

Inventarisatie mogelijkheden Locatie en Omvang Verdiepingen

Stand per najaar 2011

Rijkswaterstaat IJsselmeergebied

27 maart 2012 – update september 2015

Definitief rapport

9V6742.A2



Documenttitel Inventarisatie mogelijkheden Locatie en
Omvang Verdiepingen
Stand per najaar 2011

Verkorte documenttitel

Status Definitief rapport

Datum 27 maart 2012 – update september 2015

Projectnaam Natuurlijker Markermeer IJmeer (NMIJ)

Projectnummer 9V6742.A2

Opdrachtgever Rijkswaterstaat IJsselmeergebied

Referentie 9V6742.A2/R0200/903718/BW/Nijm

Auteur(s) Thomas Vijverberg, Roel Knobens, Petra Dankers,
Frank van Herpen

Collegiale toets Roelof Moll

Datum/paraaf 27 maart 2012

Vrijgegeven door Fred Haarman

Datum/paraaf 27 maart 2012



INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel van deze rapportage	1
1.3	Structuur van het rapport	1
2	EFFECTEN VERDIEPINGEN OP SLIBGEHALTE	2
2.1	Inleiding	2
2.2	Stand van zaken – kennisniveau	2
2.2.1	Effectiviteit van verdiepingen	3
2.2.2	Locaties en schaal (oppervlak)	3
2.2.3	Vorm en diepte	4
2.2.4	Bestaande verdiepingen	5
2.2.5	Verdiepingen in relatie tot andere maatregelen	6
3	EFFECTEN VERDIEPINGEN OP WATERKWALITEIT / ECOLOGIE	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Stand van zaken – kennisniveau	7
3.2.1	Waterkwaliteitseffecten	7
3.2.2	Ecologische effecten	9
3.3	Conclusie	11
4	VERDIEPINGEN IN RELATIE TOT ANDERE FUNCTIES	13
4.1	Inleiding	13
4.2	Hydrologische effecten slibput met doorsnijding deklaag (Kwel)	13
4.2.1	Achtergrond	13
4.2.2	Kwel	13
4.2.3	Hydrologische analyse: Spreidingslengte in het Markermeer	14
4.3	Ontgrondingslocaties	15
4.3.1	Locaties en vergunningen Pilot Moeras	15
4.3.2	Huidige ontgrondingsmethodieken en locaties	17
4.3.3	Ontgrondingslocaties en zandvraag van de toekomst	18
	REFERENTIES	19

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

In het project Natuurlijk(er) Markermeer IJmeer (NMIJ) is Royal HaskoningDHV, als Managing Contractor van het project, bezig geweest met het opdoen van (nieuwe) kennis en het opzetten van pilot experimenten. Hiervoor zijn initiële bureaustudies en modelstudies uitgevoerd en veldmetingen verricht bij bestaande structuren en bij het veldexperiment Luwtestructuur. Op dit moment is de pilot Moeras in een afsluitende fase.

Lopende het project is het wenselijk om de opgedane kennis in een rapportage vast te leggen. Een tussentijdse rapportage geeft de mogelijkheid om een stand van zaken te geven over een bepaald onderdeel en om nieuwe zaken uit te zoeken. Deze kennis kan dan met anderen worden gedeeld. Deze rapportage gaat over het onderwerp verdiepingen.

Het belangrijkste aspect is dat er inzicht moet zijn over locaties waar verdiepingen in het Markermeer en IJmeer effectief zijn. Dit zal in een later stadium worden onderzocht met behulp van modelstudies. Daarnaast dient er inzicht te zijn in het slibgedrag boven putten of vaargeulen en de snelheid van toename van de sliblaag.

In de initiële bureaustudie over Verdiepingen (9V6742.A5/R0033/903718/VVDM/Nijm, 31 augustus 2010) zijn deze zaken al uitvoerig aan de orde gekomen. Hierdoor kon al in grote lijn antwoord gegeven worden op de vraag waar verdiepingen effectief zijn en wat het slibgedrag is in de nabijheid van verdiepingen.

Aanvullende kennis is echter nodig om de vragen nog beter te kunnen beantwoorden. Vooral andere dan slib gerelateerde aspecten dienden verder te worden uitgezocht. Hierbij zijn ecologische effecten van verdiepingen belangrijk, als ook effecten van verdiepingen op bijvoorbeeld kwel, dijken (veiligheid), scheepvaart en zandwinning.

1.2 Doel van deze rapportage

Het doel van deze rapportage is vastleggen van de huidige kennis (najaar 2011) over toepassen van verdiepingen in het Markermeer. In dit rapport komen ecologische aspecten aan de orde, evenals relaties van verdiepingen naar andere functies. Daarnaast wordt een samenvatting gegeven van het kennisniveau van de effecten van verdiepingen op slibgehalte.

Hiermee geeft dit document een totaal overzicht van het kennisniveau over verdiepingen van dit moment, het najaar 2011.

1.3 Structuur van het rapport

In hoofdstuk 2 wordt een samenvatting gegeven van het kennisniveau van de effecten van verdiepingen op het slibgehalte. Hoofdstuk 3 gaat in op de ecologische aspecten van verdiepingen. In hoofdstuk 4 is aandacht voor verdiepingen in relatie tot andere functies en processen op het Markermeer.

2 EFFECTEN VERDIEPINGEN OP SLIBGEHALTE

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van de kennis van het effect van verdiepingen op slib. Zoals al in de inleiding van dit rapport is opgemerkt, was een groot deel van de kennis over dit onderwerp al aanwezig toen de initiële bureaustudie is geschreven (zomer 2010). In de tussentijd is er geen / nauwelijks nader onderzoek gedaan naar dit onderwerp. Dit was en is ook niet nodig als men de onderzoeksvragen bekijkt. Op alle vragen kunnen wij een helder antwoord geven. Dit wordt in dit hoofdstuk gedaan.

De onderzoeksvragen over het onderwerp Verdiepingen die aan de MC zijn gesteld zijn:

S17 Op welke locaties hebben verdiepingen het grootste effect ten aanzien van de reductie van slib?

S18 Op welke schaal moet verdieping plaatsvinden om significant effect (> 90 cm) te sorteren op het gemiddeld doorzicht?

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?)

S22 Hoe effectief zijn verdiepingen in de vorm van putten, geulen en dergelijke om slib af te vangen of om de stroming te beïnvloeden?

S22aRH Begrijpen we de aanslibsnelheid, bronsamenstelling en consolidatie in proefputten.

S23 Hoeveel bedraagt de relatieve bijdrage van verdiepingen ten opzichte van de andere voorgestelde maatregelen om het slibgehalte te reduceren?

S23aRH Aanscherping van onderzoeksvragen 17, 22 en 23: effectiviteit putten in combinatie met andere maatregelen?

S26 Wat kunnen we leren van bestaande putten?

2.2 Stand van zaken – kennisniveau

Het kennisniveau over Verdiepingen is in de afgelopen jaren ontstaan, door onder andere de volgende studies:

- Afstudeerwerk en publicatie van Thomas Vijverberg (uitgevoerd in 2008 en 2010). Thomas is op dit moment direct werkzaam binnen NMIJ;
- Verschillende studies met scenarioberekeningen voor maatregelen (incl. Verdiepingen) in het Markermeer, uitgevoerd door Deltares (o.a. Pascal Boderie) in de jaren 2008-2011;
- Studie naar aanslibbing in de vaargeul Amsterdam – Lemmer, in 2010 uitgevoerd door Deltares (o.a. Pascal Boderie). Pascal is op dit moment ook direct werkzaam binnen NMIJ.

