

De quaggamossel in Nederland, een vloek of een zegen?

Effecten van de quaggamossel op het waterkwaliteitsbeheer in Nederland



Stéphanie IJff, BSc

December 2014

STOWA 2014 – W04

stowa



Universiteit Utrecht

Colofon

Titel	De quaggamossel in Nederland, een vloek of een zegen?
Auteur	Stéphanie Ijff, BSc
Begeleiding	drs. Bas van der Wal (STOWA) prof. dr. Jos Verhoeven (Universiteit Utrecht)
Plaats, datum	Amersfoort, december 2014
Opdrachtgever	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)
Toelichting	Dit rapport is geschreven als onderdeel van de masteropleiding Environmental Biology aan Universiteit Utrecht.
Foto voorkant	U.S. Fish and Wildlife Service
Rapportnr.	STOWA 2014 - W04

Referaat

NL De quaggamossel is een invasieve exoot die sinds 2006 in Nederland voorkomt. Door de hoge filtercapaciteit lijkt de soort in een aantal meren te zorgen voor een omslag van troebel naar helder water. Dit rapport geeft een overzicht van de effecten die de quaggamossel heeft op het aquatisch ecosysteem en het Nederlands waterkwaliteitsbeheer. De gevolgen voor de verschillende groepen organismen en ook de invloed op het beheer en de Kaderrichtlijn Water worden beschreven.

EN The quagga mussel is an invasive species that occurs in the Netherlands since 2006. Due to its high filtering capacity, it can cause a shift from turbid to clear water systems. This report gives an overview of the effects of quaggamussels on aquatic ecosystems and the Dutch water quality management. The impact on diverse groups of organisms, the effects for water management and the Water Framework Directive have been described.

Voorwoord

Door de mondialisering krijgen we steeds vaker te maken met nieuwe soorten die een plek vinden in onze ecosystemen. Vaak gebeurt dit onopgemerkt, maar af en toe kunnen deze nieuwkomers grote veranderingen teweeg brengen. Zo ook de quaggamossel. Als echte 'ecosystem engineer' grijpt de soort in in alle lagen van de voedselketen en zet zo het watersysteem op zijn kop. Je zou het niet zeggen wanneer je de kleine mosselschelpjes in handen hebt, maar de kracht zit hem dan ook in de aantallen. De quaggamossel verspreidt zich razendsnel en komt in grote dichtheden voor. Redenen genoeg dus, om de gevolgen van de quaggamossel voor het waterbeheer in kaart te brengen.

De afgelopen drie maanden heb ik met veel plezier voor de STOWA dit rapport geschreven over de invloed van de quaggamossel op het waterkwaliteitsbeheer. Dit project is onderdeel van de masteropleiding Environmental Biology aan de Universiteit Utrecht. Ik wil mijn begeleiders Bas van der Wal en Jos Verhoeven hartelijk bedanken voor alle goede suggesties. Het onderzoek heb ik uitgevoerd door middel van een literatuurstudie en interviews, waarvoor ik ook alle geïnterviewden wil bedanken voor het delen van hun kennis.

Ik wens u veel leesplezier.

Stéphanie Ijff
Masterstudent Environmental Biology aan Universiteit Utrecht

Summary

Improving water quality focuses on clean and clear water. Due to high nutrient loadings it can be difficult to achieve this goal. Since 2009, several lakes in the Netherlands have shown a surprising increase in water clarity, however. This development is accompanied by the spread of the quagga mussel. The invasive species has a remarkable filtering capacity, due to which it has the ability to rapidly reduce suspended solid concentrations in the water. This poses the question what the effect of this species will be on aquatic ecosystems in the Netherlands. One can ask oneself whether the quagga mussel will improve or reduce the ecological quality of Dutch water bodies. This report concerns the impact of the quagga mussel on water management.

The improved water clarity as result of the quagga mussel stimulates the growth of submerged water vegetation. Nutrient loadings will determine whether a desired diverse vegetation will develop or that a few dominant species will grow excessively. The mussel beds and the water vegetation form a habitat that is suitable for a high abundance and diversity of macro invertebrates. Also, the fish species composition will change due to the altered conditions. Water management objectives are formulated within the Water Framework Directive. These goals differ per water body. Therefore, it is not possible to state the exact implications of the quagga mussel on the water quality assessment. Because the quagga mussel contributes to a clear water system with an increased variety of flora and fauna, the overall effect on the Water Framework Directive is probably positive.

