht. Luwtestructuren die wel zijn aangesloten laten een verbetering zien van meerdere decimeters.</p> <p>Dit wordt veroorzaakt doordat in het geval van luwtestructuren met openingen de stroming tussen de structuur en de kust niet wordt afgebogen. De grootschalige stroming kan dus als nog de luwe zone bereiken, waardoor slibrijk water hier ook nog kan komen. Hierdoor werkt de luwtestructuur minder effectief dan als de stroming wel volledig wordt afgebogen.</p>
<p>NMIJ referenties: Visser & Vijverberg (2010) Vijverberg et al. (2012) Boderie & Genseberger (2010) Bakker & Vijverberg (2013) Van den Berg (2012)</p>

<p>Onderzoeksvraag: H35 Bij welke hoogte en breedte geeft de golfbreker voldoende afname van golfoverslag in relatie tot de ecologische randvoorwaarden die aan de luwtezone gesteld worden om aan een TBES te kunnen voldoen?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie, modelstudie en veldexperimenten</p>
<p>Antwoord: Bij vraag H29 is aangegeven dat luwtestructuren het beste geheel boven water aangelegd kunnen worden om gehele afscherming van slibrijk water te realiseren. Hiermee is eigenlijk al antwoord gegeven op de vraag welke hoogte en breedte de golfbreker dient te hebben: deze dient dusdanig hoog te zijn dat er geen golven doorgelaten worden.</p> <p>Echter gaat het bij deze vraag ook om de golfbelasting in relatie tot ecologische randvoorwaarden. Bij vraag S2 is aangegeven dat luwtestructuren vooral bedoeld zijn om heldere ondiepe waterzones met waterplanten te realiseren. Bij deze vraag wordt dus ingegaan op de relatie tussen golfbelasting en ontstaan van waterplanten. Deze vraag geldt specifiek voor luwtestructuren op het Enkhuizerzand, omdat voor deze locatie wordt aangenomen dat in de huidige situatie vooral de golfbelasting beperkend is voor het ontstaan van waterplanten.</p> <p>In het artikel van Van Zuidam en Peeters (2015) worden grenswaarden van bodemschuifspanningen afgeleid voor verschillende typen waterplanten. Voor de typen Kranswieren en Tenger fonteinkruid is deze grenswaarde 0,9 Pa. Voor doorgroeid fonteinkruid ligt deze waarde waarschijnlijk hoger (ten minste 1,5 Pa), maar kan niet exact bepaald worden omdat er geen waarnemingen zijn van nog hogere schuifspanningen. Waarschijnlijk liggen de bodemschuifspanningen in het gehele Markermeer binnen de tolerantiegrenzen van deze soort.</p> <p>Uitgaande van 0,9 Pa als maximale bodemschuifspanning is berekend (op basis van lineaire golftheorie en de gemodelleerde Hs-Tp relatie in het Markermeer) dat golven van 0,4 m (Hs) en 2,1 s (Tm) bij een waterdiepte van 3 m een maximale belasting geven. Bij een waterdiepte van 2 m is dit 0,3 m en 1,75 s.</p> <p>Met behulp van een strijklengte berekening (op basis van de methode van Breugem en Holthuijsen, 2006) is vervolgens bepaald dat op een afstand van ongeveer 2000 – 2500 m van een luwtestructuur de golven weer zijn aangegroeid tot boven deze grenswaarden. Hierbij is uitgegaan van de maximale windsnelheid in het voorjaar (maart – mei, groeiseizoen van waterplanten). In de periode 2009 t/m 2011 lag die voorjaars maximale windsnelheid in de range van 12 t/m 14 m/s.</p> <p>Waarnemingen langs de westkust van het meer laten ook zien dat op een dergelijke afstand tot de kust waterplanten kunnen voorkomen (Maronier & Koenraadt, 2014). De huidige vegetatie van Doorgroeit fonteinkruid verder uit de kust is door de lage bedekkingen niet ecologisch functioneel is (bijv. als habitat voor vis en ongewervelden) Daarom kan de grens van 0,9 Pa gebruikt worden voor een meersoortige en dus structuurrijke vegetatie die in die zin wel ecologisch functioneel is.</p> <p>De verwachting is dus dat een luwtemaatregel die de golven geheel blokkeert effect zal hebben op een afstand van enkele kilometers voor de typen Kranswieren en Tenger fonteinkruid. Een luwtemaatregel zal minder tot geen voordeel opleveren (qua</p>

golfbelasting) voor Doorgroeid fonteinkruid, omdat de golfcondities al geschikt zijn voor dit type.

Indien een luwtestructuur minder hoog of meer doorlatend wordt aangelegd neemt het effect sterk af. Een voorbeeld hiervan was het rif van GC haakjes. Hiermee is binnen het NMIJ programma een pilot uitgevoerd aan de oostzijde van het meer. Bij dit rif worden de golven niet geheel geblokkeerd doordat de kruin niet geheel boven water lag en doordat het rif doorlatend was.

De reductie in golfhoogte (verschil voor en achter het rif) is op basis van monitoring bij het ontworpen GC-rif 40 tot 45%. Gedurende de pilot is de kruin van het rif afgeschoven en is de kruinhoogte verder afgenomen tot ongeveer 0,8 m onder het aanlegniveau, op NAP +0,5 m. De afname van de kruinhoogte van het GC-rif, leidt tot een verminderde werking van de golfdemping van het GC-rif (Boskalis en Witteveen+Bos, 2015).

NMIJ referenties:

Boskalis & Witteveen+Bos (2015)

Visser & Vijverberg (2010)

Externe referenties:

Van Zuidam & Peeters (2015)

Breugem & Holthuijsen (2006)

Maronier & Koenraad (2014)

Onderzoeksvraag: H36

Kan de luwe zone ook functioneel aansluiten bij de veiligheid van de aangrenzende waterkeringen?

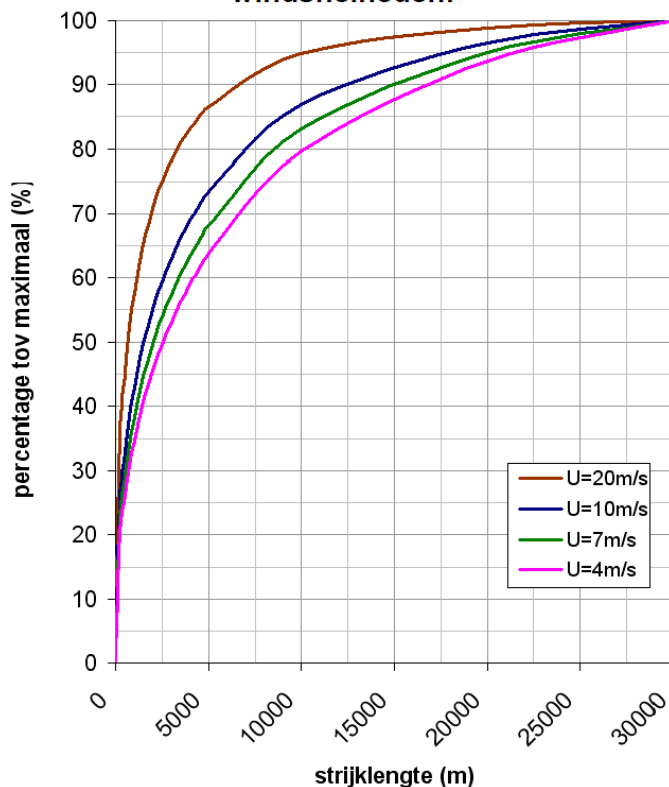
Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudie

Antwoord:

Ja, de luwe zone kan functioneel aansluiten bij de veiligheid van de aangrenzende waterkering. Bij de beantwoording van onderzoeksvraag H16 is gebleken dat een golfdempende constructie gunstige effecten heeft op de golfbelasting op de achterliggende waterkering. Dit is met name het geval als de luwtestructuur meer het karakter van vooroeververdediging heeft en dus relatief dicht op de waterkering staat. Golven groeien namelijk over langere afstanden weer volledig aan. De bureaustudie (2010) geeft een indicatie van deze afstanden (zie figuur). Hieruit blijkt dat op relatief korte afstanden na de golfbreker de golfgroei snel gaat: bij een windsnelheid van 20 m/s is na 2,5 km de golfhoogte al 75% van de volledig ontwikkelde golf en na 5 km zelfs 87%. De conclusie is dus dat het moeras een gunstige invloed kan hebben op de veiligheid van de waterkering, mits de afstand tussen beiden niet te groot is.

**a. groei in golfhoogte bij verschillende
windsnelheden:**



Golfgorie bij verschillende windsnelheden

MIJ referentie:

Visser & Vijverberg (2010)

<p>Onderzoeksvraag: H37 Waaruit bestaat de bijdrage aan een veerkrachtig ecologisch systeem in geval van een luw gebied?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, modelstudies</p>
<p>Antwoord: <u>Bureaustudies</u> Luwtestructuren kunnen bijdragen aan de volgende doelen en daarmee bijdragen aan een veerkrachtig ecologische systeem:</p> <p><i>Het stimuleren van de ontwikkeling van een diverse onderwatervegetatie</i> Als er gemiddeld minder dan 4% licht op de bodem komt (range 2 – 10 % afhankelijk van de zaadbankdichtheid en soort) is de vestiging van waterplanten door licht gelimiteerd (Van den Berg en Delauney, in Penning et al, 2009). Stimuleren van de vegetatie kan dan worden gerealiseerd door ofwel de hoeveelheid deeltjes in het water te verminderen (luwer maken), ofwel het water ondieper maken waardoor de zaadvoorraad dicht bij het beschikbare licht komt. De ontwikkeling van waterplanten kan tevens worden beperkt door een grote waterdynamiek. Luwtestructuren kunnen zorgen voor een reductie van stroming en golfhoogte door blokkade van de bij grote strijklengtes opgebouwde golfgroei. (Van Herpen 2012).</p> <p><i>Het verbeteren van het doorzicht voor waterfauna en –vogels</i> Het is voor vis belangrijk in iets troebeler water te kunnen schuilen tegen predatoren, terwijl zichtjagers juist baat hebben bij meer doorzicht. Dit vertaalt zich in de behoefte om gradiënten van helderder naar troebeler water te creëren. Visdiefjes zijn bijvoorbeeld het meest succesvol bij ‘niet al te troebel’ water, al zijn er geen daadwerkelijke streefgetallen beschikbaar waar het doorzicht aan zou moeten voldoen. Op basis van een globale dataverkenning van doorzicht en vogelaantallen lijkt een doorzicht van 40-80 cm gunstig voor visetende vogels (MIRT verkenning Hoornsche Hop; Noordhuis et al. 2014). (Van Herpen, 2012).</p> <p><i>Bevorderen van voedselbeschikbaarheid (algen)</i> Sinds begin jaren negentig komen er nieuwe algensoorten voor die beter zijn aangepast aan lage nutriëntgehalten, maar ook sterker geneigd zijn samen te vlokken met zwevende slibdeeltjes. Daardoor zijn deze algen waarschijnlijk verminderd beschikbaar in het voedselweb en blijft de productie in het Markermeer laag, (ANT eindadvies, proefschrift Miguel de Lucas Pardo, 2014). Luwtestructuren kunnen de opwerveling van slib beperken zodat minder vlokvorming plaatsvindt. De productie in het meer wordt dan hoger. Daarbij kan ook de afgenomen groeisnelheid en kwaliteit (vleesinhoud) van mosselen als voedsel voor vogels weer wat toenemen. Enige toename van de filtratiecapaciteit kan de werking van waterplanten t.a.v. helderheid aanvullen en bijdragen aan een verbetering van de circulatie van voedingsstoffen (Noordhuis et al, 2014).</p> <p><i>Het bieden van rust- en ruigebied voor watervogels</i> Het verminderen van golslag maakt een open waterlichaam geschikter als rustgebied, hetgeen effectief gebleken is achter de huidige structuren langs de Houtribdijk (deze z.g. “hockeysticks” dienen primair als bescherming van de dijk tegen ijsgang). (Evers, 2011).</p>

Het bijdragen aan de waterveiligheid

De “hockeysticks” zijn een goed voorbeeld hoe luwtestructuren bijdragen aan waterveiligheid: ze zijn mede aangelegd om de golf- en ijsaanvallen op de houtribdijk te verminderen.

Samengevat

De luwtmaatregelen zijn het belangrijkste instrument voor vergroting van de diversiteit aan soorten van het aquatische deel van het systeem, vooral soorten van ondervertegenwoordigde habitats. Via waterplanten en een daarmee verbonden toename van de diversiteit van vis en ongewervelden zal een aantal aquatisch foeragerende vogelsoorten juist van deze maatregelen profiteren, waaronder een aantal visetende en omnivore soorten die de laatste twee decennia een neergaande trend hebben vertoond. Door een grotere diversiteit kan efficiënter gebruik worden gemaakt van de resterende nutriënten en krijgt het ecosysteem meer weerstand tegen verdere druk van afname van voedselrijkdom, klimaatverandering en toenemend menselijk gebruik. In een diverser systeem zijn bijv. vogels tevens minder afhankelijk van “sleutelsoorten” als spiering en driehoeksmossel, doordat alternatieven aanwezig zijn als deze populaties verdwijnen.

NMIJ Referenties:

Buskens & van Held (2012)

Snijders (2015)

<p>Onderzoeksvraag: H38 Wat is de relatieve bijdrage van luwtegebied i.r.t. de andere maatregelen voor vergroting van de habitatdiversiteit aan de realisatie van het veerkrachtige systeem?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, modelstudies, veldexperimenten</p>
<p>Antwoord: De luwtmaatregelen (Buskens & van Held, 20120) zijn het belangrijkste instrument voor vergroting van de diversiteit van het aquatische deel van het systeem. Via waterplanten en een daarmee verbonden toename van de diversiteit van vis en ongewervelden zullen een aantal aquatisch foeragerende vogelsoorten juist van deze maatregelen profiteren, waaronder een aantal visetende en omnivore soorten die de laatste twee decennia een neergaande trend hebben vertoond.</p> <p>Voor een deel kan dit effect ook worden bereikt in luwe gebieden in of achter het moeras of de vooroever Lepelaarsplassen, maar deze maatregelen zijn in de eerste plaats gericht op land-water overgangen. Terwijl deze laatste maatregelen dus gericht zijn op de compleetheid van het ecosysteem en op kansen voor soorten die nu ontbreken, zijn luwtegebieden van relatief groot belang voor herstel van habitat voor Natura 2000 vogelsoorten met neergaande trends en een anderszins moeilijk te realiseren behouds- of verbeteropgave. Dit wordt bevestigd in Haarman et al. (2012).</p> <p>In deze verkenning, gericht op kostenindicatie van maatregelen voor ANT-soorten, wordt aangegeven dat luwtstructuren bepalend zijn vooral voor waterplanten en visetende vogels, maar dat een beperking van de commerciële spieringvisserij voor het herstel van visetende vogels naar alle waarschijnlijkheid vereist is.</p> <p><u>Modelstudies</u> Met behulp van HABITAT (Snijders, 2015) zijn diverse maatregelen doorgerekend: luwtstructuren, dammen (die feitelijk ook als luwtstructuren werken) en de aanleg van het grootschalig moeras. Omdat de inrichting van het moeras niet definitief was vastgesteld is die inrichting ook niet meegenomen in de berekeningen. Er kan met habitat dan ook geen vergelijking worden gemaakt tussen de bijdrage van de luwtmaatregelen enerzijds en de aanleg van het moeras anderzijds.</p> <p>Uit het model blijkt dat luwtstructuren vooral effectief zijn, nabij de kust. Dit komt omdat vanaf een diepte van 3m het te diep is voor waterplanten (met name kranswieren). Luwtstructuren op locaties met een grotere diepte dragen niet bij aan waterplantenontwikkeling. Luwtstructuren zorgen daarmee voor een grotere potentie voor waterplanten begroeiing in habitats die qua diepte geschikt zijn.</p> <p>aanleg van een moeras (ligging nabij Houtribdijk) zorgt voor extra areaal voor macrofauna, vogels, vissen en waterplanten doordat een voorheen ongeschikt habitat (te diep en teveel turbiditeit) wordt omgevormd tot potentieel habitat. Doelsoorten die profiteren zijn vooral vogels, niet alleen door het vormen van nieuw rustgebied voor bestaande doelsoorten (watervogels), maar ook door het ontstaan van grootschalig moerashabitat waar soorten als Lepelaar, Roerdomp en Zeearend terecht kunnen.</p> <p><u>Veldexperimenten</u> In het veldexperiment Marker Stapsteen (Didderen et al, 2014) is onder water geen effectief luwtegebied gecreëerd. Voor rustende vogels is er sprake van enige luwte achter en op de drijvende elementen. Echter het effect van de structuur zelf (een drijvend element waarop gerust of gebroed kan worden) is belangrijker dan het effect</p>

van luwte.

De proef laat zien dat, zonder luwtegebied, structuren (zowel boven- als onderwater) bijdragen aan een vergroting van habitatdiversiteit en daaraan gekoppeld een toename van soorten en ecosysteefuncties. Thans zijn luwtegebieden vooral voorgesteld als inrichtingsmaatregel om de groei van waterplanten te bevorderen en daarmee vogels te voorzien van een grotere voedselbron. Waterplanten voorzien in een combinatie van ecosysteefuncties (luwte, voedsel en structuur) en dragen optimaal bij aan de realisatie van een veerkrachtig systeem.

Het experiment MarkerMeerMoeras (Van den Berg, 2014) heeft vier situaties getoetst die te onderscheiden zijn in twee belangrijke maatregelen, namelijk het creëren van een plas-dras situatie of het creëren van ondiepe waterzones in een moeras. De getoetste situaties zijn veelvuldig voorkomende situaties in een natuurlijk moeras. Uit de experimenten zoals in dit document beschreven blijkt dat de maatregel: "het creëren van een plas-dras situatie" de meeste kansen biedt voor de spontane ontwikkeling van moerasvegetatie en de meest gunstige biogeochemische bodemomstandigheden levert voor kieming en vestiging van soorten. Voor ondergedoken waterplanten is ondiep water geschikt voor spontane ontwikkeling.

Luwte buiten het moeras kan vooral positief bijdragen aan habitatontwikkeling van kranswieren en visrijkere locaties.

