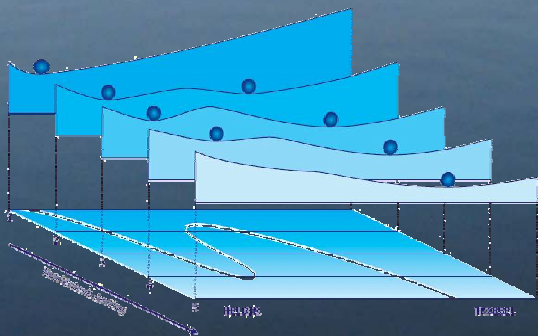


# Ecologische processen in ondiepe meren en het effect van beheersmaatregelen

Wat weten we wel en wat niet?





## Inhoudsopgave

<b><u>VOORWOORD</u></b> .....	<b>5</b>
<b><u>SAMENVATTING</u></b> .....	<b>7</b>
<b><u>EXECUTIVE SUMMARY</u></b> .....	<b>9</b>
<b><u>INLEIDING</u></b> .....	<b>11</b>
<b>KENNIS</b> .....	<b>12</b>
<b>ONDERZOEKSVRAGEN</b> .....	<b>12</b>
<b>METHODEN</b> .....	<b>12</b>
<b>LEESWIJZER</b> .....	<b>13</b>
<b><u>HOOFDSTUK 1</u></b> <b><u>EUROPESE KADERRICHTLIJN WATER</u></b> .....	<b>15</b>
<b>1.1</b> <b>REFERENTIE EN NORM</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2</b> <b>MEP EN GEP</b> .....	<b>15</b>
<b><u>HOOFDSTUK 2</u></b> <b><u>ONDIEPE MEREN</u></b> .....	<b>19</b>
<b>2.1</b> <b>TYPERING</b> .....	<b>19</b>
<b><u>HOOFDSTUK 3</u></b> <b><u>ECOLOGISCHE PROCESSEN</u></b> .....	<b>21</b>
<b>3.1</b> <b>HYSTERESE</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2</b> <b>ECOLOGISCHE PROCESSEN</b> .....	<b>22</b>
<b>3.3</b> <b>RELATIES ECOLOGISCHE PROCESSEN MET BEHEERSMAATREGELEN</b> .....	<b>25</b>
<b><u>HOOFDSTUK 4</u></b> <b><u>BEHEERSMAATREGELEN</u></b> .....	<b>29</b>
<b>4.1</b> <b>INNOVATIEVE BRONMAATREGELEN</b> .....	<b>29</b>
<b>4.2</b> <b>SYSTEEMMAATREGELEN</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3</b> <b>INTERNE MAATREGELEN</b> .....	<b>36</b>
<b><u>HOOFDSTUK 5</u></b> <b><u>CASE STUDIES</u></b> .....	<b>45</b>
<b>5.1</b> <b>BERGSE Plassen - ROTTERDAM</b> .....	<b>45</b>
<b>5.2</b> <b>DE LEIJEN - FRIESLAND</b> .....	<b>50</b>
<b>5.3</b> <b>HET NANNEWIJD - FRIESLAND</b> .....	<b>52</b>
<b>5.4</b> <b>DE DEELEN - FRIESLAND</b> .....	<b>54</b>
<b><u>HOOFDSTUK 6</u></b> <b><u>EVALUATIE VAN KENNIS</u></b> .....	<b>57</b>

6.1	INNOVATIEVE BRONMAATREGELEN .....	57
6.2	SYSTEEMMAATREGELEN .....	60
6.3	INTERNE MAATREGELEN .....	62
6.4	OVERIGE VRAGEN .....	65
<b><u>HOOFDSTUK 7 CONCLUSIE, AANBEVELINGEN EN DISCUSSIE .....</u></b>		<b>69</b>
7.1	VEELBELOVENDE MAATREGELEN .....	69
7.2	PRIORITERING .....	70
7.3	ONDERZOEKSVORMEN .....	71
7.4	DISCUSSIEPUNTEN.....	72
<b><u>LITERATUUR.....</u></b>		<b>75</b>
<b><u>BIJLAGE 1 OVERZICHT DESCRIPTOREN VOOR MEREN IN DE KADERRICHTLIJN WATER.....</u></b>		<b>79</b>
<b><u>BIJLAGE 2 M-TYPEN KADERRICHTLIJN WATER .....</u></b>		<b>81</b>

## **Voorwoord**

Dit rapport is geschreven naar aanleiding van het onderzoek dat ik heb uitgevoerd tijdens mijn stage bij de STOWA (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer). Deze stage valt binnen het laatste jaar van de masteropleiding Natural Resources Management (Universiteit Utrecht). De begeleiding vanuit de universiteit werd gedaan door Prof. dr. J.T.A. Verhoeven en vanuit de STOWA door drs. B. van der Wal. Ik wil hen graag bedanken voor hun inspiratie en hulp tijdens dit onderzoek. Het onderzoek is uitgevoerd van februari 2008 tot en met oktober 2008.



## Samenvatting

De waterkwaliteit van de talrijke ondiepe meren in Nederland is nog niet goed en additionele maatregelen moeten worden toegepast door waterbeheerders. Dit is gewenst vanwege de volksgezondheid, vanwege ecologisch en esthetisch belang en vanwege de Europese Kaderrichtlijn Water. Om de ecologische kwaliteit te verbeteren kunnen drie typen maatregelen worden genomen; bronmaatregelen die de nutriëntenbelasting verlagen, systeemmaatregelen die de draagkracht van het ecosysteem verhogen en interne maatregelen die ingrijpen in het voedselweb. In dit onderzoek worden de belangrijkste kennislacunes aangewezen in het effect van maatregelen op ecologische processen in ondiepe meren. De opvulling van deze kennislacunes is nodig om een goede waterkwaliteit te kunnen bereiken. De huidige toestand van de meeste ondiepe meren is een troebele toestand met geen of weinig waterplanten en een lage biodiversiteit. De gewenste toestand is een heldere toestand met veel waterplanten en een hoge biodiversiteit. Vier case studies van ondiepe meren in Nederland, waarin diverse beheersmaatregelen zijn toegepast, zijn geëvalueerd. Hieruit kwam naar voren dat in ieder geval in drie van de vier gevallen geen stabiele heldere toestand werd bereikt na het uitvoeren van de maatregelen. Bij één van de vier lijkt zich een heldere toestand te stabiliseren, het is echter moeilijk om te zeggen of deze stabiel blijft omdat sommige maatregelen redelijk recent zijn toegepast. Zes maatregelen zijn uitgelicht die nog niet veel zijn toegepast maar volgens experts wel veel potentie hebben, namelijk het aanbrengen van zand op een nutriëntenrijke bodem, het chemisch binden van fosfaat, het toepassen van een meer fluctuerend waterpeil, verdiepen en verondiepen, tijdelijke droogval en het aanplanten van vegetatie of het verspreiden van propagulen. Daarnaast is één maatregel uitgelicht die vaak wordt toegepast in het waterbeheer, namelijk actief biologisch beheer en een meer onbekende variant; beheersvisserijen. Inhoudelijke vragen per maatregel zijn geformuleerd die kunnen worden gebruikt voor onderzoek om de effecten van deze maatregelen op het systeem beter te begrijpen. Geconcludeerd wordt dat de meest veelbelovende maatregelen het aanbrengen van zand, droogval en een fluctuerend peil zijn. Wel moeten onzekerheden over deze maatregelen worden onderzocht door middel van proefprojecten. Actief biologisch beheer is ook een veelbelovende maatregel, maar moet pas worden toegepast wanneer de fosfaatbelasting dichtbij de kritische belasting van het meer ligt. De timing van de toepassing van maatregelen is cruciaal voor het bereiken van een omslag naar een stabiele heldere toestand en wordt in de praktijk vaak niet goed genoeg uitgevoerd. Verdere belangrijke kennislacunes zijn ook vastgesteld, zoals het kunnen vaststellen van het relatieve aandeel van processen aan de waterkwaliteit, cumulatieve effecten van maatregelen en de communicatie met gebruikers van het water over maatregelen. Het onderzoek dat wordt voorgesteld kan vier vormen aannemen, namelijk kennisontwikkeling, evaluatie, datamining en kennisontsluiting. Suggesties voor

onderzoek vanuit dit rapport kunnen als input dienen voor het programma Watermozaïek, dat als doel heeft vragen vanuit waterbeheerders te beantwoorden door middel van het uitvoeren van proefprojecten in combinatie met wetenschappelijk onderzoek.



## **Executive summary**

The water quality of the numerous shallow lakes in the Netherlands is not yet sufficient and additional measures have to be applied by water managers. The improvement in water quality is desired because of public health, for ecologic and aesthetic reasons and because of the European Water Framework Directive. Three types of measures can be applied to improve the ecological quality; source measures which decrease the nutrient load, system measures which enlarge the carrying capacity of the system and internal measures which interfere with the food web. The most important knowledge gaps in the effect of measures on ecological processes in shallow lakes are formulated in this research. Filling up these knowledge gaps is necessary to reach a good ecological water quality. Most shallow lakes are currently turbid, do not contain macrophytes and harbour a low biodiversity. The desired situation of the shallow lakes is a clear state with many macrophytes and a high biodiversity. Four case studies of shallow lakes in the Netherlands were studied and the measures which were applied in the case studies were evaluated. In three of the four case studies the desired stable clear state was not achieved. In one case study, a clear state seems to be stabilizing, however, some measures have been applied quite recently and stability of the clear state is still insecure. Six measures, which have not been applied much and are thought to be promising, according to specialists, have been analyzed. These measures are the application of sand on nutrient rich sediment, the chemical binding of phosphate, the application of a more fluctuating water level, the creation of deeper and more shallow areas, temporarily creating dryer conditions and the planting of vegetation or the dispersal of propagules. One measure which is used often in water management, biomanipulation, has also been analyzed. Unanswered questions per measure are formulated and these can be used for research to clarify the effects of these measures on the system. A conclusion is drawn on which of these measures are the most promising. These are the application of sand, temporarily creating dryer conditions and a more fluctuating water level. The uncertainties of these measures have to be clarified by applying them in pilot studies. Biomanipulation is a promising measure as well, however, this measure should only be applied when the nutrient load approaches the critical nutrient load of the lake. The right timing of different measures is crucial to achieve a switch to a stable clear state. In actual practice the timing of measures is often not considered enough. Other important knowledge gaps have been formulated, such as the determination of the relative contribution of ecological processes to the water quality, cumulative effects of measures and communication with users of the water. The proposed research can be divided into four types of research: knowledge development, evaluations, data mining and the translation of scientific knowledge to more practical knowledge. The research suggestions proposed in this report can be used as input for the Water mosaic programme which aims to fill up

knowledge gaps of water managers by carrying out pilot studies in combination with scientific research.

## Inleiding

In Nederland en veel andere West-Europese landen, is er, vooral vanaf de jaren '50, een overvloed aan nutriënten in het oppervlaktewater gekomen onder invloed van de mens. Deze nutriënten waren afkomstig vanuit de landbouw, veeteelt, industrie en ongezuiverde lozingen van huishoudelijk afvalwater. Niet alleen een overvloed aan nutriënten, ook vervuilende stoffen zoals zware metalen kwamen zo in de wateren terecht (Gulati en van Donk, 2002). Daarnaast is de morfologie van de wateren vaak aangepast aan menselijke behoeften, door bijvoorbeeld kanalisering en de aanleg van steile kanten met beschoeiing. Veel wateren worden gebruikt voor scheepvaart en voor verschillende vormen van recreatie. Het peilverloop van het water is aangepast voor de scheepvaart en landbouw. Ook klimaatverandering heeft invloed op de conditie van de wateren. Al deze veranderde invloeden op de wateren hebben ervoor gezorgd dat de ondiepe zoetwatermeren in Nederland, waarop de focus zal liggen binnen dit onderzoek, een slechte waterkwaliteit hebben, ondanks de verbeteringen die dankzij hoge investeringen zijn opgetreden. In de jaren '60 hebben de problemen, die in het oppervlaktewater optraden, geleid tot systematische maatregelen om de belangrijkste bronnen van vervuiling tegen te gaan. Eutrofiëringbestrijding was één van de belangrijkste punten in de milieuwetgeving in de jaren '80 en '90. Ondanks de verschillende nationale en internationale programma's om vooral de toevoer van fosfaat te verminderen, is deze hoger gebleven dan verwacht. Ook de concentratie van fosfaat in meren is hoger dan werd verwacht, waardoor bloei van cyanobacteriën nog steeds plaatsvindt en de gewenste waterkwaliteitverbetering niet is opgetreden (Gulati en van Donk, 2002).

Ondiepe meren zijn talrijk in Nederland, de meeste zoetwatermeren zijn niet dieper dan 2 m. Ze zijn vaak ontstaan door het afgraven van veen en bevinden zich voornamelijk in het noorden, noordwesten en westen van het land (Gulati en van Donk, 2002). In veel gevallen heeft de geëutrofiëerde toestand van de meren geleid tot een omslag van een heldere naar een troebele toestand. Deze troebele toestand is om meerdere redenen vaak niet gewenst. Ten eerste kunnen cyanobacteriën een gevaar voor de volksgezondheid opleveren. Daarnaast is vanuit ecologisch en esthetisch oogpunt een troebel meer vaak minder gewenst dan een helder, plantenrijk, divers meer. De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) is ingesteld in 2000 en stelt dat in 2015 alle Europese wateren in een 'goede ecologische toestand' moeten verkeren. Deze goede ecologische toestand voor ondiepe meren is geen troebele toestand, maar een heldere, plantenrijke toestand. Deze heldere, plantenrijke toestand is ook een goede omgeving voor een diverse vispopulatie, een diverse populatie macrofauna en gewenst plankton.

## **Kennis**

Om de ecologische toestand van ondiepe meren te verbeteren is het nodig dat de huidige ecologische toestand en de doelstelling goed in beeld zijn gebracht. Hiernaast moet er ingegrepen worden op een manier die ook daadwerkelijk bijdraagt aan het bereiken van de doelstelling. Er zijn al veel herstelmaatregelen toegepast in ondiepe meren in Nederland, maar deze waren niet altijd succesvol. Resultaten van verschillende projecten voor het verbeteren van de waterkwaliteit in meren zijn divers en de langetermijneffecten zijn niet goed beschreven (Søndergaard *et al.*, 2007). In een evaluatie van een aantal langetermijnprojecten gingen de meeste meren binnen tien jaar terug naar een troebele toestand (Søndergaard *et al.*, 2007). Dit kwam doordat het systeem vaak niet in zijn geheel werd bekeken en er dus niet genoeg begrip was van het functioneren van het ecosysteem.

Het is belangrijk voor het verbeteren van de waterkwaliteit in ondiepe meren dat er voldoende kennis is van ecologische processen die plaatsvinden in de troebele en heldere toestand. Wanneer er voldoende ecologische kennis is kunnen sleutelprocessen worden aangewezen. Vervolgens is het belangrijk dat de link tussen beheersmaatregelen en ecologische processen duidelijk is en er kennis is over de ecologische processen die het makkelijkst kunnen worden beïnvloed met het meeste resultaat.

## **Onderzoeksvragen**

De onderzoeksvragen die binnen dit onderzoek beantwoord zullen worden:

1. a. Welke ecologische processen in een ondiep meer zijn sturend voor het voorkomen van een heldere, cq troebele toestand?  
b. Wat zijn de relaties van de ecologische processen (uit 1a) met beheersmaatregelen voor het verbeteren van de waterkwaliteit van ondiepe meren?
2. a. Hoe sturen de geselecteerde maatregelen ecologische processen aan?  
b. Waar bevinden zich de kennisleemtes bij de effecten van de geselecteerde maatregelen?
3. a. Wat waren de effecten van de verschillende beheersmaatregel(en) op de waterkwaliteit van het ondiepe meer in geselecteerde case studies?  
b. Waren de effecten (uit 2a) verwacht? En zo niet, is hier een verklaring voor te vinden?
4. Welke ecologische processen en of maatregelen in ondiepe meren moeten nader worden onderzocht voor het succesvol verbeteren van de waterkwaliteit?

## **Methoden**

Ik heb dit onderzoek uitgevoerd door middel van een literatuurstudie in wetenschappelijke literatuur en in vakliteratuur van waterbeheerders. Daarnaast heb ik interviews afgenomen bij

waterbeheerders en onderzoekers met een expertise in (een onderdeel van) ecologische processen in ondiepe meren.

### **Leeswijzer**

Hoofdstuk 1 beschrijft de inhoud van de KRW en de methoden waarmee de doelen moeten worden afgeleid voor de waterlichamen. Vervolgens worden in hoofdstuk 2 de vier typen ondiepe meren beschreven waarover dit rapport gaat, volgens de typologie van de KRW. Hoofdstuk 3 behandelt de belangrijkste ecologische processen in de troebele en de heldere toestand van een ondiep meer en de samenhang tussen deze processen. Ook wordt aangegeven waarop beheersmaatregelen aangrijpen in het ecosysteem en wat voor effecten dit heeft op de waterkwaliteit. In hoofdstuk 4 worden zeven maatregelen uitgebreid besproken en worden de effecten van deze maatregelen op het ecosysteem uitgebreid uitgelicht. Vervolgens worden in hoofdstuk 5 vier case studies aangehaald waarin diverse maatregelen zijn toegepast op ondiepe meren in Nederland. Hoofdstuk 6 is een evaluatie van de gaten in kennis die in de hoofdstukken ervoor naar voren zijn gekomen. De openstaande vragen worden geformuleerd en uitgelegd. Ten slotte wordt in hoofdstuk 7 een conclusie gegeven over de maatregelen die het meest veelbelovend zijn. Aan de hand hiervan wordt een prioritering gegeven van onderzoek naar deze kennislacunes. De typen onderzoek die worden geadviseerd worden toegelicht en discussiepunten naar aanleiding van dit rapport komen aan de orde.



## **Hoofdstuk 1 Europese Kaderrichtlijn Water**

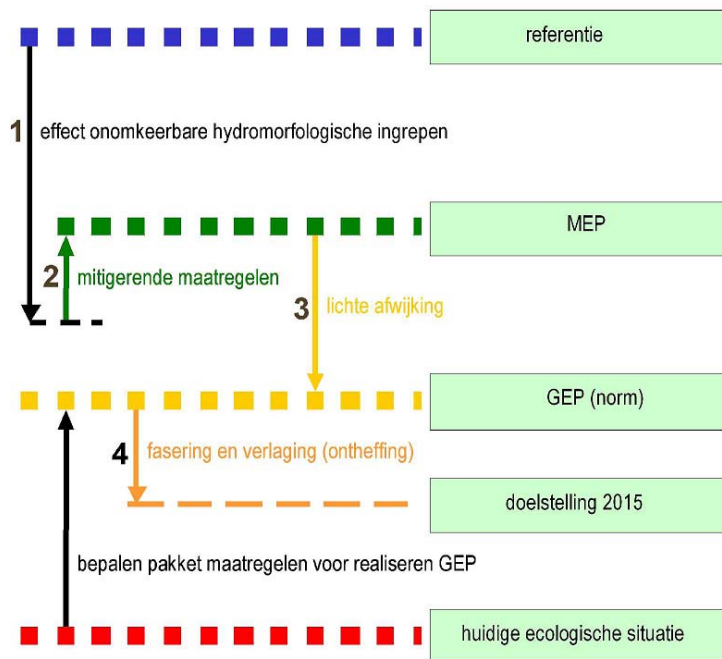
De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) is in december 2000 van kracht geworden. De KRW stelt dat een 'goede chemische' en een 'goede ecologische' toestand bereikt moet zijn voor alle wateren in Europa in 2015 (Siebelink, 2005). Uitstel voor het bereiken van de doelen kan voor veel wateren worden aangevraagd, tot maximaal twee keer zes jaar, dus tot 2027 (Ligtvoet *et al.*, 2008).

### **1.1 Referentie en norm**

Om objectief een 'goede ecologische toestand' en 'goede chemische toestand' te beschrijven zijn 42 natuurlijke watertypen beschreven. De relevante meertypen voor dit onderzoek worden beschreven in hoofdstuk 2. De zuiverste toestand waarin een natuurlijk water zich kan bevinden is de referentietoestand. Bij deze toestand wordt uitgegaan van geen of zeer weinig invloed van de mens. De goede ecologische toestand is onderverdeeld in een goede biologische toestand en eisen wat betreft hydromorfologie, algemeen fysische-chemische parameters en geloosde overige verontreinigde stoffen (Evers *et al.*, 2007). De biologische toestand wordt beschreven aan de hand van vier kwaliteitselementen: fytoplankton, vegetatie, macrofauna en vissen. De referentietoestand hoeft niet te worden behaald voor alle wateren; een maatlat is ontworpen die de toestand weergeeft op een schaal van 'slecht' tot 'zeer goed'. De norm die de KRW stelt is 'goed' (Siebelink, 2005).

### **1.2 MEP en GEP**

Bijna alle wateren in Nederland zijn ontstaan door de mens of natuurlijke wateren zijn zo drastisch veranderd van de referentiesituatie dat ze respectievelijk in de categorieën 'kunstmatige wateren' en 'sterk veranderde wateren' vallen. Wanneer een water kunstmatig is of sterk veranderd, kan de referentietoestand niet als doel worden gesteld. De norm voor kunstmatige of sterk veranderde wateren wordt afgeleid van de referentietoestand van het meest gelijkende natuurlijke watertype. Hierbij wordt rekening gehouden met onomkeerbare veranderingen; er wordt ingeschat hoe deze ingrepen van de mens leiden tot hydromorfologische en de daaraan gekoppelde fysische en chemische veranderingen. Immissies, bijvoorbeeld vanuit de landbouw of vanuit lozingspunten van rioolwaterzuiveringsinstallaties, mogen niet worden betrokken bij het vaststellen van de norm. Hieruit volgt uiteindelijk de hoogst haalbare biologische toestand, het 'Maximaal Ecologisch Potentieel' (MEP). De norm die vervolgens gesteld wordt, het 'Goed Ecologisch Potentieel' (GEP), is 'een lichte afwijking' van het MEP. De biologie die beschreven wordt voor het MEP en het GEP wordt vertaald in eisen ten aanzien van de fysische chemie en de hydromorfologie (zie figuur 1) (Pot, 2005).