Nutrient loadings might still be high in water bodies that have gained improved water clarity due to quagga mussel colonization. Management aiming to reduce these loadings should continue to be executed, also with the quagga mussel being present. Fouling of pipes and boats will make regular checking and cleaning necessary. Further more, the excessive growth of water vegetation will induce the rate of vegetation removal that is required. Because of its ability to improve water clarity, the quagga mussel can be deliberately introduced in water bodies with excessive algal growth. Because it is an exotic species, care should be taken with introducing them to water bodies, however. Knowledge gaps concern the impact of local circumstances on the (long term) effect that quagga mussel populations have on the aquatic ecosystem. Additional monitoring and research is necessary to bridge these gaps and to make predictions to future developments of colonized water bodies possible.

Samenvatting

Binnen het waterbeheer wordt hard gewerkt om schoon en helder water te realiseren. Dat is vaak een lastige opgave vanwege de hoge nutriëntenbelasting. Sinds 2009 vindt in een aantal meren echter een verrassende omslag plaats van een troebel naar een helder systeem met veel waterplanten. Dit lijkt mede veroorzaakt te worden door de quaggamossel, een invasieve exoot die zich momenteel verspreidt door Nederland. Deze soort heeft een hoge filtratiecapaciteit, wat de concentraties fytoplankton en ander zwevend materiaal snel doet afnemen. Dit roept de vraag op wat de effecten zijn van de quaggamossel op het aquatisch ecosysteem, en of de soort daarmee wel of juist niet bijdraagt aan de ecologische waterkwaliteit. Dit rapport geeft een overzicht van de effecten die de quaggamossel heeft op het aquatisch ecosysteem en het Nederlands waterkwaliteitsbeheer.

Door toegenomen doorzicht als gevolg van de quaggamossel neemt de groei van waterplanten toe. Of dat eveneens leidt tot de gewenste diverse soortensamenstelling van waterplanten hangt af van de nutriëntenconcentraties in de bodem. Bij een hoge voedselrijkdom is het waarschijnlijk dat een klein aantal dominante soorten zullen gaan woekeren. De mosselbanken en watervegetatie vormen samen een habitat die geschikt is voor een hoge abundantie en diversiteit van macrofauna. De veranderde omstandigheden leiden ook tot een andere vissoortensamenstelling, met meer plantminnende soorten. De waterkwaliteitsdoelen worden opgesteld binnen de Kaderrichtlijn Water (KRW). Omdat de KRW-maatlatten worden opgesteld per waterlichaam, kunnen enkel algemene uitspraken worden gedaan over het effect van de quaggamossel op de maatlatscores. De quaggamossel draagt bij aan een helder watersysteem met een toegenomen diversiteit aan planten, macrofauna en vis. Daarom is het de verwachting dat de invloed van de quaggamossel op de KRW-maatlatscores positief zal uitpakken.

Door de quaggamossel kan de helderheid van het water toenemen, ook als de externe nutriëntenbelasting en nutriëntenconcentraties in de bodem nog hoog zijn. Beheer en maatregelen gericht op het terugdringen van de nutriëntenconcentraties zullen echter nodig blijven om de gewenste diversiteit aan flora en fauna mogelijk te maken. Omdat de quaggamossel in grote dichtheden harde substraten zoals leidingen kan koloniseren is actieve monitoring en eventueel verwijdering gewenst. De overmatige groei aan waterplanten kan voor overlast zorgen, waardoor extra maaiwerkzaamheden nodig zijn. De filtratiecapaciteit van de quaggamossel kan in een aantal gevallen met succes worden ingezet, zoals bij het algenvrij maken van stadswateren. Dit kan op verantwoorde wijze worden gedaan zolang rekening wordt gehouden met een aantal randvoorwaarden, zoals de kwetsbaarheid van nog niet gekoloniseerde regio's. Er zijn nog kennisleemten op het gebied van de precieze (langetermijn)effecten van de quaggamossel op delen van het ecosysteem, en hoe factoren zoals diepte of nutriëntenconcentraties dit beïnvloeden. Om hier antwoord op te kunnen geven is monitoring en onderzoek nodig.

