



Hoogheemraadschap van
Rijnland

Waterkwaliteitsverandering in relatie tot *Dreissena*

Implicaties voor beleid van het
hoogheemraadschap van Rijnland



Droge voeten, **schoon** water



Hoogheemraadschap van
Rijnland



**Waterkwaliteitsverandering in
relatie tot de aanwezigheid
van *Dreissena* mosselen
Implicaties voor beleid**

Archimedesweg 1
postadres:
postbus 156
2300 AD Leiden
telefoon (071) 3 063 063
telefax (071) 5 123 916

CORSA nummer: 15.053226
versie: definitief
auteur: Marloes van der Kamp,
Bart Schaub, Bruce Michielsen,
Frank van Schaik, Johan
Oosterbaan & Harm Gerrits
oplage: 15
datum: 02-07-2015



Managementsamenvatting

Aanleiding

In de Rijnlandse boezem wordt het water opvallend helder. Dit verschijnsel trad ook op in rijkswateren. Daar was de toename in helderheid te verklaren door de komst van een nieuwe mosselsoort, de quaggamossel. Deze filtert het water en maakt het water hierdoor helder. Het is belangrijk de mogelijke opkomst van de quaggamossel bij Rijnland te onderzoeken. Enerzijds omdat de helderheid van het water een cruciale factor is bij het ecologische herstel en de beleving van water (zwemwater). Anderzijds vanwege signalen uit Amerika dat de quaggamossel grote gevolgen kan hebben voor de waterkwaliteit en het waterbeheer. De soort veroorzaakte hier door aangroei aan kunstwerken en leidingen verstoppingen en leidde tot het uitsterven van andere soorten. Het is onduidelijk of de quaggamossel in de Rijnlandse boezem de veroorzaker is van de toegenomen helderheid en of er soortgelijke effecten zoals in Noord-Amerika optreden.

De quaggamossel

De quaggamossel is een zogenaamde invasieve exoot, afkomstig uit het Zwarte Zeegebied. De mossel is vermoedelijk via ballastwatertransport in het Hollandsch Diep terechtgekomen. Vandaaruit

verspreidde hij zich over de grote

rivieren door Nederland. De quaggamossel verdringt tijdens zijn komst vaak zijn "zusje" de driehoeksmossel, die sinds 1800 in Nederland aanwezig is. De quaggamossel is een zogenaamde "filterfeeder" en filtert algen en zwevend stof uit het water, waardoor de helderheid van het water toeneemt. Helder water is een cruciale factor voor ecologisch herstel. Door toename van helderheid kunnen waterplanten weer gaan groeien en kan de vispopulatie zich mogelijk herstellen. In de rijkswateren is uitgebreid onderzoek gedaan naar de opkomst en effecten van de quaggamossel. Door de toename van helderheid gingen waterplanten weer groeien en veranderde de visstand. De effecten op blauwalgen waren niet eenduidig. Ook in de wetenschappelijke literatuur is er discussie over het effect op blauwalgen.



Figuur 1: De quaggamossel.

Onderzoek

In dit onderzoek hebben we de volgende zaken onderzocht:

- In welke mate hebben we in Rijnland te maken met een invasieve verspreiding van de quaggamossel?
- Welke ontwikkeling voor de waterkwaliteit en het waterbeheer voorzien we de komende 5-10 jaar?
- Wat is de beleidsmatige implicatie van deze ontwikkeling?

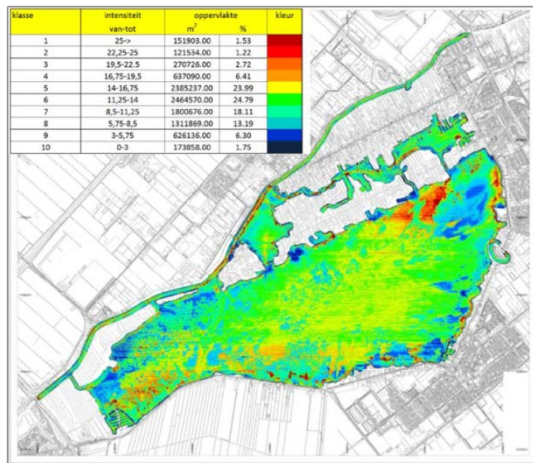
De onderzoeksvragen zijn in het rapport verder uitgewerkt.

In het onderzoek is een uitgebreide ruimtelijke kartering van een aantal plassen gemaakt. Veldbezoeken zijn gedaan en meldingen van Rijnlandse watersysteembeheerders zijn verzameld. Met behulp van een computermodel en literatuur is geprobeerd de situatie in de Westeinderplassen te begrijpen. Daarnaast heeft Rijnland op 23 april 2015 een landelijke kennisdag gehouden waar met experts gediscussieerd is over de effecten van de quaggamossel voor het waterbeheer. Resultaten van deze kennisdag zijn meegenomen in dit rapport.

Resultaten

Waterkwaliteit in relatie tot de invasie van quaggamosselen

Uit een analyse van waterkwaliteitsgegevens blijkt dat een deel van de Rijnlandse boezemwateren veel helderder zijn dan op basis van nutriëntenconcentraties (als voedselbron voor algen) verwacht zou worden. In deze wateren blijken algenconcentraties opmerkelijk laag. Dit wijst erop dat algen actief uit het water worden gefilterd, door bijvoorbeeld de quaggamossel. Dit verschijnsel treedt als eerste op in de Westeinderplassen en breidt zich in de periode 2006 – 2015 uit over de wateren in het centrum van de boezem (Ringvaart). Veldinventarisaties met innovatieve sonar-methoden en duikonderzoek laten in een aantal boezemmeren uitgebreide velden en banken van quaggamosselen zien. Aangetroffen dichtheden sluiten aan bij het beeld in



de rijkswateren. Modelberekeningen laten zien dat de huidige helderheid in de Westeinderplassen alleen begrepen kan worden als er inderdaad zoveel quaggamosselen aanwezig zijn. Gebiedsbeheerders melden dat ze de quaggamossel in de grote boezemwateren aantreffen maar niet in de haarvaten van de boezem. Ook wordt er aankleving aan kunstwerken gemeld. Problemen door verstoppingen zijn nog niet opgetreden. Bovenstaande bevindingen tonen aan dat het zeer waarschijnlijk is dat de quaggamossel in Rijnlands gebied verantwoordelijk is voor de toename van de helderheid van het water.

Figuur 2: Mosselbanken in de Westeinderplassen. Rood: Aanwezig. Blauw: afwezig.

Potentiële toekomstige situatie

Op basis van de ontwikkelingen in de rijkswateren, verwachten we een verdere verspreiding en uitbreiding van de quaggamosselpopulatie in het Rijnlands gebied in de komende 5 tot 10 jaar. Door zijn filterende werking, zal het water (nog) helderder worden. Dit zal zijn effect hebben op vis en waterplanten. Doordat er meer licht op de bodem komt en nutriënten ruim beschikbaar zijn, kan er een (overmatige) waterplantenontwikkeling ontstaan. Daarnaast zullen zoöplanktonconcentraties afnemen door een directe concurrentie van quaggamosselen met zoöplankton om algen. Hierdoor zal ook de dichtheid van de vispopulatie die zich normaal met zoöplankton voedt dalen, waardoor de visstand kan afnemen en de diversiteit van soorten kan veranderen. De generieke trend is dat de visstand verandert naar een plantminnende gemeenschap (visgemeenschap die voor zijn levenscyclus mede-afhankelijk is van water- en oevervegetaties). Naar verwachting zal het aantal te vangen brasems afnemen. De effecten op blauwalg zijn onzeker en afhankelijk van de algensoortsamenstelling. De precieze omvang van de verandering in waterkwaliteit door quaggamosselen is moeilijk in te schatten. Dit komt vooral doordat het onzeker is of de quaggamosselpopulatie stabiel blijft of plotseling in kan storten. Bij een instortende populatie kunnen de hoge aanwezige nutriëntenconcentraties zorgen voor algengroei en een afname van het doorzicht. De helderheid kan hierdoor slechts tijdelijk zijn.

Implicaties voor beleid

Experts zijn het er niet over eens of de introductie van de quaggamossel positief of negatief is voor het waterbeheer en de waterkwaliteit. Aan de ene kant biedt de quaggamossel kansen voor ecologisch herstel terwijl er ook risico's zijn. Hieronder zijn de implicaties voor de beleidsprogramma's Schoon en gezond water en Voldoende water weergegeven en de gevolgen voor recreanten.

Beleidsprogramma Schoon en gezond water: KRW

- De quaggamossel heeft grote gevolgen voor het doelbereik van de Kaderrichtlijn Water (KRW). Heldere wateren met waterplanten worden positiever beoordeeld, terwijl het niet duidelijk is of een situatie met quaggamosselen wel tot doelbereik zal leiden.
- Doordat het onduidelijk is welke effecten de quaggamossel precies heeft op waterkwaliteit, is het onzeker wat de effectiviteit is van waterkwaliteitsmaatregelen.
- Door een toename aan helderheid kan het beeld ontstaan dat ons doel voor de waterkwaliteit bereikt is en er geen maatregelen meer genomen hoeven te worden. Dit terwijl de ontstane situatie juist risico's met zich meebrengt en evengoed vraagt om het nemen van maatregelen.

Beleidsprogramma Voldoende water:

- De aangroei van mosselen op kunstwerken kan leiden tot problemen met doorstroming en tot een verhoging van de onderhoudskosten.
- Explosieve plantengroei kan leiden tot beperkte doorstroming met wateroverlast als potentieel gevolg. Met name in boezemkanalen zou dit tot grote problemen kunnen leiden.

Recreatie:

- Aangroei van mosselen op steigers, boten, etc., en toenemende waterplanten kunnen overlast veroorzaken voor watersporters. Zwemmers kunnen letsel oplopen vanwege scherpe schelpen.
- Hengelaars en beroepsvissers kunnen last hebben van verandering in de visstand. Hengelaars vissen met name graag op vissen kenmerkend voor troebel water.
- Externe partijen willen de quaggamossel gebruiken als inzet tegen de bestrijding van blauwalg. De effecten op blauwalg zijn echter erg onzeker.

Conclusie

Rijnlandse boezemwateren worden helderder door de quaggamossel. De mossel zal zich waarschijnlijk verder verspreiden en ook nog in dichtheden uitbreiden. Of de komst van de quaggamossel als positief gezien moet worden, is niet duidelijk. Aan de ene kant biedt de quaggamossel kansen voor ecologisch herstel door toename van helderheid. Aan de andere kant geeft het ontstaan van helder voedselrijk water risico's door een potentiële afname van de biodiversiteit, ontstaan van een instabiel ecologisch systeem dat bij massamortaliteit weer troebel kan worden en overlast door aangroei aan kunstwerken met als gevolg minder doorstroming van duikers en gemalen.

Aanbevelingen

Gezien de grote potentiële gevolgen en de grote mate van onzekerheid is het raadzaam om:

- de ontwikkeling van de quaggamossel in het Rijnlands watersysteem structureel te gaan volgen. Daarbij is het van belangrijk om zowel grip te krijgen op de verdere verspreiding als op de ontwikkeling van de mosselpopulatie (conditie & leeftijdsopbouw).
- in te blijven zetten op bronmaatregelen (het verminderen van nutriënten), omdat bij massamortaliteit veel nutriënten opnieuw leiden tot troebel water.
- waakzaam te zijn omtrent problemen met doorstroming (aangroei van mosselen en explosieve plantengroei) en hier rekening mee te houden in beleid voor beheer en onderhoud en het ontwerp van het watersysteem.
- landelijke (kennis)ontwikkelingen op het gebied van de quaggamossel te stimuleren en te volgen.
- op korte termijn een beeldvormingsvisie en een communicatieboodschap te ontwikkelen, zodat het helder is hoe Rijnland omgaat met de quaggamossel in zijn beheergebied, en waarom waterkwaliteitsmaatregelen nog steeds zinvol zijn.



INHOUDSOPGAVE

Managementsamenvatting.....	3
1. Inleiding	9
1.1 Achtergrond.....	9
1.2 Opgave voor de waterbeheerder.....	9
1.3 Onderzoeksvragen.....	9
1.4 Gevolgde aanpak.....	10
1.5 Leeswijzer	10
2. Literatuurstudie quaggamossel en effecten	11
2.1 Oorsprong en verspreiding	11
2.2 Levenscyclus.....	11
2.3 Habitatieisen en tolerantie.....	13
2.4 Effecten	14
2.4.1 Effecten op de ecologie en waterkwaliteit	14
2.4.2 Sociaaleconomische effecten	19
3. Waterkwaliteitsverandering en verspreiding van mosselen.....	21
3.1 Algemeen beeld waterkwaliteitsverandering.....	21
3.2 Verspreiding van quaggamosselen	24
3.3 Discussie en conclusie.....	25
4. Case study Westeinderplassen	27
4.1 Korte gebiedsbeschrijving.....	27
4.2 Analyse van beschikbare data	28
4.3 Monitoring Westeinderplassen.....	32
4.3.1 Potentiële verspreiding	32
4.3.2 Ruimtelijke verspreiding.....	33
4.3.3 Populatieopbouw en grootte bepaling	35
4.3.4 Doorvertaling monitoringsgegevens naar filtreertijd.....	35
4.3.5 Discussie monitoringsonderzoek.....	36
4.4 Modelstudie Westeinderplassen	38
4.4.1 Algemene aanpak	38
4.4.2 Omrekening monitoringsgegevens naar model input.....	38
4.4.3 Kalibratie en systeembegrip	40
4.4.4 Scenarioanalyse.....	42
4.4.5 Discussie en conclusie modelstudie	44
4.5 Discussie en conclusie.....	45
5. Implicaties voor beleid en aanbevelingen	47
5.1 Implicaties.....	47
5.1.1 Beleidsprogramma Schoon en gezond water (KRW).....	47
5.1.2 Beleidsprogramma Voldoende water	48
5.1.3 Recreatie	48
5.2 Aanbevelingen	49
6. Conclusies.....	51
7. Referenties	53
Dankwoord	58
BIJLAGEN	59



1. Inleiding

1.1 Achtergrond

In de Rijnlandse boezem wordt er melding gemaakt van een opvallende toename van de helderheid in het oppervlaktewater. Het water wordt helder door een afname aan algen. Deze afname van algen is niet te verklaren door een verlaging van nutriëntenconcentraties als voedselbron voor de algen. Er ontstaat een situatie met helder voedselrijk water, terwijl er op basis van de nutriëntenconcentraties een situatie met troebel voedselrijk water verwacht zou worden.

Eenzelfde soort verschijnsel trad op in verschillende rijkswateren (zoals het IJsselmeer). Daar was de toename in helderheid te verklaren door de komst van de invasieve exoot de quaggamossel (*Dreissena rostriformis bugensis*) [24] die in 2006 voor het eerst in Nederland was waargenomen [1]. De quaggamossel behoort tot de familie van de *Dreissenidae* en is sterk verwant aan de driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) die al in 1826 in Nederland zijn intrede deed en al eerder voor een toename aan doorzicht zorgde [3]; [4]; [5].

Op het moment is het onduidelijk of de toename in helderheid in het Rijnlandse beheergebied eveneens te verklaren is door de komst van de quaggamossel. Ook is er onduidelijkheid over de korte en lange termijn effecten als gevolg van de komst van de quaggamossel op de waterkwaliteit en op de in het watersysteem aanwezige infrastructuur.

Voor Rijnland is het belangrijk om dit te onderzoeken, aangezien er vanuit de literatuur bekend is dat de aanwezigheid van de quaggamossel grote gevolgen en risico's kan hebben voor de waterkwaliteit en het waterbeheer. De soort gaf meerdere problemen in Noord Amerika waar zij leidde tot de extinctie van soorten [2] en verstoppingen veroorzaakten in kunstwerken met hoge kosten als gevolg [4]; [18]. Op het moment is het onduidelijk of deze effecten ook in het beheergebied van Rijnland optreden.

1.2 Opgave voor de waterbeheerder

Het hoogheemraadschap van Rijnland (hierna genoemd: Rijnland) staat voor de opgave om de waterkwaliteitsdoelstellingen geformuleerd in de Kaderrichtlijn Water (KRW) te realiseren. Het streven is een terugkeer naar een helder, plantenrijkwater met een grote rijkdom aan soorten. Om dit te bereiken wordt er veelal ingezet op maatregelen om helder water te realiseren (zie paragraaf 2.4.1.1). De quaggamossel lijkt hier nu op in te spelen. Inzicht op de mogelijke invloed van de quaggamossel op de waterkwaliteit, geeft de mogelijkheid om de implicaties in te schatten en bij te sturen op de waterkwaliteit door een bewuste keuze in inrichtings- en beheermaatregelen. Daarnaast zou de quaggamossel implicaties kunnen opleveren voor andere facetten van het waterbeheer, zoals het garanderen van doorstroming voor waterveiligheid.

1.3 Onderzoeksvragen

In dit rapport worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

- Wat zijn de recente veranderingen in de waterkwaliteit?
- Hoe is de verspreiding van de quaggamossel in het beheergebied van Rijnland?
- Zorgt de quaggamossel in de Rijnlandse boezem en enkele polderplassen voor een toename in helderheid/ het "verschijnsel" helder voedselrijk water?
- Welke (korte en lange termijn) effecten heeft en kan de quaggamossel hebben op de waterkwaliteit en op de in het watersysteem aanwezige kunstwerken in het beheergebied van Rijnland?
- Wat zijn de implicaties voor beleid?

De verspreiding en waterkwaliteitsveranderingen worden besproken voor Rijnlands watersysteem en meer in detail voor de Westeinderplassen als case studie waar de afgelopen tijd onder andere prominente waterkwaliteitsveranderingen hebben optreden.

1.4 Gevolgde aanpak

In dit onderzoek zijn literatuur-, meet- en monitoringsgegevens gecombineerd met een modelstudie. Daarnaast zijn interviews gehouden met experts en meldingen van Rijnlandse watersysteembeheerders verzameld. Een uitwerking van deze aanpak is te vinden in bijlagen 1,2 en 3.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt uitleg gegeven over de quaggamossel en de bekende effecten op basis van een literatuurstudie. In hoofdstuk 3 wordt gekeken naar de waterkwaliteitsverandering op de Rijnlandse boezem en naar de aan- of afwezigheid van mosselen. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de Westeinderplassen als case studie. De waterkwaliteitsverandering, de verspreiding van mosselen (uitgebreid monitoringsonderzoek) en de (potentiële) effecten worden verkend (modelstudie). Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de implicaties voor beleid en geeft aanbevelingen. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies. De literatuurverwijzingen bevinden zich in hoofdstuk 7.

2. Literatuurstudie quaggamossel en effecten

2.1 Oorsprong en verspreiding

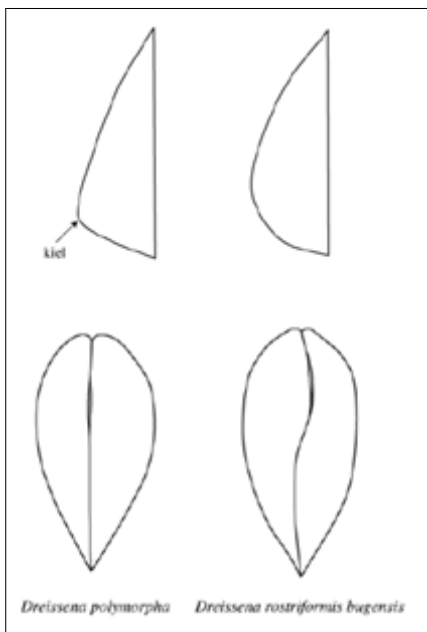
De quaggamossel (Andrusov, 1897) (*Dreissena rostriformis bugensis*) is een invasieve exoot, afkomstig uit het Ponto-Caspische gebied, die sinds zijn intrede in het Hollandsch Diep in 2006 [1] meer en meer wateren in Nederland koloniseert en domineert [2]. De quaggamossel behoort tot de familie van de *Dreissenidae* en is sterk verwant aan de driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) die rond 1800 in Nederland zijn intrede deed en al eerder voor een toename aan doorzicht zorgde [3]; [4]; [5].

De quaggamossel is zeer waarschijnlijk met ballastwater in Nederland terechtgekomen [6]; [10]. De hoge reproductiesnelheid, zwemmende larven en hechting van mosselen aan scheepswanden zorgt ervoor dat het leefgebied van de mossel snel uitbreid via de grote rivieren. Andere paden van verspreiding zijn: boottransport over land, vervoer van bagger, vogels en uitzetting. [6] verwacht dat de quaggamossel uiteindelijk in het merendeel van de Nederlandse wateren voor zal komen, behalve op de hoge zandgronden en in de zoute polders. De snelheid waarmee dit gebeurt hangt af van de connectiviteit van de wateren [2]. De quaggamossel verdringt tijdens zijn opmars vaak de driehoeksmossel [7]; [8]. Zo bestaat de *Dreissena* populatie in het Haringvliet vier tot vijf jaar na vestiging van de quaggamossel voor >99 % uit quaggamossel mosselen [9].

2.2 Levenscyclus

De quaggamossel wordt maximaal 4 cm groot en heeft een vergelijkbaar kleurpatroon als de driehoeksmossel [2]. De quaggamossel is te onderscheiden van de driehoeksmossel door de schelpvorm (Figuur 3 en 4):

- De onderrand van de beide schelpelften is gebogen bij de quaggamossel terwijl hij bij de driehoeksmossel vrij recht is.
- De overgang tussen de ventrale en dorsale zijde van beide schelpelften is afgerond bij de quaggamossel terwijl hij bij de driehoeksmossel hoekig is.
- De quotiënt diameter/hoogte is bij de quaggamossel <1, en bij de driehoeksmosselen ± 1 [11].

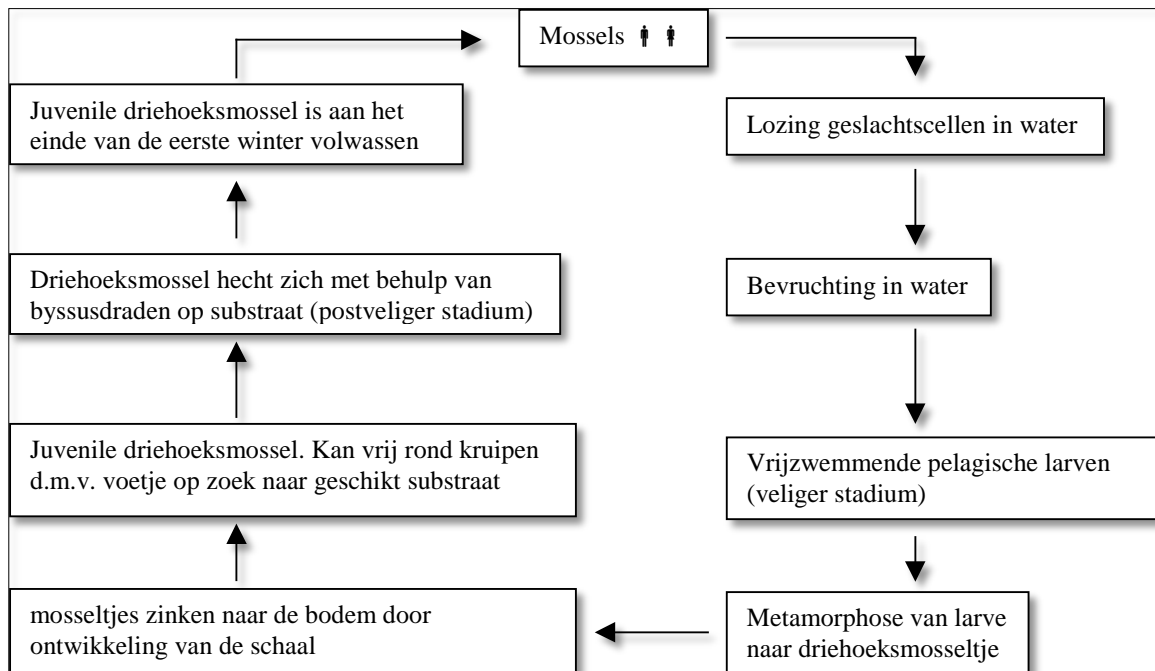


Figuur 3: Boven: Overgang tussen de ventrale en dorsale zijde. Onder: Onderrand van beide schelpelften. Links: Driehoeksmossel. Rechts: quaggamossel [11].



Figuur 4: Onderscheid tussen de quaggamossel (rechts) en de Driehoeksmossel (links)[66].

Quaggamosselen worden in Noord-Amerika maximaal 4 cm en zijn na 1 jaar geslachtsrijp. Quaggamosselen verspreiden ei- en zaadcellen in de waterkolom waarna externe bevruchting plaatsvindt en meerdere planktonische levensstadia doorlopen worden. Reproductie vindt plaats in Nederland in de periode maart t/m april. Er wordt vermoed dat er in Nederland 2 periodes plaatsvinden waarin massale reproductie plaatsvindt. Eén in maart/april en één in augustus/september [A]. Vrouwelijke quaggamosselen kunnen duizenden eitjes per keer uitscheiden.



Figuur 5: Schematische levenscyclus van de driehoeksmossel en de quaggamossel [68].

De planktonische larven verplaatsen zich door de waterkolom. Juvenile quaggamosselen hechten zich vervolgens aan hard substraat zoals, beton, steen, hout, en andere "harde" materialen. Hechting wordt mogelijk gemaakt door een gespecialiseerd orgaan dat byssusdraden produceert. Adulte *Dreissena* verplaatsen zich door te hechten aan vectoren zoals boten, drijfhout e.d. [2].

De quaggamossel is een "filterfeeder" en filtert o.a. fytoplankton en ander organisch materiaal uit de waterkolom. Het niet geconsumeerde deel wordt uitgescheiden als pseudofeces [12]. De filtratiecapaciteit is afhankelijk van meerdere factoren zoals; stroomsnelheid van water, algenc concentratie- en samenstelling, temperatuur, zuurgraad, concentratie slibdeeltjes en mosselgrootte [13]; [14]. De variatie in filtratiecapaciteit per mossel is erg groot. Waarden variëren van 1 l/d [15] tot 7,4 l/d [16].

2.3 Habitatieisen en tolerantie

Quaggamosselen stellen specifieke voorwaarden aan hun leefomgeving en hebben een bepaalde tolerantie voor milieufactoren. Deze milieufactoren bepalen de habitatgeschiktheid voor de aanwezige mosselen en eveneens de mogelijkheden voor groei en verdere verspreiding.

De quaggamossel is een zoetwatermossel en komt alleen in water voor met een saliniteit onder de 4000 mg Cl/l [2]. Quaggamosselen zijn gevoelig voor zure en zuurstofloze omstandigheden. Bij een pH-waarde lager dan 6,9 [6] en zuurstofloze omstandigheden vindt massale sterfte plaats [17]. Quaggamosselen doen het beter in ondiepe dan in diepe delen van meren, wat waarschijnlijk te maken heeft met de hogere zuurstof- en algenconcentratie 's (voedselbeschikbaarheid) in de bovenste waterlaag [76].

In veel studies is de tolerantie voor milieufactoren van driehoeksmosselen met quaggamosselen vergeleken. Opvallend is dat quaggamosselen:

- zich bij lagere temperaturen kunnen reproduceren dan driehoeksmosselen [6]; [2].
- minder afhankelijk zijn van hard substraat dan driehoeksmosselen, wat ervoor zorgt dat ze een groter leefgebied kunnen bedekken [77]; [78].
- gevoelig zijn voor troebelheid, maar door een hogere filtratiecapaciteit en een lagere energetische energiebehoefte dan driehoeksmosselen toch beter aangepast zijn voor dit milieu [17].

Hierdoor kan de quaggamossel een competitief voordeel hebben ten opzichte van de driehoeksmossel en hebben ze een groter (potentieel) verspreidingsgebied. Bovenstaande tolerantiekenmerken kunnen verklarend zijn waarom quaggamosselen tijdens zijn opmars in Nederland vaak de driehoeksmossel verdringt [7]; [8]. Bijlage 4 geeft een uitgebreid overzicht van de tolerantiekenmerken van de quaggamossel.

2.4 Effecten

De aanwezigheid van quaggamosselen kan door hoge populatiedichtheden en door grote filtratiecapaciteit een groot effect hebben op de omgeving. De effecten worden in deze paragrafen beschreven.