**Figuur 1:** Het figuur laat zien hoe, voor de Europese Kaderrichtlijn Water, het Goed Ecologisch Potentieel (GEP) wordt afgeleid van de referentietoestand door middel van de Aanpak 'Handreiking' (Pot, 2005)

In de Handreiking MEP/GEP is deze aanpak uitgewerkt tot de volgende te nemen stappen (figuur 1) (Pot, 2005):

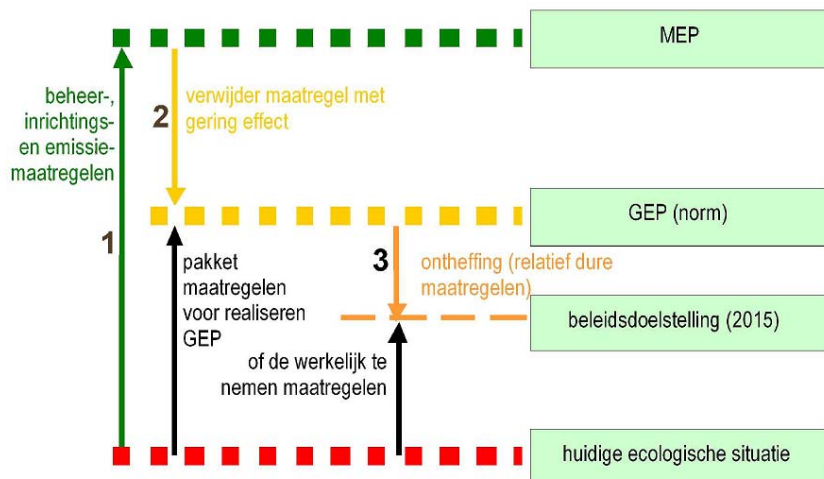
1. De effecten van de onomkeerbare hydromorfologische veranderingen (ingrepen) worden ten opzichte van de referentie ingeschat.
2. De effecten van alle relevante mitigerende maatregelen worden daarbij opgeteld; dit leidt tot vaststelling van het MEP geformuleerd in een beschrijving van de biologie en de algemene fysische chemie en de hydromorfologie.
3. Het GEP wordt vastgesteld als een lichte afwijking van het MEP, eveneens geformuleerd in een beschrijving van de biologie.
4. Als laatste volgt toetsing aan de huidige kwaliteit en als het doel niet wordt gehaald dient een pakket aan maatregelen te worden opgesteld en uitgevoerd, of moeten doelen worden gefaseerd en/of verlaagd.

In de praktijk blijkt het vaak moeilijk om op de genoemde methode het MEP en GEP vast te stellen. De KRW verwacht dat voor alle hydromorfologische ingrepen van de mens apart kan worden bekeken of zij het behalen van de goede ecologische toestand in de weg staan. Doordat er bijna altijd meerdere ingrepen hebben plaatsgevonden is dit moeilijk. Ook moet bekend zijn of beheersmaatregelen (een deel van de) effecten van de ingrepen teniet kunnen doen en welke effecten de ingrepen en de maatregelen hebben op de biologische kwaliteitselementen. De kennis van deze oorzaak-gevolg relaties zijn nog niet goed bekend en maken de genoemde aanpak voor het opstellen van het MEP en GEP moeilijk uitvoerbaar. Een alternatief mag nu worden gebruikt voor het



afleiden van het MEP en GEP, namelijk het 'pragmatisch alternatief' (figuur 2). Bij deze methode is de huidige situatie en niet de referentie het startpunt voor het afleiden van de doelen. Via beide methoden wordt theoretisch hetzelfde MEP en GEP geformuleerd.

Voor kunstmatige waterlichamen was de originele aanpak voor het afleiden van de doelen niet uitvoerbaar, omdat er geen natuurlijke referentie kan bestaan voor een kunstmatig waterlichaam. Hiervoor is het 'pragmatisch alternatief' de enige te gebruiken aanpak.



**Figuur 2:** Het figuur laat zien hoe via het 'Pragmatisch alternatief' het GEP wordt gebaseerd op het te nemen pakket aan maatregelen (Pot, 2005)

De stappen die moeten worden genomen bij het 'pragmatisch alternatief' (figuur 2) (Pot, 2005):

1. Eerst worden de effecten van alle relevante beheer-, inrichtings- en emissie maatregelen bij de huidige ecologische toestand opgeteld: het MEP. Met 'relevante' wordt bedoeld dat alleen beheer- en inrichtingsmaatregelen die schade aan maatschappelijke functies geven hier al achterwege kunnen worden gelaten. Aangenomen moet worden dat andere waterlichamen in het stroomgebied geen beperkingen opleggen voor het functioneren van het watersysteem.
2. Het GEP is een lichte afwijking van het MEP. Een mogelijke invulling van het GEP is het verwijderen van de maatregelen die weinig bijdragen aan ecologisch herstel. Hiermee is dan tevens de opgave bekend om het GEP te bereiken.
3. Het GEP is de norm. De beleidsdoelstelling is gebaseerd op de werkelijk te nemen maatregelen en komt daarna tot stand op basis van een maatschappelijke kosten-batenanalyse. Nu wordt ook rekening gehouden met de kosten van maatregelen. Voor het verschil tussen de norm en de beleidsdoelstelling wordt een ontheffing geformuleerd, bijvoorbeeld voor relatief dure maatregelen.

Bij het 'pragmatisch alternatief' worden de maatregelen genomen als uitgangspunt in plaats van de referentietoestand (zie figuur 1). De gekozen maatregelen bepalen de ecologische doelen. Ook wordt

het verschil tussen herstel- en mitigerende maatregelen minder belangrijk en combinaties van ingrepen en maatregelen worden beschouwd in plaats van ieder afzonderlijk (Pot, 2005).

## Hoofdstuk 2 Ondiepe meren

Ondiepe meren in Nederland zijn meestal minder dan 3 m diep, maar kunnen veel variëren in oppervlakte, van enkele ha tot wel meer dan 100 km<sup>2</sup> (Scheffer, 1998). De definitie van een ondiep meer is 'een permanent waterlichaam waar overal potentieel licht tot het sediment kan doordringen met als gevolg dat in het gehele meer hogere waterplanten kunnen groeien' (Wetzel, 2001). Doordat er in ondiepe meren vaak perioden zijn met hoge troebelheid, komen waterplanten meestal niet overal voor. De waterkolom van ondiepe meren is gewoonlijk helemaal gemengd en er vindt geen stratificatie plaats (Wetzel, 2001).

Vooraf de grote interactie tussen het sediment en het water en de grote (potentiële) invloed van waterplanten maken het functioneren van ondiepe meren heel anders dan het functioneren van diepe meren (Scheffer, 1998). De verhouding tussen de oppervlakte van de oeverzone en de inhoud van een ondiep en een diep meer is heel verschillend. De oeverzone heeft bij een ondiep meer een veel grotere invloed op de waterkolom dan bij een diep meer.

Ondiepe meren accumuleren vaak organisch materiaal en nutriënten. Door de afwezigheid van stratificatie kunnen in het sediment gebonden nutriënten makkelijker vrijkomen dan in een diep meer, waar geen constante menging van het water plaats kan vinden. Door het ruime aanbod van nutriënten zijn andere factoren, zoals de aanwezigheid van licht, meestal limiterend voor fotosynthetische activiteit (Wetzel, 2001).

### 2.1 Typering

Binnen de Kaderrichtlijn Water (KRW) worden verschillende typen ondiepe meren onderscheiden. Deze typering is gebaseerd op de geologie/ondergrond (kalkhoudend/kiezelhoudend en organisch), de grootte (<0,5 km<sup>2</sup>, 0,5-100 km<sup>2</sup> en >100 km<sup>2</sup>) en de buffercapaciteit (zuur, zwak gebufferd en gebufferd) (Van der Molen en Pot, 2007). Een kiezelhoudende bodem bestaat voornamelijk uit zand en klei (Elbersen *et al.*, 2003). Binnen dit onderzoek worden de volgende typen (zoetwater)meren beschouwd: M11, M14, M25 en M27. Vennen (M12 en M13) zijn buiten beschouwing gelaten omdat deze anders functioneren dan de genoemde ondiepe meren. De andere typen ondiepe meren zijn niet meegenomen omdat deze niet of nauwelijks voorkomen in Nederland (M22, M23 en M26). De descriptorren die gebruikt zijn om de meertypen vast te stellen en een overzicht van alle M-typen (stilstaande oppervlaktewateren) zijn weergegeven in respectievelijk bijlage 1 en bijlage 2.

#### **M11: Kleine ondiepe gebufferde plassen**

De geologie is voor meer dan 50% kiezel, de diepte minder dan 3 m en de oppervlakte minder dan 0,5 km<sup>2</sup>. Ondiepe (kleinere) gebufferde plassen kunnen van natuurlijke oorsprong zijn, maar zijn

veelal door de mens gegraven, bijvoorbeeld als veedrenkpoel of als plas in een eendenkooi. Ze komen in heel Nederland voor.

#### **M14: Grote ondiepe gebufferde plassen**

De geologie is voor meer dan 50% kiezel, de diepte is minder dan 3 m en de oppervlakte 0,5-100 km<sup>2</sup>. Tot dit watertype behoren de matig grote, vlakvormige, vrij ondiepe, semi-stagnante, gebufferde zoete wateren in de regio's laagveengebied, zeekleigebied, duinen en afgesloten zeearmen. In veel gevallen zijn de meren ontstaan door hydromorfologische ingrepen van de mens.

#### **M25: Ondiepe laagveenplassen**

De geologie is voor meer dan 50% organisch, de diepte is minder dan 3 m en de oppervlakte is kleiner dan 0,5 km<sup>2</sup>. Laagveenplassen zijn veenvormende systemen die voor het grootste deel en tot in de toplaag van het veen gevoed worden door mineraalrijk grond- en/of oppervlaktewater (minerotroef water). Ze vormen een onderdeel van een scala aan successiestadia, van open water met ondergedoken waterplanten en/of oeverplanten tot kraggevenen en broekbossen (drijftilvorming en verlanding).

#### **M27: Matig grote ondiepe laagveenplassen**

De geologie is voor meer dan 50% organisch, de diepte is minder dan 3 m en het oppervlak 0,5-100 km<sup>2</sup>. Laagveenplassen zijn veenvormende systemen die voor het grootste deel en tot in de toplaag van het veen gevoed worden door mineraalrijk grond- en/of oppervlaktewater (minerotroef water). Ze vormen een onderdeel van een scala aan successiestadia, van open water met ondergedoken waterplanten en/of oeverplanten tot kraggevenen en broekbossen (drijftilvorming en verlanding).

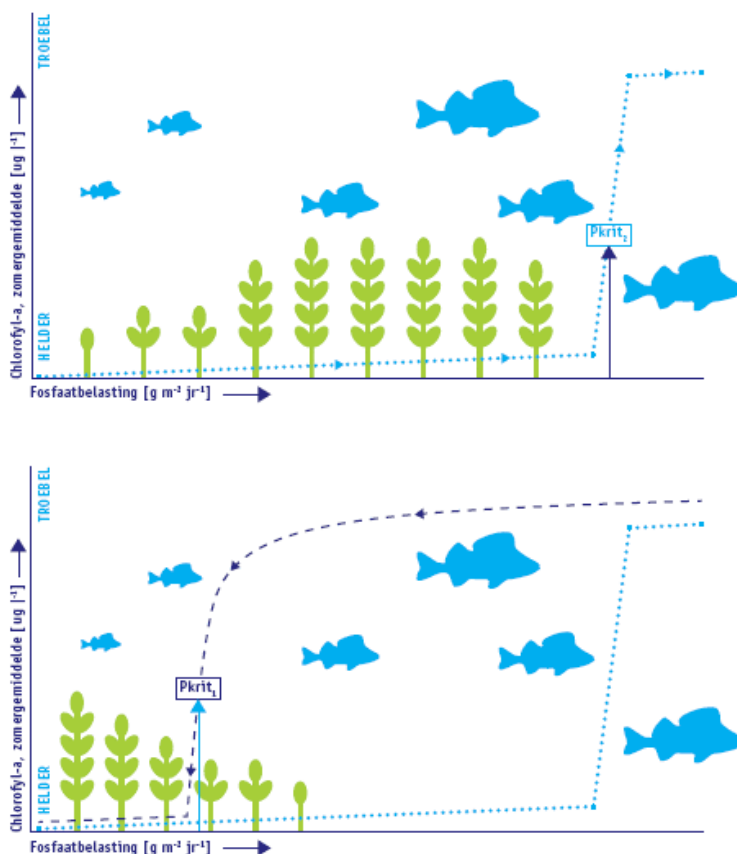
(Van der Molen en Pot, 2007)

## Hoofdstuk 3 Ecologische processen

In dit hoofdstuk zullen de belangrijkste ecologische processen die zich afspelen in ondiepe meren kort worden beschreven. Als belangrijkste processen worden beschouwd die processen die sturend zijn bij het handhaven van de troebele en heldere toestand of de transitie hiertussen. Vervolgens wordt beschreven op welke componenten of ecologische processen beheersmaatregelen voor het verbeteren van de waterkwaliteit aangrijpen.

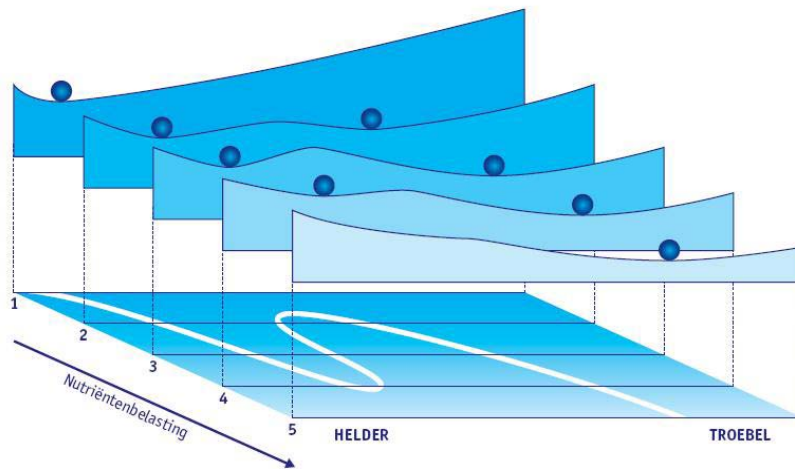
### 3.1 Hysterese

Er wordt aangenomen dat ondiepe meren twee alternatieve stabiele toestanden hebben; een heldere en een troebele toestand. De interactie tussen ondergedoken waterplanten en troebelheid staat centraal in het handhaven van de stabiele toestanden. Waterplanten stimuleren een heldere toestand, terwijl een hoge mate van troebelheid de vestiging van waterplanten juist voorkomt. Wanneer de hoeveelheid nutriënten in het water toeneemt, kunnen waterplanten tot een relatief hoge nutriëntenbelasting een heldere toestand stabiliseren. Wanneer het systeem echter troebel is geworden, is een hele grote afname in nutriënten nodig om terug te keren naar de heldere toestand (Scheffer *et al.*, 1993). Dit effect, waarbij het verband tussen oorzaak en gevolg niet alleen afhangt van de grootte van de oorzaak, maar ook van de richting waarin de oorzaak verandert, heet hysteresis (Jaarsma *et al.*, 2008)(figuur 3).



**Figuur 3:** Dit figuur laat bij een toenemende fosfaatbelasting de verandering in chlorofyl a zien. De kritische fosfaatbelasting van een heldere naar een troebele toestand is hoger dan de kritische fosfaatbelasting van een troebele naar een heldere toestand. Dit effect heet hysteresis (Jaarsma *et al.*, 2008)

Bij een lage en een hoge nutriëntenbelasting is maar één stabiele toestand mogelijk, respectievelijk helder en troebel. Bij de tussenliggende belastingen zijn er steeds twee stabiele toestanden mogelijk (Scheffer *et al.*, 1993)(figuur 4).



**Figuur 4:** De knikers in de afbeelding geven de stabiele toestanden aan waarin het ondiepe meer zich kan bevinden. Voor niveau 1 en niveau 5 van nutriëntenbelasting is er slechts een stabiel evenwicht mogelijk. Voor de tussenliggende niveaus zijn alternatieve stabiele toestanden mogelijk; troebel en helder. De hoogte van de bult geeft de weerstand aan tegen verandering (Jaarsma *et al.*, 2008).

### **3.2 Ecologische processen**

Bij beide stabiele toestanden zijn er verschillende abiotische en biotische componenten en processen tussen deze componenten verantwoordelijk voor stabilisatie van deze toestand. Met ecologische processen worden bedoeld, uit de ecologische kringloop gelichte fenomenen die zich afspelen tussen - en door de interactie van - verschillende componenten van een ecosysteem. Bij een lage nutriëntenconcentratie in het water is de heldere toestand met waterplanten overheersend. Door toevoeging van nutriënten vinden er verschillende processen plaats die uiteindelijk zullen leiden tot een troebele toestand zonder waterplanten (Wetzel, 2001). De karakteristieken van beide toestanden en de overgang van helder naar troebel zullen kort worden beschreven.

#### ***3.2.1 Heldere, plantenrijke toestand***

De heldere, plantenrijke toestand is de gewenste toestand voor ondiepe meren. Het is een toestand waarbij veel doorzicht is en veel waterplanten voorkomen. Waterplanten stabiliseren deze toestand op verschillende manieren.

1. Waterplanten bieden schuilplaatsen aan zoöplankton, waardoor deze predatie kunnen ontlopen. De grotere zoöplanktonsoorten zijn hierbij het belangrijkste, omdat deze een grote graasdruk kunnen uitoefenen op fytoplankton (Wetzel, 2001).
2. Hiernaast gebruiken jonge roofvissen de planten als schuilplaats, waardoor zij predatie door soortgenoten kunnen ontlopen. Roofvissen zijn belangrijk om de populatie benthivore en

planktivore vissen laag te houden. Dit is weer belangrijk om respectievelijk opwerveling van sediment en de begrazing op zoöplankton en macrofauna te verminderen (Wetzel, 2001).

3. Ook wortelen waterplanten in de bodem en maken hierdoor de bodem steviger, waardoor er minder makkelijk sediment kan worden opgewerveld dat vervolgens het doorzicht verlaagt (Wetzel, 2001).
4. Als laatste leggen planten veel nutriënten vast en bevorderen ze nitrificatie-denitrificatie, doordat er in het sediment bij wortelende waterplanten aerobe en anaerobe toestanden zijn waardoor stikstof kan worden gedenitrificeerd. Door deze processen wordt fytoplankton en perifyton (een levensgemeenschap bestaande uit algen, schimmels, bacteriën en detritus op waterplanten) gelimiteerd in nutriënten en daardoor geremd in groei (Wetzel, 2001).
5. In sommige meren kunnen driehoeksmosselen een grote bijdrage leveren aan helderheid doordat ze grote hoeveelheden water per dag kunnen filteren. Ze filteren zo algen en cyanobacteriën uit het water. De driehoeksmossel is een exotische soort, maar is ingeburgerd in Nederland (Dionisio Pires, 2005).

### **3.2.2 Overgang naar troebele toestand**

De verrijking van het water met nutriënten, eutrofiëring, is het proces dat het belangrijkste is voor de overgang van een heldere naar een troebele toestand. Eutrofiëring wordt veroorzaakt door nutriënten die van buitenaf komen of uit het sediment vrijkomen, of een combinatie van beide. De nutriënten die van buitenaf worden aangevoerd kunnen afkomstig zijn uit de landbouw, uit rioolwaterzuiveringeffluent en riooloverstorten. Interne eutrofiëring wordt veroorzaakt doordat nutriënten zich hebben opgehoopt in het sediment en vrijkomen door middel van chemische processen.

1. Een hoge concentratie nutriënten in de waterkolom heft de nutriëntenlimitatie op voor fytoplankton en perifyton, die in een heldere toestand door waterplanten wordt veroorzaakt. Vooral fytoplanktonsoorten, die een grote capaciteit hebben om licht te absorberen en een laag lichtcompensatiepunt hebben, vermeerderen zich dan snel. De begrazing op fytoplankton en op perifyton neemt af door redenen die in punt 2 en 3 zullen worden besproken. Door de grote hoeveelheid perifyton en fytoplankton worden de planten beschaduwd en zullen verdwijnen (Scheffer, 1998; Jones and Sayer, 2003).
2. Het zoöplankton wordt meer begraasd door jonge benthivore vissen. Dit komt doordat er meer voedsel is voor benthivore vissen vanwege een sterke toename van benthos. De productiviteit van zoöplankton neemt niet genoeg toe om de begrazing door vissen te compenseren. Door de lage hoeveelheden zoöplankton wordt het fytoplankton niet genoeg begraasd om de groei af te remmen (Scheffer, 1998).

3. De grotere benthivore vissen eten macrofauna en hierdoor zal er een lage begrazing zijn door macrofauna op perifyton. Door de toename van perifyton zullen, zoals besproken, de waterplanten verdwijnen (Scheffer, 1998; Jones and Sayer, 2003).

### **3.2.3 Troebele toestand**

Wanneer de waterplanten zijn verdwenen zijn er stabiliserende processen aanwezig voor de troebele toestand.

4. De populatie zoöplankton blijft op een laag niveau doordat het zoöplankton geen waterplanten heeft om in te schuilen en hierdoor makkelijk begraasd kan worden door de grote hoeveelheden planktivore vissen.
5. Daarnaast beïnvloedt de aanwezigheid van cyanobacteriën de populatie zoöplankton negatief omdat dit geen goede voedselbron is en cyanobacteriën toxische stoffen produceren.

De troebelheid van het water wordt naast de aanwezigheid van fytoplankton ook veroorzaakt door zwevend stof in de waterkolom.

6. Het bovengelegen sediment in ondiepe, troebele meren bestaat meestal uit een slappe sliblaag. Deze laag kan door foerageeractiviteiten van benthivore vissen en door wind makkelijk worden opgewerveld. Het zwevende stof dat zo in de waterkolom terecht komt zorgt voor een lager doorzicht. Dit remt de groei van waterplanten.

Het lage doorzicht en de slappe bodem maken het moeilijk voor waterplanten om zich te vestigen in het meer. De afwezigheid van waterplanten halen de stabiliserende factoren voor een heldere toestand weg.

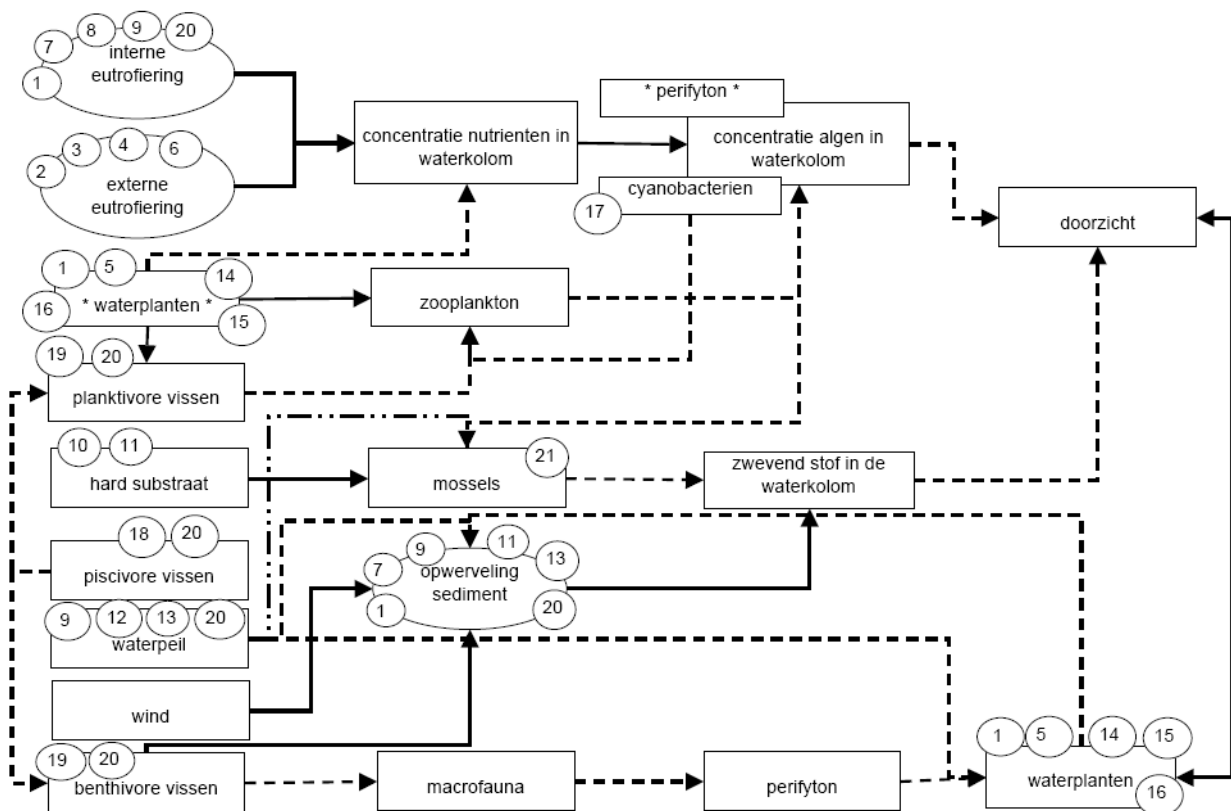
De overgang van een heldere toestand naar een troebele toestand kan worden bevorderd door activiteiten van de mens. Wanneer het meer al geëutrofeerd is, maar nog niet is omgeslagen naar een troebele toestand kunnen bijvoorbeeld de volgende activiteiten de omslag versnellen.