De STOWA in het kort

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie. Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Summary	4
Samenvatting	5
De STOWA in het kort	6
Inleiding	8
1.1 <i>Over dit rapport</i>	8
1.2 <i>Levensgeschiedenis en ecologie</i>	8
1.3 <i>Voorkomen en verspreiding</i>	12
2. Effecten van de quaggamossel op het ecosysteem	16
2.1 <i>Van troebel naar helder water</i>	16
2.2 <i>Andere habitat geeft andere organismen</i>	18
2.3 <i>Sociaal-economische effecten</i>	21
3. Doelen, beheer en maatregelen	22
3.1 <i>Doelen binnen de Kaderrichtlijn Water</i>	22
3.2 <i>Effecten op beheer</i>	24
3.3 <i>De quaggamossel uitzetten als maatregel</i>	25
4. Monitoring en onderzoek	26
4.1 <i>Kennisleemten</i>	26
4.2 <i>Monitoring en onderzoek</i>	26
5 Conclusies en aanbevelingen	27
5.1 <i>Conclusies</i>	27
5.2 <i>Aanbevelingen</i>	27
7 Referenties	29
7.1 <i>Interviews</i>	29
7.2 <i>Literatuurlijst</i>	29

1. Inleiding

1.1 Over dit rapport

1.1.1 Aanleiding voor dit rapport

Sinds 2009 vindt er een opmerkelijk verschijnsel plaats in de Nederlandse wateren: Het doorzicht neemt toe door lagere chlorofylconcentraties, maar dit is niet enkel toe te schrijven aan een verlaging van de nutriëntenconcentraties (Oosterbaan 2014; Noordhuis 2014). Een mogelijke verklaring is de opmars van de quaggamossel, een invasieve exoot die sinds 2006 steeds meer wateren koloniseert en domineert (Matthews *et al.* 2014). Deze soort zorgt voor een omslag in het watersysteem van troebel naar helder, met gevolgen voor alle groepen organismen.

Vanuit het waterbeheer roept dit de vraag op welke veranderingen verwacht kunnen worden als de quaggamossel zijn intrede doet in een beheersgebied. Men vraagt zich af wat de invloed is op het aquatisch ecosysteem en wat de gevolgen zijn voor de doelen en maatregelen binnen het waterkwaliteitsbeheer. De quaggamossel zou kunnen bijdragen aan het behalen van het doel van helder, schoon water en een goed functionerend ecosysteem. Aan de andere kant vormt de quaggamossel als invasieve exoot een risico doordat inheemse soorten kunnen worden verdrongen. Doordat de quaggamossel nog maar korte tijd in Nederland voorkomt, is over de effecten op het ecosysteem echter nog onzekerheid, zeker op lange termijn.

Dit rapport heeft als doel de huidige kennis over de effecten van de quaggamossel op het ecologisch watersysteem inzichtelijk te maken, bekeken vanuit het waterbeheerperspectief. Daarnaast wordt er ingegaan op de effecten voor de verschillende gebruikers van het oppervlaktewater, op de invloed op het beheer en het behalen van de doelen voor de Kaderrichtlijn Water. Als laatste wordt er aandacht besteed aan monitoring en onderzoek om de kennisleemten in te kunnen vullen. Het onderzoeksproject is uitgevoerd in opdracht van de STOWA, als onderdeel van de masteropleiding Environmental Biology aan Universiteit Utrecht.

1.1.2 Onderzoeksvragen

In dit rapport wordt antwoord gegeven op de volgende onderzoeksvraag:

Wat zijn de effecten van de quaggamossel op het ecologisch functioneren van oppervlaktewateren en daaruit voortvloeiend op het waterkwaliteitsbeheer in Nederland?