2.4.1 Effecten op de ecologie en waterkwaliteit

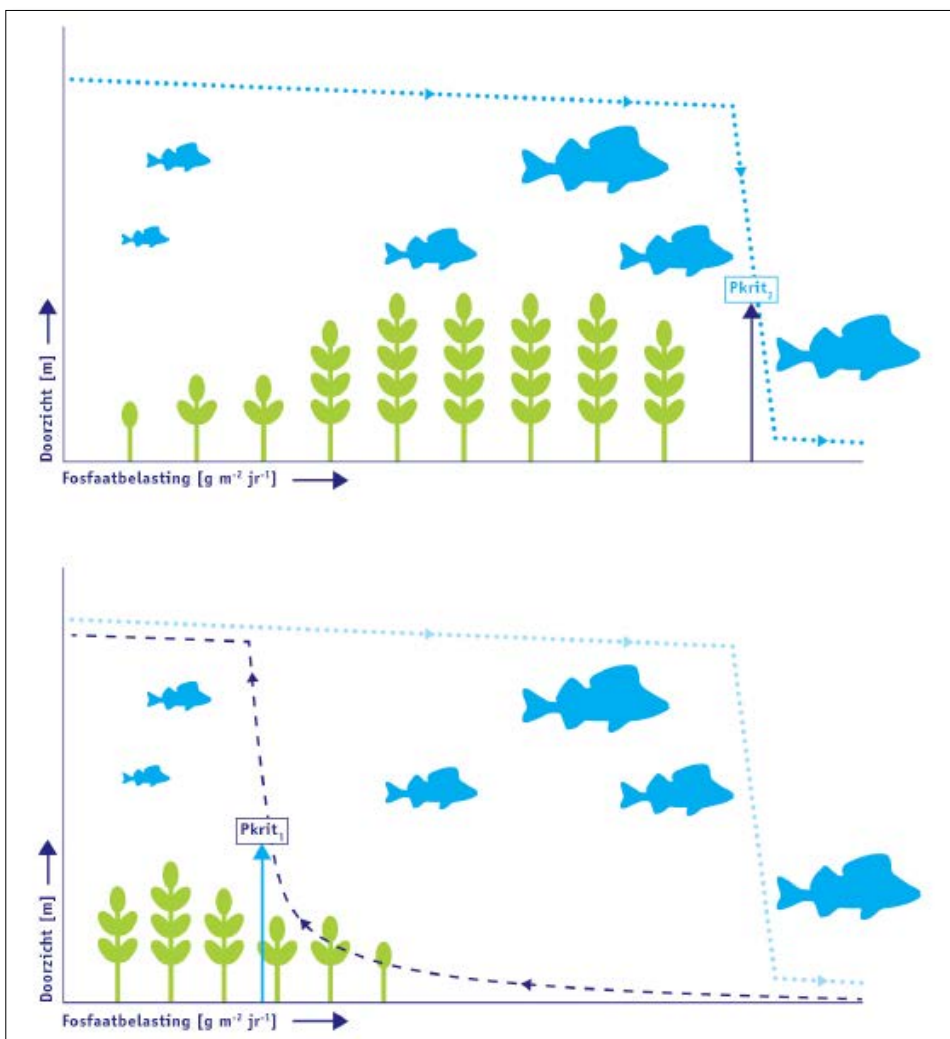
2.4.1.1 Toestanden in het watersysteem

Volgens theorie van Scheffer et al., 2001 zijn er twee alternatieve stabiele toestanden waarin de waterkwaliteit zich kan bevinden die zichzelf versterken en in stand houden:

- 1) Troebel, algenrijk water
- 2) Helder, plantenrijk water

De aanwezigheid van mosselen speelt in op de stabiliteit van deze toestanden:

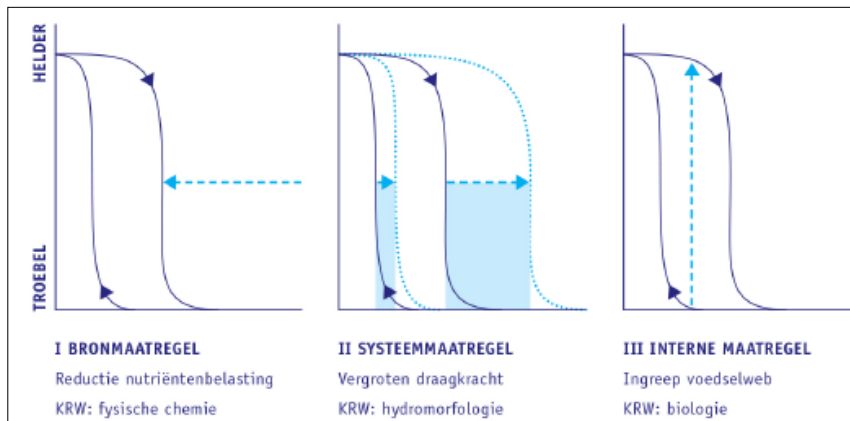
In een situatie zonder mosselen is de nutriëntenbelasting de sturende factor voor een omslag van de ene naar het andere systeem. Het omslagpunt wordt de kritische belasting genoemd. De kritische belasting om van een troebel naar een helder punt te komen is echter lager dan om van een helder naar een troebel systeem te komen: $P_{krit1} < P_{krit2}$ (Figuur 6)[20]; [21]; [67].



Figuur 6: Kritische fosfaatbelasting voor omslagpunten tussen helder plantenrijksysteem (onder) naar troebel algenrijksysteem (boven) [20].

Om van een troebel algenrijksysteem naar een helder plantenrijksysteem te komen zijn drie type interventies mogelijk (Figuur 7) [20]:

- 1) Bronmaatregelen
- 2) Systeemmaatregelen
- 3) Interne maatregelen



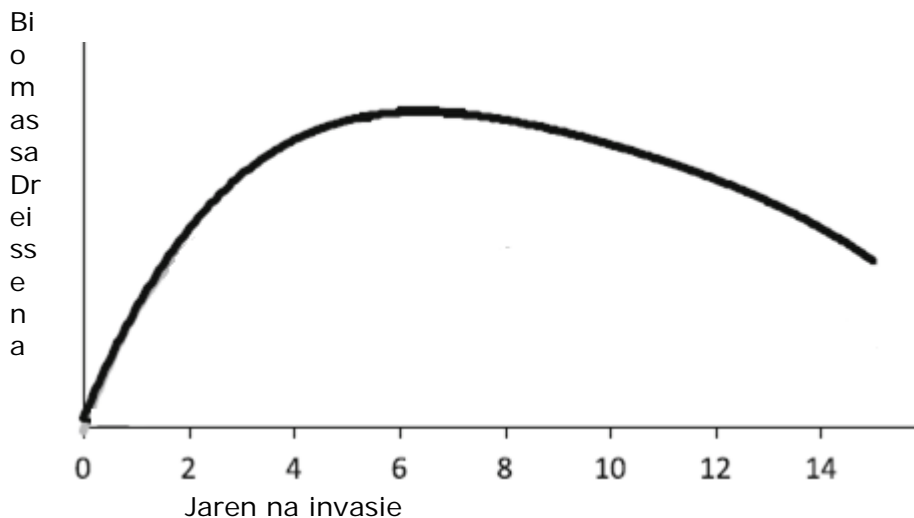
Figuur 7: Type maatregelen in relatie tot de nutriëntenbelasting en kritische grenzen [20].

Bronmaatregelen verminderen de nutriëntenbelasting, systeemmaatregelen vergroten de kritische belasting en daardoor de draagkracht van het ecosysteem en interne maatregelen grijpen in, in het voedselweb waardoor bijvoorbeeld door het wegvangen van vis een omslag van troebel naar helder kan plaatsvinden.

De invasie van de quaggamossel in grote dichtheden is vergelijkbaar met categorie III: interne maatregelen. Door voldoende algenconsumptie neemt het doorzicht toe, waardoor het water helder wordt en afhankelijk van het lichtklimaat en nutriëntenconcentratie 's in de waterbodem, waterplanten kunnen toenemen. Er ontstaat dan niet een helder, voedselarm systeem met waterplanten, maar een helder voedselrijk systeem met waterplanten.

2.4.1.2 Onvoorspelbare populatiedynamiek

De effecten van de quaggamossel op de verbetering van doorzicht (omslag naar een helder systeem) kunnen echter van tijdelijke aard zijn en zijn afhankelijk van de populatiegrootte en de populatieontwikkeling. De verwachting is dat de quaggamossel populatie zich na een periode van explosieve groei zal stabiliseren. Dit zal afhankelijk zijn van het type meer (ondiep of diep). In ondiepe meren wordt de stabilisatietijd op 9 jaar geschat [22]. Figuur 8 illustreert mogelijke populatiedynamiek van *Dreissena* (driehoeksmosselen + quaggamosselen).



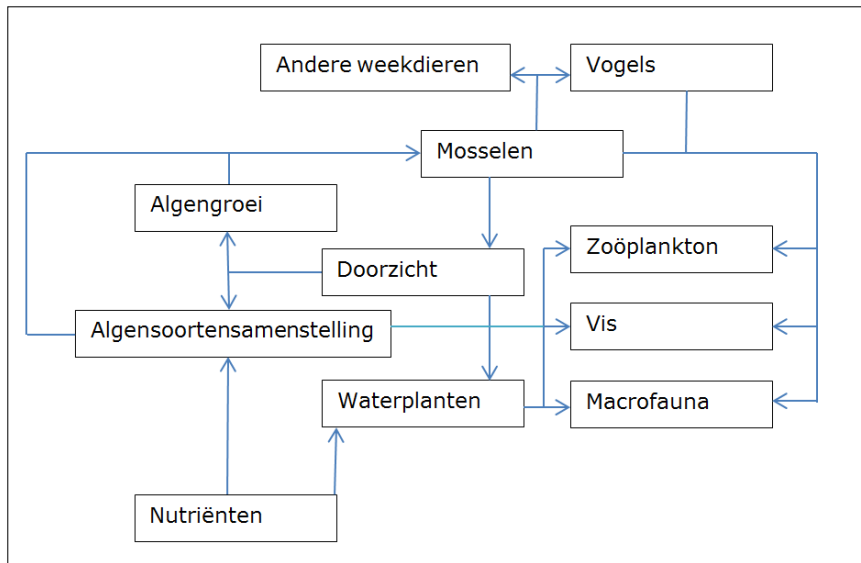
Figuur 8: Theoretisch model voor populatiedichtheid in biomassa door de tijd van *Dreissena* (aangepast van: [22]).

De populatiedynamiek is echter afhankelijk van vele factoren, waardoor een goede voorspelling met de huidige kennis niet eenvoudig is. Zo, kan tijdens perioden van zuurstofloosheid of geringe waterdiepte massamortaliteit optreden. Dit gebeurde in de Neder-Rijn in 2012 tijdens een extreem lage afvoer situatie. Herstel van de quaggamossel populatie (en dus ook effect op helderheid) trad hier pas weer na twee jaar op [23]. Daarnaast kan door lage voedselbeschikbaarheid broedval (jonge mossellarven) uitblijven [24].

De effecten op de verbetering van het doorzicht kunnen hierdoor van tijdelijke aard zijn.

2.4.1.3 Effecten in de voedselketen

In gebieden waar de quaggamossel in (hoge) dichtheden voorkomt nemen algenconcentraties af [70], neemt het doorzicht toe en neemt de voedselbeschikbaarheid voor zoöplankton en vis af [69]. Bij hoge nutriëntengehaltes kunnen waterplanten explosief gaan groeien. Deze verandering van habitat kent zijn weerga via zowel positieve als negatieve feedbackloops op zowel biologische als fysisch-chemische waterkwaliteitselementen en zal afhankelijk zijn van o.a. hydro-morfologische systeemkenmerken. Figuur 9 illustreert directe en indirecte interacties tussen voornamelijk biologische kwaliteitselementen. In de volgende paragrafen worden de relaties verder uitgewerkt.



Figuur 9: Directe en indirecte relaties tussen waterkwaliteitselementen.

Bij ineenstorting of afname van de mosselpopulatie vindt er geen begrazing meer plaats op de algen. Hierdoor kan er bij hoge nutriëntenconcentraties weer een voedselrijk en algen gedomineerd (troebel) watersysteem ontstaan. Bij mortaliteit komen de door mosselen opgenomen nutriënten weer vrij in de waterkolom. Slechts als de mosselen "geoogst" worden, worden de nutriënten uit het watersysteem verwijderd [29]. De onvoorspelbare populatiedynamiek van de quaggamossel kan door zijn tijdelijkheid een risico vormen voor de waterkwaliteit.

De onderstaande secties geven een kort overzicht van de mogelijke directe en indirecte effecten optredend in Nederland. Bijlage 5 geeft daarnaast een beknopt overzicht van de in de literatuur bekende ecologische en sociaaleconomische effecten. Studies vanuit de VS zijn in de bijlage meegenomen. Door een verschil in systeem tussen de VS en Nederland is het moeilijk te voorspellen of dezelfde effecten ook in Nederland zullen optreden. De effecten kunnen namelijk erg systeemafhankelijk zijn en daardoor moeilijk interpoleerbaar naar andere gebieden [A].

2.4.1.4 Toename aan doorzicht

De invloed van de quaggamossel op de toename in helderheid is op een aantal plekken in Nederland goed te zien. In o.a. het IJsselmeergebied zijn dichtheden van 3000 mosselen/m² gemeten [71]; [72]. Hierdoor wordt dit gebied vaker dan 1x per dag gefilterd door de mosselen [24].

Mosselen beïnvloeden het doorzicht op twee manieren:

- Mosselen filteren zwevend stof en prederen op fytoplankton, waardoor algenconcentraties en concentraties zwevend stof afnemen.
- Het onverteerde materiaal wordt uitgescheiden als pseudofeces en bezinkt. Sedimentatiesnelheden nemen toe bij de aanwezigheid van mosselen [25].

2.4.1.5 Nutriëntenhuishouding

Quaggamosselen veranderen de nutriëntenhuishouding van het systeem. Door opname van nutriënten in algen, worden nutriënten door mosselen verplaatst van de waterkolom naar de waterbodem. Deze flux van de waterkolom naar de waterbodem wordt ook wel benthificatie genoemd [26]. Daarnaast neemt door de aanwezigheid van quaggamosselen de opgeloste nutriënten fosfaat en nitraat toe. Dit komt doordat algengroei door begrazing door mosselen gelimiteerd wordt en de algen hierdoor minder

nutriënten op kunnen nemen [27]. Dit wordt o.a. waargenomen in een “enclosure” experiment in het Tjeukemeer [79].

2.4.1.6 Algensamenstelling

Quaggamosselen kunnen de soortssamenstelling van algen beïnvloeden. In het IJsselmeergebied, Tjeukemeer en de stadsvijvers linievijver in Breda en Fort de Bilt in Utrecht had dit een positief effect op de soortssamenstelling en biomassa. De concentratie blauwalgen nam af. Echter in 2014 werd er in het Eemmeer blauwalgenbloei waargenomen gekoppeld aan de intrede van quaggamosselen. In de wetenschappelijke literatuur is geen consensus over de effecten van de quaggamossel op de algensamenstelling en specifiek de blauwalg. Sommige onderzoeken tonen aan dat quaggamosselen blauwalgen consumeren. Andere studies tonen aan dat quaggamosselen selectief grazen en blauwalgen vroegtijdig uitspuwen. Door een competitief voordeel wordt de groei van blauwalgen extra gestimuleerd [28]; [29]. De effecten die optreden lijken erg locatie specifiek en afhankelijk te zijn van de soortensamenstelling (blauwalg) en concentratie en nutriëntenbelasting. In het Eemmeer leek een waargenomen blauwalgenbloei te wijten aan een geringe hoeveelheid broedval (jonge mosselen) na eerdere jaren van hoge dichtheid mosselen [24].

2.4.1.7 Macrofauna

In het rivierengebied en geïsoleerde plassen is onderzoek gedaan naar de impact van quaggamosselen op de biodiversiteit. De aanwezigheid van de quaggamossel lijkt kansen te bieden voor dichtheid en diversiteit van macrofauna. Met name kreeftachtige en krabben prederen op mosselen en kunnen profiteren van deze toegenomen voedselvoorziening [2]. Het is echter wel het vermelden waard dat de toename in macrofauna soorten ook veelal exoten zijn.

Voor de inheemse schilders- en zwanenmossel (*Unionidae*) vormt de aanwezigheid van de quaggamossel een bedreiging. De quaggamossel hecht zich het liefst aan hard substraat. Zo worden *Unionidae* overgroeid door de quaggamossel, wat ze remt in groei en in conditie. Mede hierdoor is er een verdere afname van de *Unionidae* populatie te verwachten. Inheemse *Unionidae* vervullen een belangrijke functie in het ecosysteem [2]. Zo is de beschermde bittervoorn (*Rhodeus amarus*) voor zijn voortplanting afhankelijk van deze mosselen.

2.4.1.8 Vegetatie en vis

Door een directe concurrentie van zoöplankton en mossels om fytoplankton nemen de zoöplankton concentraties af. Hierdoor verandert ook de vispopulatie die normaal op zoöplankton predeert. De visgemeenschap verandert in het IJsselmeergebied naar een limnofiele plantminnende gemeenschap [24]. Daarnaast wordt door een toename aan helderheid de watervegetatieontwikkeling gestimuleerd. In alle meren in het IJsselmeergebied is de watervegetatiebedekking de afgelopen 20 jaar toegenomen. De snelheid van deze ontwikkeling en de soortensamenstelling is afhankelijk van bodemsamenstelling, nutriëntenconcentraties, doorzicht en waterdiepte [30]. De omvang van de verschuiving in visstand en de ontwikkeling van waterplanten ten gevolge van de komst van de quaggamossel is onbekend. Waarschijnlijk zal door een afname aan fyto- en zoöplankton de totale biomassa aan planktivore vis (leeft van fyto- en zoöplankton) afnemen en door een verwachte toename aan waterplanten kan er een verandering naar een plantminnende visgemeenschap (vis die voor zijn levenscyclus afhankelijk is van water- en oevervegetaties) met soorten zoals blankvoorn (*Rutilus rutilus*) en baars (*Perca fluviatilis*) ontstaan [24]. Een effect op benthivore vis is alleen te verwachten bij hoge quaggamossel dichtheden [2]. In zijn algemeenheid is het een risico dat door intrede van de quaggamossel de totale visbiomassa afneemt.

2.4.1.9 Vogels

In het IJsselmeergebied werd in het kader van de ANT-studie (Autonome Neergaande Trends) onderzoek gedaan naar de waterkwaliteit en het functioneren van het totale ecosysteem. Driehoeksmosselen maakten sinds de afdamming van het IJsselmeer (28 mei 1932) een belangrijk onderdeel uit van het ecosysteem, met name als voedsel door vogels. Deze relatie was erg sterk: de aantallen vogels gingen op en neer afhankelijk van de mosselpopulaties. De mosselpopulaties fluctueerden als gevolg van wisselende waterkwaliteit (eutrofiëring, chemische verontreiniging, e.d.). In de jaren '80 verbeterde de waterkwaliteit. Als gevolg van dalende fosfaatwaarden ging de conditie van de mossels achteruit. In het Markermeer droeg slibvorming bij aan deze achteruitgang. In 2007 deed de quaggamossel zijn intrede. Hoewel de quaggamossel het beter doet dan de driehoeksmossel is de conditie van de quaggamossel allerm minst goed. De totale biomassa *Dreissena* zijn toegenomen. Vogel populaties (duikeenden zoals kuifeend, nonnetje) laten echter geen toename zien als gevolg van de komst van de quaggamossel. quaggamosselmosselen zijn door de grote hoeveelheden schelp(kalk), kwalitatief geen goed voedsel, en vogels lijken uit te wijken naar andere gebieden met een grotere diversiteit en abundantie aan slakjes en kreeftjes [24].

2.4.2 Sociaaleconomische effecten

De aanwezigheid van quaggamosselen heeft ook impact op het beheer en onderhoud van infrastructuur en op recreatie.

2.4.2.1 Beheer en onderhoud van infrastructuur

Quaggamosselen hechten zich aan harde oppervlakten, o.a. wanden van vaartuigen, steigers, duikers etc. [18]; [4]. Het verwijderen van mosselen en het vervangen van infrastructuur leidt in Noord-Amerika tot hoge kosten voor recreanten, bedrijven en overheden.

In de VS wordt de kolonisatie van de driehoeks- en quaggamossel gezien als de ernstigste bio vervuulende plaag in zoete wateren ooit. Door middel van de zogenaamde "Clean Drain & Dry Act" proberen ze verdere verspreiding van de quaggamossel over land te verspreiden [19]. Het is de vraag of zo'n zelfde beleid in een land als Nederland met een hoge hydrologische connectiviteit haalbaar is.

Voor Nederland is niet bekend tot welke kosten aangroei van mosselen tot nu toe heeft geleid. Wel is duidelijk dat door een verdere expansie van de quaggamossel dit voor waterbeheerders, recreanten en industrie een opkomend risico vormt [29].

Drinkwaterbedrijf Evides neemt maatregelen, o.a. inzet van chemicaliën zoals chloorbleekloog om dichtgroei van transportleidingen te voorkomen [31].

2.4.2.2 Recreatie

Daarnaast kan de aanwezigheid van quaggamosselen zorgen voor overlast voor recreanten. Watersporters zoals zwemmers schaven zich geregeld aan de scherpe quaggamosselen. Ook wordt (overmatige) plantengroei en een verandering in visstand door recreanten niet altijd als positief ervaren. In de randmeren komen er geregeld klachten binnen van overlast door planten. Sportvisserij Nederland zich zorgen over de visstand (afname aan visbiomassa) in relatie tot visserij. "Sportvissers kunnen zich in meer of mindere mate aanpassen door zich te richten op andere vissoorten die kenmerkend zijn voor helder- plantenrijk water. Maar er moet nog wel wat te vangen zijn" [29].

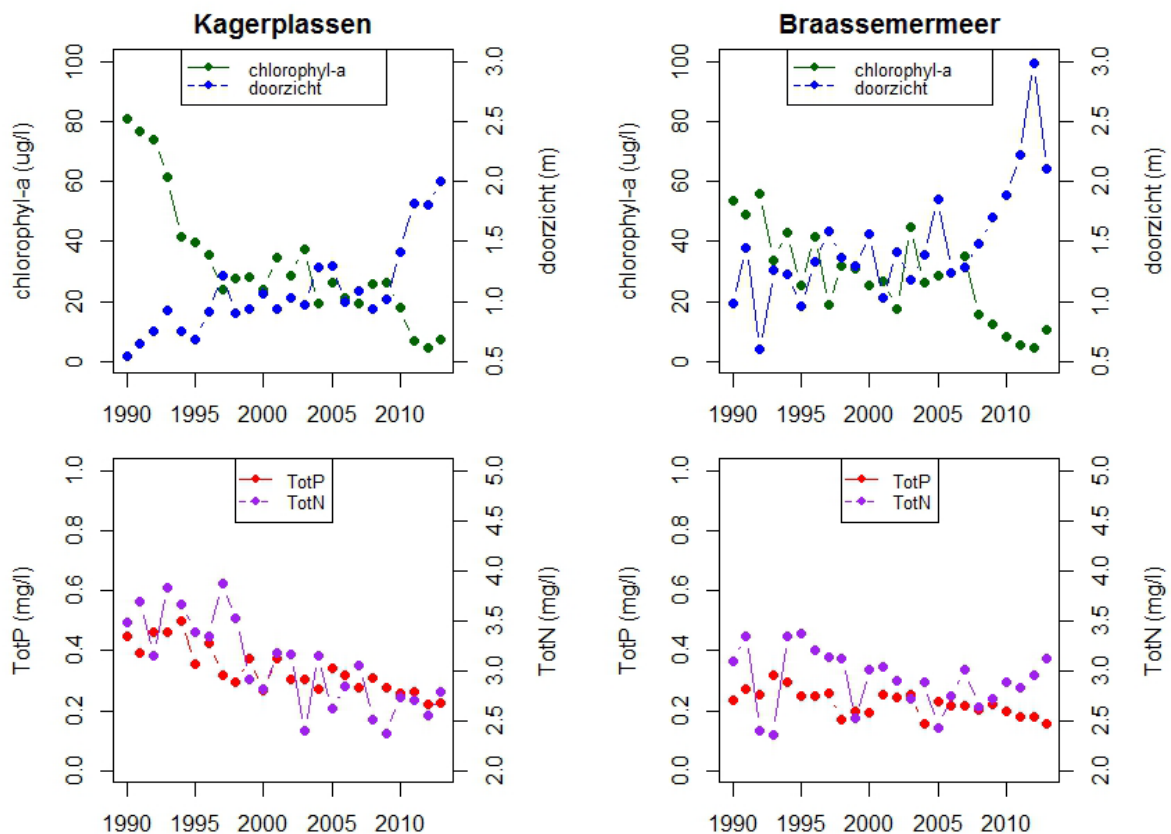


3. Waterkwaliteitsverandering en verspreiding van mosselen

3.1 Algemeen beeld waterkwaliteitsverandering

In de Rijnlandse boezem en boezemplassen wordt het water steeds helderder door een afname aan algen. Tegelijkertijd blijven de sturende nutriënten voor algengroei (stikstof en fosfor) ruim beschikbaar. Op basis van deze nutriëntenconcentraties zouden hogere algenconcentraties verwacht worden. Er ontstaat een situatie met helder voedselrijk water. Dit wijst erop dat algen actief uit het water worden gefilterd, door bijvoorbeeld de quaggamossel.

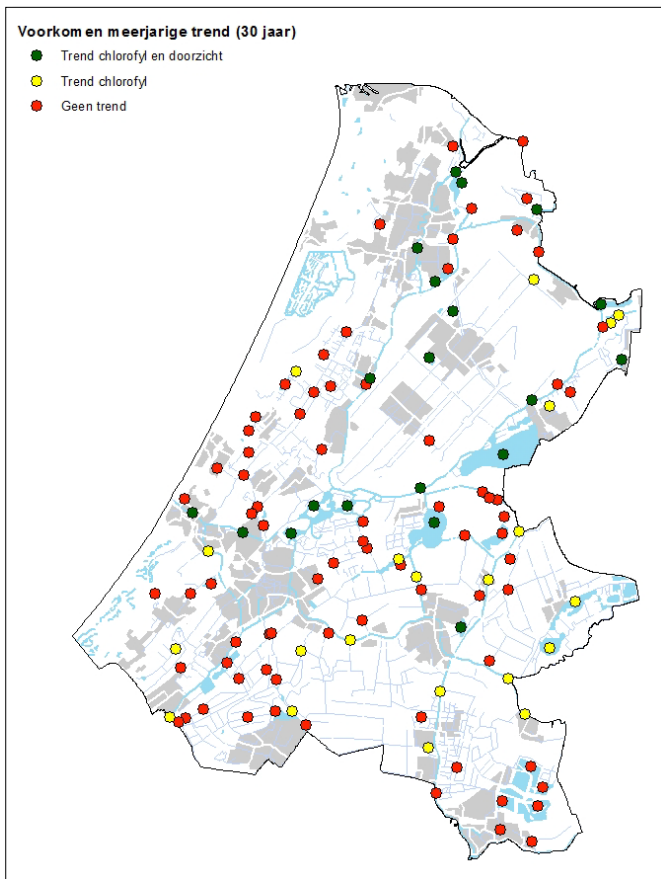
Figuur 10 geeft het optredende "verschijnsel" helder voedselrijk water weer voor twee voorbeeld plassen op de boezem.



Figuur 10: Optredend "verschijnsel" in de Kagerplassen en het Braassemermeer. Gebruikte waarden zijn zomer gemiddelden. Assen geven respectievelijk algen (chlorophyl-a), helderheid van het water (doorzicht), Totaal-fosfor en Totaal-stikstof.

Opvallend is dat het doorzicht met name na 2007 (1 jaar nadat de quaggamossel voor het eerst in Nederland was waargenomen) sterk toenam.

Op meerdere plekken in de Rijnlandse boezem zie je dit fenomeen optreden. Gekeken is naar trends en locaties waar er recent een waterkwaliteitsverandering is opgetreden van troebel naar helder voedselrijk water. In Figuur 11 is een ruimtelijke ruimtelijk beeld weergegeven van locaties in Rijnlands watersysteem uit het trendmeetnet. De parameters chlorofyl-a (maat voor algenconcentratie) en doorzicht zijn getoetst op een statistisch significante trend (zie methodiek Bijlage 1). Doel was te onderzoeken bij welke locaties een daling in algenconcentratie was waar te nemen en een toename in doorzicht.