1. Introductie van bodemwoelende vissen zoals de brasem (*Ambramis brama*) en de plantenetende vis zoals de graskarper (*Ctenopharyngodon idella*).
2. Het verwijderen van waterplanten ten behoeve van recreatie met bootjes.
3. Begrazing van watervogels op waterplanten.
4. Wegvangen van roofvissen, bijvoorbeeld door sportvissers.
5. Verandering van natuurlijke peilfluctuaties door peilbeheer.
6. Verandering van de morfologie van het waterlichaam.



### 3.3 Relaties ecologische processen met beheersmaatregelen

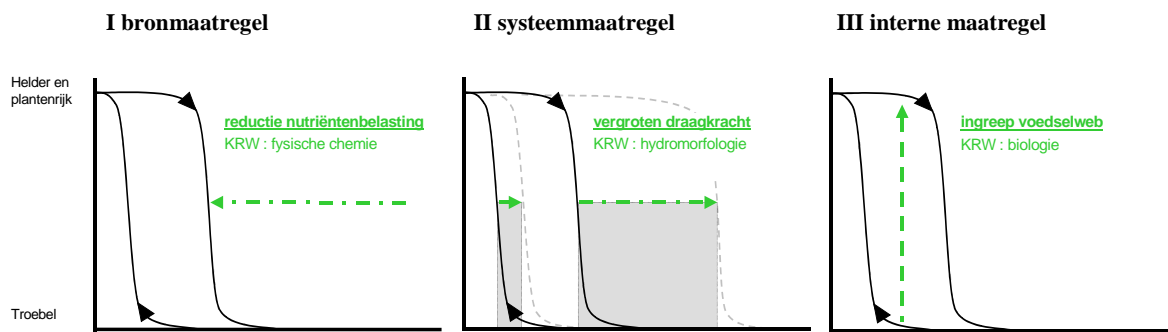
De ecologische processen en abiotische en biotische componenten die bijdragen aan een heldere dan wel troebele toestand zijn beschreven in het voorgaande gedeelte. Het begrip van deze processen is belangrijk voor het beheer omdat hierop invloed moet worden uitgeoefend door middel van beheersmaatregelen om een heldere toestand te bereiken. De componenten van een ondiep meer en de relaties ertussen zijn weergegeven in figuur 5. Dit schema laat de belangrijkste ecologische processen zien die uiteindelijk invloed hebben op het doorzicht in het meer. Daarnaast laat het van 20 beheersmaatregelen zien op welke component(en) deze direct ingrijpen. Het figuur laat positieve (doorgetrokken strepen) en negatieve (niet doorgetrokken strepen) verbanden zien tussen componenten. Alleen de meest belangrijke verbanden zijn weergegeven. De maatregelen hebben een (beoogde) directe invloed op een op meer componenten, maar uiteindelijk is het doel dat ze doorwerken in het ecosysteem en het doorzicht beïnvloeden.



**Figuur 5:** Schematische weergave van de belangrijke abiotische en biotische componenten in een ondiep meer en de ecologische processen die hiertussen plaatsvinden. De rechthoekige vormen zijn abiotische en biotische componenten en de ovale vormen zijn processen. De doorgetrokken pijlen geven een positief verband aan, de gestippelde pijlen een negatief verband en de pijl met stipjes en streepjes geeft een verband aan dat negatief en positief kan zijn. De rondjes met nummers stellen maatregelen voor, de betekenis van de nummers staat in tabel 1. De maatregelen hebben een directe invloed op de component(en) waar ze in staan geplaatst. De componentenvakjes met sterretjes bij de naam zijn kopieën van een origineel vakje elders in het figuur.

Beheersmaatregelen kunnen worden ingedeeld in drie groepen: (innovatieve) bronmaatregelen, systeemmaatregelen en interne maatregelen (figuur 6). Deze groepen zijn ingedeeld naar het beoogde effect van de maatregel op het ecosysteem.

1. Bronmaatregelen; deze verminderen de nutriëntenbelasting
2. Systeemmaatregelen; deze vergroten de draagkracht
3. Interne maatregelen; deze grijpen in in het voedselweb



**Figuur 6:** Drie typen maatregelen voor het verbeteren van de waterkwaliteit in ondiepe meren. In de grafieken is de weg van een heldere en plantenrijke toestand weergegeven naar een troebele toestand. De terugweg verloopt via een andere weg (hysterese). De toestand van het meer kan worden beïnvloed door bron-, systeem- en interne maatregelen. Bronmaatregelen veranderen de fysische chemie, systeemmaatregelen de hydromorfologie en interne maatregelen grijpen in op de biologie (Jaarsma et al., 2008).

De maatregelen die worden toegepast in het waterbeheer (tabel 1) kunnen worden ingedeeld in de maatregeltypen (figuur 6). Van een selectie van deze maatregelen zal in het volgende hoofdstuk worden geëvalueerd wat al wel en nog niet bekend is van de uitwerking op de ecologie.

**Tabel 1:** De maatregelen die worden toegepast in het waterbeheer met als doel het verbeteren van de waterkwaliteit in ondiepe meren. De nummers van de maatregelen verwijzen naar figuur 5, de typen maatregelen naar figuur 6.

Nr.	Maatregel	Type maatregel	Omschrijving	Beoogd effect
1.	Baggeren nutriëntrijke sliblaag	Bronmaatregel	Bij het baggeren wordt de sedimentlaag met de opgeslagen nutriënten geheel of gedeeltelijk verwijderd uit het systeem.	Baggeren → minder nutriënten in sediment, stevigere bodem
2.	Verbinding watertoevoer afsluiten	Bronmaatregel	Door deze maatregel wordt het meer niet meer gevoed met extern, geëutrofeerd water.	Minder nutriënten in water → minder fytoplankton en perifyton
3.	Defosfateren inlaatwater	Bronmaatregel	Het inlaatwater wordt gedefosfateerd door een injectie van ijzerchloride en hierna kan het gebonden fosfaat bezinken in een bezinkbak.	Minder nutriënten in water → minder fytoplankton en perifyton
4.	Effluent beter zuiveren voor lozing	Bronmaatregel	Het water dat vanuit een afvalwaterzuivering op een meer wordt geloosd, of in een waterlichaam dat in verbinding staat met het meer, wordt beter ontdaan van nutriënten.	Minder nutriënten in water → minder fytoplankton en perifyton
5.	Aanleggen helofytenfilter	Bronmaatregel	Een helofytenfilter wordt aangelegd door het aanplanten van oevervegetatie op de plek waar het externe water het meer inkomt.	Minder nutriënten in water → minder fytoplankton en perifyton
6.	Nutriëntentoevoer landbouw verminderen	Bronmaatregel	De toevoer van nutriënten vanuit de landbouw kan op verschillende manieren worden gereduceerd. Dit kan door: 1. Minder bemesten 2. Ander peilbeheer	Minder nutriënten in water → minder fytoplankton en perifyton

			3. Effectiever bemesten	
7.	Afdekken sediment met zand	Innovatieve bronmaatregel	Het zand wordt op voorzichtige wijze uitgestrooid over het water zodat het langzaam naar de bodem zakt en niet onder de laag komt te liggen die moet worden bedekt. Het zand is niet zout en bevat geen nutriënten.	Afsluiten nutriëntenrijk sediment → minder nutriënten in water
8.	Chemisch vastleggen nutriënten	Innovatieve bronmaatregel	Fosfaat kan chemisch worden vastgelegd door het neer te laten slaan of te laten binden aan ijzer, aluminium, calcië of lantaan.	Vastleggen P in sediment → minder P in water
9.	Aanleggen verdieping	Systeemmaatregel	Een verdieping is een diepe put in de waterbodem van een meer waarin het losse sediment opgevangen kan worden, of een algemenere verdieping.	Opvangen nutriëntenrijke sediment → minder nutriënten in sediment
10.	Aanleggen vast substraat	Systeemmaatregel	De bodem van een meer wordt 'harder' gemaakt door het aanbrengen van (niet-natuurlijke) structuren op de bodem.	Meer hard substraat → meer habitat voor mosselen
11.	Aanleggen dammetjes	Systeemmaatregel	De dammetjes, die net onder het wateroppervlak, of boven het wateroppervlak uitstekend worden aangelegd, verkorten de strijklengte. Hiervoor moeten ze wel in de goede richting worden aangelegd.	Dammetjes → minder golfslag door wind, meer habitat voor mosselen
12.	Natuurlijker peilbeheer	Systeemmaatregel	In plaats van een vast peil wordt een variabel peil ingesteld met een hoger peil in de winter en een lager peil in de zomer.	Variabel peil → meer ontkieming waterplanten / lichtklimaat variabel / invloed wind op sediment variabel
13.	Verondiepen	Systeemmaatregel	Een verondieping of eiland wordt aangelegd.	Lager waterpeil → meer kieming waterplanten, meer sediment opwerveling
14.	Aanleggen bescherming voor oever tegen golfslag	Systeemmaatregel	Een structuur wordt in het water aangelegd waardoor de oever minder invloed van golfslag heeft.	Meer oevervegetatie → beter doorzicht, meer habitat voor zoöplankton en piscivore vissen, minder nutriënten in water
15.	Oevers natuurlijk maken	Systeemmaatregel	De harde oevers worden zacht gemaakt en meer geleidelijk.	Natuurlijkere oevers → meer oevervegetatie
16.	Aanplanten waterplanten of verspreiden propagulen	Interne maatregel	Onderwaterplanten en oevervegetatie worden aangeplant (meestal beschermd, zie 14)) of plantendelen of zaden van planten worden verspreid op de juiste plekken.	Meer waterplanten → meer habitat voor zoöplankton, piscivore vissen, minder sediment opwerveling, meer doorzicht
17.	Gerstestro	Interne maatregel	Het stro wordt in zakken verdeeld in de winter in het water geplaatst. Na zes maanden dient het stro te worden ververs (shallow lakes, 2002). Gerstestro werkt als chemische suppressie voor algen.	Minder algen → meer doorzicht
18.	Aanleggen snoekenpaaiplaats	Interne maatregel	De roofvispopulatie wordt bevorderd door een paaigebied aan te leggen dat verbonden is met het meer. In dit paaigebied worden eerst roofvissen uitgezet zodat ze zich daar kunnen voortplanten. Via een vistrap kunnen de jonge snoeken, wanneer ze groot genoeg zijn, het meer bereiken. De aanwezigheid van waterplanten is belangrijk voor de overleving van de jonge roofvissen. Dus stimulering van waterplanten is belangrijk om de roofvispopulatie te bevorderen.	Meer roofvissen → minder planktivore en benthivore vissen
19.	Wegvangen benthivore en planktivore vissen	Interne maatregel	Bij visstandbeheer worden benthivore en planktivore vissen weggevangen, dit zijn respectievelijk vooral oudere brasems en jongere brasems. Bij actief biologisch beheer (ABB) wordt eenmalig de brasempopulatie sterk uitgedund, hierbij worden volwassen en jonge brasems gevangen. Bij beheersvisserijen	Minder benthivore vissen → minder opwerveling, meer macrofauna Minder planktivore vis → meer zoöplankton

			worden de grote brasems weggevangen en dit wordt periodiek gedaan.	
20.	Droogval	Interne maatregel	Droogval kan worden toegepast in een geheel meer of in een gedeelte gedurende een bepaalde periode.	Droogval → stevigere bodem, bevordering nitrificatie en na vullen denitrificatie, vissen dood/weg
21.	Uitzetten van mosselen	Interne maatregel	Mosselen worden uitgezet op een harde ondergrond of op een constructie waar ze aan kunnen hechten. Soms worden de mosselen beschermd tegen vraat door watervogels	Meer mosselen → Minder zwevend stof in de waterkolom, minder algen in de waterkolom

Ik heb een selectie gemaakt van maatregelen die ik uitgebreider zal behandelen (tabel 2). Van deze maatregelen evalueer ik de kennis over de effecten op het ecosysteem en wijs ik kennisleemten aan. Alle maatregelen behalve ‘actief biologisch beheer en visstandbeheer’ zijn gekozen omdat van deze maatregelen nog weinig bekend is en deze weinig zijn toegepast, maar door specialisten worden aangewezen als kansrijk voor het verbeteren van de waterkwaliteit. ‘Actief biologisch beheer en beheersvisserijen’ wordt behandeld omdat het de meest toegepaste maatregel is en het belangrijk is dat de effecten goed begrepen worden.

**Tabel 2:** De selectie van maatregelen welke uitgebreid behandeld worden. De kennis over de effecten van de maatregelen op het ecosysteem wordt geëvalueerd en kennisleemten worden aangewezen.

Innovatieve bronmaatregel	Systeemmaatregel	Interne maatregel
Sediment afdekken met zand (7)	Natuurlijker peilbeheer (12)	Aanplanten (oever)vegetatie of verspreiden propagulen (16) (en bieden van bescherming (14))
Chemisch vastleggen fosfaat in sediment (8)	Verdiepen en/of verondiepen (9 en 13)	Droogval (20)
		Actief Biologisch Beheer en beheersvisserijen (19)

## Hoofdstuk 4            Beheersmaatregelen

In dit hoofdstuk beschrijf ik de geselecteerde maatregelen (tabel 2) uitgebreider. Daarnaast schat ik de directe effecten per maatregel en de verwachte effecten op ecologische processen in met behulp van figuur 3. Ik evalueer de kennis die aanwezig is in literatuur over de betreffende maatregel en ik formuleer in hoofdstuk 6 bij elke maatregel nog openstaande vragen. De potentie van de maatregel komt in hoofdstuk 7 aan bod.

In hoofdstuk 5 worden case studies beschreven waarin bijna alle behandelde maatregelen in de praktijk zijn uitgevoerd.

### 4.1    Innovatieve bronmaatregelen

#### **4.1.1 Sediment afdekken met zand**

Deze maatregel is alleen toegepast in de Bergse Plassen bij Rotterdam. Een laag ontzilt zand, dat vrij is van nutriënten, wordt bij deze maatregel aangebracht op een nutriëntenrijke bodem. Het doel van het aanbrengen van zand bij de Bergse Plassen was het voorkomen van het uitbreken van veen en het afdekken van de sliblaag om opwerveling te verminderen. Daarnaast werd het zand aangebracht om de aanwezige nutriënten in het slib en veen af te sluiten van de waterkolom.

#### Invloed op ecologische processen

Het directe effect (•) en de verwachte invloeden (o) van het aanbrengen van zand op het sediment:

- Het slib en veen is bedekt en heeft geen direct contact met het water.
  - o Doordat het zand bovenop het slib en veen ligt is er nu meer interactie tussen het zand en het water in plaats van tussen het organische sediment en het water. Het zand bevat geen nutriënten in tegenstelling tot het onderliggende sediment en hierdoor neemt de interne eutrofiëring af.
  - o Zand is zwaar en zal niet snel worden opgewerveld. Hierdoor is er bijna geen opwerveling meer van slib en neemt de hoeveelheid zwevend stof af in de waterkolom (Lamers *et al.*, 2006).
  - o De aanwezigheid en vestiging van planten wordt beïnvloed. In het zand zitten geen zaden of delen van planten, dus wanneer planten zich willen vestigen moeten zaden of propagulen van buiten worden aangevoerd. Doordat zand een andere structuur heeft dan veen of slib, kan de vestiging van planten anders verlopen. Zand is steviger dan slib en hier kunnen waterplanten waarschijnlijk beter in wortelen.

### Bestaande kennis

Deze maatregel is slechts één keer uitgevoerd en verder heeft er nog geen onderzoek plaatsgevonden naar de effecten van het aanbrengen van zand op een nutriëntenrijke sedimentlaag. Deze maatregel kan alleen worden geëvalueerd aan de hand van de Bergse Plassen case study. Deze evaluatie is uitgevoerd in hoofdstuk 5.

#### **4.1.2 Chemisch vastleggen van fosfaat in het sediment**

Veel waterbodems van ondiepe meren in Nederland zijn opgeladen met nutriënten in de loop der tijd. Meestal is fosfor de limiterende factor voor de primaire productie van binnenwateren en de hoeveelheid P bepaalt dus de productie (Schauser *et al.* 2004). Fosfaat kan in verschillende vormen in de bodem zijn opgeslagen, namelijk gebonden aan ijzer of aluminium, gebonden aan calcium en organisch gebonden (Jaarsma *et al.*, 2008). Mechanismen waardoor fosfaat onder andere vrij kan komen zijn tijdelijke zuurstofloosheid, ijzerreductieprocessen en verhoogde pH (door fotosynthese). Deze reacties worden bevorderd door hogere temperaturen (Cooke, 1993). Organisch gebonden fosfaat kan vrijkomen door mineralisatie.

Door extra verbindingen toe te voegen aan de bodem waar fosfaat aan kan binden, zal minder fosfaat beschikbaar zijn. Dit kan worden gedaan door middel van het laten neerslaan van fosfaat met behulp van ijzerzouten, aluminiumzouten, lantaan of calciëet (Berg *et al.*, 2004 & Lamers *et al.*, 2006). Deze verbindingen worden toegevoegd aan het sediment en slaan neer met fosfaat.

### Invloed op ecologische processen

De directe effecten (•) van het toevoegen van ijzerzouten, aluminiumzouten, lantaan en calciëet en het verwachte effect (o) op ecologische processen:

- Een voorbeeld van een ijzerzout dat gebruikt wordt voor fosfaatfixatie is  $\text{FeCl}_3$  (Cooke *et al.*, 1993). Wanneer er genoeg zuurstof aanwezig is zal het ijzer ( $\text{Fe}^{3+}$ ) binden aan fosfaat, maar ook aan sulfide (Lamers *et al.*, 2006).
- Aluminiumzouten die worden toegevoegd, zoals aluminiumsulfaat, dissociëren eerst en vormen hierna  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , dit kan anorganisch fosfaat absorberen (Cooke *et al.*, 1993).
- Lantaan reageert met fosfaat tot lantaanfosfaat (1:1) en dit is onder een grote range aan omstandigheden heel slecht oplosbaar (Haghsersht, 2004).
- Calciëet kan worden toegevoegd aan het water, of kalk dat neerslaat met koolstofdioxide, waardoor calciëet ( $\text{CaCO}_3$ ) wordt gevormd, dit is zeer slecht oplosbaar in water. Fosfaat kan aan calciëet binden en hierdoor wordt fosfaat vastgelegd in het sediment (Wienk *et al.*, 2000).

- Door het chemisch vastleggen van fosfaat neemt de hoeveelheid fosfaat, dat beschikbaar is voor organismen, af. Hierdoor zal de concentratie aan fytoplankton in de waterkolom afnemen net als de hoeveelheid perifyton. Hierdoor wordt het lichtklimaat voor planten positief beïnvloed.

### Bestaande kennis

#### *Aluminium*

De werking van aluminiumzouten in het fixeren van fosfaat in ondiepe meren is geëvalueerd voor negen case studies (Welch *et al.*, 1988). Vijf case studies vertoonden een verlaagd fosfaatgehalte in het water, een verlaagde fytoplanktonconcentratie en verhoogd doorzicht voor in ieder geval een jaar. Bij de andere vier case studies was dit niet het geval (Cooke *et al.*, 1993). Uit deze studie kan geconcludeerd worden dat aluminiumbehandelingen van ondiepe meren effectief zijn om in ieder geval een jaar fosfaatconcentratie in het water te verlagen. Hoe goed de reactie van aluminium met fosfaat verloopt, hangt af van de pH, de alkaliniteit, de temperatuur en de hoeveelheid wind bij toevoeging. De binding van aluminium aan fosfaat is niet gevoelig voor redoxveranderingen.

Wanneer het sediment bijvoorbeeld wordt verstoord door wind kan de fosfaatconcentratie toenemen (Cooke *et al.*, 1993). Een belangrijk nadeel van aluminium is dat het toxisch kan worden wanneer de pH niet tussen de 6 en 8 blijft (Cooke *et al.*, 1993). Aluminiumzouten lijken langdurigere effecten te geven dan ijzerzouten en calcië (Cooke *et al.*, 1993).

#### *IJzer*

Op korte termijn kan het toevoegen van ijzer aan de bodem heel succesvol zijn, maar het effect duurt vaak niet langer dan een seizoen doordat de consumptie van dit metaal aan sulfide erg hoog kan zijn (Lamers *et al.*, 2006). De binding van ijzer is gevoelig voor redoxveranderingen en pH. Wanneer ijzer wordt gereduceerd of de pH hoger wordt (door bijvoorbeeld fotosynthese) wordt de binding met fosfaat verbroken (Cooke *et al.*, 1993). Bij de plas Groot Vogelenzang, waarbij ijzer(III)chloride werd toegevoegd om fosfaat in het sediment vast te leggen was voor korte tijd totaal fosfaat, chlorofyl a en zwevend stof verlaagd, maar na drie maanden nam de hoeveelheid fosfaat weer toe. De kortere bindingsduur dan verwacht (verwacht was 1 jaar) werd verklaard door het hoge fosfaatgehalte in het inlaatwater. Deze case study maakt duidelijk dat deze maatregel in combinatie met interne beheersmaatregelen moet worden toegepast om kans te maken op meer duurzame resultaten (Gulati en Van Donk, 2002).

### *Calciet*

Het toepassen van kalk ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) kan de pH plotseling verhogen tot 12 en dit is een toxische waarde voor de meeste aquatische organismen. Het toepassen van calciet heeft deze bijwerking niet (Berg *et al.*, 2004). De effectiviteit van calciet als fosfaatfixerend middel hangt af van de eigenschappen van het calciet dat wordt gebruikt, bijvoorbeeld de korrelgrootte (Berg *et al.*, 2004). Calciet applicatie zou misschien alleen toegepast moeten worden bij kleine meren die niet-mixende lagen hebben met een hoge P-afgifte potentie, een lange aanpassingstijd van een vermindering van externe P-input en weinig bioturbatie (Berg *et al.*, 2004). Uit een laboratoriumexperiment bleek dat voor een bepaald type calciet een reductie van 80% fosfaatafgifte uit de bodem voor twee tot drie maanden kon worden bereikt en zeven tot tien maanden voor een effectievere vorm van calciet (Berg *et al.*, 2004).

### *Lantaan*

In Nederland is een klein experiment uitgevoerd om de werkzaamheid van lantaan (phoslock) te testen (Tolman, 2007). In het veldexperiment nam de hoeveelheid cyanobacteriën in het gedeelte waar lantaan werd toegepast veel minder toe dan in het deel waar geen lantaan werd toegevoegd. In het laboratoriumexperiment werd de hoeveelheid chlorofyl a ook significant onderdrukt door lantaan. Meer onderzoek is nodig om de eigenschappen en invloeden van lantaan beter te begrijpen voordat het kan worden toegepast in grotere veldexperimenten (Tolman, 2007).