NMIJ Referenties:

Buskens & van Held (2012)

Snijders (2015)

Didderen et al. (2014)

Van den berg (2015)

Onderzoeksvraag: H40 Wat zijn de realisatiekosten van de verschillende mogelijkheden om luwtezones te creëren?						
Onderzoeksmiddel: Bureaustudie						
Antwoord: De realisatiekosten van luwtestructuren vallen in een grote bandbreedte van orde grootte € 2000 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 <i>Onderzoeksvraag H30</i> . 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. 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 inderdaad 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
Enkhuizer- zand	zanddam	2	3	20	1 op 20	€ 4.700
	zandkern met breuksteen bekleding	2	3	2	1 op 4	€ 3.000
	Geotubes met breuksteen bekleding	2	3	4	1 op 1,5	€ 2.600
	volledig breuksteen	2	3	2	1 op 1,5	€ 2.200
Hoornse Hop	zanddam	3	5	20	1 op 20	€ 11.400
	zandkern met breuksteen bekleding	3	5	2	1 op 4	€ 5.100
	Geotubes met breuksteen bekleding	3	5	2	1 op 2	€ 4.800
	volledig breuksteen	3	5	2	1 op 2	€ 5.400
Noord- Oost Marker- meer	zanddam	4	5,8	20	1 op 20	€ 14.900
	zandkern met breuksteen bekleding	4	5,8	2	1 op 4	€ 6.000

	Geotubes met breuksteen bekleding	4	5,8	2	1 op 2	€ 5.900
	volledig breuksteen	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. Indien lokaal (< 4 km) zand hydraulisch gewonnen kan worden met een geschikte sortering, kan op de zandkosten bespaard worden.

Voor de vulling van geotubes is uitgegaan van te leveren zand. 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:

Bureaustudie

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).

Beheer en onderhoudskosten prijs per meter per jaar voor dammen met kruinhoogte ca. NAP +0,6 m, met bandbreedte van ca. 25%

	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.

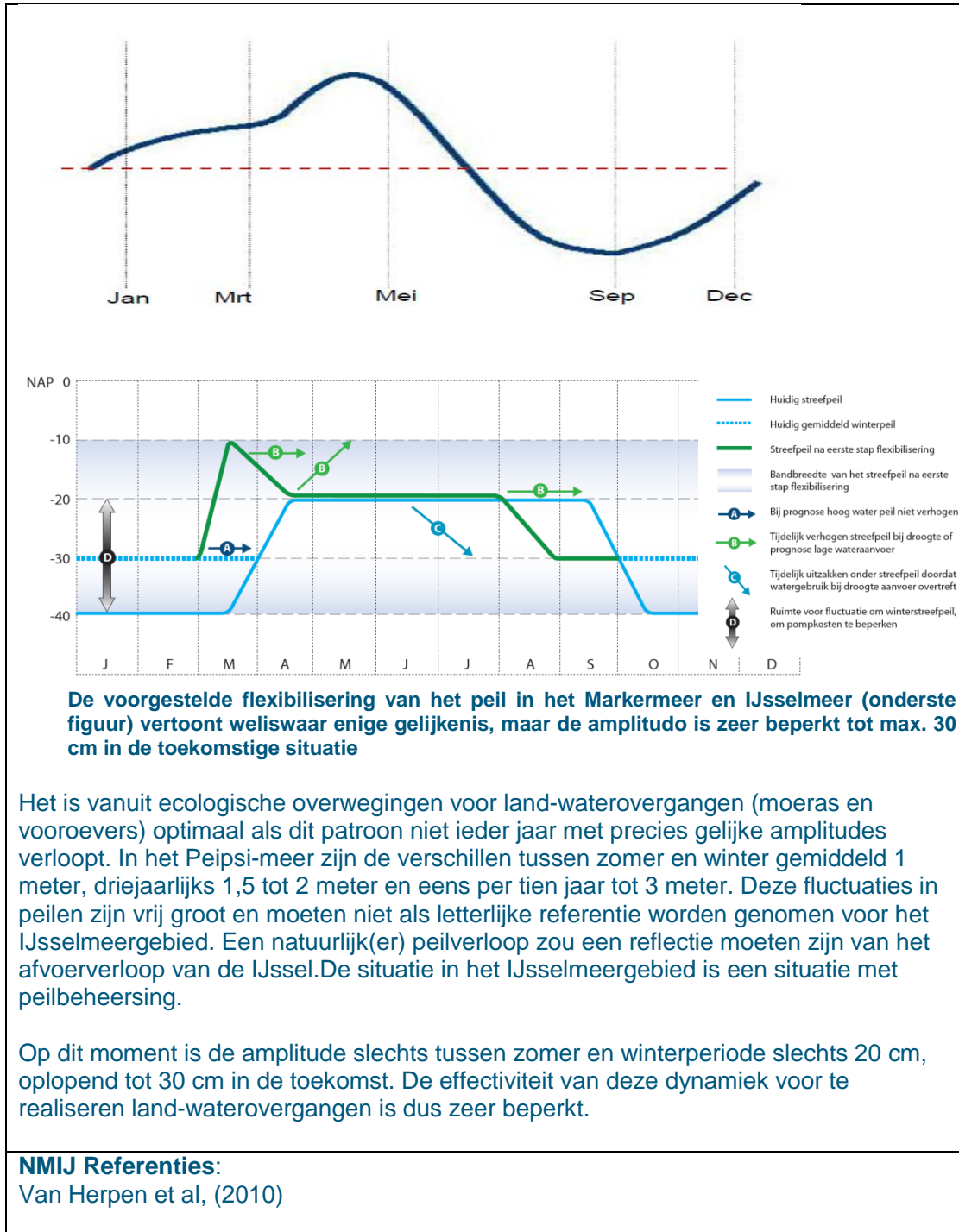
Beheer en Onderhoudskosten luwtezone, in prijs per hectare

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.

<p>Onderzoeksvraag: H44 Seizoensgebonden peil: wat is het meest effectieve peilverloop voor natuur i.r.t. de mogelijke maatregelen en het gewenste veerkrachtige systeem?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies en modelstudie <i>NB. De modelstudie is niet uitgevoerd omdat het eindresultaat van DPIJ laat zien dat het flexibel beheer van de streefpeilen van zeer geringe ecologische betekenis is voor het Markermeer. De beperkte aanpassingen zouden in de modellering niet onderscheidend zijn.</i></p>
<p>Antwoord:</p> <p>De effecten van peilbeheer voor het IJsselmeergebied zijn in het kader van DPIJ uitgebreid beschreven in Delsman et al (2009). De integrale afweging staat beschreven in DPIJ (2014) De overwegingen voor het ecologisch meest optimale peilverloop zijn (zie figuur):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Langdurige inundatie (3 tot 4 maanden) gaat de opslag (groei) van wilgen tegen. • Een verhoogde voorjaarspiek van 1 tot 2 maanden in de periode maart-mei levert paaigronden en kraamkramers op voor vis (snoekbaars en snoek). Deze poeltjes moeten in het voorjaar in contact komen met de meren zelf, zodat de jonge vis de kraamkamers/broedpoeltjes kan verlaten. Daarna kunnen de waterstanden in de paaigronden zakken zodat een waterschijf van 20 á 85 cm ontstaat. • In de zomer moet de waterstand zover zakken, dat er gedurende een paar maanden land-waterovergangen, zoals in het geplande moeras en van de vooroevers, droogvallen zodat er riet en mogelijk ook zegges en biezen kunnen ontkiemen. De kieming vindt plaats in juni. Riet kan zich ook via uitlopers verspreiden, dit proces vindt vooral in juli en augustus plaats. • In het najaar en de winter komen er grote groepen vogels foerageren. Hiervoor zijn ondiep water gebieden nodig, het water moet dus niet té snel stijgen. • Daarna is er een korte piek in de waterstanden nodig om bestaande rietlanden 'schoon' te spoelen. Het dode organisch materiaal wordt hierdoor afgevoerd, waardoor er weer kieming van jonge planten kan plaatsvinden. Verlanding en verbossing van het moerasgebied wordt hiermee tegengegaan. Bovendien treden onder invloed van de peildynamiek erosie en sedimentatieprocessen in het moerasgebied op. Door peildynamiek blijft de kwaliteit en diversiteit in het systeem behouden. • Riet moet na kieming de eerste drie jaar een goed wortelstelsel hebben opgebouwd alvorens het zich onder water kan handhaven tegen graas/vraat door vogels. <p>NB: Deze overwegingen zijn vooral gebaseerd op het IJsselmeer. In het Markermeer is het areaal land-waterovergangen momenteel te verwaarlozen.</p> <p>Op grond van deze wensen is voor natuur het hieronder weergegeven peilverloop theoretisch optimaal. De gewenste amplitudo zou tenminste 50 cm moeten zijn.</p>



<p>Onderzoeksvraag: H45 Hoe kan een seizoensgebonden peil worden geoptimaliseerd i.r.t. zowel natuur, zoetwatervoorziening als veiligheid?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies en Monitoring bestaande situaties</p>
<p>Antwoord: De optimalisatie van het peilregime in het IJsselmeer en Markermeer is uitgebreid onderzocht en integraal afgewogen tegen zoetwatervoorziening en veiligheid in het Deltaprogramma IJsselmeergebied (Delsman et al, 2009 & DPIJ (2014)). Het toepassen van een volledig natuurlijk seizoensgebonden peil zal conflicteren met de andere belangen in het Markermeer en IJmeer. Hierdoor zal er naar een compromis gestreefd worden waarin problemen met de natuurwetgeving worden voorkomen, maar zal de gewenste peilvariatie en het natuurlijke verloop van zomer naar winter niet worden behaald. DPIJ heeft “Het Nieuwe Peil” als nieuwe peilbeheer aangedragen (Deltaprogramma IJsselmeergebied, 2013). In dit “Nieuwe Peil” is er op punten rekening gehouden met de ecologie. De peilopzet in maart die hierin gehanteerd wordt kan bijdragen aan paaihabitat voor de Snoek. Van deze vissoort is bekend dat hij vlak nadat de dooi is ingezet (maart-april) paait. Het lage winterpeil zal, ondanks dat dit niet het natuurlijke peil volgt, een positief effect hebben op overwinterende herbivore vogels en hiermee op de Natura 2000 doelen. Vanuit het Deltaprogramma IJsselmeergebied wordt het belang van de ecologie in het nieuwe peilregime als volgt geformuleerd: <i>“Het is belangrijk dat er natuurinclusief wordt gewerkt. Dit betekent niet dat een voor natuur optimaal peilbeheer wordt gekozen, maar wel dat het natuurbelang volledig wordt meegewogen”</i> (Het Nieuwe Peil, 2013). Hierbij geven zij mee dat de effecten van het nieuwe peilbeheer op de ecologie goed moeten worden gemonitord.</p> <p>DPIJ geeft niet aan of en hoe bij geplande ingrepen in het Markermeer daadwerkelijk getoetst gaat worden aan deze intentie.</p>
<p>NMIJ Referenties:</p>

<p>Onderzoeksvraag: H46 Wat is al bekend of kunnen we leren van peilbeheer in andere meren voor wat betreft het effect ervan op de ecologische ontwikkeling?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, monitoring bestaande situaties</p>
<p>Antwoord: Er zijn verschillende vergelijkende bureaustudies, monitoringstudies en experimentele studies beschikbaar van oa. Peipsi meer, Markiezaatsmeer en Volkerak-Zoommeer. Uit deze studies is veel bekend over de condities waaronder oeervegetatie zich richting het water uitbreidt. Ook in de Oostvaardersplassen is veel kennis opgedaan over de relatie tussen peildynamiek en vraat door ganzen.</p> <p>Ondanks dat er verschillen tussen het Markermeer en deze watersystemen zijn, is duidelijk dat het peilregime cruciaal is voor de ontwikkeling van moeras en oeervegetaties. De kiemingscondities voor riet zijn cruciaal. Voor zaadontwikkeling is een droge tot vochtige bodem nodig en geen waterkolom van decimeters of meer. Als het ontkiemde riet zover onder water komt te staan dat watervogels kunnen zwemmen dan dreigt vraat door ganzen of meerkoeten. Voor optimale rietgroei zou een pas/drassituatie gedurende de eerste drie jaar in stand gehouden moeten worden, waarna het peil omhoog gezet kan worden. Dan is het wortelstelsel voldoende stevig om door de vraat heen te groeien (pers. med. R.Doef, 2014). Ook is rietgroei gebaat bij incidentele droogval (bv 2x in decennium).</p> <p>De benodigde optimale condities voor ontwikkeling van rietvegetaties zullen niet te realiseren zijn in het Markermeer omdat de integrale afweging binnen DPIJ slechts een hele beperkte aanpassing van het peilregime heeft opgeleverd .</p> <p>Na de realisatie van de eerste fase van een moeras, zal dit kunnen dienen om door middel van goede monitoring te leren van de effecten van de incidentele uitzakkingen van het peil in droge jaren die binnen de toegestane bandbreedte optreden.</p>
<p>NMIJ Referenties: Van Herpen <i>et al.</i> (2010) Van Herpen & Noordhuis (2014)</p>

<p>Onderzoeksvraag: H47 Wat zijn de kosten van het invoeren van dynamisch peil in het Markermeer-IJmeer?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies</p>
<p>Antwoord: In het Deltaprogramma IJsselmeergebied is de afgelopen jaren een integrale afweging gemaakt voor een eventuele wijziging van het peilregime, met nadruk op het IJsselmeer. Er is een kosteneffectiviteitsanalyse uitgevoerd voor varianten van het peilbeheer. Hierbij zijn de kosten van de opties “handhaven winterpeil” en “meestijgen met de zeespiegel” vergeleken en is ook gekeken naar de kosten van het vergroten van de buffervoorraad zoetwater door flexibilisering van het peilbeheer. De berekende kosten zijn vooral bruikbaar om varianten voor toekomstig peil onderling te vergelijken. Vanwege de vele aannames die bij de berekeningen gedaan moesten worden zijn ze veel minder geschikt als concrete kostenraming.</p> <p>Er is anno 2014 in de Deltabeslissing gekozen voor (beperkt) flexibel beheer van de streefpeilen, waardoor de andere opties achterhaald zijn. Het peilbeheer van het Markermeer volgt deze keuze, met een kleine afwijking. Dit beheer kan op middellange termijn aangepast worden aan veranderende omstandigheden. Met de eerste stap van flexibel peilbeheer neemt de watervoorraad in het zomerseizoen toe met 20 cm in het IJsselmeer, Markermeer en de Zuidelijke Randmeren. Als de vraag naar zoetwater toeneemt, is de buffer verder te vergroten tot een waterschijf van 40-50 cm. Om flexibel peilbeheer mogelijk te maken, krijgen de oevergebieden een flexibele inrichting. Na 2050 kan het wenselijk zijn in droge perioden meer water via de IJssel naar het IJsselmeer te laten stromen. Of dat nodig is, is afhankelijk van de klimaatverandering.</p> <p>Voor de korte termijn komt het erop neer dat het peilregime (vanuit ecologisch perspectief slechts zeer beperkt ‘dynamisch’ is of kan worden. Hierbij is rekening gehouden met het functioneren van kunstwerken etc. Daarom zijn de te verwachten kosten van dit nieuwe peilbeheer voor het Markermeer-IJmeer zeer beperkt.</p>
<p>NMIJ Referenties:</p>

Onderzoeksvraag: V1

Op welke locaties zijn vispassages en ecologische verbindingen (verbinding Waddenzee en IJsselmeer + verbinding IJsselmeer en Markermeer + verbinding Markermeer-IJmeer en Noordzeekanaal + verbinding Markermeer-IJmeer en regionale watersystemen) het meest effectief voor het realiseren van het gewenste visbestand? Effectief t.a.v. de vissoorten (bij vispassages) en doelsoorten (bij verbindingen) waarvoor ze zijn ingericht.

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies, modelstudie, veldexperiment waterproeftuin

Antwoord:

Nationaal en regionaal zijn alle vismigratieknelpunten in kaart gebracht. De bestaande knelpunten zijn talrijk: van Waddenzee via IJsselmeer naar Markermeer-IJmeer; van Markermeer-IJmeer naar regionale watersystemen, van Markermeer-IJmeer naar Noordzeekanaal. Alle knelpunten rond het Markermeer staan in de Top-30 van de aalknelpuntenkaart. Overigens is een aantal knelpunten wel passeerbaar, maar niet of deels effectief:

- sluiscomplexen zijn passeerbaar in beide richtingen maar worden slecht gevonden door ontbreken lokstroom en doordat de deuren vaak gesloten zijn;
- spuisluisen zijn vaak passeerbaar in de stroomafwaartse richting;
- gemalen zijn soms passeerbaar in stroomafwaartse richting, afhankelijk van type en grootte.

Verschillende studies en het experiment in de Oranjesluizen laten zien dat de effectiviteit van de oplossing verschillend is voor verschillende vissoorten. Te grote stroomsnelheid of te geringe lokstroom is een probleem voor de kleinere vis (bv glasaal). Momenteel werkt RWS aan maatregelen voor het beter passeerbaar maken van de Afsluitdijk en Houtribdijk door wijzigingen in het spui- en sluisregime.

Aan de Noord-Hollandse kant werkt de waterbeheerder (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) ook aan het passeerbaar maken van barrières, maar een deel bevindt zich nog in de planfase terwijl het uitgevoerde deel niet gemonitord wordt, en dus een onbekende effectiviteit heeft.

Op dit moment ziet Waterschap Zuiderzeeland voor haar beheersgebied geen grote meerwaarde van een verbinding van de Flevopolders met het Markermeer.

De belangrijkste migrerende vissoorten voor Markermeer zijn:

Soort	Reden	knelpunten
Aal / paling	Aalverordening; KRW; sterk bedreigd; Vangstverbod in najaar	Nauwelijks voedsel; achterland niet altijd bereikbaar; visserijdruk
Spiering	stapelvoedsel voor visetende soorten van vogelrichtlijn; sterk achteruitgegaan	ANT studie laat zien dat herstel populatie onwaarschijnlijk is (restpopulatie; temperatuur te hoog in zomer);
Driedoornige stekelbaars	Aangrenzende regionale watersystemen; Anadrome populaties!	Algemene soort, niet belangrijk voor visserij; habitat ontbreekt deels (vegetatie)
Rivierdonderpad	Habitatrichtlijn	Heeft het zwaar; in recente jaren verdrongen door pos en zwartbekgrondel
Snoekbaars, Baars	Belangrijke roofvis voor Markermeer	Weinig voedsel; hoge visserijdruk

Overigens bepaalt de effectiviteit van vismigratievoorzieningen slechts voor een klein

deel het visbestand in het Markermeer. Andere factoren zoals voedselbeschikbaarheid (lage draagkracht; alle soorten), visserij (aal, baars en snoekbaars) en ontbrekend habitat (baars, stekelbaars) en zeer recent de opkomst van agressieve exoten (zwartbekgrondel) zijn vermoedelijk belangrijker.

Geconcludeerd kan worden dat er maar twee belangrijke toegangen zijn tot het IJsselmeergebied voor trekvissen, te weten het Noordzeekanaal en de Afsluitdijk. Daarbij zijn de intrekmogelijkheden van zout naar zoet water voor een brede groep trekvissen van cruciaal belang.