2.2.1 Effectiviteit van verdiepingen

Putten beïnvloeden de stroming rondom de put maar dat is buiten de invloedssfeer van de put (enkele 100den meters) niet van belang. Het relevante deel van de effectiviteitsvraag gaat over het invangen van slib in putten en verdiepingen. Dat doen putten waarbij de lengte en breedte min of meer gelijk zijn en die dieper zijn dan $\pm 6-7$ m effectief (aanslibbing maximaal 2 m per jaar) omdat er geen erosie meer optreedt als de bodem van de verdiepingen lager is dan dit niveau. Deze putten vangen dan netto (=effectief) slib in. Dit heeft vooral te maken met de variabele windrichtingen waardoor de stroming uit verschillende richtingen kan komen. Modelberekeningen ondersteunen de vorm en ligging van deze scherpe grens.

Langwerpige verdiepingen, zoals bijvoorbeeld een vaargeul, vangen minder effectief slib in omdat in de lengterichting van zo'n verdieping een sterkere (windgeïnduceerde) stroming (kan) ontstaan dan buiten de put (put trekt stroming aan). Deze stroming zorgt ervoor dat sedimentatie minder effect is. De onderzochte verdieping in de vaargeul bij zandwinput IJburg slibt met maximaal 2 m per jaar dicht. Dat is even snel als de onderzochte putten buiten de vaargeul. De diepte waarbij een omslag plaatsvindt naar langzamere netto aanslibbing is circa -10 m NAP. Dit is beduidend dieper dan voor kleine putten buiten de vaargeul (omslag bij -6 à -7 m NAP). Een put kan stroming aantrekken, en berekeningen met het slibmodel laten zien dat een dergelijke stroming in de geul daadwerkelijk ontstaat en sterk genoeg is om ongeconsolideerd materiaal in de put in de vaargeul te eroderen tot een diepte van -10 m NAP.

De beste schatting van de aanslibbingsnelheden op basis van lodinggegevens bedraagt 1,5 à 2,0 m per jaar. 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.

Op de vraag of putten een effectief middel zijn om op de schaal van het Markermeer de slibconcentratie in het water significant te verlagen is het antwoord nee, tenzij de omvang van de putten dezelfde orde grootte als de schaal van het Markermeer krijgen.

2.2.2 Locaties en schaal (oppervlak)

Op plaatsen waar de slibconcentratie hoog is, bijvoorbeeld in het centrale deel van het Markermeer, verlagen putten de slibconcentratie het meest (grootste verlaging slib in het water boven de verdieping). Verdiepingen hebben vooral een lokaal effect op het slibgehalte (verlaging slibgehalte ± 30 tot 40 mg/l) en wel ter hoogte van en in de directe nabijheid van de verdieping. Om een significante verbetering van doorzicht te krijgen moeten dus significant grote verdiepingen worden toegepast (qua oppervlak). Daarnaast kan het zijn dat door algengroei (bevordert door helderder water nabij en boven de put), alsnog het doorzicht niet verbetert. Als dit gebeurt hebben diepe putten geen effect. Het ANT rapport (Groot et al, 2011) zegt hierover:

‘Veel van de “nieuwe” algen groei mogelijk bentisch of hebben in elk geval een hoge zinksnelheid, en komen pas in de waterkolom door opwerveling bij wind. Bij lage windsnelheden zijn de chlorofylgehalten tegenwoordig zeer laag. Chlorofylgehalten in de beschutte delen van het meer zoals Hoornsche Hop zijn in het algemeen lager dan in het open water.

Bij golfreductie door kunstwerken neemt de hoeveelheid algen in de waterkolom mogelijk toe ten opzichte van de golfhoogte, maar absoluut gezien zal waarschijnlijk sprake zijn van afname. Wel moet de kanttekening worden gemaakt dat het incidenteel optreden van drijfslagen van blauwalgen daarmee nog niet is uitgesloten.'

Het ANT rapport geeft verder aan dat verdiepingen zouden kunnen worden gebruikt als ingrepen ten gunste van de instandhoudingsdoelen. Verdiepingen zouden beperkt en niet verspreid over het Markermeer kunnen worden toegepast.

De schaal waarop verdiepingen moeten worden toegepast om de benodigde doorzichtverbetering te bewerkstelligen is derhalve bekend; nog onbekend is de respons van algen hierop.

Toepassing van een verdieping van orde 10 km² centraal in het meer gelegen, geeft een significant effect op doorzicht over een aanmerkelijk oppervlakte, vooral westelijk van de verdieping. Een nog grootschaliger toepassing (orde 30 km²) heeft invloed op het gehele Markermeer. Het is voor de schaal van het Markermeer effectiever om één of enkele grote verdiepingen te realiseren dan meerdere kleine.

Ook het grootschalig verbreden van de vaargeul heeft een dergelijk effect (Genseberger, 2011). Het effect van de halterput (kruisvormige put in het midden van het meer) en de verbreding van de vaargeul op de sedimentconcentratie in de waterkolom is globaal. Dit vertaalt zich niet alleen naar een lagere sedimentconcentratie bij de Hoornsche Hop, maar ook in andere gedeelten bij de kust (o.a. bij Waterland, Oostvaardersplassen, Houtribdijk), het IJmeer en het binnengebied van het Markermeer is het effect te zien. Onderling vergeleken is de verbreding van de vaargeul effectiever dan de halterput, dit is te verklaren door het grotere oppervlak dat de verbreding bestrijkt.

2.2.3 Vorm en diepte

De oriëntatie van verdiepingen heeft sterke invloed op de efficiëntie van de slibinvang. Verdiepingen die met hun lengterichting loodrecht op de overheersende stromingsrichting worden aangelegd zijn effectiever dan verdiepingen met parallelle richting (Vijverberg, 2008). De oorzaak hiervan is gelegen in de afname van de (dieptegemiddelde) stroomsnelheid bij verdiepingen loodrecht op de stroomrichting en toename ervan bij parallelle verdiepingen (Van Rijn 2005 en Jenssen 1999). Een toename van stroomsnelheid leidt tot meer opwerveling en een verlaging juist tot extra sedimentatie. Omdat in het Markermeer stroomrichtingen vaak wisselen zal elke verdieping sediment invangen mits de verdieping diep genoeg is.

Richtinggevoeligheid is vanzelfsprekend niet van belang voor cirkelvormige putten. Echter ook een zogenaamde halterput (Vijverberg en Boderie, 2008) kent weinig richtinggevoeligheid.

De taludhelling van de put heeft theoretisch invloed op de aanslibbing in de verdiepingen. Op steilere hellingen neemt de dichtheidstroming immers toe. Omdat dichtheidsstroming een relatief geringe bijdrage aan de aanslibbing levert blijkt dit effect in praktijk in het Markermeer niet aantoonbaar (S. vd Brenk 2002 en Boderie 2010). Daarbij komt dat voor hellingen met een talud steiler dan 1:5 de turbulentie als gevolg van het loslaten van stroming toeneemt.

Ook in modelstudies met Delft3D (Vijverberg, 2008) is aanslibbing nagenoeg gelijk in de twee onderzochte putten met een verschillend talud (1:15 en 1:20). In praktijk worden putten normaal met steilere helling aan gelegd, orde (1:4 tot 1:10).

In diepe geïsoleerde putten in het Markermeer (proefputten A en B) neemt de netto aanslibbing vrij plots sterk toe 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 put wordt ingevangen en beneden de erosiedrempel komt, kan er niet meer uit ontsnappen. De aanslibbing is dan gelijk aan de bruto sedimentatie (de beste schatting van de aanslibbingsnelheden op basis van lodinggegevens bedraagt 1,5 à 2,0 m per jaar). Modelberekeningen ondersteunen de vorm en ligging van deze scherpe grens. De erosiedrempel ligt op grotere diepte (orde 10 m -NAP) wanneer naast windgolven ook stroming voor erosie zorgt. Dat is bijvoorbeeld het geval wanneer de verdieping in de vaargeul Amsterdam-Lemmer ligt.

Fluffy laag

De zachte bodem-toplaag is het meest gevoelig voor transport via dichtheidsstroming. Dit wordt bevestigd doordat relatief veel fijn slib wordt gevonden in sedimenten van de proefputten A en B. Om te voorkómen dat slib door dichtheidstroming in de put terechtkomt, zou een soort ring van enkele decimeters om de verdieping heen moeten worden gelegd.