## **4.2    Systeemmaatregelen**

### **4.2.1 Meer natuurlijk peilbeheer**

Het waterpeil en de natuurlijke fluctuaties hierin zijn van grote invloed op een ondiep meer en de processen die hierin plaatsvinden. Het waterpeil in Nederlandse ondiepe meren werd vroeger gestuurd door verschillende factoren, zoals regen, wegzijging of kwel en verdamping. Het peilbeheer is in Nederland over het algemeen zeer strak, met weinig fluctuaties. Het peilbeheer wordt vooral gestuurd door het gebruik. De beheerder kan een vast peil, een omgekeerd peil (hoog in de zomer, laag in de winter), een semi-natuurlijk of een natuurlijk peil handhaven. Deze maatregel streeft naar een natuurlijker peilbeheer met grotere verschillen tussen de minimale en maximale waterstand en hoger water in de winter dan in de zomer.

### Effecten op ecologische processen

De directe effecten (•) en verwachte invloeden (o) van een meer natuurlijk peilbeheer:



- Door het fluctueren van het waterpeil is de diepte van de waterkolom niet meer vast maar variabel gedurende het jaar. Er zijn periodes met ondieper en periodes met dieper water.
  - Het lichtklimaat op de waterbodem verandert gedurende het jaar en dit heeft een effect op de groei van ondergedoken waterplanten. Er valt meer licht op de bodem wanneer het ondieper is en dit is gunstig voor waterplanten (ook voor fyto-benthos). Wanneer het echter heel ondiep wordt, gaat de temperatuur meer schommelen in het water en de bodem. Dit heeft effect op de chemische reacties en organismen die er leven (Van den Berg en Portielje, 2002).
  - Het voorkomen van driehoeksmosselen wordt ook beïnvloed door het waterpeil. De mosselen zijn gebonden aan dieper water dan ongeveer 80 cm omdat de temperatuur voor de voortplanting niet teveel mag fluctueren. Dieper dan 2 m is echter niet positief voor de conditie van de mosselen (Noordhuis en Zwarts, 2002).
  - De diepte van het water beïnvloedt de opwerveling van de bodemdeeltjes door wind. Bij een lager waterpeil vindt er meer opwerveling plaats van sediment dan bij hoger water. Dit kan ook een effect hebben op interne eutrofiëring (Van den Berg en Portielje, 2002).
  - De diepte van het water en windactiviteit beïnvloeden de hoeveelheid zuurstof in de bodem. Wanneer er minder zuurstof aanwezig is zullen ijzer(hydr)oxide-fosfaat-complexen reduceren en daardoor komt fosfaat vrij. Als de verhouding zuurstof/organische stof niet goed is zal er minder stikstof worden verwijderd door middel van nitrificatie-denitrificatie (Van den Berg en Portielje, 2002).
  - Door een wisselend peil is de golfslag niet steeds op dezelfde hoogte, dit zorgt voor minder schade aan de oevervegetatie (Lamers *et al.*, 2006).
- Als er in de zomer minder water wordt ingelaten doordat het peil mag zakken dan hoeft er minder gebiedsvreemd water ingelaten te worden.
  - Minder instroom van gebiedsvreemd water kan zorgen voor minder instroom van nutriënten, afhankelijk van de lokale situatie.
  - Een negatief aspect kan samenhangen met de landbouw. In de winter stroomt er vaak veel fosfaat uit de landbouw in de waterlichamen en wanneer het waterpeil hoger wordt gehouden blijft dit P-rijke water in de meren (overleg G. van Geest, 2008).
- Droogval van een deel van de oever gedurende de zomer.
  - Het peilbeheer heeft invloed op het voorkomen van vegetatie op de oever. Dit heeft te maken met de kieming van zaden en de hoeveelheid licht die erop valt. Een relatief hoog peil in het najaar en de winter en een laag peil in de zomer zijn gunstig

voor de ontwikkeling van oevervegetatie en het vormen van paaiplaatsen voor (roof)vis (Vermaat, 2002).

- o Doordat er zuurstof kan komen bij de oever oxideert het ijzer en kan hierdoor fosfaat binden. Ook kan meer nitrificatie-denitrificatie plaatsvinden waardoor N uit het systeem wordt verwijderd.

### Bestaande kennis

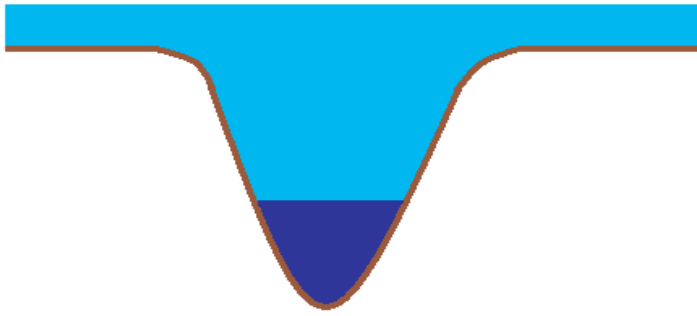
De uiteindelijke uitwerking van een fluctuerend peilbeheer op de waterkwaliteit hangt af van veel verschillende factoren. De verbetering van de waterkwaliteit door verhoogde groei van oevervegetatie, veroorzaakt door peilfluctuaties, wordt door Van den Berg en Portielje (2002) gezien als de belangrijkste invloed van de maatregel. De invloed van de oevervegetatie op de waterkwaliteit hangt af van de interactie van de oever met de waterkolom en deze is afhankelijk van drie factoren: de morfologie van de bodem (onder andere het oppervlak met ondiep water), de grootte en de vorm van het systeem en het peilverloop (de amplitude, timing en duur) (Van den Berg en Portielje, 2002).

De invloed van peilfluctuaties op de nutriëntenstromen in een meer is zeer complex (Wienk *et al.*, 2000). Een kwantitatieve inschatting van de effecten is nog niet mogelijk, een kwalitatieve indicatie wel (Wienk *et al.*, 2000). Samengevat worden in de oeverzone, die afwisselend nat en droog valt, mineralisatie van organisch materiaal, denitrificatie en fosfaatbinding bevorderd (Wienk *et al.*, 2000). Een invloed op de waterkolom is de verandering in kwel en wegzijging door een veranderd peil. Wanneer een lager peil wordt gehandhaafd, zal er meer kwelwerking optreden en wanneer dit fosfaatrijk is zal de externe eutrofiëring toenemen (Van den Berg en Portielje, 2002).

De toename in vegetatie door een fluctuerend peil kan teniet worden gedaan door graasdruk van watervogels en vee. Deze negatieve invloed kan met behulp van creatief peilbeheer gestuurd worden (Vermaat, 2002).

### **4.2.2 Verdiepen en verondiepen**

Het diepteprofiel van een meer is erg belangrijk voor het lichtniveau op de waterbodem en de hoeveelheid vat die de wind heeft op het sediment. Wanneer als maatregel ter verbetering van de waterkwaliteit een verdieping wordt aangelegd, wordt een zogenaamde diepe put aangelegd. Dit is een lokale verdieping in een ondiep meer (figuur 5). Het donkerblauwe gedeelte is het hypolimnion. Deze ontstaat wanneer de diepe put diep genoeg is om thermale stratificatie te laten plaatsvinden. Dit is meestal bij een diepte van meer dan 6 m (Wetzel, 2001).



**Figuur 5:** Schematische voorstelling van een diepe put in een ondiep meer. Wanneer de put dieper is dan 6 m kan thermale stratificatie plaatsvinden en vormt het donkere gedeelte het hypolimnion.

Een lokale verondieping in een meer leidt tot een ondiep watergedeelte (figuur 6) of een klein eiland (figuur 7).

**Figuur 6:** Schematische voorstelling van een lokale verondieping in een ondiep meer.



**Figuur 7:** Schematische voorstelling van een lokale verondieping die leidt tot de vorming van een klein eiland in een ondiep meer.

### Effecten op ecologische processen

De directe effecten (•) en verwachte invloeden (o) van het lokaal verdiepen van een meer:

- Het waterpeil wordt hoger in het verdiepte gedeelte.
  - o Door het hoger worden van het waterpeil dringt, afhankelijk van de grootte van het doorzicht, minder licht tot de bodem door. Dit heeft een negatief effect op de groei van ondergedoken waterplanten.
- Nutriëntenrijk slib verzamelt zich door wind en benthivore activiteit in de verdiepte zone.
  - o Doordat het nutriëntenrijke slib wordt opgevangen in het verdiepte deel zal er minder slib worden opgewerveld en dit zorgt voor een beter doorzicht. In de verdiepte zone is er wel kans op anaerobie, waardoor het aanwezige ijzer geen fosfaat meer zal binden; hierdoor neemt de fosfaatconcentratie in het water toe.
- De verdiepte zone biedt een terugtrekplaats voor vis in de winter.

De directe effecten (•) en verwachte invloeden (o) van een lokale verondieping in een meer, in de vorm van een ondiepte onder water of een eiland:

- Het waterpeil wordt lager of een eiland wordt gevormd op de plek van de verondieping.

- Door een verondieping komt er, afhankelijk van de grootte van het doorzicht, meer licht op de bodem en kunnen onderwaterplanten beter groeien.
- Wanneer er eilandjes worden gecreëerd is er minder opwerveling van bodemdeeltjes doordat de eilandjes de invloed van de wind afremmen (verkorten strijklengte) en er minder bodem onder water is om opgewerveld te worden. Hierdoor verbetert het doorzicht en kunnen meer waterplanten vestigen en groeien.
- Bij het vormen van eilandjes ontstaat er meer oeverzone, uitgaande van een geleidelijk aflopende oever.
  - Het aanleggen van eilandjes vergroot de oever en hierdoor kan zich meer oevervegetatie ontwikkelen. Meer oevervegetatie vormt een habitat voor zoöplankton en piscivore vissen en kan zorgen voor meer nitrificatie-denitrificatie.

### Bestaande kennis

In pilot studies is geprobeerd de resuspensie van sediment te verminderen door het aanbrengen van verdiepingen en eilandjes. Case studies waarbij deze maatregelen succesvol zijn toegepast zijn niet bekend (Gulati *et al.*, 2008).

Om een diepe put te gebruiken als slibvang is het belangrijk dat er geen resuspensie optreedt van sediment vanuit de diepe put naar de waterkolom in de ondiepe gedeelten.

In de randmeren zijn verschillende dammen en eilandjes aangelegd, onder andere voor het verhogen van de bedekking aan oevervegetatie. Deze zijn verruigd en staan vol met wilgen in plaats van met oevervegetatie (overleg M. van den Berg, 2008). Dit zou kunnen zijn voorkomen door een laagje water op de dammen of eilandjes te laten staan of door een meer fluctuerend waterpeil toe te passen (overleg M. van den Berg, 2008).

## **4.3 Interne maatregelen**

### ***4.3.1 Aanplanten (oever)vegetatie of verspreiden propagulen***

Waterplanten zijn een biologisch kwaliteitselement in de KRW en het voorkomen van oevervegetatie en ondergedoken waterplanten is een voorwaarde voor het behalen van de ecologische beleidsdoelstelling. Wanneer door maatregelen het doorzicht voldoende vergroot is, wordt over het algemeen aangenomen dat vegetatie vanzelf gaat groeien. Om de groei van vegetatie direct te bevorderen kunnen additionele maatregelen worden genomen. Het verspreiden van propagulen of het aanplanten van vegetatie en het bieden van bescherming van vegetatie tegen windinvloeden en vissen zijn de maatregelen die hier behandeld worden.

De propagulen die kunnen worden gebruikt zijn zaden en vegetatieve delen van planten. Meestal wordt de plek waar vegetatie wordt geplant of verspreid beschermd tegen bijvoorbeeld golfslag.

Voor oevervegetatie bestaat de bescherming uit een houten balk die op het water langs de oever rust, om de invloed van golfslag op de oever te minimaliseren. De bescherming van onderwaterplanten bestaat uit een kooiconstructie waardoor vissen niet bij de planten kunnen komen en ook de wind minder invloed heeft.

### Effecten op ecologische processen

De directe effecten (•) en verwachte invloeden (o) van het aanplanten en beschermen van vegetatie:

- Het aanplanten en beschermen van oeverplanten en onderwaterplanten leidt tot meer vegetatie.
  - Vegetatie biedt schuilplaatsen voor zoöplankton tegen predatie door planktivore vissen.
  - Vegetatie biedt voortplantingsgebied voor piscivore vissen zoals de snoek en het biedt schuilplaatsen voor jonge piscivore vissen.
  - Vegetatie heeft een direct effect op de nutriëntenhuishouding (Hilt *et al.*, 2006)
  - Vegetatie beperkt opwerveling van sediment doordat het het sediment vasthoudt.
  - Er wordt vermoed dat waterplanten algengroei remmende stoffen aanmaken, dit is echter nog niet eenduidig aangetoond (Hilt *et al.*, 2006).
  - Oevervegetatie zorgt voor meer oeverstabiliteit.
  - Oeverplanten kunnen actief zuurstof in de bodem transporteren, hierdoor ontstaan anaerobe omstandigheden naast aerobe omstandigheden waardoor nitrificatie en denitrificatie beiden plaats kunnen vinden en stikstof uit het systeem wordt verwijderd.
  - Vegetatie slaat veel nutriënten op en hierdoor zijn minder nutriënten beschikbaar voor fytoplankton en perifyton.

### Bestaande kennis

De bestaande kennis over de stabiliserende rol van waterplanten voor de heldere toestand van ondiepe meren zijn beschreven in hoofdstuk 3 en de voorgaande alinea.

Een specificatie van de rol van waterriet als habitat voor organismen is de belangrijke habitat die het kan vormen voor oevergebonden soorten van macrofauna, zoals haften, kokerjuffers, waterkevers en longslakken (Noordhuis en Zwarts, 2002). Vegetatie vormt zoals genoemd ook een belangrijke habitat voor snoek. Van de hoeveelheden snoek die per oppervlakte waterplanten kan voorkomen is een benadering gemaakt. De biomassa van snoek is ongeveer 1,6 kg/ha per % bedekt oppervlak met

water- en oeverplanten. Per % bedekt oppervlak met oeverplanten is dit 5 kg/ha (Van den Berg en Portielje, 2002).

Over de effecten van vegetatie op het ecosysteem is veel bekend, over de toepassing van deze maatregel is echter weinig bekend.

#### **4.3.2 Droogval**

Droogval is een natuurlijk verschijnsel dat gaat plaatsvinden wanneer natuurlijke peilfluctuaties worden ingesteld. Ondiepe meren kunnen gedeeltelijk droogvallen gedurende een bepaalde tijd, afhankelijk van de morfologie. Tegenwoordig wordt dit echter voorkomen door het handhaven van een vast waterpeil en doordat de morfologie van de wateren is aangepast. Droogval kan weer spontaan optreden wanneer een natuurlijk peilbeheer wordt toegepast en wanneer de morfologie van het water het toelaat. Droogval kan echter ook als aparte maatregel worden toegepast door bij een gedeelte van een meer of een geheel meer het water weg te pompen.

#### Invloed op ecologische processen

De directe effecten (•) en verwachte invloeden (o) van een periode van droogval:

- Door droogval is er geen waterkolom aanwezig.
  - o Het sediment komt door droogval in direct contact met de lucht en dit zorgt voor veranderingen in chemische processen. Door de aanwezigheid van zuurstof en het daarop volgende proces van oxidatie zal ijzer en sulfaat worden gemobiliseerd en het vrijgekomen ijzer zal aanwezig fosfaat binden. Het sulfaat kan worden afgevoerd door de plas te vullen en daarna nog een keer leeg te laten lopen (Lamers *et al.*, 2006).
  - o Droogval laat de weke sliblaag inklinken en het duurt meerdere jaren voordat dit weer week wordt. Hierdoor wordt de plas dieper en vindt er minder snel opwerveling plaats (Lamers *et al.*, 2006).
  - o Door droogval van de bodem wordt veel ammonium genitrificeerd en bij het vullen van de plas gedenitrificeerd en hierdoor wordt stikstof afgevoerd naar de lucht (Lamers *et al.*, 2006).
  - o Zaden van planten komen in aanraking met lucht en licht en het kiemingsproces kan hierdoor worden bevorderd, afhankelijk van de plantensoort.
  - o Bij droogval wordt zwavelzuur (sulfaat en zuur) gevormd, waardoor het water wordt onthard (Lamers *et al.*, 2006).

- Er vindt extra veenafbraak plaats door oxidatie van de bodem en hierdoor komen meer nutriënten vrij (Lamers *et al.*, 2006).
- Als er een kleine laag water overblijft mobiliseert deze door opwarming meer fosfaat en hierdoor groeit fytoplankton en perifyton snel (Lamers *et al.*, 2006).
- Organismen die aanwezig waren in het water hebben nu geen toegang tot water, tenzij zij naar een aanliggend waterlichaam konden bewegen.
  - Dieren die afhankelijk zijn van water gaan dood, tenzij zij met droogval om kunnen gaan of er een waterverbinding is met een ander waterlichaam.

### Bestaande kennis

Welke plantensoorten na droogval vooral zullen gaan groeien hangt af van de exacte omstandigheden tijdens het droogvallen. Daarbij is natuurlijk van belang welke zaden en andere propagulen aanwezig zijn. De verschillende soorten hebben een andere respons op droogval. Wanneer in Nederland een natuurlijker peil wordt gehandhaafd wordt de seizoensfluctuatie van de Rijn en de Maas meer gevolgd. Het laagste waterpeil zal zich dan voordoen in september en oktober en het hoogste water in januari en februari. Het is de vraag of het zaad van oeverplanten nog goed kan kiemen in september. Het moment van droogvallen is cruciaal. De noodzakelijke frequentie van droge zomers, waardoor droogval plaatsvindt, is niet goed getest, maar zou waarschijnlijk eens in de 3-10 jaar moeten zijn. Voor het ontwikkelen van oevervegetatie is het droogvallen van voldoende bodem gedurende enige weken belangrijk. Vooral lisdodde en riet zullen hiervan profiteren. Kiemplanten hebben 1-2 maanden droogval in de zomer nodig om succesvol te vestigen, zij verdragen overstroming slecht (Vermaat, 2002).

### **4.3.3 Actief biologisch beheer en beheersvisserijen**

De relaties binnen het voedselweb zijn belangrijke sturende factoren voor de waterkwaliteit van een meer. Vissen bevinden zich vaak in de hogere regionen van de voedselketen, maar behoren tot verschillende trofische groepen. Een goede verdeling van de individuen over deze groepen is belangrijk om de visstand stabiel te houden. In de troebele toestand is er te veel bodemwoelende vis en te weinig roofvis aanwezig.

De combinatie van wind en de voedselactiviteiten van benthivore vissen heeft een groter effect dan de som van de afzonderlijke effecten. Dit komt doordat er maar een beetje wind nodig is om door vissen opgewerveld bodemmateriaal in de waterkolom te houden (Lammens *et al.*, 1990). Uit modelstudies blijkt dat >50% van de troebelheid in Nederlandse ondiepe meren toegeschreven kan worden aan de resuspensie van sediment door benthivore vissen (Gulati en Van Donk, 2002).

Planktivore vissen hebben een groot effect op het voorkomen van grotere *Daphnia* soorten, die de algenpopulatie klein houden. Het grootste deel van de planktivore vispopulatie bestaat uit vissen kleiner dan 15-25 cm (Witteveen+Bos, 2008).

Het wegvangen van vis wordt ook wel actief biologisch beheer (ABB) of biomanipulatie genoemd. Biomanipulatie werd door Shapiro (1982) gedefinieerd als het gebruik van de interacties tussen de componenten van het aquatische ecosysteem met als doel het verminderen van de algenbiomassa (Lammens *et al.*, 1990).

Bij ABB wordt de visstand drastisch uitgedund tot maximaal 10-15 kg/ha planktivore vis en maximaal 15-25 kg/ha benthivore vis. Bij beheersvisserijen worden de vissen gedurende langere tijd periodiek weggevangen en hierbij worden vooral de benthivore brasems weggevangen. Dit wordt vaak uitgevoerd door beroepsvissers (Witteveen+Bos, 2008).

De meest belangrijke doelstelling van biomanipulatie is veelal om een zo stabiel mogelijk samenleven van vis en grotere *Daphnia* te bewerkstelligen (Lammens *et al.*, 1990).

#### Invloed op ecologische processen

De directe effecten (•) en verwachte invloeden (o) van actief biologisch beheer:

- Het bestand benthivore en planktivore vis wordt verkleind.
  - De uitdunning van de benthivore visstand leidt tot minder omwoeling van de bodem. Hierdoor vindt minder opwerveling van bodemdeeltjes plaats en is er minder overdracht van nutriënten naar de waterkolom. Dit leidt tot een beter doorzicht (Witteveen+Bos, 2008).
  - Wanneer minder planktivore vis aanwezig is, kan in het voorjaar een grote bloei van zoöplankton optreden. Dit zoöplankton filtert fytoplankton weg en daardoor ontstaat een beter doorzicht (Witteveen+Bos, 2008).
  - Doordat de benthivore en planktivore visstand sterk is uitgedund is de piscivore visstand relatief vergroot. Dit kan de benthivore en planktivore visstand verder uitdunnen.
  - Door een lagere graasdruk van benthivore vissen overleeft meer macrofauna. De grotere aantallen macrofauna kunnen de eventueel aanwezige perifyton beter begrazen.

De directe effecten (•) en verwachte invloeden (o) van beheersvisserijen:

- Het bestand benthivore vis wordt verkleind.
  - De effecten 1,3 en 4 onder de effecten van actief biologisch beheer gelden ook voor beheersvisserijen.



### Bestaande kennis

Actief biologisch beheer is al vaak toegepast, al 20 jaar is met deze maatregel ervaring in Nederland (Witteveen+Bos, 2008). Daardoor is veel kennis opgedaan over deze maatregel en de effecten. Voor beheersvisserijen geldt dit niet. De directe effecten van visstandbeheer zijn soms wel moeilijk duidelijk te krijgen doordat er veel indirecte effecten optreden na visstandbeheer.

### *Fytoplankton en zoöplankton*

Een beoogd effect van ABB, de toename van de hoeveelheid zoöplankton en specifiek de grotere soorten, de cladoceren (zoals *Daphnia*), kan worden bevorderd door de vestiging van waterplanten. Waterplanten en fytoplankton concurreren om stikstof. Kleine algen reageren beter op deze N-limiterende omstandigheden dan grote algen. Hierdoor ontstaat een gunstig voedselmilieu voor cladoceren (Lammens *et al.*, 1990). Wanneer nog geen waterplanten aanwezig zijn, is de graasdruk van zoöplankton op fytoplankton belangrijk. Het effect van ABB op de concentratie aan fytoplankton is afhankelijk van de soorten fytoplankton die voorkomen. Zelfs wanneer er geen planktivore vissen meer zijn, zullen grote cladoceren zich niet ontwikkelen als er hoge concentraties draadvormige cyanobacteriën aanwezig zijn. Dit komt doordat deze grote cyanobacteriën niet goed te filteren zijn en omdat ze toxische stoffen uitscheiden. De hoeveelheid zoöplankton hangt dus, naast de aanwezigheid van planktivore vissen, ook af van de voedselkwaliteit en kwantiteit (Lammens *et al.*, 1990). Er is nog wel discussie over de rol van de graasdruk van *Daphnia* na ABB. In een onderzoek naar case studies in Nederland waarbij ABB is toegepast had *Daphnia* geen grotere graasdruk in de zomer (Meijer *et al.*, 1999). Dit is niet in overeenstemming met onderzoek in Deense meren. In Denemarken wordt zoöplankton echter 's nachts bemonsterd en in Nederland gedurende de dag en in open water. Deze laatste methode is misschien niet representatief voor de populatie omdat, vooral in helder water, zoöplankton schuilt bij de waterbodem of macrofyten.