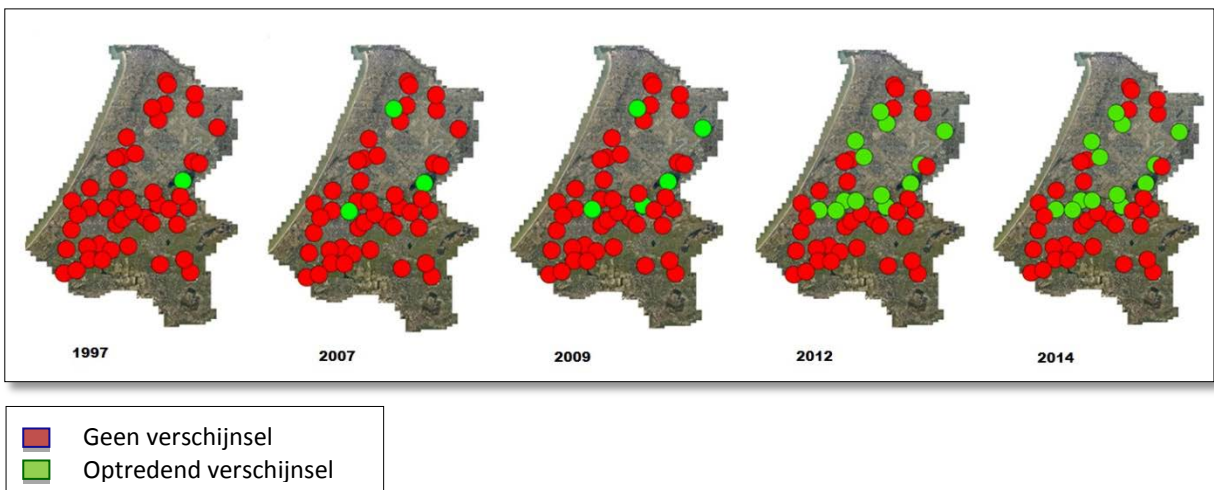


Figuur 11: Meerjarige trends in chlorofyl en doorzicht. Groene meetwaarden geven statistisch significante trend van een afname aan chlorofyl en een toename aan doorzicht. Geel geeft statistisch significante trend van een afname aan chlorofyl. Rood geeft geen statistisch significante trend in zowel chlorofyl en doorzicht.

Helder voedselrijk water treedt met name duidelijk op in de Ringvaart en de boezemplassen; Kagerplassen, t' Joppe, Zegerplas, Westeinderplassen en Braassemermeer.

In de polder en polderplassen treedt dit verschijnsel niet op. Ook in de haarvaten van het boezemsysteem is er geen statistisch significante afname van de algenconcentraties.

In een andere analyse is gekeken naar de verspreiding van dit verschijnsel door de tijd (Figuur 12). Als uitgangspunt is een toename aan doorzicht, afname aan chlorofyl en beschikbaarheid van de opgeloste nutriënten: nitraat en fosfaat, genomen. Ook uit deze analyse blijkt dat helder voedselrijk water met name in de Ringvaart en de aanliggende boezemplassen optreedt.



Figuur 12: Locaties met helder voedselrijk water door de tijd. Het verschijnsel staat voor lagere chlorofylconcentraties dan men op basis van de beschikbare opgeloste nutriënten nitraat en fosfaat zou verwachten. Rood: geen verschijnsel, groen: verschijnsel helder voedselrijk water.

Opvallend is dat dit “verschijnsel, helder voedselrijk water” niet nieuw is maar al optreedt in 1997 in de Westeinderplassen. Hierna duikt het in 2007 (een jaar na de komst van de quaggamossel in Nederland) ook op in de Ringvaart en aanliggende polderplassen zoals Haarlemmermeerse bosplas en Zoetermeerse plas. In 2002 is er op de Westeinderplassen al onderzoek gedaan naar de oorzaak van dit verschijnsel. Michielsen et al., 2003 veronderstelde en concludeerde dat de verbetering in doorzicht te wijten was aan de komst en toename van de driehoeksmossel [68]. Tijdens veldmetingen werd een bedekking van ca. 50% op de bodem van de Westeinderplassen aangetroffen [68].



Figuur 13: Monitoringsonderzoek Westeinderplassen in 2002 [68].

Op meerdere plekken waar het doorzicht de afgelopen jaren sterk is toegenomen wordt tevens een ontwikkeling van waterplanten gemeld. Met name smalle waterpest (*Elodea nuttallii*) lijkt opkomend in helder en voedselrijkwater. Ook de visstand lijkt door een toename aan helderheid te veranderen. In de boezemplassen de Kaag en t 'Joppe is een biomassa afname van met name brasem (*Abramis brama*) gemeld. Figuur 14 geeft een onderwaterbeeld van de Zegerplas. Ook in deze plas is het doorzicht (tot vreugde van de plaatselijke duikvereniging) sterk toegenomen.

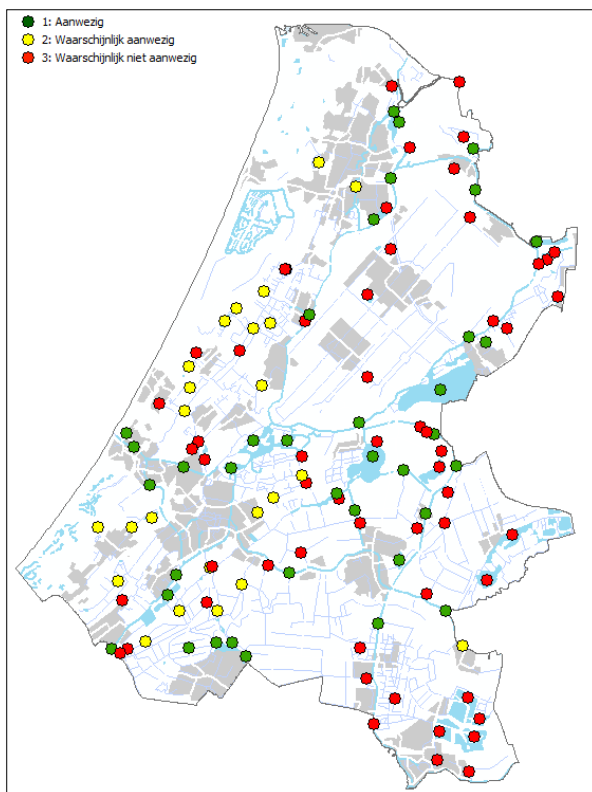


Figuur 14: Onderwaterbeeld in de Zegerplas (bron: duikvereniging Zegerplas).

3.2 Verspreiding van quaggamosselen

Op basis van het optreden van het verschijnsel, helder voedselrijk water is er gekeken naar de aan- en afwezigheid van *Dreissena* mosselen. Aangezien er moeilijk onderscheid gemaakt kon worden tussen quagga- en driehoeksmosselen, is er gekozen om ze als een groep te behandelen. Van de Westeinderplassen, Braassemermeer en Langeraarse plassen is een uitgebreide ruimtelijke kartering gemaakt. *Dreissena* mosselen zijn aangetroffen in de Westeinderplassen en het Braassemermeer. In paragraaf 4.3 worden de monitorings resultaten van de Westeinderplassen gepresenteerd en wordt ingegaan op de (ontwikkelde) methode.

Om een beeld te krijgen van de verspreiding in het beheergebied van Rijnland hebben gebiedsbeheerders op kaartmateriaal de aanwezigheid van *Dreissena* geïllustreerd en beeldmateriaal aangeleverd. De locatie van de waterkwaliteitsmeetpunten zijn gebruikt voor het in beeld brengen van de aan-of afwezigheid van *Dreissena*.



Groene locaties staan voor: *Dreissena* aanwezig in aanliggend water. Gele locaties staan voor: *Dreissena* verwacht. Geen waarnemingen. Rood staat voor: Waarschijnlijk geen *Dreissena* aanwezig. Dit is polderwater waar geen waarnemingen van zijn.

Figuur 15: Inventarisatie aanwezigheid *Dreissena* voorjaar 2015. Groen: Aanwezig, geel: waarschijnlijk aanwezig en rood: waarschijnlijk niet aanwezig.

In lijn met het voorkomen van het "verschijnsel", helder voedselrijk water volgens Figuur 11 en 12 zijn *Dreissena* aangetroffen (op kunstwerken) in de boezem en boezemplassen. *Dreissena* mosselen zijn volgens inventarisatie van de gebiedsbeheerders ook aangetroffen in Haarlemmermeerse bosplas, Zoetermeerseplas. Gebiedsbeheerders gaven aan nog geen "overlast" van aangroeiende *Dreissena* te ondervinden, maar gaven wel aan dat kunstwerken met regelmaat geschoond worden van mosselen.



Figuur 16: Aankleving van *Dreissena* op boezemgemaal Gouda. Vanuit hier wordt het water vanuit de Hollandse IJssel het beheergebied van Rijnland ingelaten.

3.3 Discussie en conclusie

Zowel de waterkwaliteitsgegevens als de bevindingen van de gebiedsbeheerders tonen aan dat het zeer waarschijnlijk is dat de quaggamossel in Rijnlands gebied verantwoordelijk is voor de toename van de helderheid van het water. In hoofdstuk 4 wordt voor de Westeinderplassen de relaties verder verkend.

Het is echter wel opvallend dat *Dreissena* mosselen nauwelijks zijn aangetroffen zijn in de polder. Het is onduidelijk of de mosselen hier echt niet voorkomen of dat door de troebelheid van het water niet waargenomen zijn. De mosselen zijn wel aangetroffen op kunstwerken die het water in de polder inlaten, wat suggereert dat er wel mosselen in de polder zouden moeten zijn. Kijkend naar de tolerantiekenmerken van quaggamosselen voor milieufactoren zouden quaggamosselen zich potentieel over het merendeel van het Rijnlandse beheergebied kunnen verspreiden en dus ook in de polder. Quaggamosselen zijn gevoelig voor zure, zoute en zuurstofloze omstandigheden. Daarnaast zou de aanwezigheid van zware metalen, hoge ammoniakconcentraties en (landbouw)gif tot sterfte of achterblijven van broedval (nieuwe jonge mosselen) kunnen leiden. Door het brakke karakter van de Haarlemmermeerpolder is het logisch dat de mosselen hier niet waargenomen worden. Waarom in andere delen van de polder geen mosselen worden waargenomen is onduidelijk.



4. Case study Westeinderplassen

De Westeinderplassen is in deze studie model genomen voor het begrijpen van het verschijnsel helder voedselrijk water en is gebruikt om te onderzoeken of de quaggamossel inderdaad verantwoordelijk is voor de toename in doorzicht. De Westeinderplassen is gebruikt aangezien hier in 2002 al onderzoek gedaan is naar de helderheid en er hierdoor meer data beschikbaar is dan bij de overige boezemplassen. Aangezien de Westeinderplassen een van de eerste plassen was die helder werd (al in 1997, voor de intrede van de quaggamossel) zijn de effecten van de driehoeksmossel en quaggamossel op de waterkwaliteit met de aanwezige data moeilijk uit elkaar te houden. Daarom wordt er gesproken over de effecten van *Dreissena* (quagga- en driehoeksmossel).

4.1 Korte gebiedsbeschrijving

De Westeinderplassen is een veenplas tussen Aalsmeer en Leimuiden met een oppervlakte van ca. 850 ha een gemiddelde diepte van 2,8 m (de maximale diepte is ca. 4 m). De Westeinderplassen maken deel uit van Rijnlands boezemsysteem en staat derhalve in open verbinding met het oostelijke deel van de Ringvaart. Het waterpeil in de plassen (peilbesluit: zomerpeil= NAP -0,61 m winterpeil = NAP -0,64 m) is veel hoger dan in de omliggende polders (ca. vier tot meer dan vijf meter). De Westeinderplassen worden doorspoeld met water vanuit de Ringvaart. De plassen bestaan voor 85 tot 90% uit water uit de Ringvaart. Het overige deel (10 - 15%) is neerslagwater. De verblijftijd in de Westeinderplassen wordt geschat op ca. 3 maanden [32].

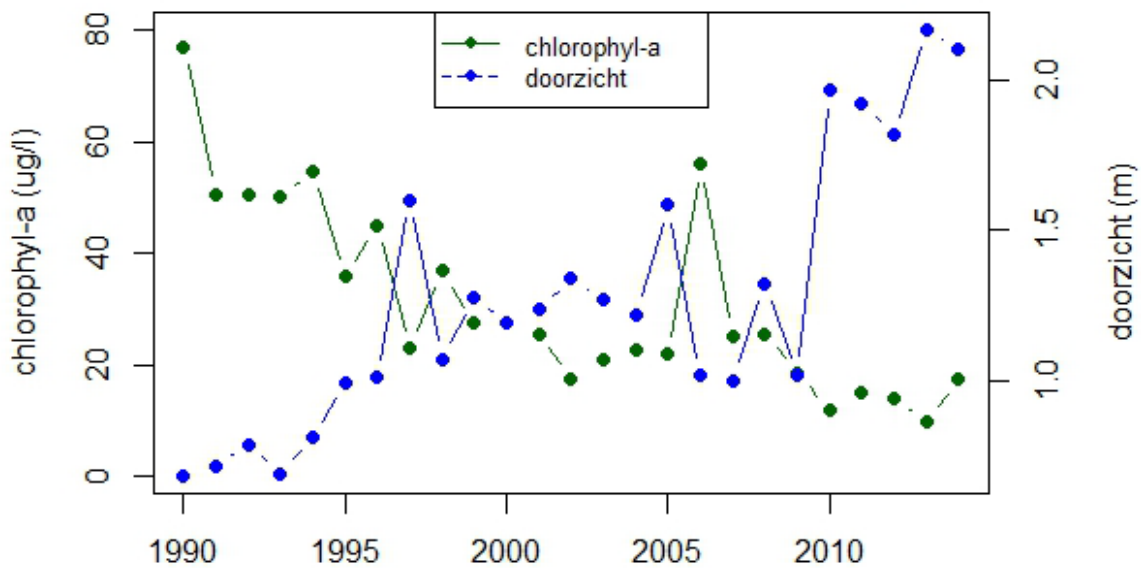
Voor de analyse is het waterkwaliteitsmeetpunt RO0281 gebruikt (Figuur 17).



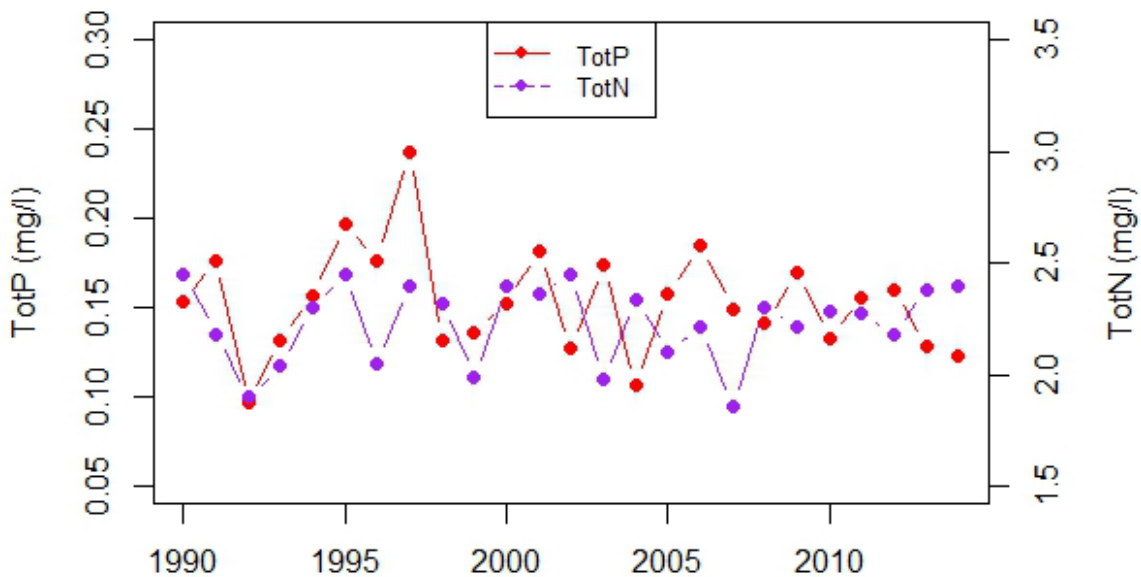
Figuur 17: Waterkwaliteitsmeetpunten in de Westeinderplassen.

4.2 Analyse van beschikbare data

In Figuur 18 zijn de zomergemiddelden chlorofyl-a en doorzicht van 1990 t/m 2014 gegeven. In Figuur 19 zijn de zomergemiddelden totaal-stikstof en totaal-fosfor gegeven.

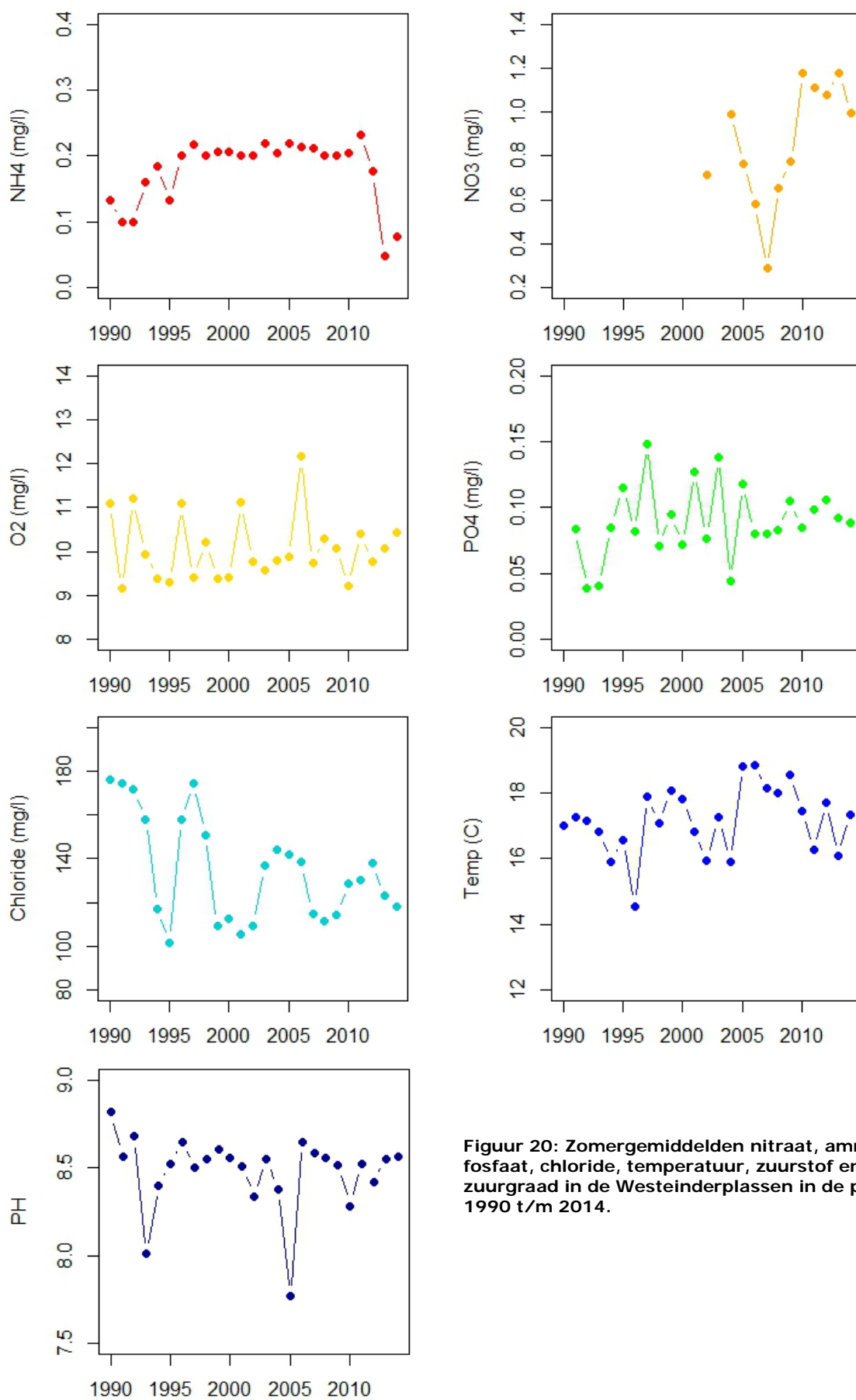


Figuur 18: Zomergemiddelden chlorofyl-a en doorzicht in de Westeinderplassen.



Figuur 19: Zomergemiddelden totaal-stikstof en totaal-fosfor in de Westeinderplassen.

Duidelijk is een toename in doorzicht en een afname in chlorofyl-a concentraties, terwijl totaal-stikstof en totaal-fosfor concentraties nagenoeg gelijk blijven. In Figuur 18 zijn twee perioden te onderscheiden waarin het doorzicht toenam: 1990- 2005 en 2007 – nu. In onderzoek van 2002 werd geconcludeerd dat het doorzicht al was toegenomen als gevolg van de filterende werking van de driehoeksmossel [68]. Vanaf 2007 lijkt het doorzicht echter als gevolg van de komst van de quaggamossel extra toe te nemen.



Figuur 20: Zomergemiddelden nitraat, ammonium, fosfaat, chloride, temperatuur, zuurstof en zuurgraad in de Westeinderplassen in de periode 1990 t/m 2014.

Figuur 20 geeft de opgeloste nutriënten nitraat, ammonium, fosfaat en chloride in de periode 1990 t/m 2014 weer. Van nitraat zijn er geen meetgegevens beschikbaar van voor 2000. Van het macro-nutriënt silicium zijn er ook geen meetgegevens beschikbaar.

Opvallend is dat alle opgeloste nutriënten in hoge concentraties aanwezig zijn en hierdoor ruim beschikbaar zijn voor algengroei. De beschikbaarheid van fosfaat en nitraat lijkt zelfs toe te nemen.

Een mogelijke verklaring hiervoor is dat door de aanwezigheid van mosselen algengroei gelimiteerd is, waardoor minder opgeloste nutriënten opgenomen kunnen worden. Dit effect wordt o.a. waargenomen in een "enclosure" experiment met mosselen in het Tjeukemeer [28]; [79].

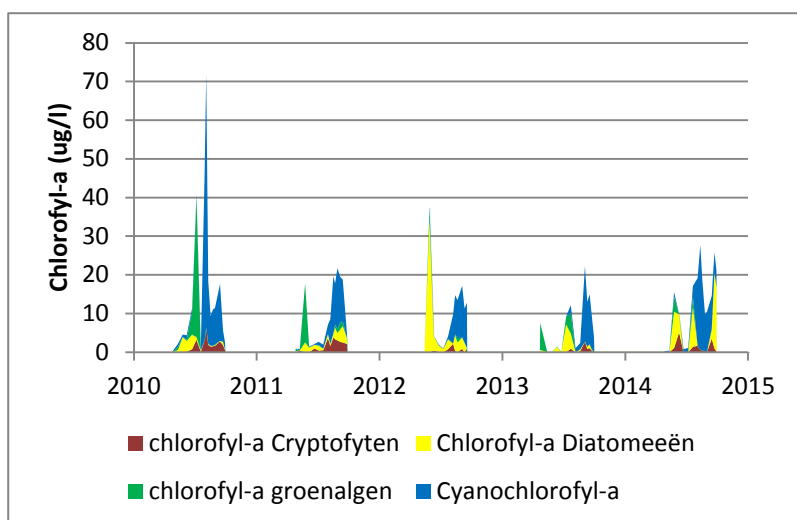
Data van de periode 1990-2014 is statistisch getoetst met het programma Trendanalist. Tabel 1 geeft de resultaten weer.

Tabel 1: Trendanalyse Westeinderplassen 1990-2014.

	Westeinderplassen 1990-2014
ammonium	0,2%
chloride	-1,3%
chlorofyl-a	-6,5%
doorzicht	4,0%
fosfaat	4,1%
fosfor totaal	Geen trend
stikstof totaal	Geen trend
nitraat	Geen trend
sulfaat	-2,2%
temperatuur	Geen trend
zuurgraad	Geen trend
zuurstof	Geen trend
zwevend stof	-1,2%

De uitkomsten van de trendanalyse bevestigen een significante daling van de chlorofyl-a concentraties (als maat voor algen) en een significante toename van het doorzicht in de Westeinderplassen. Dit terwijl totaal fosfor- en stikstof concentraties niet statistisch significant zijn afgenomen. Het nutriënt fosfaat wat direct beschikbaar is voor algengroei is zelfs statistisch toegenomen. De lage algenconcentraties moeten dus een andere oorzaak hebben. Het zou goed kunnen dat dit komt door graas van quaggamosselen.

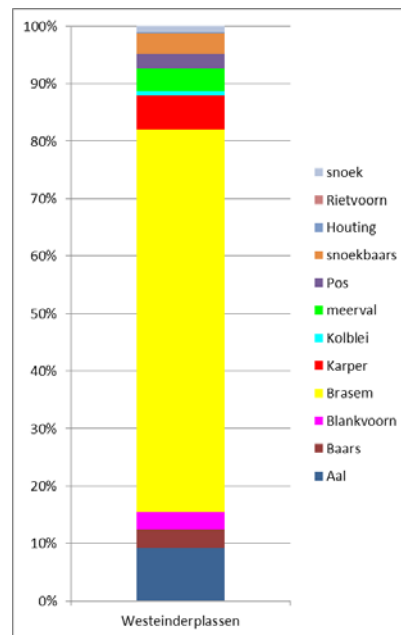
Metingen van algencompositie (fluorprobe) zijn beschikbaar in het noordwesten van de Westeinderplassen (meetpunt RO 579). De algencompositie per hoofdgroep is alleen gemeten in de periode april t/m oktober. Figuur 21 geeft de algencompositie en concentratie in de Westeinderplassen. De algengemeenschap bestaat in het voorjaar met name uit *Diatomeeën* en in het najaar uit blauwalgen (cyanochlorofyl-a). Groenalgen zijn in lagere concentraties aanwezig. Op basis van de beschikbare nutriënten zouden er meer (blauw)algen verwacht worden.



Figuur 21: Algencompositie in de Westeinderplassen van 2010 t/m 2014.

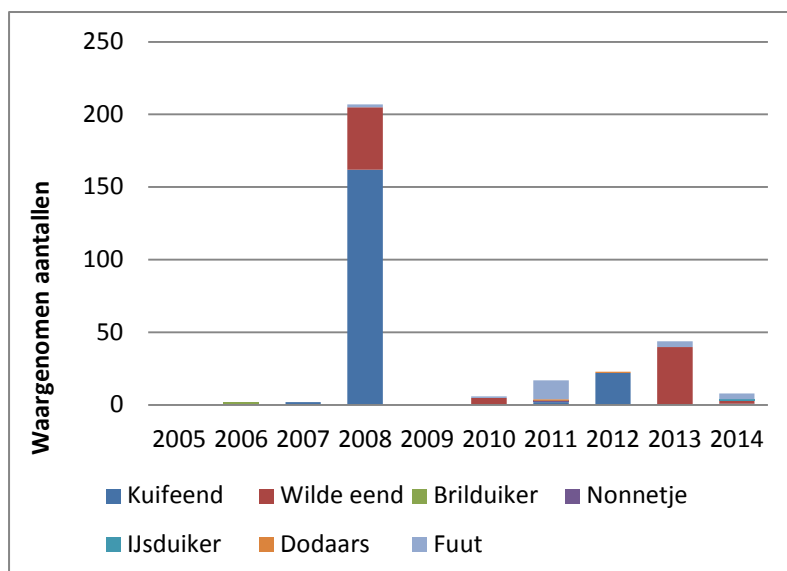
Op basis van de toegenomen helderheid zou je ook een visstand voor helder water verwachten. In 2011 is er in de Westeinderplassen voor het laatst een visopname geweest. De visgemeenschap was toen brasem (*Abramis brama*) gedomineerd, wat duidt op een visstand voor troebel water. De vismonitoring van 2015 zal moeten uitwijzen of er als gevolg van de toename van helderheid ook een verschuiving in de visstand van de Westeinderplassen optreedt.

Figuur 22: Relatieve aandeel verschillende vissoorten in de Westeinderplassen in 2011.



Ook de watervegetatie zal veranderen als gevolg van toegenomen doorzicht, doordat er meer licht op de bodem komt kunnen waterplanten gaan groeien. In de opnamen van 2011 en eerder is er geen melding gemaakt van waterplanten. In 2014 is er een beperkte bedekking van Schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*), Aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*) en smalle waterpest (*Elodea nuttallii*) aangetroffen. Bovenstaande gegevens kunnen duiden op een vegetatieontwikkeling die tot stand komt door een toename in doorzicht.

Daarnaast verwacht je een toename van het aantal watervogels dat op mosselen predeert. Van de Westeinderplassen zijn er op waarneming.nl gegevens van waargenomen duikeenden beschikbaar. Deze gegevens zijn door recreanten verzameld. Met het gebruik van deze gegevens dient men voorzichtig om te gaan. Figuur 23 geeft de waargenomen aantallen duikeenden in de Westeinderplassen. Opvallend is dat er in 2008 43 wilde eenden en 162 kuifeenden zijn waargenomen, die later in deze orde grootte niet meer zijn waargenomen. Er lijkt geen toename van het op mosselen prederende duikeenden te zijn.



Figuur 23: Waargenomen duikeenden in de Westeinderplassen in de periode 2005 t/m 2014.

