Deltares

Enabling Delta Life

Sturen op watervegetaties

Deltares

Sturen op watervegetaties

Gerben van Geest
Ruurd Noordhuis

1208460-000

© Deltares, 2014

Deltares

Titel
Sturen op watervegetaties

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
WVL	1208460-000	1208460-000-ZWS-0006	39

Samenvatting
In een groot deel van het IJsselmeergebied nemen waterplanten toe. De ontwikkelingen in de Veluwerandmeren en de recente uitbreidingen in het Eemmeer, Gooimeer en het Hoornsche Hop zijn sprekende voorbeelden van ecologisch herstel. Waterplanten zijn van cruciale betekenis voor de doelstellingen van ecologie (voedsel, habitat voor vis en ongewervelden) en waterkwaliteit (stabiel, helder water). Van hieruit gezien is herstel van waterplanten een gewenste situatie, maar deze terugkeer heeft ook een keerzijde. Varende recreanten kunnen last hebben van de planten, doordat ze er in verstrikt raken met hun vaartuigen of buitenboordmotoren. Ook zwemmende recreanten kunnen overlast ondervinden.

Rijkswaterstaat staat voor de opgave om de ecologische doelstellingen in het IJsselmeergebied te realiseren, waarbij tegelijkertijd rekening wordt gehouden met de wens om overlast van waterplanten te beperken. Tussen de meren in het IJsselmeergebied bestaan duidelijke verschillen in de afname van nutriëntenconcentraties, de toename van helderheid en de ontwikkeling van waterplanten. Deze verschillen geven mogelijk inzicht in de routes van vegetatie-ontwikkeling op de langere termijn. Inzicht hierin geeft de mogelijkheid om de overlast van waterplanten te voorspellen en bij te sturen door inrichtings- en beheermaatregelen.

Onderzoeksvragen
In dit rapport komen de volgende onderzoeksvragen aan bod:

- Welke factoren in kwantitatieve zin beïnvloeden in belangrijke mate de samenstelling (en abundantie) van de watervegetatie? Hiertoe wordt de waterplantensoorten in vier groepen ingedeeld: bodembedekkers (kranswieren), waterkolombedekkers (hogere waterplanten als fonteinkruiden) en draadwier. Voor deze vier groepen wordt de rol onderzocht van de waterdiepte, helderheid, strijklengte, windinvloed, nutriënten, sedimentsamenstelling, en – voor zover mogelijk – de visstand.
- Wat is op grond van bovenstaande analyse de verwachting voor het vegetatietype (eindstadium) voor verschillende meren en omstandigheden voor de verschillende groepen van planten, en wat is de rol van compartimentatie (Markerwadden, andere luwte maatregelen)?
- Welke factoren beïnvloeden de snelheid bij overgang van troebel naar helder water in ondiepe meren? Welke sturingsmogelijkheden zijn mogelijk als gericht wordt op bodembedekkende vegetaties voor zowel de snelheid als het eindstadium?

Trends in nutriënten, chlorofyl en helderheid
Alle meren in het IJsselmeergebied hebben met elkaar gemeen dat de nutriëntenconcentraties (fosfaat en stikstof) sinds de jaren ‘80 van voorgaande eeuw fors zijn afgenomen. Toch bestaan er tussen de meren grote verschillen in het verloop van ortho-fosfaat, chlorofyl, zwevend stof en doorzicht over de jaren. Deze verschillen hangen nauw samen met de verblijftijd van het water en de waterdiepte van het systeem. Op basis van de resultaten van de trends van bovengenoemde stoffen zijn de meren van het IJsselmeergebied in de volgende groepen ingedeeld:

- (Delen van) meren met een korte verblijftijd (Eemmeer, Gooimeer, Ketelmeer, Zwarte Meer en IJmeer).
- Ondiepe delen van meren met een lange verblijftijd (Vossemeer, Drontermeer, Veluwemeer, Wolderwijd en Nuldernauw).

- Diepe delen van meren met een lange verblijftijd (IJsselmeer, centrale deel van het Markermeer).

In onderstaande tekst zijn voor bovengenoemde groepen meren de trends van nutriënten, chlorofyl, helderheid en vegetatie-ontwikkeling weergegeven. Aansluitend worden de verwachtingen voor de toekomst weergegeven, evenals sturingsmogelijkheden aan de hand van inrichtings- en beheermaatregelen.

Meren met een korte verblijftijd onderscheiden zich door hoge gehaltes van opgelost fosfor, lage chlorofyl-concentraties, lage chlorofyl/P ratio's en een zwevend stof gehalte dat de laatste jaren duidelijk is gedaald. In recente jaren is het doorzicht in deze meren sterk toegenomen, wat waarschijnlijk het gevolg is van mosselfiltratie door een sterk toegenomen bestand van Quagga-mosselen, in combinatie met een afgenomen brasempopulatie.

Ondiepe delen van meren met een lange verblijftijd kenmerken zich door lage concentraties van nutriënten, chlorofyl en zwevend stof en een hoog doorzicht. Vanwege de lange verblijftijd en geringe diepte van deze meren spelen interne processen hier een belangrijke rol, en hebben waterplanten (en in mindere mate mosselen) een duidelijk positief effect op de helderheid.

Diepe delen van meren met een lange verblijftijd onderscheiden zich door lage nutriëntenconcentraties en een soortensamenstelling van fytoplankton die sterk gestuurd wordt door nutriëntenlimitatie. Vanwege de grote waterdiepte ontbreken waterplanten en hebben deze geen invloed op de helderheid. Hierdoor worden relatief hoge chlorofyl- en zwevend stof gehaltes vastgesteld en is het doorzicht beperkt. Uitzondering hierop vormen locaties waar de Quagga-mossel zich recent heeft gevestigd; op deze locaties neemt het doorzicht de laatste jaren juist toe.

Trends in vegetatie-ontwikkeling

De ontwikkeling van de waterplanten sluit goed aan op bovengenoemde indeling van meren op basis van trends in nutriënten, chlorofyl, zwevend stof en doorzicht. Onderstaand zijn ontwikkelingen van de verschillende groepen meren weergegeven.

In meren met een grote rivierinvloed en een korte verblijftijd kenmerkt de eerste fase van vegetatie-ontwikkeling zich door een sterke toename van draadalgen en smalbladige fonteinkruidsoorten. In het Zwarte Meer startte de ontwikkeling van waterplanten rond het jaar 2000. Aanvankelijk was hier een sterke dominantie van Waternetje (een soort draadwier), maar gedurende de laatste jaren neemt het aandeel van kranswiervegetaties (*Chara*) hier sterk toe. In het Eemmeer, Gooimeer en Ketelmeer treden waterplanten pas de laatste drie jaren sterk op de voorgrond. In het Eemmeer bereiken soorten als Gekroesd fonteinkruid, Puntig fonteinkruid en Gewoon sterrenkroos hoge dichtheden ten opzichte van andere meren in het IJsselmeergebied, wat mogelijk samenhangt met de venige bodem in dit meer.

In ondiepe delen (< 2 meter) van meren met een lange verblijftijd kenmerkt de eerste fase van vegetatie-ontwikkeling zich door een toename van smalbladige fonteinkruiden en draadalgen. Deze soorten treden echter niet zo sterk op de voorgrond als in ondiepe meren met een korte verblijftijd (zie hierboven). Deze ontwikkeling wordt vrij snel gevolgd door een sterke toename van kranswier (*Chara*), wat ten koste gaat van voorgenoemde soorten. De laatste jaren neemt Sterkranswier toe in diepere delen van deze meren.

Titel
Sturen op watervegetaties

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
WVL	1208460-000	1208460-000-ZWS-0006	39

In diepe delen van meren (2 – 4 meter) met een lange verblijftijd onderscheidt de vegetatie-ontwikkeling zich door een toename van Doorgroeid fonteinkruid, wat in de Gouwzee gedurende een periode van 10 jaar grotendeels vervangen is door Sterkranswier. Doorgroeid fonteinkruid groeit grofweg tot een waterdiepte van 4 meter; in diepere delen zijn waterplanten afwezig.

Verwachtingen voor vegetatie-ontwikkeling
Onderstaand zijn de verwachtingen voor waterplanten-ontwikkeling weergegeven van de verschillende groepen meren.

In meren met een korte verblijftijd kenmerkt de vegetatie-ontwikkeling en hoge nutriëntenconcentraties zich door een sterke toename van draadalgen en smalbladige fonteinkruidsoorten. In het Zwarte Meer zal de toename van kranswier (*Chara*) naar verwachting doorzetten. Het is echter onzeker of de ontwikkeling van het Eemmeer en Gooimeer eveneens richting *Chara* zal verlopen, vanwege de hoge nutriëntenconcentraties waardoor draadwier voedsel uit de waterkolom kan opnemen. In het Eemmeer kan de bodemsamenstelling (veen) een rol spelen, wat tot een afwijkende soortensamenstelling kan leiden.

In ondiepe meren met een lange verblijftijd en lage fosfaatconcentraties blijven de ondiepe delen gedomineerd door kranswier (*Chara*). In recente jaren worden de diepere delen van de Veluwerandmeren gekoloniseerd door Sterkranswier, wat waarschijnlijk ten koste gaat van vegetaties van *Chara* (dat in het Veluwemeer ook in de diepterange van 2 – 3 meter voorkomt) en Doorgroeid fonteinkruid.

In diepe delen van meren (waterdiepte tot 4 meter) met een lange verblijftijd en lage fosfaatconcentraties kan bij een toenemend doorzicht het areaal en de bedekking van Doorgroeid fonteinkruid toenemen. Bij een grote toename van het doorzicht kan Sterkranswier zich ook vestigen en uitbreiden. In het deel van de dieptezone waar beide soorten voorkomen, zal Sterkranswier in circa 10 jaar tijd het Doorgroeid fonteinkruid vervangen. Bij waterdieptes groter dan 4 meter komen geen waterplanten voor.

Sturingsmogelijkheden voor vegetatieontwikkeling
De ontwikkeling van waterplantenvegetaties kan op verschillende manieren gestuurd worden. De volgende maatregelen zijn mogelijk:

Verandering van de nutriëntenbelasting
Verlaging van de nutriëntenbelasting zal vooral effect hebben in ondiepe meren met een korte verblijftijd. Waarschijnlijk zal hierdoor het aandeel van draadwier, flab en smalbladige fonteinkruiden in de vegetatie kleiner worden en het aandeel kranswier groter. Als dit proces doorzet dan zal Doorgroeid fonteinkruid opschuiven naar grotere diepte.

Creëren van luwte door aanleg dammen of eilanden
Bij een toenemende helderheid (door de aanleg luwtemaatregelen) kunnen waterplanten op grotere diepte groeien en kan het areaal en de totale biomassa toenemen. De luwtemaatregelen kunnen de successie naar kranswiervegetaties versnellen.

Deltares

Titel
Sturen op watervegetaties

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
WVL	1208460-000	1208460-000-ZWS-0006	39

Hierdoor ontstaat een ruimtelijke zonering van verschillende vegetatietypen met bijgevolg een hogere diversiteit. De luwtemaatregelen beperken de risico's op sterke fluctuaties in aantallen, waardoor de kans op een omslag naar een langdurig troebele toestand wordt verkleind.

Verandering van waterdiepte
Door verandering van de waterdiepte kan de zonering van de waterplanten aangepast worden. Overlast veroorzakende soorten als draadwier, flab en smalbladige fonteinkruiden domineren vooral in de ondiepe waterzone (waterdiepte < 1 meter). Bij vergroting van de waterdiepte zullen naar verwachting kranswier (*Chara*) en Sterkranswier meer op de voorgrond treden.

Manipuleren van brasempopulatie
Een reductie van (hoge) biomassa's van benthivore vis kan de kans op kolonisatie van mosselen en het optreden van helder water bevorderen. Voor het maatschappelijk draagvlak dient een dergelijke maatregel ook positieve effecten te hebben op visserijmogelijkheden. Op dit ogenblik is bijvoorbeeld de brasempopulatie in veel meren in het IJsselmeergebied (flink) afgenomen, zodat deze maatregel minder voor de hand ligt.

Enten van plantenmateriaal
De vegetatiesuccessie kan ook gestuurd worden door het enten van sediment met voortplantingsstructuren (zaden, knolletjes, sporen) van (gewenste) soorten. Deze maatregel wordt momenteel in het Eemmeer onderzocht.

Manipuleren van de mosselpopulatie
Het aanbieden van hard substraat kan de mosselen meer hechtingsplaats aanbieden, waardoor de mosselpopulatie wordt gestimuleerd. Daardoor neemt de helderheid toe (via filtratie) waardoor er betere groeicondities voor waterplanten ontstaan. Deze maatregel is echter deels achterhaald, omdat Quagga-mosselen ook aan elkaar kunnen vasthechten en (ten opzichte van driehoeksmosselen) minder afhankelijk zijn van de aanwezigheid van vast substraat. Quagga-mosselen zijn in recente jaren sterk toegenomen in het IJsselmeergebied.

Maaien
Wanneer waterplantenvegetaties eenmaal aanwezig zijn en overlast veroorzaken, dan kan maaien ook een oplossing zijn. Hierbij mogen de ecologische doelstellingen niet in gevaar komen. De Handreiking waterplanten (Van Berkum, 2012) biedt hiervoor richtlijnen.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	nov. 2013	Gerben van Geest		Hans Los		Sacha de Rijk	
		Ruurd Noordhuis					

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding **1**
1.1 Achtergrond 1
1.2 Onderzoeksvragen 1
1.3 Leeswijzer 2

2 Sturende factoren voor waterplantenontwikkeling **3**
2.1 Effect-keten benadering bij interpretatie van resultaten 3
2.2 Belangrijke processen voor doorzicht en waterplantenontwikkeling 5

3 Analyse van beschikbare data **7**
3.1 Methodiek 7
3.2 Trends in nutriënten, chlorofyl, zwevend stof en helderheid 7
3.3 Veranderingen in de mossel- en visgemeenschap 11
3.4 Trends in de ontwikkeling van waterplanten 13

4 Interpretatie van de trends **19**
4.1 Sturende factoren voor vegetatieontwikkeling 19
4.2 Kanttekeningen en onzekerheden 23

5 Verwachtingen voor waterplantenontwikkeling **25**
5.1 Verwachtingen voor de toekomst 25
5.1.1 Meren met een korte verblijftijd 25
5.1.2 Ondiepe meren met lange verblijftijd 26
5.1.3 Diepe delen van meren met lange verblijftijd 26
5.2 Onzekerheden over verwachtingen 27

6 Sturingsmogelijkheden van waterplantenontwikkeling **29**
6.1 Waterplanten en overlast voor recreanten 29
6.2 Sturing via maatregelen 29

7 Conclusies **33**

8 Aanbevelingen voor vervolg **37**

9 Literatuurlijst **38**

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In grote delen van het IJsselmeergebied nemen waterplanten toe. De ontwikkelingen in de Veluwerandmeren en de recente uitbreidingen in het Eemmeer, Gooimeer en het Hoornsche Hop zijn sprekende voorbeelden van ecologisch herstel. Waterplanten zijn van cruciale betekenis voor de doelstellingen van ecologie (voedsel, habitat voor vis en ongewervelden) en waterkwaliteit (stabiel, helder water). Vanuit hieruit gezien is herstel van waterplanten een gewenste situatie, maar deze terugkeer heeft ook een keerzijde. Varende recreanten kunnen last hebben van de planten, doordat ze er in verstrikt raken met hun vaartuigen of buitenboordmotoren. Ook zwemmende recreanten kunnen overlast ondervinden.

Rijkswaterstaat staat voor de opgave om de ecologische doelstellingen in het IJsselmeergebied te realiseren, waarbij tegelijkertijd rekening wordt gehouden met de wens om overlast van waterplanten te beperken. Hierbij staan verschillende vragen open, zoals: welke vegetatietypen zijn op de lange termijn te verwachten, hoe lang zorgen waterplanten voor overlast bij een afnemende nutriëntenbelasting, is de ontwikkeling van waterplanten (en daarmee de kans op overlast) te sturen door bepaalde inrichtings- en beheermaatregelen, en hoe moeten deze maatregelen uitgevoerd worden om de ecologische ontwikkelingen te versterken en bestendigen?

Tussen de meren in het IJsselmeergebied bestaan duidelijke verschillen in (het tijdstip van) de afname van nutriëntenconcentraties, veranderingen in het chlorofyl- en zwevend stofgehalte, de toename van helderheid en de ontwikkeling van waterplanten. Deze verschillen geven mogelijk inzicht in de routes van vegetatie-ontwikkeling op de langere termijn. Hierbij is het interessant om te bepalen of deze veranderingen in alle gebieden hetzelfde verlopen, of dat er grote verschillen zijn die samenhangen met specifieke kenmerken en processen van de meren. Inzicht hierin geeft de mogelijkheid om de overlast van waterplanten te voorspellen en bij te sturen door inrichtings- en beheermaatregelen.

1.2 Onderzoeksvragen

In dit rapport komen de volgende onderzoeksvragen aan bod:

- Welke factoren in kwantitatieve zin beïnvloeden in belangrijke mate de samenstelling (en abundantie) van de watervegetatie? Hiertoe wordt de waterplantensoorten in vier groepen ingedeeld: bodembedekkers (kranswieren), waterkolombedekkers, draadwier en flab. Voor deze vier groepen wordt de rol onderzocht van de waterdiepte, helderheid, strijklengte, windinvloed, nutriënten, sedimentsamenstelling, en – voor zover mogelijk – de visstand.
- Wat is op grond van bovenstaande analyse de verwachting voor het vegetatietype (eindstadium) voor verschillende meren en omstandigheden voor de verschillende groepen van planten, en wat is de rol van compartimentatie (Markerwadden, andere luwte maatregelen)?
- Welke factoren beïnvloeden de snelheid bij overgang van troebel naar helder water in ondiepe meren? Welke sturingsmogelijkheden zijn mogelijk als gericht wordt op bodembedekkende vegetaties voor zowel de snelheid als het eindstadium?