Het onderzochte sluiscomplex Oranjesluizen ligt op de overgang van het brakke NZK naar het zoete MIJ-meer en is daarmee een cruciale locatie. De doelsoorten aal (glasaal), driedoornige stekelbaars en spieringbroed zijn aanwezig bij de locatie maar kunnen de vispassages niet goed passeren in het voorjaar. StroomOPwaartse passage van deze doelsoorten kan duidelijk verbeterd worden (Van den Wijngaard *et al* (2014).

NMIJ Referenties:

Buskens & den Held (2013)

Van Herpen & Noordhuis (2014)

Van den Wijngaard *et al* (2014)

<p>Onderzoeksvraag: V2 Op welke manier kunnen de ecologische verbindingen gerealiseerd worden en aan welke functionele eisen (technische specificatie) moeten ze voldoen?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, veldexperimenten</p>
<p>Antwoord: Het realiseren van vismigratieverbindingen kan zowel door barrières van bestaande constructies aan te pakken als door mobiele structuren toe te passen. De volgende opties voor ecologische verbindingen voor vismigratie zijn beschikbaar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Waddenzee en IJsselmeer: visvriendelijk spuibeheer, visvriendelijk sluisbeheer in de scheepvaartsluizen en ontwerp van een alternatieve robuuste verbinding zoals bijvoorbeeld de Vismigratierivier; • IJsselmeer en Markermeer: sluisen vaker open, visvriendelijk spuibeheer en visvriendelijk sluisbeheer (onderzoek loopt); • Verbinding Markermeer-IJmeer en Noordzeekanaal: visvriendelijk sluisbeheer en robuuste ecologische verbinding; • MIJ-meer en regionale watersystemen: visvriendelijk sluisbeheer, vispasserbare gemalen en technische vispassage. <p><u>Veldexperimenten</u> De technische specificatie voor de te realiseren vispassage is steeds afhankelijk van de te realiseren techniek. Voor de locatie Oranjesluizen gelden op hoofdlijnen de volgende functionele eisen (van den Wijngaard et al., 2014):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vismigratie moet in twee richtingen kunnen plaatsvinden. • De uitvoering van de vispassage moet robuust zijn, dwz. voldoende grote lokstroom, met voldoende rust en ruimte; • De passage moet een groot migratievenster kennen, met andere woorden de verbinding functioneert het hele jaar, dag en nacht, zodat trekvisseren op alle momenten kunnen passeren. • De passage moet geschikt zijn voor alle trekvissoorten van verschillende leeftijdscategorieën, vooral: Driedoornige stekelbaars, Fint, Houting, paling/Aal, Rivierprik, Spiering, Winde, Zalm, Zeeforel en Zeeprik; • Het sluisen- en vispassagecomplex moet voor het optimaliseren van de vismigratie als geheel beschouwd en alle openingen benutten om het systeem optimaal te laten functioneren voor trekvisseren; • Een harde randvoorwaarde voor het systeem is dat er geen belemmeringen voor waterbeheer en scheepvaart optreden. De vispassagevoorziening en/of het beheer hiervan leiden niet tot problemen voor de scheepvaart of het waterbeheer (kwantiteit of kwaliteit) in NZK of MIJ-meer. Ook mogelijk toekomstige veranderingen van het waterpeil in het MIJ-meer worden hierbij meegenomen. <p>De conclusie luidt dat een combinatie van visvriendelijk sluisbeheer en het uitbreiden van de zuidelijke vispassage voor de Oranjesluizen het meest gewenste scenario is.</p> <p>Het veldexperiment Marker Stapsteen had ook als doel om verbindingen met het achterland te versterken. De initiatiefnemers hebben geconcludeerd dat de aanwezigheid van een mobiele stapsteen (pontons) met onderwaterstructuren in de nabijheid van de oever bijdragen aan de verbindingsmogelijkheden voor vis en vogels. (Didderen et al, 2014). De resultaten van de proef laten zien dat vooral de drijvende elementen die in deze proef zijn gebruikt een aantrekkende werking hebben op vogels</p>

en in potentie kunnen dienen als stapsteen in structuur arme delen van het Markermeer.

De aangebrachte verbinding in de dijk echter voor de migratie van glasaal naar de poldergebieden bleek niet gebruikt te worden, door gebrek aan aanbod van glasaal in het Markermeer ter hoogte van het experiment.

Voor vis zijn uit het veldexperiment Marker Stapstenen geen technische specificaties af te leiden, en maar in beperkte mate functionele eisen op basis van leerervaringen en waarnemingen:

- de onderwaterstructuur heeft bij voorkeur een driedimensionale structuur, zodat vissen kunnen schuilen
- De onderwaterstructuren zijn naar verwachting het meest effectief in een structuurarme omgeving, zonder waterplanten, dat tevens in luw is in verband met duurzaamheid van materialen en kansen voor ecologie.
- De ervaring met kunststof onderwaterstructuren heeft geleerd dat dit materiaal onvoldoende sterk is om duurzaam te functioneren, Gedurende het experiment zijn de kunststofstructuren kapot en losgeslagen. Uit oogpunt van voorkomen van verontreiniging zouden de structuren bij voorkeur uit natuurlijk, volledig biologisch afbreekbaar materiaal geconstrueerd moeten worden
- De verankering van de structuren moet zeer stevig zijn en geen beweging toelaten waardoor golfslag er grip op zou kunnen krijgen.

NMIJ Referenties:

Didderen et al. (2014)

van den Wijngaard et al. (2014)

Onderzoeksvraag: V3

Wat is het ecologisch rendement van de (in vraag V1) genoemde verbindingen?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies, veldexperimenten

Antwoord:

De dynamiek van vispopulaties is enerzijds afhankelijk van de draagkracht van het systeem, anderzijds van de habitat diversiteit van het systeem dan wel de toegang tot externe systemen (voor optimale combinatie van paai- en opgroei habitat, foerageergebied, overwintering etc.). Zowel de draagkracht als de habitat diversiteit van het Markermeer is momenteel laag. Modelonderzoek suggereert bijvoorbeeld dat de opbouw van een stabiele populatie van blankvoorn lang duurt bij lage ecologische kwaliteit van het Markermeer. Verhoging van de ecologische kwaliteit van het Markermeer heeft een positief effect op de carrying capacity voor vis maar ook op de habitat parameters die de groei en predatiedruk controleren (vegetatiegroei, doorzicht). Dit is biologisch gezien te verklaren doordat voedingsstoffen efficiënter worden gebruikt wanneer de habitatdiversiteit groter is. Het Markermeer kan bovendien aan draagkracht winnen door voor de voedselbeschikbaarheid ongunstige interacties tussen fytoplankton en zwevend slib te voorkomen via het aanleggen van luwte en het stimuleren van waterplanten. Aangezien het verbeteren van de kwaliteit in het Markermeer ook binnen andere doelstellingen dan de visstand wordt beoogd is dit een zeer belangrijke investeringsfactor (Droog, 2011).

Verbetering van verbinding met omliggende wateren is enerzijds een andere, aanvullende mogelijkheid om verschillende habitats te verbinden. Voor effectieve uitwisseling moeten de wateren aan beide kanten van de passage dan wat “te bieden hebben”. Dit kan betekenen dat de aanleg van voorzieningen in het Markermeer die bijdragen aan het verhogen van de ecologische kwaliteit en habitatdiversiteit zelf in eerste instantie prioriteit heeft boven de ecologische verbindingen. Anderzijds kan door middel van verbeterde connectiviteit het soortenspectrum worden verbreed, met name als ook trekvissoorten het gebied gaan gebruiken door betere verbinding tussen zee en stromend water. De maatregelen gericht op het optimaliseren van de verbindingen met de buitenwereld zijn door de aanwezige verbindingen (sluizen, inlaatwerken) relatief makkelijk te realiseren. Zodoende zijn verbeteringen aan ecologische verbindingen niet heel kostbaar en te beschouwen als no-regret.

Veldexperimenten

De praktijkproef in de Oranjesluizen leert dat vismigratie een belangrijke voorwaarde realiseert voor herstel van populaties van trekvis in het MIJ-meer. Dit geldt vooral aal, driedoornige stekelbaars en spiering. Daarnaast zullen trekvissoorten als winde, bot, houting en rivierprik waarschijnlijk kunnen profiteren. Met deze soorten gaat het slecht in het gehele IJsselmeergebied. Door herstel van de trekroute worden omstandigheden gecreëerd waarin populaties trekvis kunnen herstellen. Ook visetende vogels zullen daarvan profiteren, door een verbreding van het voedselaanbod. Daarom kan optimalisatie van vismigratie bij de Oranjesluizen een groot ecologisch rendement hebben voor het MIJ-meer. Of vispopulaties ook in omvang zullen toenemen, hangt namelijk ook af van andere factoren, zoals waterkwaliteit, visserijdruk, etc.

Herstel van de vismigratieroute is een belangrijke basisvoorwaarde voor de migrerende soorten, maar op systeemniveau zijn voedselbeschikbaarheid, habitatbeschikbaarheid en visserijdruk vermoedelijk van doorslaggevend belang (Van den Wijngaarden et al, (2014).

Van Herpen (2014) stelt dat de huidige vispassage door spuikokers Houtribdijk vanuit IJsselmeer naar Markermeer alleen bijdragen voor grote vissoorten (zoals Brasem). Daar staat tegenover dat er ook veel vis passief uitstroomt naar het IJsselmeer. Optimalisatie van het spuiregime is nodig om meer vismigratie mogelijk te maken.

Resultaten van de proef Marker Stapstenen en onderzoek aan het gemaal Warder laten zien dat er vanuit het Markermeer geen aanbod is van glasaal, waardoor het realiseren van een verbinding naar het achterland op dit moment voor de aalpopulatie weinig effect zou sorteren (ecologisch rendement laag). Op lange termijn, en wanneer de intrek mogelijkheden naar het Markermeer via de Oranjesluizen en Houtribdijksluizen zijn verbeterd, neemt de effectiviteit van een verbinding met regionaal water waarschijnlijk toe (Didderen et al, 2014).

NMIJ Referenties:

Buskens & den Held (2012)

Droog (2011)

Van Herpen (2014)

Didderen et al. (2014)

Van den Wijngaard et al. (2014)

<p>Onderzoeksvraag: V4 Wat is de bijdrage van ecologische verbindingen aan een veerkrachtig ecologisch systeem?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, veldexperimenten</p>
<p>Antwoord: Het Markermeer ecosysteem heeft momenteel (te) weinig veerkracht doordat het in verband met lage habitatdiversiteit eenzijdig is, zodat de continuïteit afhangt van de populatie ontwikkelingen van een klein aantal dominante soorten. In aansluiting op het vergroten van de habitat diversiteit kan het verbeteren van verbindingen met omliggende systemen bijdragen aan de uitwisseling van soorten, en daarmee aan de diversiteit en dus ook de veerkracht. Zo dragen verbindingen bij aan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • herstel van populaties van beschermde trekvissen; • verbetering voedselbeschikbaarheid voor veel beschermde vogels, waardoor ook deze populaties zich kunnen herstellen. (Van Herpen, 2014) <p>Grotere, sterkere populaties trekvissen en vogels zijn minder kwetsbaar en gevoelig voor risico's. Het zijn beter levensvatbare populaties en ze zijn ecologisch veerkrachtiger (Van den Wijngaarden et al., 2014). De bijdrage is moeilijk te kwantificeren. NMIJ beschouwt deze ingrepen als 'no regret' maatregelen die doorgaans niet heel kostbaar zijn maar toch van waarde.</p> <p>Verschillende regionale waterbeheerders en RWS voeren verschillende vismigratie bevorderende maatregelen uit. In principe is de aanleg van vispassages positief voor alle migrerende vis die vóórkomt in het Markermeer. Hierbij gaat het om veel soorten Cyprinidae zoals Rietvoorn en Brasem, maar ook Percidae zoals Baars. Voor niet-migrerende vis heeft de aanleg van een vispassage niet direct een negatief effect. Mogelijk vormt het positieve effect op andere soorten een concurrentiedruk op niet-migrerende soorten, maar vanwege de grootte van het Markermeer en de verspreide ligging van de mogelijke vispassages is dit effect niet waarschijnlijk.</p>
<p>NMIJ Referenties: Van Herpen (2014) Van den Wijngaarden <i>et al.</i> (2014)</p>

Onderzoeksvraag: V5 Wat zijn de realisatiekosten van ecologische verbindingen		
Onderzoeksmiddel: Bureaustudie		
Antwoord: De kosten variëren van €5.000 tot enkele 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 <i>onderzoeksvraag V11</i> . Zie onderstaande tabel van mogelijke maatregelen welke rondom het Markermeer spelen.		
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
Diemerdamersluis	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: <ul style="list-style-type: none"> • vooroever Lepelaarsplassen: klei en slib wordt 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 kleiige 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 		

Open

basis zijn alleen strekdammen voorzien). Bij de oeverdijk van de Houtribdijk zijn de kosten nihil, want zijn volledig nodig voor versterken van de waterkering.

<p>Onderzoeksvraag: V6 Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van ecologische verbindingen</p>																				
<p>Onderzoeksmiddel: Bureaustudie</p>																				
<p>Antwoord: De kosten variëren van €5.000 per jaar (elektriciteitskosten voor ander schutregime) tot aan €1 mln. per jaar (beheer van een grote vooroever), en zijn dus sterk afhankelijk van de grootte en type van de ecologische verbinding / maatregel. Dit antwoord is ook van toepassing op <i>onderzoeksvraag V12</i>.</p> <p>Onderhoud aan vispassages kunnen tot 50.000,- per jaar bedragen. Ook hier is het afhankelijk van de situatie (bijvoorbeeld als een passage gecombineerd is met een andere functie, is het beheer en onderhoud voordeliger dan als solitaire maatregel).</p> <p>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. 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 betreffen jaarlijkse kosten.</p> <p>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.</p> <p>De kosten voor het jaarlijkse onderhoud is hieronder weergegeven, wederom voor het areaal, per m² en per strekkende m van de vooroever.</p> <p><i>Beheer en onderhoudskosten van vooroevers en oeverdijken per jaar</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Beheer en onderhoud</th> <th>Kosten per jaar</th> <th>per m²</th> <th>per m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vooroever 1000 ha</td> <td>€ 1.050.200</td> <td>€ 0,10</td> <td>€ 210</td> </tr> <tr> <td>Vooroever 300 ha</td> <td>€ 310.000</td> <td>€ 0,10</td> <td>€ 210</td> </tr> <tr> <td>Noord Holland – 1 km</td> <td>€ 24.000</td> <td>€ 0,17</td> <td>€ 24</td> </tr> <tr> <td>Houtribdijk – 1 km</td> <td>€ 8.000</td> <td>€ 0,20</td> <td>€ 8</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i></p>	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
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																	

<p>Onderzoeksvraag: V7 Op welke locaties kan de relatie tussen binnen- en buitendijkse natuur versterkt worden?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, veldexperimenten</p>
<p>Antwoord:</p> <p><i>Vis</i> Verbindingen tussen het meer en de omliggende binnendijkse gebieden zijn onder meer zinvol voor vis, te versterken door het passeerbaar maken van alle verbindingen langs de west- en zuidkust en met de Flevopolders. Dit is al in onderzoeksvragen V1-V6 aan bod gekomen.</p> <p><i>Vogels</i> Voor sommige vogelsoorten bestaat de relatie tussen binnen- en buitendijks uit de ruimtelijke scheiding van ecologische functies op vier manieren:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Het Markermeer vervult de foerageerfunctie door aanwezigheid van vis en macrofauna (mosselen en andere ongewervelden) als stapelvoedsel voor (viseters en) benthoseters, terwijl binnendijkse wateren zoals de Oostvaardersplassen en Lepelaarplassen als slaap- en rustplaats fungeren. Dit geldt bijvoorbeeld respectievelijk voor benthoseters Tafeleend en Kuifeend. 2) Het Markermeer vervult de foerageerfunctie, terwijl de broedplaatsen binnendijks gelegen zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de visetende Aalscholver, die foerageert in het Markermeer onder meer broedt in de Oostvaarders- en Lepelaarplassen. 3) Er zijn binnendijkse foerageerfuncties voor m.n. graseters die hun slaapplek op het meer hebben (Smient, ganzen). 4) Er zijn binnendijkse foerageerfuncties voor vogels die buitendijks in het Markermeer broeden. Dit geldt vooral voor viseters als Visdief, Kokmeeuw en Zwartkopmeeuw. <p>Deze functionele relaties kunnen respectievelijk gestimuleerd worden door:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) te zorgen voor voldoende voedsel in het meer (macrofauna, zie NMIJ maatregelen luwtegebieden en gradiënten) en voldoende rust binnendijks. 2) te zorgen voor voldoende voedsel in het meer (m.n. vis) en bescherming van broedgelegenheid binnendijks op beperkte afstand 3) de aanleg van buitendijks broedgebied op relatief korte afstand van de polders en het oude land 4) door het aanleggen of reserveren van rustgebieden in de luwe delen van het systeem, zoals de Gouwzee, delen van het Hoornse Hop, het Enkhuizerzand en delen van de IJmeerkust). <p><i>Meervleermuizen</i> Een doelsoort voor de natuurgebieden aan de westzijde van het Markermeer (bij luwtestructuren) is de (Meer)vleermuis. Voor deze soort is een versterking van de verbinding mogelijk door het intact laten van vliegroutes met oriëntatiepunten en het voorkomen van felle verlichting. Aandachtspunt is de dijkversterking Hoorn-Amsterdam. Langs de Noord-Hollandse kust (en de Houtribdijk) bestaan ook goede mogelijkheden om door middel van inrichting van buitendijkse oeverzones geïsoleerde (binnendijkse) snippers habitat voor bepaalde soorten te verbinden (EHS).</p> <p><i>Moerassoorten</i> Het grootschalig moeras ligt te ver van de binnendijkse natuurgebieden voor makkelijke</p>

bereikbaarheid door landorganismen. Voor soorten als (zie boven) Ringslang, Noordse Woelmuis en Waterspitsmuis, en op ruimere schaal de Otter kan dat worden overbrugd met oeverontwikkeling tussen de locatie van het moeras en het vasteland, met name bij Noord-Holland (bijv. met stapstenen). Versterking van de verbinding moet hier ook worden gezocht in het creëren van een vliegroute met oriëntatiepunten en het voorkomen van felle verlichting, mogelijk in combinatie met maatregelen om verkeerslachtoffers bij bevers/otters te voorkomen.