Hieronder vallen de volgende deelvragen:

- 1) Wat zijn de effecten van de quaggamossel op het functioneren van aquatisch ecosystemen in oppervlaktewateren, en wat zijn daarvan de gevolgen voor andere functies van het watersysteem?
- 2) Wat is de invloed van de quaggamossel op het behalen van de doelen voor de Kaderrichtlijn Water en welke maatregelen zijn bij aanwezigheid van de quaggamossel nodig of juist overbodig om deze doelen te behalen?
- 3) Wat zijn momenteel de belangrijkste kennisleemten betreffende de bovenstaande vraagstellingen?

1.1.3 Methode

Dit rapport is gebaseerd op literatuuronderzoek, waarbij zowel wetenschappelijke literatuur als rapporten zijn gebruikt. Daarnaast zijn interviews gehouden met experts op dit onderwerp. Zie hoofdstuk 7 voor een overzicht.

1.2 Levensgeschiedenis en ecologie

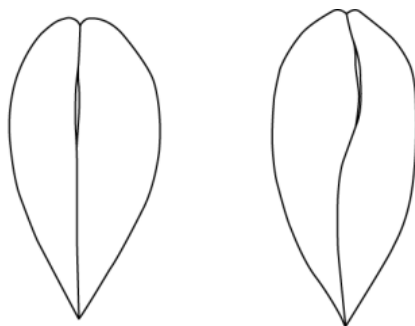
1.2.1 Systematiek en herkenning

De quaggamossel (*Dreissena rostriformis bugensis*) behoort tot de familie *Dreissenidae* en is sterk verwant aan de driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) (Tabel 1). Ze zijn beide klein (tot 4 cm), hebben een vergelijkbaar kleurenpatroon en komen voor in dezelfde habitat (Bij de Vaate & Jansen 2007; Matthews *et al.* 2012). De quaggamossel is meestal wat groter dan de driehoeksmossel (Garton *et al.* 2014; Bij de Vaate & Jansen 2011; Bij de Vaate & Jansen 2013). Hoewel de schelpvorm op het eerste gezicht gelijk is voor de soorten, bestaan er op dit vlak drie kleine verschillen. Ten eerste is de onderrand van beide schelphelften vrij recht bij de driehoeksmossel, terwijl deze bij de quaggamossel duidelijk gebogen is (Afbeelding 1).

Daarnaast is de overgang tussen de ventrale en dorsale zijde van beide schelphelften (kiel of *carina* genoemd) hoekig bij de driehoeksmossel, terwijl de overgang bij de quaggamossel is afgerond (Afbeelding 2). Ten derde kan er gekeken worden naar het quotiënt diameter:hoogte; dit is voor quaggamosselen algemeen genomen <1 en voor driehoeksmosselen ± 1 (Bij de Vaate & Jansen 2007). Wat dit laatste kenmerk betreft, is er echter wat overlap tussen de twee soorten. De quotiënt diameter:hoogte is daarom geen eenduidig kenmerk (Bij de Vaate & Jansen 2007).

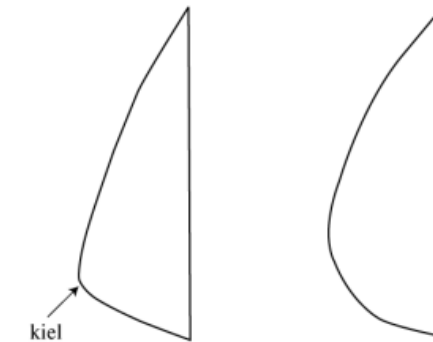
Tabel 1 Taxonomie van de quaggamossel (*Dreissena rostriformis bugensis*).

Phylum	<i>Mollusca</i>
Klasse	<i>Bivalvia</i>
Subklasse	<i>Heterodonta</i>
Orde	<i>Veneroida</i>
Superfamilie	<i>Dreissenidea</i>
Familie	<i>Dreissenidae</i>
Soort	<i>rostriformis bugensis</i>



Dreissena polymorpha *Dreissena rostriformis bugensis*

Afbeelding 1 Onderrand van beide schelphelften van de driehoeksmossel (links) en de quaggamossel (rechts) (Bij de Vaate & Jansen 2007).