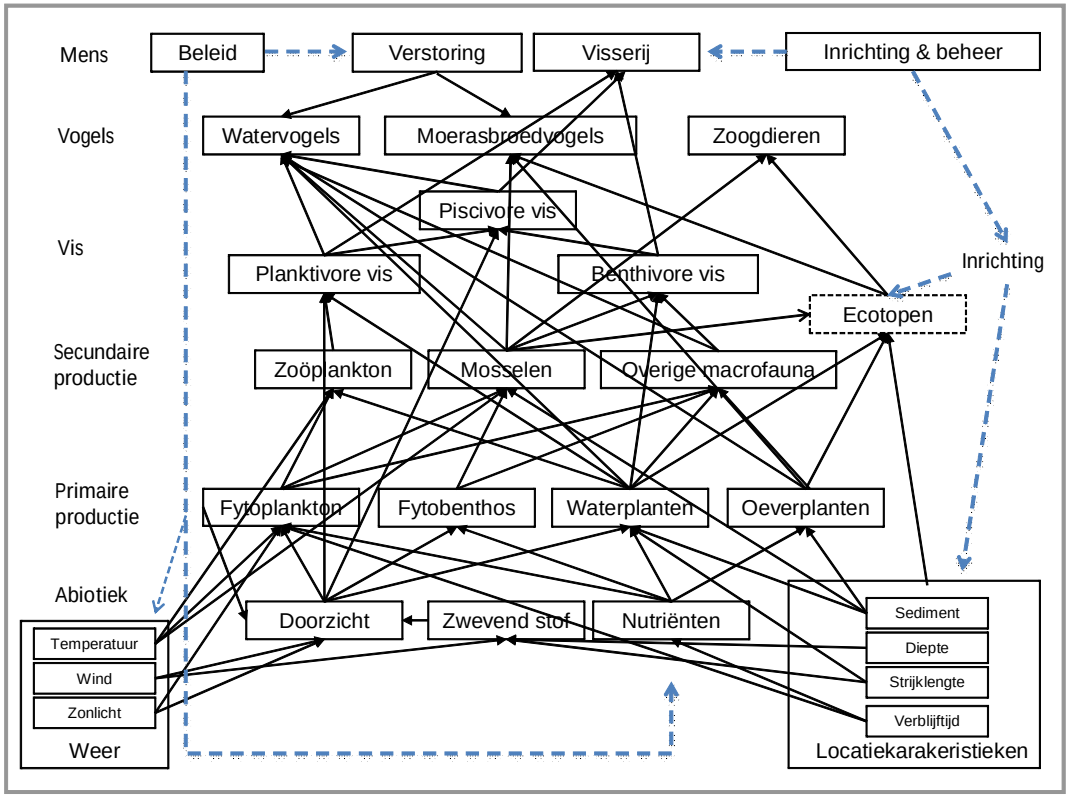
1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk twee geeft een conceptueel model van belangrijke processen die de helderheid en waterplantenontwikkeling in het IJsselmeergebied sturen. Hoofdstuk drie geeft een overzicht van verschillen in ontwikkeling van nutriënten, chlorofyl, zwevend stof, doorzicht en waterplantenvegetaties van de meren in het IJsselmeergebied. In hoofdstuk vier worden de resultaten bediscussieerd in relatie tot het conceptuele model uit hoofdstuk twee. In hoofdstuk vijf worden de verwachtingen voor de waterplantenontwikkeling behandeld. Hoofdstuk zes geeft een overzicht van de sturingsmogelijkheden van vegetatieontwikkeling. In hoofdstuk zeven de conclusies vermeld, en in hoofdstuk acht worden aanbevelingen gegeven voor een vervolg.

2 Sturende factoren voor waterplantenontwikkeling

2.1 Effect-keten benadering bij interpretatie van resultaten

Het ecosysteem van het IJsselmeergebied is gedurende de afgelopen tientallen jaren sterk veranderd. Eén van de opvallende veranderingen is de toegenomen helderheid van het water in een groot deel van het IJsselmeergebied en een uitbreiding van het areaal aan waterplanten. Voor de voorspelling van waterplantenontwikkeling is het van belang om de oorzaken van deze trends te achterhalen. De factoren die hiervoor van belang zijn kunnen gevisualiseerd worden in een zogeheten 'effect-keten' (Figuur 2.1). Centraal in deze keten staat het natuurlijke systeem van het IJsselmeergebied. Inzicht in deze keten is van belang om de oorzaken van de veranderingen te begrijpen. Bovendien levert deze keten ook de 'stuurknoppen' van het systeem, waarmee de ecologische ontwikkelingen in het IJsselmeergebied door middel van maatregelen gestuurd kunnen worden.



Figuur 2.1. Weergave van het voedselweb van meren in het IJsselmeergebied met de externe beïnvloeding en sturingsmogelijkheden voor de mens

Tussen de meren zijn er grote verschillen in helderheid van het water. Dit komt doordat de oorzaken van de vertroebeling sterk verschillen, zowel in de ruimte (tussen de meren) als in de tijd (trends over meerdere jaren). Hierbij is het van belang om te weten dat troebeling van het water wordt bepaald door (Bakema, 1988):

- concentratie van algen (fytoplankton; uitgedrukt als chlorofyl;
- concentratie van dood organisch materiaal (detritus);
- concentratie van slib (anorganisch stofgehalte);
- kleur van het water (veroorzaakt door DOC (dissolved organic carbon) en lichtuitdoving door het water zelf);

Voor de meren in het IJsselmeergebied zijn vooral de algen en slibconcentraties van belang. De concentraties van detritus hangt in deze meren nauw samen met de algenproductie: naarmate meer algen aanwezig zijn, leveren afgestorven algen een belangrijke bijdrage aan detritus. Tussen de meren zijn duidelijke verschillen in concentraties van bovengenoemde componenten: zo bepaalt de slibconcentratie in belangrijke mate de troebelheid in het Markermeer, terwijl dit in het IJsselmeer vooral bepaald wordt door algen en detritus. Dergelijke verschillen in concentraties van lichtuitdovende componenten kunnen een indicatie geven van het relatieve belang van processen tussen meren. Om deze reden zijn in hoofdstuk 3.1 de trends van chlorofyl (algen) en slib-concentraties van de meren weergegeven, evenals die van een belangrijke stuurvariabele voor algengroei, namelijk fosfaat. In hoofdstuk 4 wordt aan de hand van de effect-keten (Figuur 2.1) bepaald welke processen een rol spelen voor de troebelheid van het water.

In de effect-keten kan onderscheid gemaakt worden processen die te maken hebben met de ‘basis’ van ecosysteem, en met processen waarbij de biologie terugkoppeling geeft op de abiotiek.

De basis van de effectketen bestaat uit processen die te maken hebben met hydrodynamica, slib, nutriënten en algengroei (Figuur 2.1). De wind is de belangrijkste aandrijvende kracht voor waterbeweging in het systeem, en heeft – samen met andere systeemkenmerken als bodemsamenstelling en vormgeving van het meer – een grote invloed op de slibconcentratie in het water. De beschikbaarheid van nutriënten bepalen in belangrijke mate de kansen voor algengroei, en sturen daarmee ook de concentraties van detritus (dood organisch materiaal) in het water. Deze factoren zijn bepalend voor de helderheid van het water (zie hierboven). De theoretische achtergrond van bovenstaande relaties zijn bekend, en kunnen goed gekwantificeerd worden.

Omgekeerd heeft de biologie ook een duidelijke invloed op de abiotiek. Zo kunnen waterplanten, mosselen en zoöplankton de helderheid van het water duidelijk vergroten. Zowel waterplanten als mosselen vergroten de ruwheid van het bodemoppervlak, waardoor minder opwerveling van slib ten gevolge van golfslag en waterstroming optreedt. Hiernaast kunnen mosselen en zoöplankton het water dusdanig efficiënt filtreren, dat de helderheid hierdoor sterk wordt vergroot. De processen die hieraan ten grondslag liggen zijn niet alle bekend, en kunnen vooralsnog moeilijk gekwantificeerd worden. Ditzelfde geldt voor complexe interacties zoals flocculatie (samenklontering) van slib- en algendeeltjes, waardoor grotere deeltjes ontstaan die een beduidend hogere sedimentatiesnelheid hebben (zie paragraaf 2.2).

Tot slot kunnen hogere trofische niveaus van de voedselketen (zoals vissen, watervogels) een duidelijke invloed uitoefenen op de helderheid en ontwikkeling van waterplanten. Bodemwoelende vissen (zoals grote Brasems) wervelen het sediment op, waardoor waterplanten ontwortelt raken en het water troebel wordt. Bovendien eten brasems (en andere vissoorten) zoöplankton, waardoor de graas van zoöplankton op algen afneemt en het water troebeler wordt. Evenzo kunnen watervogels een flink deel van de aanwezige mosselen en waterplanten consumeren, waardoor het functioneren van het ecosysteem veranderd. Deze interacties zijn eveneens slechts ten dele bekend, en moeilijk te kwantificeren.

Op grond van Figuur 2.1 en bovenstaande beschrijving blijkt dat het niet eenvoudig is om de achterliggende processen te achterhalen. Een uitgebreide beschrijving van alle mogelijke processen die een rol kunnen spelen valt buiten het kader van dit rapport.

Afgelopen jaren zijn echter diverse studies uitgevoerd die het ecologisch functioneren van meren in het IJsselmeergebied hebben onderzocht; de resultaten hiervan zijn samengevat in Noordhuis et al (2014). Onderstaand zijn een aantal conclusies weergegeven die van belang zijn voor de ontwikkeling van de helderheid en waterplanten in het IJsselmeergebied.

2.2 Belangrijke processen voor doorzicht en waterplantenontwikkeling

Aan de veranderingen van het doorzicht in meren en toename van waterplanten in een groot deel van het IJsselmeergebied kunnen verschillende processen ten grondslag liggen:

1. afname van algenproductie door sterke daling van fosfaat- en stikstofconcentraties;
2. filtratie door de recent sterk toegenomen populatie van Quagga-mosselen;
3. verruwing en fixatie van de bodem door mosselen;
4. afname van Brasem en bodemwoeling;
5. afname van windgedreven resuspensie van slib en algen;
6. verandering van doorzicht door veranderde soortensamenstelling van algengemeenschap;
7. toename van vlokvorming van algen met slibdeeltjes door verandering van soortsamenstelling van de algengemeenschap (versnelde sedimentatie);

Punt 1 t/m 4 zijn reeds kort behandeld in de voorgaande paragraaf. Punt 5 t/m 7 zijn gebaseerd op recente inzichten en onderzoeken, en zijn onderstaand nader toegelicht. Aansluitend wordt ingegaan op de opkomst van Quagga-mosselen.

Afname van windgedreven resuspensie van slib en algen
De variatie in doorzicht wordt mogelijk deels veroorzaakt door veranderingen in windgedreven resuspensie van slib en algen over de afgelopen decennia (Van Geest & Noordhuis, 2013). In het IJsselmeergebied waaide het in de jaren 1990 – 2000 gemiddeld genomen harder dan in de jaren 2000 – 2011. De periodiciteit in windsnelheid is mogelijk van invloed op de bedekking en soortensamenstelling van waterplanten. De afname van de windsnelheid kan verbonden zijn aan de toename van waterplanten. In dit opzicht is vooral het wind luwe jaar 2010 interessant. In dit jaar werden in vergelijking met voorgaande jaren hoge dichtheden van kranswier gemeten achter de Hockeysticks, langs de Houtribdijk langs de Friese kust en in het Hoornse Hop (Van Geest & Noordhuis, 2013). In laatstgenoemde twee gebieden was die bedekking in 2011, bij min of meer normale windsnelheden, weer aanzienlijk lager. Hierbij valt op dat de bedekking van Doorgroeid fonteinkruid terugvalt tot oude waarden, terwijl kranswier (*Chara*) veel beter in staat is om de ‘terreinwinst’ in ongunstige jaren vast te houden (Noordhuis, ongepubliceerde resultaten). Dit punt verdient nader onderzoek in de toekomst.

Verandering van doorzicht door gewijzigde soortensamenstelling algen
In het Markermeer en het IJsselmeer heeft de samenstelling van de algen zich aangepast aan de lagere nutriëntenconcentraties. De daling van nutriënten heeft geleid tot soorten met kleinere cellen die in hogere dichtheden aanwezig zijn en regelmatiger over het water zijn verdeeld in vergelijking met jaren met hoge nutriëntenbelasting. Deze verdeling van algen zorgt ervoor dat het water – bij dezelfde chlorofylconcentraties – minder licht doorlaat. Dit effect verklaart waarschijnlijk de afname van het doorzicht in het Markermeer in de eerste helft van de jaren negentig, en blijkt dus niet het gevolg te zijn van een toename van zwevend slib (zoals eerder werd gedacht). Hierbij speelt echter ook de toename van vlokvorming een rol (zie hieronder).

Toename vlokvorming van algen met slibdeeltjes
De verandering van soortensamenstelling van de algen in meren met lage nutriëntenconcentraties en een slibrijke bodem (Markermeer) heeft ook de mate van vlokvorming tussen algen en slib beïnvloed. De kleinere soorten hebben veelal losse cellen die met grote aantallen zijn ingebed in een geleiachtige matrix, zoals de blauwalg *Aphanothece*. Uit experimenten blijkt dat de kolonies van deze blauwalg zich gemakkelijk hechten aan deeltjes zwevend slib. De bezinksnelheid van de resulterende vlokken is bij weinig wind groter dan van de blauwalg *Aphanothece* alleen. Dit biedt een mogelijke verklaring voor de sterk positieve correlatie tussen windsnelheid en chlorofyl zoals gemeten op de meetpalen in het Markermeer (bij het wegvallen van wind blijft er nauwelijks chlorofyl over). Het biedt ook een mogelijke verklaring voor de lage chlorofylconcentraties in windluwe delen van dit meer en de hogere concentraties in de winter, doordat het zweefvermogen van algen bij hogere windsnelheid, dus gemiddeld in de winter, juist hoger is. Dit zou betekenen dat de algenconcentratie mede wordt bepaald door windgedreven resuspensie. Uit de experimenten blijkt dat bij een blauwalg die vroeger algemeen was (*Aphanizomenon*) geen duidelijke vlokvorming optreedt, of dat deze niet resulteert in een verhoogde bezinksnelheid. Wijzigingen in de soortsamenstelling van het plankton zijn daarmee mogelijk verbonden aan wijzigingen in zwevende stof-concentraties en doorzicht. Deze processen spelen vooral een rol in een slibrijk systeem als het Markermeer.

Opkomst van Quagga-mosselen
Door de afname van de nutriënten is de kwaliteit van algen als voedsel en als basis van de rest van het voedselweb verslechterd. Experimenten hebben aangetoond dat een lagere voedselkwaliteit van algen tot remming van de voortplanting van watervlooien leidt (Sarpe et al, in prep). Bij Driehoeks- en Quagga-mosselen die werden gevoerd met algen met lage fosfaatconcentraties werd eveneens een afname van het gewicht vastgesteld (Mandemakers, 2013). Niettemin heeft de Quagga-mossel zich in recente jaren gevestigd, en bereikt in de jaren na 2009 uitzonderlijk hoge dichtheden. Dat de Quagga-mossel – ondanks de afnemende voedselkwaliteit van de algen – zich alsnog sterk heeft kunnen uitbreiden komt door specifieke eigenschappen van deze soort. De Quagga-mossel verschilt van de Driehoeksmossel doordat eerstgenoemde beter groeit bij lage fosfaatgehaltes. Bovendien is de Quagga-mossel minder afhankelijk van de aanwezigheid van vast substraat als hechtingsplaats, omdat de mosselen onderling aan elkaar kunnen vastgroeien. Deze eigenschappen nemen echter niet weg dat de groei van Quagga-mosselen in een groot deel van het IJsselmeergebied gelimiteerd is door een slechte voedselkwaliteit, wat zich uit in een afname van de conditie van mosselen bij een hogere dichtheid (Noordhuis *et al*., 2014).

Vanuit het oogpunt van functioneren van het ecosysteem is het relevant dat de recente toename van mosselen niet opgevat moet worden als een herstel van de situatie van circa 20 – 30 jaar geleden. Toen waren nutriënten in het IJsselmeergebied immers niet of nauwelijks beperkend en werd de algengroei gelimiteerd door licht. De aanwezige driehoeksmosselen konden destijds niet de snelle groei van algen bijhouden. Deze situatie verschilt wezenlijk met de huidige situatie, waar de Quagga-mosselen sterk zijn toegenomen in een situatie met lage opgeloste nutriëntenconcentraties en een primaire productie die vooral richting het bodemsysteem is verschoven (Harezlak & Los, in prep.).

3 Analyse van beschikbare data

3.1 Methodiek

Voor de trends in nutriënten, chlorofyl, zwevend stof, doorzicht en mosselen is gebruik gemaakt van gegevens van het MWTL-meetnet van Rijkswaterstaat-WVL. Van deze data zijn per jaar de zomerhalfjaar gemiddelden (april t/m september) uitgerekend. De visgegevens zijn afkomstig van Imares.

Voor waterplanten hebben E. Peeters en B. van Zuidam (Wageningen Universiteit) binnen het kader van het programma *Building with Nature* een analyse uitgevoerd van de ontwikkelingsroutes van waterplanten over de afgelopen twee decennia. De ontwikkeling van waterplanten is in beeld gebracht met behulp van Principal Component Analyse (PCA). De data van de vlakdekkende vegetatiekarteringen (die tegenwoordig voor ieder gebied eens in de drie jaar wordt uitgevoerd) dienden hiervoor als basis. De eerste jaren van de monitoring voert terug tot de tijd dat waterplanten nog slechts spaarzaam aanwezig waren. Dit betekent dus dat de gehele ontwikkelingsreeks van waterplantenvegetaties in beeld gebracht kan worden, vanaf het ogenblik vanaf de eerste toename tot de situatie in recente jaren. Voor deze analyses zijn locaties geselecteerd die ≤ 3 meter diep zijn, en iedere inventarisatieronde zijn bemonsterd. Vervolgens is – per gebied en bemonsteringsjaar – voor iedere soort het aantal locaties geteld waar deze is waargenomen. Dit is uitgedrukt als percentage van het totaal aantal bemonsterde locaties in ieder meer. Deze gegevens zijn gebruikt als invoer voor de PCA-analyses die zijn uitgevoerd met Canoco versie 4.5.

3.2 Trends in nutriënten, chlorofyl, zwevend stof en helderheid

De waterkwaliteit van de meren in het IJsselmeergebied is – wat betreft de nutriënten, chlorofyl en doorzicht – sinds de jaren tachtig sterk verbeterd door eutrofiëringbestrijding. Alle wateren hebben met elkaar gemeen dat de nutriëntenconcentraties (fosfaat en stikstof) sinds de jaren ‘80 van voorgaande eeuw fors zijn afgenomen. Toch bestaan er tussen de meren grote verschillen in het verloop van ortho-fosfaat, chlorofyl, zwevend stof, doorzicht en vegetatie-ontwikkeling over de jaren. Deze verschillen hangen nauw samen met de invloed van de rivier (en de hieraan gekoppelde verblijftijd van het water) en de waterdiepte van het systeem. In dit hoofdstuk worden de trends besproken. In hoofdstuk vier komen de processen aan bod die deze verschillen kunnen verklaren.