2.2.4 Bestaande verdiepingen

In het Markermeer zijn niet veel bestaande verdiepingen meer aanwezig waar wij nieuwe informatie uit kunnen halen. Oudere studies geven ons wel informatie, maar omdat bij deze studies niet alle interessante parameters zijn gemeten, kunnen deze studies maar beperkt worden gebruikt voor de beantwoording van de onderzoeksvragen.

Het gaat hierbij vooral om de proefputten A en B die vanaf 1990 hebben gefunctioneerd. Hierbij zijn maximale sedimentatiesnelheden van orde 1.5-2 m per jaar gevonden, wanneer de putten voldoende diep waren (> 6 a 7 m -NAP). Aanslibbing in putten waar nog erosie als gevolg van golven mogelijk optreedt is veel geringer (orde decimeters). 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.

Metingen aan putten levert weinig harde informatie over het aandeel dat dichtheidstroming heeft op de aanslibbing. Vijverberg (2008) schat deze bijdrage op 20%. In Boderie et al (2010) wordt betoogd dat 20% eerder een maximale dan typische waarde is. Naarmate de put kleiner is neemt de bijdrage van dichtheidsstroming toe.

De effecten van proefputten (1982/1983) lijken zeer beperkt te zijn tot de directe omgeving van de putten (3 tot 6 x omvang put). Positieve invloed op de waterkwaliteit is alleen direct boven zeer diepe putten merkbaar (Doef, 2004). Door de beperkte oppervlakte van de putten is het effect van proefputten in het Markermeer op de troebelheid van de waterkolom heel gering gebleken.

2.2.5 Verdiepingen in relatie tot andere maatregelen

Het effect van verdiepingen in relatie tot andere maatregelen kan niet direct worden bepaald. Dit hangt voornamelijk af van de dimensionering en positionering van zowel de andere maatregelen, als de verdiepingsmaatregel. Met bestaande kennis geconsolideerd in het slibmodel is een configuratie van maatregelen door te rekenen waarbij op basis van de resultaten de bijdrage van putten vast is te stellen. De relatieve bijdrage van maatregelen kan daarbij genormeerd worden op bijvoorbeeld afmeting of kosten.

Wel kan worden gesteld dat voor het realiseren van voldoende doorzicht in ondiepe zones 'stand alone' putten per definitie niet geschikt zijn. Voor het realiseren van TBES is het daarom zinvol gebleken naast stand alone putten ook verdiepingen in samenhang met andere maatregelen te bekijken. Onderstaand worden twee voorbeelden uitgewerkt.

Put "stand alone"

- Vermindering slibgehalte leidt tot beter doorzicht (verbetering doorzicht (een gradiënt van 35 cm tot 90 cm) en mogelijk tot meer algen (productiever ecosysteem) boven of vlak in de buurt van de put;
- Vermindering slibgehalte op schaalniveau van het Markermeer is alleen te verwachten bij zeer grote putten (volume ~ 300 miljoen m³);
- Een put waaruit ingevangen slib niet meer ontsnapt heeft een maximale aanslibsnelheid. Zo'n put heeft een minimale diepte van 6 a 7 m –NAP. De talud helling lijkt niet van belang voor de aanslibsnelheid;
- Deze putten leiden niet tot een vermindering van het slibgehalte in ondiepe delen (tot 2 m) en hebben dus geen positief effect voor waterplanten.

Put in combinatie met luwtestructuur (effectbeoordeling van de put)

- Door een luwtestructuur vindt extra aanslibbing op de bodem plaats. Dat is ecologisch ongunstig voor bijvoorbeeld mosselen en waterplanten. Door de aanslibbing (gedeeltelijk) in een diepe put in te vangen kunnen ondiepe ecologische waardevollere delen worden beschermd tegen overmatige aanslibbing;
- Geleidestructuren beïnvloeden de stroming en dus ook het slibtransport. In de openingen tussen de geleidestructuren kan nog wel slibtransport plaatsvinden. Deze openingen zijn vaak wel gewenst voor scheepvaart. Door in deze openingen een verdieping te maken kan een deel van het slibtransport door de openingen worden afgevangen. Putten kunnen dus slim in combinatie met geleidestructuren worden ingezet;
- Daarnaast laat een recente studie van Deltares (Genseberger 2010) zien dat de effectiviteit van luwtemaatregelen kan worden vergroot door verdiepingen (bijvoorbeeld verbreden van de vaargeul Amsterdam Lelystad).

3 EFFECTEN VERDIEPINGEN OP WATERKWALITEIT / ECOLOGIE

3.1 Inleiding

Het Markermeer is een ondiep meer. Ecologische processen in ondiepe meren worden vooral gestuurd door waterplanten en algen. In de specifieke situatie van het Markermeer komt daarbij nog de invloed van doorzicht door slibhuishouding. Voor diepe meren en plassen zijn waterdiepte en waterbodem belangrijke ecologische sturende factoren. Lokale verdiepingen in het Markermeer zorgen ervoor dat het Markermeer op deze plekken karaktertrekken krijgt van een diepe plas.

Dit hoofdstuk gaat in op de onderstaande onderzoeksvragen:

- *S24 Wat zijn de ecologische effecten, let ook op rol verdieping voor creëren habitatdiversiteit bijvoorbeeld voor refugia vis etc.?*
- *S25 Wat is de relatieve bijdrage van verdiepingen in relatie tot de andere maatregelen voor slibreductie op de realisatie van een veerkrachtig ecologisch systeem?*

3.2 Stand van zaken – kennisniveau

Sinds eind jaren 70 is er veel onderzoek gedaan en geschreven over diepe putten in het IJsselmeergebied. De achtergrond lag aanvankelijk in de zandbehoefte voor infrastructuur, maar later ook voor het bergen van baggerspecie. Ook in het kader van vergunningverlening voor ontgronders is veel gedaan. De vraagstelling is dus verschoven maar de ecologische voors en tegens zijn daardoor diverse keren en vanuit verschillende invalshoeken beschreven. Regionale beheerders hebben ook regelmatig diepe putten onderzocht, maar dat waren vaak geïsoleerde plassen, waar het diepe deel dus vrijwel het hele oppervlak van de plas omvat. In het Markermeer zal dat nooit het geval zijn. In 2010 is er een STOWA-rapport verschenen waarin de huidige kennis over ecologisch functioneren van diepe meren wordt beschreven (STOWA, 2010).

3.2.1 Waterkwaliteitseffecten

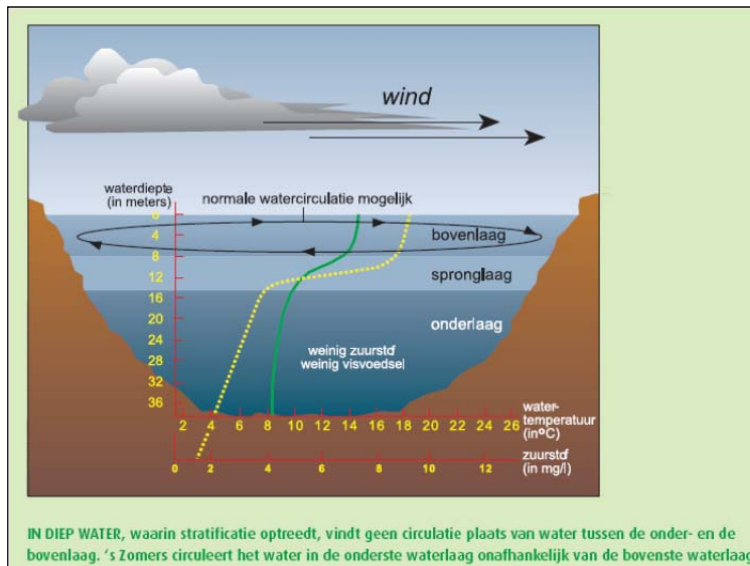
Stratificatie

Het belangrijkste bezwaar tegen verdiepingen is steeds het optreden van thermische stratificatie geweest. De zuurstofloze onderlaag (hypolimnion) leidt bij najaarsomkering tot fosfaatnalevering uit de diepe bodem en zwavelwaterstof zou vrij kunnen komen met lokale vissterfte tot gevolg. Bij de najaarsomkering wordt het zuurstofloze water uit de diepte met de ondiepe laag gemengd en kan leiden tot lokale ongewenste effecten (STOWA 2010).