Veldexperiment

Door het robuuste en versleepbare karakter van de proef Marker Stapsteen kan de versterking tussen binnen en buitendijks die in het veldexperiment is gerealiseerd in principe overall langs de oever van het Markermeer toegepast worden waar dat nodig is of de ontwikkeling van watervegetatie te langzaam verloopt (Didderen et al., 2014). De effectiviteit ten aanzien van vogels zal bevorderd worden wanneer drukke locaties (vaargeul, overige scheepvaart of recreatie) worden gemedend. Daarnaast is de proef gesitueerd op een locatie die een beschutte ligging heeft ten opzichte van de dominerende westelijke windrichtingen. Het is onduidelijk of een meer geëxponeerde locatie, bijvoorbeeld aan de oostzijde van het Markermeer, zal leiden tot praktische problemen of verminderde ecologische effectiviteit. Voor broedvogels als de Visdief is de combinatie van isolatie van grondpredatoren enerzijds (eiland) en nabijheid van binnendijks foerageergebied anderzijds (binnen een straal van 10 km) van voordeel. De Visdieven die voorkwamen in het Stapsteen-experiment foerageerden zowel binnen- als buitendijks en hadden een goed broedsucces (Didderen et al. 2014).

NMIJ Referenties:

van Herpen (2014)
Didderen et al. (2014)

<p>Onderzoeksvraag: V8 Hoe moeten de ecologische verbindingen tussen binnen- en buitendijks worden ingericht om het ecologisch rendement te verhogen?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, monitoring bestaande situaties, veldexperimenten</p>
<p>Antwoord: De inrichting hangt af van de soorten of het type natuur waarvoor de verbinding wordt versterkt. Afgezien van vispassages (antwoorden vragen V1-V6) zijn de volgende principes aan te geven:</p> <p><i>Vogels</i> Vogelsoorten die binnendijks foerageren (graseters als Smient en ganzensoorten) en op het water slapen kunnen worden geholpen door het aanwijzen cq inrichten van rustgebieden (m.n. in de winter) en het creëren van (grootschalige) luwte in de nabijheid van belangrijke binnendijkse foerageergebieden (bijv. Waterland, Zeevang).</p> <p>Voor broedvogels als Visdief en diverse soorten meeuwen (Kokmeeuw en Zwartkopmeeuw) is het aanleggen van broedeilanden effectief bij zodanige locatiekeuze dat grondpredatoren (Vos, Bruine Rat) worden geweerd en zowel open water als binnendijks foerageergebied (binnen ca. 10 km) binnen bereik liggen (zie Didderen et al. 2014). Daarbij dient (vooral voor Visdief) de vegetatie successie op het eiland te worden geremd of voorkomen.</p> <p><i>Meervleermuizen</i> Meervleermuizen hebben hun kolonies vaak ver binnendijks, en vliegen langs lijnvormige landschapselementen als kanalen en vaarten naar het meer om te foerageren. Het verbeteren van de inrichting van kruisingen met drukke verkeerswegen en het verlagen van het verlichtingsniveau vergroot hun kansen. Versterking van de verbinding met het Markermeer moet gezocht worden in het creëren van een vliegroute met oriëntatiepunten en het voorkomen van felle verlichting,</p> <p><i>Overige land/moerassoorten</i> Voor moerassoorten als Noordse woelmuis, Ringslang en Waterspitsmuis is de ecologische verbinding tussen binnendijkse natuur van nat grasland en buitendijks moeras gebaat bij een gevarieerde inrichting. Deze moet bestaan uit plas-dras situaties en land-water overgangen, nat grasland en schuilgelegenheid (bijv. noordse steen langs de Waterlandse kust), liefst met enige peilfluctuatie. Open water kan binnen een verbindingzone voorkomen, maar is slechts overbrugbaar voor Ringslang en Noordse woelmuis als de afstand maximaal enkele honderden meters (of meer) is .</p> <p>Voor deze laatste groep land/moerasorganismen ligt het grootschalig moeras bij de huidige uitvoeringsplannen (Marker Wadden) dus te ver van de binnendijkse natuurgebieden om makkelijk te kunnen bereiken. Verbindingen voor oever- en moerasgebonden soorten via de bovenbedoelde oeverinrichting langs de trajecten tussen de locatie van het moeras en bestaand habitat (bijv. langs de Houtribdijk). In het experiment “Kwelderwerken” was de vestiging van oevergebonden natuur boven verwachting (Wielakker et al. 2014).</p>
<p>NMIJ Referenties: van Herpen (2014) Didderen et al. (2014) Wielakker et al. (2014)</p>

Onderzoeksvraag: V9

Wat is het ecologisch rendement van verbindingen?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies, monitoring bestaande situaties, veldexperimenten

Antwoord:

Het rendement zit enerzijds in het verhelpen van binnendijkse versnippering van habitat (EHS gedachte), waardoor kwetsbare soorten beter in staat zijn populaties duurzaam te handhaven (Noordse Woelmuis). Vanuit het meer bekeken zit het rendement in het vergroten van de habitat- en daarmee de soortdiversiteit, waardoor de weerstand en veerkracht van het ecosysteem toeneemt. Dat gebeurt onder meer door het versterken van combinaties van habitats waardoor meerdere levensfuncties van soorten binnen het gebied of de directe omgeving kunnen worden vervuld (foerageren, rusten, ruien en broeden bij vogels, overwintering en levensfasen met verschillen in voedselkeuze bij vis etc.). Een op deze manier verrijkt systeem kan meer soorten herbergen en het doelbereik van Natura 2000 soorten duurzamer maken (bijv. doordat gemiddelde aantallen toenemen bij langduriger verblijf).

Veldexperimenten

Dat dit werkt blijkt uit enkele van de proeftuinexperimenten. Kunstmatige drijvende elementen, zoals in de proef Marker Stapsteen (Didderen et al., 2014), bieden ruimte voor groepen rustende vogels, met name watervogels, waardoor de aantallen hier tot 15 keer zo hoog zijn als in het open water van het Markermeer. Op de ponton broedden tijdens de proef 36 paar Visdieven. Enerzijds illustreert dit dat het aanbieden van buitendijks broedgebied de Markermeerpopulatie dichter bij het instandhoudingsdoel kan brengen, Anderzijds betekende de locatiekeuze dat de vogels ook binnendijks konden foerageren en daarmee meer opties hadden om voldoende voedsel voor de kuikens te vangen. Daardoor is er meer kans op succes en op een duurzame populatie.

Ook bij de Marker Kwelderwerken trad verrijking van de lokale flora en fauna op (Wielakker et al. 2014). Voor vis is het rendement minder goed kwantitatief uit te drukken. In 2013 is waargenomen dat jonge vis gebruikt maakte van de schuilplaatsen en zodoende is met de proef een bijdrage geleverd aan de verbinding tussen oever en open water. In 2014 was dit rendement minder duidelijk of afwezig.

Resultaten van de proef en onderzoek aan het gemaal Warder laten zien dat er vanuit het Markermeer weinig aanbod is van glasaal, waardoor het realiseren van een verbinding weinig effect voor Aal zou sorteren (ecologisch rendement laag). Echter het realiseren van een tweezijdige verbinding van de polder naar het Markermeer kan wel een bijdrage leveren voor verschillende doelsoorten, met name driedoornige stekelbaars. Op de lange termijn, wanneer de intrek mogelijkheden naar het Markermeer via de Oranjesluizen en Houtribdijksluizen zijn verbeterd, neemt de effectiviteit van een verbinding tussen Markermeer en het regionaal watersysteem waarschijnlijk toe.

Onderwaterstructuren bieden habitat aan een macrofauna gemeenschap, die voornamelijk bestaat uit Dreissena mosselen (ca. 8000 n/m²) en andere soorten die kenmerkend zijn voor hard substraat (vlokreeften, slijkgarnalen ca. 1500-3000 n/m²).

NMIJ Referenties:

Didderen et al. (2014)

Wielakker et al. (2014)

<p>Onderzoeksvraag: V10 Wat is de bijdrage van de verbindingen aan een veerkrachtig ecologisch systeem?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, monitoring bestaande situaties, veldexperimenten</p>
<p>Antwoord: De veerkracht van het systeem is vooral gebaat bij diversiteit. Verbindingen zorgen voor meer samenhangende en duurzame populaties van kenmerkende soorten, en via het combineren van habitats en levensfuncties, versterkt door aanleg van ontbrekende habitats, ook voor een groter soortenspectrum. Grotere diversiteit betekent minder invloed van dominante soorten, waardoor specifieke reacties op stressfactoren (voedseltekort, opwarming, overexploitatie) minder zwaar doorklinken op systeemniveau. Zo blijkt toename van waterplanten met bijbehorende ongewervelden een aantal schelpdieretende watervogelsoorten minder afhankelijk te maken van het populatieverloop van mosselen (Noordhuis et al, 2014).</p> <p><u>Veldexperimenten</u> De Marker Stapsteen-proef beoogde door het toevoegen van drijvende elementen aan het ondiepe water van het Markermeer, 200 meter uit de oever, een schakel te laten ontstaan tussen de binnendijs gelegen natte graslanden en polderwateren en het Markermeer. Het ontwerp van de Marker Stapsteen is met name gericht op het creëren van een geschikte broedplek voor Visdieven. Deze soort foerageert op het Markermeer, maar daarnaast ook regelmatig in het binnenland waarmee de schakelfunctie tot uiting komt.</p> <p>Naast de verbinding binnen-buitendijs is er door foerageervluchten van Visdieven ook een verbinding open water-oever tot stand gekomen. In een gezond ecosysteem gebruiken bijvoorbeeld vissoorten van het open water de oeverzone om zich voort te planten en als schuilplaats voor jonge vis, terwijl ze in de winter wegtrekken naar het open water. Vogelsoorten zoals Visdieven foerageren op het open water maar broeden in de buitendijkse gebieden van het Markermeer (oeverzone). Ook andere vogels broeden en rusten op (eilanden in) het water en foerageren in de oever. De proef Marker Stapsteen laat zien dat voor het ecosysteem in het Markermeer naast de verbinding binnendijs-buitendijs de verbinding open water-oever van belang is. Structuren die deze verbinding faciliteren zullen bijdragen aan de veerkracht van het ecosysteem. De broedende Visdiefjes in het Stapsteen experiment konden door de locatiekeuze zowel op het meer als binnendijs foerageren en hadden mede daardoor een relatief hoog broedsucces (Didderen et al., 2014).</p>
<p>NMIJ Referenties: Didderen et al. (2014)</p>

Onderzoeksvraag: V11 Wat zijn de realisatiekosten van verbindingen binnen- buitendijks (eenheidskosten)?		
Onderzoeksmiddel: Bureaustudie		
Antwoord: Verbindingen binnen-buitendijks vallen onder ecologische verbindingen en is ook van toepassing op <i>onderzoeksvraag V5</i> .		
De kosten variëren van €5.000 tot enkele 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.		
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
Diemerdamersluis	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:		
<ul style="list-style-type: none"> • vooroever Lepelaarsplassen: klei en slib wordt 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 		

behoefte 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 zijn volledig nodig voor versterken van de waterkering.

<p>Onderzoeksvraag: V12 Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van verbindingen binnen- buitendijks (eenheidskosten)?</p>																				
<p>Onderzoeksmiddel: Bureaustudie</p>																				
<p>Antwoord: Verbindingen binnen-buitendijks vallen onder ecologische verbindingen en is ook van toepassing op <i>onderzoeksvraag V6</i>. 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), en zijn dus sterk afhankelijk van de grootte en type van de ecologische verbinding / maatregel.</p> <p>Onderhoud aan vispassages kunnen tot 50.000,- per jaar bedragen. Ook hier is het afhankelijk van de situatie (bijvoorbeeld als een passage gecombineerd is met een andere functie, is het beheer en onderhoud voordeliger dan als solitaire maatregel).</p> <p>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. 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 betreffen jaarlijkse kosten.</p> <p>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.</p> <p>De kosten voor het jaarlijkse onderhoud is hieronder weergegeven, wederom voor het areaal, per m² en per strekkende m van de vooroever.</p> <p><i>Beheer en onderhoudskosten van vooroevers en oeverdijken per jaar</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Beheer en onderhoud</th> <th>Kosten per jaar</th> <th>per m²</th> <th>per m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vooroever 1000 ha</td> <td>€ 1.050.200</td> <td>€ 0,10</td> <td>€ 210</td> </tr> <tr> <td>Vooroever 300 ha</td> <td>€ 310.000</td> <td>€ 0,10</td> <td>€ 210</td> </tr> <tr> <td>Noord Holland – 1 km</td> <td>€ 24.000</td> <td>€ 0,17</td> <td>€ 24</td> </tr> <tr> <td>Houtribdijk – 1 km</td> <td>€ 8.000</td> <td>€ 0,20</td> <td>€ 8</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Bedragen afgerond, inclusief BTW, prijspeil 2015, bandbreedte ca. 25%</i></p>	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
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																	

<p>Onderzoeksvraag: V13 Op welke locatie(s) zou een (semi)-open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer mogelijk zijn om de ecologische relaties tussen de watersystemen te verbeteren?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies</p>
<p>Antwoord: De maatregelen (semi)open-verbinding kan in drie mogelijke vormen uitgevoerd worden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grootschalige 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. • 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. • Een serie afsluitbare buizen/kokers door de dijk of hevelbuizen. <p>Deze verbinding tussen het MM en het IJSM kan het beste worden gerealiseerd in het dijktraject tussen Lelystad en Trintelhaven. Daarbij spelen de volgende overwegingen een rol:</p> <ul style="list-style-type: none"> • In dit deel is het slibgehalte aan de MM-zijde het hoogst en aan de IJM-zijde de helderheid het hoogst, waardoor in potentie ook de beste gradiënten kunnen ontstaan. • De aanleg van de Marker Wadden als trekpleister voor watervogels is in dit deel van het Markermeer gepland. • In het geval van een kleine opening als aanvulling op vismigratie door de bestaande sluisen speelt geografische spreiding een rol en kan de opening het beste worden gerealiseerd op enige afstand van de Houtribsluisen (Knoben & Haarman, 2015).
<p>NMIJ Referenties: Knoben & Haarman, 2015</p>

<p>Onderzoeksvraag: V14 Is een (semi-)open verbinding technisch mogelijk? (veiligheidsaspecten + no-regret gehalte in relatie tot toekomstige waterhuishouding en peilstijging)</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie en expertsessies</p>
<p>Antwoord: Een (semi-)open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer kan op verschillende wijzen worden uitgevoerd. Binnen het onderzoeksprogramma zijn 3 varianten in beschouwing genomen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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. <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> • scheefstand; door op- en afwaaiing zullen in een groter watersysteem grotere peilverschillen optreden; • golfloop; de strijklengte en daarmee de golfhoogte wordt in geval van een opening vergroot; • doorwerking van peilpieken van IJsselmeer naar Markermeer; hoge 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. <p>Een van de gevolgen hiervan is dat waterkeringen rond de meren moeten worden aangepast (versterkt/opgehoogd) om aan de geldende veiligheidsnormen te voldoen.</p> <p>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</p>

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)

<p>Onderzoeksvraag: V15 Op welke manier kan een (semi-) open verbinding gerealiseerd worden (technische specificatie)?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie en expertsessies</p>
<p>Antwoord: Een (semi-)open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer kan op verschillende wijzen worden uitgevoerd. Binnen het onderzoeksprogramma zijn 3 varianten in beschouwing genomen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 <p>Vanuit zuiver technisch opzicht zijn deze vormen van een open verbinding goed realiseerbaar.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>
<p>NMIJ Referenties: Notitie (semi-)open verbinding Markermeer-IJsselmeer (2015)</p>

Onderzoeksvraag: V16

Wat is het ecologisch rendement van een open verbinding tussen IJsselmeer en Markermeer?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies, modelstudies

Antwoord:

De open verbinding kan de volgende doelen rond de natuuropgave voor het Markermeer-IJmeer (NMIJ) dienen (Knoben & Haarman, 2015):

Afvoer van slib en versterken slibgradiënten

De afvoer van slib is vooral bedoeld voor het creëren van geleidelijkere gradiënten in slibgehalten in de waterkolom in het slibrijke Markermeer (MM) en slibarme IJsselmeer (IJSM). De systeempijler 'gradiënt in slibgehalte' wordt nagestreefd in verband met de predator-prooi relatie tussen visetende vogels en Spiering. De Spiering wil hoog in de waterkolom kunnen zwemmen/foerageren, maar is heel vindbaar en vangbaar voor visetende vogels als het water helder is. Onder die omstandigheden komt Spiering dus niet naar boven (en treffen vogels geen vis aan); omgekeerd als het zeer troebel is, komt de Spiering wel massaal naar boven in de waterkolom, maar zien de vogels hun prooi niet. De gewenste omvang (areaal) van het gebied waarover de gradiënt in slibgehalte optreedt is echter moeilijk te bepalen, het gaat in feite om een zone met intermediair doorzicht.

Verwacht wordt dat een grote opening in de Houtribdijk in eerste instantie leidt tot een flinke verlaging van de slibconcentratie in een deel van het MM. Op langere termijn zal bij afvoer van de slibdeken de erosie van de onderlaag door onder meer bioturbatie toenemen en dus voor nieuw aanbod van slib zorgen. De slibdeken beschermt tegen erosie door de bioturbatie af te remmen, omdat de slappe, mobiele sliblaag zelf niet geschikt is als leefgebied voor de meeste soorten ongewervelden. Op termijn zal dus door toenemende productie een deel van de initiële verlaging van de hoeveelheid slib teniet worden gedaan, maar de slibconcentratie zal in een groot deel van het Markermeer significant lager zijn dan in de huidige situatie. In deze vooronderstelling zitten wel de nodige onzekerheden. Modelmatig is er nog niet gerekend aan beide meren met een opening.

Het zuidelijke deel van het IJSM is op dit moment doorgaans zeer helder, mede door het voorkomen van hoge dichtheden aan Quagga-mosselen. Bij een grote open verbinding met het MM zullen gradiënten van slibrijk naar helder water ontstaan. Deze gradiënten voegen wellicht het meest toe als de opening zich tussen Trintelhaven en Lelystad bevindt. De gradiënt verplaatst zich dan met de seizoenen. In de huidige situatie stroomt het water gemiddeld van Markermeer naar IJsselmeer in de winter en andersom in de zomer. Modelonderzoek is nodig om in te kunnen schatten waar deze gradiënten zullen komen te liggen.

Het is van belang te beseffen dat er geen sprake is van een vaste stromingsrichting van MM naar IJSM; als gevolg van windopwaaiing kan de stroming wisselend in beide richtingen optreden, en wel voornamelijk door (storm)episodes. Het grootste deel van de tijd is het waterpeil van beide meren ongeveer gelijk. Rond de opening ontstaat dus een mengzone die een seizoensverloop heeft: in de winter door stromings- en windrichting vooral slibafvoer naar IJSM, die leidt tot een pluim van slibrijk water in IJSM. In de zomer ontstaat een 'pluim'; van helderder IJsselmeerwater in het MM.