Op basis van trends in ortho-fosfaat, chlorofyl, zwevend stof, doorzicht en waterplanten-ontwikkeling zijn de meren van het IJsselmeergebied in dit rapport in de volgende groepen ingedeeld:

A. Meren met een korte verblijftijd;
B. Ondiepe meren met een lange verblijftijd;
C. Diepe meren met een lange verblijftijd.

Ad A. Meren met een korte verblijftijd
Deze groep meren bestaat uit het Eemmeer, Gooimeer, Ketelmeer en Zwarte Meer en IJmeer. De eerstgenoemde vier meren hebben een gemiddelde diepte tussen 1 – 2 meter; het IJmeer circa 2 meter.

In deze meren daalt de ortho-fosfaat concentratie geleidelijk in de loop der jaren, al is deze daling in deze meren veel minder sterk en zijn de huidige concentraties beduidend hoger (ca. 0,1 mg/l) dan in andere meren (Figuur 3.1).

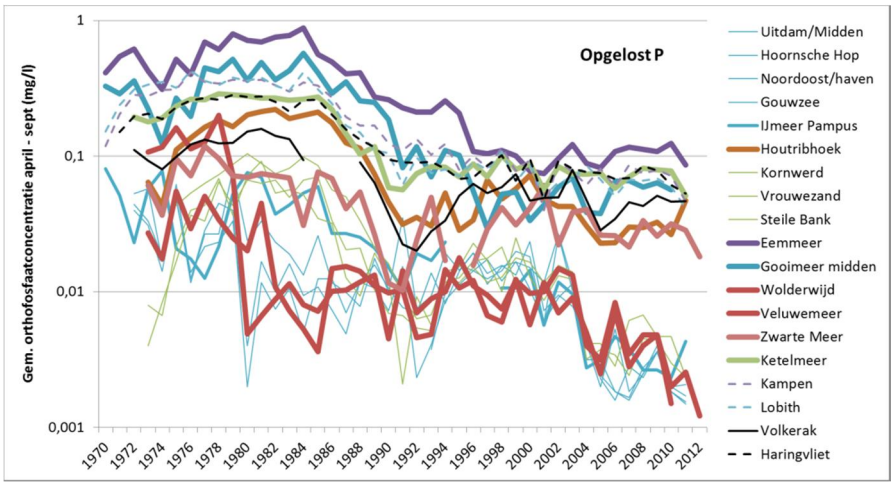
De chlorofyl-concentraties dalen eveneens. Aanvankelijk verloopt deze daling langzamer dan in de Veluwerandmeren, maar sinds 2009 zijn de concentraties even laag als in laatstgenoemde meren (± 10 µg/l; Figuur 3.2). Het zwevend stof gehalte neemt eveneens af, vooral na 1996, en vanaf 2003 worden min of meer stabiele concentraties vastgesteld van ± 10 mg/ (Figuur 3.3). Het doorzicht neemt vanaf 1996 geleidelijk toe, en pas in recente jaren wordt een soortgelijke hoge helderheid vastgesteld als in de Veluwerandmeren, met zomergemiddelde waarden van circa één meter (Figuur 3.4). Opvallend is dat veel veranderingen in de jaren 1995 – 1997 optreden: in het Eemmeer is er sinds 1995 een 'helder water' fase, en ook in het Zwarte Meer neemt het doorzicht in die jaren vrij plotseling toe (Figuur 3.5).

B. *Ondiepe meren met een lange verblijftijd*
Dit betreft het Vossemeer, Drontermeer, Veluwemeer, Wolderwijd en Nuldernauw. Al deze meren hebben een waterdiepte tussen de 1 – 2 meter.

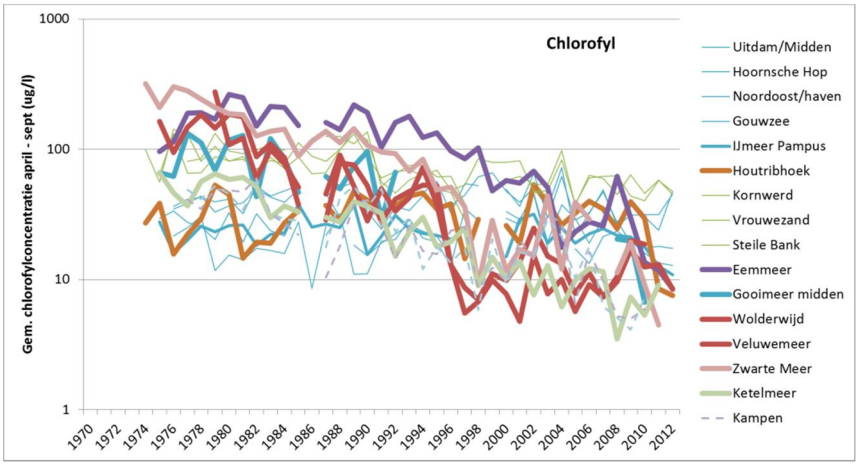
De ortho-fosfaat concentratie daalt in de loop der jaren. Deze afname startte rond 1980, en vooral in de jaren na 2003 daalt het fosfaatgehalte sterk. Tegenwoordig worden zeer lage concentraties van minder dan 0,01 mg/l ortho-fosfaat vastgesteld (Figuur 3.1). De chlorofyl-concentraties dalen sterk vanaf 1996, en de laatste jaren schommelt het zomerhalfjaargemiddelde rond de 10 µg/l (Figuur 3.2, 3.5). Het zwevend stof gehalte daalt eveneens, en vanaf 2003 worden zomergemiddelde waardes vastgesteld van ± 10 mg/l (Figuur 3.3). Het doorzicht is sterk toegenomen, vooral in de jaren na 1996; het zomergemiddelde doorzicht bedraagt nu circa één meter (Figuur 3.4).

C. Diepe meren met een lange verblijftijd
Dit betreft het IJsselmeer en het centrale deel van het Markermeer. De gemiddelde waterdiepte van het centrale en noordelijke deel van het IJsselmeer is meer dan 5 meter, en van het Markermeer 3-4 meter.

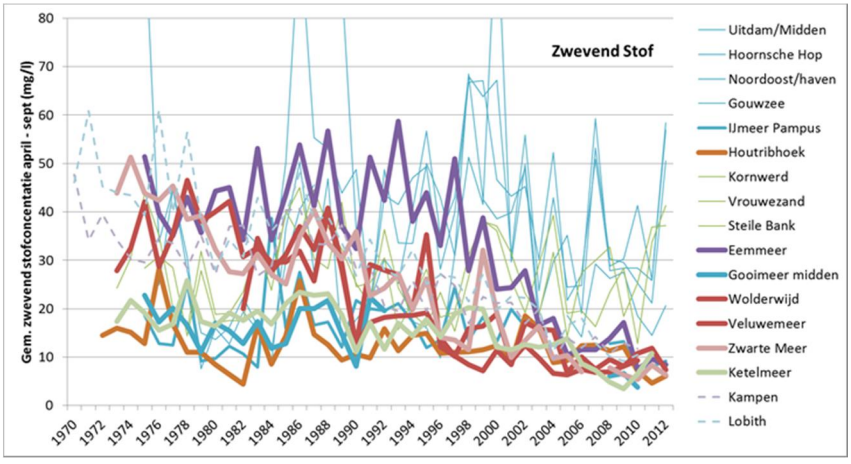
Ook in deze meren vertoont de ortho-fosfaat concentratie een dalende trend. Deze afname startte rond 1980. Aanvankelijk daalde de concentraties minder snel dan in de Veluwerandmeren, maar vooral na 2003 is er een sterke afname, en tegenwoordig worden (zeer) lage concentraties vastgesteld van minder dan 0,01 mg/l ortho-fosfaat (Figuur 3.1). De chlorofyl-concentraties dalen ook, maar deze afname is niet zo sterk en de laatste jaren zijn de concentraties duidelijk hoger (70 - 80 µg/l) dan in de twee andere groepen van meren (Figuur 3.2). Het zwevend stof gehalte laat geen duidelijke trend zien, en de gehaltes zijn tegenwoordig ook beduidend hoger dan in andere meren (Figuur 3.3). Hierbij moet opgemerkt worden dat zwevend slib vooral in het Markermeer hoge concentraties bereikt, terwijl algen (en detritus) vooral bepalend zijn voor het lichtklimaat in het IJsselmeer. Zowel in het Markermeer als in het IJsselmeer is het doorzicht gelijk gebleven of licht afgenomen. Dit geldt echter niet voor locaties waar de Quagga-mossel zich sinds 2009 heeft gevestigd, zoals in de Houtribhoek (IJsselmeer-zuid, zie Figuur 3.4)). Op deze locaties is de helderheid sindsdien sterk toegenomen. Dit patroon komt sterk overeen met de toename in doorzicht in het Volkerak en Haringvliet (Figuur 3.4), twee wateren die sinds 2009 eveneens massaal door Quagga-mosselen zijn gekoloniseerd.



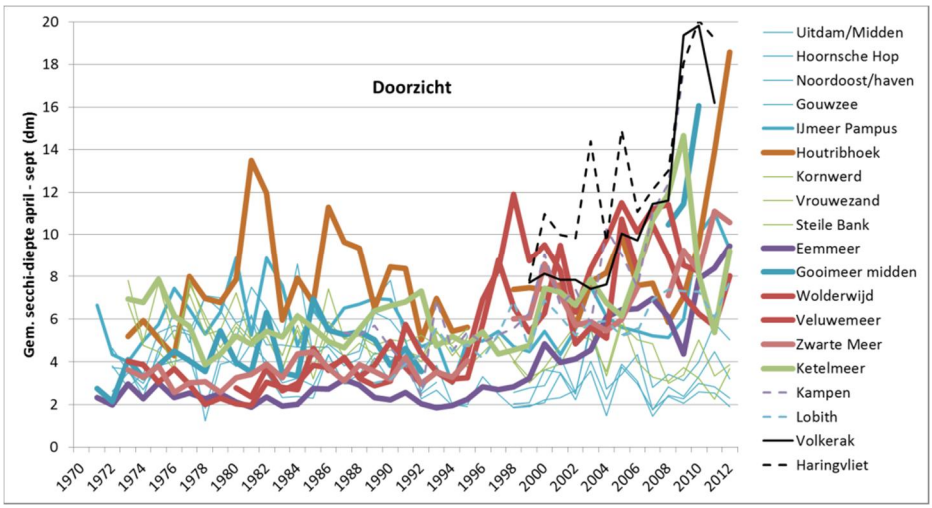
Figuur 3.1: Verloop van het zomergemiddeld gehalte van opgelost fosfor. Dikke rode lijnen Veluwerandmeren, overige dikke lijnen meren met veel rivierinvloed (korte verblijftijd), onderbroken lijnen rivier, dunne doorgetrokken lijnen diepe meren (IJsselmeer en Markermeer, IJmeer intermediaire dikte). Zwarte lijnen: Volkerak en (onderbroken) Haringvliet, waar het verloop sterk lijkt op dat van resp. het zuidelijke IJsselmeer (Houtribhoek) en het Ketelmeer.



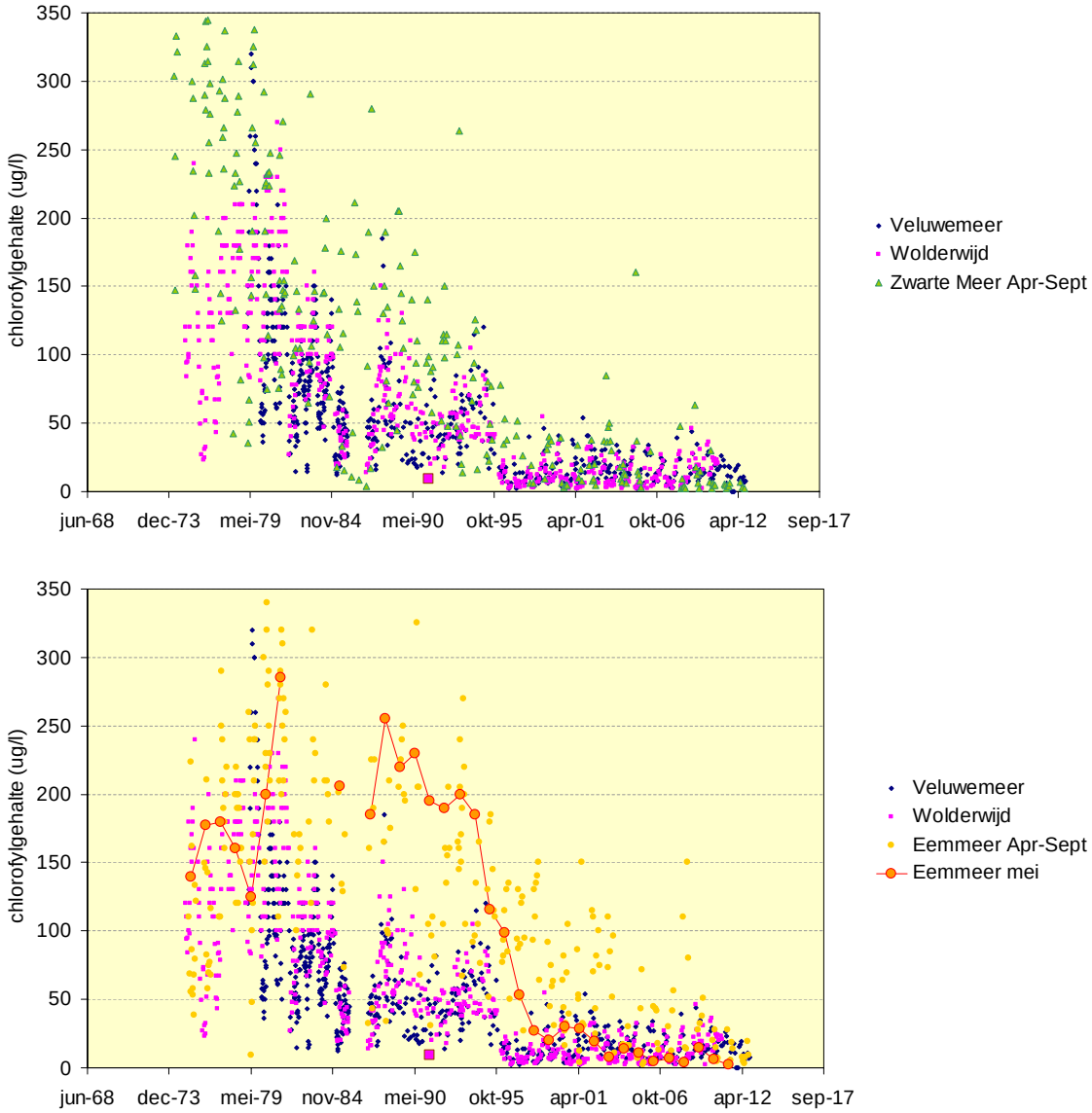
Figuur 3.2. Verloop van het zomergemiddeld gehalte van chlorofyl. Details lijnen als in Figuur 3.1.



Figuur 3.3: Verloop van het zomergemiddeld gehalte van zwevend stof. Details lijnen als in Figuur 3.1 en 3.2.



Figuur 3.4. Verloop van het zomergemiddeld doorzicht. Details lijnen als in Figuur 3.1 t/m 3.3. Zwarte lijnen: Volkerak en (onderbroken) Haringvliet, herinnerend aan Ketelmeer, IJssel Kampen en IJsselmeer zuid (Houtribhoek).



Figuur 3.5. Chlorofyl a-concentraties in de Randmeren. Boven: Veluwerandmeren en Zwarte Meer, onder: Veluwerandmeren en Eemmeer. Groter vierkant: Wolderwijd: de eerste waarde na afvissing van de brasempopulatie in de winter van 1990/91.

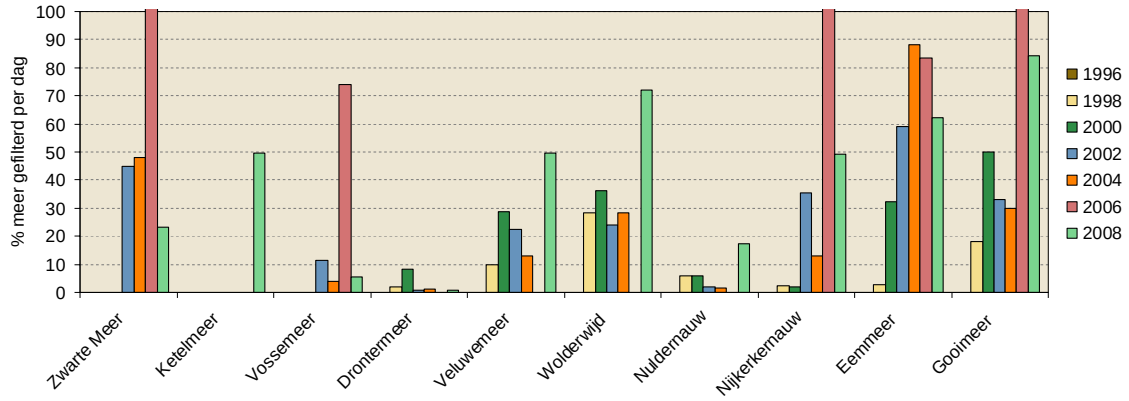
3.3 Veranderingen in de mossel- en visgemeenschap

In Figuur 3.6 is de abundantie van mosselen in de randmeren weergegeven, uitgedrukt in filtratiecapaciteit van de mosselen (% van het watervolume van het meer dat dagelijks door mosselen gefiltreerd wordt; voor een toelichting op de berekening, zie onderschrift Figuur 3.6). Hieruit komt naar voren dat ondiepe meren met een korte verblijftijd (Ketelmeer, Zwarte Meer, Gooimeer, Eemmeer) de hoogste dichtheden van mosselen hebben. In deze meren wordt het water een tot meerdere malen per dag gefiltreerd door de mosselen. In de andere randmeren is de filtratiecapaciteit veelal laag tot intermediair.