### *Uitvoering*

ABB kan het beste worden toegepast in de winter en vroeg in het voorjaar zodat er helder water is aan het begin van het groeiseizoen (Gulati en Van Donk, 2002).

### *Piscivore vissen*

Om de hoeveelheid benthivore en planktivore vissen laag te houden is een populatie piscivore vissen belangrijk. Om redenen die nog niet helemaal duidelijk zijn, vormt de snoek nog niet vaak stabiele populaties die groot genoeg zijn om de visstand van benthivore en planktivore vissen laag te houden (Gulati en Van Donk, 2002). Een mogelijke verklaring is dat de gebruikelijke natuurvriendelijke oevers meestal niet geschikt zijn als paaiplaats voor snoek. In plaats daarvan is het veel efficiënter om

aangrenzende gebieden tijdelijk (januari-juni) onder water te zetten en vanaf juni af te laten in het aangrenzende water.

### *Nutriëntenfluxen*

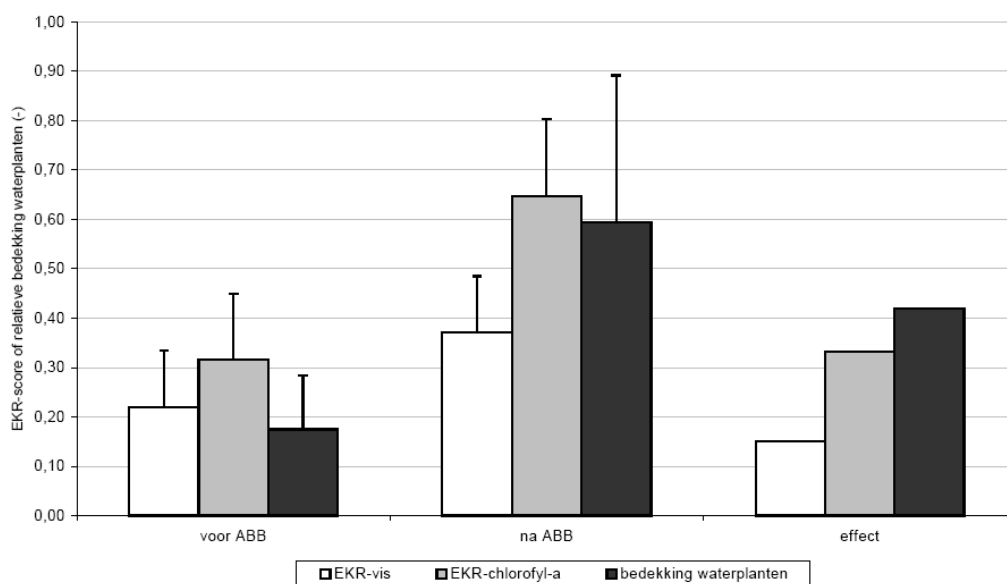
Het is nog niet duidelijk wat de belangrijkste factor is in het bereiken van een heldere toestand na ABB. Er is nog discussie of de graasdruk door zoöplankton belangrijker is of de verandering in nutriëntenfluxen (Meijer *et al.*, 1999; Melo *et al.*, 1992). Een tegenargument voor de verandering in nutriëntenfluxen als belangrijkste factor is dat de fosforlimitatie in ieder geval niet erg belangrijk lijkt te zijn voor algengroei (Meijer *et al.*, 1999). Over stikstof werden geen conclusies getrokken. Een feit is wel dat er een afname is in nutriëntenconcentraties na ABB, dit bevestigt het idee dat nutriëntenfluxen een rol kunnen spelen bij het succes van ABB (Meijer *et al.*, 1999).

### *In de praktijk*

Veel van de projecten waarbij ABB is toegepast leidden niet tot een heldere toestand. Voor de eerder genoemde case studies waarbij ABB was toegepast nam van twee van de zes meren de visbiomassa geleidelijk af. Voor de meren waarbij geen bodemzicht bereikt werd, kunnen meerdere verklaringen worden bedacht (Meijer *et al.*, 1999). De eerste is het weghalen van te geringe hoeveelheden visbiomassa. Een substantiële vermindering van de vis is nodig om een heldere toestand te bereiken in het voorjaar. Deze grote vangst van vis moet plaatsvinden in de winter en daarna mogen vissen van buiten niet de kans krijgen om het gebied in te migreren (Meijer *et al.*, 1999). Ten tweede is de aanwezigheid van veen soms een complicerende factor. In meren met veen op de bodem is het lastiger om helder water te krijgen, door een natuurlijk hogere troebelheid door humuszuren (Meijer *et al.*, 1999). Ten derde heeft ABB weinig invloed op de helderheid van het water wanneer een meer vooral troebel is vanwege bodemresuspensie door wind. De invloed van de wind hangt af van de strijklengte, waterdiepte en aanwezigheid of afwezigheid van een zandbodem. Daarnaast neemt door de aanwezigheid van macrofyten de invloed van de wind op de bodem af, doordat de planten de bodem vasthouden (Meijer *et al.*, 1999). Ten vierde bemoeilijkt een groot oppervlak van het meer het bereiken van een heldere toestand, omdat deze meren een grotere strijklengte hebben en er dus meer invloed is van waterturbulentie op de bodem. Ook is het wegvangen van veel vis in een groot meer moeilijk te bereiken (Meijer *et al.*, 1999). Ten vijfde is een hoge nutriëntenconcentratie in het water een complicerende factor. Aangenomen wordt dat er meer oneetbare cyanobacteriën zitten in meren met meer nutriënten en dat een gezonde piscivore vispopulatie minder makkelijk te bereiken is. Een hoge dichtheid aan cyanobacteriën, met dichtheden van > 80.000 ind/ml, kan het voor *Daphnia* moeilijker maken om de algen te consumeren en kan de voortplanting van *Daphnia* remmen

(Meijer *et al.*, 1999). Als laatste kan de aanwezigheid van evertrebrate predatoren, zoals *Neomysis* of *Leptodora* zorgen voor predatie op *Daphnia* en daardoor de graasdruk verlagen (Meijer *et al.*, 1999). Het succes van biomanipulatie is waarschijnlijk hoger in meren met een langere verblijftijd van het water (Meijer *et al.*, 1999).

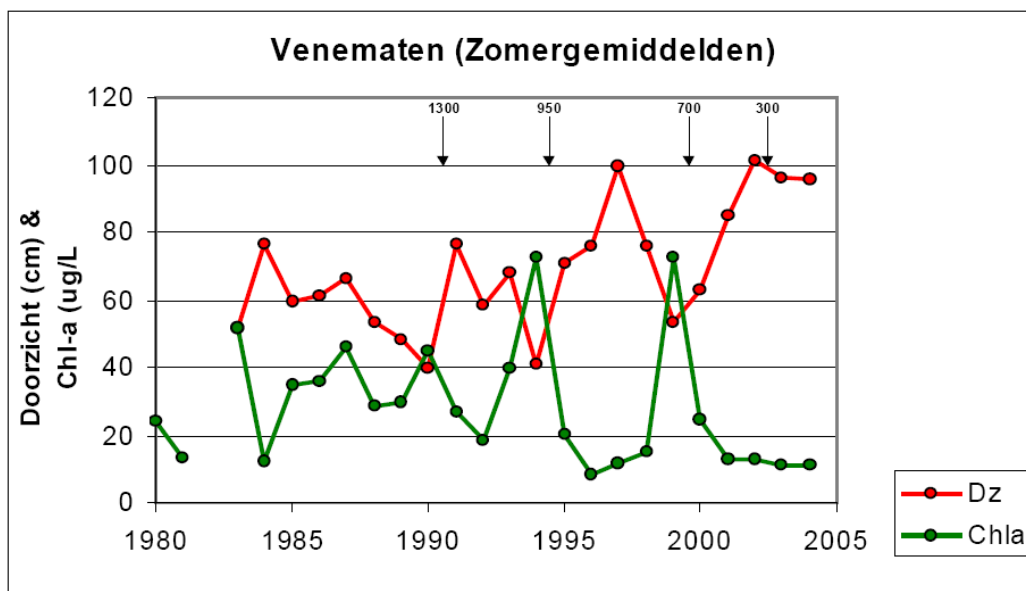
Om de effecten van verschillende maatregelen in te kunnen schatten, is een Ex-ante evaluatie uitgevoerd van de Kaderrichtlijn Water door het Milieu en Natuur Planbureau. Voor ABB is een evaluatie uitgevoerd naar Nederlandse case studies met genoeg data over het effect van de maatregel op drie maatlaten van de KRW, namelijk vis, chlorofyl-a en de bedekking van waterplanten. De data die gebruikt zijn zijn van vier jaar na de ingreep, omdat de visstand een tijd nodig heeft na de ingreep om te herstellen. In figuur 8 is te zien dat ABB een substantieel effect heeft op de scores voor de drie maatlaten. Wel moet worden opgemerkt dat andere genomen maatregelen kunnen hebben bijgedragen in de verbetering van de scores. De maatlaten die zijn gebruikt zijn gebaseerd op natuurlijke wateren en vallen zeer waarschijnlijk hoger uit wanneer maatlaten worden gebruikt voor sterk veranderde en kunstmatige wateren (Witteveen+Bos, 2008).



**Figuur 8:** De EKR scores voor vis, chlorofyl-a en de bedekking van waterplanten voor de uitvoering van ABB, na ABB en het netto effect. Dit is voor 'voor ABB' gebaseerd op 4 waarnemingen voor vis, 12 voor chlorofyl-a en 10 voor waterplanten. Voor 'na ABB': 10 waarnemingen voor vis, 10 voor chlorofyl-a en 3 voor waterplanten (Witteveen+Bos, 2008)

### Beheersvisserijen

Over beheersvisserijen is, in tegenstelling tot ABB, maar weinig bekend. Een praktijkvoorbeeld is geregistreerd bij de Venematen in Noordwest-Overijssel. Hier bleken de momenten van commerciële brasemvisserijen samen te vallen met verbetering in doorzicht en vermindering in de concentratie chlorofyl-a (figuur 9). De verbeteringen in waterkwaliteit vielen steeds samen met een brasemvangst in de voorafgaande winter. Brasem kan in de Venematen makkelijk weer binnentrekken vanuit aanliggende wateren. De vissers gaven aan dat zij gingen vissen wanneer zij in de zomer een achteruitgang in helderheid en bedekking van waterplanten zagen. Wanneer zij visten in 2002/2003, toen de helderheid in de zomer niet achteruit was gegaan, was er veel minder brasem aanwezig, en hadden ze de laagste vangst in jaren, namelijk 300 kg (10 kg/ha).



**Figuur 9:** Het doorzicht en de concentratie chlorofyl-a gemeten over meerdere jaren in de Venematen. De commerciële brasemvangsten in de winter zijn aangegeven aan de bovenkant van het figuur in kilogrammen vis.

## **Hoofdstuk 5 Case studies**

In dit hoofdstuk worden vier case studies beschreven. Dit zijn ondiepe meren in Nederland waar meerdere maatregelen zijn toegepast door waterbeheerders met als doel het verbeteren van de waterkwaliteit. Hierin komen alle maatregelen die in hoofdstuk 4 zijn beschreven terug, behalve droogval. Deze case studies worden gebruikt voor het vaststellen van kennisleemtes bij de effecten van maatregelen op ecologische processen. In dit hoofdstuk doe ik een korte evaluatie van alle maatregelen die bij de case studies genomen zijn en hun effecten.

Alle meren in de case studies zijn type M27 volgens de KRW (zie hoofdstuk 2).

### **5.1 Bergse Plassen - Rotterdam**

In deze case study heb ik mij speciaal verdiept en deze zal uitgebreider worden besproken dan de andere case studies.

De Bergse Plassen liggen in het stedelijk gebied van Rotterdam. De plassen bestaan uit een Voor- en Achterplas en hebben een gezamenlijke oppervlakte van circa 110 ha. De plassen zijn ontstaan door ontvening, er ligt nog ongeveer 10 m veen. De gemiddelde diepte is 2,5 m en de plassen hebben een nagenoeg vast peil met maximaal 2 cm fluctuatie. De doorlooptijd van de plassen is een jaar. De plassen vervullen een belangrijke recreatieve functie. In de Achterplas zijn ongeveer 200 vakantiewoningen aanwezig op de eilandjes. Aan de plassen zijn acht jachthavens gelegen. De plassen vormen een soort tussenboezem tussen de hoger gelegen Rotte en de lager gelegen woonwijken. Het water dat vanuit de polders wordt ingelaten is bij zware regenval met overstorten vanuit de rwzi belast.

#### ***5.1.2 Problemen***

De Bergse Plassen waren sterk geëutrofiëerd en bevatten erg veel algen, waaronder ook veel blauwalgen. In de bodem van de Achterplas zat 10 g P per kg droge stof; dit is een uitzonderlijk hoge waarde. De bodem van de Voorplas bevatte 4 g P per kg droge stof. Doordat de recreatiehuisjes geen septic tank of riolering hadden werd er geloosd op de Bergse Plassen en dit zorgde voor bacteriologisch onbetrouwbaar water (de Jong, 1992). De visstand werd gedomineerd door brasem en hiervan was ongeveer 600 kg/ha aanwezig.

#### **Maatregelen**

##### ***Bronmaatregelen***

In 1995 is begonnen met sanering van een klein deel van de Bergse Achterplas. Bij de sanering werd een deel van het slib dat op de veenlaag lag, weggehaald. Dit slib was heel dun van samenstelling.

Het bleek dat de bodem veel uitgebreider verontreinigd was dan aanvankelijk werd gedacht. Op een gegeven moment werd door gebrek aan middelen gestopt met de sanering. In 1999/2000 werd een uitgebreider bodemonderzoek gedaan. Een groot deel van het sediment bleek erg voedselrijk en lokaal zwaar verontreinigd met zink (klasse 4). Sommige delen in de Achterplas en een groot deel in de Voorplas werden getypeerd als klasse 2. Klasse 2 werd als uitgangspunt genomen voor de sanering, omdat veen van zichzelf voedselrijk is en vaak klasse 2 heeft.

Alle delen van het sediment, die hoger dan klasse 2 vervuild waren, werden gebaggerd. Niet de hele sliblaag werd weggehaald omdat dit zou zorgen voor een verdieping van de plas met als mogelijk gevaar dat de kanten konden gaan inzakken. Een ander probleem was dat het veen onder het slib zou kunnen gaan uitbreken. Het idee ontstond om zand op het veen te leggen zodat het overgebleven slib niet meer in direct contact stond met het water en het veen niet zou uitbreken. Omdat dit nog niet eerder was geprobeerd, werd eerst een proef gedaan. Het zand bleek voorzichtig op het slib en de veenbodem te moeten worden gedeponeed, om te voorkomen dat het zand onder het slib terecht zou komen. In het veen, dat nog in de plassen lag, was bijna geen zaadbank aanwezig. Voor het zand was heel grof ontzilt zeezand gebruikt. Afhankelijk van de bovenste sedimentlaag werd 10, 25 of 30 cm zand aangebracht.

Naast het baggeren en het aanbrengen van zand zijn meer maatregelen uitgevoerd bij de Achterplas:

- De waterhuishouding en dus de watertoevoer tot de plassen is aangepast.
- Het inlaatwater wordt sinds 2003 door middel van een ijzerchloride injectie gedefosfateerd.
- Riolering voor de recreatiewoningen op de eilandjes is gerealiseerd.

#### *Systemmaatregelen*

- Een deel van de oevers zijn natuurvriendelijk ingericht waarbij bescherming tegen golfslag is aangebracht voor stimulering van de oevervegetatie.

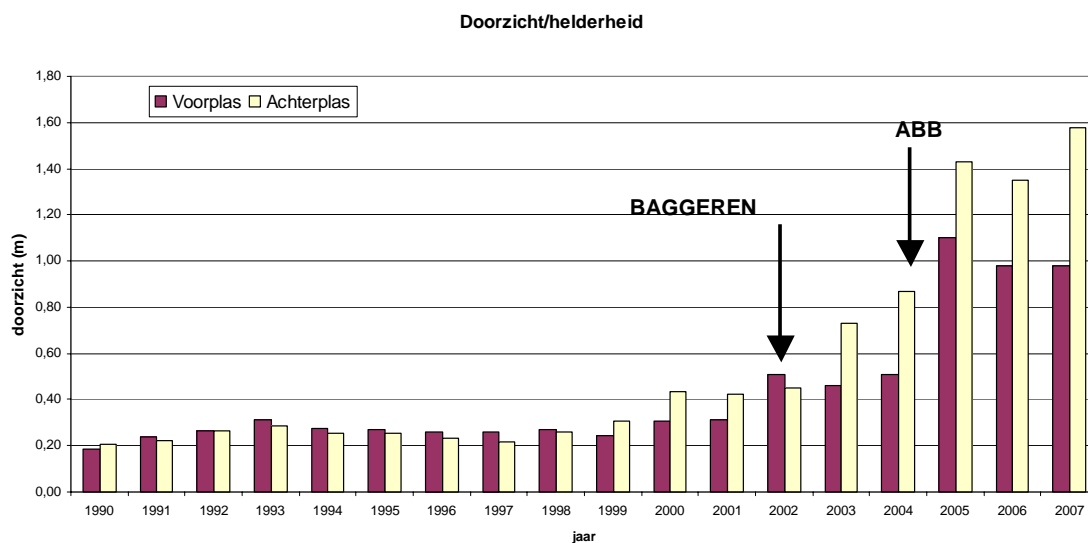
#### *Interne maatregelen*

- Via actief biologisch beheer is in 2004 en 2005/2006 de benthivore en planktivore visstand uitgedund van 600 kg/ha tot 540 kg/ha.
- Een snoekenpaaiplaats is gerealiseerd waarin jonge snoeken zijn uitgezet.

#### Ontwikkelingen

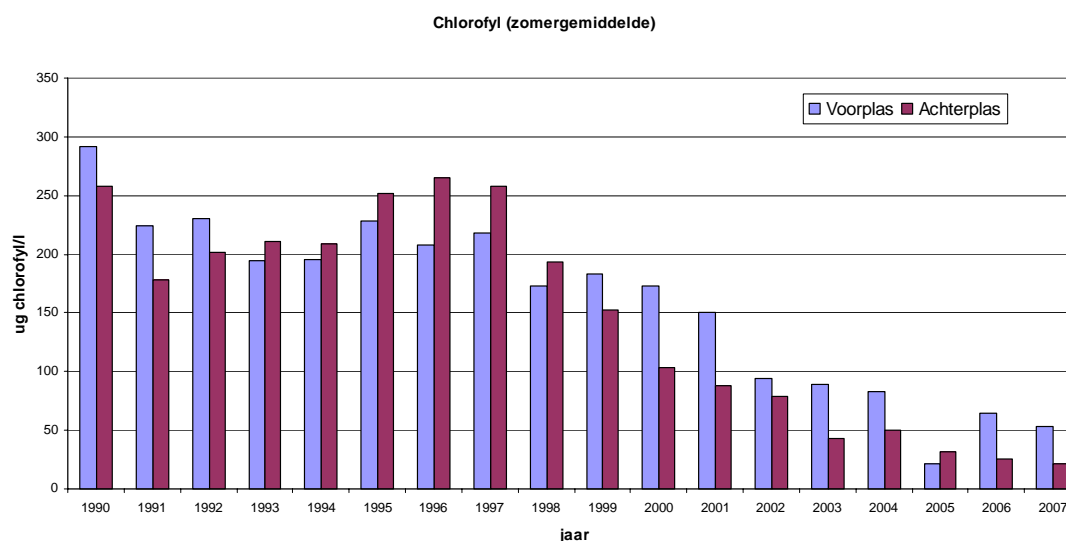
Voor en na het nemen van de maatregelen zijn metingen gedaan om de ecologische staat van de plassen vast te kunnen stellen. Alle waarden die worden genoemd zijn zomergemiddelden en de huidige waarden zijn vastgesteld in 2007.

De Achterplas is dieper geworden doordat het zand het slib heeft ingeklonken. Daarnaast is het doorzicht in de plas is toegenomen van ongeveer 20 cm tot bijna 1,6 m (figuur 10).



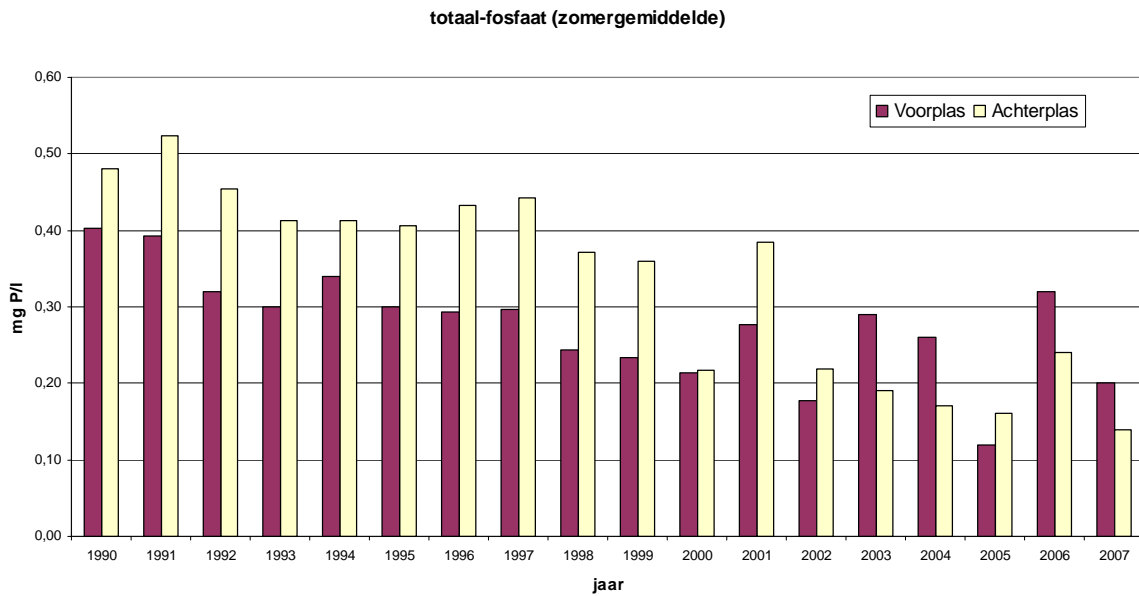
**Figuur 10:** Het doorzicht in m in de Bergse Voor- en Achterplas (respectievelijk paars en wit) van 1990 tot 2007. De weergegeven waarden zijn zomergemiddelden. Met zwarte pijlen staat aangegeven wanneer er werd gebaggerd en wanneer ABB werd toegepast in de Achterplas (ongepubliceerd, HHSK).

Het fytoplankton in het water is afgenomen van ongeveer 250 µg chlorofyl/l tot 25 µg chlorofyl/l (figuur 11).