In de jaren 70 en 80 is aan twee proefputten in het Markermeer het optreden van deze stratificatie inderdaad aangetoond (Rijkswaterstaat, 1990). De stratificatieperiode van de putten varieerde van 3 tot 23 dagen waarbij tijdens de zomer 3 à 4 van deze stratificaties voor kwamen. Voor ontgroningen in het IJmeer vlak onder de kust (dus beschermt) is een stratificatieperiode van 3-4 maanden gevonden. De diepte van de spronglaag en zuurstofgehaltes van hypolimnion zijn afhankelijk van de ligging van de put. Gezien de beperkte omvang van de putten ten opzichte van het totale watervolume in het Markermeer had het opheffen van de stratificatie geen effecten op het zuurstofgehalte van het meer (Rijkswaterstaat 1990).

Bij het toepassen van een diepe put in combinatie met andere maatregelen (bijvoorbeeld in het midden van een moeras of achter een vooroever) ontstaat een relatief gesloten systeem waarbij najaarsomkering lokaal wel een groot effect kan hebben.

Voorlopige conclusies uit ANT-studies zijn dat door klimaatverandering (afname gemiddelde windsnelheid en toename van de zomertemperatuur) er een toename is van de omstandigheden waarbij stratificatie optreedt (Groot *et al* 2011).



Figuur 3.1: Stratificatie in diep water. Bron: Viswatertyping deel 2: diepe wateren (Zoetemeyer en Lucas, 2001)

Talud

Ook is invloed van de taludhelling onderzocht in het onderzoek van jaren 70 en 80, omdat het idee leefde dat bij een minder steil talud stratificatie wellicht niet of minder sterk zou optreden. Er is enig verschil geconstateerd, maar dat was gering. Wel komen de onderzoekers tot de conclusie dat een langwerpige put beter is dan een ronde. Wat betreft zuurstof is de praktijkervaring dat het verzadigingspercentage afneemt tot onder de 50% op een diepte van 5 meter voor putten vlak onder de kust. Voor putten in open water lag deze grens op 20 m diepte.

Nutriënten

De diepe putten kunnen fungeren als nutriëntenvaak doordat organisch materiaal met het sediment bezinkt en niet meer kan resuspendieren. Anderzijds kunnen bij najaarsomkering nutriënten die vanuit ingevangen organisch materiaal zijn vrijgemaakt weer beschikbaar komen voor gehele meer. Tot slot kunnen onder zuurstofloze omstandigheden in het hypolimnion fosfaten uit de bodem vrijkomen (STOWA 2010). In het onderzoek uit de jaren 70 en 80 is fosfaat- en stikstofnalevering van de bodem bepaald op 0,20-0,25 gram P/m² putoppervlak en 0,90 gram N/m² putoppervlak (Rijkswateraat 1990).

Ook ijzer en sulfaat in de waterbodem spelen een rol in de nutriëntenhuishouding door binding van fosfaat aan de waterbodem. Oude veenlagen kunnen een bron van nutriënten zijn; in klei en leem kunnen sedimenten vaak goed worden vastgelegd.

Helderheid

Inmiddels zijn diverse waterbeheerders (bv HHRS Rijnland) tot het inzicht gekomen dat stratificatie ook positieve effecten heeft. Het doorzicht en chlorofyl-gehalte boven diepe putten zijn beter (bij gelijk fosfaatgehalte), algen blijken uit te regenen en de diepe put fungeert als slibvang. Hierdoor worden nutriënten vastgelegd in diepe delen van het meer. Door de grote diepte treedt ook geen resuspensie van slib op. In een diepe put is licht limiterend voor algen- en plantengroei.

3.2.2 Ecologische effecten

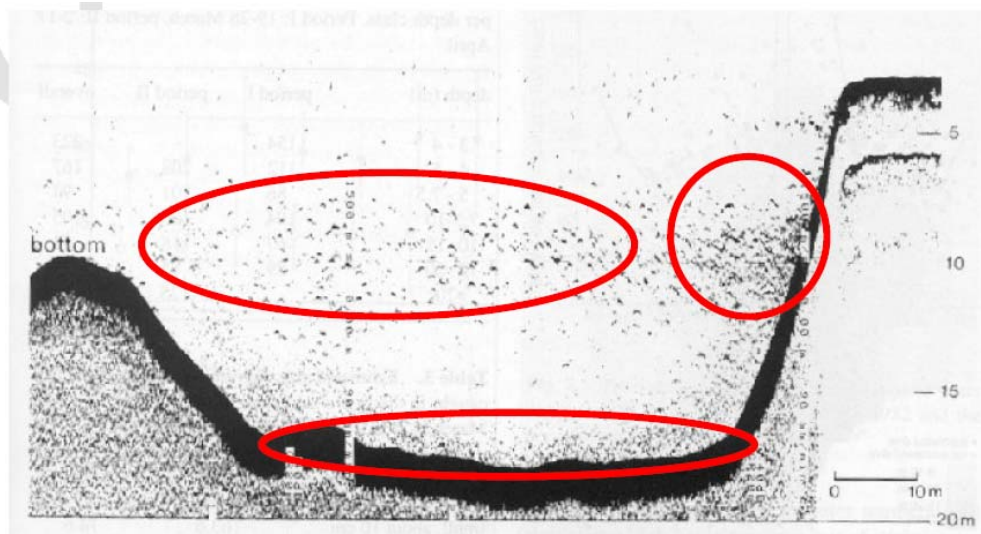
Diepe putten in het Markermeer kennen drie zones: littorale zone (ondiep), langs de oevers waar plantengroei op kan treden, pelagische zone (open water; tot diepte waar primaire productie mogelijk is door licht, eufotische zone) en profundale zone (donkere zone, koud, diep; afbraakprocessen).

Vissen

Rond de putranden op de gradiënt in de bodem blijkt zich relatief veel vis op te houden. Vissen scholen samen rond de diepe delen om de kans op predatie door roofvis en visetende vogels te beperken. Echter tijdens stratificatie zullen vissen niet in het hypolimnion voorkomen vanwege de te lage zuurstofconcentraties (< 3 mg/l). In de winter is het ook bekend dat vissen in scholen concentreren in de diepe putten om te overwinteren (8-12m diepte).

Ter hoogte van de Afsluitdijk tussen Breezanddijk en Kornwerderzand in het IJsselmeer zijn nog oude Zuiderzee-getijdengeulen aanwezig. Deze geulen zijn dieper dan de omliggende waterbodembodem (> 8 m diep). In dit gebied is onderzoek uitgevoerd naar de visstand. Uit dit onderzoek blijkt dat in de winter vissen voornamelijk voorkomen in de diepere (voormalige) getijdengeulen. In de zomer verspreiden de vissen zich over een groter gebied [Kruitwagen en Klinge, 2008].

Voor vis vormen diepe putten een overwinteringsplaats in verband met het relatief warme water (4 °C inplaats van 1 °C vlak aan het wateroppervlak). Er is geen eenduidig beeld of dit in de zomer omgekeerd werkt, namelijk dat koudeminnende vis zoals spiering het relatief koude water rond de spronglaag actief opzoekt. De vraag is of ze deze (betrekkelijk kleine) locaties kunnen vinden, er is geen lokstroom van koud water en mogelijk is het zuurstofgehalte te laag. Gezien de omvang van de verdiepingen lijken diepe putten niet de redding voor de spiering. Wel is er informatie bekend over vissen die foerageren op muggenlarven in het hypolimnion (STOWA, 2011). Aan de andere kant neemt de dichtheid van visvoedsel wel af als het water dieper wordt (RWS, 1990).