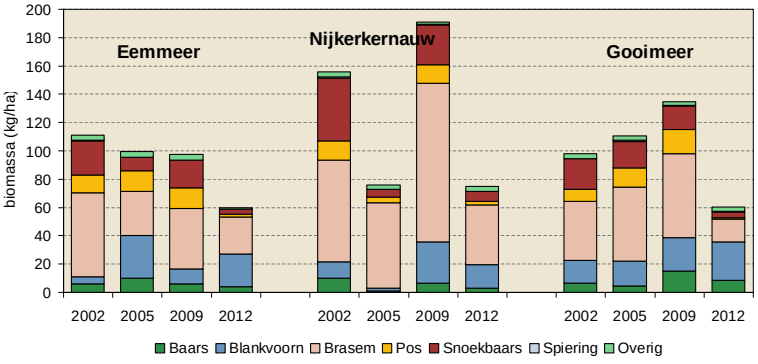
Hierbij moet opgemerkt worden dat bij de berekening van de filtratiecapaciteit door mosselen – vanwege gebrek aan gegevens - de filtratiecapaciteit van Quagga-mosselen gelijk is

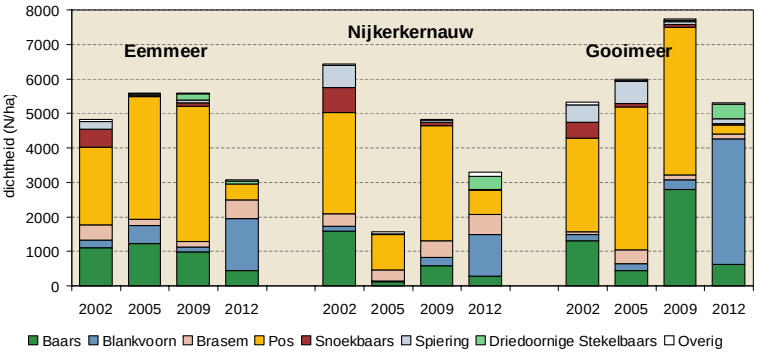
gesteld aan die van Driehoeksmosselen. Het is onbekend of deze aanname juist is (Bouma *et al*., 2014).

Figuur 3.7 geeft de samenstelling van de visgemeenschap weer in het Eemmeer, Nijkerkernauw en Gooimeer, zowel in biomassa- als in aantalsverdeling. Hieruit komt naar voren dat Brasem de afgelopen tien jaar is afgenomen, met name in de laatste visstandbemonstering (in 2012). Ook de Pos is sterk afgenomen. De biomassa van de visstand is nu duidelijk lager dan tien jaar geleden, en de visstand wordt numeriek gedomineerd door baars en blankvoorn, met name in het Gooimeer.



Figuur 3.6. Abundantie van Driehoeksmosselen in de randmeren, uitgedrukt in filtratiecapaciteit (% meerinhoud per dag). De filtratiecapaciteit van de mosselen is berekend als de (biomassa * filtratiecap/biomassa) gedeeld door totale watervolume van het meer.





Figuur 3.7. Samenstelling van de visgemeenschap in de zuidelijke randmeren op basis van gewicht (bovenste Figuur) en aantallen (onderste Figuur). Gegevens Imares, IJmuiden.

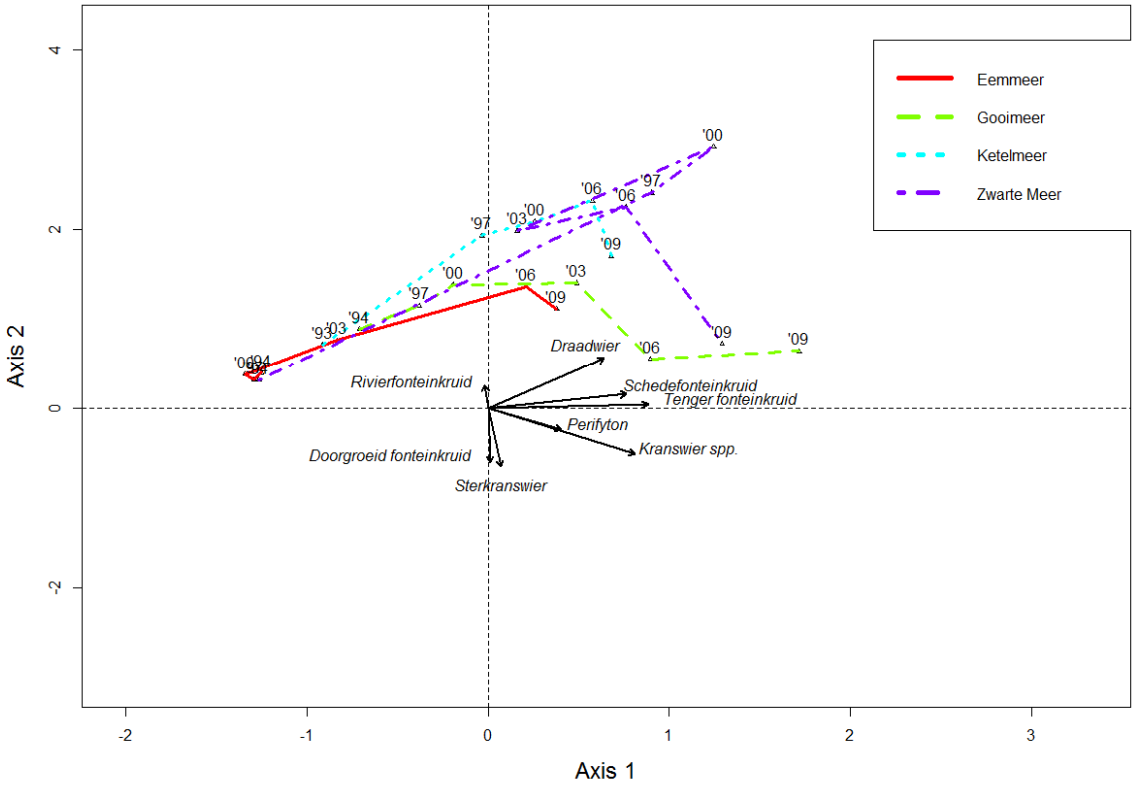
3.4 Trends in de ontwikkeling van waterplanten

Algemeen
In vrijwel alle meren in het IJsselmeergebied zijn waterplanten de afgelopen twee decennia duidelijk toegenomen. Tussen de meren zijn echter duidelijke verschillen in vegetatie-ontwikkeling over de jaren, die goed aansluiten op de verschillen in nutriëntenconcentratie, helderheid en waterdiepte tussen de meren (zoals beschreven in voorgaande paragraaf).

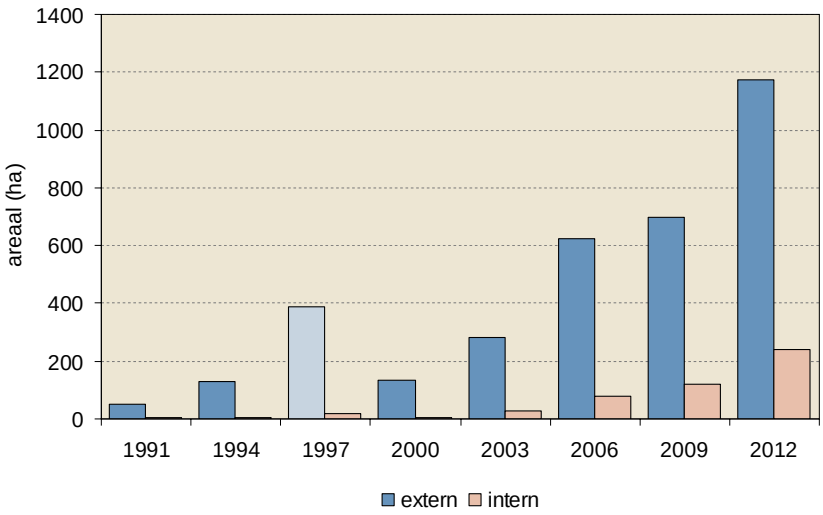
De PCA-diagrammen zijn weergegeven in Figuur 3.8, 3.12, 3.13 en 3.14. De invoer voor deze diagrammen bestond uit een file waarin – per meer en per bemonsteringsjaar - voor iedere waterplantensoort het percentage opnames is opgenomen waarin deze is aangetroffen (zie paragraaf 3.1). In een PCA-diagram worden de meren van elkaar onderscheiden op basis van verschillen in percentage bedekking van de aangetroffen soorten. Meren met een sterk gelijkende soortensamenstelling worden dichtbij elkaar geplot, en meren met een sterk afwijkende soortensamenstelling liggen op grote afstand van elkaar. In de PCA-diagrammen zijn de soortnamen met pijlen weergegeven. De richting van de pijl geeft een toenemende bedekking van de betreffende soort weer. Op deze manier is per punt zichtbaar welke soorten de vegetatiesamenstelling domineren. Per meer zijn de afzonderlijke bemonsteringsjaren door lijnen met elkaar verbonden. De punten op deze lijnen representeren de jaartallen van de vegetatiekarteringen. Door de route van de lijnen in de diagrammen te volgen, krijgt men een indruk van de veranderingen in soortensamenstelling van de waterplantenvegetaties in de loop der jaren.

A. Meren met een korte verblijftijd
Deze groep van meren betreft het Ketelmeer, Zwarte Meer, Eemmeer, Gooimeer en IJmeer. Tot voor kort hadden deze meren een lage bedekking aan waterplanten. In recente jaren nemen waterplanten duidelijk toe. Deze ontwikkeling startte het eerst in het Zwarte Meer: rond 2000 nam de helderheid toe, wat tot een duidelijke toename van draadwieren (Waternetje) leidde (Figuur 3.8). Na 2010 breidde kranswier (*Chara* spec.) zich duidelijk uit en namen draadalgen af.

In het Eemmeer en Gooimeer treden waterplanten pas in de laatste 3 jaar sterk op de voorgrond, zowel in het oppervlak als de bedekking (Figuur 3.8; 3.9). In de PCA-diagram voert de ‘route’ van vegetatie-ontwikkeling van de oorsprong links (troebel water, geen waterplanten) via flab (bovenaan de grafiek) weer naar beneden in de richting van fonteinkruid en kranswier. Ook hier zijn draadwier en flab sterk vertegenwoordigd, vooral in ondiepe delen van deze meren. Ook Schedefonteinkruid heeft een groot aandeel in de vegetatie. In het Zwarte Meer en het Gooimeer, waar de fosfaatconcentraties lager zijn dan in het Eemmeer, is de vegetatie-ontwikkeling inmiddels verder gevorderd in de richting van kranswier (ongepubliceerde resultaten vegetatiekartering 2012; niet in Figuur 3.8 opgenomen). Hiernaast bereiken in het Eemmeer soorten als Gekroesd fonteinkruid, Puntig fonteinkruid en Gewoon sterrenkroos ongebruikelijke hoge dichtheden in vergelijking met andere meren in het IJsselmeergebied. Daarentegen zijn Kranswier (*Chara* sp.) en Sterkranswier (*Nitellopsis*) vrijwel afwezig in het Eemmeer. In het Ketelmeer heeft de toename van waterplanten voornamelijk betrekking op draadalgen; de bedekking hiervan vertoont grote jaarlijkse fluctuaties. Hiernaast groeit lokaal ook Rivierfonteinkruid.



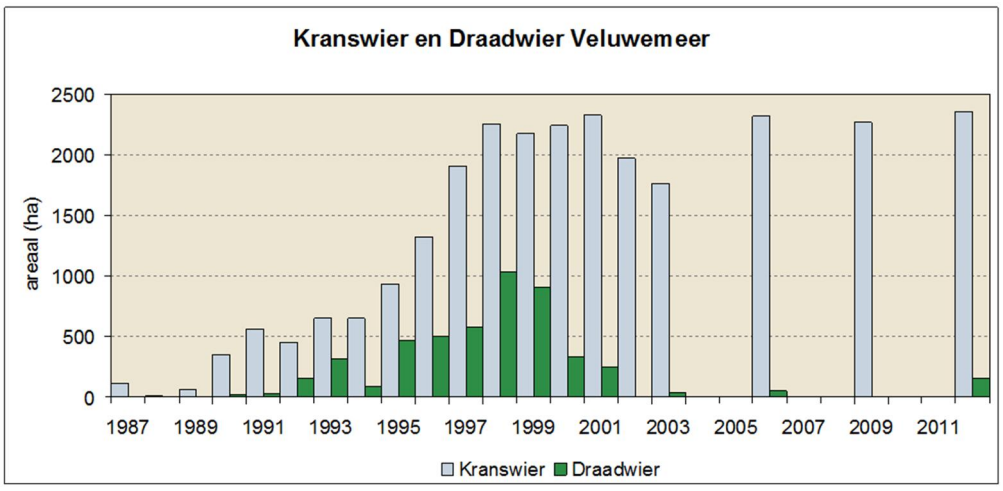
Figuur 3.8 PCA “routes” van de vegetatie in het Ketelmeer, Zwarte Meer, Eemmeer en Gooimeer. De punten vertegenwoordigen jaar-meer combinaties van het gehele IJsselmeergebied. De oudste waarden liggen aan de linker kant van de grafiek. De route loopt via draad- en darmwier naar smalbladige fonteinkruiden (vooral Schedefonteinkruid).



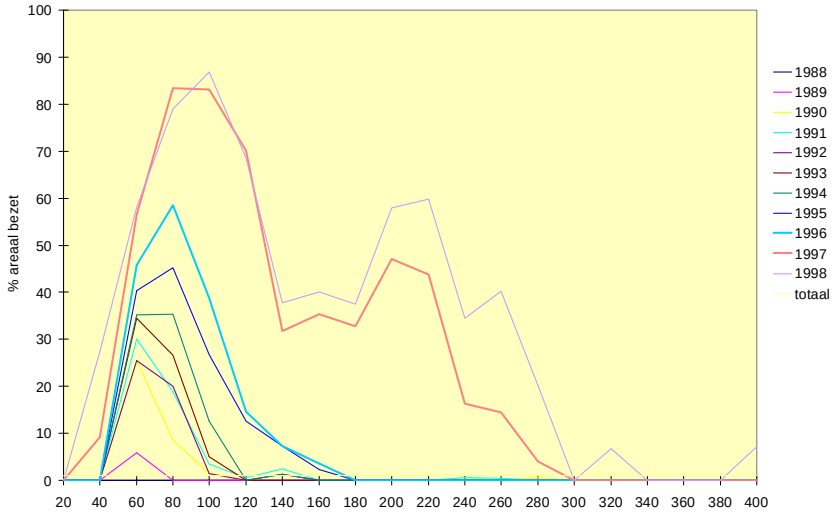
Figuur 3.9. Verloop van de abundantie van waterplanten in het Eemmeer. De externe bedekking in 1997 is waarschijnlijk incorrect aangezien de som van de bedekkingen per soort aanzienlijk lager is.

B. Ondiepe delen van meren met een lage nutriëntenbelasting en lange verblijftijd

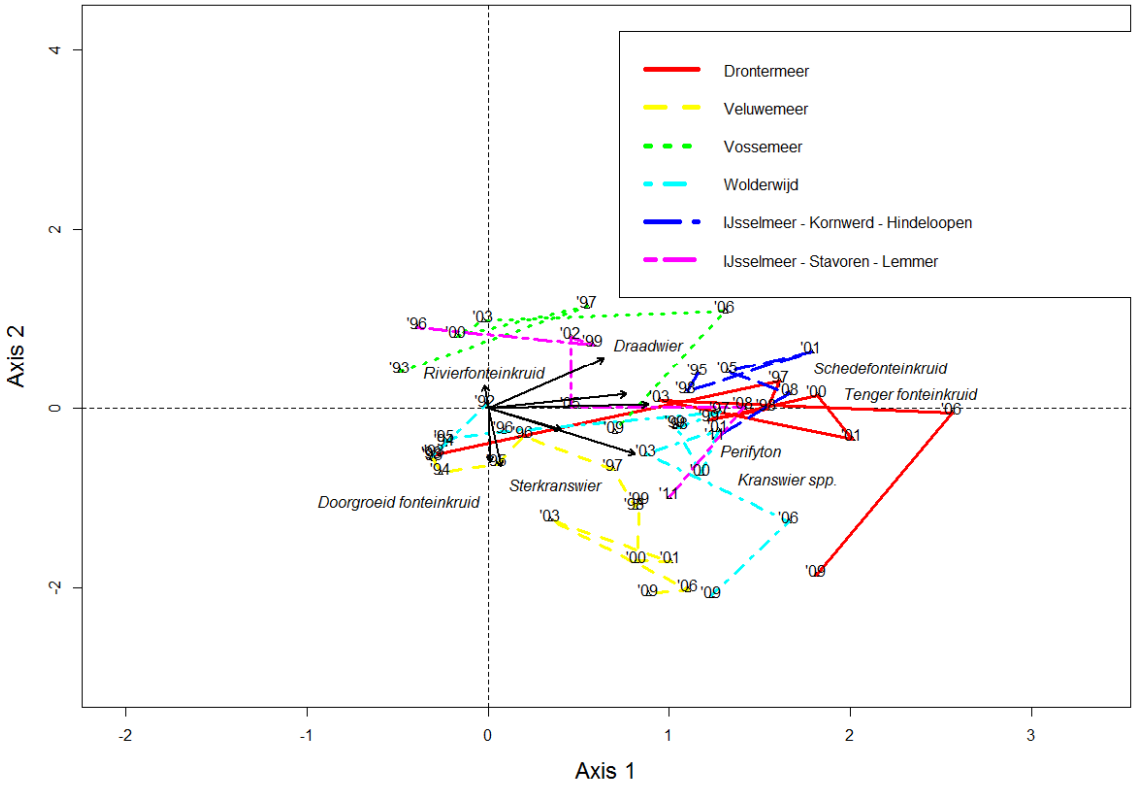
De waterdiepte van deze (delen van) meren ligt meestal in de range van 0 – 2 meter. Dit betreft het Veluwemeer, Wolderwijd, Drontermeer en Vossemeer en ondiepe delen van het IJsselmeer (kust van Friesland). In deze meren bestond de eerste vegetatie-ontwikkeling uit een toename van draadwier, flab (Figuur 3.10) en smalbladige vaatplanten (Schedefonteinkruid, Tenger fonteinkruid, Zannichellia; Figuur 3.12). Draadwier en flab traden vooral in extreme ondiepten langs de oever op, relatief sterk gescheiden van de overige vegetatie. De toename van draadwier en flab is echter duidelijk geringer dan in meren met een hoge nutriëntenbelasting, zoals het Eemmeer en Zwarte Meer. Deze toename duurde circa 5 jaar en werd gevolgd door een sterke uitbreiding van kranswieren (*Chara* sp., Figuur 3.10, 3.12), wat ten koste gaat van de bedekking van eerstgenoemde soorten. Opvallend hierbij is dat kranswieren in 1996 in het Veluwemeer slechts voorkomen tot een diepte van 1,8 meter, en dat in 1997 plotseling ook de dieptezone tussen 1,8 – 3 meter werd gekoloniseerd (Figuur 3.11). Na 2010 neemt Sterkranswier in de diepere delen steeds meer toe. Doorgroeid fonteinkruid had altijd al een lage bedekking in deze meren, en is in de afgelopen jaren afgenomen.