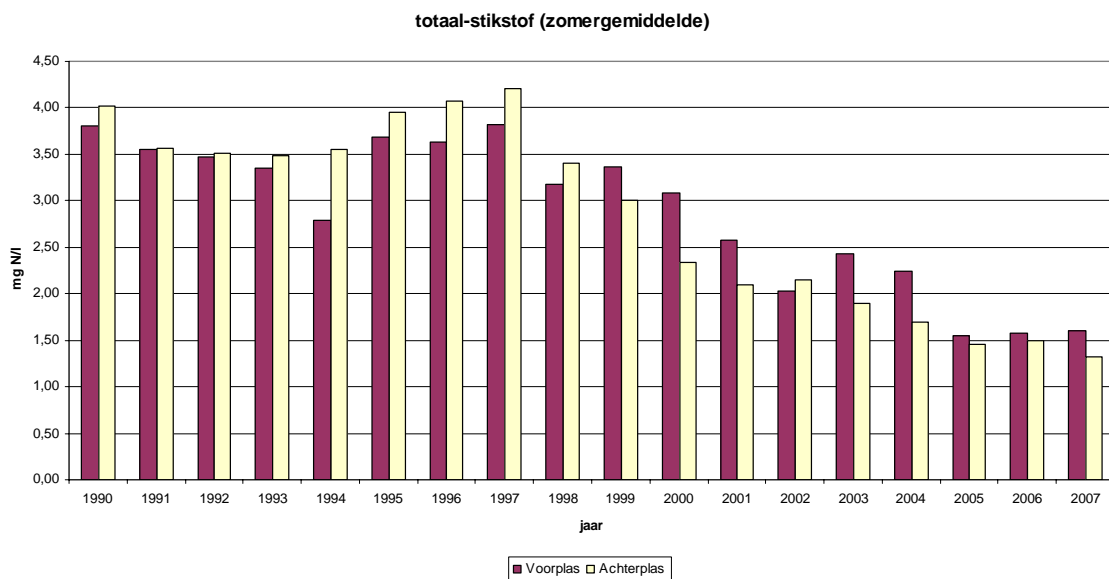
**Figuur 11:** De concentratie chlorofyl in het water in µg/l in de Bergse Voor- en Achterplas (respectievelijk blauw en paars) van 1990 tot 2007. De weergegeven waarden zijn zomergemiddelden (ongepubliceerd, HHSK).

Het totaal-fosfaat is afgenomen van 0,40 mg P/l tot 0,15 mg P/l (figuur 12).



**Figuur 12:** De concentratie P in mg/l in het water in de Bergse Voor- en Achterplas (respectievelijk paars en wit) van 1990 tot 2007. De weergegeven waarden zijn zomergemiddelden (ongepubliceerd, HHSK).

Het totaal-stikstof in het water is afgenomen van 4 mg N/l tot 1,4 mg N/l (figuur 13).



**Figuur 13:** De concentratie N in mg/l in het water in de Bergse Voor- en Achterplas (respectievelijk paars en wit) van 1990 tot 2007. De weergegeven waarden zijn zomergemiddelden (ongepubliceerd, HHSK).

De graasdruk van zoöplankton op fytoplankton neemt toe. Er is minder bodemwoelende vis aanwezig en meer snoek. Waterplanten zijn, afgezien van een klein stukje oevervegetatie, niet aanwezig.



## Evaluatie

### *Zand*

De verwachting van het aanbrengen van het zand was dat het het veen en slib op zijn plaats zou houden en dat het veen daardoor niet zou uitbreken. Daarnaast werd verwacht dat de nutriëntenrijke bodem werd afgedekt waardoor minder interne eutrofiëring zou plaatsvinden.

Het verwachte effect van bedekking van de sliblaag met als effect minder opwerveling lijkt wel te hebben plaatsgevonden. Het doorzicht is veel groter geworden. De hoeveelheid algen in de waterkolom is echter ook afgenomen, dus het is niet goed te zeggen hoeveel de afname in zwevend stof relatief heeft bijgedragen aan het verhoogde doorzicht.

Er is nog geen plantengroei waargenomen, het ontbreken van zaden en planmateriaal in het zand maakt de vestiging lastiger, hoewel in de aanwezige slib en veenlaag ook geen propagulen aanwezig waren.

De verwachting dat er minder interne eutrofiëring zou plaatsvinden door het plaatsen van zand op de nutriëntrijke bodem zou kunnen hebben gewerkt. De hoeveelheid nutriënten in het water is namelijk afgenomen. De externe eutrofiëring is echter ook afgenomen en het relatieve aandeel van beide processen kan hier niet bepaald worden. De interne eutrofiëring was heel groot, dus het is wel waarschijnlijk dat het zand deze factor heeft laten doen afnemen.

### *Oevervegetatie*

De aangeplante oevervegetatie met bescherming tegen golfslag is niet uitgebreid in de Bergse Plassen. De eventuele positieve ecologische effecten van oevervegetatie zijn hierdoor niet opgetreden.

### *Vis*

De hoeveelheid bodemwoelende en planktivore vis is door ABB drastisch afgenomen. Het doorzicht is sterk toegenomen na de maatregelen. Dit komt door een afname in fytoplankton en een afname in zwevend stof. Beide dalingen zijn voor een deel veroorzaakt door de afname in benthivore en planktivore vissen (bodemwoeling en graas op zoöplankton). De paaiplaats voor snoeken, die de benthivore visstand laag kunnen houden, is redelijk succesvol, hoewel het de vraag is hoe succesvol de snoeken zullen zijn zonder aanwezigheid van vegetatie in de plassen.

### *Algemeen*

Doordat meer maatregelen tegelijkertijd zijn uitgevoerd, is het moeilijk om de afzonderlijke effecten van de maatregelen te evalueren. De genomen maatregelen hebben gezorgd voor een verbetering van de chemische en ecologische toestand. Het doorzicht is toegenomen, de fosfaat- en

stikstofconcentraties zijn afgenomen net als de chlorofylconcentratie in de waterkolom. De hoeveelheid bodemwoelende vis is drastisch afgenomen en er zijn meer snoeken aanwezig, hoewel het aantal lager is dan uitgezet in de paaiplaats. De toename in vegetatie is achtergebleven tot 2007. In de zomer van 2008 zijn veel waterplanten waargenomen in de Achterplas, waaronder fonteinkruid en draadwier (pers. comm. J. Hemelraad, 2008). Het lijkt er op alsof de heldere toestand zich aan het stabiliseren is.

Bron:

Integraal plan Bergse Plassen, HHSK

## **5.2 De Leijen - Friesland**

De Leijen ligt in het oostelijke deel van Friesland en is ontstaan tijdens de laatste ijstijd. Het hoogveen dat zich hierna ontwikkelde is voor een groot deel afgegraven en nu is de Leijen een ondiep meer van ongeveer 1 meter diep, 300 ha groot met een veenbodem. Eén kanaal sluit in het noorden aan op de Leijen en één in het zuiden, er vindt een netto waterstroom van zuid naar noord plaats. Via de kanalen is de Leijen deel van het systeem van meren in Friesland. Afhankelijk van de omstandigheden wordt water vanuit de polder de Leijen ingelaten of vice versa. De gemiddelde verblijftijd van het water is 22 dagen.

### ***5.2.1 Problemen***

Het water was heel troebel met een doorzicht van 20 tot 50 cm. De troebelheid werd voor een deel veroorzaakt door fytoplankton, waarvan zich een hoge concentratie in het water bevond. Binnen het fytoplankton waren blauwalgen dominant. Ondergedoken waterplanten waren niet aanwezig en er was slechts een marginale hoeveelheid oevervegetatie, bestaande uit riet. Grote hoeveelheden vis waren aanwezig en de visstand werd gedomineerd door brasem.

### **Maatregelen**

De volgende maatregelen zijn uitgevoerd tussen 2003 en 2006.

#### ***Bronmaatregelen***

- Reductie van overstorten van de awzi op het oppervlaktewater.
- De afvalwaterzuivering is verbeterd.
- Een gesloten watercyclus bij aangrenzende boerderijen is gerealiseerd.
- De vervuiling vanuit de landbouw is gereduceerd.

- De toevoer van nutriënten uit aangevoerd polderwater is gereduceerd.
- Binnen toerisme is een gesloten watersysteem is aangelegd.

#### *Systeemmaatregelen*

- Proefvlakken met glanzend fonteinkruid (*P. lucens*) en mosselen zijn aangelegd met bescherming van de proefvlakken.
- Vaarroutes zijn verdiept.
- Twaalf eilandjes zijn geconstrueerd.

#### *Interne maatregelen*

- In 2004 en 2005 werd ABB toegepast; 115,6 kg/ha werd verwijderd. Het jaar erna werd 59,3 kg/ha brasem weggevangen.

#### Ontwikkelingen

In het open water zijn nog steeds bijna geen ondergedoken waterplanten aanwezig. Van het meer is 8% bedekt met drijvende planten. Voor de KRW kan de vegetatie worden geclassificeerd als 'onvoldoende' (in 2003). Weinig soorten macrofauna zijn aanwezig en ook dit biologische kwaliteitselement is volgens de maatlat van de KRW 'onvoldoende'. Van 2002 tot 2006 ging in de gemonitorde plots de helofytenvegetatie achteruit in bedekking. Vergeleken met de situatie voor ABB (in 2004) nam de hoeveelheid brasem af tot 2005. In 2006 was er een toename in biomassa en aantallen brasem, blankvoorn, kolblei, pos en snoekbaars. Fonteinkruid, *P. lucens*, die in frames in de proefvelden werden geplaatst, hebben zich gevestigd op het sediment en groeien goed. De mosselen in de proefvelden groeien niet goed en blijven klein.

#### Evaluatie

Bij de Leijen zijn twaalf eilandjes geconstrueerd met een ecologische en een recreatieve functie. Uit de beschikbare gegevens is niet af te leiden of de hoeveelheid zwevende stof is afgenomen door de aanleg van de eilandjes of niet. De oevervegetatie is op een aantal meetplekken langs de oever van de Leijen afgenomen. Of oevervegetatie is ontwikkeld op de oevers van de eilandjes is niet op te maken uit de gegevens.

De proefvlakken met fonteinkruid zijn niet allemaal goed aangeslagen, maar een deel van de planten is geworteld in het sediment en breidt zich uit. De toename in vegetatie is echter zo beperkt dat hier geen ecologische effecten van kunnen worden verwacht.

De afname in benthivore en planktivore vissen na het uitvoeren van ABB is weer gedeeltelijk gecompenseerd door een toename van onder andere brasem twee jaar na het ABB. Verder waren

weinig effecten op de ecologie van het meer te zien. De voorwaarden voor een omslag naar een heldere toestand zijn nog niet bereikt om met ABB een omslag te bewerkstelligen.

Na de toepassing van beheersmaatregelen is geen verbetering in waterkwaliteit opgetreden. De resultaten die bekend waren tijdens deze evaluatie zijn van vlak na de uitvoering van de maatregelen. Het is moeilijk om op grond hiervan conclusies te trekken. Na drie jaar monitoring, in 2009, zal meer gezegd kunnen worden over de effecten.

Bron: Claassen, 2006.

### **5.3 Het Nanneveld - Friesland**

Het Nanneveld is een natuurgebied ten westen van Heerenveen van ongeveer 115 ha groot. In het gebied bevinden zich een grote en een kleine plas. De grote plas heeft een oppervlakte van ongeveer 100 ha en is ontstaan door veenaftgraving. De plas is gemiddeld 80 cm diep. Het gebied heeft de status van 'bijzondere ecologische betekenis' en wordt ook gebruikt als recreatiegebied. De grote en de kleine plas zijn verbonden door een vaart. Aan de noordkant van het Nanneveld ligt de bebouwde kom van Oudehaske, het stadswater hiervan staat in open verbinding met het meer.

#### ***5.3.1 Problemen***

Het Nanneveld had een laag doorzicht veroorzaakt door hoge concentraties fytoplankton en een daarmee gepaard gaande onplezierige geur. De vissamenstelling was eenzijdig, voornamelijk bestaande uit brasem. De aanwezige sliblaag veroorzaakte problemen bij vaartuigen. Daarnaast conflicteerde het peilbeheer van het natuurgebied met het peilbeheer van het agrarische land om het natuurgebied.

#### **Maatregelen**

##### ***Bronmaatregelen***

- Het Nanneveld werd hydrologisch geïsoleerd doordat een scheiding in de waterhuishouding van het Nanneveld en het agrarisch gebied is gerealiseerd. Zo kon ook een ander peilbeheer worden uitgevoerd in het natuurgebied en in het agrarisch gebied.
- Een helofytenfilter en een chemische defosfateringsinstallatie zijn aangelegd om het inlaatwater te zuiveren.
- Op de toplaag van het sediment is ijzerchloride geïnjecteerd om het fosfaat te binden. Om het ongewenste neveneffect, namelijk een daling van de pH, te reduceren, werd ook kalkmelk geïnjecteerd.

- Delen die begaanbaar moeten zijn voor vaartuigen werden gebaggerd.

#### *Interne maatregelen*

- De kranswiersoort *Chara aspera* werd geënt. Bodemmateriaal met een grote hoeveelheid kranswiersporen, afkomstig uit de Veluwerandmeren, werd uitgezet op een locatie in het Nanneveld.
- ABB werd uitgevoerd waarbij ongeveer 80% van de brasempopulatie is weggevangen.

#### Ontwikkelingen

De geënte sporen van het kranswier zijn niet aangeslagen en de ontwikkeling van vegetatie is niet op gang gekomen. De fosfaat- en stikstofconcentraties zijn gedaald. De stikstofconcentratie is nu dicht bij de streefwaarde voor veenpolderplassen en de fosfaatconcentratie is lager dan de streefwaarde. De chlorofylconcentratie is beneden het MTR-niveau gedaald (100 µg/l). Het doorzicht is toegenomen van 20 cm tot ongeveer 50 cm (MTR-waarde is 40 cm). De soortensamenstelling van de algen is niet veel veranderd, de draadvormige blauwalg *Planktothrix agardhii* is wel verdwenen.

Voor het toepassen van ABB (1995) waren er grote dichtheidsfluctuaties van watervlooiën, vanaf 1998 trad minder spreiding in de dichtheden op. De aantallen zijn niet toegenomen. De brasemstand was na ABB ongeveer 30 kg/ha, maar zeven jaar na ABB was deze bijna vervijfvoudigd naar 140 kg/ha. Deze is momenteel bijna weer op het oude niveau. In 2002 was de hoeveelheid snoek 0,2 kg/ha, terwijl de streefwaarde voor veenpolderplassen >20 kg/ha is.

#### Evaluatie

Net als bij de andere case studies geldt dat de afzonderlijke maatregelen niet goed geëvalueerd kunnen worden omdat er een combinatie van maatregelen is toegepast. Het doel van het chemisch vastleggen van fosfaat door middel van een ijzerchloride injectie in het sediment was een afname van fosfaat in de waterkolom. De fosfaatconcentratie in het water van het Nanneveld is afgenomen tot onder de streefwaarde van de KRW. De chlorofylconcentratie is ook gedaald tot beneden het MTR-niveau. Vanwege de afwezigheid van waterplanten is er geen perifyton aanwezig en kan de hoeveelheid perifyton ook niet zijn afgenomen door de lagere fosfaatconcentratie. Het directe effect van de maatregel heeft wel plaatsgevonden, de verwachte effecten op de ecologie niet.

Het enten van kranswieren was uitgevoerd als een experiment, om te kijken of deze methode geschikt is om de ontwikkeling van waterplanten te stimuleren. Er is geen ontwikkeling van waterplanten opgetreden behalve een kleine toename van gekroesd fonteinkruis en het voorkomen van wat krabbescheer bij de toegang tot de plas.

De entproef was niet succesvol omdat er geen kranswieren werden aangetroffen op de plaats waar de sporen waren uitgezet. Uit een controle-experiment bleek dat de sporen in het sediment en het

water van het Nanneveld bijna de helft minder snel groeiden dan in sediment en water van het Veluwemeer. Het introduceren van een andere soort zou succesvoller kunnen zijn, maar dit kan niet worden bevestigd door experimenten. Het feit dat er nog geen waterplanten ontwikkelen in het Nanneveld duidt waarschijnlijk op een te laag doorzicht. Waarschijnlijk wordt een groot deel van de troebelheid veroorzaakt door opwerveling van slib door brasems en wind.

De brasemstand is zeven jaar na ABB weer bijna terug op het niveau voor het ABB. De snoekstand is ook te laag volgens de KRW maatlatten. De verbetering in doorzicht en afname in fytoplankton kunnen wel gedeeltelijk door de tijdelijke afname in benthivore vissen zijn veroorzaakt. Ook bij het Nanneveld zijn de omstandigheden in het meer niet zodanig goed dat met ABB een omslag kon worden bereikt naar een heldere toestand.

De situatie in het Nanneveld is verbeterd, maar was nog niet gunstig genoeg voor een toename in vegetatie. Voor een omslag naar een helder systeem moet waarschijnlijk de troebeling door wind worden verminderd. Ook is het laag houden van de brasemstand door visstandbeheer misschien nodig. De nutriëntenconcentraties zijn wel laag genoeg volgens de maatlatten van de KRW.

Bron: Tydeman, 2004.

## **5.4 De Deelen - Friesland**

De Deelen ligt in Friesland ten noordoosten van Heerenveen. Het is een relatief hooggelegen laagveenmoerasgebied en 430 ha groot. Het aandeel open water neemt nog steeds toe door ontvening en bedroeg in 2004 45%. De Deelen staat in verbinding met de boezem via een inlaat en met een zandwinplas.

### ***5.4.1 Problemen***

Door het lage peil van de aanliggende agrarische gebieden was de Deelen verdroogd. Het was vroeger een kwelgebied, nu een wegzijgingsgebied. Het water dat wordt ingelaten vanuit de boezem bevat veel macro-ionen en nutriënten. Door eutrofiëring (intern en extern) was er een hoge concentratie aan fytoplankton met drijflagen van blauwalgen. Daarnaast waren er geen ondergedoken waterplanten aanwezig. De oeervervegetatie was heel smal of afwezig door de steile kant of overgroeiing van struiken. De visstand werd gedomineerd door brasem.

## Maatregelen

### *Bronmaatregelen*

- De Deelen werd in vier compartimenten opgedeeld en bij elk compartiment werd gedurende verschillende perioden (tussen 1992 en 2002) ander water aangevoerd: of uit de zandwinplas of uit de boezem via een helofytenfilter of direct uit de boezem. Na 2002 werd de inlaat direct vanuit de boezem beperkt. De compartimentering is opgeheven in 2002.
- Een deel van de petgaten werd gebaggerd.
- De capaciteit van het gemaal De Petten werd vergroot.

### *Systeemmaatregelen*

- Vanaf 2002 wordt gestreefd naar een seizoensgebonden peilverloop, -1,20 m in de winter en -0,70 in de zomer, in plaats van een vast peil.
- In twee petgaten werden onderwatersluischermen geplaatst om de invloed van de wind te remmen.

### *Interne maatregelen*

- In drie deelgebieden vond ABB plaats.
- Drie soorten waterplanten werden geënt; krabbescheer, stomp fonteinkruid en gewoon blaasjeskruid.

## Ontwikkelingen

Voor deze evaluatie zijn metingen gebruikt tot 2004. Een dalende trend is waarneembaar in chloride -, fosfaat- en stikstofgehalten. Het chlorofylgehalte blijft min of meer gelijk en dit is nog steeds een hoge concentratie. De deelgebieden vertonen weinig verschil in waterkwaliteit.

## Evaluatie

De gegevens die beschikbaar waren voor evaluatie van de effecten van de maatregelen in de Deelen zijn alleen van kort na de toepassing van de maatregelen. Hieruit blijkt nog geen positief effect van het toepassen van een meer natuurlijk peilbeheer. De hoeveelheid waterplanten is niet toegenomen, dus het verwachte effect van een natuurlijker peilbeheer op de ecologie heeft niet plaatsgevonden.

In de gebruikte gegevens over de Deelen wordt niet gesproken over een vegetatieanalyse nadat de maatregelen zijn toegepast. De maatregelen met betrekking tot het stimuleren van vegetatie kunnen zodoende niet worden geëvalueerd.

ABB is slechts toegepast in deelgebieden van de Deelen. Er was weinig verschil in waterkwaliteit waar te nemen tussen de verschillende deelgebieden en de verbetering in waterkwaliteit is klein.

De genomen maatregelen hebben niet geleid tot een snelle verbetering van de waterkwaliteit. Er is een dalende trend in fosfaat- en stikstofgehalten, maar de negatieve feedbackmechanismen van de troebele toestand zorgen voor behoud van deze toestand. De concentraties aan nutriënten en het gehalte aan zwevend stof zijn nog niet laag genoeg om een omslag naar een helder systeem te krijgen.

Bron: Claassen, T. & Thannhauser-Douwma, M. 2004.



## Hoofdstuk 6 Evaluatie van kennis

De werking van de ecologische processen, die de troebele toestand van een meer stabiliseren, moet tot een bepaald niveau worden begrepen om een omslag naar een heldere toestand te bewerkstelligen. Wanneer waterbeheerders willen bepalen welke maatregelen op een bepaald waterlichaam worden toegepast, moeten zij kunnen voorspellen welk effect deze zullen hebben op de ecologische en chemische toestand. De 'pragmatisch alternatief' methode om het GEP te bepalen vraagt kennis van de effecten van de beheersmaatregelen op de biologie van het waterlichaam, ofwel op de biologische kwaliteitselementen macrofauna, fytoplankton, vegetatie en vissen.

Uit de voor deze analyse geselecteerde maatregelen en bijbehorende case studies komen vragen naar voren die nog niet beantwoord zijn, maar wel essentieel zijn voor succesvol waterkwaliteitsmanagement. In dit hoofdstuk zal per maatregel eerst kort worden samengevat wat wel bekend is. De openstaande vragen worden in dit hoofdstuk gesteld en verder toegelicht. Ook worden vragen, die niet verbonden zijn aan één van de geselecteerde maatregelen, toegelicht.

### 6.1 Innovatieve bronmaatregelen

#### **6.1.1 Sediment afdekken met zand**

Deze maatregel is eenmaal toegepast, namelijk in de Bergse Plassen in Rotterdam. Vanuit literatuur is over deze maatregel nog niets bekend. Bij de Bergse Plassen is de waterkwaliteit duidelijk verbeterd, de concentraties aan fosfaat en stikstof en chlorofyl-a zijn gedaald en het doorzicht is verbeterd. Het aanbrengen van zand was een van de genomen maatregelen en heeft bijgedragen aan het verminderen van de hoeveelheid nutriënten in de waterkolom. Het beoogde effect is dus bereikt, maar veel vragen over deze maatregel zijn nog onbeantwoord.

#### Vragen

##### *Algemeen*

- Op welke bodemtypen (in welke watertypen) is het toepassen van deze maatregel zinvol?  
Bij de Bergse Plassen is deze maatregel uitgevoerd op een meer met een veenbodem. De maatregel had onder andere als doel om het veen vast te houden. Daarnaast bedekte het zand het slib ook en hield dit op zijn plaats waardoor er waarschijnlijk minder afgifte was van nutriënten naar de waterkolom. Een veen- en slibbodem lijken dus geschikt te zijn om te bedekken met zand.
- In welke mate beïnvloedt de zandafdekking het watertype?

Doordat het zand het sediment van het meer afdekt veranderen bepaalde karakteristieken van het meer. De vraag is of hierdoor het watertype van het meer verandert, bijvoorbeeld van M27 naar M14 (zie hoofdstuk 2). Hierdoor veranderen de matlatten voor het waterlichaam ook.