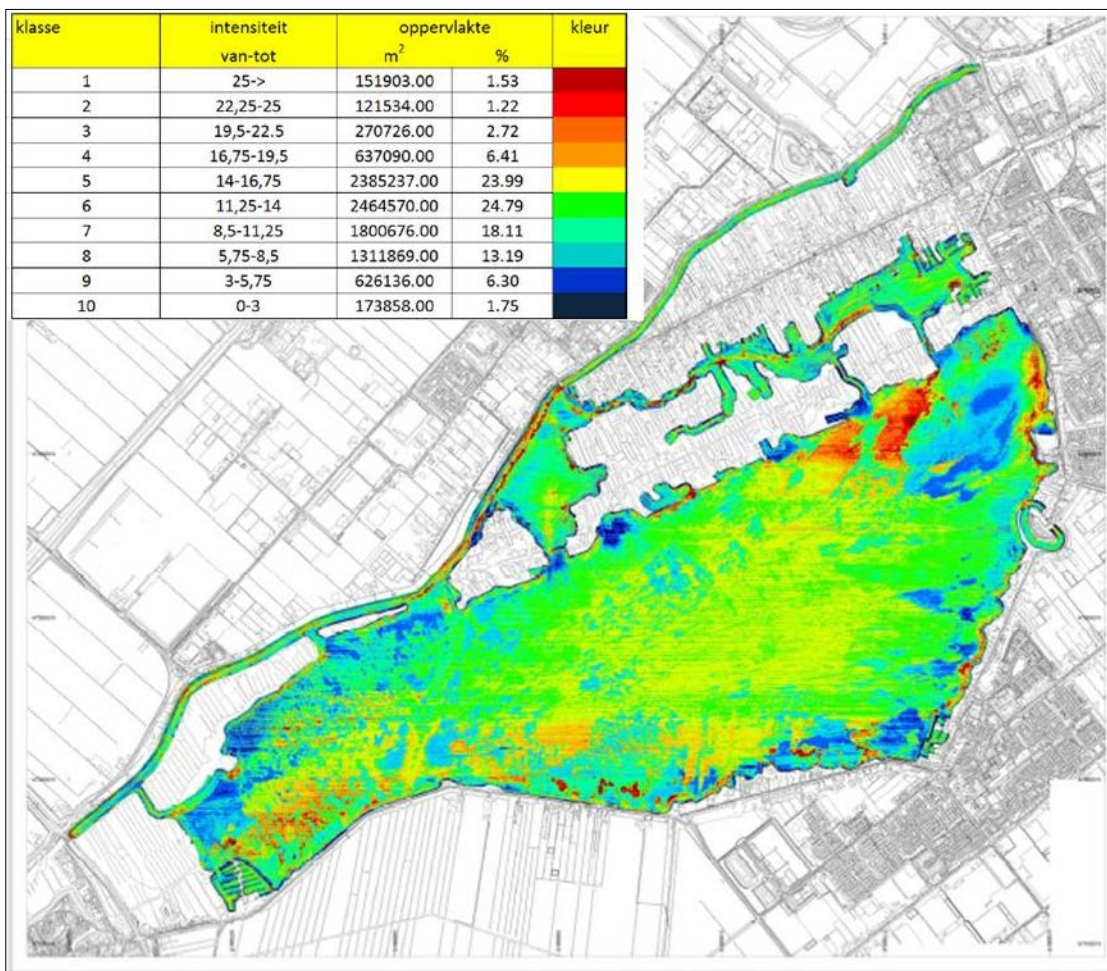
4.3 Monitoring Westeinderplassen

Om de verspreiding en abundantie van potentiële mosselbanken in beeld te brengen is o.a. in de Westeinderplassen uitgebreid sonar- en monitoringsonderzoek uitgevoerd. Een nieuwe techniek is ontwikkeld om de mosselbanken ook ruimtelijk in beeld te brengen. Met een SideScanSonar (SSS) zijn de Westeinderplassen en de Ringvaart van de Haarlemmermeerpolder tussen de Leimuiderbrug en de Aalsmeerderbrug onderzocht. Resultaat is een kaart met verschillende reflectieklassen/ bodemruwheden. De klassen staan voor de intensiteit van het uitgezonden en ontvangen signaal en kunnen corresponderen met de aanwezigheid van mosselen. Er kan met alleen deze sonar methode geen onderscheid gemaakt worden tussen quagga- en driehoeksmosselen.

De metingen vonden plaats in november 2014 tot april 2015. De uitgebreide meetmethodiek staat beschreven in Bijlage 2.

4.3.1 Potentiële verspreiding

De mogelijke verspreiding en abundantie van *Dreissena* mosselen is weergegeven in Figuur 24. De intensiteit van de reflectiesignalen zijn onderverdeeld in 10 klassen, waarbij klasse 1 de hoogste reflectie geeft en kan duiden op de aanwezigheid van mosselen en klasse 10 de laagste reflectie geeft.



Figuur 24: Reflectiesignalen van de sonar op de Westeinderplassen ingedeeld in tien reflectieklassen oplopend van blauw (minste reflectie) tot rood (hoogste reflectie) [33].

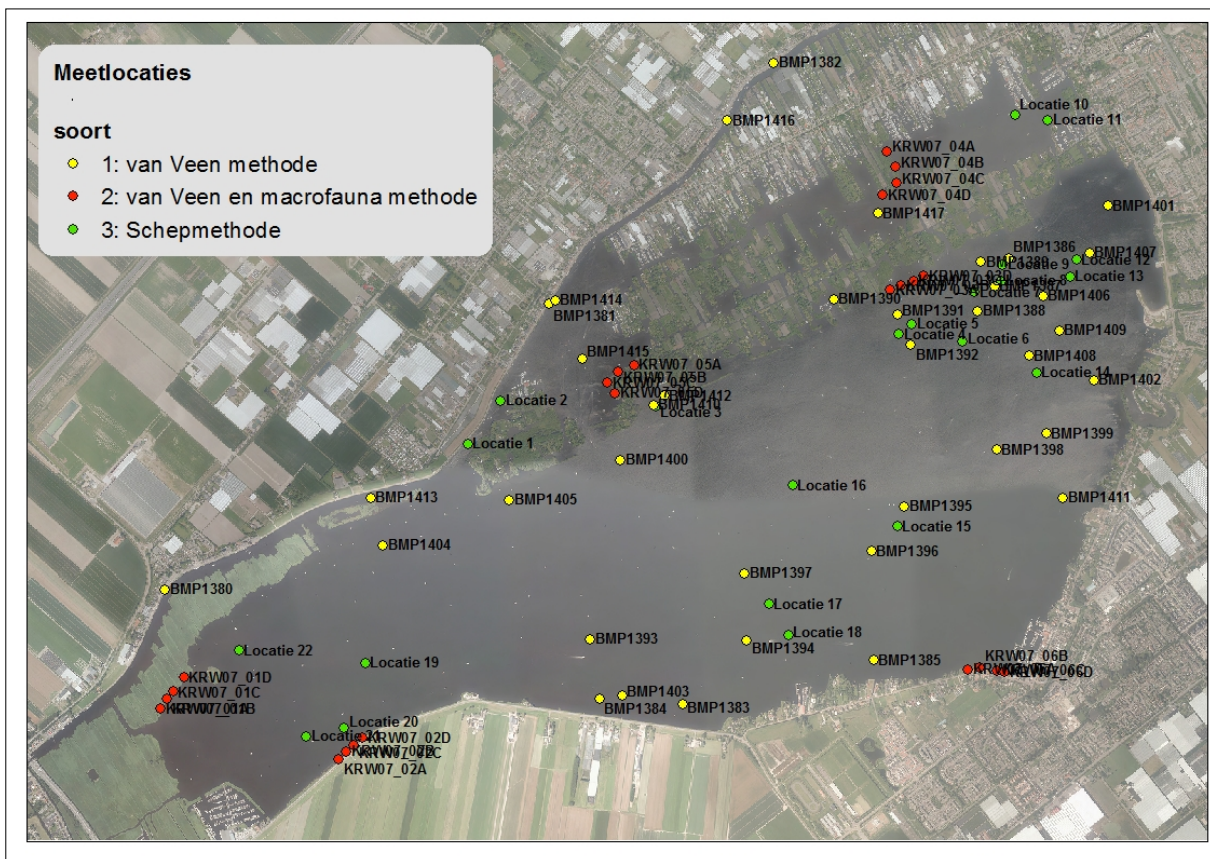
Reflectiesignalen worden niet alleen veroorzaakt door mosselen maar kunnen ook veroorzaakt worden door voorwerpen, bodemreliëf- en hardheid en vegetatie. Daarom is nader verificatie onderzoek nodig. De verspreiding over de Westeinderplassen lijkt relatief heterogeen. De intensiteit van de reflectie ligt met name in klasse 5 en 6. In het smalle gedeelte aan de westzijde van de plas zijn langgerekte gebieden te onderscheiden die afwijken van de rest van de omgeving. In dit gebied is de ooit aanwezige zandweg zichtbaar. Waar vaarten op de Westeinderplassen zichtbaar worden is sprake van zwakke reflecties. In deze gebieden bevindt zich mogelijk veel slib. In het zuidwesten van de Westeinderplassen nabij de rietvelden bevindt zich een gebied met onderwatervegetatie. Vegetatie verstoort het reflectiesignaal, waardoor het in dit gebied moeilijker is om mosselen te detecteren [33].

Op basis van het reflectiesignaal lijken met name in het noordoosten en het zuidwesten zones met plaatselijk veel mosselen aanwezig te zijn.

4.3.2 Ruimtelijke verspreiding

Met van Veen happers, schepmethode, onderwatercamera's en duikers is gekeken of de reflectieclassen te vertalen zijn naar dichtheden *Dreissena* mosselen.

Op basis van de reflectiesignalen zijn per reflectieclassen drie locaties (random) geselecteerd waar met een Van Veen happer in totaal 38 monsters zijn genomen. Daarnaast zijn op de 24 aanwezige reguliere KRW monitoringspunten van Veen monsters genomen. Ter aanvulling heeft een duiker op 22 locaties monsters genomen met een bodemschep (zie Figuur 25).



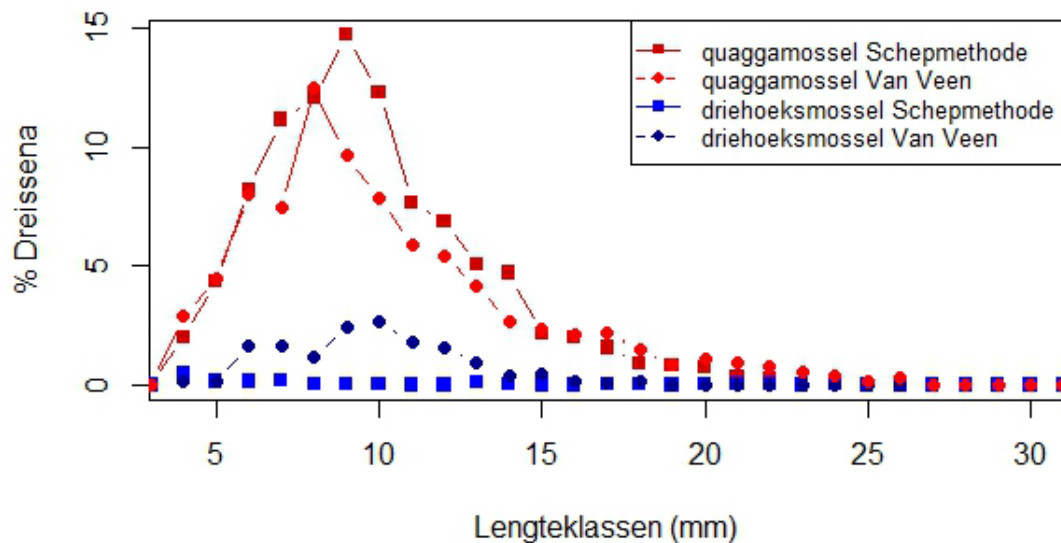
Figuur 25: Monsterlocaties in de Westeinderplassen.

Afhankelijk van de meetmethode worden er tussen de levende 434 en 5478 levende *Dreissena* mosselen per m² aangetroffen.

Een groot aandeel van de aangetroffen mossels bestaat uit dode driehoeksmosselen. Lokaal kan dit percentage meer dan 90% zijn. Deze driehoeksmosselen hebben een gemiddelde grootte van 20-25 mm [42].

4.3.3 Populatieopbouw en grootte bepaling


De levende *Dreissena* gemeenschap bestaat voor het grootste percentage uit quaggamosselen met een schelpenlengte tussen de 8 en 10 mm. Dit is in vergelijking met aangetroffen populaties in het Volkerak-Zoommeer relatief klein [34]. Zie Figuur 27 voor de populatieopbouw van de aanwezige *Dreissena* gemeenschap [42].



Figuur 27: Populatieopbouw *Dreissena* gemeenschap in procenten.

4.3.4 Doorvertaling monitoringsgegevens naar filtreertijd

Aan de hand van de dichtheidsgegevens, populatieopbouw en de filtreersnelheden kan berekend worden in hoeveel tijd de Westeinderplassen door de *Dreissena* gefilterd wordt. Hierdoor kan een inschatting gemaakt worden van de relatieve impact van de aanwezigheid van de mosselen. De variëteit in zowel de meetgegevens als de potentiële filtreersnelheden is erg groot. Daarnaast is er in deze berekening de aanname dat alle mosselen ongeacht lengteklassen even hard filteren. Figuur 28 geeft de variatie in filtreertijd van de aanwezige *Dreissena* populatie.

Westeinderplassen		Gemeten dichtheden	Aantallen/m ²
Gemiddelde diepte	2,8 m	Van Veen	434
Oppervlakte	850 ha	Schepmethode	5478
Filtreersnelheden literatuur	Omgerekend (l/d/mossel)		
60-70 ml/uur/ mossel	1,4	 <p>Filtreertijd Westeinderplassen 0,1 - 6,5 dag</p>	
1 l/d/ mossel	1		
309 ml/uur/mossel	7,4		

Figuur 28: Filtreertijd mosselpopulatie in de Westeinderplassen aan de hand van variërende dichtheden en filtreersnelheden.

De Westeinderplassen worden in de orde grootte van ca. 0,1 tot 6,5 dag gefilterd. De verwachting is dan ook dat de impact van de mosselen op het ecosysteem en met name algengroei (chlorophyl) erg groot zal zijn. Deze relaties worden in paragraaf 4.4 verder uitgewerkt.

4.3.5 Discussie monitoringsonderzoek

Het gebruik van Sonar technieken levert nuttige en gedetailleerde informatie op over de aanwezigheid en verspreiding van mosselen. Het meetsignaal dient geverifieerd te worden door middel van aanvullend onderzoek. Zoals gezien in de resultaten hoeven hoge sonar reflecties niet per definitie het grootste aantal mosselen te betekenen. In de monsternamen zijn de dode mosselen echter niet consequent geteld. Hierdoor kan vervorming optreden. Objecten, bodemtype e.d. kan dit signaal ook verstoren.

Uit de meetgegevens blijkt dat *Dreissena* mosselen vrij heterogeen verspreid zijn over de Westeinderplassen. Met name in het noordwesten, zuiden en op plaatsen in de Ringvaart komen lokaal hoge dichtheden mosselen voor. Per reflectieklasse kunnen de dichtheden en soorten mosselen verschillen. Te constateren is dat op slibbanken er minder tot geen mosselen werden aangetroffen.

De gevonden dichtheden in de Westeinderplassen varieerden erg per monstermethode (van Veen of Schepmethode). Zo werden er respectievelijk tussen de 434 en 5478 levende *Dreissena* mosselen per m² aangetroffen. Het orde grootte verschil tussen de meetmethoden is ca. een factor 10. De Schepmethode lijkt efficiënter in het verzamelen van *Dreissena*. Dit zou aan de ene kant kunnen komen doordat bij de Schepmethode alle mosselen worden verzameld door de duiker terwijl bij de van Veen methode een gedeelte achterblijft doordat de bodem niet goed wordt bemonsterd en eerder geschraapt. Mosselen kunnen zich namelijk aan elkaar en het substraat binden, waardoor niet alle mosselen in het van Veen monster terecht komen. Bij de van Veen methode is geen inzet geweest door een duiker. Door dit te doen, zou gekeken kunnen worden of de hypothese klopt. De Schepmethode lijkt betrouwbaarder en zou de voorkeur hebben om ook in de toekomst te gebruiken.

Het merendeel van de dode aangetroffen *Dreissena*'s betroffen driehoeksmosselen en dus geen quaggamosselen. Deze gegevens duiden op een verschuivende dominantie van de *Dreissena* gemeenschap van de driehoeksmossel naar de quaggamossel. Deze waarneming is conform ontwikkelingen in de Nederlandse rijkwateren [72] en onderzoeksgebieden in de VS [2]. De schelplengte (20 – 25 mm: groot) van de aangetroffen driehoeksmosselen toont ook aan dat de driehoeksmosselen al lange tijd

aanwezig waren in de Westeinderplassen en dus ook al effecten hadden op de helderheid van het water. Figuur 19 liet zien dat het doorzicht als sinds 1990 aan het toenemen is. Vanaf 2007 nam het doorzicht echter versneld toe. Juist nadat in 2006 de quaggamossel voor het eerste in Nederland aangetroffen was.

De levende *Dreissena* gemeenschap in de Westeinderplassen bestaat voor het grootste percentage uit quaggamosselen met een schelpenlengte tussen de 8 en 10 mm. In het Volkerak-Zoommeer zijn verhoudingsgewijs meer grote (> 12 mm) mosselen aangetroffen, wat wijst op een oudere populatie [34]. De quaggamosselpopulatie in de Westeinderplassen lijkt relatief jong. Doordat er geen gegevens beschikbaar zijn van de biomassa, is het niet mogelijk hier iets over te zeggen over de conditie van de mosselen.

In het onderzoek zijn de mosselen aanwezig op de oevers niet meegenomen. Zowel met de sonar meetmethode als met de van Veen en Schepmethode zijn de mosselen op de oevers moeilijk te kwantificeren. De oevers zijn niet altijd goed bereikbaar door aanwezigheid van blokken beton. Mosselen zoeken beschutting tussen de stenen. Door de aanwezigheid van hard substraat zouden de aantallen op de oevers substantieel kunnen zijn. Door het ontbreken van dichtheid gegevens op de oevers zou de populatie mosselen in de Westeinderplassen onderschat kunnen worden. Aanbeveling is om een meetmethode te vinden waarbij de dichtheden van de mosselen op de oever inzichtelijk wordt.

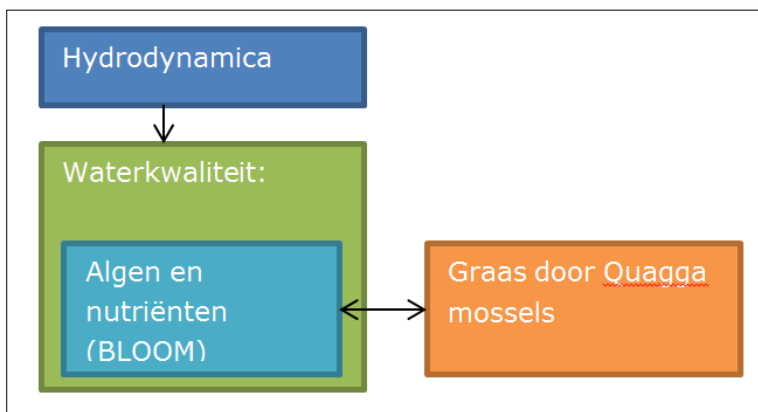
Een aandachtspunt is de juistheid van determinatie. In de praktijk blijkt dat het onderscheid tussen de driehoeksmossel en de quaggamossel, die nauw verwant zijn en veel op elkaar lijken, problemen op kan leveren. Bovendien zijn beide soorten polymorph, wat betekent dat ze hun verschijningsvorm kunnen variëren [A]. We hebben geen idee in welke mate verwisseling van soort in dit onderzoek heeft plaatsgevonden.

4.4 Modelstudie Westeinderplassen

4.4.1 Algemene aanpak

De impact van de quaggamossel op de waterkwaliteit en de potentiële impact naar de toekomst in de Westeinderplassen is gemodelleerd met het programma Delft3D. Doel van deze exercitie was enerzijds het begrijpen van het systeem en anderzijds het verkennen van verschillende toekomstige scenario's.

Delft3D is een software pakket geschikt voor het modeleren van hydrodynamica, sediment transport, morfologie, golven en waterkwaliteit in twee en drie dimensies van fluviale, estuariene en kust ecosystemen [35]. Het gebruikte model is geschematiseerd in Figuur 29.



Figuur 29: Schematisch overzicht van Delft3D.

De eerste component bestaat uit het modeleren van de hydrodynamica. Het is cruciaal om de hydrodynamica (stroming) goed te modeleren aangezien het een belangrijke rol speelt in ruimtelijke verspreiding van verschillende substanties (anorganische stof, algen, nutriënten, etc). De output van het hydrodynamische submodel is een snelheids vector veld (velocity vector field) en wordt gebruikt als input voor het model BLOOM: het waterkwaliteitsmodel [36]. Het hydrodynamische submodel berekent de stroomsnelheid en richting op basis van in- en uitvoer van water, regenval, evaporatie. BLOOM is een submodel dat algen en nutriënten dynamica kan simuleren, en berekend de verschillende concentraties op basis van de hydrodynamica, nutriëntenconcentraties en instraling. Het submodel BLOOM is gelinkt aan een algen graas module die de graas van mossels op algen kan simuleren. Deze graas module werkt op basis van een zogenaamde "forcing function" aanpak: het legt een bepaalde biomassa (*Dreissena*) mossels (gC/m^2) op dat gecorrigeerd wordt voor groei, mortaliteit en voedselbeschikbaarheid. De opgelegde hoeveelheid biomassa kan variabel zijn in ruimte en in tijd. Voor de modelstudie is het jaar 2009 gebruikt. Hiervan is een hydrologisch gevalideerde schematisatie beschikbaar.

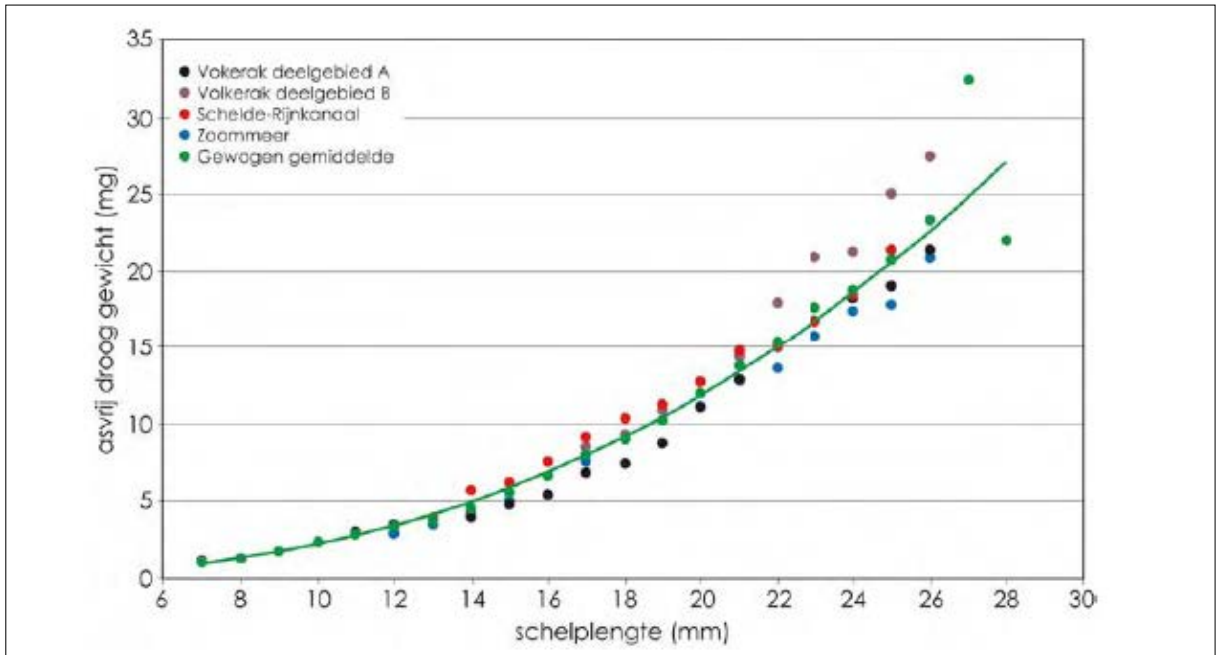
De uitgebreide methodiek is beschreven in bijlage 3.

4.4.2 Omrekening monitoringsgegevens naar model input

De monitoringsgegevens van de Westeinderplassen uit 2015 zijn gebruikt als input ('forcing function') voor het model. Meetwaarden zijn omgezet van dichtheid (aantal/ m^2) naar koolstofdichtheid (gC/m^2). Hiervoor is gebruik gemaakt van de relatie tussen dichtheid, schelpengte en asvrij drooggewicht/ m^2 (AVDG).

De relatie tussen de schelpengte en het AVDG is beschreven met de formule $AVDG = aL^b$. Hierin is AVDG het gemiddelde asvrij droog vleesgewicht (mg) per lengteklasse, L de schelpengte (mm) en zijn a en b constanten met waarden $a = 0,007$ en $b = 2,455$ [34]. Dit resulteert in de volgende relatie:

$$\text{AVDG (mg)} = 0,007L^{2,455} \text{ [34].}$$



Figuur 30: De relatie tussen de schelpenlengte en het gemiddelde osvrij droog vleesgewicht van de quaggamosselen (Vaate et al., 2013). Groene lijn: Gewogen gemiddelde.

Het AVDG is omgezet naar koolstofdichtheid door te vermenigvuldigen met een factor 0,5 [37]. De omgerekende mosseldichtheid (G_i) in gC/m^2 is gegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Omgerekende mosseldichtheid van de monitoringsgegevens in gC/m^2 .

Meetmethode	Bepaalde mosseldichtheid (aantal/m ²)	Gemiddelde schelpenlengte	Model input G_i (gC/m^2)
Van Veen	434	8	0,25
		9	3,34
Schepnet	5478	8	31,61
		9	42,20

4.4.3 Kalibratie en systeembegrip

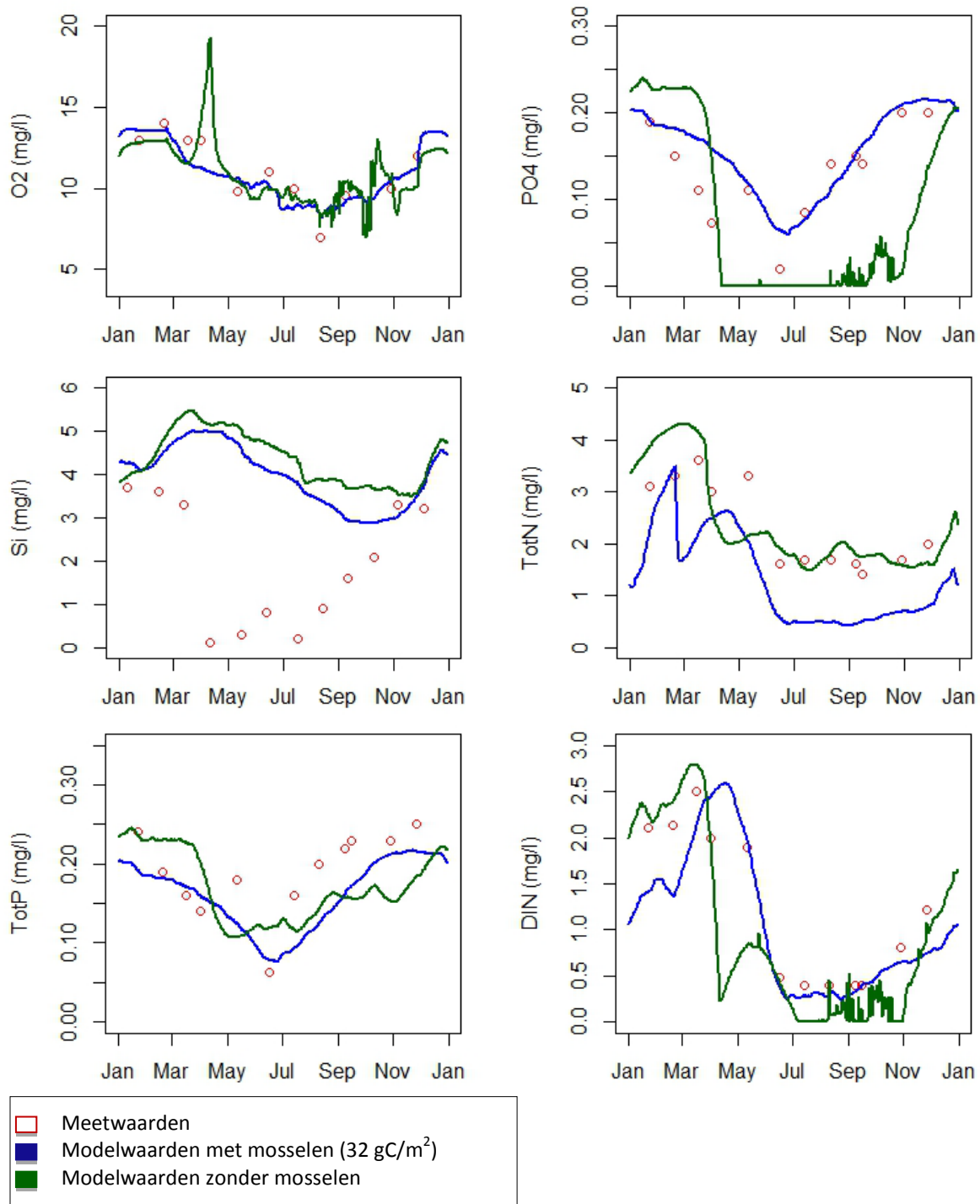
Het gebruikte model is gekalibreerd aan de hand van chemische monitoringsdata van de Westeinderplassen (Figuur 31).