Een kleine afsluitbare opening in de dijk zal nauwelijks merkbare effecten hebben op

de slibgehalten in zowel MM als IJSM. Dit heeft ook te maken met het feit dat de slibconcentratie voornamelijk wind-gedreven is en er bij veel wind juist sprake is van afsluiting van de verbinding vanuit veiligheids- en stabiliteitsoverwegingen. Op luchtfoto's lijkt ook nooit een slibpluim zichtbaar te zijn aan de IJsselmeerszijde van de Houtribsluizen, wat bevestigt dat in de huidige situatie geen substantiële afvoer van slib naar het IJsselmeer optreedt. Veldobservaties uit de winter van 1987/88 bij openstaande Houtribsluizen suggereren echter dat ook bij zo'n beperkte afvoer bij spui van Markermeer naar IJsselmeer wel zeer profijtelijke situaties kunnen ontstaan voor vis/spieringgetende vogels (meeuwen, nonnetjes en grote zaagbekken).

Herverdeling voedingsstoffen

Zowel MM als IJSM heeft een laag P-gehalte. Een toename van de wateruitwisseling tussen beide meren leidt daarom niet direct tot significante wijzigingen in de waterkwaliteit. Wel is het mogelijk dat door een grote opening in de dijk de slibconcentratie in het MM lager wordt, waardoor ook de vlokvorming van slib met algen en sedimentatie zal verminderen, zodat er meer voedingsstoffen beschikbaar komen voor de voedselketen. Momenteel is de productie in het MM lager dan in het IJSM en lager dan op grond van P-gehalte verwacht zou mogen worden. In de omvang van dit effect zitten echter nog grote onzekerheden.

Ondanks de veel lagere N-gehalten in MM in vergelijking met IJSM is P nog steeds de beperkende factor voor algengroei, dus is van eventuele grotere aanvoer of herverdeling van N weinig effect te verwachten op de algengroei.

Het lijkt weinig zinvol om lokaal voedselrijker water vanuit het IJSM via een opening in de Houtribdijk naar het Markermeer te leiden. Ook in het IJsselmeer zijn de nutriëntgehalten inmiddels sterk verlaagd. Als het slibgehalte lager wordt in het Markermeer, zal dit als gevolg van verminderde vlokvorming al tot een betere benutbaarheid van P voor algen leiden. Mogelijk leidt de lagere slibhoeveelheid tot toename van de dichtheden van bodemfauna (de weke, mobiele toplaag van slib is niet stevig genoeg voor bodemfauna) en daarmee tot grotere bioturbatie, maar of dit tot verhoogde beschikbaarheid van P uit de bodem leidt hangt ervan af of P aan ijzer of aan calcium gebonden is. Alleen aan ijzer gebonden P kan vrijkomen bij verhoogde bioturbatie.

Op lokale schaal is er in het IJSM wel sprake van iets voedselrijker water, zoals bij Gemaal Colijn waar polderwater uit Flevoland wordt uitgeslagen. Momenteel is het emissiebeleid als gevolg van KRW-maatregelen nog gericht op beperking van de emissie vanuit het gemaal Blocq van Kuffeler naar MM. Dit betreft niet zozeer nutriënten als wel chloride en sulfaat.

Bevorderen vismigratie

Voor echte (rivier)trekvisserij hoeft het MM niet zo nodig toegankelijk te zijn. Via Afsluitdijk en IJsselmeer gaat trekvis meteen de IJssel op. Het is dan ook niet nodig voor die soorten om een lokstroom te creëren door de Houtribdijk.

Het doel van een visverbinding bij de Houtribdijk ligt vooral in de uitwisseling van vispopulaties van regionaal trekkende vissoorten, die regionaal stromend water in Nederland opzoeken.

Voor Spiering kan uitwisseling van populaties ook relevant zijn. Markermeer-spieving is in meeste jaren minder talrijk én kleiner dan IJsselmeer-spieving. Actieve uitwisseling van spiering tussen beide meren kan wellicht bevorderlijk zijn voor een betere borging van de voedselvoorziening van spieringgetende vogels (meer vis én grotere exemplaren).

Aanpak van de Oranjesluizen als toegangspoort van het MM en de regionale wateren in het achterland in Nederland ligt meer voor de hand dan een opening in de Houtribdijk als aanvulling op aangepast spui-beheer in deze dijk. Uit de praktijkproef daar is gebleken dat de bestaande vispassages in de Oranjesluizen niet goed werken en de stroomsnelheid te hoog is voor glasaal. Deze passage biedt ook toegang tot een andere mogelijke route voor trekvis, namelijk via het Gooi-Eemmeer, de Eem naar de Grebbesluis waar verbinding met de Neder-Rijn/Lek mogelijk is.

In algemene zin is bevorderen van connectiviteit één van de pijlers om de kwetsbaarheid van ecosysteem te verminderen en diversiteit en robuustheid te vergroten (zie V17). De effecten van een kleine opening of van kokers lijken erg beperkt en voegen waarschijnlijk weinig toe aan het nieuwe visvriendelijke beheer van de spui-kokers bij de Hourtribdijk- en Krabbegatsluizen.

Verblijftijd/waterkwaliteit

Op basis van officiële balansberekeningen heeft de huidige waterbeheerder een toename in gemiddelde verblijftijd in het MM geconstateerd van 9 naar 16 maanden over de periode 1995-2013, met een maximum van 18 maanden. Recente berekeningen en indicaties van RWS ism Waternet, en ook uit berekeningen voor ANT lijken echter eerder op een verblijftijd van 3-5 jaar te duiden. Als de berekende verblijftijd werkelijk zo groot is, dan zou dat een belangrijk argument voor een opening kunnen zijn, juist om die extreme verblijftijd te verlagen.

Geconstateerd is echter dat bij de huidige nutriëntbelasting en algensamenstelling de effecten van een eventuele verlaging van de verblijftijd door het maken van een open verbinding worden ingeschat als beperkt en niet ecologisch relevant.

Peildynamiek

Een grote open verbinding in de Houtribdijk creëert een groter watersysteem met één streefpeil. Dit peil zal echter door de waterbeheerder veel moeilijker te beheersen zijn dan in de huidige situatie. De beheerder zit nu in een 'keurslijf' van peilen. De beheerder is al een groot deel van het water "kwijt" in een dood stuk van het systeem vanwaar het terugstroomt op ongelegen momenten. Ook ervaart deze nu "last van waterslag" (terugslag van de watermassa) in het systeem bij het sluiten van de spuisluizen.

Een groter systeem met grotere dynamiek (en onbeheersbaarheid van het peil) kan voor de natuur juist een voordeel zijn, bijvoorbeeld voor rietontwikkeling. Aan de andere kant worden met een grote open verbinding de kansen op een gunstiger peilbeheer voor natuurontwikkeling in het MM verkleind doordat het peilbeheer in het IJSM in eerste instantie wordt afgestemd op andere gebruiksfuncties, zoals zoetwatervoorziening en veiligheid.

Conclusie effectiviteit

De hoofdconclusie over de (ecologische) effectiviteit van een open verbinding is dat dit vooral een bijdrage levert aan de robuustheid van het systeem, door vermindering van de compartimenteringseffecten, maar dat dit moeilijk te kwantificeren is. Ook wordt de vergelijking anders als zonder open verbinding op het MM een wat natuurlijker peilbeheer mogelijk blijkt. Er zijn enkele concrete positieve effecten te verwachten:

- verminderde slibconcentratie in MM, waardoor minder vlokvorming optreedt en nutriënt beter beschikbaar zijn;
- ontstaan van slibgradiënten (pluim) in IJSM en/of MM en
- ongehinderde vismigratie, waardoor de vispopulaties meer verschillende habitats ter beschikking krijgen.

Het belangrijkste voordeel van een grote open verbinding lijkt het ontstaan van slibgradiënten in het IJSM te zijn, waarvan het effect echter nauwelijks is in te schatten.

NMIJ Referenties:

Knoben & Haarman (2015)

Onderzoeksvraag: V17 Wat is de bijdrage van een open verbinding aan een veerkrachtig ecologisch systeem?
Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, modelstudies
Antwoord: In algemene zin is bevorderen van connectiviteit een van de pijlers om de kwetsbaarheid van ecosysteem te verminderen en diversiteit en robuustheid te vergroten. De compartimentering van IJSM-MM heeft tot gevolg dat de verschillende voorkomende habitats ruimtelijk van elkaar gescheiden zijn, waardoor ook functionele hindernissen optreden. Een open verbinding bevordert de uitwisseling tussen lokale populaties. Ook de toename van de (peil)dynamiek dan de diversiteit vergroten. Als een grote opening echter betekent dat transitie naar meer natuurlijke peilfluctuaties in het regime van het Markermeer worden uitgesloten, wordt het moeilijker om bij oever- en moerasontwikkeling ecologisch goed functionerende land-water overgangen tot ontwikkeling te laten komen. Dan gaat ook een kans voor verbetering van diversiteit en veerkracht verloren.
NMIJ Referenties: Knoben & Haarman (2015)

<p>Onderzoeksvraag: V18 Is een open verbinding effectiever in combinatie met een moerasgebied (versterking lokale stromingspatronen door windgedreven peildynamiek) dan zonder grootschalig moeras?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, modelstudies</p>
<p>Antwoord: Het belangrijkste ecologische voordeel van een open verbinding is het ontstaan van een slibpluim (en daarmee gradiënten in slibgehalte) in het IJsselmeer en het Markermeer.</p> <p>Het ecologisch voordeel van een combinatie met het moeras zou zijn dat visetende vogels, de broedplaats (moeras) in de nabijheid van foerageergebied (slibpluim) zouden krijgen. Deze pluim is vooral in de wintersituatie te verwachten als gevolg van episodes met grote dynamiek en hoge slibconcentraties. Door zowel de Houtsluizen als Krabbersgat stroomt het water 's winters gemiddeld van het Markermeer naar het IJsselmeer en in de zomer andersom. In het zuidelijk IJsselmeer zouden de viseters daarom vooral in de winter profiteren van dit voordeel, terwijl in het Markermeer dit voordeel in de zomer aanwezig is omdat de gradiënt dan aan de kant van dat meer ligt.</p> <p>Een duidelijk nadeel van de combinatie van moeras en een opening is dat de opening waarschijnlijk de kans verkleint dat tot een natuurlijker peilregime kan worden besloten, zodat functionele land-water overgangen zich in dat geval in het moeras moeilijker zullen kunnen ontwikkelen.</p>
<p>NMIJ Referenties: Knoben & Haarman (2015)</p>

Onderzoeksvraag: V19 Wat zijn de kosten van een (semi) open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer
Onderzoeksmiddel: Bureaustudie
Antwoord: 1. Een brug van met een lengte van ca. 8.000 m kost ca. € 60 K tot € 75 K per m afhankelijk van de wegingeling 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 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.

<p>Onderzoeksvraag: V20 Wat zijn de beheer- en onderhoudskosten van een (semi) open verbinding tussen Markermeer en IJsselmeer</p>
<p>Onderzoeksmiddel: Bureaustudie</p>
<p>Antwoord: 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.</p> <p>Voor het kunstwerk met afsluitbare openingen van ca. 100 m, bedragen de jaarlijkse kosten minimaal € 200 K.</p> <p>Bij een kleiner kunstwerk met afsluitbare kokers door de dijk zijn de jaarlijkse beheer- en onderhoudskosten geschat op € 50 K tot € 100 K.</p> <p>Bij de hier genoemde jaarlijkse kosten zijn geen reserveringen opgenomen voor grootschalige vervangingen.</p>

Onderzoeksvraag: I1

Hoe wordt een robuust ecologisch systeem gedefinieerd? Met andere woorden: Welke draagkracht moet gerealiseerd worden om te kunnen spreken van een toekomstbestendig systeem?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies, monitoring bestaande structuren, modelstudies

Antwoord:

Deze vraag is lastig te beantwoorden. Draagkracht kan vanuit specifieke doelen worden bepaald, bijv. instandhoudingsdoelen van een soort of groep van soorten (bijv. vis- of mosseletende watervogels), maar deze doelen zijn niet altijd vanuit de duurzaamheid van het totale systeem gedefinieerd. Wel is uit onderzoek (o.a. ANT) inzicht ontstaan in de oorzaken van het ontbreken van een duurzame situatie;

- (1) dominantie van een klein aantal soorten door een overmaat aan voedingsstoffen,
- (2) compartimentering en daardoor (in combinatie met de te hoge voedselrijkdom) ontstane lage habitatdiversiteit,
- (3) overbevissing en in mindere mate
- (4) klimaatverandering (Noordhuis et al, 2014).

Voedselrijkdom

De "natuurlijke situatie" kan als uitgangspunt genomen worden voor het definiëren van een duurzaam ecosysteem. Via gebruik van referenties in ruimte en tijd kan die natuurlijke situatie worden ingeschat. In de initiële bureaustudie ecologie wordt de voedselrijkdom van het IJsselmeer en Markermeer vergeleken met die van het vergelijkbare, maar veel natuurlijkere Peipsimeer in Estland (van Eerden et al. 2007). Daarbij werd met behulp van gegevens verzameld in de periode 1984 t/m 2009 geconstateerd dat totaal fosfor in de Nederlandse meren ondanks een geleidelijke afname nog tweemaal zo hoog was als in het Peipsimeer. Uit de ANT studie blijkt echter dat de trend in de laatste jaren vertekend werd door analyseproblemen waardoor doorgaande afname werd gemaskeerd, en verbeterde analyse vanaf 2010 geeft totaal fosforconcentraties op het zelfde niveau als in het Peipsimeer. Opgelost fosfaat ligt al sinds het midden van de jaren '90, maar zeker na een permanente afname in 2004, op het niveau van Peipsi (of daar onder). De concentratie in het vanuit de IJssel aangevoerde water is niet veel hoger meer dan vóór de toename, begin jaren vijftig. Daarmee kan gesteld worden dat de voedselrijkdom van de meren de natuurlijke situatie nadert. Dit wordt bevestigd doordat de doelen van de KRW, die met behulp van dezelfde referentiebenadering zijn vastgesteld, tegenwoordig (sinds de verbeterde analyse vanaf 2010) worden gehaald.

Bij het onderzoek in Peipsi is alleen naar voedselrijkdom en niet naar productie gekeken. Ook in NMIJ en ANT is dit niet aan bod gekomen. De daadwerkelijke productie in beide meren kan daarom niet vergeleken worden.

Voedselrijkdom en biomassa: tussenkomst van slib

De productie (of eigenlijk de concentraties en biomassa's van fytoplankton tot en met vis) in het Markermeer is lager dan in het IJsselmeer bij dezelfde P gehalten, mogelijk door interactie tussen zwevend slib en algen (zie ANT onderzoek). Mosselen in het Markermeer groeien slechter sinds het aandeel anorganisch zwevend stof rond 1983 toenam (door erosie van klei tot mobiel slib). Dat betekent voor de mosselen een slechtere voedselkwaliteit, die verder kan zijn verslechterd door vlokvorming van algen met slibdeeltjes, waardoor een (groot) deel van de algen aan het voedselweb wordt onttrokken (De Lucas Pardo 2014). Omdat de geleidelijke opbouw van de rol van mobiel slib een gevolg is van de aanleg van de Houtribdijk (stoppen van afvoer van

slib) kan hogere productie van begin jaren '80 dus niet als duurzaam worden beschouwd zonder aanvullende ingrepen. Het streven moet erop gericht zijn om met behulp van maatregelen (voorkomen van slibopwerveling) de voedselkwaliteit weer te verbeteren en de achterstand op het IJsselmeer in te halen.

Habitatdiversiteit

In combinatie met het verbeteren van de voedselkwaliteit kan via grotere soortenrijkdom en verbeterde balans tussen water en bodem (via inrichtingsmaatregelen, vastleggen of verwijderen van slib en stimuleren van bodemfauna) een situatie ontstaan waarin de voedingsstoffen efficiënter benut worden. Enerzijds kan dat rechtstreeks door de hogere diversiteit (meer manieren om voedingsstoffen te benutten door groter aantal soorten), anderzijds door het terugdringen van het aandeel anorganisch zwevend stof en vlokvorming, zodat een groter deel van de primaire productie het voedselweb in gaat. Voor de inrichting kan geen historische referentie worden gebruikt. Peipsi is daarom ook hier belangrijk als voorbeeld. De streefwaarden voor inrichting, bijvoorbeeld het areaal ondiepten met waterplanten (3500-4000 ha met meer dan 15% bedekking) zijn hieraan ontleend. Deze waarden zijn ondersteund door voorlopige berekeningen vanuit de voedselbehoefte van omnivore watervogels in hun Natura 2000 doelaantallen (van Herpen & Noordhuis, 2014)(MIRT verkenning Hoornse Hop).

NMIJ Referenties:

Van Herpen & Noordhuis (2014)

Onderzoeksvraag: I2

Met welke combinaties van maatregelen uit de verschillende V thema's kan een veerkrachtig Markermeer-IJmeer gerealiseerd worden? Welke alternatieven zijn beschikbaar?

Onderzoeksmiddelen:

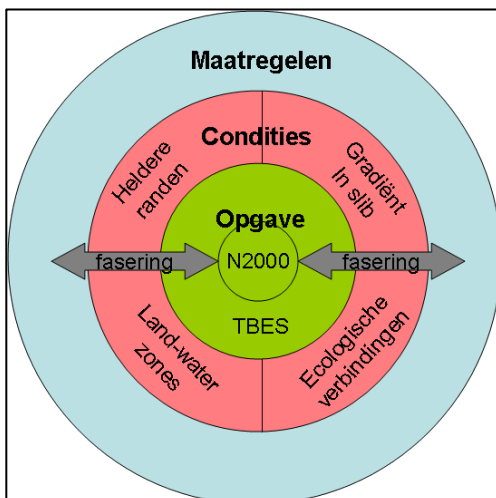
Model-, bureaustudies en expertsessies

Antwoord:

TBES is erop gericht om de formele regionale natuur- en waterdoelen (Natura2000 en KRW) te ondersteunen, maar ook op vergroting van de robuustheid en veerkracht van het systeem door vergroting van de habitatdiversiteit. De mate van robuustheid en veerkracht is niet gekwantificeerd, maar dient minimaal de negatieve effecten van toekomstige gebruiksactiviteiten te omvatten en bij te dragen aan regionale dan wel landelijke doelen. Het TBES is vrij abstract en in elk geval onvoldoende expliciet en gekwantificeerd om eenvoudig aan te toetsen. Dat is op zich geen onoverkomelijk bezwaar want de voorspelbaarheid van ecologische ontwikkelingen over langere termijn is ook beperkt.

De TBES gedachte richt zich niet op de afzonderlijke soorten volgens de formele en informele doelen, maar meer op het functioneren van het Markermeer-IJmeer als aquatisch ecosysteem. Voor een goed functionerend meersysteem staan de volgende systeemvereisten ('pijlers') of abiotische condities centraal (Integraal TussenAdvies NMIJ, Knobben, 2014):

- helder water (meest kansrijk in de zones langs de Noord-Hollandse kust), vooral voor waterplanten, herbivore vogels, benthos- en mossetende vogels;
- gradiënt in slibgehalte (overgangsgebied heldere zones naar slibrijk open water), vooral voor visetende vogels;
- land-waterovergangszones van formaat, voor moerasvogels, paaigebied voor vis, macrofauna als voedselbron voor vis en vogels;
- ecologische relaties of verbindingen met binnendijkse natuur, vooral voor vis maar ook vogels en watergerelateerde zoogdieren (verbinding van geïsoleerde populaties door locatiekeuzes bij moerasontwikkeling en inrichting land-water overgangen)..