Figuur 3.10. Veranderingen van het areaal van kranswier en draadwier in het Veluwemeer op basis van gebiedsdekkende karteringen, 1987-2012 (na 2003 nog slechts driejaarlijkse karteringen).



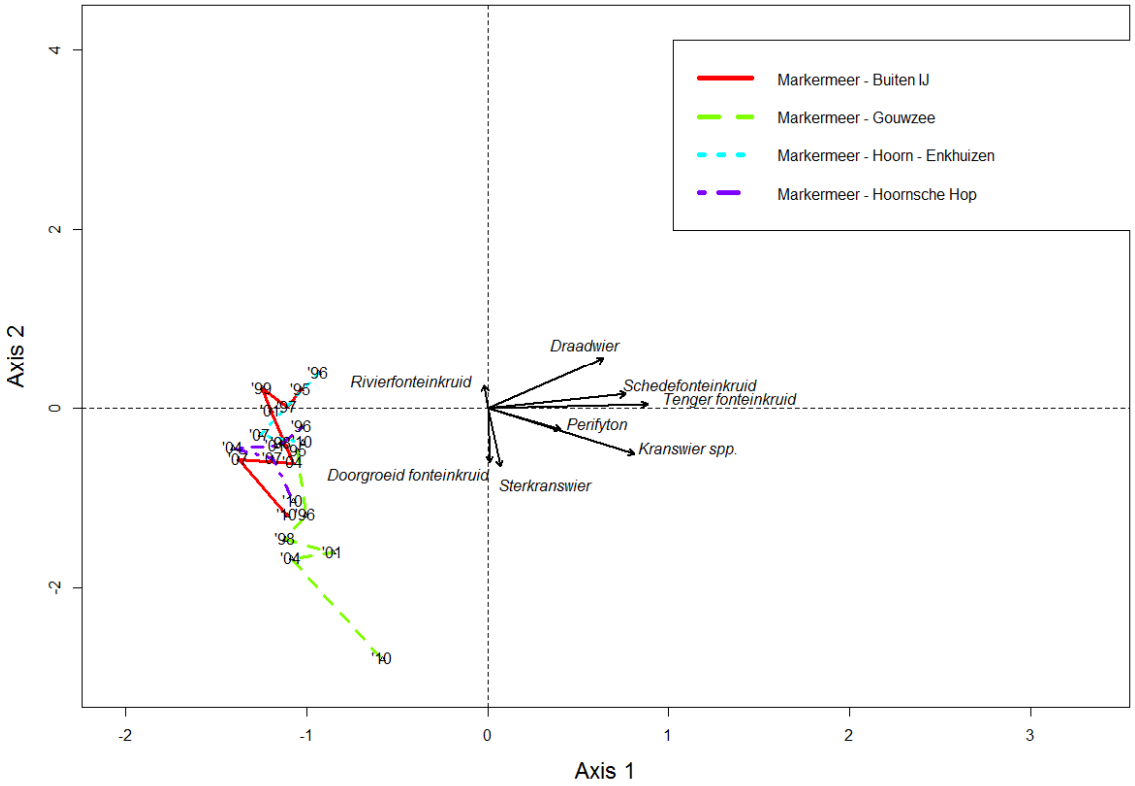
Figuur 3.11. Percentage kranswierbezetting per dieptezone in het Veluwemeer in de jaren 1988-1998.



Figuur 3.12. PCA “routes” van de vegetatie in het Veluwemeer, Wolderwijd, Drontermeer, Vossemeer, IJsselmeer Lemmer en IJsselmeer Makkum. De punten vertegenwoordigen jaar-meer combinaties van het gehele IJsselmeergebied. De oudste waarden liggen aan de linker kant van de grafiek. De route loopt via smalbladige fonteinkruiden naar Chara-kranswier. De route van het Vossemeer vertoont een overgangsvorm met die van de meren met grotere rivierinvloed (open verbinding met Ketelmeer).

C. Diepere delen van meren met een lange verblijftijd

De waterdiepte van deze (delen van) meren ligt meestal in de range 2 – 4 meter. Dit betreffen de Gouwzee, het Hoornsche Hop, Markermeer (Hoorn – Enkhuizen) en Buiten-IJ (Waterlandse kust). Deze meren kenmerken zich door vegetaties van Doorgroeid fonteinkruid en/of Sterkranswier (Figuur 3.13). Het verloop van de vegetatieontwikkeling in de Gouwzee is hier het meest sprekende voorbeeld van. In de eerste jaren bestond de vegetatie voornamelijk uit Doorgroeid fonteinkruid. In latere jaren breidde Sterkranswier zich duidelijk uit, en werd Doorgroeid fonteinkruid sterk verdrongen. Deze ontwikkeling besloeg een periode van circa 10 jaar. In het Hoornsche Hop vertoont Doorgroeid Fonteinkruid grote variatie in bedekking tussen jaren; in de regel is de interne bedekking van deze soort echter laag (< 5%). Kranswier (*Chara*) groeit hier alleen in lokaal in ondiepe delen en heeft zich de laatste jaren uitgebreid. Sterkranswier is in het Hoornsche Hop afwezig.



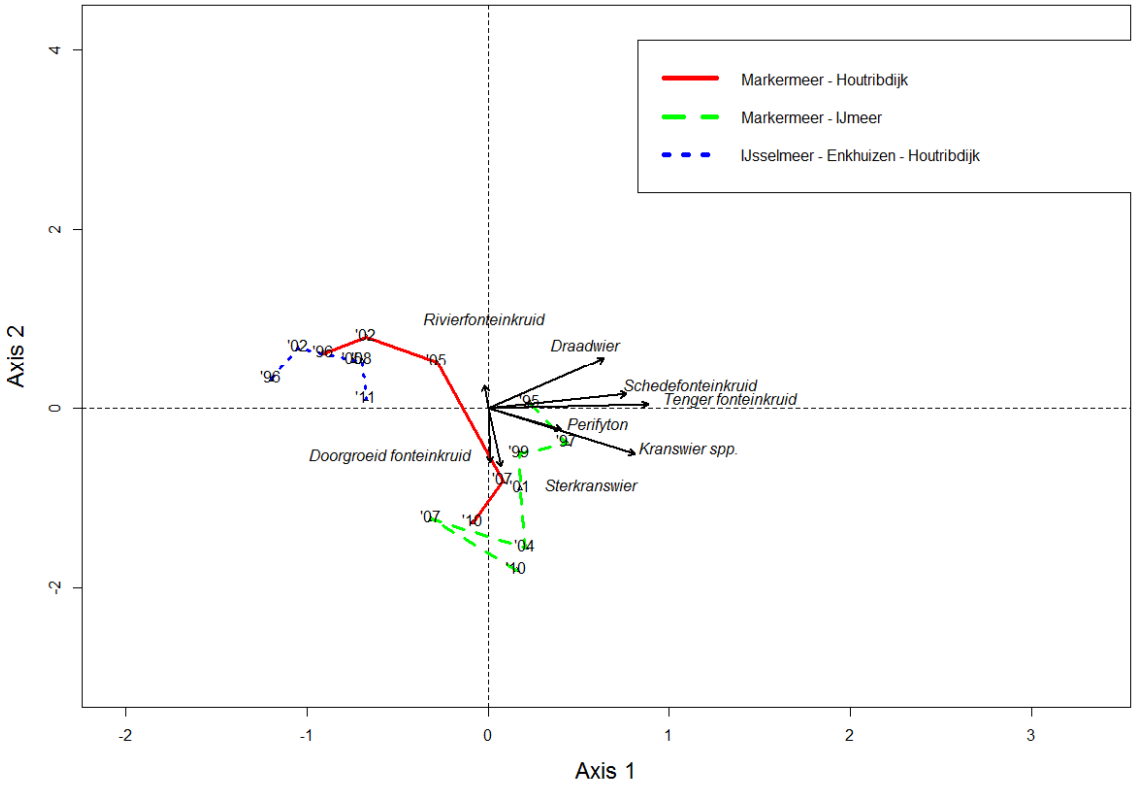
Figuur 3.13. PCA "routes" van de vegetatie in de Markermeer-Buiten IJ, Gouwzee, Markermeer Hoornsche Hop, Markermeer Hoorn-Enkhuizen. De punten vertegenwoordigen jaar-meer combinaties van het gehele IJsselmeergebied. De oudste waarden liggen aan de linker kant van de grafiek. De route loopt rechtstreeks naar Doorgroeid Fonteinkruid en Sterkranswier.

D. Meng- en overgangsvormen

In de successieroutes op de PCA grafieken is nog een vierde categorie zichtbaar, bestaande uit de routes in het IJmeer, op het Enkhuizerzand aan beide kanten van de Houtribdijk en de Friese IJsselmeerkust bij Hindeloopen-Stavoren (Figuur 3.14). Er is gelijkenis met de routes van de Veluwerandmeren in de richting van *Chara*-kranswier, maar de routes in deze categorie zijn gericht naar het gebied tussen *Chara*-kranswier en Sterkranswier. Inderdaad hebben deze gebieden een waterdiepte die intermediair is tussen twee voorgaande ontwikkelingsroutes van de vegetatie (van Zuidam, ongepubliceerde gegevens). Net als de Veluwerandmeren kenmerken deze gebieden zich door lage nutriëntenconcentraties.

Andere delen van het IJsselmeer en Markermeer zijn te diep (of troebel) voor de ontwikkeling van waterplanten. Hier komen waterplanten niet of nauwelijks tot ontwikkeling. Dit betreffen de meetlocaties Den Oever, Medemblik en de IJsselmeerzijde van de Houtribdijk.

Deze groep van meren is niet meegenomen in verdere analyses, omdat vegetatie afwezig is of een mengvorm van reeds bestaande types.



Figuur 3.14. PCA “routes” van de vegetatie in het IJmeer, Markermeer Houtribdijk en IJsselmeer Houtribdijk. De punten vertegenwoordigen jaar-meer combinaties van het gehele IJsselmeergebied. De oudste waarden liggen aan de linker kant van de grafiek.

4 Interpretatie van de trends

4.1 Sturende factoren voor vegetatieontwikkeling

In een groot deel van het IJsselmeergebied zijn waterplantenvegetaties toegenomen door de grotere helderheid van het water. Zoals in voorgaande paragrafen is besproken, hangt de gevolgde route van vegetatie-ontwikkeling sterk af van de nutriëntenconcentraties, helderheid en waterdiepte van de betreffende meren. In deze paragraaf worden de resultaten van het voorgaande hoofdstuk in een breder perspectief geplaatst.

Meren met een korte verblijftijd

In meren met een korte verblijftijd (Ketelmeer, Zwarte Meer, Eemmeer, Gooimeer, IJmeer) blijven de nutriëntenconcentraties hoog. De groei van algen in deze meren is niet gelimiteerd door nutriënten, gezien het feit dat aanzienlijk deel van de aanwezige nutriënten uit (goed opneembare) opgeloste fracties bestaan. Niettemin is de helderheid van het water in deze meren de laatste jaren duidelijk groter geworden, en hebben waterplanten zich uitgebreid.

Eind jaren negentig nam de Driehoeksmossel in deze meren zodanig toe dat een watervolume gelijk aan de meerinhoud binnen één tot twee dagen kon worden gefilterd (Figuur 3.6). Deze filtratiecapaciteit is ruimschoots voldoende voor graasbeperking van de biomassa van algen. Vanaf ongeveer 2007 heeft de Driehoeksmossel gezelschap gekregen van de nauw verwante Quagga-mossel, een nieuwe exoot die het jaar daarvoor in Nederland was verschenen. In delen van het IJsselmeer en Markermeer heeft deze soort de Driehoekmossel sinds 2009 grotendeels vervangen, waarbij hogere dichtheden werden bereikt dan de laatstgenoemde hier ooit heeft gehad. Uit een kartering van mosselen in de zuidelijke Randmeren in 2013 blijkt dat Quagga-mosselen hier op eenzelfde wijze zijn toegenomen (Bouma *et al*., 2014). Bijgevolg filterde de gehele mosselpopulatie (Driehoeks + Quagga-mosselen) in 2013 meerdere malen per dag het totale volume van het Eemmeer en Gooimeer (Bouma *et al*., 2014; zie legenda van Figuur 3.6 voor toelichting berekening mosselfiltratie). Ook in het Ketelmeer en Zwarte Meer werden dergelijke hoge filtratiesnelheden gemeten (watervolume resp. twee- en zevenmaal per dag gefiltreerd). Filtratie door mosselen is dus waarschijnlijk verantwoordelijk voor de recente sterke toename van de helderheid in deze meren.

De dichtheden van mosselen in deze groep meren (Ketelmeer, Zwarte Meer, Eemmeer, Gooimeer, IJmeer) zijn verreweg het hoogste van alle meren in het IJsselmeergebied (Bouma *et al*., 2014). Deze hoge dichtheden kunnen als volgt verklaard worden. In een groot deel van het IJsselmeergebied zijn algen beperkt door nutriëntenlimitatie, wat zich uit in een verminderde conditie en biomassa van de mosselen bij hogere dichtheden (Noordhuis *et al*., 2014). In meren met veel aanvoer van rivierwater is echter meer fosfaat beschikbaar voor algengroei, waardoor de algen een betere voedselkwaliteit voor de mosselen hebben. Hierdoor bereiken de mosselen in bovengenoemde meren hogere dichtheden in vergelijking met andere meren, met bijgevolg een hogere filtratiecapaciteit en een grotere toename van de helderheid. De Quagga-mossel verschilt van de Driehoeksmossel doordat eerstgenoemde beter groeit bij lage fosfaatgehaltes. Bovendien is de Quagga-mossel minder afhankelijk van de aanwezigheid van vast substraat als hechtingsplaats, omdat de mosselen onderling aan elkaar kunnen vastgroeien.

Opvallend is dat een soortgelijke ontwikkeling in helderheid heeft plaatsgevonden in het Volkerak en Haringvliet, wateren die eveneens door rivierwater worden beïnvloed en een sterke toename van de Quagga-mosselpopulatie kennen (paragraaf 3.1). Dit suggereert dat de helderheid in deze wateren op eenzelfde wijze wordt beïnvloed door mosselfiltratie. Zoals reeds eerder aangegeven, is bij de berekening van de filtratiecapaciteit door mosselen – vanwege gebrek aan gegevens - de filtratiecapaciteit van Quagga-mosselen gelijk gesteld aan die van Driehoeksmosselen. Het is onbekend of deze aanname juist is.

Hiernaast kan ook de afname van de brasempopulatie een rol spelen bij de toename van het doorzicht; door de lagere biomassa van brasem treedt namelijk minder bodemwoeling op en wordt het water helderder. Hiernaast kan de kleinere brasempopulatie ook (deels) verantwoordelijk zijn voor de toename van mosselen, door minder bodemwoeling (wat betere vestigingscondities oplevert voor de mosselen) en een lagere consumptie van mosselen. Voor beide punten ontbreken op dit ogenblik echter data om dit te onderbouwen.

Een andere potentiele verklaring voor de omslag in waterkwaliteit is de terugkoppeling van waterplanten op de helderheid. Voor het Zwarte Meer en Eemmeer valt deze verklaring echter af, omdat hier destijds nauwelijks vegetatie groeide (Noordhuis, 2007; Noordhuis en Boderie, 2011).

Het hogere doorzicht in deze meren leidde tot een sterke toename van draadalgen, flab en smalbladige fonteinkruiden (vooral Schedefonteinkruid). Vooral in deze nutriëntenrijke meren kunnen draadalgen en flab extreem hoge bedekkingen bereiken. Dikke lagen met bodembedekkende draadalgen kunnen meren in heldere toestand houden en toch de ontwikkeling van andere waterplanten belemmeren. Dit aspect kan tijdelijk zijn. In het Zwarte Meer, waar de ontwikkeling van draadalgen omstreeks 2000 begon, neemt kranswier (*Chara* sp.) in recente jaren sterk toe, en draadalgen sterk af. In het Eemmeer en Ketelmeer zijn kranswieren vooralsnog (vrijwel) afwezig. Het Ketelmeer kenmerkt zich door de zeer korte verblijftijd van het water (circa 3 dagen). Hierdoor hebben algen onvoldoende tijd om tot ontwikkeling te komen, en worden de groeicondities voor waterplanten sterk gestuurd door de concentraties van lichtuitdovende componenten van het inkomende IJsselwater.

Ondiepe delen van meren met een lange verblijftijd
De aanvoer van nutriënten is in deze meren veel lager in vergelijking met meren met een korte verblijftijd. Hierdoor zijn er minder nutriënten beschikbaar voor algengroei. Hiernaast spelen interne processen (zoals sedimentatie, nutriëntenretentie) in deze meren een grote rol, bijvoorbeeld doordat waterplanten naast mosselen een duidelijk positieve invloed op de helderheid hebben. Door deze processen zijn de opgeloste fracties van nutriënten in de Veluwerandmeren aanzienlijk lager dan in meren met een korte verblijftijd.

In de Veluwerandmeren is sinds de winter van 1995/96 sprake van een sterke afname van chlorofyl en toename van de helderheid (Figuur 3.5). Lammens *et al*. (2002) schrijft deze omslag in waterkwaliteit toe aan een intensivering van commerciële brasemvisserij in die jaren, die resulteerde in betere kansen voor waterplanten door afname van ontworteling en zichtvermindering door sedimentopwoeling. Opvallend is dat het verwijderen van een groot deel van de brasempopulatie uit het Wolderwijd vijf jaar eerder, in de winter van 1990/91, geen blijvend effect had op de waterkwaliteit (Figuur 3.5). Een belangrijk verschil met de omslag van 1996 was dat in het laatstgenoemde jaar ook de Driehoeksmosselen sterk toenamen in de Veluwerandmeren (Noordhuis, 2010), waardoor de effecten van verminderde sedimentopwoeling op de helderheid werden versterkt door mosselfiltratie.

Een andere mogelijke verklaring voor het verhoogde doorzicht sinds 1995/1996 is de terugkoppeling van waterplanten op de helderheid. Ook voor de Veluwerandmeren is deze verklaring minder waarschijnlijk, omdat ook in het Veluwemeer pas sprake was van sterke uitbreiding van de vegetatie vanaf 1997, dat wil zeggen een jaar *na* de sterke verbetering van het doorzicht. In Figuur 3.11 is zichtbaar dat kranswieren in 1996 in het Veluwemeer slechts voorkwamen tot een diepte van 1,8 meter, en dat in 1997 abrupt de dieptezone van 1,8 - 3,0 meter werd gekoloniseerd.