Op basis van watertemperatuur, instraling (radiatie), atmosferische depositie en in-en uitgaande stoffen op de randen van het model is het model "afgesteld" en geprobeerd het systeem te begrijpen. In het model is het essentieel dat de nutriëntendynamiek van fosfaat en nitraat overeenkomt met de gemeten waarden. Deze nutriënten zijn namelijk gelijk beschikbaar voor algengroei, en bepalen hierdoor in grote mate de modeluitkomsten.

Het model benadert voor nitraat (NO₃), fosfaat (PO₄), zuurstof (O₂), totaal-stikstof (TotN) en totaal-fosfor (TotP) de meetwaarden. Wegens ontbrekende gegevens van silicium zijn meetwaarden genomen van 1984. Er is in het model vanuit gegaan dat de groei van diatomeeën niet gelimiteerd is door silicium. Dit blijkt uit de metingen van overige jaren van de Westeinderplassen.

Opvallend is het verschil tussen het model zonder mosselen en met mosselen in de orde grootte van de gemeten mosseldichtheid in de Westeinderplassen. Zonder mosselen is fosfaat uitgeput in de periode april tot november. De meetwaarden tonen de beschikbaarheid van fosfaat aan. Vanuit literatuur is er bekend dat de aanwezigheid van mosselen de beschikbaarheid van fosfaat en nitraat kan verhogen [27]. Dit effect zie je ook terug in deze modelstudie.

Het model kan met een reële hydrologie, reële nutriëntenconcentraties en met mossel graas de waarnemingen goed reproduceren. Zonder mossel graas ontstaat er een ander systeem (troebel voedselrijk water) dat niet bij de waarnemingen aansluit. Deze observaties versterken de hypothese dat de quaggamossel in de Westeinderplassen verantwoordelijk is voor de toename in helderheid.



Figuur 31: Model- en meetwaarden van zes chemische componenten in de Westeinderplassen in 2009: zuurstof, fosfaat, silicium, totaal-stikstof, totaal-fosfor en opgelost stikstof (ammonium + nitraat). Meetwaarden silicium zijn meetwaarden uit 1984.

4.4.4 Scenarioanalyse

4.4.4.1 Gebruikte scenario's

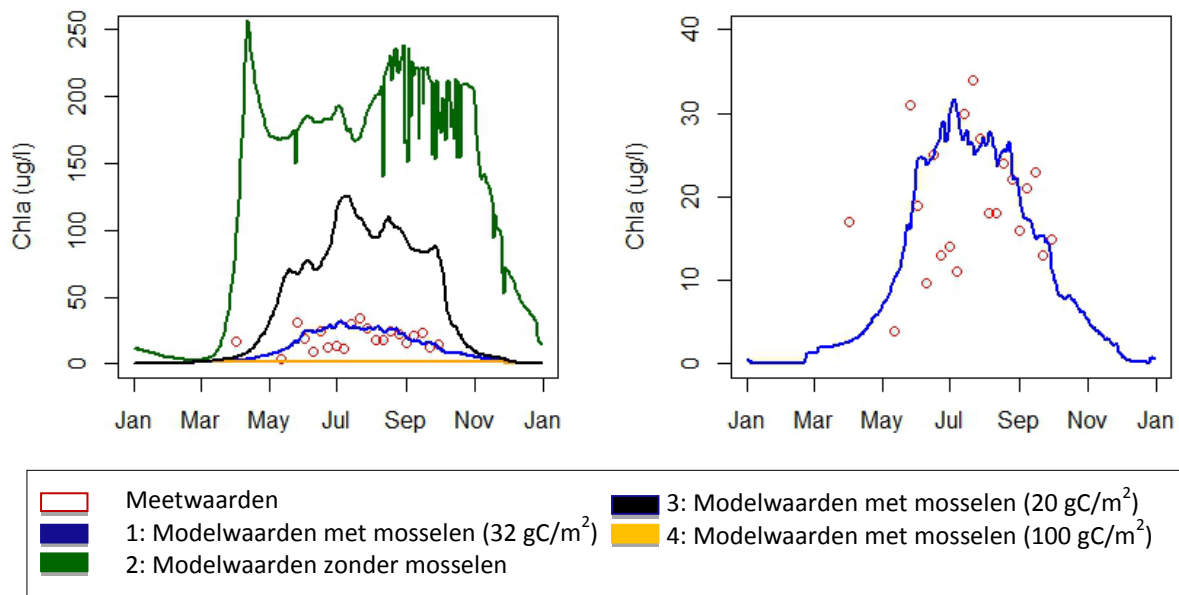
Om een gevoel te krijgen voor de mogelijke toekomstige situatie zijn er vier scenario's voor de Westeinderplassen gesimuleerd:

1. Scenario met mosselen met een biomassa in de orde grootte van de monitoringsgegevens.
2. Scenario zonder mosselen.
3. Scenario met minder mosselen dan de gemeten biomassa.
4. Scenario met meer mosselen dan de gemeten biomassa.

Daarnaast zijn er voor scenario 1, vier varianten gesimuleerd waarbij de watertemperatuur telkens met 1 graad is toegenomen. Dit is gedaan om het potentiële effect van een toenemende temperatuur op algengroei in een situatie met mosselen te verkennen, opdat er een inschatting gemaakt kan worden van de effecten van klimaatverandering.

4.4.4.2 Effecten op algen

De effecten van mosselen op algenconcentraties (chlorofyl-a) en soortensamenstelling zijn onderzocht. Figuur 32 geeft de verschillende scenario's weer.

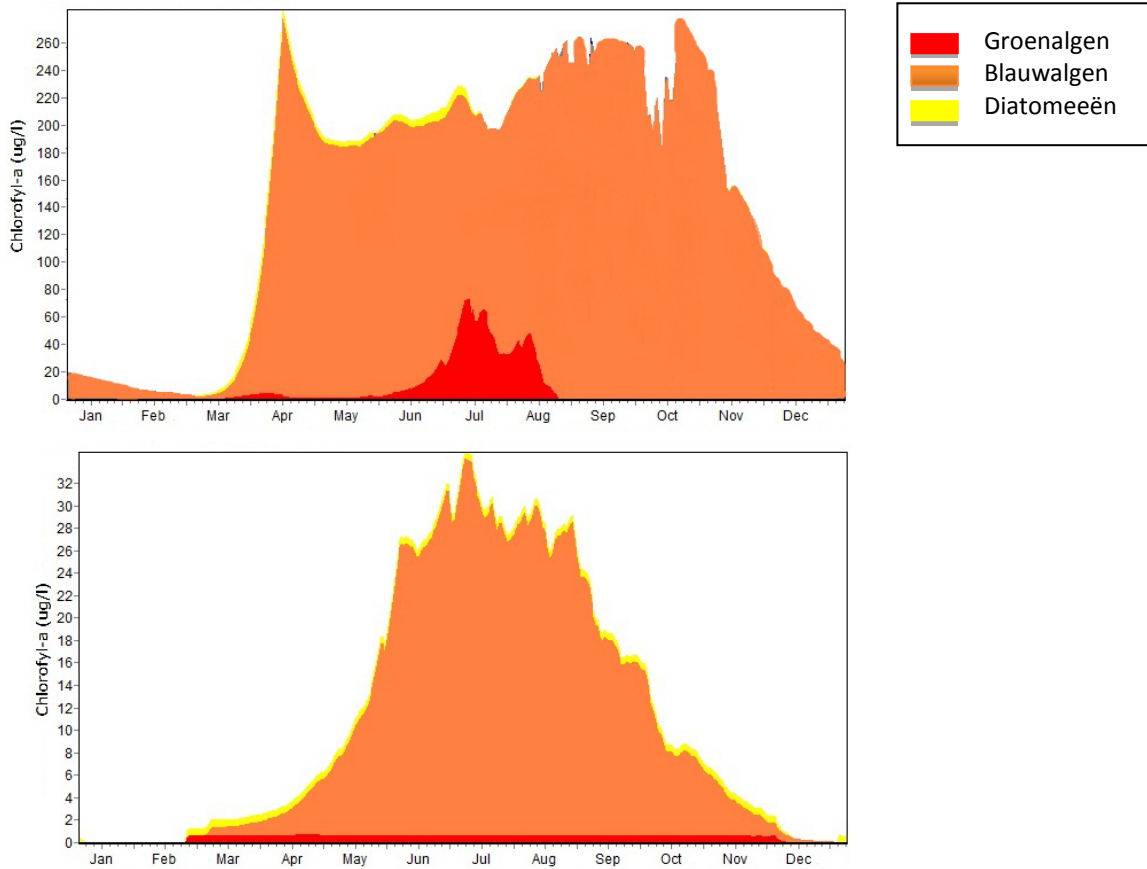


Figuur 32: Gemodelleerde- en gemeten algenconcentraties (chlorofyl-a (ug/l)) in de Westeinderplassen 2009. Links: Vier gemodelleerde scenario's. Rechts: Best passende scenario die correspondeert met mosselpopulatie gemeten in 2015.

Scenario 1 (blauwe lijn) geeft het scenario weer met mosselen met een biomassa in de orde grootte van de monitoringsgegevens. Scenario 2 (groene lijn) geeft het scenario weer zonder mosselen. Op basis van de huidige nutriëntenconcentraties (zonder mosselen) worden er maximale chlorofyl-concentraties van 250 ug/l verwacht. Bij een ineenstorting van de huidige aanwezige mosselpopulatie ca. 3200 – 5550 mosselen per m² worden zal het watersysteem omslaan van een helder voedselrijk systeem naar een troebel voedselrijk systeem.

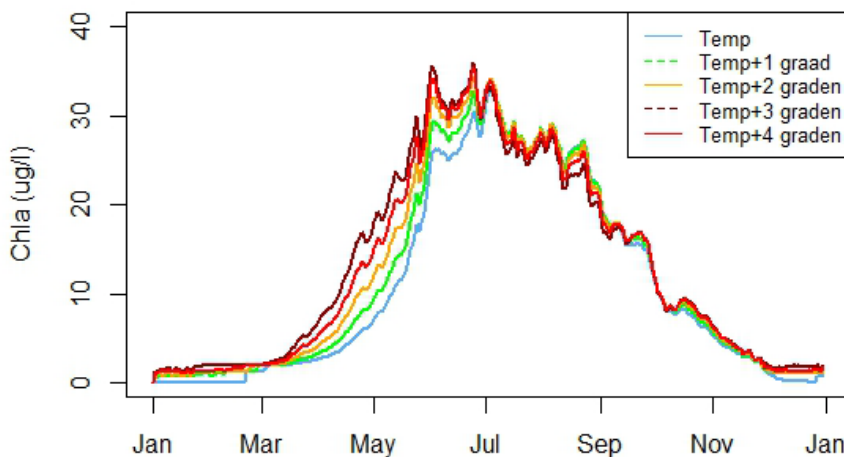
In scenario 3 is een mosselpopulatie van ca. 2000 – 3500 mosselen per m² aanwezig. Ook hierbij is het water nog troebel. Bij mosselconcentraties boven de 10000 mosselen per m² worden alle algen geconsumeerd, waardoor er ook geen voedsel meer is voor de mosselen. De vraag is echter of dit een reële situatie is, en of er in de praktijk zo'n grote mosselpopulatie kan ontstaan.

Ook de algensoortensamenstelling is bekeken. De Westeinderplassen zou ongeacht de grootte van de mosselpopulatie blauwalg gedomineerd zijn (Figuur 33). Van 2009 zijn er geen fluorprobe metingen van algen. Meetdata van na 2009 (Figuur 21) tonen aan dat met name vanaf juli de Westeinderplassen blauwalg gedomineerd is. Mondelinge conversatie met Los, H bevestigt dit beeld.



Figuur 33: Algencompositie. Boven: scenario 1 (met mosselen), onder: scenario 2 (zonder mosselen).

De effecten van een stijgende watertemperatuur op algengroei zijn onderzocht voor scenario 1 (met mosselen). Er zijn 5 varianten onderzocht: gemeten watertemperatuur in 2009, temperatuur in 2009 + 1 graad, 2009 + 2 graden, etc (Figuur 34). Geconstateerd kan worden dat de verschillende varianten niet veel van elkaar verschillen in maximale algengroei. De variant temperatuur 2009 + 4 graden verwacht de hoogste algengroei. Het groeiseizoen van de algen begint bij toenemende temperatuur in scenario 1 eerder en zal langer duren.



Figuur 34: Effecten van stijgende watertemperatuur op algengroei voor scenario 1 (met mosselen).

4.4.5 Discussie en conclusie modelstudie

Een model is een verzameling van rekenregels die de werkelijkheid op een versimpelde manier kan simuleren, en hierdoor erg waardevol kan zijn voor het verkennen van scenario's. Een model kan een beeld geven van mogelijke toekomstrichtingen, maar hoeft de werkelijkheid niet te representeren. Uitkomsten moeten met een slag om de arm worden geïnterpreteerd, en toepassing van een model zonder kennis van de processen is niet zinvol.

Validatie van het model, laat de gelijkenissen zien tussen werkelijkheid en de modelcalculatie. Het valideren van het model was in deze studie ingewikkeld, om de volgende reden:

- De resolutie van de meetdata in zowel ruimte als tijd was lager dan gewenst. Van de Westeinderplassen was slechts 1 lange termijn meetpunt beschikbaar met maandelijkse meetwaarden. De meetwaarden op de grenzen van het model zijn afkomstig van meetpunten verderop in het systeem die sterk beïnvloed kunnen zijn door andere factoren zoals uitlaat van afvalwaterzuiveringen, e.d. In ons model lijkt dit vooralsnog geen probleem op te leveren. Voor hoog variabele parameters zoals chlorophyl-a en algencompositie is een maandelijkse meting eigenlijk wat weinig. Hierdoor zou er een verkeerd beeld kunnen ontstaan. Daarnaast waren algencompositie en siliciumconcentraties voor 2009 niet beschikbaar.
- Een andere moeilijkheid is de afwezigheid van gegevens omtrent nutriëntenopname en afgifte van de bodem. Hierdoor kan de grootte van processen zoals mineralisatie niet ingeschat worden.
- Tot slot hebben we een model gemaakt van een situatie met mosselen (2009). Van deze situatie zijn er geen meetdata van de dichtheden mosselen beschikbaar. De meetdata stammen uit 2015. Op basis van de beste "fit" in termen van nutriëntenhuishouding, aangetroffen algenconcentraties en gemeten mosselen is het model gecalibreerd. De resultaten van de modelstudie geven echter alle aanleiding om aan te nemen dat

Ondanks bovenstaande aandachtspunten representeert het model aardig de werkelijkheid. Een vergelijking van het scenario met de dichtheid gemeten mosselen in 2015 (3200 mosselen/ m²) en de chemische waterkwaliteitskenmerken en algen (chlorofyl-a) tonen gelijke waarden aan. Er kan geconcludeerd worden dat mosselen in de Westeinderplassen zorgen voor de huidige helderheid van het water. Bij mortaliteit van de mosselen zal het systeem weer omslaan naar een troebel voedselrijk systeem. In scenario 4 (10000 mosselen/ m²) worden alle aanwezige algen geconsumeerd. De vraag is of er in werkelijkheid zoveel mosselen aanwezig zouden kunnen zijn en of dit niet "boven" de draagkracht van het systeem is. Als er namelijk geen voedsel meer beschikbaar is voor de mosselen zal dit tot sterfte of afname in reproductie leiden. Naar verwachting zou het huidige aantal mosselen nog iets kunnen toenemen alvorens de draagkracht van het systeem bereikt is.

Een toename van de temperatuur zal verder niet veel effect hebben op een toename aan algenconcentraties. Aangezien de algen nauwelijks nutriënt gelimiteerd zijn, zal een toename van nutriëntenconcentraties niet veel effect hebben op de waterkwaliteit.

4.5 Discussie en conclusie

De analyse van de waterkwaliteitsgegevens, het uitgebreide monitoringsonderzoek en de modelstudie tonen aan dat de quaggamossel in de Westeinderplassen verantwoordelijk is voor de toename van de recente helderheid (vanaf 2007) van het water.

Wat de precieze omvang van de verandering van de waterkwaliteit in de komende 5 – 10 jaar zal zijn voor o.a. de waterplanten, vis en biodiversiteit is moeilijk te voorspellen. Dit komt vooral doordat het onzeker is of de quaggamosselpopulatie stabiel blijft of plotseling in kan storten.

Blijft de quaggamosselpopulatie stabiel dan zal door zijn filterende werking het water helder blijven. Dit zal zijn effect hebben op vis en waterplanten. Doordat er meer licht op de bodem komt en nutriënten ruim beschikbaar zijn, kan er een (overmatige) waterplantenontwikkeling ontstaan. Daarnaast zullen zoöplanktonconcentraties afnemen door een directe concurrentie van quaggamosselen met zoöplankton om algen. Hierdoor zal ook de dichtheid van de vispopulatie die zich normaal met zoöplankton voedt dalen, waardoor de visstand kan afnemen en de diversiteit van soorten kan veranderen. De generieke trend is dat de visstand verandert naar een plantminnende gemeenschap (visgemeenschap die voor zijn levenscyclus mede-afhankelijk is van water- en oevervegetaties). Naar verwachting zal het aantal te vangen brasems afnemen. De effecten op blauwalg zijn onzeker en afhankelijk van de algensoortsamenstelling. De soortendiversiteit van macrofauna zal waarschijnlijk afnemen. Volgens literatuur neemt de biodiversiteit van macrofauna af bij een quaggamosselpopulatie groter dan 2500 mosselen / m² [2].

Bij afname van de huidige quaggamosselpopulatie in de Westeinderplassen zal het watersysteem met de huidige nutriëntenconcentraties weer omslaan naar een troebel voedselrijk systeem.



5. Implicaties voor beleid en aanbevelingen

5.1 Implicaties

Of de komst van de quaggamossel als positief gezien kan worden voor de waterbeheerder is niet eenduidig te beantwoorden. Aan de ene kant biedt de quaggamossel kansen door o.a. toename van helderheid en mogelijke terugkomst van waterplanten. Aan de andere kant geeft het risico's door een potentiële afname aan biodiversiteit, overlast door aankleving en de creatie van een instabiel systeem dat bij massamortaliteit weer troebel kan worden.

Hieronder zijn de implicaties voor de beleidsprogramma's Schoon water (KRW) en Voldoende water op een rij gezet. Daarnaast zijn de implicaties beschreven voor recreatie.

5.1.1 Beleidsprogramma Schoon en gezond water (KRW)

- De kwaliteit van de Nederlandse oppervlaktewateren worden beoordeelt aan de hand van de KRW. De KRW biedt een kader met doelen per "watertype" opgesteld aan de hand van referentiesituaties. Met behulp van maatlatten met daarin biologische en fysisch- chemische waterkwaliteitselementen wordt de status van de waterkwaliteit voor het respectievelijke "watertype" beoordeelt. De quaggamossel is niet opgenomen in de beoordelingscriteria van de KRW, maar wordt door zijn effecten op andere kwaliteitselementen wel indirect meegenomen. De driehoeksmossel is wel opgenomen in de beoordelingscriteria. Tijdens een inventarisatie onder verschillende waterbeheerders bleek dat er in Nederland verschillend wordt omgegaan met de quaggamossel in de KRW beoordelingen. De aanwezigheid van de quaggamossel heeft grote gevolgen voor het doelbereik van de Kaderrichtlijn Water (KRW). Wateren met quaggamosselen worden door een toename van helderheid en (mogelijke) terugkomst van de waterplanten positiever beoordeeld. Dit effect zien we reeds terug aan de hand van KRW maatlat scores. Het is echter onzeker of een situatie met quaggamosselen wel tot doelbereik zal leiden. Zo, biedt een toenemende helderheid kansen voor de ontwikkeling van watervegetatie. Abundante(overmatige) watervegetatie kan echter leiden tot vissterfte door zuurstofloosheid waardoor doelen voor vis niet gehaald worden. De driehoeksmossel wordt meegenomen in de KRW beoordeling waardoor er gecompenseerd kan worden voor effecten op het doelbereik.
- Door de introductie van de quaggamossel is het onzeker hoe de toekomstige waterkwaliteit eruit gaat zien. Hierdoor wordt het moeilijker in te schatten welke maatregelen effectief zijn in het verbeteren van de waterkwaliteit. Nieuw gevoel en nieuwe kennis moet opgebouwd worden om te bepalen welke maatregelen het effectiefst zijn en wat de precieze effecten zijn.
- Door een toename aan helderheid kan het beeld ontstaan dat de doelen voor de waterkwaliteit bereikt zijn en er geen maatregelen meer genomen hoeven worden. Dit terwijl de situatie voedselrijk helder water juist risico's met zich meebrengt en het nog niet duidelijk is hoe de waterkwaliteit zich gaat ontwikkelen. Het nemen van maatregelen zoals nutriëntenreductie blijft echter altijd zinvol. Met name doordat nutriënten door de mosselen niet verwijderd worden uit het watersysteem en bij mortaliteit van mosselen nutriënten weer beschikbaar worden voor algengroei waardoor er weer een troebel voedselrijk watersysteem kan ontstaan.

5.1.2 Beleidsprogramma Voldoende water

- De aangroei van mosselen op kunstwerken kan leiden tot problemen met doorstroming. Om doorstroming te garanderen, is het noodzakelijk om kunstwerken regulier te schonen van quaggamosselen. Drinkwaterbedrijf Evides gebruikt chemicaliën zoals chloorbleekloog om dichtgroei van transportleidingen te voorkomen. Op termijn kan dit een factor zijn waarbij ook rekening gehouden moet worden bij beheer & onderhoud en het ontwerp. Het schonen van kunstwerken kan leiden tot een verhoging van de onderhouds- en beheerskosten.
- Explosieve plantengroei kan leiden tot beperkte doorstroming met wateroverlast als potentieel gevolg. Met name in boezemkanalen zou dit tot grote problemen kunnen leiden. Op termijn zou er op een aantal plekken vaker gemaaid moeten worden. Dit kan leiden tot hogere beheerskosten. Tevens is het onduidelijk wat hogere kosten met zich meebrengt: baggeren in de huidige situatie of vaker maaien in een toekomstige situatie.

5.1.3 Recreatie

- Aangroei van mosselen op steigers, boten, zwemwaterstrandjes en toenemende waterplanten kan overlast veroorzaken voor watersporters. Zwemmers kunnen letsel oplopen vanwege scherpe schelpen.
- Hengelsporters en beroepsvissers kunnen last hebben van de verandering in visstand. Hengelsporters vissen met name graag op vissen kenmerkend voor troebel water. Vistechnieken voor helder water zijn anders dan voor troebel water.
- Externe partijen willen de quaggamossel gebruiken als inzet tegen de bestrijding van blauwalg. Er worden proeven gedaan o.a. in de stadsvijvers Linievijver in Breda en Fort de Bilt in Utrecht. De eerste resultaten van deze proeven lijken hoopvol. De doorlooptijd van deze proeven is echter te kort om iets te kunnen zeggen over de langetermijneffecten. Daarnaast kan de introductie van quaggamosselen als "symptoom bestrijding" gezien worden. De oorzaak van het waterkwaliteitsprobleem (in veel gevallen hoge nutriëntenconcentraties) wordt door introductie van quaggamosselen niet aangepakt. Aanbevolen wordt om bronmaatregelen (het verminderen van nutriëntenconcentraties) te verkiezen boven symptoommaatregelen. Daarnaast kan de introductie van quaggamosselen ook voor andere problemen zorgen.

5.2 Aanbevelingen

Gezien de grote potentiële gevolgen en de vele openstaande vragen omtrent verdere verspreiding en de precieze effecten is het raadzaam om:

- de ontwikkeling van de quaggamossel in het Rijnlands watersysteem structureel te gaan volgen. Het monitoren van quaggamossel op uniforme wijze (door Nederland en op verschillende plekken in het beheergebied van Rijnland) is van belang om grip te krijgen op verdere verspreiding, ontwikkeling van de mosselpopulatie en de effecten op de waterkwaliteit en het waterbeheer. Door structureel te monitoren wordt de huidige ecologische toestand en trend zichtbaar, kan er voorspellingen gemaakt worden uit extrapolatie van heden en verleden en kan er kennis ontwikkeld worden voor een beter systeembegrip. Momenteel wordt de quaggamossel slechts beperkt gemonitord. Waterbeheerders monitoren eens in de drie jaar macrofauna voor de KRW. Aangezien quaggamosselen onderdeel uitmaken van deze groep krijg je per KRW meetpunt een beeld van de aan-of afwezigheid, maar kan er verder niets gezegd worden over de ontwikkeling van de quaggamosselpopulatie en de verdere effecten op de waterkwaliteit. Rijnland heeft in 2014 en 2015 het Braassemermeer, de Westeinderplassen, de Langeraarsee plassen en de Amstelveense poel onderzocht met sonaronderzoek en aanvullende monsternamen. Hierdoor kan er voor deze plassen eenmalig een inschatting gemaakt worden van de ruimtelijke verspreiding en populatiegrootte- en opbouw. Tevens zijn er beperkte gegevens beschikbaar van visstand, vegetatie, duikeenden en zoöplanktoncompositie over de tijd. Kennis van deze facetten is belangrijk voor het begrijpen van het functioneren van het systeem. Zoals gezien, hebben mosselen substantiële effecten op deze elementen. Het verdient aanbeveling om meerdere jaren op uniforme wijze te monitoren. Om een goede inschatting te maken van populatieontwikkeling zullen op zijn minst aantallen, lengte, asvrijdrooggewicht (biomassa bepalingen) in de monitoring meegenomen moeten worden. Daarnaast valt het aan te raden om gebied dekkend te monitoren om de verspreiding in beeld te brengen en ook zoöplankton als kwaliteitselement mee te nemen in de monitoring.
- in te blijven zetten op het verminderen van de nutriëntenbelasting (bronmaatregelen). Quaggamosselen spelen door hun filterende werking in op de (tijdelijke) verbetering van de helderheid door de consumptie van algen. De nutriënten worden niet verwijderd uit het water, waardoor bij massamortaliteit van quaggamosselen hoge nutriëntenconcentraties opnieuw leiden tot troebel water. Om dit risico te ondervangen is het van belang om nutriëntenconcentraties in het water omlaag te brengen.
- waakzaam te zijn op problemen met doorstroming door aangroei van mosselen op kunstwerken of explosieve plantengroei. Samen met de gebiedsbeheerders zal er in de gaten gehouden moeten worden of en waar dichtslibben tot problemen kan gaan leiden zodat er op tijd maatregelen getroffen kunnen worden. Het is verstandig hier ook in toekomstig beleid en het ontwerp van het watersysteem rekening mee te houden.
- verdere landelijke (kennis)ontwikkelingen op het gebied van de quaggamossel te volgen en partijen zoals kennisinstituten aan te zetten tot verder onderzoek. Hierbij is het verstandig om af te stemmen met andere waterbeheerders zodat kennis en ervaringen gebruikt kunnen worden.
- op korte termijn een beeldvormingsvisie en een communicatieboodschap te ontwikkelen, zodat het helder is hoe Rijnland omgaat met de quaggamossel in zijn beheergebied, en waarom het treffen van nutriënt reducerende maatregelen nog

steeds zinvol is. Tevens is het raadzaam om deze boodschap naar de buitenwereld te communiceren. Particulieren, gemeenten e.d. denken na over de introductie van quaggamosselen als oplossing voor slechte waterkwaliteit.

- Verspreiding van de quaggamossel naar wateren met een hoge soortendiversiteit en natuurwaarde te voorkomen. Door middel van zogenaamde "Clean Drain & Dry Act" wordt in de VS de verspreiding van quaggamossel tegengegaan. In Nederland lijkt dit door hoge connectiviteit van de wateren alleen haalbaar voor geïsoleerde water met hoge natuurwaarde. Juist voor deze wateren lijkt het nuttig omdat de quaggamossel een risico vormt voor de soortendiversiteit.