Figuur 4. Voorbeeld van typische visverdeling in een put in de winterperiode (25 februari 1993), sonarbeeld. Opvallend is de concentratie aan vis tussen 8 en 12 meter diepte en aan de oostelijke kant van de put. Kleinere vis is ook in grotere dichtheden aanwezig langs de randen en de bodem van de put.

Figuur 3.2: visverdeling diepe put

Vogels

Visetende vogels zoals aalscholvers en futen profiteren van deze aantrekkingskracht van diepe putten voor pelagische vis. Sommige maken ook gebruik van het puttalud door vis tegen de rand op te jagen. Duikeenden kunnen in het Markermeer tot 3,5 - 4 m diepte nog efficiënt foerageren op mosselen. Als ze dieper moeten duiken wegen de energiekosten voor foerageren niet meer op tegen de verkregen energie uit het eten (Noordhuis, 2011). Van visetende vogels is wel bekend dat ze gebruik maken van diepe putten met de concentraties van vissen aldaar in de winter (Van Rijn *et al* 2004).

Waterplanten & algen

Door de aanleg van diepe putten verdwijnt er areaal aan waterplanten omdat er bij diepe putten veelal teveel sprake is van lichtuitdoving waardoor op de bodem de waterplanten geen fotosynthese-activiteit meer hebben. Op de bodem van diepe putten komen (ondergedoken) waterplanten dan ook niet voor. Bij het aanleggen van putten op plekken waar waterplanten groeien, zullen herbivore vogels (waaronder N2000 soorten) dit verlies aan areaal ervaren.

Algen nemen in diepe putten de rol over als primaire producenten. Blauwalgen hebben in geïsoleerde diepe plassen een concurrentievoordeel ten opzichte van groenalgen doordat ze in staat zijn om hun zweefvermogen te reguleren. Voor het Markermeer zal dit door het grote oppervlak (en windwerking) minder het geval zijn (menging). Lokale verbetering van het doorzicht als gevolg van de verdieping biedt meer kansen voor fytoplankton om te groeien. Invloed van verhoogde groei van algen voor het gehele Markermeer is afhankelijk van de gezamenlijke omvang van de putten.

Macrofauna

De diepe profundale zones zijn soortenarm. Daar overheersen de afbraakprocessen en de soorten die daarmee samenhangen (detrivoor, tolerant voor lage zuurstofgehaltenes) zoals wormen en muggenlarven. Voor driehoeksmosselen zijn diepe putten geen geschikt habitat. Bij de proefputten in het IJsselmeergebied in de jaren '80 is gevonden dat het maximum aan bodemdieren op het talud van een put wordt gevonden op een diepte van 5 – 10 m. In putten dieper dan 15 m worden geen driehoeksmosselen meer aangetroffen (Van Rijn *et al*, 2004).

Zooplankton

Zooplankton kan diepe putten mogelijk gebruiken als refugium omdat vissen zuurstofarme, diepe gedeelte meestal vermijden. Zooplankton vertoont een dag-nacht migratiepatroon waarbij ze over grote diepte kunnen migreren. Hierbij kunnen ze door de spronglaag heen migreren (STOWA, 2010).

3.3 Conclusies

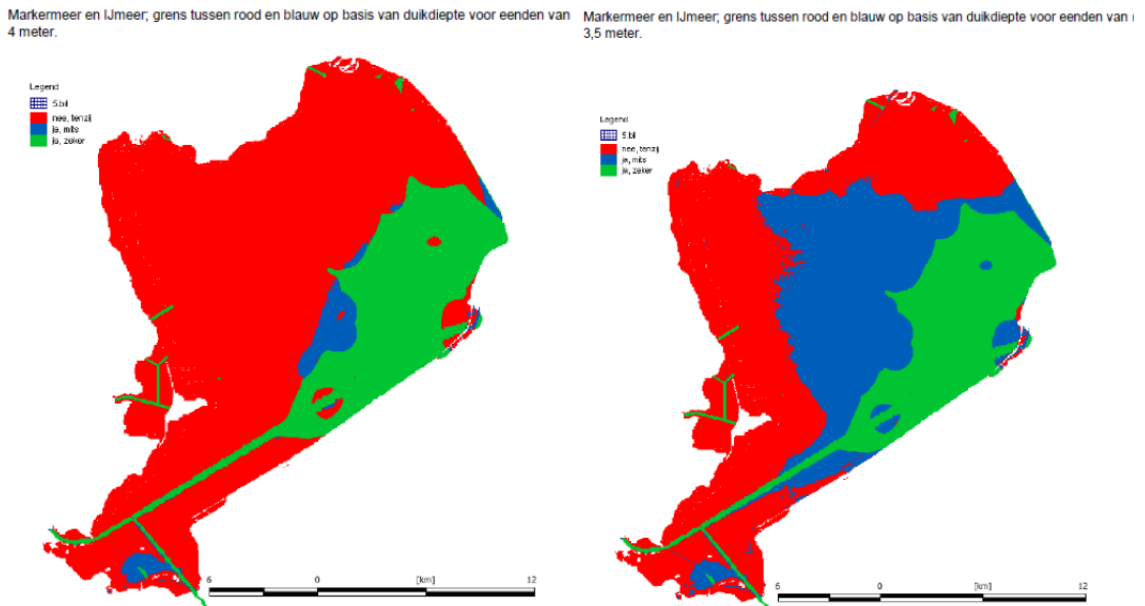
Voor de ligging en omvang van eventueel aan te leggen diepe putten in het Markermeer concluderen we voor de waterkwaliteitseffecten:

- Stratificatie zal gedurende beperkte tijd van het jaar optreden, maar door het kleine oppervlak ten opzichte van het Markermeer zijn effecten van najaarsomkering naar verwachting zeer beperkt en lokaal. Door klimaatverandering zijn er wel vaker omstandigheden waarbij stratificatie kan ontstaan;
- De vorm en oriëntatie van een diepe put ten opzichte van de overheersende windrichting moet onderwerp zijn van modelmatige optimalisatie. Verdiepingen blootstellen aan windwerking beperkt de stratificatie en de effecten ervan;
- Alleen als een verdieping gecombineerd wordt met een andere maatregel (ingang moeras of vooroever), dan zou de najaarsomkering een groter negatief gevolg kunnen hebben op de zuurstof- en nutriëntenhuishouding in het relatief gesloten systeem. Het verdient aanbeveling daar modelmatig aan te rekenen als het globale ontwerp van de maatregel gereed is.

Voor de ligging en omvang van verdiepingen zijn de conclusies rond de ecologische effecten:

- Voor vissen brengen diepe putten voordelen met zich mee, met name voor overwintering. Hier kunnen visetende vogels ook weer van profiteren;
- Diepe putten zijn te diep voor waterplanten om in te groeien. Als diepe putten worden aangelegd in een gebied dat begroeid is door waterplanten dan heeft dit een negatief effect op waterplanten en herbivore vogelsoorten;
- Lokale verbetering van doorzicht zorgt voor meer mogelijkheden voor algen om te groeien;
- Macrofauna in diepe putten is beperkt tot soorten die in staat zijn om onder tijdelijk zuurstofarme omstandigheden te overleven. Diepe putten zijn ongeschikt voor driehoeksmosselen;
- Zooplankton kan mogelijk gebruik maken van diepe putten als refugium tegen predatie;

- Verdiepingen worden bij voorkeur niet aangelegd op ondiepe plaatsen waar waterplanten en/of driehoeksmosselen voorkomen. Noordhuis (2011) heeft op basis van waterplanten (diepte > 2,70 m; > 5% bedekking), duikdiepte voor eenden (3,5 en 4 m) en biovolume driehoeksmosselen voor het Markermeer bepaald wat gunstige en wat minder gunstige locaties zijn voor verdiepingen; zie onderstaande figuren.