- Hoe veranderen de chemische processen die plaatsvinden in het sediment en tussen het sediment en de waterkolom?

Deze vraag heeft weer te maken met de verandering van sediment door het afdekken met zand. Zand heeft andere chemische eigenschappen dan bijvoorbeeld veen en slib, hoe veranderen hierdoor chemische processen en wat voor invloed heeft dit op het ecosysteem?

#### *Nutriënten*

- Is de vermindering in nutriëntenafgifte vanuit de bodem naar het water een tijdelijk fenomeen?

Het water heeft nog steeds contact met het onderliggende sediment en door chemische processen kunnen nutriënten uit het onderliggende sediment misschien toch de waterkolom bereiken.

- Als de planten wortelen in de laag onder het zand, 'pompen' ze dan de nutriënten omhoog?  
Sommige planten wortelen diep en bereiken het onderliggende sediment. De nutriënten die zij hieruit opnemen leggen zij vast in plantmateriaal. Wanneer de plant sterft komen deze nutriënten weer in de waterkolom terecht.

#### *Duurzaamheid*

- Blijft het zand wel bovenop het slib en veen liggen? Of kan het naar beneden zakken van het zand worden versneld door foerageeractiviteiten van bijvoorbeeld vissen?

Sommige vissen wervelen veel sediment op bij het zoeken naar voedsel, dit zou kunnen bijdragen aan verstoring van de zandlaag. Misschien heeft wind en golfslag ook een invloed op de stabiliteit van de zandlaag.

- Hoe gaat de afbraak van veen onder het zand? Als er nog wel afbraak plaatsvindt, komt er dan gas omhoog waardoor de zandlaag wordt verstoord?

Het sediment onder het zand zal waarschijnlijk anaeroob worden, hierdoor wordt methaanproductie gestimuleerd. Zitten er methaanoxideerders in het zand? Dan kan het methaan weer worden opgenomen (overleg R. Laanbroek, 2008).

#### *Waterplanten*

- Hoe gaat de kolonisatie van planten op het zand? Is het nodig om waterplanten te planten of propagulen te verspreiden en kunnen ze zich goed vestigen in het zand?

Waarschijnlijk is het aanplanten van oever- of onderwaterplanten niet nodig als het meer in verbinding staat met andere waterlichamen waar vegetatie voorkomt en de omstandigheden voor het vestigen van planten goed genoeg zijn.

### **6.1.2 Chemisch vastleggen fosfaat in sediment**

Naar het effect van ijzer, aluminium en calcië is meer onderzoek gedaan dan naar het effect van lantaan. Als maatregel is het toevoegen van ijzer het meest toegepast in Nederland. Van ijzer, aluminium en calcië is redelijk goed bekend hoe lang zij zorgen voor een reductie in fosfaat in het water. Aluminium werkt het langdurigst, tot meer dan een jaar, ijzer en calcië werken beiden een aantal maanden. Aluminium kan toxisch worden wanneer pH onder de 6 of boven de 8 is. Ijzer heeft deze nadelen niet, maar de binding van ijzer met fosfaat is wel gevoelig voor redoxveranderingen en pH schommelingen. Calcië lijkt geen nadelige gevolgen te hebben voor het ecosysteem en werkt onder verschillende chemische omstandigheden. Lantaan lijkt fosfaat goed te kunnen binden, maar een gebrek aan onderzoek zorgt voor veel onbeantwoorde vragen.

#### Vragen

- Hoe langdurig blijft fosfaat aan lantaan gebonden?  
Er zijn nog geen data beschikbaar voor de duurzaamheid van de binding van lantaan aan fosfaat voor ondiepe meren.
- Wat is de werkzaamheid van ijzer, aluminium, calcië en lantaan bij verschillende fosforverbindingen en bij verschillende pH en hardheid van het water?  
Fosfaat kan in verschillende vormen in de waterkolom en het sediment voorkomen. Welke fosfaatverbindingen kunnen binden aan de verschillende stoffen die worden toegevoegd? Van ijzer en aluminium is al wel gedeeltelijk bekend welke chemische en fysische factoren de binding met fosfaat beïnvloeden, maar voor calcië en lantaan is dit nog onduidelijk.
- Zijn er bijwerkingen op andere delen en organismen van een meer?  
De pH kan bijvoorbeeld worden beïnvloed door het toevoegen van chemische verbindingen, bijvoorbeeld bij toevoeging van kalk. Hebben de stoffen die hier besproken worden ook zulk soort bijwerkingen? Ook is het belangrijk te weten bij welke chemische en fysische omstandigheden in een meer de stoffen een negatief effect kunnen hebben op het ecosysteem. Vooral de uitwerking van lantaan op de chemie en organismen van een meer zijn onbekend.
- Hoe kunnen de stoffen het best worden toegepast?

De toepassing van de stoffen is bij verschillende case studies niet hetzelfde. Bij de Bergse Plassen wordt ijzerchloride aan het water toegevoegd dat de plassen instroomt. Hierna kan het ijzerfosfaat bezinken in een bezinkbak. Bij het Nanneveld werd ijzerchloride op de toplaag van het sediment geïnjecteerd. Welke methode is het meest effectief bij de verschillende stoffen?

## **6.2    Systeemmaatregelen**

### ***6.2.1 Meer natuurlijk peilbeheer***

Naar de toepassing van een meer fluctuerend peilbeheer zijn meerdere onderzoeken gedaan (zie hoofdstuk 4). De theoretische effecten van een wisselend peil op de waterkwaliteit zijn kwalitatief goed beschreven. Een kwantitatieve benadering van het algehele effect van een fluctuerend peil op de waterkwaliteit kan nog niet worden gegeven. De vragen die nog bestaan hebben daarom veelal te maken met de kwantificering van deze maatregel.

#### Vragen

- Wat is de optimale fluctuatie in het waterpeil om het meest gewenste effect van peilbeheer op de waterkwaliteit te realiseren?

Een laag waterpeil in de zomer en een hoger waterpeil in de winter lijken het best, omdat dit natuurlijk is. Echter, door een hoog waterpeil in de winter wordt extra fosfaat (afkomstig van de landbouw) in het systeem gehouden (overleg G. van Geest, 2008).
- Wat is de invloed van de inlaat van gebiedsvreemd water?

De chemische samenstelling van het inlaatwater zal altijd anders zijn dan de chemische samenstelling van het water in het meer. Het is belangrijk om te weten wat voor invloed dit heeft op het ecosysteem en de waterkwaliteit.
- Weegt het extra fosfaat, dat in de winter vanuit de landbouw door een hoog waterpeil in het systeem wordt gehouden, op tegen een kleinere waterinlaat? (overleg G. van Geest, 2008)

Door het waterpeil in de winter hoger te houden kan meer fosfaat vanuit de landbouw in het meer stromen. Weegt dit op tegen de reductie aan invoer van fosfaat doordat de inlaat van water beperkter is?
- Wat is de relatie tussen ondiepte en het voorkomen van ondergedoken waterplanten? (Van den Berg en Portielje, 2002)

Ondiepte zorgt voor meer licht op de bodem en daardoor voor meer kansen voor ondergedoken waterplanten. In hele ondiepe gedeelten van meren komen echter weinig ondergedoken waterplanten voor.

- Wat is de relatie van het waterpeilverloop en de bedekking aan waterplanten? (Van den Berg en Portielje, 2002)

In welk deel van het jaar is het waterpeil voor waterplanten cruciaal en wat is dan het ideale waterpeil?

- Wat is de rol van ondergedoken waterplanten in mineralisatie en retentie van nutriënten?  
Over de rol van oevervegetatie bij het vasthouden en verwijderen van nutriënten uit het systeem is redelijk veel bekend, de rol van onderwaterplanten hierbij is onduidelijker.

### **6.2.2 Verdiepen en/of verondiepen**

Over het aanleggen van verdiepingen en verondiepingen is nog weinig bekend in literatuur. De kennis over diepe meren en het ontstaan van thermale stratificatie geeft inzicht in hoe een verdieping kan werken als slibval en habitat voor organismen. Veel vragen zijn echter nog onbeantwoord over de uitvoering en het effect van deze maatregel. Van de effecten van verondiepingen onder water of in de vorm van eilandjes is nog weinig bekend.

#### Vragen

- Welke morfologie is optimaal voor het bereiken van een goede waterkwaliteit?  
Welke diepte van het meer is ideaal voor de ontwikkeling van waterplanten en hoe kan de overgang naar de oever het best verlopen? Is het beter om een min of meer egale diepte te hebben, of is afwisseling van dieptes beter?
- Is er een optimum tussen het volume van de waterkolom en de lengte van de oever?  
De oever kan worden uitgebreid door de vorm van het meer te veranderen of door eilandjes te maken. Is voor het bereiken van een goede waterkwaliteit aan te geven hoe lang de oever het beste kan zijn in vergelijking tot het volume van de waterkolom?
- Zorgt een diepe put voor mobilisatie van fosfaat?  
In het sediment in een diepe put heersen eerder anaerobe omstandigheden en hierdoor kan ijzer worden gereduceerd en fosfaat vrijkomen dat aan ijzer gebonden was. Of dit fosfaat beschikbaar is in het meer hangt af van de menging van water in de diepe put en in de rest van het meer.
- Hoe kunnen eilandjes in een meer bijdragen aan uitbreiding van de bedekking van oevervegetatie?

Bij de randmeren zijn diverse eilandjes gerealiseerd. Hierop bleken na enige tijd vooral wilgen te groeien en bijna geen oevervegetatie. Kan dit door ander beheer worden voorkomen zoals een fluctuerend waterpeil waarbij de eilandjes tijdelijk overstromen? (overleg M. van den Berg, 2008).

## **6.3 Interne maatregelen**

### ***6.3.1 Aanplanten (oever)vegetatie of verspreiden propagulen***

Met deze maatregel is wel op kleine schaal geëxperimenteerd, maar echt grote successen zijn nog niet behaald. Over de stabiliserende effecten van vegetatie op de heldere toestand is veel bekend, over de toepassing van deze maatregel niet. Bekend is dat riet een goede habitat kan zijn voor organismen zoals macrofauna en snoeken en ook kan er een inschatting worden gemaakt van de aantallen snoeken die in het riet kunnen leven. Veel vragen zijn echter nog onbeantwoord.

#### Vragen

- Hoeveel oevervegetatie of moerasoppervlak heb je nodig om een bepaalde significante verandering in nutriënten in het water te bewerkstelligen?

Bij een groot meer is het percentage oever relatief klein en de vraag is hoeveel de oevervegetatie dan kan bijdragen aan de verbetering en de instandhouding van een goede waterkwaliteit.

- Welke soorten waterplanten kunnen het beste gebruikt worden om aan te planten of te enten?

Uit de case study van het Nanneveld bleek dat de kranwiersoort die geënt was waarschijnlijk niet goed kon groeien in dit meer. Het is dus belangrijk dat per meer de goede soorten worden gekozen die worden verspreid of geplant, dus misschien bij welke waterconditie en welk meertype welke plantensoort. Misschien zijn sommige plantensoorten makkelijker te enten/planten dan anderen.

- Hoeveel methaan wordt er geproduceerd door oevervegetatie en neemt dit toe in de jaren doordat er meer micro-organismen gaan leven die methaan produceren? (overleg R. Laanbroek, 2008)

Methaan wordt geproduceerd in de bodem en de rietplanten brengen dit direct naar de atmosfeer zonder dat het methaan weer kan worden omgezet door methaanoxideerders. Wanneer door onderwaterplanten de productie van methaan wordt gestimuleerd, wordt het methaan in het sediment of in de waterlaag meestal nog

omgezet door methaanoxideerders en komt het dus niet in de atmosfeer. Methaan is een sterk broeikasgas en een versterkte uitstoot hiervan is niet gewenst (overleg R. Laanbroek, 2008).

- In sommige randmeren komen planten op doordat de waterkwaliteit is verbeterd, maar in sommige gebeurt dit niet (overleg E. Lammens, 2008). Hoe komt dit?  
Komt dit door missende aanvoer van sporen of bijvoorbeeld door tijd?

### **6.3.2 Droogval**

Bij het toepassen van droogval zullen veel processen plaatsvinden in het sediment. Van de processen is redelijk veel kennis. Door de oxidatie van ijzer zal ijzer het aanwezige fosfaat binden. Sulfaat zal ook worden gemobiliseerd en dit kan uit het systeem worden verwijderd door na droogval de plas een keer te vullen en weer leeg te laten lopen. De weke sliblaag wordt stevig door droogval, N wordt genitrificeerd en bij het vullen gedenitrificeerd, kieming van planten wordt bevorderd, zwavelzuur wordt gevormd waardoor het water wordt onthard en veenafbraak wordt versneld doordat het veen in aanraking komt met zuurstof. Organismen die afhankelijk zijn van water zullen dood gaan tenzij zij naar aanliggend waterlichaam kunnen bewegen. Samengevat zijn veel positieve effecten te verwachten voor de waterkwaliteit, maar een kwantificering hiervan is nog niet te geven. Vragen blijven open staan over de uitvoering van de maatregel en de netto effecten op de waterkwaliteit.

#### Vragen

- Wat is de beste periode in het jaar voor droogval en hoe lang moet deze periode duren?  
De droogval zal in de zomer moeten plaatsvinden, er zijn wel schattingen over hoe lang en hoe frequent dit moet plaatsvinden, maar deze zijn erg onzeker .
- Hoe doorstaat de aanwezige vegetatie een droge periode?  
Alle plantensoorten reageren anders op droogval, sommige soorten kunnen langer met droogte omgaan dan anderen.
- Wat vinden andere gebruikers van het water, zoals bewoners, sportvissers en recreanten van deze maatregel?  
Afhankelijk van de schaal waarop droogval wordt toegepast is het een redelijk ingrijpende maatregel waarvan het belangrijk is om begrip van de gebruikers van het water te hebben. Het water zal bijvoorbeeld tijdelijk (gedeeltelijk) niet gebruikt kunnen worden voor recreatie en de populatie vissen zal kleiner worden.
- Wat is het effect op de hoeveelheid beschikbare nutriënten?

Doordat veel chemische processen plaatsvinden tijdens en na droogval is het moeilijk om het uiteindelijke effect op de beschikbare nutriënten na droogval te voorspellen.

### **6.3.3 Actief biologisch beheer en beheersvisserijen**

ABB is een veelvuldig toegepaste maatregel, in tegenstelling tot beheersvisserijen. Commercieel wordt wel vaker op bijvoorbeeld brasems gevist, maar vaak zijn de vangstgegevens niet gebruikt voor onderzoek. Bij een case study waarbij dit wel is gebeurd (Venematen) bleek dat de commerciële brasemvisserij als beheersvisserij werkte en de brasemstand verlaagde (figuur 9).

De theoretische effecten van ABB; het verhogen van het doorzicht door een afname in zwevend stof en een afname in fytoplankton door een toename in zoöplankton, zijn bekend. Deze effecten worden in het veld na toepassing van ABB soms waargenomen, maar niet altijd en meestal tijdelijk. De omslag naar een stabiele heldere toestand wordt bijna nooit bereikt door ABB toe te passen. Door de vele effecten die ABB heeft op het ecosysteem en de vele indirecte effecten zijn toch nog veel vragen onbeantwoord over het effect op de waterkwaliteit. Over de uitvoering van de maatregel, zoals de hoeveelheden vis die moeten worden weggevangen en de timing van de maatregel zijn ook vragen.

#### Vragen

- Welke vissen kunnen het beste selectief worden weggevangen?  
Bij ABB wordt het hele brasembestand verkleind, bij beheersvisserijen vooral de grote brasems. Om te kiezen welke maatregel het meeste effect heeft is het belangrijk te weten wat het relatieve aandeel van planktivore en van benthivore vis is in de troebeling van het water?
- Hoeveel brasem moet er worden weggevangen om de gewenste verbetering in doorzicht te bereiken?  
Brasems zorgen voor opwerveling van sediment en eventueel voor meer vrijkomst van nutriënten, waardoor fytoplankton snel kan toenemen in aantallen. Ook grazen brasems op zoöplankton en macrofauna en hierdoor kan respectievelijk fytoplankton en perifyton sterk toenemen in aantallen. Welk hoeveelheid vissen moet weggevangen worden om de gewenste verbetering in doorzicht te bereiken is niet duidelijk.
- Hoe vaak moeten beheersvisserijen uitgevoerd worden?  
Wanneer ABB wordt toegepast, moet er alleen vaker worden gevist als zich nog geen stabiel helder systeem kan vormen. Dan is er eigenlijk sprake van beheersvisserij. Wanneer de nutriëntentoevoer bijvoorbeeld nog hoog is, zal de visstand zich meestal



weer ontwikkelen zoals het was. Het is niet bekend hoe vaak en met welke intensiteit beheersvisserijen gedaan moeten worden om het systeem helder te houden.

- Wat is bij kleiplassen het relatieve aandeel van wind en benthivore vis in de opwerveling van slib? Is het wegvangen van vis bij zulke plassen effectief?

Bij welke watertypen en onder welke situaties kan troebeling worden bestreden door het wegvangen van vissen en wanneer heeft dit geen zin?

- Op welk moment is het zinvol om ABB toe te passen?

De timing van de maatregel is heel belangrijk om een omslag naar een heldere toestand te bewerkstelligen. Zoals uit de case studies blijkt wordt ABB vaak te vroeg toegepast, wanneer er nog geen omslag mee bereikt kan worden.

- Hoe komt het dat de piscivore visstand zich meestal niet goed ontwikkelt?

De populatie snoeken blijft vaak achter in aantallen. Komt dit door gebrek aan habitat of slechte voedselkwaliteit?

- Wat vinden de gebruikers van het water, zoals bewoners, recreanten en sportvissers van deze maatregel?

Deze maatregel ligt gevoelig voor burgers en met name de sportvisserij, omdat brasem een gewilde soort is binnen de sportvisserij. Wanneer grote hoeveelheden vis worden verwijderd is het belangrijk dat gebruikers van het water weten wat het doel is van deze maatregel. Vooral over beheersvisserijen is het belangrijk om een ethische discussie te voeren, omdat bij deze maatregel herhaaldelijk vissen worden weggevangen in plaats van het toepassen van meer bron- en systeemmaatregelen.

#### **6.4 Overige vragen**

De kennislacunes die tot nu toe zijn beschreven kwamen voort uit de beschrijving van maatregelen en case studies. Om een goede waterkwaliteit te bereiken in de ondiepe meren in Nederland moet ook buiten de mogelijke maatregelen worden gekeken naar de kennis van de werking van het systeem en de lacunes hierin. Ook is gekeken naar bijkomende aspecten bij het uitvoeren van maatregelen. Door het bestuderen van literatuur en overleg met specialisten in het waterbeheer en onderzoek kwam een aantal onderwerpen naar voren waar onderzoek naar moet worden gedaan. Deze onderzoeken zullen bijdragen aan het begrijpen van het systeem van ondiepe meren en de manier waarop hierop effect kan worden uitgeoefend voor het bereiken van een goede waterkwaliteit.

#### **6.4.1 Zoöplankton**

- Wat voor vegetatie/habitatstructuur is geschikt als schuilplaats voor zoöplankton?  
Zijn er verschillen tussen oevervegetatie, ondergedoken waterplanten en drijvende waterplanten in kwaliteit van habitat voor zoöplankton?
- Hoeveel planten zijn nodig om voldoende schuilplaats te bieden voor zoöplankton om de het water helder te houden?  
Hoeveel vegetatie is nodig voor genoeg habitat voor een stabiele populatie zoöplankton?

#### **6.4.2 Driehoeksmosselen**

- In welke ondiepe meren is de aanwezigheid van driehoeksmosselen gewenst en waar niet?  
Niet overall is de aanwezigheid gewenst van driehoeksmosselen omdat ze last kunnen veroorzaken voor de mens. Driehoeksmosselen trekken watervogels aan omdat deze de mosselen eten. Watervogels kunnen een negatief effect hebben op de waterkwaliteit.

#### **6.4.3 Opwerveling sediment door wind**

- Bij welke morfologie gaat de opwerveling van het sediment door wind een grote rol spelen (afhankelijk van het sedimenttype)?  
Troebelheid in meren veroorzaakt door zwevend stof kan een grote rol spelen bij sommige meren (bijvoorbeeld in Friesland (overleg T. Claassen, 2008)). Door de morfologie en diepte van het meer aan te passen kan de invloed van wind op het sediment worden veranderd. Hoe kan dit het beste worden gedaan?

#### **6.4.4 Perifyton**

- Wat is de rol van perifyton bij de omslag van helder naar troebel water?  
De rol van perifyton in het beschaduwen van planten en dus in de overgang naar een troebel systeem lijkt groter te zijn dan die van fytoplankton (Jones en Sayer, 2003). Perifyton wordt begraasd door macrofauna en hierdoor blijven de ondergedoken waterplanten redelijk vrij van perifyton. Wanneer er overschot aan brasem is, eten deze veel van het macrofauna op waardoor het perifyton niet begraasd wordt. In welke systemen is deze rol inderdaad zo groot? Hoe is de correlatie tussen de P-belasting (in  $g/m^2$ ) en de absolute visbiomassa en dus het verdwijnen van macrofauna (overleg G. van Geest, 2008).

#### **6.4.5 Cyanobacteriën**

- Uit een experiment bleek dat virussen een bloei van cyanobacteriën kunnen stoppen. In het laboratorium gebeurde dit wel, maar in de natuur niet. Hoe zou dit kunnen komen?

Mogelijke verklaringen:

1. In de natuur worden virussen op een bepaald niveau gehouden door flagellaten, in het lab worden deze flagellaten uit de culture gehaald.
2. Virussen hechten zich ook aan dode cyanobacteriën, maar zijn dan niet succesvol. In de natuur gebeurt dit wel, in de culture worden de dode cyanobacteriën eruit gefilterd.

#### **6.4.6 Cumulatieve effecten**

- Zijn wanneer meer maatregelen tegelijkertijd worden uitgevoerd de effecten nog te voorspellen? Wat zijn de cumulatieve effecten?

Maatregelen kunnen elkaar versterken in hun effect of juist uitdoven, of geen invloed hebben op elkaar. Omdat bijna altijd meerdere maatregelen tegelijkertijd worden uitgevoerd door waterbeheerders is dit belangrijk om te weten.

#### **6.4.7 Relatieve aandeel processen**

- Wat is, per meertype, het relatieve aandeel van processen in de waterkwaliteit?

Om een goede keuze te kunnen maken voor maatregelen zal de meeste succes worden behaald wanneer die maatregelen worden gekozen die aangrijpen op de processen die relatief het grootste aandeel hebben in de waterkwaliteit.

#### **6.4.8 Communicatie**

- Hoe communiceer je naar mensen welke maatregelen worden genomen en waarom?

Bij veel projecten is medewerking van verschillende belangengroepen essentieel om beheersmaatregelen te kunnen uitvoeren op een succesvolle manier. Dit zijn bijvoorbeeld recreanten, sportvissers, bewoners en ook boeren. Wanneer deze medewerking niet aanwezig is kan dit een bottleneck vormen voor het bereiken van waterkwaliteitsdoelen (overleg E. Lammens, 2008).

- Hoe kan deze communicatie worden geëvalueerd?

Wanneer een project beëindigd is, is het belangrijk om te evalueren of de communicatie voor en tijdens het project goed is verlopen. Dit is belangrijk voor toekomstige projecten, maar ook om de behaalde waterkwaliteit te behouden.