6. Conclusies

In dit rapport zijn de volgende vragen onderzocht en besproken:

- **Wat zijn de veranderingen in de waterkwaliteit?**
De Rijnlandse boezem wordt het water helderder door een afname aan algen. Totaal-stikstof en totaal-fosfor concentraties blijven nagenoeg gelijk en de opgeloste nutriënten NO₃ en PO₄ zijn ruim beschikbaar voor algengroei. De oorzaak van de verlaagde algenconcentraties moet dus ergens anders liggen. Het zou goed kunnen dat dit komt door mosselgraas. Er ontstaat een situatie met helder voedselrijk water. Als gevolg van deze situatie lijkt er op enkele plekken een toename van waterplanten, een verandering in visstand en een afname van visbiomassa te ontstaan.
- **Hoe is de verspreiding van de quaggamossel in het beheergebied van Rijnland?**
Dreissena mosselen zijn aangetroffen in de Rijnlandse boezem en in de polderplassen: Haarlemmermeerse bosplas en Zoetermeerseplas. *Dreissena* mosselen zijn vrij heterogeen verspreid over de Westeindeplassen. De levende *Dreissena* gemeenschap bestaat hier voor > 90% uit quaggamosselen.
- **Zorgt de quaggamossel in de Rijnlandse boezem en enkele polderplassen voor de toename in helderheid/ het “verschijnsel” helder voedselrijk water?**
De quaggamossel zorgt momenteel in de Westeinderplassen voor helder water. De Westeinderplassen wordt in < 6 dagen gefilterd door de aanwezige mosselpopulatie. In het verleden heeft de driehoeksmossel al voor een toename in helderheid gezorgd. Het is zeer aannemelijk dat in de rest van de Rijnlandse boezem en de polderplassen: Haarlemmermeerse bosplas en Zoetermeerse plas deze toename ook veroorzaakt wordt door de recente komst van de quaggamossel.
- **Welke (korte en lange termijn) effecten heeft en kan de quaggamossel hebben op de waterkwaliteit en op de in het watersysteem aanwezige infrastructuur in het beheergebied van Rijnland?**
De aanwezigheid en de (potentiële) verdere opkomst van de quaggamossel in het beheergebied van Rijnland speelt in op de (tijdelijke) verbetering van doorzicht, door de consumptie van algen. Tevens heeft de quaggamossel op meerdere trofische niveaus effect op de waterkwaliteit en het beheer van het watersysteem. Zo, kan er een watervegetatieontwikkeling ontstaan en zal de visstand en soortendiversiteit veranderen. De effecten op blauwalg zijn onzeker en afhankelijk van de algensoortsamenstelling. De precieze omvang van de verandering in waterkwaliteit door quaggamosselen is moeilijk in te schatten. Dit komt mede door de onvoorspelbare populatiedynamiek van de quaggamossel. Bij een instortende quaggamosselpopulatie kunnen de hoge aanwezige nutriëntconcentraties zorgen voor algengroei en een afname van het doorzicht. De verbetering in doorzicht kan hierdoor van tijdelijke aard zijn.
- **Wat zijn de implicaties voor beleid?**
Of de komst van de quaggamossel als positief gezien kan worden is niet eenduidig te beantwoorden. Aan de ene kant biedt de quaggamossel kansen door o.a. toename van helderheid en mogelijke terugkomst van waterplanten. Aan de andere kant geeft het risico's door een potentiële afname aan biodiversiteit, overlast door aankleving en de creatie van een instabiel systeem dat bij massamortaliteit weer troebel kan worden.

Door gebrek aan gegevens is een voorspelling van de toekomstige effecten in Rijnlands watersysteem moeilijk te maken. Het is raadzaam de ontwikkeling van de quaggamossel in het Rijnlands watersysteem structureel te gaan volgen. Daarnaast is het raadzaam om in te blijven zetten op bronmaatregelen (het verminderen van nutriëntenconcentraties), omdat bij massamortaliteit hoge nutriëntenconcentraties leiden tot troebel water. Ook kan door de verbetering van de helderheid het beeld ontstaan dat er geen opgave meer is voor het verbeteren van de waterkwaliteit. Hierdoor kan het draagvlak voor maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit afnemen. Het is raadzaam over om over de quaggamossel en nut en noodzaak van maatregelen te communiceren. Tot slot is het de verwachting dat de komst van de quaggamossel leidt tot hogere kosten voor beheer en onderhoud (maaien overmatige waterplanten en verwijderen aankleving van mosselen aan kunstwerken). Het is raadzaam hier in toekomstig beleid rekening mee te houden.

7. Referenties

Interviews

- A. Bij de Vaate, Abraham. Waterfauna. 25 november 2014.

Artikelen

1. Bij de Vaate, A. 2006. De quaggamossel, *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov 1897), een nieuwe zoetwater mosselsoort voor Nederland. *Spirula*, 353. pp. 143-144.
2. Matthews, J., Van der Velde, G., Bij de Vaate, A., Leuven, R.S.E.W. 2012. Key factors for spread, impact and management of quagga mussels in the Netherlands. *Environmental Science*, rapportnummer 404. Nijmegen.
3. Reeders, J.H., Bij de Vaate, A., Slim, F.J. 1989. The filtration rate of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia) in three Dutch lakes with reference to biological water quality management. *Freshwater Biology*. 22. pp 133-141.
4. Ludyanskiy, M. L., McDonald, D., MacNeill, D. 1993. Impact of the zebra mussel, a bivalve invader. *BioScience*. 43. pp 533-544.
5. Van der Velde, G., Rajagopal, S. Bij de Vaate, A. 2010. *The Zebra Mussel in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden.
6. Matthews, J et al., 2014. Rapid range expansion of the invasive quagga mussel in relation to zebra mussel presence in the Netherlands and Western Europe. *Biological Invasions*, 16(1), pp. 23-42.
7. Bij de Vaate, A., & Beisel, J.N. 2011. Range expansion of the quaggamussel *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) in Western Europe: first observation from France. *Aquatic Invasions*, 6, Suppl. 1: 71–74.
8. Bij de Vaate, A., Van de Velde, G., Leuven, R., & Heiler, K. 2013. Spread of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*) in Western Europe. In T. & Nalepa, & T. N. Schloesser (Red.), *quaggamussels and zebra mussels: biology, impacts, and control* (pp. 83-92). CRC Press Boca Raton, U.S.A.
9. Bij de Vaate, A., Rajagopal, S., & Van der Velde, G. 2010. The zebra mussel in Europe; Summary and synthesis. In G. Van der Velde, S. Rajagopal, & A. Bij de Vaate (Red.), *The zebra mussel in Europe* (pp. 415-422). Weikersheim: Backhuys Publishers, Leiden/Margraf Publishers.
10. Bij de Vaate, A. 2010. Some evidence for ballast water transport being the vector of the quaggamussel (*Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov, 1897) introduction into western Europe and subsequent upstream dispersal in the river Rhine. *Aquatic Invasions*. 5(2). pp 207-209.
11. Bij de Vaate, A. & Jansen, E.A. 2007. Onderscheid tussen de driehoeksmossel en de quaggamossel. *Spirula*. 356. pp. 78-81.
12. Bij de Vaate, A. 2008. Ecologisch vergelijk tussen de driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) en de quaggamossel (*Dreissena rostriformis bugensis*): een literatuurstudie. *Waterfauna*, rapportnummer 2008-02. Lelystad.
13. Ackerman, J.D. 1999. Effect of velocity on the filter feeding of dreissenid mussels (*Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis*): implications for trophic dynamics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56 (9). pp. 1551-1561.
14. MacIsaac, H. J. 1996. Potential abiotic and biotic impacts of zebra mussels on the inland waters of North America. *American Zoologist* 36. pp. 287.
15. Reeders, H., & Bij de Vaate, A. 1992. Bioprocessing of polluted suspended matter from the water column by the zebra mussel (*Dreissena polymorpha* Pallas). *Hydrobiologia*, 239(1). pp. 53-63.
16. Diggins, T. 2001. A seasonal comparison of suspended sediment filtration by quaggamussel (*Dreissena bugensis*) and zebra (*D. polymorpha*) mussels. *Journal of Great Lakes Research*, 27 (4). pp. 457-466.
17. Garton, D.W., McMahon, R., Stoeckmann, A.M. 2014. Limiting Environmental factors and competitive interactions between Zebra and quagga mussels in North

-
- America. In T.F. Nalepa & D.W. Schloesser, eds. *quaggamussel and Zebra Mussels; Biology, Impact and Control*. CRC press, Boca Raton. 2nd edition. Pp. 383-402.
18. Mackie, G. L., Gibbons, W. N., Muncaster, B. W., Gray, I. M. 1989. The zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): a synthesis of European experiences and a preview for North America.
 19. Wong, W.H., & Gerstenberger, S.L., 2011. Quagga mussels in the Western United States: Monitoring and management. *Aquatic Invasions* 6, pp. 125-129.
 20. Jaarsma, N., Klinge, M., Lamers, L. 2008. Van helder naar troebel... en weer terug. STOWA, rapportnummer 2008-04. Utrecht.
 21. Scheffer, M et al., 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*. 413 (6856). pp. 591-596.
 22. Karatayev, A.Y., Burlakova, L.E., Padilla, D.K. 2014. Zebra versus quagga mussels: A review of their spread, population dynamics, and ecosystem impacts. *Hydrobiologia*. pp. 1-16.
 23. Leuven, R.S.E.W., F.P.L. Collas, K.R. Koopman, J. Matthews & G. van der Velde. 2014. Mass mortality of invasive zebra and quagga mussels by desiccation during severe winter conditions. *Aquatic Invasions* 9/3: 243-252.
 24. Noordhuis et al. 2014. Wetenschappelijk eindadvies ANT-IJsselmeergebied. Deltares, rapportnummer 1207767-000.
 25. Klerks, P. L., P. C. Fraleigh, and J. E. Lawniczak. 1996. Effects of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) on seston levels and sediment deposition in western Lake Erie. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53. pp. 2284-2291.
 26. Mayer, C.M et al. 2014. Benthification of freshwater lakes. In: T. & Nalepa, & T. N. Schloesser (Red.), *quagga and zebra mussels: biology, impacts, and control* (pp. 575-585). CRC Press Boca Raton, U.S.A.
 27. Bootsma, H.A. Liao, Q. 2014. Nutrient cycling by Dreissenid mussels: controlling factors and ecosystem response. In T. & Nalepa, & T. N. Schloesser (Red.), *quagga and zebra mussels: biology, impacts, and control* (pp. 555-574). CRC Press Boca Raton, U.S.A.
 28. IJff, S. (2014). De quaggamossel in Nederland, een vloek of een zegen? STOWA 20140W-04. Amersfoort.
 29. Verslaglegging kennisdag quaggamossel 23 april te Lelystad: www.wew.nu/algemeen.php
 30. Van Geest, G. & Noordhuis, R., 2014. Sturen op watervegetaties in het IJsselmeergebied. Deltares, rapportnummer 1208460-000-ZWS-0006.
 31. Van Mook, J., Castelijns, H., Wagenvoort, A., Schaaf, B., Ketelaars, B., Schurer, R. 2014. *Dreissena*-mosselen bij Evides Waterbedrijf: Bedrijfsbreed onderzoek betreffende biologie, ecologie, beheersing en monitoring. Referentienummer TB-00292.
 32. Veen, van der, J.S.R, P. Graafstra, *Watersysteemanalyse Westeinderplassen*, 17 juni 2011
 33. Baars-CIPRO. 2015. Onderzoek naar de verspreiding van zoetwatermosselen met behulp van sonartechnieken – Westeinderplassen. 14p017-definitief.
 34. Bij de Vaate, A., Jansen, E.A., Bij de Vaate, S.J. 2013. De Dreissenadichtheid in het Volkerak-Zoommeer: resultaten van onderzoek uitgevoerd in 2013. Waterfauna hydrobiologisch adviesbureau.
 35. Deltares. 2010. Delft3D usermanual. Deltares, Delft.
 36. Los, H. 2009. Eco-hydrodynamic modelling of primary production in coastal waters and lakes using BLOOM.
 37. Schneider, D. W. 1992. A bioenergetics model of zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, growth in the Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 1406-1416.
 38. Baggelaar, P.K. & Van der Meulen, E.C.J. 2010. *Trendanalist Gebruikershandleiding*. Icastat Statistisch Adviesbureau, Amstelveen en AMO Adviesbureau Modelleren en Optimalisatie, Hengelo, maart 2010, 39 blz.

-
39. Baars-CIPRO. 2014. Onderzoek naar de verspreiding van zoetwatermosselen met behulp van sonartechnieken – Langeraarseplassen. 14p016-definitief.
 40. Baars-CIPRO. 2014. Onderzoek naar de verspreiding van zoetwatermosselen met behulp van sonartechnieken – Braassemermeer. 14p015-definitief.
 41. Reitsma, J.J. 2014. Watersysteemanalyse Westeinderplassen. Hoogheemraadschap van Rijnland.
 42. AQUON. 2015. Ruwe meetgegevens monitoring zoetwatermosselen – Westeinderplassen.
 42. Crank, J. 1979. The mathematics of diffusion. Clarendon press Oxford.
 43. BCC, 1992. Hydrografische gegevens van de meren en plassen binnen het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland. Hoogheemraadschap van Rijnland.
 44. Sprung, M. and U. Rose. 1988. Influence of food size and food quantity on the feeding of the mussel *Dreissena polymorpha*. *Oecologia* 77:526-532.
 45. Dionisio Pires, L., R. Jonker, E. Van Donk, and H. Laanbroek. 2004. Selective grazing by adults and larvae of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): application of flow cytometry to natural seston. *Freshwater Biology* 49:116-126.
 46. Bastviken, D. T. E., N. F. Caraco, and J. J. Cole. 1998. Experimental measurements of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) impacts on phytoplankton community composition. *Freshwater Biology* 39:375-386.
 47. Stoeckmann, A. 2003. Physiological energetics of Lake Erie dreissenid mussels: a basis for the displacement of *Dreissena polymorpha* by *Dreissena bugensis*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 60. Pp. 126-134.
 48. Cuhel, R., & Aguilar, C. 2013. Ecosystem transformations of the Laurentian great lake Michigan by nonindigenous biological invaders. *Annual Reviews of Marine Science*. 5. Pp. 289-320.
 49. Roe, S.L. & MacIsaac, H.J. 1997. Deep water population structure and reproductive state of quagga mussels (*Dreissena bugensis*) in Lake Erie. *Canadian Journal of Aquatic and Fisheries Sciences* 54. pp. 2428 – 2433.
 50. Eckman, J.E., Peterson, C.H., Calahan, J.A. 1989. Effects of flow speed, turbulence, and orientation on growth of juvenile bay scallops *Argopecten irradians concentricus* (Say). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 132. pp. 123–140.
 51. Ricciardi A, Serrouya R & Whoriskey FG (1995) Aerial exposure tolerance of zebra and quagga mussels (*Bivalvia*: *Dreissenidae*): implications for overland dispersal. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 52. pp. 470-477.
 52. Van Hoorn, I & Visser, S. 2012. Zoetwater Rapportage 2012; Op weg naar een duurzame zoetwater voorziening in de Zuidwestelijke Delta.
 53. Spidle AP, Mills EL & May B (1995) Limits to tolerance of temperature and salinity in the quagga mussel (*Dreissena bugensis*) and the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52. pp. 2108-2119.
 54. Bowman, M.F. & Bailey, R.C. 1998. Upper pH tolerance limit of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). *Canadian Journal of Zoology*. 76. pp. 2119-2123.
 55. Britton, D.K. & Dingman, S, 2011. Use of quaternary ammonium to control the spread of aquatic invasive species by wildland fire equipment. *Aquatic Invasions* 6. pp.169-173.
 56. Kraak, M.H.S., Wink, Y.A., Stuijzand, S.C., Buckert-de Jong, M.C., de Groot, C.J., Admiraal, W. 1994. Chronic ecotoxicity of Zn and Pb to the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *Aquatic Toxicology* 30. pp. 77-89.
 57. Higgins, S.N. 2014. Meta-analysis of Dreissenid effects on freshwater ecosystems. In T. & Nalepa, & T. N. Schloesser (Red.), quagga and zebra mussels: biology, impacts, and control (pp. 487-494). CRC Press Boca Raton, U.S.A.
 58. Ward, J.M. & Ricciardi, A. 2014. Impact of *Dreissena* on benthic macroinvertebrate communities: predictable patterns revealed by invasion history. In: T. &

-
- Nalepa, & T. N. Schloesser (Red.), quagga and zebra mussels: biology, impacts, and control (pp. 599-610). CRC Press Boca Raton, U.S.A.
59. Nalepa, T. 2010. An overview of the spread, distribution, and ecological impacts of the quagga mussel, *Dreissena rostriformis bugensis*, with possible implications to the Colorado river system. University of Nebraska, Lincoln: Publications, Agencies and Staff of the U.S. Department of Commerce. Paper 412.
 60. STOWA, 2014. Ecologische sleutelfactoren; begrip van het watersysteem als basis voor beslissingen. STOWA, rapportnummer 2012-31. Amersfoort.
 61. Watkins, J.M., Dermott, R., Lozano, S.J., Mills, E.L., Rudstam, L.G., Scharold, J.V. 2007. Evidence for remote effects of Dreissenid mussels on the Amphipod *Diporeia*: Analysis of Lake Ontario benthic surveys, 1972-2003. *Journal of Great Lakes Research* 33. pp. 642-657.
 62. Snyder, F., Brainard Hilgendorf, M., & Garton, D. (1997). Zebra mussels in North America. The invasion and its implications.
 63. Vrtilik, M., & Reichard, M. 2012. An indirect effect of biological invasions: the effect of zebra mussel fouling on parasitisation of unionid mussels by bitterling fish. *Hydrobiologia*, 696(1). pp. 205-214.
 64. Van der Ploeg, H.A. et al. 2014. Role of selective grazing by Dreissenid Mussels in promoting toxic *Microcystis* blooms and other changes in phytoplankton composition in the Great Lakes. In: T. & Nalepa, & T. N. Schloesser (Red.), quagga mussels and zebra mussels: biology, impacts, and control (pp. 509-524). CRC Press Boca Raton, U.S.A.
 65. Effler, S.W., Brooks, C.M., Whitehead, K., Wagner, B., Doerr, S.M., Perkins, M., Siegfried, C.A., Walrath, L., Canale, R.P. 1996. Impact of zebra mussel invasion on river water quality. *Water Environment Research* 68. pp. 205-214.
 66. Michigan Sea Grant, 2013. www.greatlakesmapping.org, website geraadpleegd op 10-10-2013. In: Van Mook, J., Castelijns, H., Wagenvoort, A., Schaaf, B., Ketelaars, B., Schurer, R. 2014. *Dreissena*-mosselen bij Evides Waterbedrijf: Bedrijfsbreed onderzoek betreffende biologie, ecologie, beheersing en monitoring. Referentienummer TB-00292.
 67. Scheffer, M. 1998. *Ecology of Shallow Lakes*. Chapman and Hall, London.
 68. Van der Velde, P. 2002. De invloed van de filtreercapaciteit van *Dreissena Polymorpha* op de waterkwaliteit in de Westeinderplassen.
 69. Lammens, E. 1999. Het voedselweb van IJsselmeer en Markermeer: Veldgegevens, hypothesen, modellen en scenario's. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, RIZA Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling.
 70. Bij de Vaate, A. 1991. Distribution and aspects of population dynamics of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), in the Lake IJsselmeer area (The Netherlands). *Oecologia* 86. pp. 40-50.
 71. Bij de Vaate, A. 2009. *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897), in de Nederlandse rijkswateren in 2008. *Waterfauna*, rapportnummer 2009-01. Lelystad.
 72. Noordhuis, R. 2009. Tweekleppigen in IJsselmeer en Markermeer, 2006-2008. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied.
 73. Van Emmerik, W.A.M. Factsheet quaggamossel (*Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov, 1987). 2014. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.
 74. Mooij, W. 1990. Een graasmodule voor het eutrofiëringsmodel JSBACH. Waterloopkundig laboratorium, Delft.
 75. Walz, N. 1978b. The energy balance of the freshwater mussel *Dreissena Pallas* in laboratory experiments and in Lake Constance. I. Pattern of activity, feeding and assimilation efficiency. *Arch. Hydrobiol. Suppl* 55. pp. 83-105.
 76. Lengkeek, Wouter. Bureau Waardenburg. 18 november 2014. In: IJff, S. 2014. De quaggamossel in Nederland, een vloek of een zegen? Effecten van de

-
- quaggamossel op het waterkwaliteitsbeheer in Nederland. STOWA rapport 2014W04.
77. Pires, Miguel Dionisio. Deltares. 27 oktober 2014. In: IJff, S. 2014. De quaggamossel in Nederland, een vloek of een zegen? Effecten van de quaggamossel op het waterkwaliteitsbeheer in Nederland. STOWA rapport 2014W04.
78. Noordhuis, Ruurd. Deltares. 27 oktober 2014 In: IJff, S. 2014. De quaggamossel in Nederland, een vloek of een zegen? Effecten van de quaggamossel op het waterkwaliteitsbeheer in Nederland. STOWA rapport 2014W04.
79. Waaijen, Guido. Waterschap Brabantse Delta. 3 november 2014. In: IJff, S. 2014. De quaggamossel in Nederland, een vloek of een zegen? Effecten van de quaggamossel op het waterkwaliteitsbeheer in Nederland. STOWA rapport 2014W04.

Dankwoord

Dit rapport is tot stand gekomen door inzet en kennis van vele collega's binnen en buiten Rijnland. Graag willen we hen bedanken voor hun kritische noot en constructieve bijdrage. In het speciaal willen we Bram Bij de Vaate, Ellis Penning en Hans Los bedanken. Elk voor hun hulp en initiatief met respectievelijk het opzetten van het onderzoek, het organiseren van de kennisdag quaggamosselen en het uitvoeren van een modelstudie met het model Delft-3d.

BIJLAGEN



Bijlage 1. Methodiek trendanalyse

Algemene opzet

De waterkwaliteitsontwikkeling (parameters die een direct/indirect effect op doorzicht kunnen hebben) in de periode 01-01-1990 t/m 20-12-2014 zijn statistisch getoetst met het programma Trendanalist [38]. Hierbij is er bekeken of er een trend aanwezig is en is de helling van deze trend bepaald. Bij de analyse zijn de volgende waterkwaliteitsparameters onderzocht (Tabel 1).

Tabel 4: Onderzochte waterkwaliteitsparameters

Ammonium	Chloride
Chlorofyl-a	Doorzicht
Totaal fosfor	Fosfaat
Nitraat	Totaal stikstof
Sulfaat	Temperatuur
Zuurgraad	Zuurstof
Zwevende stof	

De waterkwaliteitsparameters zijn tweezijdig getoetst met een betrouwbaarheid van 95%. De getoetste nulhypothese is dat de reeks geen trend vertoont. De alternatieve hypothese luidde dat de reeks vanaf het begin een monotone trend vertoont.

Het programma trendanalist maakt gebruik van een intern expertsysteem waardoor het de keuze heeft uit een zestal statistische toetsen in te delen in twee groepen:

1. De lineaire regressietoets en zijn uitbreidingen (LR)
2. De Mann-Kendall toets en zijn uitbreidingen (MK)

Een toets uit de eerste groep wordt toegepast als de waarden van de meetreeks afkomstig zijn uit een normale kansverdeling, is dit niet het geval dan wordt een toets uit de tweede groep toegepast. De uitbreidingen zijn bedoeld om ook rekening te kunnen houden met seizoen effecten en/of autocorrelatie [38].

Voor het bepalen van de waterkwaliteitsontwikkeling in de Westeinderplassen is meetpunt RO281 uit het trendmeetnet gebruikt.

De ruimtelijke verspreiding is in beeld gebracht in ArcGIS.

Bijlage 2. Methodiek monitoringsonderzoek + ruwe meetdata

Algemene opzet

Om de verspreiding te bepalen van de aanwezige mosselbanken is gebruik gemaakt van sonar onderzoek (SideScanSonar (SSS) en aanvullend monsteronderzoek.

De metingen hebben plaats gevonden in de periode van november 2014 tot april 2015.

De metingen zijn uitgevoerd in de Westeinderplassen en de Ringvaart van de Haarlemmermeerpolder tussen de Leimuiderbrug en de Aalsmeerderbrug [33]. Daarnaast zijn ook de Braassemermeer [40] en Langeraarse plassen [39] ingevaren.

Sonar techniek

De sonarmetingen zijn gelijktijdig uitgevoerd vanuit het meetvaartuig Leda. De metingen zijn in raaien in oost-westelijk richting verricht. De raaiafstand is 20 meter. De SSS is van het type 600 kHz Edgetech 4125 SSS. Bij deze techniek hangt de SSS naast het meetvaartuig en wordt door het water getrokken. De SSS zendt en ontvangt meerdere malen per seconde een hoogfrequent akoestisch pulssignaal. Door de intensiteit van het signaal af te beelden als functie van de plaats, zijn verschillende reflectieklassen onderscheiden. Het gereflecteerde signaal is onderverdeeld in tien klassen, met een eigen kleurcodering. Ruwe oppervlakten verstrooien sonar signalen zodanig dat een deel daarvan weer door de ontvanger kan worden ontvangen. Gladde oppervlakten reflecteren het signaal weg van de ontvanger. Mosselen reflecteren sterker. Aanwezige objecten op de bodem zoals autobanden, vegetatie, bodemreliëf e.d. reflecteren het signaal ook, waardoor sterke reflecties niet alleen afkomstig zijn van mosselen. Daarom is er altijd steekproefsgewijs nader onderzoek nodig om vast te stellen dat het gereflecteerde signaal afkomstig is van mosselen.

De locatie is bepaald met een Septentrio PolaRx3e GPS/GLONASS RTK-GPS. De nauwkeurigheid is in alle drie dimensies (x,y,z) twee cm [33].

Verificatie van het reflectiesignaal

De reflectieklassen bepaald op basis van de SSS metingen zijn geverifieerd met van Veen happer, Schepmethode, onderwatercamera's en duikers.

Op basis van de reflectiesignalen zijn per reflectieklassen drie locaties (random) geselecteerd waar met een Van Veen happer 38 monsters zijn genomen. Daarnaast zijn op de 24 aanwezige reguliere KRW monitoringspunten van Veen monsters genomen. Ter aanvulling heeft een duiker op 22 locaties monsters genomen met een bodemschep. Per locatie is het aantal mossels, het biovolume, de schelpenlengte en de verhouding dood/levend materiaal (%) van zowel quaggamosselen en driehoeksmosselen bepaald. Het biovolume is berekend door de levende mosselen over te brengen in een maatcilinder met water. De hoeveelheid biovolume is het verplaatste water. De schelpenlengte is bepaald door gebruik te maken van een maatlat. De gevonden getallen zijn omgerekend naar aantallen per m². Met de van Veen happer (volume: 2 liter) zijn er per aangewezen locatie 3 bodemhappen genomen. Het materiaal is uitgespoeld in een net met een maaswijdte van 2 mm en is overgebracht in een emmer. Het bemonsterd oppervlak is ca. 0,026 m². Bij de KRW-locaties is er ook gewerkt met een macrofaunanet, aangezien bemonstering met een van Veenhapper niet altijd geschikt was. Bij deze monsternamen is omrekening naar 1 m² niet mogelijk. Een duiker heeft bemonsterd met een bodemschep (een metalen frame van 296 mm x 191 mm; oppervlakte 0,056 m²). Per duiklocatie zijn er drie random gekozen submonsters verzameld die onder water zijn samengevoegd tot één mengmonster. Het mengmonster is overgeplaatst in een fijnmazig net (maaswijdte van 2 mm) en is meegenomen naar het oppervlakte, waar het is overgeplaatst in een emmer. De duiker heeft tevens per locatie het bedekkingspercentage geschat. Ook is er van elke duiklocatie een filmpje gemaakt met een GOPRO onderwatercamera.

In de volgende tabellen staan de verzamelde meetgegevens (dichtheid, biovolume en lengteklasse) van het veldwerk uit de Westeinderplassen.