Op voorhand is duidelijk dat TBES alleen bereikt kan worden door het combineren van verschillende inrichtings- en beheermaatregelen. Bij het samenstellen van (kosteneffectieve) maatregelpakketten wordt de volgende denklijn ten aanzien van

prioritering gehanteerd:

1. Maatregelen uit lopende ontwikkelingen en/of behoud van bestaande natuurwaarden (no regret).
2. Maatregelen die gericht zijn op het bereiken van de Natura2000 (en KRW) doelen.
3. Maatregelen die bijdragen aan verdere robuustheid van het systeem door uitbreiding en schaalvergroting.

In de onderstaande tabel zijn de maatregelen gerangschikt per systeempijler. Per maatregel is een inschatting gemaakt op basis van modelberekeningen, aangevuld met expert judgement, over in hoeverre de condities die bij de betreffende systeempijler horen kunnen worden gerealiseerd. De basis hiervoor vormen de overwegingen hieronder. Het betreft in alle gevallen maatregelen die nodig zijn om de huidige situatie aan te vullen tot een gewenste situatie. Tevens is een indicatie van de autonome ontwikkeling aangegeven, waar het gaat om ondiepe zones met helder water.

Systeempijler	Indicatie bijdrage aan gewenste systeemcondities (ingeschat o.b.v. bestaande kennis)										Indicatie omvang effect	
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%		
Ondiepe zones met helder water												
			Luwtemaatregelen Hoornse Hop VKA (incl. verondieping)									340 ha
												350 ha
												600 ha
Geleidelijke land-waterovergangen												
	Marker Wadden fase 1											325 ha
												4000 ha
												30 cm
Gradiënt in slibgehalte												
			Luwtemaatr Hoornse Hop VKA Marker Wadden fase 1 (incl. verdiepingen)									2000 ha
												150 ha
												3000 ha
Ecologische verbindingen												
												8 stuks
												3 stuks
												8 km

Autonome ontwikkeling
 Maatregelen in voorbereiding
 Aanvullende maatregelen

Stapelning van maatregelen voor doelrealisatie per systeempijler met indicatie van omvang

De volgende overwegingen hebben bij de keuze van de maatregelen in de verschillende pijlers een rol gespeeld:

- Een eerste tranche aan maatregelen bestaat uit ontwikkelingen die reeds in gang zijn gezet en (op no regret basis) bijdragen aan het realiseren van de doelen (groen gearceerd). Hierdoor zal een verbetering optreden bij alle systeempijlers. Een groot deel van het hiervoor benodigde budget wordt besteed aan de realisatie van een eerste fase van de Marker Wadden. Deze bestaat uit zowel een boven- als een onderwaterlandschap. Het onderwaterlandschap wordt gevormd door de verdiepingen waarin het bouwmaterial van het bovenwaterlandschap (eilanden) wordt verzameld. In het Hoornsche Hop is sprake van een autonome ontwikkeling van waterplantvelden, maar dat betreft slechts één soort en door lage dichtheden is deze vegetatie minder functioneel als habitat voor vis en ongewervelden. Met gerichte luwtemaatregelen kan verbetering in die zin worden gestimuleerd. De

maatregelen worden uitgewerkt in de MIRT (Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport) -verkenning Luwtmaatregelen Hoornsche Hop die momenteel wordt uitgevoerd. Deze verkenning kent een vaste procedure voor nieuwe initiatieven waaronder een startdocument, notitie reikwijdte, notitie kansrijke oplossingen etc. (Min. I&M, 2010). Tot slot worden enkele vismigratieknelpunten waarvan de uitvoering nu al in voorbereiding is in deze tranche opgenomen.

- Voor de uiteindelijke realisatie van minimaal 1500 ha uitbreiding aan extra ondiepe zones met goed ontwikkelde waterplantvelden (dichtheid >15%) wordt, aanvullend op het Hoornsche Hop, gekozen voor de ontwikkeling van luwe zones met waterplanten op het Enkhuizerzand. Op deze locatie kan een dergelijke ontwikkeling naar verwachting op een kosteneffectieve wijze worden vormgegeven.
- Voor het realiseren van een gewenste situatie voor de systeempijler 'geleidelijke land-waterovergangen' vormt de eerste fase van de Marker Wadden een goede aanzet. Afhankelijk van de haalbaarheid van de aanlegmethode kunnen de Wadden geleidelijk worden uitgebreid of wordt een meer conventionele methodiek toegepast om een grootschalig gebied met geleidelijke land-waterovergangen te realiseren. Een dergelijk gebied begint op systeemniveau pas een relevante bijdrage te leveren wanneer het bovenwaterlandschap groter is dan circa 1500 ha (alle habitats van ondiep water via plas-dras naar droog; (Buskens & van Held, 2013)). Naar de huidige inzichten is een globaal 3 maal zo groot gebied benodigd voor het realiseren van een optimale (robuuste) situatie (Buskens & van Held, 2013). Daarnaast zal ecologisch inrichten van oeverdijken langs de Noord-Hollandse kust een goede bijdrage kunnen leveren aan de geografische spreiding van land-waterovergangen en de verbindingen met het binnendijks gebied. In alle gevallen is het gewenst dat het huidige (omgekeerde) peil wordt aangepast naar een meer natuurlijk peilverloop.
- Voor de aanleg van geleidelijke land-waterovergangen en luwtmaatregelen is een grote hoeveelheid materiaal benodigd die kan worden gewonnen in nabijgelegen verdiepingen. Deze verdiepingen zorgen, naast andere maatregelen als luwtstructuren, voor gradiënten in slibconcentratie. De benodigde omvang hiervan is sterk indicatief. Vooralsnog bestaat het beeld dat door aanleg van maatregelen voor andere systeempijlers voldoende gradiënten behouden blijven en ontstaan om deze systeempijler te bedienen.
- Voor de pijler 'ecologische verbindingen' worden in aanvulling op de lopende ontwikkelingen nog een aantal vismigratiepunten voorgesteld. De aanleg daarvan wordt in relatie met de relatief beperkte kosten als no-regret maatregel beschouwd. Ook de ecologische inrichting van oeverdijken in ruimtelijke samenhang met bestaand habitat en moerasontwikkeling binnen Marker Wadden en in het Hoornsche Hop zal een bijdrage kunnen leveren aan deze pijler.

De indicatie van de realisatie van de maatregelen in de tabel kan als fasering in de tijd gezien worden, maar hoeft niet per se opeenvolgend in de tijd te zijn. Daarbij kunnen ook alternatieven worden samengesteld met een andere ambitie dan het hier geschetste TBES.

Naast de ecologische effectiviteit van maatregelen moet rekening worden gehouden met twee andere aspecten die de kansrijkdom van maatregelen sterk kunnen beïnvloeden: de maatschappelijke en financiële haalbaarheid. De mate waarin deze vormen van haalbaarheid worden meegenomen in de afweging verschilt per maatregeltipe. Bij kostenintensieve maatregelen, zoals een grootschalig moeras, zullen naast de ecologische effectiviteit, vooral de financiële mogelijkheden de uiteindelijke omvang van de maatregel bepalen. Bij maatregelen die andere gebruiksfuncties beïnvloeden, zal de

uiteindelijke vorm en omvang weer eerder worden bepaald door de maatschappelijke haalbaarheid (draagvlak) dan de financiële haalbaarheid. Deze afwegingen konden maar deels binnen het NMIJ-onderzoeksproject inzichtelijk worden gemaakt. NMIJ heeft zich in eerste instantie gericht op de ecologische effectiviteit en maakbaarheid van maatregelen.

NMIJ Referenties:

Knoben, R. (2014) NMIJ Integraal Tussenadvies 2013
Snijders, 2015

Onderzoeksvraag: I3

Op welke termijn kan een veerkrachtig Markermeer-IJmeer gerealiseerd worden en wat is de reactietijd van de systeemontwikkeling?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies, monitoring bestaande situaties, modellering

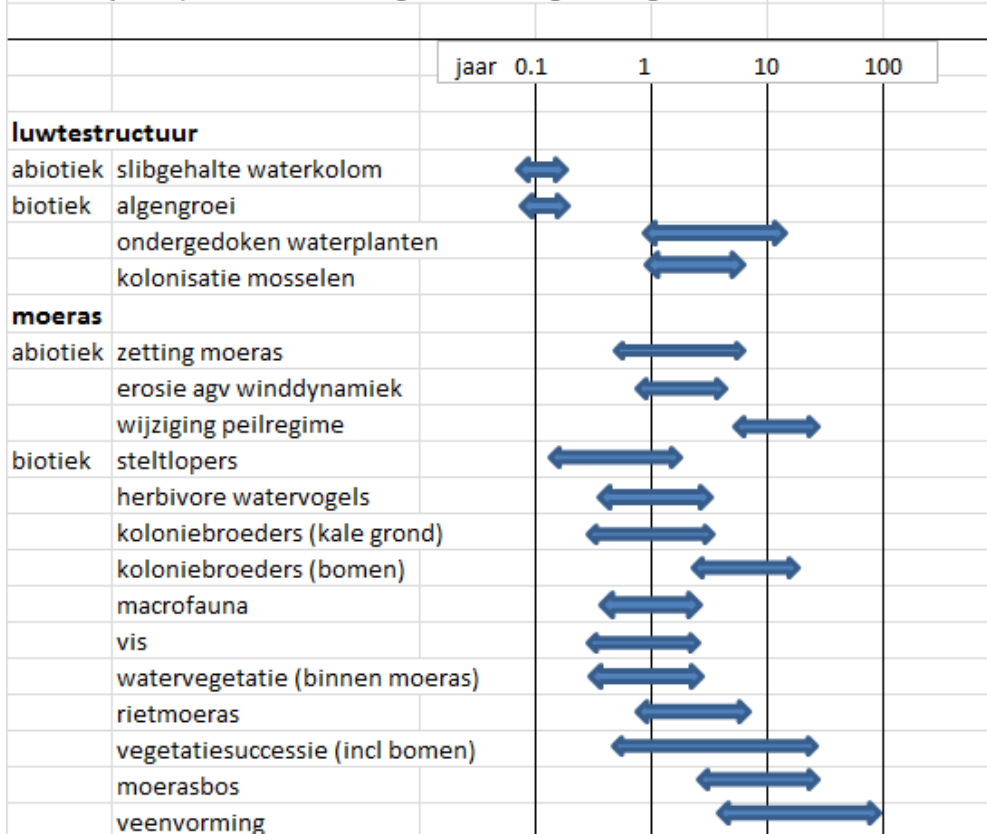
Antwoord:*Reactietijden systeemontwikkeling*

De verschillende ecosysteemcompartimenten reageren met verschillende snelheden op ingrepen door middel van maatregelen.

De reguliere, jaarlijkse monitoring van waterplanten laat zien dat enkele opeenvolgende jaren met een rustig voorjaar tot een toename van de vegetatie in de ondiepe delen langs de Noord-Hollandse kust leiden.

De pilot moeras leert dat in luwe, open ondiepe delen van het moeras ondergedoken waterplanten meteen vol tot ontwikkeling komen. Op het droge deel van het moeras verschijnen pioniervegetaties die binnen één jaar uit 50 plantensoorten bestaan. In onderstaande figuur zijn indicaties voor reactietijden op basis van experimenten, monitoring en theoretische kennis op een logaritmische schaal uitgezet.

Reactietijden systeemontwikkeling na uitvoering maatregel



Indicatie van reactietijden van onderdelen van systeemontwikkeling (logaritmische schaal)

Realiseren veerkrachtig systeem

Zoals uit figuur 6.1 blijkt verlopen verschillende processen op verschillende tijdschalen en afhankelijk van het type maatregel, vanaf het moment van uitvoering.

Het realiseren van een veerkrachtig systeem wordt in de praktijk voornamelijk bepaald

door het moment waarop de financiering van de uitvoering geregeld is. Vanaf dat moment zijn de termijnen globaal als volgt:

- planvorming, voorbereiding uitvoering, aanbesteding: 2-3 jaar
- uitvoering: 1 - 10 jaar, afhankelijk van de maatregel en fasering (bv agv beschikbaarheid bouw materiaal).

Tijdsschaal waarop het systeem in zijn onderdelen op reageert is als volgt ingeschat:

- effecten op slibgehalte: momentaan, door luwte treedt bezinking op en wordt opwerveling geremd
- algengroei: weken tot maanden, komt meer ten goede aan productie in de waterkolom door afname interactie met zwevend slib
- vegetatiesuccessie: 5-10 jaar, o.a. door aanvankelijke beperking van beschikbaarheid zaden en sporen (luwtezone o.a. Noordhuis & van Schie 2007)
- mosselen 1-4 jaar door koppeling aan waterbewegingen via planktonische larven (bijv. karteringen Driehoeks- en Quaggamosselen IJsselmeer, aankomst populatie in het noorden ongeveer vier jaar na start kolonisatie vanuit de IJssel)
- niet-broedvogels gekoppeld aan bovenstaande ontwikkelingen (voedselbeschikbaarheid) en ontwikkeling geschiktheid als rustgebied
- broedvogels van pionierstadia (kale grond) 1-5 jaar, moerasbroedvogels later, gekoppeld aan vegetatie successie en moerasontwikkeling
- moerasontwikkeling (riet) start na pionierfase en duurt enkele jaren, ontwikkeling naar overgang moeras-bos duurt meer dan tien jaar, veenvorming in het moeras is het meest trage proces (decennia).

NMIJ Referenties:

Van Herpen et al (2015)

<p>Onderzoeksvraag: I4 Ontstaan er naast een veerkrachtig Markermeer-IJmeer (in termen van 'meer van hetzelfde' i.r.t. instandhoudingsdoelen) andere natuurwaarden (toegevoegde waarde)? Zo ja, kan aangegeven worden wat de toegevoegde waarde inhoudt?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies, monitoring bestaande situaties, modellering</p>
<p>Antwoord: De formele instandhoudingsdoelen voor Markermeer-IJmeer betreffen niet-broedvogelsoorten (herbivoor, benthivoor en piscivoor), broedvogels (Visdief en Aalscholver) en het habitatype kranswiervegetaties (Gouwzee).</p> <p>Veerkracht vraagt echter een bredere aanpak dan maatregelen puur gericht op individuele soorten met instandhoudingsdoelen. Uiteindelijk is die veerkracht ook nodig voor duurzaamheid van deze soorten. De brede aanpak levert echter meer op.</p> <p>De grootste meerwaarde voor natuur (bovenop het bedienen van de instandhoudingsdoelen) zal bereikt worden met de land-waterovergangen die worden gecreëerd in het duurzame moeras. Deze bieden ruimte aan een groot aantal moerassoorten, die nu niet aanwezig (kunnen) zijn in het Markermeer en ondersteunen in hoge mate de benodigde life supportfuncties voor die soorten. Als het moeras de beoogde omvang van meerdere duizenden ha heeft, zal dit een uitstraling naar de verre omgeving hebben op meta-populatie-niveau, zoals bij de Oostvaardersplassen het geval is geweest (zie ook H9). Het moeras levert natuurwaarde voor zowel onder als boven water op.</p> <p>Op kleinere schaal kunnen bijvoorbeeld de oeverdijken aan de Noord-Hollandse kust een stapsteen of ecologische verbinding in de lengterichting van de kust vormen voor allerlei beschermde soorten (bv Ringslang, Otter, Noordse Woelmuis). Dit betreft vooral 'boven water'-natuur. Bij een systeemgerichte aanpak, die de habitatdiversiteit vergroot en de land-water interactie verbetert, en die voldoende grote schaal combineert met adequate spreiding over het gebied, ontstaan dus vele natuurwaarden bovenop die met betrekking van soorten met instandhoudingsdoelen.</p>
<p>NMIJ Referenties: Knoben et al. (2015) Van Herpen et al (2015)</p>

<p>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?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Expertsessies</p>
<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>
<p>NMIJ Referenties:</p>

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 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; hoger IJsselafoeren worden in geval van een opening ook aan het Markermeer doorgegeven.
- peilbeheer: een afzonderlijk peilbeheer voor Markermeer/ IJmeer/ Veluwemerem 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 op- en 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: 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 sluizen hoeven te worden gepasseerd. Een 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.
NMIJ Referenties: Notitie (semi-)open verbinding Markermeer-IJsselmeer (2015)

<p>Onderzoeksvraag: I8 Wat zijn de effecten van aanleg van een (semi-) open verbinding op vaargeulbeheer en -onderhoud?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie en expertsessies</p>
<p>Antwoord: 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>
<p>NMIJ Referenties: Semi-open verbinding 9V6742.0A2/N0115/501245/BW/Nijm</p> <p>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.</p>

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) Luwtemaatregelen Enkhuizerzand										19 M€	46 M€
	Grootschalig moerasgebied (bijvoorbeeld Marker Wadden)										26 M€	56 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 Ecologisch inrichten oeverdijken Noord Holland										0 M€	0 M€
Gradiënt in slibgehalte	Luwtemaatregelen Hoornse Hop VKA Marker Wadden fase 1 (incl. verdiepingen)										11,7 M€	13,3 M€
	Luwtemaatregelen Hoornse Hop en Enkhuizerzand										51 M€	51 M€
	Grootschalig moerasgebied (incl. verdiepingen)										45 M€	102 M€
Ecologische verbindingen	Vispassages Noord-Holland en Houtribdijk										3 M€	6 M€
	Vispassages Oranjesluizen en Flevoland Ecologisch inrichten van oeverdijken										2 M€	4 M€
	Grootschalig moerasgebied (bijvoorbeeld Marker Wadden)										20 M€	44 M€
										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 luwtemaatregelen 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 luwtemaatregelen 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 maatregelenpakket 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 maatregelenpakket 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 luwtmaatregelen 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									0 M€	0 M€
			Ecologisch inrichten oeverdijken Noord Holland									0,1 M€	0,2 M€
Gradiënt in siltgehalte	Luwtemaatr Hoornse Hop VKA											0,1 M€	0,3 M€
	Marker Wadden fase 1 (incl. verdiepingen)											0,8 M€	0,8 M€
			Luwtemaatregelen Hoornse Hop en Enkhuizerzand									0,4 M€	1,4 M€
			Grootschalig moerasgebied (incl. verdiepingen)									0,9 M€	2,2 M€
Ecologische verbindingen	Vispassages Noord-Holland en Houtribdijk											< 1 M€	< 1 M€
			Vispassages Oranjesluizen en Flevoland									< 1 M€	< 1 M€
			Ecologisch inrichten van oeverdijken									0,1 M€	0,2 M€
			Grootschalig moerasgebied (bijvoorbeeld Marker Wadden)									0,9 M€	2,2 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 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 luwtmaatregelen 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 maatregelpakket 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)

<p>Onderzoeksvraag: I12 Welke uitvoeringsstrategie kan het best gehanteerd worden voor het realiseren van een (semi-) open verbinding (uitvoeringsagenda)?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudie en expertsessies</p>
<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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 is voorbereiding is.</p>
<p>NMIJ Referenties: Notitie (semi-)open verbinding Markermeer-IJsselmeer (2015)</p>

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 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 locatieafhankelijk. 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 besluiten Rijk, provincies Flevoland en Noord-Holland op basis van het boekhoudsysteem of en welke vervolgstappen wanneer nodig zijn. Dit is mede afhankelijk van de ecologische 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>

Onderzoeksvraag: E1

Hoe ontwikkelt de visstand (omvang, lengteopbouw) zich in het IJsselmeer en Markermeer gedurende de proef t.o.v. de huidige situatie?