De dominantie van groeivormen van waterplanten is sterk gerelateerd aan het doorzicht van het water. Bij de uitbreiding van waterplanten in de Veluwerandmeren namen in eerste instantie vooral smalbladige fonteinkruiden duidelijk toe. In ondiepe delen van meren met (matig) troebel water (extinctie-coëfficiënt: 2-4 m^{-1}) zijn dergelijke “canopy”-vormende waterplanten in het voordeel. Dit zijn planten die vanaf de bodem tot aan het wateroppervlak groeien en zich daar uitspreiden, zoals draadwier, flab, Schedefonteinkruid, Tenger en Doorgroeid Fonteinkruid en Aarvederkruid.

Bij het helderder worden van het water in deze meren (extinctie-coëfficiënt: 1-2 m^{-1}), trad successie op naar kranswiervegetaties. Dit proces kon hier binnen enkele jaren plaatsvinden. In vegetaties die aanvankelijk geheel uit Schedefonteinkruid bestonden, werd kranswier dominant binnen twee jaar na de eerste kolonisatie van laatstgenoemde soortgroep. In het Veluwemeer resulteerde de uitbreiding van kranswier (*Chara* spec.) in een verandering in het diepteverloop van de bedekking van Schedefonteinkruid en Doorgroeid Fonteinkruid. In het Veluwemeer en Wolderwijd verschoven deze soorten midden jaren negentig naar respectievelijk de ondiepe en diepe kant van de kranswiervelden. De laatste jaren treedt in de diepere delen van deze meren Sterkranswier steeds sterker op de voorgrond (bij een extinctie-coëfficiënt: 1-2 m^{-1}). Doorgroeid fonteinkruid groeide bij deze veranderingen over de gehele range van helder tot matig troebel (extinctie-coëfficiënt 1–4 m^{-1}; Van den Berg *et al*., 2003).

Onbekend is echter of de groeivorm van waterplanten daadwerkelijk alleen veroorzaakt wordt door de helderheid van het water (zoals hierboven beschreven), of dat andere factoren (ook) een rol spelen, zoals de verschillen in nutriëntenconcentraties in het sediment of biomassa van perifyton op de bladeren. Dit is van belang voor de voorspelling van vegetatie-ontwikkelingen in heldere meren met een korte verblijftijd en hoge nutriëntenconcentraties (zie hoofdstuk 5).

Diepere delen van meren met een lange verblijftijd
De afname van het doorzicht in het Markermeer en IJsselmeer was waarschijnlijk het gevolg van veranderingen in soortensamenstelling van de algen. De omslag in soortensamenstelling van het fytoplankton heeft plaatsgevonden omstreeks 1991 - 1992. De daling van nutriënten in deze meren heeft geleid tot kleinere algencellen die in hogere dichtheden aanwezig zijn en regelmatiger over het water zijn verdeeld. Deze verdeling van algen zorgt ervoor dat het water – bij dezelfde chlorofylconcentraties – minder licht doorlaat. Dit effect verklaart de afname van het doorzicht in het Markermeer in de eerste helft van de jaren negentig bij afnemende nutriëntenconcentraties, en blijkt dus niet het gevolg te zijn van een toename van zwevend slib (zoals eerder werd gedacht). Hiernaast is het lichtklimaat ook veranderd door interacties tussen algen en slib. Het uiteindelijke effect hiervan is moeilijk te voorspellen en hangt samen met effecten van de wind en slibconcentraties in het water (zie HS 2).

De lokale uitbreiding van waterplanten in de jaren negentig in deze meren werd waarschijnlijk veroorzaakt door de positieve invloed die waterplanten lokaal op de helderheid kunnen hebben. Eenmaal aanwezig kunnen waterplanten de helderheid van het water namelijk zodanig versterken dat uitbreiding van een waterplantenveld minder afhankelijk is van de helderheid van het omringende water. Dit was waarschijnlijk het geval in de Gouwzee. De kolonisatie en de eerste fase van de uitbreiding vonden hier al vóór de periode met troebeler water plaats. In de Gouwzee vertoonde Sterkranswier eenzelfde uitbreidingspatroon als kranswiervegetaties in de Veluwerandmeren. Bij de beperkte omvang van het Sterkranswierveld in het midden van de jaren negentig in de Gouwzee kon er, net als in die fase in de randmeren, een groot verschil zijn tussen het doorzicht binnen en buiten het waterplantenveld. Dit is alleen mogelijk bij een verblijftijd langer dan 10 dagen, waardoor er een grote rol is weggelegd voor interne processen die het water helder maken.

Mosselgraas is een minder waarschijnlijke kandidaat voor toename van waterplanten, omdat de Driehoeksmossel hier in het begin van de jaren negentig hard achteruit gingen, en de Quagga-mossel zich nog niet gevestigd had. Mogelijk zorgde de afname van Brasem voor minder bodemwoeling, wat tot betere vestigingscondities voor waterplanten leidde. Hiervoor ontbreken echter de benodigde gegevens.

De vegetatie in de diepere delen van het Markermeer en IJsselmeer ontwikkelt zich direct naar Doorgroeid fonteinkruid en Sterkranswier, zonder tussenstadium met flab, draadwier en Schedefonteinkruid. Doorgroeid fonteinkruid is de soort die zich hierbij als eerste vestigt. In de loop der jaren kan deze soort grotendeels verdrongen worden door Sterkranswier. De vegetatie-ontwikkeling in de Gouwzee is hiervan het meest sprekende voorbeeld. In de zuidelijke Gouwzee kwam Doorgroeid Fonteinkruid oorspronkelijk over de hele breedte voor, maar deze soort verdween in de jaren daarna naar de diepere oostrand naarmate Sterkranswier verder toenam. Dit proces, waarbij beide soorten gelijktijdig aanwezig kunnen zijn, nam hier zo'n 10 jaar in beslag. Kranswier (*Chara* sp.) speelt niet of nauwelijks een rol in diepere delen van meren.

Kenmerkend voor begroeide delen van diepe meren zijn de grote verschillen in vegetatiebedekking tussen jaren. Een sprekend voorbeeld hiervan is de grote variatie aan bedekking van Doorgroeid fonteinkruid in het Hoornsche Hop. Het beeld bestaat dat deze soort de laatste jaren in dit gebied is toegenomen. Dit klopt inderdaad voor de laatste jaren, maar uit (nog ongepubliceerde) analyses voor de MIRT-2 Verkenning blijkt dat de dichtheden van Doorgroeid fonteinkruid in 2001 en 2004 in het Hoornsche Hop hoger waren dan in recente jaren. De oorzaken voor deze verschillen zijn onbekend, mogelijk spelen variaties in windsnelheid tussen jaren een rol, waardoor het water in sommige jaren troebeler is door wind gedreven opwerveling van slib. Dit punt verdient nader onderzoek in de toekomst.

Samenvatting van verschillen tussen meren
In tabel 4.1 zijn de kenmerken van de drie groepen meren samengevat. De kern van het onderscheid is de combinatie tussen rivierinvloed (verblijftijd) en waterdiepte. Het onderscheid in diepte bij de meren met een korte verblijftijd is wat betreft de waterkwaliteit vooralsnog weinig relevant. Met betrekking tot de toekomstige ontwikkeling van de vegetatie is dit mogelijk wel van belang.

Tabel 4.1. Samenvatting van relevante kenmerken van nutriënten, mosselen, planten, zwevend stof, chlorofyl en doorzicht van drie categorieën meren in het IJsselmeergebied.

	A. Meren met een korte verblijftijd	B. Ondiepe meren met een lange verblijftijd	C. Diepe meren met een lange verblijftijd
Meren	Ketelmeer Zwarte Meer Eemmeer Gooimeer IJmeer	Vossemeer Drontermeer Veluwemeer Wolderwijd Nuldernauw	IJsselmeer Markermeer (ex. IJmeer)
Nutrientenconc, limiterend voor algenbiomassa	Hoog, niet limiterend	Laag, niet limiterend	Laag, limiterend
Mosselbiomassa, limiterend voor algenbiomassa	Hoog, limiterend	Medium, colimiterend	Laag, niet limiterend
Vegetatiebedekking, limiterend voor algenbiomassa	Medium, niet limiterend	Hoog, colimiterend	Laag, niet limiterend
Zwevend stof	Laag	Laag	Hoog (alleen Markermeer)
Chlorofyl	Medium, dalend	Laag	Hoog (alleen IJsselmeer)
Doorzicht	Hoog, stijgend	Hoog	Laag

4.2 Kanttekeningen en onzekerheden

De afgelopen jaren zijn diverse studies uitgevoerd waarbij gekeken is naar de relatie tussen abiotische factoren en de bedekking en soortensamenstelling van de vegetatie in het IJsselmeergebied (Van den Berg *et al*., 2001, 2003; Noordhuis, 2010). Uit deze studies kwam naar voren dat het voorkomen en de successie en dieptezonering van waterplanten sterk gekoppeld is aan de waterdiepte en het doorzicht, wat in overeenstemming is met een groot aantal andere studies (voor reviews, zie Hutchinson, 1975; Spence, 1982). Voor andere factoren, zoals verschillen tussen bodemtypen in het IJsselmeergebied, wordt verondersteld dat deze nauwelijks invloed hebben op de vegetatieontwikkeling en soortensamenstelling van waterplanten in deze meren (Van den Berg *et al*., 2003).

Hierbij moeten echter enkele kanttekeningen gemaakt worden. Verschillen in nutriëntenbeschikbaarheid in het sediment kunnen namelijk ook in het IJsselmeergebied een belangrijke rol spelen voor de vegetatie-ontwikkeling. Zo is het onduidelijk waarom de bedekkingen van Doorgroeid fonteinkruid zo laag blijven in het Hoornsche Hop. Eén van de mogelijke oorzaken is nutriëntenbeperking via het sediment. Dit punt verdient nader onderzoek in de toekomst (zie HS 8).

Hetzelfde gaat op voor de strijklengte van de wind: weliswaar was kranswier positief gecorreleerd aan een toegenomen strijklengte, en canopy-vormende soorten als Schedefonteinkruid en Doorgroeid fonteinkruid negatief gecorreleerd, maar het uiteindelijke effect hiervan op de bedekking van waterplanten wordt marginaal genoemd (Van den Berg *et al*., 2003). Hierbij moet echter opgemerkt worden dat in de dataset van Van den Berg et al. (2001, 2003) geen lange strijklengtes zijn opgenomen. Bovendien reageren planten strikt genomen niet direct op strijklengte, maar op de effecten van golfslag (die deels het gevolg is van de strijklengte, maar ook van andere parameters als waterdiepte).

Op sterk geëxponeerde locaties (zoals aan de Markermeer-zijde van het Enkhuizerzand) staan weinig tot geen waterplanten, wat vermoedelijk veroorzaakt wordt door de hoge golf- en sedimentdynamiek op dergelijke locaties. Dit onderwerp wordt momenteel onderzocht in het Building with Nature-programma (Bastiaan van Zuidam, WUR).

Tot slot laten de trends van de abiotiek zich niet altijd goed matchen met de vegetatie-ontwikkelingen in de meren. In een groot deel van de meren liggen de meetpunten voor abiotiek in de vaargeul. Aan de hand van deze meetgegevens van deze locaties worden in dit rapport conclusies getrokken over sturende processen in deze meren. Omdat waterplanten afwezig zijn in de vaargeul, zijn de abiotische gegevens niet per definitie representatief voor andere delen van deze meren waar wel uitgebreide waterplantenvelden voorkomen. Hierbij moet met de interpretatie van de gegevens rekening worden gehouden.

5 Verwachtingen voor waterplantenontwikkeling

In dit hoofdstuk worden de mogelijke vegetatie-ontwikkelingen voor de toekomst aangegeven op basis van autonome ecologische ontwikkelingen (dat wil zeggen: op basis van natuurlijke ontwikkeling èn voorgenomen maatregelen). Hierbij is dezelfde indeling in groepen van meren gehanteerd als in voorgaand hoofdstuk. Deze verwachtingen worden in kwalitatieve termen uitgedrukt; gezien de kleine omvang van dit project was kwantificering niet mogelijk.

5.1 Verwachtingen voor de toekomst

5.1.1 Meren met een korte verblijftijd

Ketelmeer
Het Ketelmeer kenmerkt zich door een lage bedekking van waterplanten die jaarlijks sterk wisselt, en waarin soorten als draadwier, flab, Schedefonteinkruid, en – lokaal – Rivierfonteinkruid domineren. Vanwege de korte verblijftijd van het water krijgen algen geen kans om zich te ontwikkelen, en blijven de groeicondities voor waterplanten in het Ketelmeer sterk afhankelijk van de helderheid en concentraties van lichtuitdovende stoffen in het aangevoerde IJsselwater. De afgelopen jaren is de helderheid van het IJssel duidelijk toegenomen (zie locatie Kampen in Figuur 3.4). Wanneer deze trend doorzet, kan over een groter areaal licht op de bodem komen, waardoor deze delen sterker begroeid kunnen raken met waterplanten. Omdat het waterpeil en de helderheid van het aangevoerde IJsselwater variëren met het debiet van de rivier, zullen de jaarlijkse fluctuaties in bedekking blijven bestaan, en treden er geen grote veranderingen op in soortensamenstelling. Gezien de hoge nutriëntenbelasting en matige helderheid van het water is het onwaarschijnlijk dat kranswier (*Chara* sp.) of Sterkranswier zich op grote schaal gaat vestigen in het Ketelmeer.

Zwarte Meer, Eemmeer, Gooimeer
Kenmerkend voor deze meren is de sterke dominantie van draadalgen en flab in recente jaren, samen met verschillende smalbladige fonteinkruidsoorten. In het Zwarte Meer breidt in recente jaren *Chara* zich sterk uit, wat ten koste van voorgenoemde soorten. Aangezien de abiotische condities niet noemenswaardig wijzigen zet deze ontwikkeling de komende jaren naar verwachting door. Hiermee zal de vegetatie-ontwikkeling in het Zwarte meer hetzelfde verloop hebben als de Veluwerandmeren in de afgelopen twee decennia. Het is echter onzeker of de vegetatie in het Eemmeer en Gooimeer zich ook in dezelfde richting zal ontwikkelen. In 2013 is de helderheid in het Eemmeer sterk toegenomen. In het Veluwemeer trad bij een extinctiecoëfficiënt tussen 1 - 2 m^{-1} successie op richting *Chara*-vegetaties (zie paragraaf 4.1). Onzeker is of *Chara* ook in het Eemmeer in staat is om zich te vestigen en uit te breiden bij deze helderheid (maar bij een beduidend hogere nutriëntenconcentratie). De hoge nutriëntenconcentratie kan het proces van kolonisatie door kranswier namelijk aanzienlijk vertragen, mede vanwege de dikke lagen van bodembedekkende draadalgen. Hiernaast kan in het Eemmeer de bodemsamenstelling (veen) een rol spelen, wat tot een afwijkende soortensamenstelling kan leiden.

De vegetatie-ontwikkeling in deze meren kan in de toekomst mogelijk eenzelfde verloop hebben als in het Botshol (Rip, 2007).

In dit meer wordt de nutriëntenconcentraties in het water bepaald door jaarlijkse variatie in de hoeveelheid neerslag, die via afspoeling tot verhoogde fosfaatconcentraties leidt. In jaren met veel afspoeling zijn de fosfaatconcentraties hoger, en is het water troebel door algengroei, en komen kranswieren en andere waterplanten nauwelijks tot ontwikkeling. In jaren met een gering neerslagoverschot zijn de fosfaatconcentraties en chlorofyl-concentraties lager, en is het doorzicht groter. In deze jaren komen uitgestrekte velden met kranswieren tot ontwikkeling. Vanwege een variabele toevoer van nutriënten via rivieren kan ook de vegetatie-ontwikkeling in ondiepe meren met een korte verblijftijd (zoals Gooimeer, Eemmeer, Ketelmeer en Zwarte Meer) zich deze richting op ontwikkelen.

5.1.2 Ondiepe meren met lange verblijftijd

De ondiepe meren met een lange verblijftijd zijn het Veluwemeer, Wolderwijd, Vossemeer, Drontermeer en IJmeer. Gezien de overeenkomsten in vegetatie-ontwikkeling worden ook de ondiepe delen van IJsselmeerkust en Markermeer (diepte < 2 meter) hiertoe gerekend.

Naar verwachting zal de huidige trend van vegetatie-ontwikkeling in de ondiepe delen van deze meren doorzetten. De huidige, (zeer) lage nutriëntenconcentraties stabiliseren de vegetatie-ontwikkeling in deze meren. Aanvullend hierop levert mosselfiltratie ook een bijdrage aan de hoge helderheid van deze meren. In de jaren ‘90 heeft kranswier (*Chara* sp.) zich hier sterk uitgebreid, wat ten koste is gegaan van het areaal en de bedekking van smalbladige fonteinkruiden, draadwier en flab. Tegenwoordig komen smalbladige fonteinkruiden (als Schedefonteinkruid) alleen nog voor in een smalle zone in de zeer ondiepe delen van de oever (< 0,5 meter waterdiepte). In recente jaren worden de diepere delen van de Veluwerandmeren gekoloniseerd door Sterkranswier, wat waarschijnlijk ten koste zal gaan van vegetaties van *Chara* (dat in het Veluwemeer ook in de diepterange van 2 – 3 meter voorkomt) en Doorgroeid fonteinkruid. Dit proces zet de komende jaren door.

Het Drontermeer, Vossemeer en het IJmeer zijn iets voedselrijker dan het Veluwemeer en Wolderwijd. Ook in deze meren wordt verwacht dat kranswieren zich verder uitbreiden, al zal de vegetatiebedekking en samenstelling hier- vanwege de hogere nutriëntenconcentraties - meer variatie kunnen vertonen, met een grotere kans op dominante van draadwier en flab.

Mocht er echter op enige wijze een (tijdelijke) toename in de nutriëntentoevoer optreden, dan kan de vegetatiebedekking in deze meren eenzelfde cyclisch patroon gaan vertonen als in het Botshol (zie hierboven beschreven in paragraaf 5.1.1).

5.1.3 Diepe delen van meren met lange verblijftijd

De voorspelling van de vegetatie-ontwikkeling in deze meren heeft betrekking op die delen waar op dit ogenblik waterplantengroei mogelijk is (grofweg tot een waterdiepte van vier meter).

Diepe delen van meren met een lange verblijftijd zijn de Gouwzee, het Hoornsche Hop, en verschillende delen langs de kust van het IJsselmeer en Markermeer. In het Markermeer bevindt zich nu een ijle vegetatie (bedekking veelal < 5%) van Doorgroeid fonteinkruid. Deze vegetatie kan zich op verschillende manieren verder ontwikkelen. Zo kan bij een toenemend doorzicht kan het areaal en de bedekking van Doorgroeid fonteinkruid toenemen.
Bij een grote toename van het doorzicht kan Sterkranswier zich ook vestigen en uitbreiden. Laatstgenoemde soort kan de helderheid van het water zodanig versterken dat – net als in de Gouwzee – een dekkend veld ontstaat waarbij Doorgroeid fonteinkruid naar de diepere delen wordt verdrongen.