Meetresultaten
Dichtheid en biovolume

van Veen methode

Locatiecode	Reflectieklasse Sonar	X	Y	Uitgezocht monster (%)	Levend (%)	Dood (%)	Verhouding dood		Dreissena polymorpha (Driehoeksmossel)			Dreissena bugensis (Quaggamossel)			Biovolume			
							driehoeks	quagga	aantal (n)	Gem. lengte	Totaal per monster (	Totaal (m2)	aantal (n)	Gem. lengt	Totaal per monster (	Totaal (m2)	per n van hele monster (ml)	per m2
BMP1380	nb	106715	472544	100	90	10	2	1	171	9,84	171	2192	34	8,74	34	436	0,22	577
BMP1381	nb	108758	474066	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0
BMP1382	nb	109955	475347	100	90	10	2	5	0	0,00	0	0	52	16,62	52	667	0,62	410
BMP1383	0,1	109470	471933	100	0	100	1	0	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0
BMP1384	1,0	109028	471966	100	1	99	99	1	1	10,00	1	13	0	0,00	0	0	1,00	13
BMP1385	1,0	110486	472168	25	50	50	180	30	0	0,00	0	0	63	8,05	252	3231	1,33	1077
BMP1386	2,0	111203	474305	0	30	70	1	1	0	0,00	0	0	76	8,62	0	0	0,00	0
BMP1387	2,0	111131	474159	100	3	97	1	0	0	0,00	0	0	87	8,85	87	1115	0,17	192
BMP1388	2,0	111040	474028	100	70	30	1	0	0	0,00	0	0	48	11,04	48	615	0,29	179
BMP1389	3,0	111058	474288	100	2	98	90	10	0	0,00	0	0	89	8,53	89	1141	0,17	192
BMP1390	3,0	110274	474090	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0
BMP1391	3,0	110614	474007	100	15	85	2	1	0	0,00	0	0	35	10,26	35	449	0,34	154
BMP1392	4,0	110685	473847	100	50	50	1	0	0	0,00	0	0	180	7,51	180	2308	0,12	282
BMP1393	4,0	108978	472280	100	1	99	1	0	0	0,00	0	0	1	9,00	1	13	0,10	1
BMP1394	4,0	109812	472274	100	1	99	3	1	0	0,00	0	0	3	6,33	3	38	0,33	13
BMP1395	5,0	110650	472988	15	30	70	3	1	0	0,00	0	0	30	7,67	200	2564	1,67	641
BMP1396	5,0	110474	472748	100	50	50	49	51	3	6,33	3	38	91	5,29	91	1167	0,05	64
BMP1397	5,0	109800	472632	100	0	0	1	1	3	7,67	3	38	0	0,00	0	0	0,00	26
BMP1398	6,0	111140	473290	100	5	95	1	0	0	0,00	0	0	85	11,79	85	1090	0,21	231
BMP1399	6,0	111406	473374	100	10	90	2	1	0	0,00	0	0	31	9,42	31	397	0,13	51
BMP1400	6,0	109140	473234	100	15	85	8	2	23	8,57	23	295	0	0,00	0	0	0,87	256
BMP1401	7,0	111734	474588	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0
BMP1402	7,0	111658	473660	100	30	70	1	0	0	0,00	0	0	68	11,37	68	872	0,22	192
BMP1403	7,0	109150	471980	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0
BMP1404	8,0	107876	472782	100	15	85	5	1	6	9,50	6	77	1	11,00	1	13	0,14	13
BMP1405	8,0	108548	473022	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0
BMP1406	8,0	111390	474108	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0
BMP1407	9,0	111636	474338	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0
BMP1408	9,0	111312	473788	0	0	100	1	0	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0
BMP1409	9,0	111474	473924	100	35	65	60	5	0	0,00	0	0	11	19,91	11	141	0,91	128
BMP1410	10,0	109314	473528	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0
BMP1411	10,0	111494	473032	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0
BMP1412	10,0	109374	473576	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0
BMP1413	nb	107810	473034	100	2	98	98	2	4	13,25	4	51	0	0,00	0	0	0,50	26
BMP1414	nb	108791	474084	100	20	80	80	20	3	15,00	3	38	147	14,80	147	1885	0,67	1282
BMP1415	nb	108937	473775	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0
BMP1416	nb	109707	475040	100	20	80	4	1	1	16,00	1	13	30	20,73	30	385	0,48	192
BMP1417	nb	110511	474546	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0

Schemmethode																				
Locatiecode	Reflectieklasse Sonar	X	Y	Uitgezocht monster (%)	Levend (%)	Dood (%)	Verhouding dood		Dreissena polymorpha (Driehoeksmossel)				Dreissena bugensis (Quaggamossel)				Biovolume			
							driehoeks	quagga	aantal (n)	Gem. lengte	Totaal per monster (	Totaal (m2)	aantal (n)	Gem. lengt	Totaal per monster (	Totaal (m2)	per n van hele monster (ml)	per m2		
Locatie 1	4,0	108326	473320	40	1	99	2	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	50	15,48	125	744	0,85	253
Locatie 2	1,0	108502	473550	20	50	50	2	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	336	8,81	1680	10000	1,41	2827
Locatie 3	10,0	109326	473522	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0	0,00	0
Locatie 4	5,0	110620	473903	6,25	10	90	3	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	198	7,65	3168	18857	1,86	2190
Locatie 5	4,0	110689	473957	6,25	20	80	3	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	121	8,15	1936	11524	1,32	952
Locatie 6	7,0	110960	473865	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0	0,00	0
Locatie 7	3,0	111023	474128	33	15	85	3	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	283	11,53	857,5757576	5105	0,64	1082
Locatie 8	1,0	111163	474187	6,25	2	98	3	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	75	8,24	1200	7143	2,13	952
Locatie 9	2,0	111171	474274	20	10	90	2	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	283	9,00	1415	8423	0,71	1190
Locatie 10	4,0	111237	475071	100	2	98	98	2	39	8,28	39	232,14	0	0,00	0	0,00	0	0	0,21	48
Locatie 11	1,0	111414	475043	25	5	95	95	5	0	0,00	0	0,00	0	0,00	285	14,30	1140	6786	1,68	2857
Locatie 12	9,0	111568	474299	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0	0,00	0
Locatie 13	8,0	111532	474211	0	0	0	0	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0	0,00	0
Locatie 14	6,0	111354	473700	20	20	80	3	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	95	6,84	475	2827	1,00	565
Locatie 15	5,0	110613	472882	6,25	1	99	19	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	190	6,66	3040	18095	1,26	1429
Locatie 16	6,0	110054	473098	20	10	90	3	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	106	7,57	530	3155	0,00	0
Locatie 17	6,0	109930	472467	20	5	95	19	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	204	8,62	1020	6071	0,49	595
Locatie 18	4,0	110034	472300	10	70	30	1	0	6	8,83	60	357,14	291	10,93	2910	17321	2,36	4167		
Locatie 19	5,0	107783	472154	20	20	80	1	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	229	10,25	1145	6815	0,98	1339
Locatie 20	10,0	107670	471806	100	5	95	1	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	14	17,21	14	83	0,57	48
Locatie 21	2,0	107469	471765	10	5	95	1	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	105	11,00	1050	6250	2,00	1250
Locatie 22	9,0	107108	472221	100	10	90	1	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	17	15,53	17	101	0,41	42

van Veen methode en macrofauna net														
Locatiecode	Reflectieklasse Sonar	X	Y	Uitgezocht monster (%)	Levend (%)	Dood (%)	Dreissena polymorpha (Driehoeksmossel)			Dreissena bugensis (Quaggamossel)			Biovolume	
							aantal (n)	Gem. lengte (mm)	Totaal per monster (n)	aantal (n)	Gem. lengte (mm)	Totaal per monster (n)	per n van hele monster (ml)	per m2
KRW07_01A	nb	106691	471911	100	10	90	0	0,00	0	4	14,00	4	0,50	nb
KRW07_01B	nb	106724	471963	100	0	100	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_01C	nb	106757	472006	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_01D	nb	106815	472078	100	0	100	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_02A	nb	107637	471643	100	25	75	7	19,14	7	9	18,56	9	1,25	nb
KRW07_02B	nb	107679	471682	100	0	100	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_02C	nb	107719	471716	100	90	10	0	0,00	0	20	11,65	20	0,75	nb
KRW07_02D	nb	107763	471756	100	25	75	0	0,00	0	160	11,71	160	0,50	nb
KRW07_03A	nb	110574	474140	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_03B	nb	110631	474163	100	100	0	3	14,67	3	0	0,00	0	0,67	nb
KRW07_03C	nb	110697	474187	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_03D	nb	110754	474213	0	nb	nb	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_04A	nb	110555	474875	100	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_04B	nb	110601	474795	100	0	100	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_04C	nb	110608	474712	100	50	50	4	22,00	4	134	15,96	134	0,87	nb
KRW07_04D	nb	110536	474648	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_05A	nb	109210	473739	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_05B	nb	109126	473702	100	0	100	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_05C	nb	109068	473644	100	0	100	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_05D	nb	109110	473590	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_06A	nb	110987	472119	100	99	1	85	14,08	85	0	0,00	0	0,88	nb
KRW07_06B	nb	111053	472129	100	100	0	30	23,70	30	0	0,00	0	1,77	nb
KRW07_06C	nb	111141	472113	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb
KRW07_06D	nb	111184	472106	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	nb

nb = niet bepaald

Lengteklassen

Meetpunten zonder mosselen zijn weggelaten.

	Lengteklassen <i>Dreissena bugensis</i> (quaggamosselen) (mm)																																	
	<4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	Gemiddelde lengte (mm)			
BMP1380	2	2	8	1	4	3	4	3	3	2	1		1																			8,74		
BMP1382		2							1	2	3	4	5	16	9	3	4	3														16,62		
BMP1385		3	3	23	16	5	5	7		1																						8,05		
BMP1386		2	5	12	20	14	14	4	4	1																						8,62		
BMP1387		4	5	11	11	25	18	8	3	2																						8,85		
BMP1388					2	9	14	8	8	3	1			1	1		1															11,04		
BMP1389	1	1	4	19	24	19	11	6	3						1																	8,53		
BMP1391		3	2			5	5	11	5	2		2																				10,26		
BMP1392		9	53	25	56	32			3								1	1														7,51		
BMP1393						1																										9,00		
BMP1394		1	1		1																											6,33		
BMP1395	1	4	7	3	8	3	2		1								1															7,67		
BMP1396	30	30	19	4	6	1			1									1														5,29		
BMP1398			1	2	5	7	9	14	18	13	8	2	4		1														1			11,79		
BMP1399	1	1	1	2	14	3	5	1								1	1	1														9,42		
BMP1402	5		1	1	3	5	12	9	4	7	9	6	5	1																		11,37		
BMP1404								1																									11,00	
BMP1409													2	2		1	2	1	2	1													19,91	
BMP1414					2	1	7	8	21	24	15	19	10	9	10	7	4	2	4	1	1	1	1	1									14,80	
BMP1416							2	1					2	1			4	3	5	5	4		3										20,73	
KRW07_01A									1	2					1																		14,00	
KRW07_02A												2		1		3	1	1	1														18,56	
KRW07_02C					1	2	2	7	3	2	1		1		1																		11,65	
KRW07_02D		4			14	14	25	30	15	20	30					4					4												11,71	
KRW07_04C					3	3	4	11	7	12	14	11	15	10	11	6	8	3	3	6	2	2	3										15,96	
Locatie 1						1	1	1	5	6	5	6	2	11	6	2	3	1															15,48	
Locatie 2	4	16	36	57	59	45	52	20	17	13	9	4	2	1								1											8,81	
Locatie 4			22	40	42	32	34	14	6	4	2	2																					7,65	
Locatie 5	2	6	22	18	28	24	9	4	4	2				1																			8,15	
Locatie 7		8	8	20	28	36	24	28	24	28	32	5	12	9	5	4	5	1	6														11,53	
Locatie 8			6	17	26	12	9	3	2																								8,24	
Locatie 9	4	4	8	56	56	44	52	32	24								1		1		1												9,00	
Locatie 11	1	1		1	4	3	20	17	27	39	57	35	29	11	12	12	6	3	1	2	2								1			14,30		
Locatie 14	24	20	20	8	6	3	3			1	3	2	1	2	1		1																6,84	
Locatie 15	12	36	50	34	36	10	10	2																									6,66	
Locatie 16	6	7	24	22	17	14	11	2	1							1	1																7,57	
Locatie 17	6	5	22	41	30	48	29	6	9	2						2	2	1				1											8,62	
Locatie 18		1	4	5	18	34	67	56	47	34	17	2	1	2		2	1																10,93	
Locatie 19					6	110	43	24	26	9	1	1	3	3		2		1															10,25	
Locatie 20											1	1	1	2	3	2	1	2	1															17,21
Locatie 21		1	1	6	7	12	17	23	11	11	8	5	2					1															11,00	
Locatie 22						1			1		3	2	4	4	1			1																15,53

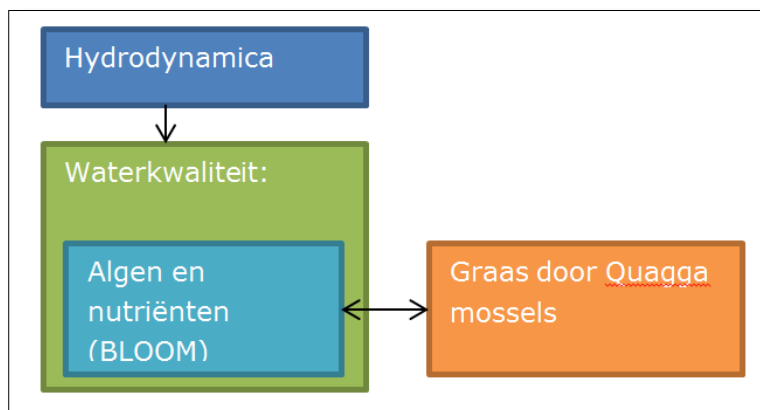
	Lengteklassen <i>Dreissena polymorpha</i> (driehoeksmosselen) (mm)																																		
	<4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	Gemiddelde lengte (mm)					
BMP1380	1	2	20	15	12	23	32	21	21	11	5	6		1	1																		9,84		
BMP1384							1																											10,00	
BMP1396	1		1			1																												6,33	
BMP1397			1	1			1																											7,67	
BMP1400			1	6	4	7	2	2	1																									8,57	
BMP1404				1		2	1	2																										9,50	
BMP1413						1				1		1	1																					13,25	
BMP1414										1	1				1																			15,00	
BMP1416													1																					16,00	
KRW07_02A												1			1		2	1		2														19,14	
KRW07_03B									1		1				1																				14,67
KRW07_04C											2																1								22,00
KRW07_06A	1			1	4	3	3	2	5	7	16	13	15	5	10																			14,08	
Locatie 10		15	4	5	5						3				2	1		1	1	1														8,28	
Locatie 18			1		1	1	1	1				1																						8,83	

Bijlage 3. Methodiek modelstudie + inputgegevens

Algemene opzet

De impact van de quaggamossel (*D. bugensis*) op de waterkwaliteit is gemodelleerd met het programma Delft3D. Delft3D is een software pakket geschikt voor het modeleren van hydrodynamica, sediment transport, morfologie, golven en waterkwaliteit in twee en drie dimensies van fluviale, estuariene en kust ecosystemen [35]. Het gebruikte model is geschematiseerd in Figuur 1.

De eerste component bestaat uit het modeleren van de hydrodynamica (sectie 0). Het is cruciaal hydrodynamica goed te modeleren aangezien het een belangrijke rol speelt in ruimtelijke verspreiding van verschillende substanties (anorganische stof, algen, nutriënten, etc). De output van het hydrodynamische submodel is een snelheids vector veld (velocity vector field) en wordt gebruikt als input voor het model BLOOM [36]. Het hydrodynamische submodel berekent de stroomsnelheid en richting op basis van in en uitvoer van water, regenval, evaporatie. BLOOM is een submodel dat algen en nutriënten dynamica kan simuleren. Het submodel BLOOM is gelinkt aan een algen graas module die de graas van mosselen op algen simuleert.



Figuur 35: Schematisch overzicht van Delft3D.

Hydrodynamica

Het hydrodynamische submodel berekent de stroomsnelheid en richting op basis van in en uitvoer van water, regenval en evaporatie. Voor deze studie is gebruik gemaakt van een bestaand hydrodynamisch model voor de Westeinderplassen van 2009.

De aan-en afvoer van water is mogelijk via 2 open verbindingen: De ringvaart aan de noord en zuidzijde. Als randvoorwaarde voor het model is een debiet aan de zuidrand van de Ringvaart toegekend. Dit debiet is berekend met een 1D Sobek model van het beheergebied van Rijnland. In dit model is voor 2009 op uur basis de afvoer van de boezemgemalen opgelegd en tevens zijn neerslag- en verdampingscijfers als invoer gebruikt. Op uur basis is het debiet in de Ringvaart berekend en deze berekende tijdreeks is vervolgens als invoer gebruikt voor de 3D berekeningen.

Daarnaast wordt er water uitgelaten bij een 10-tal punten. In het model is deze uitlaat als 1 punt met een constante discharge weergegeven.

Tevens zijn de volgende gegevens in het model ingevoerd

Wind: windrichting en windsnelheid op uur basis (KNMI station Schiphol)

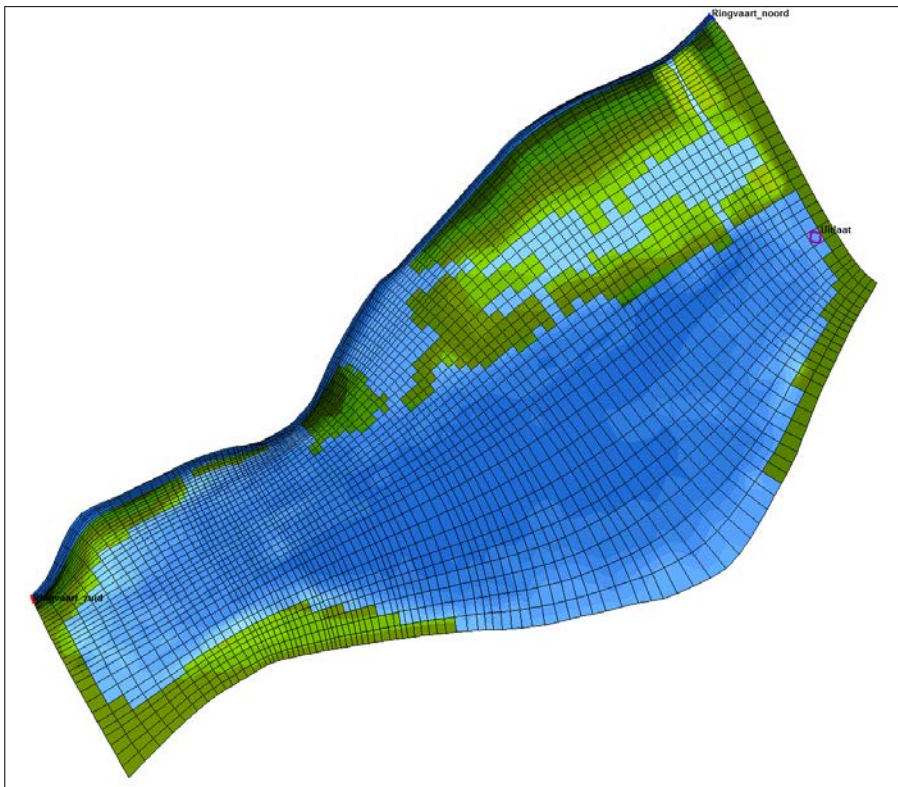
Neerslag: uur gegevens station Schiphol

Verdamping: dagcijfer station Schiphol

Uitlaten: uitlaten Waternet [41]

In het noordoosten zijn een 5-tal verbindingen aanwezig tussen de Kleine Poel en de Ringvaart. In het model worden deze verbindingen geschematiseerd door 1 verbinding met een breedte van ca. 20-30 m.

Voor de diepte van de plas is gebruik gemaakt van metingen die in 1992 zijn uitgevoerd [43].



Figuur 36: Schematisatie Westeinderplassen in Delft3D. Open verbindingen (Ringvaart N en Z aangegeven met rode stip). De monitoringslocaties zijn aangegeven met een blauw kruis. Groene cellen zijn land.

De berekende hydrodynamica zijn geprojecteerd op een grover grid om simulatie tijd in de volgende simulaties te besparen. Het originele grid is geaggregeerd gebruikmakend van een 4*4 aggregatietool. Het nieuwe grid is weergegeven in Figuur 3.



Figuur 37: Geaggregeerde grid

Algen en nutriënten

Met het model BLOOM kunnen nutriënten, algen soortensamenstelling en andere substanties berekend worden. Deze paragraaf focust op de basis principes van BLOOM en

is gebaseerd op werk van Jansen, 2013 [43]. Voor een uitgebreidere beschrijving zie Los, 2009 [36] of Deltares, 2010 [35].

BLOOM bestaat uit twee gedeelten:

- 1) Transport van stoffen gebaseerd op advection en dispersie
- 2) Processen die de concentratie veranderen (afbraak, mineralisatie, etc).

Transport wordt berekend op basis van de uitkomsten in het hydrodynamische model, op basis van de advection-dispersie vergelijking van Crank, 1979 [42]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\vec{v} \nabla C + D \nabla^2 C + S$$

Met C de concentratie van de stoffen (mg/l), t de tijd, v de snelheid vector (m/s) en D de dispersie constante (m²/s). S is de transportterm (mg/l/s) dat zowel over de fysische, biologische en chemische processen gaat als over de aan en afvoer van stoffen.

BLOOM bevat zowel een stikstof, fosfor als een silicium cyclus. Inorganische nutriënten worden opgenomen door algen. Als algen afsterven, worden de organische nutriënten direct gemineraliseerd naar inorganische nutriënten of getransformeerd via detritus en daarna omgezet in inorganische nutriënten. Uitwisseling van nutriënten tussen de waterkolom en bodem is opgenomen in het BLOOM model. In de bodem kunnen nutriënten worden begraven (burial) en hierdoor uit het systeem verdwijnen. Nitrificatie en denitrificatie is ingesloten in de stikstofcyclus. Stikstofdepositie is in deze studie niet meegenomen aangezien het verondersteld is als een erg lage term. Inorganisch fosfaat kan geabsorbeerd worden door inorganisch materiaal en kan bezinken op de bodem. Tabel 2 geeft de stoffen gemodelleerd in BLOOM.

Tabel 5: Stoffen gemodelleerd in BLOOM

Stof	Type
Nutriënt	
Fosfor	<ul style="list-style-type: none"> - Detritus P (water en bodem), - Ortho-fosfaat (PO₄), - Geabsorbeerd ortho-fosfaat (AAP) (water en bodem), - Ander organisch P (water en bodem); - Algen-P
Stikstof	<ul style="list-style-type: none"> - Detritus N (water en bodem), - Ammonium (NH₄), - Nitraat (NO₃), - Ander organisch N (water en bodem); - Algen-N
Silicium	<ul style="list-style-type: none"> - Silicium (Si), - Detritus Si (water en bodem), - Other organisch Si (water en bodem); - Algen Si
Andere stoffen	
Zuurstof	<ul style="list-style-type: none"> - O₂ in het water; - SOD in het sediment
Koolstof	<ul style="list-style-type: none"> - Detritus C (water en bodem), - Ander organisch C (water en sediment); - Algen C

Nutriëntbronnen zijn toegevoegd tot het model: Ringvaart noord (RO032) en Ringvaart zuid (RO027) uit 2009. De metingen zijn afkomstig uit Rijnlands database en de meet frequentie is maandelijks. De nutriëntenconcentraties zijn lineair geïnterpoleerd en vermenigvuldigd met hogere frequentie stromingsdata output uit het hydrodynamische model.

Zuurstof en koolstof concentraties zijn gemodelleerd in de water en bodem fase (Tabel 2). Zuurstof is geproduceerd en geconsumeerd door algen en kan worden uitgewisseld

met de atmosfeer. Daarnaast wordt zuurstof gebruikt bij processen zoals mineralisatie en nitrificatie.

Algen zijn gemodelleerd in verschillende soortgroepen: groenalgen, diatomeeën en de blauwalgen. Verschillende algengroepen gedijen onder verschillende milieufactoren zoals, licht, temperatuur en nutriëntenbeschikbaarheid. Afhankelijk van de milieufactoren kunnen algensoorten elkaar onderdrukken. In het model BLOOM bestaan algen uit verschillende fenotypen die elk bij verschillende milieufactoren/ limiterende omstandigheden het beste functioneren (energy-type (snelgroeiers), stikstof-type, fosfor-type en fixatie type). Zo functioneert het stikstof type het beste onder stikstof limitatie. De som van alle verschillende fenotypen resulteert in de totale biomassa van een soort. Niet alle typen zijn beschikbaar voor alle soorten. Zo is het fixatie type alleen beschikbaar voor de soorten die stikstof kunnen fixeren. De stoichiometrie, de beschikbare nutriënten en licht bepalen het dominante type. De hoeveelheid van een bepaalde soort worden bepaald door de efficiënte en/of netto groeisnelheid bij een limiterende factor.

In het model wordt de verandering van algenconcentratie van een bepaalde soort i (ALG_i), bepaald door de volgende formule:

$$\frac{dALG_i}{dt} = gro_i - mrt_i - sed_i - grz_i$$

Waar gro_i staat voor de functie van groei, mrt_i = mortaliteit, $sedi$ = sedimentatie en grz_i = graas. Allen uitgedrukt in $gC/m^3/d$.

Gro_1 wordt als volgt gedefinieerd:

$$gro_i = \frac{ALG_{i,new} - ALG_i}{\Delta t} + mrt_i$$

De parameter mortaliteit is in deze formule toegevoegd aangezien de verandering in ALG_i al is gecorrigeerd voor mortaliteit. De totale groei is daarom de som van verandering van algenconcentratie en de mortaliteitssnelheid. De mortaliteitssnelheid komt voort uit de mortaliteitssnelheid bij $0^\circ C$ (m_i) gecorrigeerd voor de actuele temperatuur (d).

$$mrt_i = m_i ALG_i \text{ with } m_i = m_{i,0} k_{T,m_i}^T$$

k_{T,m_i} staat hiervoor de temperatuur coëfficiënt voor mortaliteit (0,04) en T , de temperatuur $0^\circ C$. Voor groei en mortaliteit worden maandelijkse temperatuurmetingen gebruikt.

Sedimentatie is berekend als functie van de bezinkingsnelheid v_i (m/d) en de waterdiepte Z (m):

$$sed_i = \frac{v_i ALG_i}{Z}$$

Graas volgt uit de berekeningen in de algen graas module (zie hieronder).

De gesimuleerde algen compositie is vergeleken met meetdata (aantal cellen per volume). De aantallen zijn omgezet naar totale koolstof concentratie per algengroep (Groenalgen, diatomeeën of blauwalgen). Ze zijn vermenigvuldigd met het cel volume en vertaald naar koolstofconcentratie gebruikmakend van de volgende relatie:

$$\log(C) = -0.314 + 0.712 \log(V)$$

Waarbij C = koolstof concentratie in pgC per cell en V het cel volume in μm^3 .

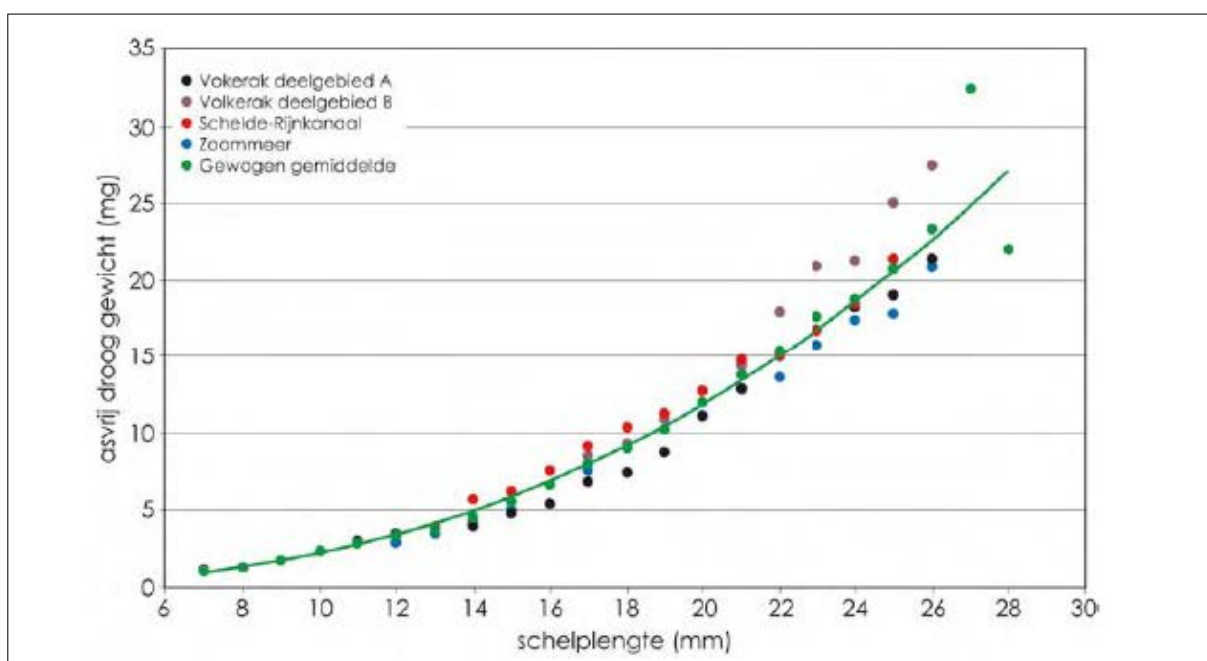
Graas door mosselen

Het model BLOOM (algen en nutriënten dynamica) is uitgebreid met een “algen graas” submodel. Deze graas module werkt op basis van een zogenaamde “forcing function” aanpak: het legt een bepaalde biomassa (quaggamossel) mossels (gC/m^2) op dat gecorrigeerd wordt voor groei, mortaliteit en voedselbeschikbaarheid. De opgelegde hoeveelheid biomassa kan variabel zijn in ruimte en in tijd. Er zijn vier scenario’s gesimuleerd: geen mossels, de gemeten mossel biomassa in 2015 en hogere en een lagere mossel biomassa.