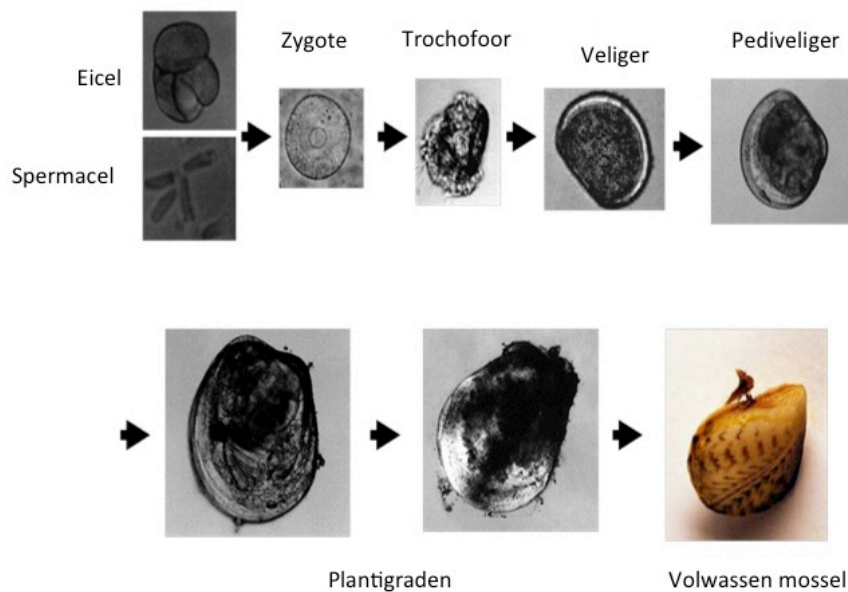
Dreissena polymorpha *Dreissena rostriformis bugensis*

Afbeelding 2 Overgang tussen de ventrale en dorsale zijde van de driehoeksmossel (links) en de quaggamossel (rechts) (Bij de Vaate & Jansen 2007).

1.2.2 Levenscyclus en plaats in het ecosysteem

Levenscyclus

Adulte vrouwelijke en mannelijke quaggamosselen zijn na een jaar geslachtsrijp en verspreiden ei- en zaadcellen in de waterkolom, waarna externe bevruchting plaatsvindt. De zygoten doorlopen meerdere planktonische stadia, terwijl ze meegevoerd worden door de stroom van het water (Afbeelding 3) (Matthews *et al.* 2012). Quaggamosselen hebben vrij zwemmende larven die zich mee laten voeren door de waterstroom (Karatayev *et al.* 2014). Hierdoor kunnen ze zich gemakkelijk verspreiden naar benedenstroomse gebieden (Matthews *et al.* 2012). Juveniele quaggamosselen hechten zich vervolgens aan harde materialen, zoals steen, metaal en hout maar ook schelpen van andere mosselen. Om deze hechting mogelijk te maken, hebben quagga- en driehoeksmosselen een gespecialiseerd orgaan dat eiwitachtige draden vormt, byssusdraden genaamd (Matthews *et al.* 2014; Matthews *et al.* 2012). Deze manier van hechten is uniek voor *Dreissena's* vergeleken met andere inheemse zoetwater tweekleppigen zoals de *Unionidae* (Matthews *et al.* 2012). Door zich te hechten aan boten, drijfhout en andere vectoren kunnen ook volwassen *Dreissena's* zich gemakkelijk (stroomopwaarts) verspreiden (Matthews *et al.* 2012).



Afbeelding 3 Levenscyclus van de quaggamossel (naar Matthews *et al.* 2012).