Dit proces zal naar verwachting zo'n 10 jaar duren, waarbij beide soorten gelijktijdig aanwezig kunnen zijn, en Doorgroeid fonteinkruid nog steeds voor overlast kan zorgen. Een andere mogelijkheid is dat nutriëntenlimitatie via het sediment een rol speelt bij de lage bedekking van Doorgroeid fonteinkruid in het Hoornsche Hop, waardoor verdere uitbreiding van deze soort achterwege blijft, ook bij een groter doorzicht. Tot slot kunnen de (huidige) grote jaarlijkse variaties in bedekking van Doorgroeid fonteinkruid blijven bestaan, zonder dat deze soort- over een langere termijn – toeneemt. Dit kan het geval zijn wanneer de bedekking van deze soort sterk gestuurd wordt door jaarlijkse variatie in troebelheid door (windgedreven opwerveling van) slib.

De toename van andere soorten waterplanten zal beperkt zijn, omdat soortenrijke vegetaties in het IJsselmeergebied gebonden zijn aan ondieper water (< 2 meter; Noordhuis, ongepubliceerde gegevens), en het areaal aan ondiep water in deze categorie meren beperkt is.

5.2 Onzekerheden over verwachtingen

De toekomstige vegetatie-ontwikkelingen in het IJsselmeergebied zijn sterk afhankelijk van ontwikkelingen in de nutriëntenbelasting en verblijftijd van het water, evenals van de omvang van de brasempopulatie en de filtratiecapaciteit van de mosselen. In bovenstaande tekst zijn de volgende aannames gedaan:

- de omvang van de huidige brasempopulatie in de meren in het IJsselmeergebied blijft gelijk in de toekomst of verminderd licht;
- De omvang van de Quagga-mosselen populatie blijft op het huidige niveau;
- De verblijftijden van het water in de meren ondergaan geen grote veranderingen;
- de nutriëntenbelasting van de meren blijft gelijk of neemt licht af.

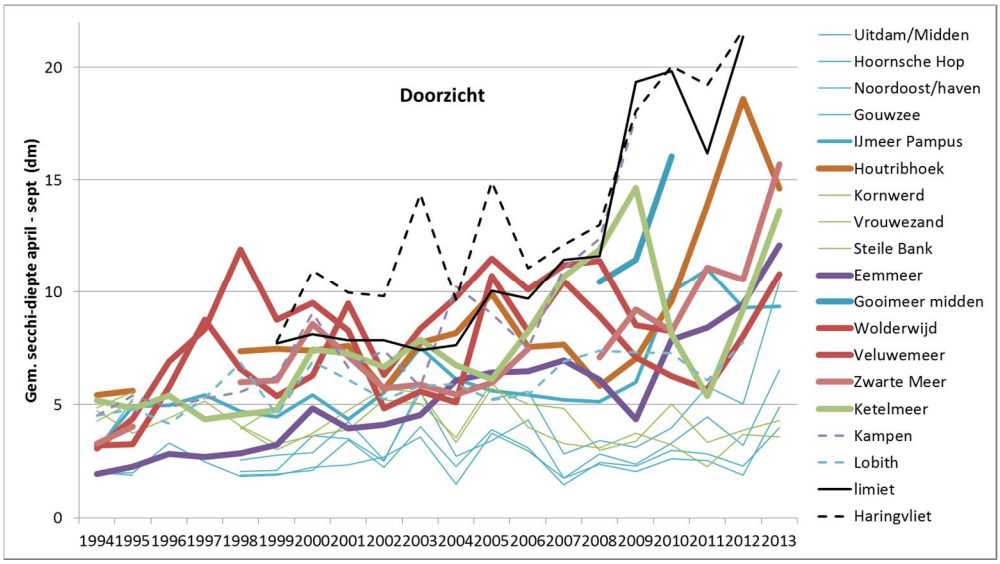
Onderstaand worden deze aannames besproken in relatie tot de begrippen 'weerstand' en 'veerkracht' van een ecosysteem (Scheffer, 1998).

Of bovenstaande vegetatie-ontwikkelingen in de toekomst ook daadwerkelijk optreden, is sterk afhankelijk van de stabiliteit van de systemen in het IJsselmeergebied. Voor inzicht in de stabiliteit van systemen, zijn de begrippen weerstand en veerkracht van belang. **Weerstand** geeft aan dat een systeem bestand is tegen een externe verstoring door juist niet te veranderen. Een voorbeeld hiervan is het vermogen van mosselen en waterplanten om het water helder te houden. Kenmerkend voor weerstand is dat het areaal aan mosselen, waterplanten en andere typerende soorten niet afneemt. De **veerkracht** van een systeem is het vermogen om te herstellen van een tijdelijk veranderde externe verstoring. Een voorbeeld van zo'n externe druk is een tijdelijk toegenomen windsnelheid, waardoor – als gevolg van windgedreven resuspensie – de troebeling toeneemt en waterplanten en mosselen afnemen. De veerkracht geeft aan hoe snel waterplanten en mosselen zich hiervan herstellen als de externe verstoring is opgeheven.

Tussen de drie groepen van meren bestaan naar verwachting duidelijke verschillen in weerstand en veerkracht van de systemen. Onderstaand worden deze nader behandeld.

In meren met een korte verblijftijd en een hoge nutriëntenbelasting is de helderheid sterk afhankelijk van mosselfiltratie. De toename van gemiddelde doorzichtwaarden in goede mosselgebieden zijn gekoppeld aan de invasie van Quagga-mosselen (paragraaf 4.1). Dat deze toename nog niet ten einde is bleek uit de spectaculaire waarden van doorzicht in 2013 in het Markermeer (Figuur 5.1). Voor de toekomst is het de vraag in hoeverre de aanwezige mosselpopulatie stabiel is.

Kolonisatie en uitbreiding van Quagga-mosselen vindt pas zeer recent plaats, en vaak wordt een aanvankelijke sterke toename van een nieuw gevestigde exoot gevolgd door een afname en stabilisatie van de aantallen op een lager niveau. Onderzoek in het IJsselmeer heeft laten zien dat de conditie van de mosselen al is afgenomen met de toename van de dichtheid (Noordhuis *et al*., 2014). Weliswaar kunnen reeds gevestigde waterplantvelden ook een bijdrage leveren aan de helderheid, maar gezien de hoge nutriëntenbelasting is het de vraag hoe stabiel deze vegetaties op de lange termijn zijn.



Figuur 5.1. Aanvulling op de grafiek met doorzichtwaarden in het IJsselmeergebied met zomergemiddelde waarden van 2013.

In ondiepe meren met een lange verblijftijd zorgen de dichte kranswiervelden voor stabiel helder water, en leveren mosselen hieraan een kleinere bijdrage. Om deze reden is de kans op terugval naar troebel, vegetatieloos water kleiner, mede gezien de lage nutriëntenbelasting van deze meren. Bij een tijdelijke toename van de nutriëntentoevoer is er echter wel kans op een terugval naar de (permanent) troebele toestand, of kunnen cyclische patronen in vegetatiebedekking optreden zoals beschreven voor Botshol (Rip, 2007; zie paragraaf 5.1.1).

Voor diepe meren met een lange verblijftijd is het de vraag in hoeverre de aanwezige mosselen weerstand kunnen bieden tegen toenemende slibconcentraties en -bedekkingen. In grote diepe wateren – zoals het IJsselmeer en het Markermeer – worden de slibconcentraties in de waterfase waarschijnlijk deels gestuurd door windgedreven resuspensie. Deze windsnelheid hangt nauw samen met klimatologische processen, en deze processen kunnen op de langere termijn zowel leiden tot een toe- als een afname van de windsnelheid ten opzichte van de huidige situatie. Dit kan de stabiliteit van de helderheid – en daarmee de kansen voor waterplantengroei – sterk beïnvloeden.

Voor alle meren geldt dat de ontwikkeling van de brasempopulatie een onzekere factor is. Wanneer de brasempopulatie sterk toeneemt, dan kan de bodemwoeling toenemen, wat ten koste kan gaan van de filtratiecapaciteit van mosselen en de helderheid van het water. In recente jaren is de brasempopulatie in het IJsselmeergebied echter juist sterk afgenomen, zodat dit punt op dit ogenblik niet aan de orde is.

6 Sturingsmogelijkheden van waterplantenontwikkeling

Rijkswaterstaat staat voor de opgave om de ecologische doelstellingen in het IJsselmeergebied te realiseren, waarbij tegelijkertijd rekening wordt gehouden met de wens om overlast door waterplanten te beperken. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de mogelijkheden om de ontwikkeling van waterplanten te sturen met inachtneming van de ecologische doelstellingen. Eerst wordt aangegeven welke waterplanten voor overlast kunnen veroorzaken bij recreanten. Vervolgens wordt bediscussieerd of waterplantenontwikkeling gestuurd kan worden door (voorgenomen) maatregelen.

6.1 Waterplanten en overlast voor recreanten

De overlast die waterplanten bij recreanten kunnen veroorzaken is afhankelijk van de waterdiepte en de groeivorm van de waterplanten. In ondiep water (tot circa 1,30 meter) kunnen soorten als draadwier, flab, Schedefonteinkruid, Tenger fonteinkruid en Zittende Zannichellia tot aan het wateroppervlak doorgroeien, en overlast veroorzaken voor boten en zwemmende recreanten. Kranswieren (*Chara* spec.) geven in het Veluwemeer soms ook problemen wanneer boten in ondiep water (< 1 meter) varen.

In dieper water (tussen 2- 4 meter) komt vooral Doorgroeid fonteinkruid en Sterkranswier voor. De eerstgenoemde soort kan eveneens tot aan het wateroppervlak doorgroeien en overlast veroorzaken voor varende recreanten, doordat ze erin verstrikt raken met hun vaartuigen of buitenboordmotoren. Aarvederkruid heeft ook eenzelfde groeiwijze als Doorgroeid fonteinkruid, maar deze soort komt in het IJsselmeergebied slechts lokaal in lage bedekkingen voor, zodat deze nauwelijks overlast veroorzaakt. Sterkranswier is eveneens kenmerkend voor dieper water. Deze soort groeit echter niet tot aan het wateroppervlak, en boten kunnen probleemloos over uitgebreide vegetaties van deze soort heen varen.

6.2 Sturing via maatregelen

Zoals in voorgaande hoofdstukken is beschreven, wordt de bedekking, soortensamenstelling en successie van waterplantenvegetaties in het IJsselmeergebied in sterke mate gestuurd door de nutriëntenbelasting, de helderheid en de waterdiepte.

De ontwikkeling van waterplantenvegetaties kan op verschillende manieren gestuurd worden. Hierbij kan gedacht worden aan maatregelen gericht op nutriënten en inrichting, zoals:

1. Verandering van de nutriëntenbelasting;
2. Creëren van luwte door aanleg dammen of eilanden;
3. Verandering van de waterdiepte;

Voorts kunnen ook maatregelen uitgevoerd worden die de samenstelling van de levensgemeenschap beïnvloeden, zoals:

4. Manipuleren van (hoge) biomassa van benthivore vis (‘afvissen’);
5. Het uitzetten van propagulenbanken van waterplanten;
6. Aanbieden van hard substraat als hechtingsplaats voor mosselen;

Wanneer waterplanten eenmaal gevestigd zijn, kan overlast worden beperkt door:

7. Maaien;

Tabel 4.1. Indicatie van de effecten van verschillende maatregeltypen op dominante groeivormen van waterplanten in het IJsselmeergebied.
(+): op dit ogenblik niet relevant, vanwege lage dichtheden brasem;
+?: effect onzeker, deze maatregel is nog in onderzoek.
Voor verdere toelichting: zie tekst.

	Flab/draadwier	Smalbladige fonteinkruiden	Doorgroeid fonteinkruid	Kranswier (*Chara*)	Sterkranswier
1. Verlaging nutriëntenbelasting	-	+	+	+	+
2. Creëren luwte	+	+	+	+	+
3a. Verondieping tot < 1 m	+	+	-	+	-
3b. Verdieping tot 1 - 4 m	-	-	+	-	+
4. Verkleinen brasempopulatie	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
5. Enten plantenmateriaal	0	nvt	nvt	+?	+?
6. Aanbrengen hard substraat	0	0	0	0	0
7. Maaien	0	-	0	-	0

In tabel 4.1 is een indicatie weergegeven van de effecten van verschillende maatregelen op dominante groeivormen van waterplanten in het IJsselmeergebied. Onderstaand wordt dit nader toegelicht.

Ad. 1. Verandering van de nutriëntenbelasting
Verlaging van de nutriëntenbelasting is vooral een optie voor meren met een korte verblijftijd, waar veel nutriënten worden aangevoerd (zie paragraaf 2.1 en 2.2). Verlaging van de nutriëntenbelasting maakt deze meren minder afhankelijk van aanvullende stabiliserende mechanismen voor de helderheid van het water, zoals mosselfiltratie of een geringere omvang van de brasempopulatie. Naar verwachting verlaagt dit de kans op excessieve draadalg- en flabontwikkeling, en stimuleert dit de uitbreiding van kranswieren (van zowel *Chara* als Sterkranswier). Bovendien zullen er minder grote jaarlijkse variaties in vegetatiebedekking en soortensamenstelling optreden. Fonteinkruiden kunnen ook tijdelijk toenemen, maar de verwachting is dat deze – op de langere termijn – door kranswier (*Chara*) en Sterkranswier worden verdrongen.

Ad. 2. Creëren van luwte door aanleg van dammen of eilanden
Door de aanleg van luwtedammen of –eilanden kunnen de effecten van wind verkleind worden, wat naar verwachting een positief effect heeft op de helderheid en bijgevolg ook op de bedekking en het areaal aan waterplanten. Naarmate de structuur op grotere afstand van de kust ligt, zal een groter areaal een grotere en meer stabiele helderheid hebben en geschikt worden (of blijven) voor de ontwikkeling van waterplanten. De uiteindelijke effecten van luwtemaatregelen zijn sterk afhankelijk van de strijklengte, waterdiepte, bodemsamenstelling en waterstromen in het systeem. Voor kwantitatieve uitspraken over de effectiviteit is modellering vereist.

Naast een vergroting van de helderheid van het water leiden luwtestructuren ook tot een vermindering van de sediment- en golfslagdynamiek. Nu komen op sterk geëxponeerde plaatsen (zoals op het Enkhuizerzand langs de Houtribdijk) geen waterplanten voor, terwijl deze zone – wat betreft lichtklimaat en waterdiepte – hiervoor wel geschikt lijkt. Waarschijnlijk is op deze locatie de sediment- en golfdynamiek te groot voor vestiging en uitbreiding van waterplanten. Aanleg van luwtestructuren kan deze dynamiek sterk verminderen.

Ad. 3. *Verandering van de waterdiepte*
Het verdiepen of verondiepen van locaties heeft een grote invloed op de samenstelling van waterplantenvegetatie. Een dergelijke maatregel is reeds eerder uitgevoerd, bijvoorbeeld de verdiepingen in het Veluwemeer. Het voorkomen en de successie en dieptezonering van waterplanten in het IJsselmeergebied is sterk gekoppeld aan de waterdiepte en het doorzicht, wat in overeenstemming is met een groot aantal andere studies (Hutchinson, 1975; Spence, 1982). Bij een waterdiepte van minder dan 1 - 2 meter kunnen canopy-vormende waterplanten op de voorgrond treden, zoals Schedefonteinkruid, Tenger fonteinkruid en Zannichellia, evenals draadwieren en flab. Een grotere waterdiepte (tussen 1 en 4 meter) gaat vaak gepaard met hogere bedekking van *Chara* (overwegend tussen 1 – 3 meter) en Sterkranswier (2 – 4 meter).

Ad. 4. *Manipuleren van hoge biomassa van benthivore vis*
Een reductie van (hoge) biomassa's van benthivore vis ('afvissing') kan de kans op kolonisatie van mosselen en het optreden van helder water bevorderen. Op dit ogenblik is de brasempopulatie in veel meren in het IJsselmeergebied (flink) afgenomen. Toepassing van deze maatregel is gebonden aan criteria die in samenspraak met de sportvisserij zijn opgesteld. In meren met hoge fosfaatconcentraties leidt afvissing naar verwachting tot overlast van draadwier en flab en een trage successie naar kranswier.

Ad. 5. *Enten van plantenmateriaal*
De vegetatieontwikkeling kan ook gestuurd worden door het 'enten' van plantenmateriaal. Met deze maatregel wordt vooral de vestiging van kranswieren beoogd, aangezien deze vegetaties van deze soortgroep geen overlast veroorzaken voor watersporters. In de Eemmeer is in 2010 sediment (met voortplantingsstructuren van Sterkranswier en kranswier (*Chara*)) geënt vanuit de Gouwzee. Dit sediment is aangebracht nabij een tijdelijke luwtestructuur. In 2011 en 2012 bleken beide soorten kranswier goed aan te slaan; in 2013 kwamen er echter – om nog onbekende redenen - nauwelijks kranswieren tot ontwikkeling. De bron van deze soorten in de eerste twee jaar is waarschijnlijkheid inderdaad het aangebrachte sediment vanuit de Gouwzee, omdat zowel Sterkranswier als *Chara* op dit ogenblik verder niet in het Eemmeer voorkomen. Het komende jaar zal dit project worden geëvalueerd.

Ad. 6. Manipuleren van de mosselpopulatie
Het aanbieden van hard substraat is bedoeld om mosselen betere kansen te geven. Daardoor neemt de helderheid toe (via mosselfiltratie) waardoor er betere groeicondities voor waterplanten ontstaan. Deze maatregel is echter achterhaald, omdat Quagga-mosselen zich ook aan elkaar kunnen vasthechten en minder afhankelijk zijn van de aanwezigheid van vast substraat. In recente jaren zijn Quagga-mosselen sterk toegenomen in het IJsselmeergebied.

Ad. 7. Maaien
Maaien beoogt de overlast van Doorgroeid fonteinkruid en smalbladige fonteinkruiden te beperken.

In de literatuur worden diverse maatregelen genoemd ten behoeve van het bestrijden van overlast door waterplanten, zoals maaien, de toepassing van herbiciden, tijdelijke droogval tijdens de wintermaanden. Herbiciden en droogval zijn voor het IJsselmeergebied niet realistisch of toepasbaar omdat de ecologische doelstellingen als andere functies hierdoor (zwaar) kunnen worden aangetast. Van bovengenoemde maatregelen lijkt maaien vooralsnog de enige optie. Deze maatregel dient echter wel aan een aantal voorwaarden te voldoen (zie hieronder).