## **Hoofdstuk 7 Conclusie, aanbevelingen en discussie**

In dit hoofdstuk zal worden aangegeven welke van de geselecteerde maatregelen het meest veelbelovend zijn voor het bereiken van een goede waterkwaliteit. Vervolgens zal een prioritering worden onderbouwd in het opvullen van de kennislacunes die in hoofdstuk 6 zijn gepresenteerd. Daarnaast zullen de verschillende onderzoeksvormen die worden aanbevolen worden toegelicht met behulp van voorbeelden. Tenslotte zal een aantal discussiepunten naar voren worden gebracht naar aanleiding van de resultaten van dit rapport.

### **7.1 Veelbelovende maatregelen**

Van de geselecteerde maatregelen zijn het aanbrengen van zand, droogval en een fluctuerend peil waarschijnlijk het meest veelbelovend.

Het aanbrengen van zand kan de interne eutrofiëring terugbrengen tot een minimum en dit is een belangrijke voorwaarde voor het behalen van verbetering in de waterkwaliteit. Bij de Bergse Plassen is het succes van deze maatregel waargenomen. Een onzekerheid bij deze maatregel is de vraag hoe lang het zand als een goede barrière zal functioneren.

Droogval heeft veel mogelijke effecten die bijna allen positief zijn voor het verbeteren van de waterkwaliteit. Het zal onder andere slap sediment weer stevig maken, de interne eutrofiëring verminderen en de visstand uitdunnen. Deze maatregel is echter nog niet in de praktijk toegepast in combinatie met onderzoek, de daadwerkelijke effecten zijn daarom nog onzeker.

Een fluctuerend peil is een van nature bestaand proces dat zorgt voor dynamiek in het ecosysteem. Deze dynamiek is heel belangrijk voor de kieming en groei van vegetatie. Vegetatie is essentieel om een stabiele heldere toestand te behouden. Onzekerheden bij een fluctuerend peilbeheer zijn de effecten op de nutriëntenhuishouding. Dit is ook erg afhankelijk van de lokale situatie bij een meer.

De maatregel ABB en beheersvisserijen zijn ook veelbelovend, maar hier is nog een kanttekening bij te maken. De timing van ABB is zeer belangrijk en deze maatregel zal bij de meeste meren nog niet kunnen worden toegepast omdat de fosfaatbelasting te hoog is of de opwerveling van sediment door wind het doorzicht laag houdt. Beheersvisserijen zijn een veelbelovende maatregel wanneer er geen aanvullende bron- en systeemmaatregelen kunnen worden genomen en het systeem alleen in een heldere toestand kan worden gehouden door beheersvisserijen. Hier moet dan echter wel een ethische discussie aan vooraf gaan waarin de verschillende opties worden overwogen.

De andere geselecteerde maatregelen, namelijk verdiepen, verondiepen, chemisch vastleggen van fosfaat en aanplanten van vegetatie of verspreiden van propagulen zijn iets minder veelbelovend. Het effect van verdiepen (verminderen resuspensie van sediment) kan ook worden bereikt door het aanbrengen van zand en hiermee is tot nu toe meer succes bereikt. De meeste ondiepe meren in

Nederland zijn ondiep genoeg om op een groot oppervlak ondergedoken waterplanten de kans te geven te groeien. Vandaar dat verondiepen meestal niet veel extra zal bewerkstelligen. Het chemisch vastleggen is een tijdelijk werkende maatregel en kan daarom niet als een duurzame investering worden gezien. De interne eutrofiëring zal uiteindelijk toch weer toenemen. In principe zal vegetatie vanzelf gaan groeien wanneer de omstandigheden goed genoeg zijn. Het planten van vegetatie zal dus meestal niet nodig zijn als voldoende maatregelen zijn genomen om het doorzicht te verbeteren.

## **7.2 Prioritering**

Alle vragen die in hoofdstuk 6 zijn uitgewerkt dienen als mogelijke input voor onderzoek naar het functioneren van het ecosysteem van ondiepe meren en naar de effecten van maatregelen op de waterkwaliteit. Het is belangrijk om die vragen eerst te onderzoeken waarvan wordt verwacht dat de antwoorden relatief veel kunnen bijdragen aan het verbeteren van de waterkwaliteit in ondiepe meren. Vervolgens moeten de vragen worden vertaald in projecten die bijvoorbeeld in het Watermozaïek worden uitgevoerd.

### ***7.2.1 Timing van maatregelen***

Om een omslag van een troebel naar een helder systeem te krijgen is de volgorde van maatregelen heel belangrijk. Eerst moet de fosfaatbelasting onder of richting de kritische belasting van het meer liggen. In STOWA uitgave 4 van 2008 ('Van helder naar troebel...en weer terug') staan handvatten voor het berekenen van de kritische belasting. Afhankelijk van de herkomst van de nutriënten, moet door middel van bronmaatregelen de interne of externe eutrofiëring worden aangepakt.

Systeemmaatregelen kunnen het ecosysteem vervolgens robuuster maken, zodat de kritische belasting hoger wordt; het systeem kan meer nutriënten bevatten om terug te gaan naar een heldere toestand. Om het meer uiteindelijk echt in de heldere toestand te krijgen, is vaak de toepassing van interne maatregelen nodig, zoals actief biologisch beheer of droogval.

### ***7.2.2 Prioritering van onderzoek***

Allereerst is het belangrijk om per meertype vuistregels vast te stellen om het relatieve aandeel van processen te kunnen inschatten. Dit is belangrijk omdat waterbeheerders zo maatregelen kiezen die het meeste effect hebben op het systeem. Vervolgens zijn de vragen met betrekking tot het verminderen van de interne eutrofiëring belangrijk, omdat in Nederlandse meren het sediment veelal een grote bron van nutriënten is. Het beantwoorden van de vragen over het afdekken van het sediment met zand krijgen hiermee een hoge prioriteit. Omdat de troebelheid van het water ook voor een belangrijk deel veroorzaakt kan zijn door zwevend sediment is het belangrijk om de vragen over de opwerveling van sediment door wind nu te onderzoeken. Vervolgens is het van belang om

meer te weten over cumulatieve effecten van maatregelen, omdat door waterbeheerders bijna altijd meerdere maatregelen tegelijkertijd worden uitgevoerd en het cumulatieve effect nu nog moeilijk te voorspellen is. Dit cumulatieve effect is echter wel de werkelijkheid na het toepassen van de maatregelen. Bij sommige van de systeemmaatregelen en interne maatregelen is communicatie naar de burgers extra belangrijk. Voordat deze maatregelen worden uitgevoerd moet de manier van communiceren zijn onderzocht.

Van de systeemmaatregelen is het belangrijk om het toepassen van een meer natuurlijk peilbeheer hierna aandacht te geven.

Vervolgens zijn de maatregelen om het systeem een duwtje in de richting van de heldere toestand te geven, de interne maatregelen, belangrijk. De vragen over het aanplanten van (oever)vegetatie en het beschermen van propagulen, droogval en ABB en beheersvisserijen kunnen nu worden beantwoord. De vragen over het aanplanten van vegetatie hangen samen met de vragen over habitat voor zoöplankton.

De vragen over het bestrijden van cyanobacteriën door middel van virussen en driehoeksmosselen als extra management kunnen hierna aandacht krijgen.

De vragen over perifyton en de rol bij de omslag naar een troebel systeem zijn meer fundamentele vragen die niet zo makkelijk te plaatsen zijn in de prioritering.

### **7.3   Onderzoeksvormen**

Het onderzoek dat wordt aanbevolen uit te voeren kan verschillende vormen aannemen. Het vergaren van nieuwe kennis is een mogelijke vorm. Daarnaast kunnen voor onderzoek evaluaties gedaan worden van case studies, of grote datasets worden geanalyseerd om effecten te kunnen kwantificeren. Zoals uit dit rapport naar voren komt is al veel kennis aanwezig, de ontsluiting van deze kennis naar waterbeheerders is echter vaak nog achterwege gebleven. Sommige vragen zullen dus beantwoord kunnen worden door wetenschappelijke kennis te vertalen naar praktische kennis.

#### ***7.3.1 Kennisontwikkeling***

Een voorbeeld van onderzoek waarbij nieuwe kennis wordt ontwikkeld is het onderzoek naar de rol van perifyton in de omslag van een heldere naar een troebele toestand van een ondiep meer. Dit is kennis die aan de basis ligt van het begrijpen van het functioneren van het ecosysteem.

#### ***7.3.2 Evaluaties***

Omdat de maatregel ABB zoveel is toegepast, is deze maatregel geschikt om te gebruiken voor onderzoek in de vorm van een evaluatie. Bij de meeste case studies, waarin ABB is toegepast, vallen de meren na een aantal jaren toch weer terug in een troebele toestand omdat de visbiomassa weer

toegenomen is. Dit gebeurde terwijl er vaak na de ingreep wel waterplanten waren verschenen. Een belangrijk onderzoek zou een evaluatie zijn van deze case studies. In deze evaluatie kan de fosfaatbelasting (in  $g/m^2$ ) van de verschillende meren worden vergeleken met de eventuele verbetering in waterkwaliteit na de ingreep. Met PC-lake kan de kritische P-belasting worden bepaald en zo kan bepaald worden waar in de hysteresis-grafiek het meer zich bevond en bevindt en of ABB op het goede moment is toegepast.

Een ander voorbeeld van een case study waar een evaluatieonderzoek van gedaan zou kunnen worden is het visstandbeheer in het Volkerak-Zoomer. Hier is al tien jaar een programma bezig (overleg E. Lammens, 2008). Interessante vragen zijn hier bijvoorbeeld hoe de besluitvorming is gegaan en of er weerstand was van de gebruikers van het water tegen visstandbeheer. Ook is het interessant om te weten hoe met deze eventuele weerstand is omgegaan.

### **7.3.3 Datamining**

Onderzoek door middel van het analyseren van een grote dataset zou bij meren met veenbodems tot een betere kwantificering van eutrofiëringparameters kunnen leiden. Veenbodems zijn snel een bron van interne eutrofiëring. De kwantificering hiervan ontbreekt echter. Het analyseren van een grote dataset van meren met een veenbodem en interne eutrofiëringparameters zou voor meer kennis kunnen zorgen (overleg G. van Geest, 2008).

### **7.3.4 Kennisontsluiting**

Over bijvoorbeeld de chemische processen die zich afspelen in het sediment en tussen het sediment en het water is veel bekend in de wetenschappelijke literatuur. In de STOWA uitgave 'Van helder naar troebel...en weer terug' (Jaarsma *et al.*, 2008) is al een deel van deze kennis ontsloten voor de waterbeheerders. Dit is een goed voorbeeld van hoe wetenschappelijke kennis bruikbaar kan worden gemaakt voor waterbeheerders. Over de rol van zoöplankton, fytoplankton en perifyton is veel bekend in de wetenschappelijke literatuur. Ontsluiting van deze kennis naar de waterbeheerders zou kunnen zorgen voor meer begrip van het ecosysteem en betere toepassing van maatregelen.

## **7.4 Discussiepunten**

In dit rapport is de invloed van de landbouw op de externe eutrofiëring niet zo uitgebreid besproken. Deze invloed is echter wel groot en deze is, in tegenstelling tot de hoeveelheid nutriënten vanuit de awzi's, veel minder afgenomen. Een belangrijke bronmaatregel is eigenlijk het verminderen van de uitstroom van nutriënten vanuit de landbouw. Dit is echter een maatregel waar waterbeheerders



geen of weinig invloed op hebben. Dit betekent echter niet dat hier niet over nagedacht moet worden.

In dit rapport worden doelstellingen voor waterkwaliteit geformuleerd naar aanleiding van de KRW en de maatlatten die hiervoor zijn opgesteld. Voor de biologische toestand zijn hiervoor vier kwaliteitselementen geformuleerd. Hier is bijvoorbeeld zoöplankton niet in opgenomen. Bij het verbeteren van de waterkwaliteit is het belangrijk om soms breder te kijken dan de maatlatten en de KRW vragen. Dit kan de ecologie van de ondiepe meren nog meer ten goede komen.

Een probleem in Nederland is het rigide peilbeheer. Dit wordt gehandhaafd vanwege landbouw en scheepvaart. Wanneer het peil niet meer kan fluctueren kan dit worden gezien als een onomkeerbare verandering. Hier kan de doelstelling voor de KRW op worden aangepast. De vraag is echter of een stabiel helder systeem kan worden bereikt met een vast peil. Belangrijk is hierbij om te bekijken wat een fluctuatie in peil betekent voor alle betrokkenen en of een compromis kan worden gevonden waarbij natuur kan profiteren en boeren weinig problemen ondervinden.

Een belangrijk aspect van onderzoek waarbij evaluaties worden uitgevoerd van case studies is dat de monitoring voor tijdens en na het toepassen van maatregelen op een goede manier wordt uitgevoerd. Dit is essentieel om te kunnen leren van ervaringen.

De kosten van de maatregelen zijn in dit onderzoek niet meegenomen in de afweging van de behandelde maatregelen.



## Literatuur

Berg, U., Neumann, T., Donnert, D., Nüesch, R., Stüben, D. 2004. Sediment capping in eutrophic lakes – efficiency of undisturbed calcite barriers to immobilize phosphorus. *Applied Geochemistry* **19**: 1759-1771.

Claassen, T. & Thannhauser-Douwma, M. 2004. Waterkwaliteitsverbetering en natuurontwikkeling in De Deelen. H<sub>2</sub>O #10.

Claassen, 2006. Implementation of the EU Water Framework Directive in Lake Leijen, The Netherlands. Preliminary results of water quality monitoring and an overview of restoration measures. Wetterskip Fryslân.

Cooke, G.D., Welch, E.B., Martin, A.B., Fulmer, D.G., Hyde, J.B., Schriever, G.D. 1993. Effectiveness of Al, Ca, and Fe salts for control of internal phosphorus loading in shallow and deep lakes. *Hydrobiologia* **253**: 323-335.

De Jong, G.L.J. 1992. Integrale eutrofiëringbestrijding Bergse Plassen Eindrapportage inventariserend onderzoek. Hoogheemraadschap van Schieland.

De Melo R., France R., McQueen, D.J. 1992. Biomanipulation: hit or myth? *Limnol. Oceanogr.* **37**: 192–207.

Dionisio Pires, L.M. 2005. Grazing for clarity: Zebra mussels as a potential tool in biomanipulation of lakes. Netherlands Institute of Ecology.

Elbersen, J.W.H., Verdonchot, P.F.M., Roels, B., Hartholt, J.G. 2003. Definitiestudie KaderRichtlijn Water (KRW). I. Typologie Nederlandse Oppervlaktewateren. Alterra rapport 669.

Evers, C.H.M., Van den Broek, A.J.M., Buskens, R., Van Leerdam, A. 2007. Omschrijving MEP en conceptmaatlaten voor sloten en kanalen voor het Kaderrichtlijn Water. Royal Haskoning.

Gulati, R.D., Van Donk, E. 2002. Lakes in the Netherlands, their origin, eutrophication and restoration: state-of-the-art review. *Hydrobiologia* **478**: 73-106.

Gulati, R.D., Dionisio Pires, L.M., Van Donk, E. 2008. Lake restoration studies: Failures, bottlenecks and prospects of new ecotechnological measures. *Limnologica*. *IN PRESS*

Haghseresht, F. 2004. Comparison of the Factors that Affect Performances of Phoslock and Alum. Integrated mineral technology PTY LTD.

Hilt, S., Gross, E.M., Hupfer, M., Morscheid, H., Mählmann, J., Melzer, A., Poltz, J., Sandrock, S., Scharf, E., Schneider, S., Van de Weyer, K. 2006. Restoration of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes – A guideline and state of the art in Germany. *Limnologica* **36**: 155-171.

Jaarsma, N., Klinge, M., Lamers, L. 2008. Van helder naar troebel... en weer terug. STOWA rapport 04-2008.

Jones, J.I. & Sayer, C.D. 2003. Does the fish-invertebrate-periphyton cascade precipitate plant loss in shallow lakes? *Ecology* **84(8)**: 2155-2167.

Lamers, L., Geurts, J., Bontes, B., Sarneel, J., Pijnappel, H., Boonstra, H., Schouwenaars, J., Klinge, M., Verhoeven, J., Ibelings, B., Van Donk, E., Verberk, W., Kuijper, B., Esselink, H., Roelofs, J. 2006. Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. Eindrapportage 2003-2006 (Fase 1). Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Lammens, E.H.R.R., Gulati, R.D., Meijer, M.L., Van Donk, E. 1990. The first biomanipulation conference: a synthesis. *Hydrobiologia* **200/201**: 619-627.

Ligtvoet W., Beugelink, G., Brink, C., Franken, R., Kragt, F. 2008. Kwaliteit voor later. Ex Ante Evaluatie Kaderrichtlijn Water. Planbureau voor de leefomgeving.

Meijer, M.L., de Boois, I., Scheffer, M., Portielje, R., Hoesper, H. 1999. Biomanipulation in shallow lakes in The Netherlands: an evaluation of 18 case studies. *Hydrobiologia* **408/409**: 13-30.

Noordhuis, R. & Zwarts, L. 2002. Biodiversiteit en natuurwaarde. In Coops, H. Ecologische effecten van peilbeheer: een kennisoverzicht. p. 42-55. RIZA rapport 2002.040.

Pot, R. 2005. Default MEP/GEP's voor sterk veranderde en kunstmatige wateren. Concept versie 8.

Schauser, I., Hupfer, M., Brüggeman, R. 2004. SPIEL – a model for phosphorus diagenesis and its application to lake restoration. *Ecological Modelling* **176**: 389-407.

Scheffer, M., Hosper, S.A., Meijer, M-L., Moss, B., Jeppesen, E. 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *TREE* **8(8)**: 275-279.

Scheffer, M. 1998. Ecology of Shallow Lakes. Population and Community Biology Series 22.

Siebelink, B. 2005. De KRW voor het (water)leven. STOWA rapport 2005-04.

Søndergaard, M., Jeppesen, E., Lauridsen, T.L., Skov, C., Van Nes, E.H., Roijackers, R., Lammens, E., Portielje, R. 2007. Lake restoration: Successes, failures and long-term effects. *Journal of Applied Ecology* **44**: 1095-1105.

Tolman, Y. 2007. Control and prevention of cyanobacterial blooms. Laboratory and field experiments tot test possible methods to control cyanobacteria. Wageningen UR.

Tydeman, 2004. Integraal Waterbeheerproject het Nanneveld: na 10 jaar de balans opgemaakt. Overzicht en analyse van monitoringresultaten uit de periode 1991-2004. Wetterskyp Fryslân.

Van den Berg, M. & Portielje, R. 2002. Peilbeheer: Interacties met voedselketen en waterkwaliteit. In Coops, H. Ecologische effecten van peilbeheer: een kennisoverzicht. p. 28-39. RIZA rapport 2002.040.

Van der Molen, D.T. & Pot, R. 2007. Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water. STOWA 2007-32.

Vermaat, J. 2002. Ecologische effecten van peilbeheer in meren en plassen: Ontwikkeling van oever- en moerasvegetatie. In Coops, H. Ecologische effecten van peilbeheer: een kennisoverzicht. p. 80-100. RIZA rapport 2002.040.

Wetzel, R. G. 2001. Limnology. Lake and River Ecosystems. Third edition. Elsevier Academic Press.

Wienk, L.D., Verhoeven, J.T.A., Coops, H., Portielje, R. 2000. Peilbeheer en nutriënten. Literatuurstudie naar de effecten van peildynamiek op de nutriëntenhuishouding van watersystemen. RIZA rapport 2000, 012.

Witteveen+Bos, AquaTerra-KuiperBurger BV, Milieu en Natuur Planbureau. 2008. Kosten en baten van actief visstandbeheer, achtergrondrapport Ex-ante evaluatie KRW. BHV28-1/meis3/003.

*Ongepubliceerd*

Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard

- Integraal plan Bergse Plassen

- Metingen Bergse Plassen

Verkregen via J. Hemelraad, 2008

*Overleggen specialisten*

Overleg M. Van den Berg, Waterdienst Rijkswaterstaat, 2008

Overleg E. Lammens, Waterdienst Rijkswaterstaat, 2008

Overleg G. van Geest, Deltares, 2008

Overleg R. Laanbroek, NIOO en Universiteit Utrecht, 2008

Overleg T. Claassen, Wetterskip Fryslân, 2008.

## Bijlage 1 Overzicht descriptoren voor meren in de Kaderrichtlijn Water

**Tabel 3:** Overzicht van de descriptoren voor de meren in de Kaderrichtlijn Water. (Naar Elbersen et al., 2003)

		Verplicht	Verplicht	Facultatief Indien relevant	Facultatief Indien relevant	Verplicht	Verplicht	Verplicht	Facultatief Indien relevant	Facultatief Indien relevant
	Totaal aantal typen	Lengte- breedtegraad	Hoogte	Saliniteit Cl/l	Vorm	Geologie	Diepte gemiddeld (m)	Oppervlak (km <sup>2</sup> ) (m)	Rivierinvloed	Buffercapaciteit (meq/l)
Meren	32	niet differentiërend	niet differentiërend	4 klassen	2 klassen	3 klassen	2 klassen	Indien niet lijnvormig: 3 klassen	1 klasse	3 klassen
				0 - 0,3	lijnvormig	kieselhoudend	< 3m	< 0,5	eenzijdig in open	zuur < 0,1
				0,3 - 3	niet lijnvormig	organisch	> 3m	0,5 - 100	verbinding met rivier/	zwak gebufferd 0,1 - 1
				3 - 10		kalkhoudend		> 100	sterk geïnundeerd	gebufferd 1 - 4
				> 10				Indien lijnvormig		
								< 8		
								8 - 15		
								> 15		





## Bijlage 2 M-Typen Kaderrichtlijn Water

**Tabel 4:** De M-typen in de Kaderrichtlijn Water, dit zijn stilstaande oppervlaktewateren. De geel gemarkeerde typen zijn ondiepe meren (Elbersen et al., 2003).

KRW-type nr.	KRW-type naam
M1	Gebufferde sloten (overgangssloten, sloten in rivierengebied)
M2	Zwak gebufferde sloten (poldersloten)
M3	Gebufferde (regionale) kanalen
M4	Zwak gebufferde (regionale) kanalen
M5	Ondiep lijnvormig water, open verbinding met rivier/geinundeerd
M6	Grote ondiepe kanalen
M7	Grote diepe kanalen
M8	Gebufferde laagveensloten
M9	Zwak gebufferde hoogveensloten
M10	Laagveen vaarten en kanalen
M11	Ondiepe gebufferde plassen
M12	Ondiepe zwak gebufferde plassen (vennen)
M13	Ondiepe zure plassen (vennen)
M14	Ondiepe gebufferde plassen
M15	Ondiepe grote gebufferde plassen
M16	Diepe gebufferde meren
M17	Diepe zwakgebufferde meren
M18	Diepe zure meren
M19	Diepe meren in open verbinding met rivier
M20	Matig grote diepe gebufferde meren
M21	Grote diepe gebufferde meren
M22	Ondiepe kalkrijke plassen
M23	Ondiepe kalkrijke plassen
M24	Diepe kalkrijke meren
M25	Ondiepe laagveenplassen
M26	Ondiepe zwak gebufferde hoogveenplassen/vennen
M27	Matig grote ondiepe laagveenplassen
M28	Diepe laagveenmeren
M29	Matig grote diepe laagveenmeren
M30	Zwak brakke wateren
M31	Matig brakke wateren
M32	Sterk brakke tot zoute wateren