Voeding en filtratie

Quaggamosselen zijn filtreerders. Dat betekent dat ze alle zwevende deeltjes innemen, het eetbare deel zoals algen consumeren en de rest uitscheiden als pseudofeces (Bij de Vaate 2008). De filtratiecapaciteit is afhankelijk van de stroomsnelheid van het water, de algenconcentratie, de algensamenstelling, de concentratie slibdeeltjes en de mosselgrootte (Baldwin *et al.* 2002; Ackerman 1999). De variatie in filtratiecapaciteit van quaggamosselen is groot: van 10 tot 407 ml mossel⁻¹ uur⁻¹ (Baldwin *et al.* 2002). Uit de laboratoriumexperimenten van Baldwin *et al.* (2002) blijkt dat er *per capita* geen verschil is in de filtratiesnelheid van quagga- en driehoeksmosselen. Gecorrigeerd voor het gewicht aan biomassa hebben driehoeksmosselen echter een filtratiesnelheid die twee tot zeven maal zo hoog is als die van quaggamosselen. Dit duidt op een hogere energetische efficiëntie van de quaggamossel, waardoor deze soort bij lagere nutriëntenconcentraties kan overleven (Noordhuis *et al.* 2014). De laboratoriumexperimenten lieten ook zien dat een toename van algenconcentraties (*Chlamydomonas*) in stilstaand water leidde tot een hogere filtratiesnelheid van 0,020-0.125 L mossel⁻¹ uur⁻¹ voor quaggamosselen (Baldwin *et al.* 2002). Een toename aan algenconcentraties (*Nannochloris*) in stromend water leidde juist tot een afname in filtratiesnelheid. Hogere concentraties kleideeltjes verlaagden de filtratiesnelheid voor beide soorten, voor quaggamosselen van 0.61 naar 0.187 L mossel⁻¹ uur⁻¹. Hoewel de quagga- en driehoeksmosselen overdag een vergelijkbare filtratiesnelheid hadden, had de driehoeksmossel 's nachts een bijna driemaal zo hoge filtratiesnelheid als de quaggamossel. Dit komt doordat de driehoeksmossel zowel overdag als 's nachts even snel filterde, terwijl quaggamosselen 's nachts een driemaal zo lage filtratiesnelheid hadden als overdag. De experimenten van Ackerman (1999) lieten zien dat voor quagga- en driehoeksmosselen een toename aan stroomsnelheid van het water tot 10 cm s⁻¹ de filtratiesnelheid verhoogt, terwijl stroomsnelheden groter dan 20 cm s⁻¹ een remmend effect hebben op de filtratiesnelheid. Grotere mosselen bleken een hogere filtratiecapaciteit te hebben dan kleine mosselen. Door de filtratie van algen en anorganisch materiaal zoals slib, wordt de hoeveelheid zwevende stof in de waterkolom sterk verlaagd en neemt het doorzicht toe. Op de effecten hiervan wordt verder ingegaan in hoofdstuk 2.1.

Competitie en predatie

Door de consumptie van algen vormen quaggamosselen een belangrijke concurrent van zoöplankton en vissenlarven (Matthews *et al.* 2012). *Dreissena*-mosselen kunnen leiden tot een afname in zoöplankton biomassa van 40% - 70% (Higgins 2014). Door de afname van zoöplankton kunnen planktivore (levensstadia van) vissen ook afnemen (Karatayev *et al.* 2014). Quaggamosselen worden zelf geprederd door met name vissen en duikeenden (Matthews *et al.* 2012; Matthews *et al.* 2014). Van de prederende vissen vormen zwartbekgrondels een belangrijke soort. Deze invasieve soort is net als de quaggamossel afkomstig uit het Ponto-Caspisch gebied (Matthews *et al.* 2012). Hierdoor zijn zwartbekgrondels al aangepast aan het eten van *Dreissena*'s door de byssusdraden te breken en ze hebben speciale tanden om de mosselschelp te kunnen breken (Houghton & Janssen 2014). Voorbeelden van mosseletende watervogels in Nederland zijn de kuifeend, tafeleend, toppereend en brilduiker (Noordhuis *et al.* 2014).

De toename van het aantal quaggamosselen heeft in het IJsselmeergebied echter niet geleid tot herstel van deze vogelpopulaties, wellicht door de lage voedingswaarde van deze mosselen (Noordhuis *et al.* 2014).