Figuur 3.3: Kaarten mogelijkheden zandwinning IJsselmeer en Markermeer. (Noordhuis 2011)

4 VERDIEPINGEN IN RELATIE TOT ANDERE FUNCTIES

4.1 Inleiding

Locatie verdieping in relatie tot andere functies:

- Kwel (veiligheid);
- Dijken (veiligheid);
- Vaargeul (scheepvaart);
- Zandwinning en ontgrondingsvergunning.

4.2 Hydrologische effecten slibput met doorsnijding deklaag (Kwel)

4.2.1 Achtergrond

Het graven van een slibput in het Markermeer, waarbij de deklaag zal worden doorsneden, brengt geohydrologische effecten met zich mee. Dit komt omdat onder het IJsselmeer en Markermeer een flinke hydraulische weerstand is. Deze weerstand wordt veroorzaakt door basisveenafzettingen in de ondergrond, maar ook door afzettingen van slib. De weerstand is goed terug te zien in stijghoogteverdelingen over het gebied. Het stijghoogteverschil tussen het watervoerende pakket onder het Markermeer en IJsselmeer en het peil van beide meren kan lokaal namelijk oplopen tot enige meters.

Door Deltares is in 2010 een studie uitgevoerd met de titel "Veranderingen in het grondwatersysteem van het Markermeergebied". Met deze studie zijn de peilgegevens rondom het Markermeer geanalyseerd waaruit blijkt dat het Markermeer vrijwel overall een infiltrerende werking heeft. Het zomerpeil van NAP -0,2 m en winterpeil van NAP -0,4 m is vrijwel overall groter dan de stijghoogte direct rondom het Markermeer. De stijghoogteverschillen tussen het peil in het Markermeer en het grondwater onder de Holocene deklaag varieert tussen ca. 100-500 cm. Aan de westkust van het Markermeer is dit verschil ca. 200-300 cm, langs de dijk met de Flevopolder 250-500 cm en op de Houtribdijk is een gradiënt zichtbaar van ca. 350 cm bij Lelystad tot 150 cm bij Enkhuizen.

In de studie is het effect van een aantal maatregelen conceptueel in beeld gebracht, waaronder een slibput die de weerstandslaag onder het Markermeer doorsnijdt. Uit de resultaten blijkt dat een slibput die de deklaag doorsnijdt een niet verwaarloosbaar effect heeft op de stijghoogteverdeling in het watervoerende pakket met mogelijk regionale consequenties. Dit laatste is sterk afhankelijk van de tijd die nodig is voor het verticale 'open deel' van de slibput om vol te lopen met sediment. Dit bepaalt in sterke mate de flux van grondwater? vanuit de slibput naar het Markermeer.

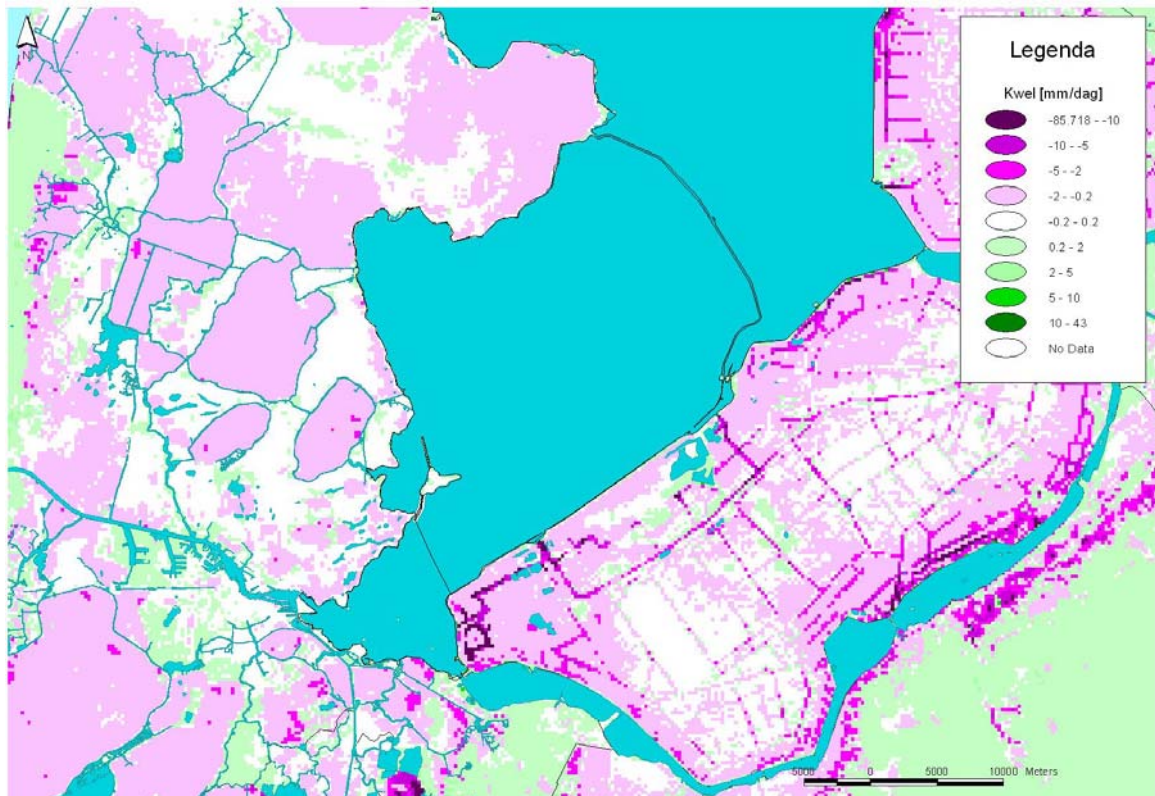
Om op hoofdlijnen inzicht te krijgen in de omvang van de hydrologische effecten van het graven van een slibput en de regionale verschillen (welke gebieden zijn kwetsbaarder dan anderen) is met behulp van gegevens van het NHI (Nederlands Hydrologisch Instrumentarium) een beknopte hydrologische analyse uitgevoerd.

4.2.2 Kwel

Het doorsnijden van de deklaag in het Markermeer heeft tot gevolg dat de infiltratie naar het eerste watervoerend pakket toeneemt en dit leidt mogelijk tot een toename van de kwel in binnendijs gebied.

Dit is onder meer afhankelijk van de afstand van de put tot het vasteland, de weerstand van de Holocene deklaag, de transmissiviteit van het watervoerend pakket en de ruimtelijke peilverschillen.

De mate van kwel en wegzijging voor het gebied is regionaal in beeld gebracht met het NHI-model (zie figuur 4.1). De kwelintensiteit voor de gebieden grenzend aan het Markermeer in de Flevopolder is over het algemeen groter dan in Noord-Holland.