De mosseldichtheidsbepalingen en de gemiddelde schelpenlengte van januari 2015 zijn gebruikt als modelinput. Van andere jaren is er geen data beschikbaar. De data is omgerekend van dichtheid (aantal/ m^2) naar koolstofdichtheid mossels (gC/m^2). Hiervoor is de gemeten dichtheid omgerekend naar asvrij drooggewicht/ m^2 (AVDG), gebruikmakend van de bepaalde relatie tussen schelpenlengte en AVDG (Vaate et al., 2013). De relatie tussen de schelpenlengte en het AVDG is beschreven met de formule $AVDG = aL^b$. Hierin is AVDG het gemiddelde asvrij droog vleesgewicht (mg) per lengteklasse, L de schelpenlengte (mm) en zijn a en b constanten met waarden $a = 0,007$ en $b = 2,455$ [34]. Dit resulteert in de volgende relatie:

$$AVDG \text{ (mg)} = 0,007L^{2,455} \text{ [34].}$$

Formule



Figuur 38: De relatie tussen de schelpenlengte en het gemiddelde asvrij droog vleesgewicht van de quaggamosselen [34]. Groene lijn: Gewogen gemiddelde.

Het AVDG is omgezet naar koolstofdichtheid door te vermenigvuldigen met een factor 0,5 [37]. De opgelegde mosseldichtheid G_i (gC/m^2) in 2015 is gegeven in **Fout!** **Verwijzingsbron niet gevonden..**

Tabel 6: Berekende mosseldichtheid in 2015.

Meetmethode	Bepaalde mosseldichtheid (aantal/ m^2)	Gemiddelde schelpenlengte	Model input G_i (gC/m^2)
Van Veen	434	8	0,25
		9	3,34

Schepnet	5478	8	31,61
		9	42,20

Zolang er genoeg voedsel beschikbaar is om de mosselbiomassa te onderhouden, de opgelegde mosseldichtheid zal worden behouden ($G=G_i$). Is dit niet het geval dan zal de berekende mossel dichtheid lager zijn dan de opgelegde dichtheid ($G<G_i$). In dit geval zal de dichtheid in de volgende tijdstip gecorrigeerd worden voor de energie die nodig is om te respireren:

$$G_{new} = G(1 - rm_{G,20}f_{T,grz}\Delta t) + A\Delta t$$

Formule

Met G en G_{new} de mosseldichtheid (gC/m^2) op tijdstip t en $t+\Delta t$. De maintenance respiratie snelheid met een temperatuur van 20 graden wordt weergegeven met $rm_{G,20}$ (d-1) en A is de maximale assimilatie flux gecorrigeerd voor groei respiratie ($gC/m^2/d$) [35]; [36]. Een meer gedetailleerde beschrijving is te vinden in Los, 2009 [35].

De maximale assimilatie flux hangt af van de opname snelheid van algen door mossels. Deze is soort specifiek. Sprung and Rose, 1988 veronderstellen dat deze opname snelheid enerzijds filtratie gelimiteerd is bij lage voedselconcentraties of opname gelimiteerd is bij hoge voedselconcentraties. De opnamesnelheid wordt gelimiteerd door de laagste van beiden. De opname snelheid (m/d) wordt als volgt gedefinieerd:

$$up = Gf_{T,grz} \text{MIN} \left[k_{flt,20} \frac{c_f}{c_f + k_f}, k_{upt,20} \frac{1}{c_f} \right]$$

De temperatuurfunctie voor graas processen $f_{T,grz}$ (-) hangt af van de temperatuur coëfficiënt k_{tG} ($^{\circ}C$) en de temperatuur T ($^{\circ}C$):

$$f_{T,grz} = e^{k_{tG}(T-20)}$$

Met $k_{flt,20}$ als de maximale filtratiesnelheid ($m^3/gC/d$) bij $20^{\circ}C$, $k_{upt,20}$ als de maximale opnamensnelheid bij 20 graden ($gC/gC/d$) en k_f de halfwaarde saturatie constante voor graas. De beschikbare voedselconcentratie c_f (g/m^3) bestaat uit algen en detritus. De functionele respons voor de opname snelheid [$c_f/(c_f+k_f)$] is een Hollings type 1 respons wat inhoudt dat de opname snelheid lineair toeneemt tot de limiterende voedselconcentratie [44].

Mosselen hebben een preferentie voor verschillende algensoorten. Deze preferentie kan aangepast worden in het model. De bepaling van preferentie is echter erg complex en er lijkt geen wetenschappelijke consensus over te bestaan. In het model is daarom een gelijke preferentie van mosselen op algensoorten aangegeven [45]. Indirect wordt de verhouding tussen algensoorten wel beïnvloed door een mogelijke verandering in lichtklimaat, nutriëntenconcentratie en netto groei. Zo hebben algensoorten met een lage productiesnelheid een nadeel ten opzichte van algen met een hoge productiesnelheid. Eveneens zal een verandering in nutriëntenconcentratie algensoorten bevoordelen die beter groeien onder de nieuwe nutriënten condities [46]. De effecten van zoöplankton graas zijn indirect in het model opgenomen door ze toe te voegen aan de natuurlijke mortaliteitssnelheid. Tevens zijn de effecten van zoöplankton graas ten opzichte van de quaggamossel erg gering aangezien:

- De quaggamossel het hele jaar aanwezig is.
- De biomassa van quaggamossel velen malen groter is dan die van zoöplankton.
- De quaggamossel een grotere verscheidenheid aan deeltjesgrootte kan filteren [14].

De beschikbare voedselconcentratie voor mossels wordt berekend met de volgende formule:

$$c_f = \sum(ALG_i \cdot p_{ALG}) + POC \cdot p_{DET}$$

Met ALG en POC respectievelijk de algen en detritus concentratie (g/m³) en p_{ALG} en p_{DET} als preferentiefactoren voor algen of detritus.

De opname van algen en detritus is bepaald door de opname snelheid en concentratie van de algen en detritus:

$$grz_i = ALG_i \cdot up$$

$$grz_{POX} = POC \cdot up$$

Mossels consumeren alleen detritus in de watercolumn. Detritus in het sediment kan niet worden geconsumeerd. Geconsumeerd voedsel wordt door quaggamossel gebruikt voor assimilatie, respiratie en excretie processen. De hoeveelheid uitgescheiden materiaal hangt af van de hoeveelheid ingenomen materiaal I_x (g/m/d) en de assimilatie A_x (g/m/d) van nutriënt X:

$$exc_X = I_X - A_X$$

I_x is gedefinieerd als:

$$I_X = grz_{POX} + \sum(grz_i s_{Xi})$$

Met s_{x,i} de verhouding van nutriënt X in algensoort i.

A_x is verdeeld in groei en respiratie. Het model houdt rekening met de stoichiometrische verschillen van de quaggamossel in relatie tot het ingenomen voedsel. Als het uitgescheiden materiaal in de vorm van pseudofaeces wordt toegevoegd aan de bodem.

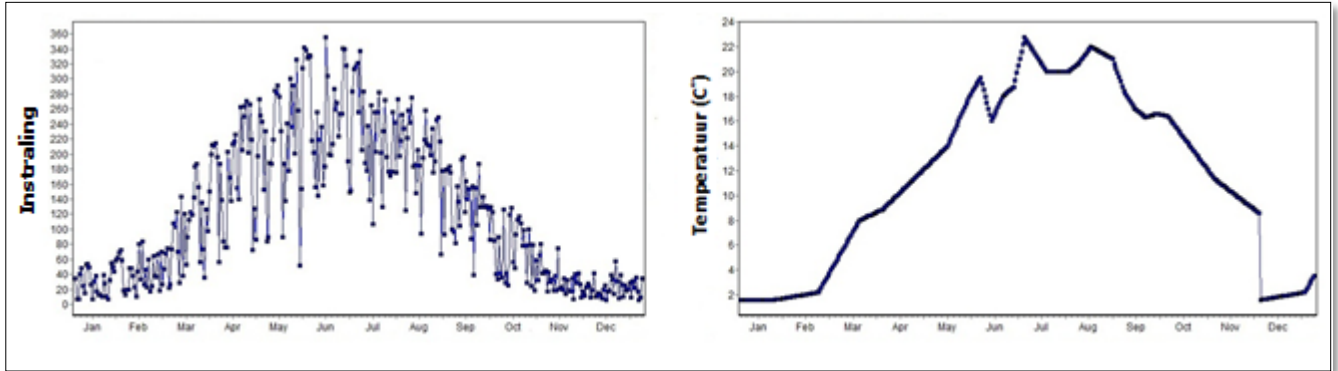
Voor het model zijn de parameterwaardes voor driehoeksmossel gebruikt. De gebruikte parameterwaardes kunnen gevonden worden in Tabel 4.

Tabel 7: Modelparameters

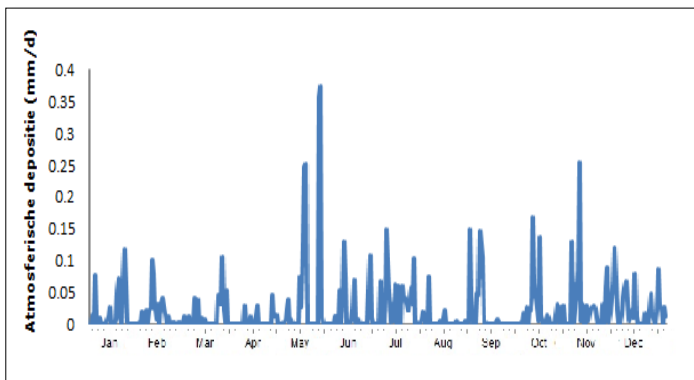
Parameter	Beschrijving	Literatuur	Model
ktG	Temperatuur coëfficiënt <i>D. polymorpha</i> voor graasprocessen	[74]	0.04 oC-1
kflt,20	Maximale filtratiesnelheid door <i>Dreissena polymorpha</i>	[75]	0.05 m3gC-1d-1
kupt	Maximale dagelijkse opname <i>D. polymorpha</i>	[75]	0.1 gC/gC/d
kf	Monod term filtratiesnelheid <i>D. polymorpha</i>	[74]	0.1 gCm-3
pALG	Preferentie factor algengraas	[35]	1 [-]
pDET	Preferentie factor detritus graas	[35]	0.5 [-]
fsed	Fractie uitgescheiden materiaal getransformeerd in pseudofaeces	[35]	0.5 [-]
rmG,20	Maintenance respiratie snelheid bij 20°C	[74]	0.2 d-1
A	Maximale assimilatie flux gecorrigeerd voor groei respiratie	-	Calculated gC m-2 d-1

Waarden voor modelinput

Watertemperatuur, lichtinstraling (radiatie) en atmosferische depositie zijn gebruikt als inputwaarden voor het model. In Figuur 5 en Figuur 6 zijn de gebruikte waarden door de tijd aangegeven.



Figuur 39: Instralings- en temperatuurgegevens voor de Westeinderplassen 2009.



Figuur 40: Atmosferische depositie (mm/d) voor de Westeinderplassen 2009.

Voor de randen van het model (in- en uitstroming op de Ringvaart) zijn concentraties voor silicium, ammoniak, fosfaat, zuurstof en detritus stikstof (dood organisch materiaal) gedefinieerd. Deze waarden zijn bepaald aan de hand van meetpunt RO032 en RO217. Aangezien er geen silicium recentelijk gemeten is, zijn er meetwaarden uit 1984 gebruikt. Er is vanuit gegaan dat siliciumconcentraties niet limiterend zijn voor algengroei.

Tabel 8: Inputwaarden model

Noord

Datum	Si	NH4	PO4	O2	DetN
2009/01/20	3.5	0.01	0.14	12	4.5
2009/02/17	6.7	0.01	0.18	14	5
2009/03/17	5.6	0.01	0.11	12	4.5
2009/04/21	3.5	0.016	0.02	15	4
2009/05/26	1.1	0.01	0.14	8.7	3
2009/06/23	3.0	0.01	0.18	6.7	2.75
2009/07/28	0.8	0.01	0.22	7.1	2
2009/08/25	1.2	0.01	0.26	5.1	2
2009/09/22	2.3	0.01	0.24	5.9	2
2009/10/27	4.3	0.01	0.21	6.9	2.5
2009/11/24	5.5	0.01	0.20	9.9	3.5
2009/12/22	6.7	0.01	0.20	11	4

Zuid

Datum	Si	NH4	PO4	O2	DetN
2009/01/20	3.5	0.01	0.2	12	4.5
2009/02/17	6.7	0.01	0.11	12	5
2009/03/17	5.6	0.01	0.17	12	4.5
2009/04/21	3.5	0.01	0.12	7.8	4
2009/05/26	1.1	0.01	0.12	7.7	3
2009/06/23	3.0	0.01	0.17	7.2	2.75
2009/07/28	0.8	0.01	0.38	8.1	2
2009/08/25	1.2	0.01	0.17	7.6	2
2009/09/22	2.3	0.01	0.21	6.5	2
2009/10/27	4.3	0.01	0.25	8.5	2.5
2009/11/24	5.5	0.016	0.16	9.8	3.5
2009/12/22	6.7	0.01	0.17	11	4

Bijlage 4. Tolerantiekenmerken quaggamosselen

Tabel 9: Tolerantiekenmerken voor milieufactoren van quaggamossel mossels

Parameter	Beschrijving + referenties
Temperatuur	<p>Max temp: 25 – 34 °C (refs. In [2]).</p> <p>Een watertemperatuur van 26 °C kunnen quaggamossel mossels goed verdragen [47].</p> <p>In Noord-America blijft de quaggamossel mossel de hele winter actief filteren [48].</p> <p>In Noord-Amerika in Lake Erie werden aanwijzingen gevonden voor voortplanting bij 5°C [49].</p> <p>Min temp: > 9 °C voor reproductie [2].</p>
Diepte	<p>Max diepte: In Nederland overleven quaggamossel mossels bij 17 m nauwelijks. Een diepte van 10 m lijkt geen probleem [2].</p>
Stroomsnelheid	<p>Max. stroomsnelheid: 0,09-0,2 m/s [13]; [50].</p> <p>< 1-1,5 m/s voor hechting [17].</p> <p>In de praktijk komen quaggamosselen ook voor bij hogere stroomsnelheden [2].</p>
Droogte	<p>Max. tijd droogte: Gemiddeld kunnen Dreissena's bij gematigde zomerse omstandigheden 3-5 dagen buiten het water overleven [51].</p>
Zuurstof	<p>De quaggamossel mossel is relatief goed bestand tegen lage zuurstof concentraties. De zuurstoftolerantie is afhankelijk van temperatuur en grootte [52].</p> <p>Min zuurstofgehalte: > 2,13 kPa [17].</p>
Aanwezigheid van substraat	<p>Quaggamosselen hechten zich aan (hard) substraat. Hieronder valt echter ook, hout, plastic, andere schelpen, veenruggen, etc [2]; [6]; [30]; [12]; [17].</p>
Voedselrijkdom	<p>Quaggamosselen functioneren ook onder slibrijke omstandigheden en bij hoge concentraties anorganische zwevende stof [12].</p> <p>Troebelheid is negatief voor filtratiesnelheid [17].</p>
Saliniteit	<p>Max ‰: quaggamossel mosselen overleven een saliniteit van 5‰ niet langer dan 18 dagen [53].</p> <p>Bij een saliniteit van 4000 mg Cl/l produceren quaggamosselen geen bysystdraden [6].</p> <p>Boven een saliniteit van 2000 mg Cl/l vindt geen reproductie meer plaats [2].</p>
Zuurgraad	<p>pH bovengrens: Voor de driehoeksmossel ligt de grens tussen de 9,3 en 9,6 [54].</p> <p>pH ondergrens: > 7,1 voor hechting; > 6,9 voor overleving [2]</p>
Calcium	<p>Ca²⁺ ondergrens: quaggamosselen hebben calcium nodig als belangrijke bouwstof voor hun schelpen. Onder de 12 mg Ca/l worden geen quaggamosselen aangetroffen (refs [12]).</p>
Ammonium	<p>Quaternary ammonium wordt gebruikt als een cleaning detergent/ ontsmettingsmiddel. 60 minuten exposure is voldoende om alle veligers (larven) te laten sterven [55].</p>
Lood	<p>EC50filtratie zebra mosselen: 48 uur 370 µg/l, 10 wk 91 µg/l [56].</p>
Zink	<p>EC50filtratie zebra mosselen: 48 uur 560 µg/l, 10 wk 131 µg/l [56].</p>
Cadmium	<p>EC50filtratie zebra mosselen: 48 uur 388 µg/l, 10 wk 27 µg/l [56].</p>
Koper	<p>EC50filtratie zebra mosselen: 48 uur 41 µg/l, 10 wk 43 µg/l [56].</p>
Landbouwgif	<p>onbekend</p>

Bijlage 5. Effectenmatrix literatuurstudie

Tabel 10: Overzicht ecologische effecten quaggamossel met beoordeling. Effecten zijn geclassificeerd positief, negatief of neutraal/ ter discussie aan de hand van expert judgement en Matthews et al., 2012 met het oog op het te behalen referentiebeeld (helder plantenrijk water).

	Positief	Negatief	Neutraal / ter discussie	Eindoordeel (+ = positief, - = negatief +/- = neutraal, ? onbekend).	Opmerking
Systeemkenmerken					
Habitatverandering	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mosselbanken vormen een habitat en beschutting voor zoöplankton, macrofauna en vis [26]; [2]. 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ De vestiging van de quaggamossel zorgt voor directe en indirecte veranderingen in de habitat. De veranderingen in habitat vinden vooral op de bodem plaats (benthificatie) [26]. 		
Biologische waterkwaliteitselementen					
Fytoplankton	<ul style="list-style-type: none"> ➤ In het Volkerak-Zoommeer is de blauwalgenoverlast verdwenen en het doorzicht toegenomen sinds de komst van de quaggamossel [52]. ➤ quaggamosselen worden lokaal ingezet bij het bestrijden van blauwalgen. Enclosure experimenten op het Tjeukemeer, Linievijver en gracht van Fort de Bilt door Waterschap Brabantse Delta en een proef met Myrocystus door Bureau Waardenburgh lijken veelbelovend. De looptijd van deze proeven is echter te kort om een beoordeling te maken [B]. ➤ De aanwezigheid van quaggamosselen kan leiden tot een afname van fytoplankton van 45% in meren en 78% in rivieren [57] hierdoor neemt het doorzicht toe. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Uit studies in Noord-Amerika is bekend dat quaggamosselen bloei van blauwalgen kunnen veroorzaken. De hypothese is dat quaggamosselen blauwalgen uitscheiden via pseudofeces en extra snel in concentratie kunnen toenemen door een vermindering aan competitie [59]. Onduidelijk is echter om welke soorten het gaat en wat er met blauwalgenbloei bedoeld wordt. ➤ Een verhoogde hoeveelheid toxische blauwalgen in relatie met de quaggamossel zou een relatie hebben met lagere P concentraties (ref. in [2]). ➤ De toename van oplosbaar reactief fosfor door de quaggamossel mossel kan de groei van cyanobacteriën stimuleren [2]. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ De aanwezigheid van quaggamosselen kan effect hebben op de soortensamenstelling, doordat ze selectief grazen [64]. 	Blauwalgen abundantie – Chlorofyl concentratie +	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Effecten die in Noord-Amerika zijn beschreven zijn nog niet waargenomen in Nederland. Veel onzekerheid.
Zoöplankton		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Quaggamosselen leiden tot een afname in zoöplankton biomassa van 47% in meren en 76% in rivieren [57]. De afname van zoöplankton wordt verklaart door: directe consumptie door quaggamossel, een afname in fytoplankton en detritus: de directe voedselbron voor zoöplankton en een hogere predatiedruk door toename in doorzicht door de larven van benthivore vissen [2]; [22]. 		-	
Waterplanten	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Quaggamosselen vergroten doorzicht in het water en veranderen interne nutriëntenhuishouding, wat kan leiden tot een grotere vegetatieontwikkeling [2]; [26]; [22]. ➤ Quaggamosselen leiden tot een verbetering van doorzicht, waardoor bedekking van ondergedoken waterplanten een factor 180 kan toenemen [57]. ➤ In de zuidelijke randmeren nam door een toename van quaggamosselen, doorzicht en waterplanten toe [30]. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ De quaggamossel (verbeterd doorzicht) in combinatie met de hoge nutriëntenconcentraties in de bodem kan leiden tot een explosieve groei van dominante waterplanten. Hierdoor hoeft de diversiteit aan waterplanten niet toe te nemen [60]. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bij hoge dichtheden aan quaggamosselen kunnen deze zich potentieel aan waterplanten hechten. Door pseudofeces kan lokaal het doorzicht afnemen wat een negatief effect kan hebben op plantengroei. Deze effecten zullen echter waarschijnlijk kleiner zijn dan de toename van doorzicht (refs. In [2]) 	+ / ?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Veel onzekerheid over de te verwachten vegetatieontwikkeling en diversiteit. Afhankelijk van systeem en milieufactoren.
Macrofauna	<ul style="list-style-type: none"> ➤ In de Nederlandse waterwegen zijn de overall effecten van de huidige dichtheid aan quaggamosselen positief voor de dichtheid en diversiteit van de macrofauna [2]. ➤ Quaggamosselen zorgen voor een toename in abundantie en diversiteit van macrofauna, doordat mosselbanken zorgen voor habitatcomplexiteit, schuilmogelijkheden en voedselvoorziening [58]. ➤ Kreeften en krabben prederen op quaggamossel en kunnen profiteren van een toegenomen voedselvoorziening [2]. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vanuit Amerikaanse studies is bekend dat door ophoping van toxische stoffen in de pseudofeces van Dreissena's toxische effecten kunnen optreden op macrofauna [61] en op die manier verder kunnen doorwerken in de voedselketen [62]. ➤ Een dicht tapijt van quaggamossel mosselen op de bodem zoals in de Kraaijenbergse plassen kan leiden tot afname van de abundantie van bepaalde macrofauna soorten [2]. ➤ De biodiversiteit van macrofauna neemt af bij quaggamossel dichtheden van ≥ 2500 mosselen/m² (refs in [2]). ➤ Quaggamossel en hechten zich op inheemse mosselsoorten zoals de schildersmossel en de zwanenmossel. Hierbij treedt groeiremming bij 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Uit meta-analyse blijkt dat in ondiepe meren Dreissena voor een toename in biomassa van bodemdieren van 58% (exclusief Dreissena) en 520% inclusief Dreissena zorgt [57]. In diepe meren leidt de aanwezigheid van quaggamossel juist tot een afname van 47% in biomassa [58]; [57]. 	+/-	

		de geïnfecteerde mossel op [2] en wordt in Noord-Amerika veen inheemse Unionidae bedreigd met extinctie [58].			
Vissen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Een aantal vissoorten zoals baars en exotische grondels zoals de zwartbekgrondel prederen op quaggamosselen (Bij de Vaate, 2009). ➤ Door toename van aantal waterplanten kan er een verandering naar een plantminnende visgemeenschap met soorten zoals blankvoorn en baars ontstaan ([24]). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dreisseniden kunnen sporen van de bacterie Clostridium botulinum accumuleren en uitscheiden via psuedofeces die botulisme kan veroorzaken. Dit kan onder meer vissen en vogels negatief beïnvloeden ➤ In Lake Michigan stortte de visstand en de visserij door oligotrofie volledig in, na de opkomst van de quaggamossel [48]. ➤ De afname van fyto- en zoöplankton kan de totale biomassa aan planktivore vissen doen afnemen [22]; [2]. ➤ Quaggamosselen kunnen een negatief effect hebben op inheemse uniode mosselen. Dit kan wederom een negatief effect hebben als soorten zoals de bittervoorn die afhankelijk is van deze soort voor zijn voorplanting [63]. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Door een toename van doorzicht zal er een verschuiving optreden in de visgemeenschap en visstand. ➤ Wanneer er dichte mosselbanken aanwezig zijn is het voor benthivore vis moeilijk om op benthische invertebraten te prederen (refs in [2]). ➤ Ook in Nederland zijn effecten op planktivore en benthivore vissoorten te verwachten, maar de omvang hiervan is nog onzeker. Er wordt een kleine afname van de productiviteit van planktivore vis verwacht. Een effect op de benthivore vis is alleen te verwachten met hoge quaggamossel mossel dichtheden op de bodem. De grootte van het effect is afhankelijk van hoe groot het biovolume quaggamosselen uiteindelijk wordt [2]. ➤ Toename aan doorzicht leidt tot een verhoogde predatiedruk op vissenlarven. Visueel prederende vissen ondervinden door toename aan doorzicht voordeel [22]. 	Benthische feeder +/- Pelagische feeder -	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Veel onzekerheid hoe de visgemeenschap en visstand in Nederland in verschillende systemen gaat reageren.
Vogels	<ul style="list-style-type: none"> ➤ De tafeleend heeft in het IJsselmeergebied een toename in populatiegrootte laten zien. Waarschijnlijk is dit te wijten aan toegenomen predatie op slakken, erwtenmosselen en vlokreeften in gebieden zoals de randmeren door toegenomen doorzicht ([24]). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Visetende vogels ondervinden last van toegenomen doorzicht. Hun prooi o.a. spiering geeft de voorkeur aan troebelere watersystemen [24]. ➤ Dreisseniden kunnen sporen van de bacterie Clostridium botulinum accumuleren en uitscheiden via psuedofeces die botulisme kan veroorzaken. Dit kan ondermeer vissen en vogels negatief beïnvloeden [2]. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ In het IJsselmeergebied heeft de toegenomen quaggamosselpopulatie niet geleid tot Dreissena prederende duikeenden zoals de kuifeend, tafeleend, toppereend en brilduiker [24]. 	+/-	
Parasieten en bacteriën		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Quaggamosselen dragen parasieten bij zich die zich verder in het aquatisch ecosysteem zouden kunnen verspreiden. Het lijkt dezelfde range van parasieten te zijn als die de driehoeksmossel bij zich draagt. Er is niet veel bekend over de gevolgen [2]. ➤ De abundantie van bacteriën in sediment neemt met 2000% toe in de buurt van quaggamosselbanken [57]. 		Parasieten – Bacteriën -	
Fysisch – chemische waterkwaliteitselementen					
Nutriënten	<ul style="list-style-type: none"> ➤ De concentratie zwevende stof kan door de aanwezigheid van quaggamossel mossels met 40 % afnemen (Higgins, 2014) 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Quaggamosselen veranderen de nutriëntenhuishouding van het systeem. Generiek worden nutriënten verplaatst van de waterkolom naar de waterbodem. Een gedeelte wordt uitgescheiden in opgeloste vorm [27]. ➤ In een enclosure experiment in het Tsjeukermeer leiden quaggamossel mosselen tot een afname in totaal-fosfor en een toename in opgelost fosfaat en nitraat [E]. ➤ Effler et al., 1996 rapporteert een toename in ammonium concentraties en een afname in zuurstof concentraties als gevolg van Dreissena invasies [65]. 		

Tabel 11: Sociaal-economische effecten quaggamossel mossels met beoordeling. Effecten zijn geclassificeerd positief, negatief of neutraal/ ter discussie aan de hand van expert judgement.

	Positief	Negatief	Neutraal / ter discussie	Eindoordeel	Opmerking
Recreatie	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Quaggamosselen verbeteren het doorzicht van het water, waardoor ze voor een hogere belevingswaarde kunnen zorgen. 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Quaggamosselen kunnen zich hechten aan harde oppervlakten, o.a. wanden van voertuigen, steigers, etc. Hier kunnen recreanten (zwemmers, booteigenaren, etc) overlast van ondervinden. ➢ Sportvisserij Nederland maakt zich zorgen over de effecten op de biomassa en samenstelling van vispopulaties. Hierbij zijn ze vooral bezorgd om de potentiële afname van planktivore vissoorten zoals brasem, waar momenteel veel door sportvissers op wordt gevestigd [29]; [73]. ➢ Door een verbetering van doorzicht kan (overmatige) groei van ondergedoken waterplanten plaatsvinden. Deze waterplanten kunnen tot overlast / lagere belevingswaarde leiden voor recreanten (zwemmers, pleziervaart, etc) [E]. 		+/-	
Infrastructuur		<ul style="list-style-type: none"> ➢ In Noord-Amerika heeft aangroei van quaggamossel mossels tot economische schade geleid bij infrastructuur. Het verwijderen van mossels en het vervangen van infrastructuur leidt tot hoge kosten [18]; [4]. ➢ Om dichtgroei van transportleidingen te voorkomen worden maatregelen zoals het inzetten van chemicaliën zoals chloorbleekloog gebruikt. Deze maatregelen en monitoring brengen kosten met zich mee en kunnen leiden tot schade voor het milieu [31]. 		-	Voor Nederland is het tot nog toe niet bekend of aangroei van mosselen tot schade bij kunstwerken heeft geleid.

Hoogheemraadschap van Rijnland

Archimedesweg 1
postbus 156
2300 AD Leiden

telefoon (071) 30 63 063
fax (071) 51 23 916
post@rijnland.net

Meer weten over het
hoogheemraadschap
van Rijnland? kijk op:
www.rijnland.net