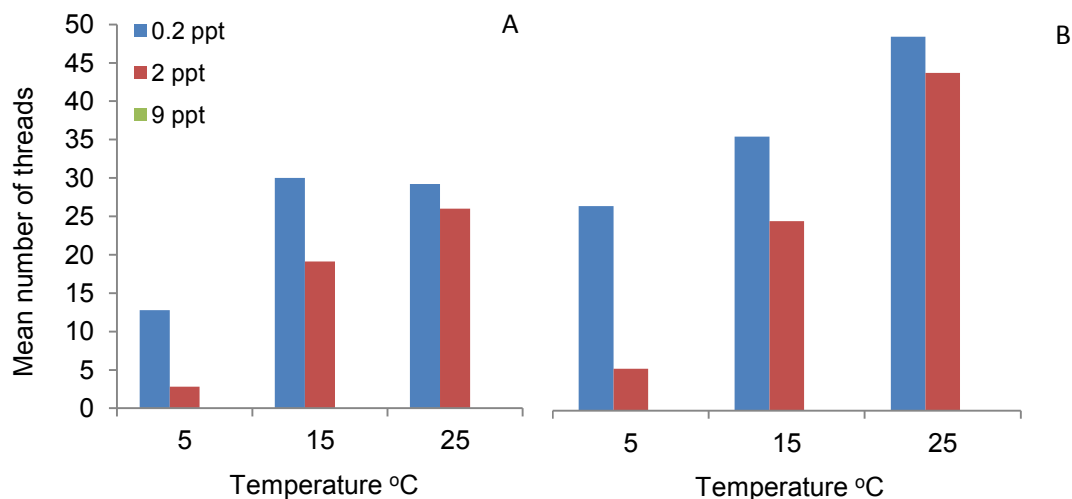
1.2.3 Habitatieisen en tolerantie

Tabel 2 Tolerantiewaarden qua milieufactoren voor de quaggamossel.

Variabele	Tolerantie quaggamossel
Saliniteit	<4 ‰ voor byssusproductie ¹ <2 ‰ voor reproductie ²
Temperatuur	>9 °C voor reproductie ²
pH	>7,1 voor hechting ¹ >6,9 voor overleving ¹
Stroming	<1-1,5 m s ⁻¹ voor hechting ³
Zuurstofgehalte (PO₂)	>2,13 kPa ³
Calcium	>12 mg l ⁻¹
Substraat	Voorkeur voor hard, maar zacht ook mogelijk ³
Troebelheid	Negatief effect op filtratiesnelheid ³

Referenties: 1) Matthews *et al.* (2014); 2) Matthews *et al.* (2012); 3) Garton *et al.* (2014)

De quaggamossel heeft een specifieke tolerantie ten opzichten van bepaalde milieufactoren, die bepaalt in welke habitats de soort voor kan komen (Tabel 2). De quaggamossel is een zoetwatermossel en komt alleen in zoet of oligohalien water voor met een saliniteit onder de 4 ‰, daarboven is hechting aan substraat onmogelijk doordat de byssusproductie afneemt (Afbeelding 4) (Matthews *et al.*, 2014). Boven een saliniteit van 2 ‰ vindt al geen reproductie meer plaats (Matthews *et al.* 2012). Temperatuur is een belangrijke milieufactoor; bij temperaturen lager dan 9 °C vindt geen reproductie plaats (Matthews *et al.* 2012). Deze grenswaarde ligt veel lager dan bij de driehoekmossel die zich pas vanaf 12 °C kan reproduceren, wat bijdraagt aan het competitief voordeel van de quaggamossel (Matthews *et al.*, 2014; Matthews *et al.* 2012). Bij een lagere temperatuur neemt bovendien net als bij de hogere saliniteit de byssusproductie af en kunnen de mosselen zich niet goed meer hechten (Afbeelding 4) (Matthews *et al.* 2012).



Afbeelding 4 Effect van temperatuur en zoutgehalte op het aantal byssusdraden van de quaggamossel (A) en de driehoekmossel (B) geproduceerd binnen 24 uur (Matthews *et al.* 2012).