Voor de realisering van de ecologische doelstellingen voor het IJsselmeergebied is behoud van helder water van groot belang. Aangezien de mosselen waarschijnlijk een grote rol spelen voor de helderheid, mag maaien geen negatief effect hebben op de mosselpopulatie. Dit betekent dat de planten niet direct bij het bodemoppervlak mogen worden afgemaaid, omdat hierbij ook de mosselen beschadigd kunnen worden. Bovendien kan hierbij ook primair hechtingssubstraat worden verwijderd of beschadigd, wat eveneens negatief uitpakt voor de mosselpopulatie.

Voor het herstelvermogen van een systeem (veerkracht) is de aanwezigheid van een omvangrijke zaadbank van belang. Eventuele maaiwerkzaamheden mogen dus niet ten koste gaan van de omvang van de zaadbank die nodig is voor behoud van deze veerkracht. Op dit ogenblik is echter onbekend wat de dichtheid en samenstelling van de zaadbank moet zijn. Vooralsnog wordt daarom de richtlijnen van Van Berkum (2012) gebruikt, die stelt dat maximaal 10% van het waterplantenareaal in een gebied kan worden gemaaid.

Voorgesteld wordt om op een diepte te maaien van tenminste 60 cm boven de waterbodem (Van Berkum, 2012). In het diepe water van het Hoornsche Hop kan ook op grotere afstand van de bodem worden gemaaid, evenals wanneer kranswieren tot hoger in de waterkolom doorgroeien. Op deze manier blijven de waterplantenvegetaties merendeels intact en worden aanwezige mosselen (en primair aanhechtingssubstraat) niet beschadigd of verwijderd. De maaiwerkzaamheden moeten na 1 juli worden uitgevoerd, omdat Doorgroeid fonteinkruid na deze datum vrijwel is uitgegroeid (Van Berkum, 2012; Van den Berg, 2001).

Na het maaien moet het maaisel uit het water worden verwijderd, omdat dit een bron kan zijn van nutriënten (met bijgevolg een versterkte algengroei), en een bijdrage kan leveren aan ongewenste zuurstofarme condities. De risico's hiervan zijn goed geïllustreerd in de recreatieplas Bovenwater nabij Lelystad. Hier werd maaisel van waterplanten niet verwijderd, wat een sterke (blauw)algenbloei tot gevolg had.

Hiernaast mogen maaiwerkzaamheden niet ten koste gaan van opgroeigebieden voor jonge vis. Dergelijke opgroeigebieden zijn vooral geconcentreerd in vegetatierijke delen in ondiepe delen (waterdiepte < 2 meter). Dit betekent dat maaiwerkzaamheden niet mogen worden uitgevoerd in ondiepe oeverzones met een waterdiepte minder dan twee meter. Voor het Hoornsche Hop is dit waarschijnlijk geen probleem, omdat de aanleg van luwtedammen vooral gericht is op verbetering van condities voor waterplanten en mosselen in gebieden met een waterdiepte van 2,5 - 4 meter.

7 Conclusies

Onderstaand zijn de conclusies van deze studie samengevat. Deze conclusies geven antwoord op de onderzoeksvragen uit hoofdstuk 1.

Trends in nutriënten, chlorofyl en helderheid

- Op basis van de resultaten van de trends van nutriënten, chlorofyl, helderheid en vegetatie-ontwikkeling zijn de meren van het IJsselmeergebied in de volgende groepen ingedeeld:
    - Meren met een korte verblijftijd;
    - Ondiepe meren met een lange verblijftijd;
    - Diepe meren met een lange verblijftijd;

- Meren met een korte verblijftijd onderscheiden zich door (relatief) hoge gehaltes van opgelost fosfor, lage chlorofyl-concentraties, lage chlorofyl/P ratio's en een dalend zwevend stof gehalte. In recente jaren is het doorzicht in deze meren sterk toegenomen, wat waarschijnlijk het gevolg is van mosselfiltratie door een sterk toegenomen bestand van Quagga-mosselen, in combinatie met een afgenomen brasempopulatie;

- Ondiepe meren met een lange verblijftijd kenmerken zich door lage concentraties van nutriënten, chlorofyl en zwevend stof en een hoog doorzicht. Vanwege de lange verblijftijd en geringe diepte van deze meren spelen interne processen een belangrijke rol, en hebben waterplanten (en in mindere mate mosselen) een duidelijk effect op de helderheid;

- Diepe meren met een lange verblijftijd onderscheiden zich door lage nutriëntenconcentraties en een fytoplanktonsamenstelling met veel kleine algen, die het licht sterk verstrooien. Vanwege de grote waterdiepte ontbreken waterplanten en hebben interne processen (mosselfiltratie, helder makend effect van waterplanten) niet of nauwelijks invloed op de helderheid, waardoor relatief hoge chlorofyl- en zwevend stof gehaltes worden vastgesteld en het doorzicht beperkt is.

Sturende factoren voor helderheid

- De helderheid van het water en waterdiepte bepalen in sterke mate de zonering en abundantie van waterplantensoorten in het IJsselmeergebied;

- De toename van de helderheid in meren met een korte verblijftijd (Eemmeer, Gooimeer, Zwarte Meer) wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een sterke toename van mosselfiltratie, door de recent sterk toegenomen Quagga-mossel. Vanwege de korte verblijftijd bepalen vooral de concentraties van chlorofyl, detritus en zwevend slib van het aangevoerde IJsselwater de helderheid en waterplantenontwikkeling in het Ketelmeer. De waterplanten zelf hebben in deze meren tot dusver slechts een gematigd positief effect op de helderheid;

- In ondiepe meren met een lange verblijftijd (Veluwerandmeren) wordt het lichtklimaat vooral bepaald door het positieve effect van de waterplanten op de helderheid, en – in mindere mate mate – door mosselfiltratie;

- In diepe meren met een lange verblijftijd wordt het lichtklimaat vooral bepaald door slib (Markermeer) of algen en detritus (IJsselmeer). Door de lagere nutriëntenconcentraties is de soortensamenstelling van de algen veranderd, met kleinere cellen die regelmatiger in het water zijn verdeeld, waardoor minder licht wordt doorgelaten. Hierdoor is – ondanks de afname van nutriëntenconcentraties – het doorzicht hetzelfde gebleven (IJsselmeer) of licht verminderd (Markermeer). Op locaties waar Quagga-mosselen zich recent gevestigd hebben, treedt wel hoger doorzicht op;

Sturende factoren voor groeivormen van waterplanten

- Waterdiepte en het doorzicht van het water zijn de meest belangrijke stuurfactoren voor waterplanten;

- Draadwier en flab komen tot dominantie op ondiepe locaties (< 1 meter waterdiepte) met helder water en hoge nutriëntenconcentraties;

- Smalbladige fonteinkruiden (Schedefonteinkruid, Tenger fonteinkruid) en Zannichellia groeien in ondiep (< 1 meter), matig troebel water (extinctie-coëfficiënt 2–4 m^{-1});

- Kranswier (*Chara*) en Sterkranswier groeien in helder water (extinctie-coëfficiënt 1-2 m^{-1}) in de diepterange van resp. 1-3 en 2-4 meter.

- Doorgroeid fonteinkruid groeit vooral in dieper water (range 2–4 meter). De extinctie-coëfficiënt varieert tussen 1–4 m^{-1} (helder tot matig troebel).

Trends in vegetatie-ontwikkeling

- De verschillen in vegetatie-ontwikkeling in het IJsselmeergebied zijn sterk gerelateerd aan verschillen in nutriëntenbelasting, helderheid en waterdiepte van de betreffende meren;

- De eerste fase van vegetatie-ontwikkeling in meren met een grote rivierinvloed en een korte verblijftijd kenmerkt zich door een sterke toename van draadalgen en smalbladige fonteinkruidsoorten. In het Zwarte Meer (waar deze trend al in 2000 begon) breidt *Chara* zich uit ten koste van voorgaande soorten. In het Eemmeer, Gooimeer en Ketelmeer treden waterplanten pas de laatste drie jaren sterk op de voorgrond. In het Eemmeer bereiken soorten als Gekroesd fonteinkruid, Puntig fonteinkruid en Gewoon sterrenkroos hoge dichtheden, wat mogelijk samenhangt met de venige bodem in dit meer.

- De vegetatie-ontwikkeling in ondiepe delen van meren met een lange verblijftijd kenmerkt zich aanvankelijk door een toename van smalbladige fonteinkruiden en draadalgen. Deze soorten treden echter niet zo sterk op de voorgrond als in ondiepe meren met een korte verblijftijd (zie hierboven). Deze ontwikkeling wordt vrij snel gevolgd door een sterke toename van kranswier (*Chara*), wat ten koste gaat van voorgenoemde soorten. De laatste jaren neemt Sterkranswier toe in diepere delen van deze meren.

- De vegetatie-ontwikkeling in diepe delen van meren met een lange verblijftijd onderscheid zich door een toename van Doorgroeid fonteinkruid, wat in de Gouwzee gedurende een periode van 10 jaar grotendeels vervangen is door Sterkranswier.

Verwachtingen voor vegetatie-ontwikkeling

- In het Zwarte Meer zal de toename van kranswier (*Chara*) naar verwachting doorzetten. Het is echter onzeker of de ontwikkeling van het Eemmeer eveneens richting *Chara* zal verlopen. In laatstgenoemde meer kan de vegetatie-ontwikkeling een andere route volgen vanwege de hoge nutriëntenbelasting van deze meren. Hiernaast is de bodemsamenstelling (veen) in het Eemmeer van belang, wat tot een afwijkende soortensamenstelling kan leiden.

- In ondiepe meren met een lange verblijftijd blijven de ondiepe delen van deze meren gedomineerd door kranswier (*Chara*). In recente jaren worden de diepere delen van de Veluwerandmeren gekoloniseerd door Sterkranswier, wat waarschijnlijk ten koste gaat van vegetaties van *Chara* (dat in het Veluwemeer ook in de diepterange van 2 – 3 meter voorkomt) en Doorgroeid fonteinkruid.

- In diepe delen van meren (waterdiepte tot 4 meter) met een lange verblijftijd kan bij een toenemend doorzicht het areaal en de bedekking van Doorgroeid fonteinkruid toenemen. De toename van andere soorten waterplanten zal beperkt zijn, omdat soortenrijke vegetaties in het IJsselmeergebied gebonden zijn aan ondieper water (< 2 meter), en het areaal aan ondiep water in deze meren beperkt is. Bij een grote toename van het doorzicht kan Sterkranswier zich ook vestigen en uitbreiden. Dit proces zal naar verwachting zo'n 10 jaar duren, waarbij beide soorten gelijktijdig aanwezig kunnen zijn, en Doorgroeid fonteinkruid nog steeds voor overlast kan zorgen.

Sturingsmogelijkheden voor vegetatieontwikkeling

De ontwikkeling van waterplantenvegetaties kan op verschillende manieren gestuurd worden. De volgende maatregelen zijn mogelijk:

- Verandering van de nutriëntenbelasting; deze maatregel zal vooral effect hebben in ondiepe meren met een korte verblijftijd. Waarschijnlijk zal hierdoor het aandeel van draadwier, flab en smalbladige fonteinkruiden in de vegetatie kleiner worden;

- Creëren van luwte door aanleg dammen of eilanden. Bij een toenemende helderheid (door de aanleg luwtemaatregelen) kunnen waterplanten op grotere diepte groeien en kan het areaal en de totale biomassa toenemen. De luwtemaatregelen kunnen de successie naar kranswiervegetaties versnellen. Hierdoor ontstaat een ruimtelijke zonering van verschillende vegetatietypen met bijgevolg een hogere diversiteit. De luwtemaatregelen beperken de risico's op sterke fluctuaties in aantallen, waardoor de kans op een omslag naar een langdurig troebele toestand wordt verkleind.

- Door verandering van de waterdiepte kan de zonering van de waterplanten aangepast worden. Overlast veroorzakende soorten als draadwier, flab en smalbladige fonteinkruiden domineren vooral in de ondiepe waterzone (waterdiepte < 1 meter). Bij vergroting van de waterdiepte zullen naar verwachting kranswier (Chara) en Sterkranswier op de voorgrond treden;

- Door een reductie van (hoge) biomassa's van benthivore vis kan de kans op kolonisatie van mosselen en het optreden van helder water bevorderen. Op dit ogenblik is de brasempopulatie in veel meren in het IJsselmeergebied echter al (flink) afgenomen.

- De vegetatiesuccessie kan ook gestuurd worden door het enten van sediment met voortplantingsstructuren (zaden, knolletjes, sporen) van (gewenste) soorten (*Chara*, Sterkranswier). De effectiviteit van deze maatregel is nog onzeker, momenteel wordt dit in het Eemmeer onderzocht.

- Manipulatie van mosselstand door aanbieden van hard substraat als hechtingsplaats voor mosselen. Deze maatregel is echter achterhaald, omdat Quagga-mosselen zich ook aan elkaar kunnen vasthechten en minder afhankelijk zijn van de aanwezigheid van vast substraat;

- Wanneer vegetaties van overlast veroorzakende soorten (draadwier, fonteinkruiden) eenmaal aanwezig zijn en overlast veroorzaken, dan kan maaien ook een oplossing zijn. Hierbij mogen de ecologische doelstellingen niet in gevaar komen.

8 Aanbevelingen voor vervolg

- Aanbevolen wordt om beter inzicht te krijgen in de relaties tussen bodemchemie, nutriëntengehaltes in waterplanten en vegetatie-ontwikkeling in de meren. Aan de hand van deze kennis kunnen betere voorspellingen gedaan worden van autonome ontwikkelingen in het IJsselmeergebied, als ook van effectinschattingen van maatregelen.

- Windgedreven opwerveling van slib kan een belangrijke rol spelen voor de helderheid van het water, en in windluwe jaren is het doorzicht groter en bereiken waterplanten hogere dichtheden. Hierbij valt op dat in daarop volgende jaren (met hogere windsnelheden) de bedekking van Doorgroeid fonteinkruid terugvalt tot oude waarden, terwijl kranswier (Chara) in staat is om de behaalde 'terreinwinst' in ongunstige jaren gedeeltelijk vast te houden. In hoeverre dit alleen voor het slibrijke Markermeer opgaat, of ook voor andere meren verdient nader onderzoek, evenals de processen die hiervoor verantwoordelijk zijn.

- Aanbevolen wordt om waterkwaliteitsmetingen niet alleen in de vaargeulen uit te voeren, maar ook boven waterplantenvelden. Aan de hand van deze informatie kunnen ecologische ontwikkelingen beter begrepen worden;

- Voor de voorspelling van de vegetatie-ontwikkeling in het Hoornsche Hop en andere soortgelijke diepere delen van meren is het van belang om meer inzicht te krijgen in de oorzaken van de grote jaarlijkse variatie in bedekking van Doorgroeid fonteinkruid;

- De filtratiesnelheid van Quagga-mosselen is onbekend. Om deze reden kunnen geen betrouwbare schattingen gemaakt worden van de filtratiecapaciteit van deze soort. Gezien de sterke toename van Quagga-mosselen (en afname van de Driehoeksmossel) zijn deze gegevens wel nodig voor een goede berekening van de filtratiecapaciteit van de gehele mosselpopulatie.

- Het belang van brasems (en andere bodemwoelende vissen) op de vestiging en consumptie van mosselen dient beter in beeld gebracht te worden;

- In bredere zin wordt aanbevolen om een methodiek op te zetten waarmee belangrijke ecosysteem variabelen met elkaar in verband worden gebracht en gekwantificeerd. Dit betreft een integrale, kwantitatieve methodiek voor de waterbeweging, slib, nutriënten en algen, lichtklimaat, macrofyten, mosselen en vissen (effect-keten model). Dit model kan worden ontwikkeld op basis van Delft3D, UITZICHT en HABITAT.

9 Literatuurlijst

Bakema, A.H. 1988. Empirische lichtmodellering voor een aantal Nederlandse meren. Rapport Waterloopkundig laboratorium T387.

Harezlak, V. & H. Los, in prep. Nutriëntbalansen en waterkwaliteit van het IJsselmeer; de periode 1980 - 2010. Rapport Deltares.

Hutchinsons G.E., 1975. A Treatise on Limnology. Volume III, Limnological Botany. John Wiley and Sons, New York.

Lammens, E.H.R.R., E.H. van Nes, W.M. Mooij (2002) Differences in the exploitation of bream in three shallow lake systems and their relation to water quality. Freshwater Biology 47: 2435-2442.

Mandemakers, J. 2013. The impact of suspended sediments and phosphorous scarcity on zebra mussel and Quagga mussel growth. Master thesis University Utrecht/NIOO-KNAW Wageningen.

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

Noordhuis, R. & P. Boderie 2011. Trends en ontwikkelingen in ecologie en waterkwaliteit van het Eemmeer. Deltares rapport.

Noordhuis, R., 2010. Ecosysteem IJsselmeergebied: nog altijd in ontwikkeling. Trends en ontwikkelingen in water en natuur van het Natte Hart van Nederland. Rijkswaterstaat Waterdienst, Lelystad.

Noordhuis, R., 2007. Ontwikkelingen in de aquatische ecologie van het Zwarte Meer. RSW RIZA rapport 2007.007.

Rip, W. 2007. Cyclic state shifts in a restored lake. Proefschrift Wageningen Universiteit.

Sarpe, D., L.N. de Senerpont Domis, S.A.J. Declerk, E. van Donk & B. Ibelings, in prep. On the consequences of re-oligotrophication of a large shallow lake for life history of Daphnia. Submitted to Inland Waters.

Scheffer M., 1998. Ecology of shallow lakes. Kluwer Academic Publishers.

Spence D.H.N., 1982. The zonation of plants in freshwater lakes. Advances in Ecological Research 12: 37-124.

Van Berkum N., 2012. Handreiking Waterplanten maaibeheer. Waterdienst, Lelystad.

Van den Berg, M., M. Koolen, H. Coops, 2001. Maaien van waterplanten in het Veluwemeer. Onderzoek naar methoden en effecten. Eindrapport. Werkdocument 2001.001X, RIZA Lelystad.

Van den Berg M.S., W. Joosse, H. Coops, 2003. A statistical model predicting the occurrence and dynamics of submerged macrophytes in shallow lakes in The Netherlands. Hydrobiologia 506-509: 611-623.

Van Geest, G. & R. Noordhuis, 2013. Ecosysteemontwikkeling in het Hoornse Hop. Rapport Deltares