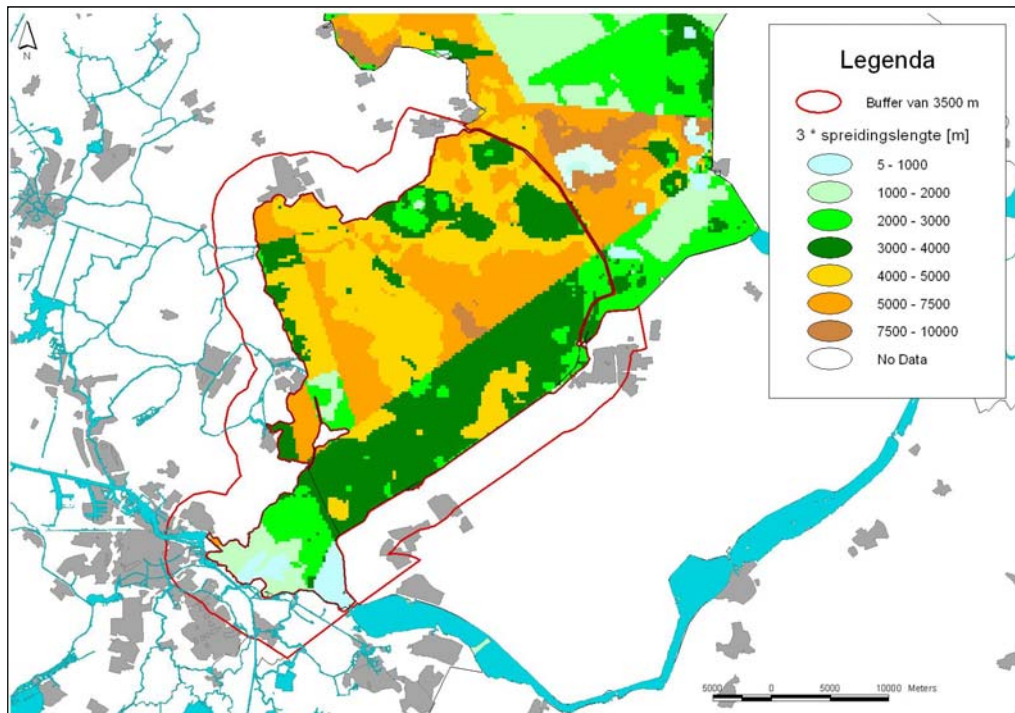


Figuur 4.1: Kwel en wegzijging NHI-model, januari 2011

4.2.3 Hydrologische analyse: Spreidingslengte in het Markermeer

Om op hoofdlijnen zicht te krijgen op de ruimtelijke doorwerking van de hydrologische ingrepen is de spreidingslengte bepaald in het Markermeer gebied. De spreidingslengte is een maat voor de afstand waarover grondwaterstandsverlaging merkbaar is (demping). De spreidingslengte [m] is de wortel uit het product van het doorlaatvermogen kD van een watervoerend pakket en de hydraulische weerstand c van de bovenliggende slecht doorlatende laag. Met behulp van de kaarten van het NHI is de spreidingslengte berekend. Een vuistregel leert (Stromingen 1997) dat een hydrologische ingreep op een afstand van 3 keer de spreidingslengte nagenoeg is uitgewerkt (slechts 5% van de maatregel komt nog terug in een effect op de grondwaterstand). In figuur 4.2 is het resultaat van deze bewerking gepresenteerd.

Uit de figuur blijkt dat de maximale uitstraling varieert tussen de 1000 en 7500 m. Om een inschatting te krijgen van de mate van uitstraling naar binnendijs gebied is een buffer van 3500 m getekend vanaf de dijk.



Figuur 4.2: Inschatting van de maximale uitstraling van een hydrologische ingreep in het Markermeer (gebaseerd op driemaal de spreidingslengte)

4.3 Ontgrondingslocaties

4.3.1 Locaties en vergunningen pilot Moeras

In het najaar van 2012 is de pilot Moeras aangelegd in het Markermeer. Voor deze pilot zijn een aantal ontgrondingslocaties gespecificeerd:

1. Locatie nabij pilot, vergunning nog aan te vragen door Royal HaskoningDHV.
2. Ontgrondingsvergunning van Boskalis, put in het Markermeer.
3. VAL4.
4. VAL10.
5. Combinatie van bovenstaande mogelijkheden.

In deze paragraaf (deels overgenomen uit de afwegingsnotitie, 9V6742.A1/N00BB/902199/VVDM/Nijm) zijn de afwegingen van deze mogelijkheden op een rijtje gezet.

Al snel bleek dat de opties 1, 4 en daarmee ook optie 5 zouden vervallen. Voor de locatie nabij de pilot moest nog een ontgrondingsvergunning worden aangevraagd door Royal HaskoningDHV. Gezien de lange doorlooptijd voor het verkrijgen van vergunningen en het feit dat de ondernemer (ON) in augustus 2012 zou moeten starten met de aanleg van de (moeras) pilot, was deze optie niet meer reëel.

VAL10 maakt onderdeel uit van de te graven vaargeul Amsterdam-Lemmer. Voor deze locatie is al een ontgrondingsvergunning (concessie) aanwezig. Deze is echter in handen van de gemeente Amsterdam. Zij zijn van plan om het materiaal in de toekomst te gebruiken voor de aanleg van IJburg II.

De ontwikkeling van IJburg II is recentelijk op een laag pitje komen te staan en daarmee is het ook niet waarschijnlijk dat de gemeente Amsterdam deze concessie binnenkort gaat gebruiken. RWS is een procedure gestart om de concessie terug te vorderen. Deze concessie zou in principe gebruikt kunnen worden voor de pilot. Het terugvorderen verliep echter niet snel en het is niet waarschijnlijk dat deze concessie op tijd beschikbaar zal zijn voor de pilot. Gezien deze omstandigheden werd er voor gekozen om ook deze optie niet verder mee te nemen.

Het gebruiken van materiaal uit VAL4 en uit de Boskalis put zijn de enige opties die momenteel haalbaar lijken voor de pilot. Beide locaties zijn hieronder kort beschreven.

De Boskalis put bevindt zich redelijk centraal in het Markermeer. Boskalis wil de diepere lagen gebruiken voor zandwinning. De toplaag, bestaande uit Holoceen materiaal, zou goed gebruikt kunnen worden voor de pilot. Het voordeel van deze put is dat een ontgrondingsvergunning al aanwezig is en dat de ontgrondingslocatie niet al te ver van de voorgenomen moeras locatie ligt. Het gebruiken van materiaal uit deze put, door Boskalis of eventueel door een andere partij in overleg met Boskalis, is daarmee een wezenlijke optie.

De VAL4 bevindt zich ten noorden van Amsterdam (zie figuur 4.3). Dit gebied dient ontgraven te worden om ruimte te bieden aan de vaarroute Amsterdam Lemmer. De bodem bestaat uit ongestoord Holoceen materiaal, geschikt om te gebruiken in de pilot. Voor deze locatie is een concessie (ontgrondingsvergunning) afgegeven. Het nadeel van deze locatie is de grote afstand tot de pilot. Omdat RWS het materiaal echter graag kwijt wil zouden er wellicht afspraken kunnen worden gemaakt over een verdeling van de transportkosten over de verschillende partijen (RWS en ON).

Beide opties waren de enige wezenlijke opties voor de aanleg van de moeras pilot. Om er voor te zorgen dat VAL4 net zo goed gebruikt kan worden (voor een eerlijke vergelijking) voor de aanleg van het moeras als de Boskalis put is er besloten om het gebruik van materiaal uit VAL4 te promoten door middel van een kostenreductie in de EMVI. Deze maatregel zorgt er voor dat het kostenvoordeel van de Boskalis put (omdat deze dichterbij de pilot ligt) verdwijnt.

Beide opties hebben echter niet per definitie hetzelfde resultaat. Als gebruik wordt gemaakt van de Boskalis put zal er in ieder geval een diepe put ontstaan. Boskalis is immers geïnteresseerd in het dieper liggende Pleistocene zand uit die put. Bij het gebruik van VAL4 hoeft er geen diepe put te ontstaan omdat ten behoeve van de pilot moeras alleen de holocene toplaag wordt verwijderd.



Figuur 4.3: Locatie van VAL4

4.3.2 Huidige ontgrondingsmethodieken en locaties

Alle mogelijke ontgrondingslocaties/zandwinlocaties in het Markermeer bestaan uit dieper gelegen winbare zanden (pleistoceen) afgedekt met een holocene laag met een dikte van ongeveer 10 m. De holocene laag is niet interessant voor zandwinners maar deze laag kan wel onder andere gebruikt worden voor het opbouwen van het grootschalige moeras in het Markermeer. Nadat deze laag is verwijderd kan de zandwinner het onderliggende zand wegzuigen. Na gebruik van de zandwinput moet deze in veel gevallen weer opgevuld worden tot een bepaalde diepte. Dit wordt het zogenaamde omputten genoemd.