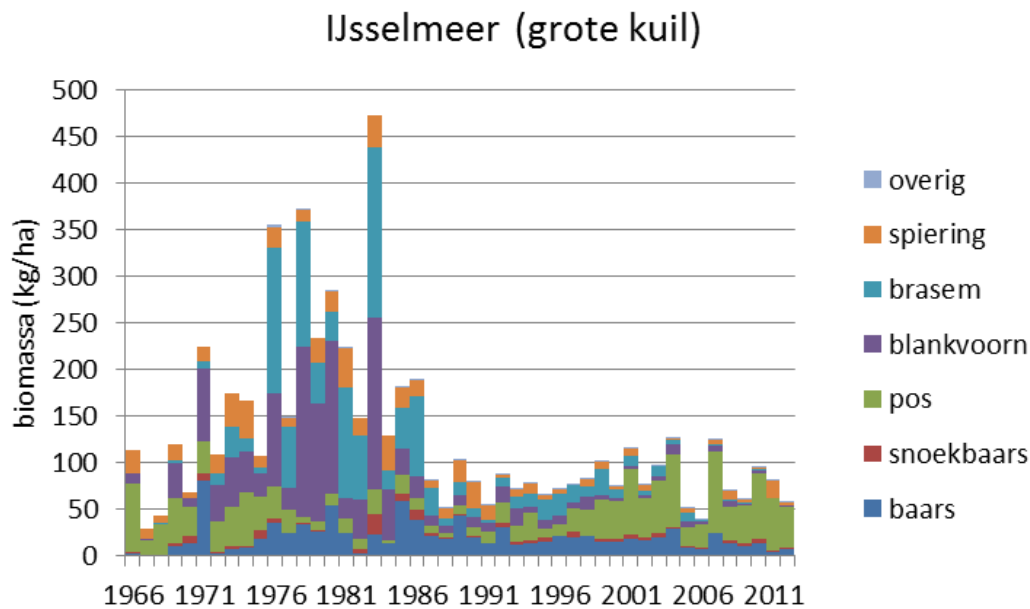
NB met 'proef' is onderzoeksprogramma NMIJ bedoeld

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies

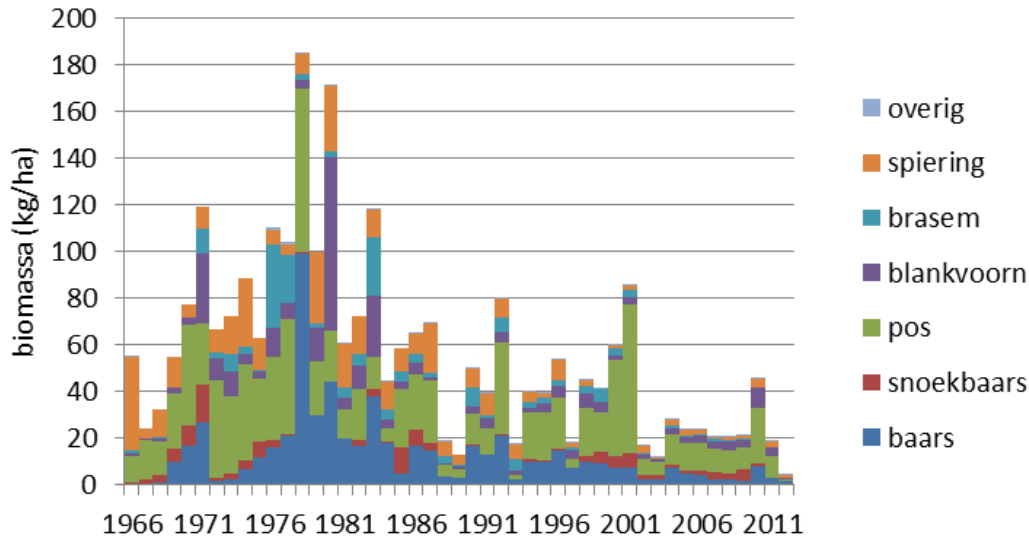
Antwoord:

De ontwikkeling is beschreven voor de totale visstand en een aantal afzonderlijke soorten.

Totale visbestand

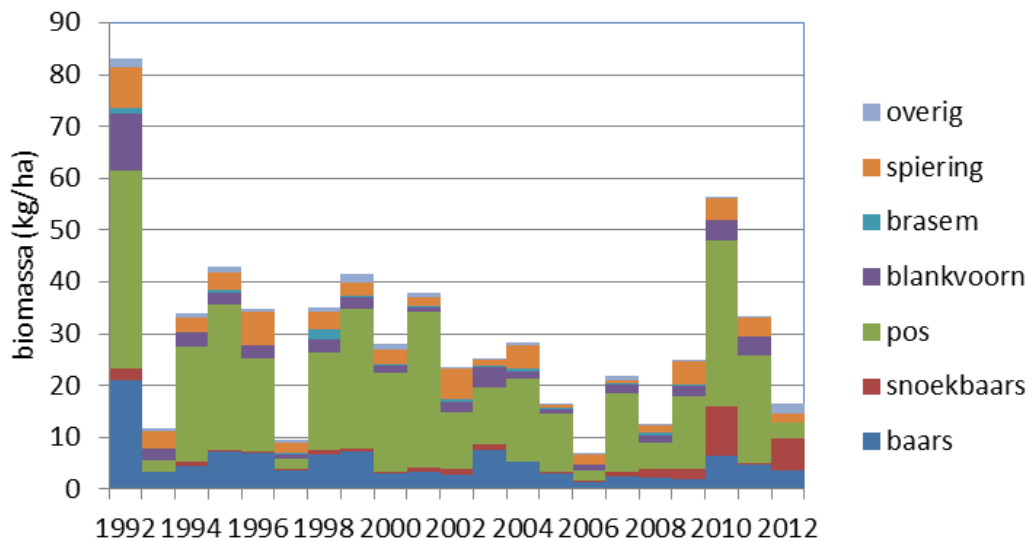
Ontwikkeling van totale visbiomassa (kg/ha) met grote kuil in IJsselmeer in de periode 1966-2012 (gegevens Imares, IJmuiden)

Markermeer (grote kuil)



Ontwikkeling van totale visbiomassa (kg/ha) met grote kuil in Markermeer in de periode 1966-2012 (gegevens Imares, IJmuiden)

Markermeer (electrokor)



Visbiomassa in kg/ha in het Markermeer, op basis van vangsten met de Kor, 1992-2012 (gegevens Imares, IJmuiden)

Na afname in de jaren 80 is in het IJsselmeer het aandeel van Spiering, Brasem en Baars verder afgenomen ten gunste van Pos. In het Markermeer is de totale visbiomassa sinds 2002 laag. Het jaar 2010, en in mindere mate 2011, was een goed jaar door sterke recruitering van alle dominante soorten. Het jaar 2012 gaf echter een bijzonder lage visbiomassa te zien.

Trends in dominante soorten

De trends voor een aantal afzonderlijke soorten in de open-water bemonsteringen zijn

hieronder beschreven:

- Baars vertoont een negatieve trend, zowel in totale biomassa als in recrutering. Deze trend is al lange tijd gaande, het aandeel 5 jaar en oudere vis was al in de jaren 90 gehalveerd. Na 2000 was het aandeel grotere vis nog lager.
- Snoekbaars laat geen duidelijke trend zien in de totale biomassa, maar het bestand was zeer klein in 2011 en 2012. Na 2008 is het aandeel meerjarige Snoekbaars relatief laag geweest, het aandeel vissen vanaf 4 jaar oud was al eerder omlaag gegaan en is sinds 2000 zeer laag.
- Pos: geen sterke trend sinds afname in de jaren tachtig, mogelijk lichte afname, niet terug te zien in de recrutering. Historisch lage stand in 2012.
- Blankvoorn laat sinds de afname in de jaren 80 geen duidelijke trend in het Markermeer zien. Goede recrutering in 2010 maar niet in 2011 en 2012, zeer slechte stand van oudere vis in 2012.
- Brasem heeft een lage stand sinds 2002, bijna afwezig sinds 2010. De goede recrutering in 2010 is niet herhaald in 2011 en 2012, en is niet terug te zien in het bestand oudere Brasem. De overgebleven Brasem is klein, het aandeel grotere Brasem is sinds de jaren 80 sterk afgenomen.
- Spiering: Na doorgaande afname fluctuerend op laag niveau sinds 2000. Relatief goed jaar in 2010 maar geen structureel herstel ondanks een aantal jaren zonder visserij.

De samenstelling van de visgemeenschap in oevergebonden habitats is in het algemeen zeer verschillend van die van open water, met een veel kleiner aandeel Pos en Spiering en een veel groter aandeel Baars en Blankvoorn. Relatief veel visbroed (met name Blankvoorn) houdt zich in deze habitats op. Het gaat buiten de scope van deze bureaustudie om voor de afzonderlijke soorten te de exacte oorzaken van de ontwikkelingen te achterhalen.

Toestand en trends oeverzone

De monitoring van vis in de oeverzone is pas gestart in 2007 en levert dus nog geen lange reeksen. Wel is de opkomst van Stekelbaars en de grondels zichtbaar. Daarnaast valt een mogelijke toename van Ruisvoorn en Zeelt langs rietoevers op. De samenstelling van de visgemeenschap in oevergebonden habitats is in het algemeen zeer verschillend van die van open water, met een veel kleiner aandeel Pos en Spiering en een veel groter aandeel Baars en Blankvoorn. Relatief veel visbroed (m.n. Blankvoorn) houdt zich in deze habitats op.

Vistrends en waterkwaliteit

Sinds ongeveer 2000 verandert de samenstelling van het zwevend stof in het Markermeer en neemt het doorzicht langzaam toe. Dit laatste is lokaal, met name in het IJmeer, zeer versterkt door de opmars van Quaggamosselen vanaf 2007, met sterke effecten op de helderheid van het water vanaf 2009. Deze ontwikkelingen kunnen op drie manieren invloed hebben op de vistrends:

- via veranderende voedselbeschikbaarheid,
- via verandering in verspreidingspatronen van vis en
- via veranderingen in de vangbaarheid van vis door veranderen doorzicht.

Veranderingen in voedselbeschikbaarheid kunnen bestaan uit verminderde beschikbaarheid van zoöplankton door concurrentie met mosselen waar deze in hoge dichtheden voorkomen (jonge, planktivore vis, bijv. Spiering). Aan de andere kant is ook de sterke toename van de Zwartbekgrondel mogelijk gekoppeld aan de invasie van de Quaggamossel; deze vis is in staat de mosselen te eten en komt uit het zelfde oorspronggebied.

Open

NMIJ Referenties:
Noordhuis (2014)

Onderzoeksvraag: E2

Hoe groot is de invloed van de Aalscholver op de ontwikkeling van het visbestand?

Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies

Antwoord:*Aantallen*

Het aantal Aalscholwers dat in het Markermeer en IJmeer foerageert is in de jaren tachtig toegenomen, daarna is deze toename gestagneerd en fluctueren de aantallen enigszins. Een toename in het IJsselmeer rond 2000 door de aanleg van De Kreupel en een toenemende overwintering is in het Markermeer nauwelijks zichtbaar. In de zomer foerageert ongeveer een kwart van de populatie in het Markermeer en IJmeer, in de winter minder dan 5%. De dichtheid van foeragerende Aalscholwers is daarmee in het Markermeer gemiddeld bijna een factor 4 lager dan in het IJsselmeer.

Voedselkeuze

Door hun omvang kunnen Aalscholwers grotere vis aan dan de andere viseters, en wordt zowel kleine als grotere vis gegeten. De prooikeuze van de Aalscholver is min of meer opportunistisch en weerspiegelt in hoge mate de visstand zelf. Verreweg de belangrijkste prooi is Pos, tevens de soort met het grootste gewichtsaandeel in het visbestand. Gemiddeld over 2004-2008 was het gewichtsaandeel van Baars en Blankvoorn in het dieet van de Aalscholwers in de Oostvaardersplassen iets hoger dan hun aandeel in het Markermeerbestand. De Spiering was duidelijk ondervertegenwoordigd, met een 2% gewichtsaandeel bij de Aalscholwers tegenover 7% in het Markermeerbestand.

Invloed op het visbestand

Beantwoording van de vraag welke invloed Aalscholwers hebben op vispopulaties is alleen zinvol in samenhang met consumptie door andere visetende vogels, visserij en eventuele andere sterftfactoren. De invloed van de consumptie van Aalscholwers en andere viseters op de ontwikkeling van vispopulaties is onderdeel van een studie die momenteel door Imares wordt uitgevoerd. In afwachting van de resultaten daarvan worden hier geen uitspraken gedaan over de omvang van Aalscholverconsumptie en het effect daarvan op de vispopulaties.

Een dergelijke vraag is overigens niet eenvoudig te beantwoorden omdat de invloed enerzijds afhangt van de selectie van de vogels (lengteverdeling vis) en de timing van de consumptie, anderzijds van een betrouwbare schatting van het visbestand en de overige sterftfactoren. Over visconsumptie door Aalscholwers is voldoende detailinformatie beschikbaar, maar dat is niet het geval bij de andere visetende vogelsoorten. Registratie van de vangsten van de beroepvisserij is niet volledig en niet gesplitst naar herkomst. De vismonitoring van Imares in opdracht van Rijkswaterstaat is immers opgezet om trends in soortensamenstelling vast te stellen en is minder geschikt voor bestandsschattingen.

Omdat het verschil in het aantal foeragerende Aalscholwers tussen IJsselmeer en Markermeer groter is dan het verschil in visbiomassa, is de predatiedruk door Aalscholwers in het Markermeer mogelijk lager dan in het IJsselmeer. Afhankelijk van de weersomstandigheden is een deel van het Markermeer vaak te troebel om in te vissen. Aangezien Spiering in het menu van de Aalscholwers ondervertegenwoordigd is, zal ook de invloed van Aalscholverconsumptie op de spieringpopulatie beperkt zijn. Wel is Spiering oververtegenwoordigd in het menu van de meeste andere viseters.

Concluderend kan gesteld worden dat de beschikbare informatie teveel onzekerheden en hiaten bevat om een eenduidig antwoord op deze ogenschijnlijk simpele vraag te geven door de complexiteit van de achterliggende relaties.

NMIJ Referenties:
Noordhuis (2014)

Onderzoeksvraag: E3

Hoe ontwikkelt de visvangst (aanlanding en economische waarde) zich in vergelijking met de huidige situatie?

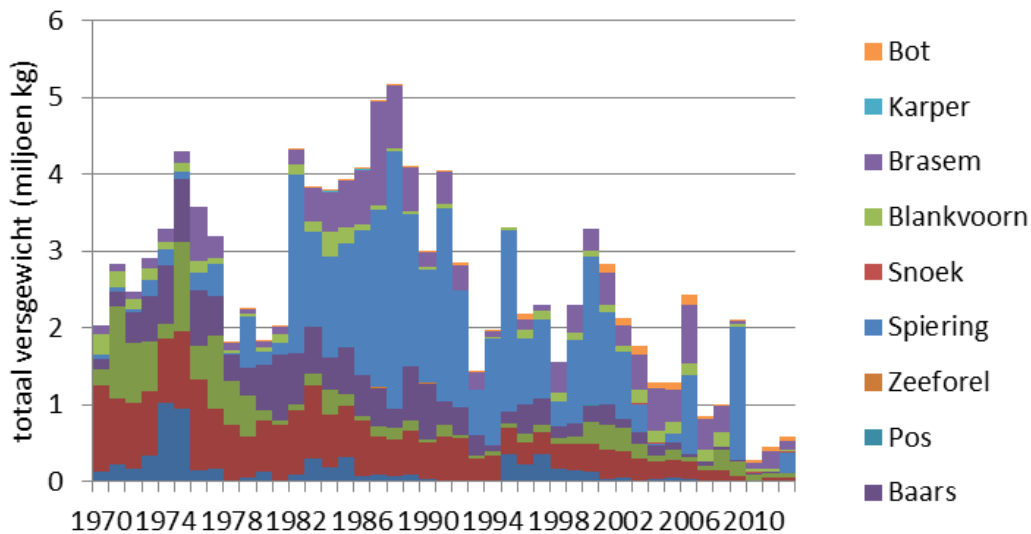
Onderzoeksmiddelen:

Bureaustudies

Antwoord:*Ontwikkeling van de aanlanding*

De aanlanding op de visafslag is in de proefperiode van het NMIJ project (2010-2015) zeer laag geweest. De vangst van Snoekbaars en Blankvoorn fluctueert maar stelt nog iets voor, die van Aal en Baars is bijna tot nul gereduceerd. De spieringvisserij is (gedeeltelijk) verboden geweest in 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011 en 2013. De aanlanding van Wolhandkrab gaf voor de vissers nog enige compensatie. De aanlandingsgegevens zijn niet gesplitst naar herkomst, zodat geen gedetailleerde uitspraken mogelijk zijn over de relatie met ontwikkelingen in het Markermeer alleen.

Aanlanding vis IJsselmeergebied



Aanlanding vis uit IJsselmeer en Markermeer (alle afslagen) in miljoenen kilo's per jaar (gegevens Imares, IJmuiden)

Ontwikkeling van de economische waarde

In de afgelopen tien jaar zijn de prijzen van schieraal, snoekbaars en brasem gestegen. De prijs van Brasem is zelfs meer dan verdrievoudigd, maar door het lage niveau betekent dit weinig op de totale omzet. De prijs van Baars was in 2011 en 2012 laag ondanks doorgaande afname van de aanvoer. Wolhandkrab is voor de vissers een relatief nieuwe bron van inkomsten, waarvan de veilingprijs rond 2010 bovendien is gestegen. De toename van de veilingprijzen was niet voldoende om de afname van de aanvoer te compenseren. In tien jaar tijd nam de veilingopbrengst af van ongeveer 4 naar 3 miljoen. Sterke teruggang van de opbrengst van Aal werden in 2008 en 2009 nog enigszins gecompenseerd door een relatief goede opbrengst van snoekbaars, maar was vanaf 2010 belangrijk lager. De opbrengst van schieraal en baars is de laatste paar jaar nauwelijks meer van betekenis voor de totale omzet. Toename van de afzet van Wolhandkrab beperkte het verlies nog enigszins, deze soort bezette in 2012 na aal de tweede plaats in opbrengst.