De ontgrondingslocaties in de VAL (Vaarweg Amsterdam Lemmer) hoeven niet tot grote diepte te worden ontgraven, alhoewel dat wel mogelijk is als het zand in de onderlaag gewenst is als bouwzand. In de VAL gaat het voornamelijk om het op diepte brengen van de vaargeul. Een groot deel van de vaargeul ligt al op diepte maar een aantal locaties (VAL4 en VAL10) moeten nog op diepte worden gebracht. VAL4 heeft momenteel een diepte van ongeveer NAP -3 m. Dit zou minstens NAP -5,5 m moeten zijn maar mag ook dieper zijn.

Deltares heeft een studie uitgevoerd naar het sedimenteren van materiaal in de VAL, de effecten van scheepvaart op de sedimentatie en het verschil met in sedimentatie met diepe putten (Boderie et al, 2010). Een aantal belangrijke conclusies zijn hieronder weergegeven:

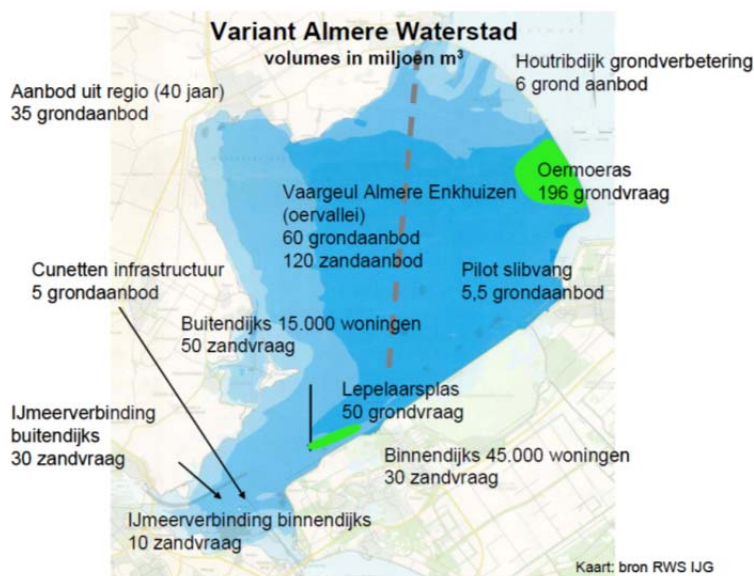
- Bij een diepte van NAP -4 m is het onderhoud van de vaargeul verwaarloosbaar. Dit komt enerzijds omdat bij deze diepte de natuurlijke sedimentatie en erosie zo goed als in evenwicht zijn, anderzijds omdat eventuele dunne afzettingen (tot 5 cm/jaar) door de scheepvaart weer worden geërodeerd;
- Bij een verdieping tot NAP -6 m neemt het onderhoud beperkt toe. Dit komt enerzijds doordat golven bij deze waterdiepte minder effectief zijn om afzettingen te eroderen, anderzijds doordat de invloed van scheepvaart op deze diepte verwaarloosbaar wordt. De verwachte aanslibbing is 5 tot 10 cm/jaar
- Diepe putten in de vaargeul hebben een positieve maar beperkte invloed op de aanslibbing elders in de geul (vermindert in geringe mate).

Een diepe put met als enig doel om het onderhoud aan de vaargeul te verminderen is daarom waarschijnlijk niet rendabel. Wel is de vaargeul een goede locatiekeuze voor een diepe put indien er vanwege andere doelen (zandwinning) een put moet worden gemaakt. Afhankelijk van de diepte van de put zal deze in een aantal jaren dichtslibben tot een diepte van circa -10 m NAP in de geul, waarna de aanslibsnelheid sterk afneemt. Ter vergelijking, een put die niet in de vaargeul ligt slibbt dicht tot ongeveer -6 m NAP. Dat een put in een vaargeul minder ver dicht slibbt komt doordat een vaargeul stroming aantrekt en materiaal daardoor minder gemakkelijk kan sedimenteren.

4.3.3 Ontgrondingslocaties en zandvraag van de toekomst

In het Markermeer-IJmeer ontstaat de komende decennia een grote vraag naar zand. Volgens een Quick scan grondverzet rapport (Slobbe en Lenselink, 2009) zal deze vraag naar zand minimaal 61 Mm³ en maximaal 151 Mm³ bedragen. Het grote verschil tussen het minimum en maximum wordt veroorzaakt door de grote verschillen in de ontwikkelingsscenario's van voornamelijk Almere (Schaalsprong Almere). Daarnaast vragen ook andere stedelijke- en infrastructurele ontwikkelingen om zand. In de besluitvorming over deze ontwikkelingen speelt de koppeling met de aanleg van grote land-water overgangen in de vorm van een grootschalig moeras in het Markermeer en het aanleggen van vooroevers. Deze laatste activiteiten leiden tot een verwachte grondvraag van tussen de 224 en 272 Mm³. In Figuur 4.4 is een overzicht gegeven van de mogelijke locaties van grond- en zandvraag en aanbod in de komende decennia.

Om aan de zand- en grondvraag te kunnen voldoen wordt vooral gezocht naar werken die zand en grond leveren zodat op deze manier werk met werk kan worden gemaakt. Vanwege de vele plannen waarbij zand nodig is bleek al snel dat er geen evenwicht is tussen vraag en aanbod. Een optie zou dan ook zijn om naast het materiaal (zand en grond) dat afkomstig is vanuit werken (bijvoorbeeld de Almere uitbreiding) ook gebruik te maken van extra materiaal uit nog te graven putten in het Markermeer.



Figuur 4.4: Zand- en grondvraag en aanbod in het Markermeer

REFERENTIES

Brenk, S. van den (2002), Sedimentatieonderzoek vaargeulen, Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied, december 2002.

Groot, S., Noordhuis, R. en Los H. (2011). Wetenschappelijk tussentijds advies 2011 ANT-IJsselmeergebied. Vijf jaar studie naar kansen voor het ecosysteem van het IJsselmeer, Markermeer en IJmeer met het oog op de Natura-2000 doelen. Conceptrapport 1204155-000-ZWS-0003-vj51

Rijkswaterstaat (1990). Samenvatting onderzoek diepe putten IJsselmeer en Randmeren.

Genseberger, M. (2010). Quickscan slibeffecten verbreding gedeelte vaargeul Markermeer. Deltares rapport 1205557-000-ZWS-0004.

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

Slobbe, E. van en Lenselink, G. (2009). Quick Scan Grondverzet in het Markermeer-IJmeer in de periode 2010 – 2040. Deltares rapport, project nr. 1002179-000

Kruitwagen, G. en Klinge M. (2008). Visstandonderzoek op de Middelgronden. Witteveen + Bos rapport RW1610-1. In opdracht van Rijkswaterstaat IJsselmeergebied

Noordhuis, R. (2011). Kaarten mogelijkheden zandwinning IJsselmeer en Markermeer. Memo aan Rijkswaterstaat. Deltares kenmerk 1204945-000-ZWS-0004-vj

STOWA (2010). Een heldere kijk op diepe plassen. Kennisdocument diepe meren en plassen: ecologische systeemanalyse, diagnose en maatregelen. Rapport 2010-38

Rijn, S. van, Kolen, M., Roos, M., Eerden, M.R. van, Cornelissen, P. (2004). Bergen van baggerspecies in Flevopot 12a. Gevolgen voor vogels? Studie in het kader van de vogelrichtlijn. RIZA werkdocument 2004.076x

Zoetemeyer, R.B. en Lucas, B.J. (2001). Basisboek Visstandbeheer. Uitgave Sportvisserij Nederland. ISBN: 978-90-810295-37.

Vijverberg, T. (2008). Mud dynamics in the Markermeer – Silt traps as a mitigation measure for turbidity, MSc Thesis, Technische Universiteit Delft.

Vijverberg, T., Winterwerp, J.C., Aarninkhof, S.G.J. and Drost, H. (2010). Fine sediment dynamics in a shallow lake and implication for the design of hydraulic works, Ocean Dynamics, vol. 61 pg:187 – 202.