Open

NMIJ Referenties: Noordhuis (2014)

<p>Onderzoeksvraag: E4 Zijn deze ontwikkelingen (van vraag E3) toe te schrijven aan het aangepaste visserijbeheer?</p>
<p>Onderzoeksmiddelen: Bureaustudies en monitoring bestaande situatie</p>
<p>Antwoord: <i>Aanpassing visserijbeheer</i> Al lange tijd is duidelijk dat de visserij op het IJsselmeer en Markermeer niet duurzaam is. Vanaf de jaren 90 ("Regeling IJsselmeervisserij 1996") zijn daarom saneringsplannen gemaakt en gedeeltelijk uitgevoerd. In 2005-2009 werd het aantal "merken" voor vangsteenheden gehalveerd, maar door overcapaciteit (merken werden slechts gedeeltelijk ingezet), had dit onvoldoende effect op de daadwerkelijke vangstinspanning. In het visstandbeheerplan van 2008 werd nogmaals geconstateerd dat de visserij op het IJsselmeer en Markermeer niet duurzaam was en dat om dit doel te bereiken een aanzienlijk sterkere reductie nodig is dan met de tot dan toe uitgevoerde sanering was bereikt. Een verdere halvering van het aantal netten werd noodzakelijk geacht. Anno 2014 wordt over deze verdere reductie, na hernieuwde adviezen en na onafhankelijke bemiddeling, nog steeds onderhandeld.</p> <p>De in E1 – E3 beschreven ontwikkelingen voorafgaand aan en tijdens de proefperiode van NMIJ zijn dus niet toe te schrijven aan aangepast visserijbeheer, mogelijk wel gedeeltelijk juist aan het uitblijven van afdoende aanpassing van het visserijbeheer. Afname van voedselrijkdom, opwarming en niet in het minst de effecten van de invasie van de Quaggamossel spelen echter ook een rol.</p> <p><i>Spiering</i> Een uitzondering op dit algemene beeld is Spiering. Deze soort werd in de paaitijd zeer intensief bevestigd en is bovendien gevoelig voor veranderingen in watertemperatuur, doorzicht en voedselbeschikbaarheid. Omdat Spiering nog sneller achteruit ging dan het totale visbestand werd de visserij vanaf 2004 niet meer elk jaar opengesteld. Sindsdien werd nog wel gevestigd in 2006, 2009 en 2012.</p> <p>Deze verandering in visserijbeheer, later uitgewerkt in het "spieringprotocol" uit 2007 en een herijking daarvan in 2013, is dus gekoppeld aan de recente fluctuaties in de aanlanding van Spiering. Er is in deze periode echter nooit langer dan twee jaar achtereen niet gevestigd, en er is nog geen sprake van herstel van de populatie. Er zijn aanwijzingen dat ook klimaatverandering bij deze soort een rol speelt (Noordhuis, 2014).</p>
<p>NMIJ Referenties: Noordhuis (2014)</p>

REFERENTIES

NMIJ referenties

Bak, A., van den Boogaard, B., Didderen, K. (2014) Onderwater natuurrif van rifballen. Veldexperiment in de Waterproeftuin van het Markermeer in het kader van het onderzoeksprogramma Natuurlijk(er) Markermeer-IJmeer. Eindrapport 2014. Bureau Waardenburg BV rapportnr 14-216. Dec 2014

Bakker, M., Vijverberg, T. (2013). NMIJ scenario berekeningen zomer 2013.

Bakker, M., Vijverberg, T. (2014). NMIJ scenario berekeningen 2014. 9V6742.A2/R0199/903718/MJANS/Nijm

Boskalis en Witteveen + Bos (2015). Eindrapport GC-rif Markermeer. PPD22-1/15-003.420.

Bouma, S., Broeckx, P.B. (2011). Ecologisch veldonderzoek Houtribdijk en Oostvaardersdijk. Methodieken en resultaten. Bureau Waardenburg rapportnr 11-170.

Buskens, R.F.M., den Held, S. (2012). Update initiële bureaustudies ecologie NMIJ rapport 9V6742A2_R0022.

Buskens, R., Zweers, H., Klijnstra, G. (2012) Resultaten monitoring 2012. NMIJ rapport 9V6742.A3.0147.

Didderen, K., Bergsma, J.H., Beuker, D., Fijn, R.C. (2014) Marker stapsteen. Eindrapport 2013-2014. Bureau Waardenburg rapportnr 14-215.

Droog, M. (2011) Effectbeoordeling ecologie. NMIJ rapport 9V6742.A2.R00061.

Evers, N., R. Buskens en F. van Herpen (2011). Resultaten monitoring bestaande structuren NMIJ. 30 november 2011. NMIJ rapport 9V6742.A3/R00062

Knoben, R.A.E. (2012) Integraal tussenadvies NMIJ 2012 deel B. Inhoudelijke onderbouwingen en onderzoeksresultaten per thema en maatregel. NMIJ rapport 9V6742.A1/R0161

Knoben, R.A.E. & R.F.M. Buskens (2013). Notitie vooroever Lepelaarplassen. NMIJ interne notitie 9V6742.0A2.100/M0001.

Knoben, R.A.E. (2014) Integraal tussenadvies NMIJ 2013 deel B. Inhoudelijke onderbouwingen en onderzoeksresultaten per thema en maatregel. NMIJ rapport 9V6742.A1/R0187. Febr 2014.

Knoben, R.A.E. & Haarman, F. (2015). NMIJ Notitie semi-open verbinding. Febr. 2015.

Knoben, R.A.E., Noordhuis, R. & Haarman, F. (2015). Interne NMIJ notitie ecologische doelen.

Noordhuis, R. (2014). Evenwichtige vispopulatie Markermeer; antwoorden op vragen vanuit project NMIJ. Deltares rapport 1201198-016.

Rosenbrand, E., Kanger W., de Kant, M. (2015). NMIJ Aanlegstrategie en kosten, NMIJ rapport.

Schoonen (2015). Eindrapport GC-rif Markermeer. Referentie PPD22-1/15-003.420. concept1.

Schuurman, F., Boderie, P. (2014). Update Bureaustudie Slib 2014.

Snijders (2015). **Error! Reference source not found..** NMIJ rapport 9V6742.0204. febr 2015.

Van den Berg, L.J.L., van Riel, M., Bakker, L. (2014). Markermeermoeras. Nieuwe kansen voor Natura2000. Centre for Wetland Ecology. rapportnummer: 2014.01

Van den Berg, T. (2012). Natuurlijk(er) Markermeer IJmeer - Eerste scenario berekeningen Delft-3D slibmodel versie III.

Van den Wijngaarden, K. ,C. Hofman, J. van den Herik & H.Wanningen (2014). Proef optimalisatie vismigratie Oranjesluizen. Def.concept okt 2014.

Van den Wijngaard, K., Hofman, C., van Herik, J., Wanningen, H. (2014). Proef optimalisatie vismigratie Oranjesluizen. Eindrapportage.

Van der Wal, M., Coops, H. (2015). Veldexperiment afzinken rietoevers. Resultaten monitoring 2012-2014 (2014). Deltares 1205683-000.

Van Herpen, F.(2010). Initiële bureaustudie Ecologische verbindingen & habitatdiversiteit. NMIJ rapport 9V6742.A2/R00022

Van Herpen, F. (2015) NMIJ Notitie kosten ecologische verbindingen.

Van Herpen, F., den Held, S., Noordhuis, R. (2010). Initiële bureaustudie habitatdiversiteit. NMIJ rapport 9V6742.A2/R00019

Van Herpen, F., Noordhuis, R. (2014) Update initiële bureaustudies ecologie NMIJ rapport 9V6742A2_R0168.

Van Herpen, F. , den Held, S., Buskens, R., de Rooij, G. (2015). Natuurlijk(er) Markermeer-IJmeer; bureaustudie ecologische verbindingen en habitatdiversiteit. NMIJ rapport 9V6742-R213.(integratie van eerdere bureaustudie en updates)

Van Kerkvoorde, M.S. (2015) Eindrapportage ecologische monitoring pilot moeras 2014. Rapport Buro Bakker. In opdracht van Aanemersbedrijf Gebr. Van der Lee.

Vijverberg, T. (2013). Update Bureaustudie Slib. V6742.A2/N0091/903718/MJANS/Nijm, februari 2013.

Vijverberg T. , Boderie P. en Noordhuis R. (2015). Rapportage Maatregel Afdekken. 9V6742.A02/R0208/903718/BW/Nijm

Vijverberg, T., Knoben, R., Dankers, P. en Van Herpen, F. (2011). Inventarisatie mogelijkheden Locatie en Omvang Verdiepingen.

Vijverberg, T., Knoben, R. en Boderie, P. (2012). Resultaten Veldexperiment luwtestructuur - Invulling kennisleemten en beantwoording onderzoeksvragen. 9V6742.A2/R0155/903718/VVDM/Nijm

Visser K.P., Vijverberg T. (2010) Natuurlijker Markermeer-IJmeer - Initiële bureaustudie slib 2010. Royal Haskoning. 9V6742.A5

Wielakker, D., J.Kollen, B, van den Boogaard, I. van Gogh, D.Beuker (2014) Marker Kwelderwerken. Eindrapportage monitoring. Rapport nr. 14-217

Externe referenties

Bal, D., H.M. Beije, M. Felliger, R. Haveman, A.J.F.M. van Opstal en F.J. van Zadelhoff (2001). Handboek natuurdoeltypen. Rapport Expertisecentrum LNV 2001/020, Wageningen.

Bij de Vaate, A. (1991) Distribution and aspects of population dynamics of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), in the Lake IJsselmeer area (the Netherlands), *Oecologia* 86 (1), 40-50.

Blokland, T., 2013. Markermeer Moereseiland ontwerp van randen. Gemeente Rotterdam.

Boderie, P., Genseberger, M. (2010). Modelstudie Geleidestructuren - Bepaling locatie en omvang.

Boderie P., M. van der Wal, T. van Kessel en M. Genseberger (2010). Aanslibbing vaargeul Amsterdam Lemmer, Deltares rapport 1202714-000-ZWS-0006

Boderie, P. en Hulsbergen, R. (2009). Modelstudie Slibmaatregelen Eemmeer. Fase I Modelkalibratie en varianten; Fase II Trace- en uitvoeringsvormen. Deltares rapport 1002026 (Q4524).

Breugem, W. A. and L. H. Holthuijsen, 2006, Generalised wave growth from Lake George, J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Reston, VA, ASCE (in press).

Bureau Waardenburg (ongepubliceerd) Meetgegevens driehoeksmosselen aan luwtestructuren bij de Gouzee, Muiden en Pampushaven. Veldonderzoek 2007.

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

DPIJ, Deltaprogramma IJsselmeergebied (2013). Het nieuwe peil.

DPIJ, Deltaprogramma IJsselmeergebied (2014). Synthesedocument. Achtergrond document B5. Juni 2014

Delsman J., R. van Duinen, W. Gotjé, N. Kramer, K. Meijer, A. de Wit (2009). Bijlagen rapport Effecten van peilveranderingen in het IJsselmeer en het Markermeer-IJmeer. Quick scan seizoensgebonden peil. Deltares rapport.

Doef, R.W. (2004). Verkenning mogelijke oplossingen slibproblematiek Markermeer. RDIJ werkdocument 2004-3, Rijkswaterstaatb direct IJsselmeergebied, Lelystad.

Duin, E.V., Blom, G., Los, H., Maffione, R., Zimmerman, R., Cerco, et al. (2001) Modeling underwater light climate in relation to sedimentation, resuspension, water quality and autotrophic growth. *Hydrobiologia*, 444(1), 25–42.

Genseberger, M., Uittenbogaard, R., Geest, G. (2009) Aanvullingen Besluit-MER Loosdrechtse plassen. Deltares. Q4700 (werkdocument), Delft.

Genseberger M. en Boderie P. (2009). Simulaties hydrodynamica & slibtransport scenario's Toekomstbeeld Markermeer. Deltares rapport 1200097.007.

Genseberger, M., Wal M. van der, Burger, D. en Kessel, T. van (2009). Model quickscan to test Almere City extension options. 1200424-000-ZWS-0003

Genseberger, M. (2010). Alternatief voor verminderen slib Markermeer-IJmeer. Deltares, 2010. Rapport 1201198-000-ZWS-0007.

Genseberger, M. (2011). Quickscan slibeffecten verbreding gedeelte vaargeul Markermeer. Deltares 1205557.

Genseberger, M., Pennekamp, J., Groot, S. (2011). Resultaten 'Fase 2/3 – Verbetering Waterkwaliteit Loosdrecht'. Deltares rapport 1203484-001-ZWS-0001

Noordhuis, R., Genseberger, M., Thiange, C., (2014). Luwtemaatregelen Hoornse Hop - Bijdrage Deltares aan MIRT verkenning Hoornse Hop. 1207128-000-ZWS-0010.

Haarman, F., R. Noordhuis & R. Buskens (2012). Kostenraming maatregelen ANT vogelsoorten Markermeer-IJmeer. Royal Haskoning/Deltares.

Kessel, T. van (2013). Aanslibbing Markerwadden memo 2013:1-8.

Kessel T. van, De Boer G, Boderie P. (2009). Calibration suspended sediment model Markermeer. Deltares rQ4408.

Klinge, M., (2012). Luwtestructuren, de essentie van het TBES. Naar een stapsgewijze realisatie van doelen. Witteveen+Bos.

Klink, A.G., (1985). Diepe putten en geulen in het IJsselmeer en Randmeren. Resultaten van het hydrobiologisch onderzoek uitgevoerd in 1984. Tabellen en een korte evaluatie *Hydrobiol. Adviesburo Klink Rapp. Meded. 14: 3 pp. + bijl.*

Kollen, J. & H. Jaspers (2012). Twee halen, één betalen. Ecologie en veiligheid Markermeer. Rapport Grontmij, Alkmaar (Marktvraag WMIJ).

Koning J, Ente. (1986). Inslibbing zuigputten IJsselmeergebied. Rijkswaterstaat Riza. werkdocument 1986 -42 abw.

Lamers, L. et al (red.) Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. Eindrapportage 2006-2009 (fase 2). Ministerie LNV.

Lucas Pardo, M.A. de (2014). Effect of biota on fine sediment transport processes. A study of Lake Markermeer. Dissertatie T.U. Delft.

Maarse M. & R. Noordhuis (2012). Effecten van peilstrategieën op de Natura 2000 doelen in het IJsselmeergebied. Rapport Deltares, Utrecht.

Maronier, V., Koenraadt, R. (2014). MIRT 2 Verkenning Luwtmaatregelen Hoornse Hop – Verkenningenrapport. Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Meijer, K., Delsman, J., Duinen, R. van, Gotjé, W., Kolff, G. van der, Kramer, N., Wit, A. de (2009). Effecten van peilveranderingen het IJsselmeer en Markermeer-IJmeer. Quick scan seizoensgebonden peil. Deltares.

Menninga, J., van der Baan, J., Steetzel, H., van Rijn, B. (2015); Oeverdijkrapportage deel 2 – basisontwerp. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier rapport Oeverdijkrapportage_Basisontwerp_v150521

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2010). Handreiking MIRT verkenning.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2011). Rijksstructuurvisie Rijk-Regio-Amsterdam-Almere-Markermeer, (RSV RRAAM). Naar een toekomst bestendig ecologisch systeem. Optimalisatierapport Werkmaatschappij.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2012). Rijksstructuurvisie Rijk-Regio-Amsterdam-Almere-Markermeer (RSV RRAAM). Een toekomstbestendig Markermeer-IJmeer. Eindrapport Werkmaatschappij Markermeer-IJmeer.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2013). Rijksstructuurvisie Rijk-Regio-Amsterdam-Almere-Markermeer (RSV RRAAM), november 2013.

Mols, H.J.M.A., (2006). Kosten- en efficiëntieberekening aanleg dammen. Witteveen+Bos.

Natuurmonumenten (2012).Verdiepingslag Marker Wadden - Effecten op Natura 2000.

Noordhuis, R. & J. van Schie (2007) Vooroevers Houtribdijk: toestand ecologie en waterkwaliteit 2006. Inventarisatie van waterplanten, watervogels, driehoeksmosselen, fysische en chemische parameters. RWS Riza rapport 2007.006.

Noordhuis R. (2013) ANT Kennisdocument. Deltares. 1202088.

Noordhuis, R., S. Groot, M. Dionisio Pires, M. Maarse (2014). Wetenschappelijk eindadvies ANT IJsselmeergebied. Vijf jaar studie naar kansen voor het ecosysteem van het IJsselmeer, Markermeer en IJmeer met het oog op de Natura-2000 doelen. Deltares rapport 1207767-000.

Penning E., M. Genseberger, R. Uittenbogaard & G. van Geest (2009). Aanvullingen BesluitMER Loosdrechtse Plassen. Deltares, Delft.

Penning, W.E.P (2012). Ecohydraulics in large shallow lakes: implications for management. PhD, TU Delft

Royal HaskoningDHV (2013). Rapport MarkerWadden Resultaten Slibberekeningen, reg. nr: BA8757-103-104/R/903718/Nijm.

Sas, H., (2007) Vooroever als land water zone MM-IJM.

Smale A.J, J.H. de Vroeg & A. Cape (2012); Meerwaarde luwtestructuur voor oeverdijk. Deltares rapport 1206471-000-HYE-0006.

STOWA (2010) Een heldere kijk op diepe plassen. STOWA rapport nr 2010-38.

Toorman, E.A. & K.C. Leurer (2000). An improved data-processing method for consolidation column experiments. Report HYD/ET/00/COSINUS8, Hydraulics Laboratory, K.U.Leuven.

Uittenbogaard R., E. Penning & M. van der Vat (2008). Bijdrage MER - Verdiepingen Loosdrechtse Plassen. WL Delft Hydraulics. Q4461.04. waterkwaliteit Loosdrecht. Deltares, Delft

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

Vijverberg, T., Knoben, R. & Boderie, P., (2013). Resultaten Veldexperiment Luwtestructuur Invulling kennisleemten en beantwoording onderzoeksvragen. Royal HaskoningDHV.

Wichman, dr. B.G.H.M. (2012); Synergie veiligheid en ecologie – verkenning oeverdijk met TBES maatregelen. Deltares rapport 1205256-000-GEO-0012.

Zuidam, B. van en Peeters, E. (2015). Wave forces limit the establishment of submerged macrophytes in large shallow lakes, Limnology and Oceanography, in prep.