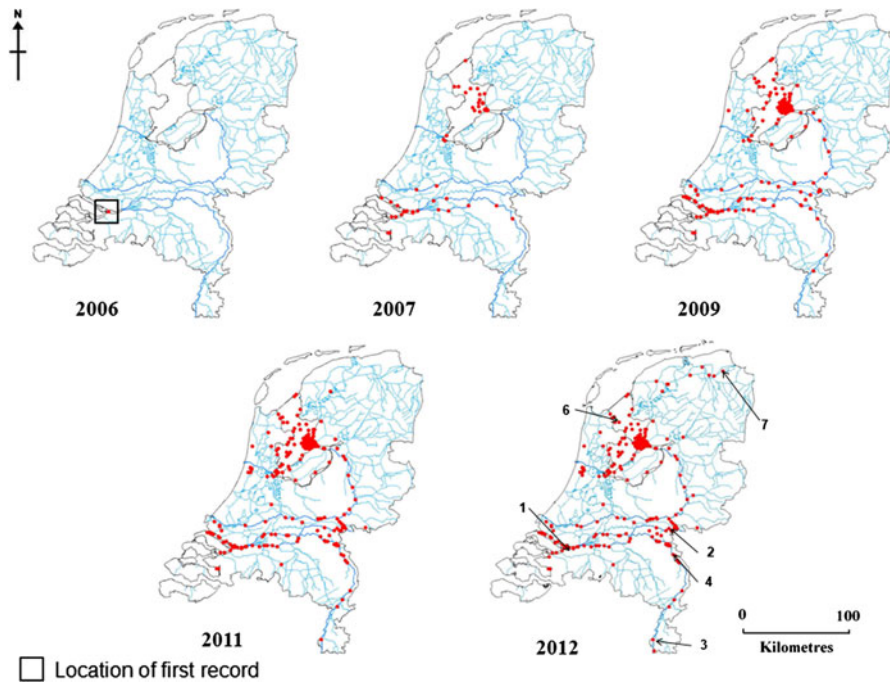
Quaggamosselen zijn gevoelig voor zure omstandigheden: bij pH-waarden lager dan 7,1 kunnen de mosselen zich niet vestigen en bij pH-waarde van 6,9 vindt sterfte plaats (Matthews *et al.* 2014). Hierdoor kunnen quaggamosselen niet voorkomen in slecht gebufferde wateren zoals in het hoogveen of daar waar veel CO₂ in het grondwater aanwezig is (Matthews *et al.* 2014). Te hoge stroming van het water kan de filtratiecapaciteit beperken en stroomsnelheden groter dan 1-1,5 m s⁻¹ voorkomen hechting van de

mosselen (Garton *et al.* 2014). De stroming van water heeft echter ook een positieve invloed op de quaggamossel door het aanleveren van voedsel en larven en het afvoeren van afvalstoffen en gameten (Ackerman 2014). Doordat quaggamosselen niet goed tegen zuurstofloze omstandigheden kunnen (minimale pO_2 is 2.13 kPa), kunnen lage zuurstofgehalten op de bodem leiden tot massamortaliteit (Garton *et al.* 2014). Hoewel *Dreissena's* een calciumconcentratie nodig hebben van minimaal 12 mg l⁻¹, zijn de calciumconcentraties in Nederland in de gebufferde oppervlaktewateren zo hoog dat er nergens een beperking ontstaat (Matthews *et al.* 2014). De quaggamossel kan zich op diverse substraten hechten, zowel harde oppervlakken als zachtere, zoals modder en silt (Garton *et al.* 2014). De sterkte van de hechting verschilt per substraattypen en complexe en ruwe substraten hebben de voorkeur (Garton *et al.* 2014). Op zachte bodems vormen andere mosselen een belangrijke bron van hard substraat, van waaruit hele mosselbanken kunnen ontstaan door kluitvorming (Bij de Vaate 2008). Dit is duidelijk het geval in het IJsselmeer, waar de dichtheid van quaggamosselen vele malen hoger is in het zuiden waar meer hard substraat in de vorm van marine mosselschelpen aanwezig is (pers. comm. Bram bij de Vaate). Quaggamosselen zijn minder afhankelijk van hard substraat dan driehoeksmosselen, wat ervoor zorgt dat ze een groter leefgebied kunnen bedekken (pers. comm. Ruurd Noordhuis en Miguel Dionisio Pires). Aan de andere kant kunnen driehoeksmosselen zich beter hechten aan ondergedoken waterplanten dan quaggamosselen (Garton *et al.*, 2014). Volgens Garton *et al.* (2014) heeft troebelheid een negatief effect op het metabolisch functioneren van *Dreissena's*. Zowel driehoeksmosselen als quaggamosselen toonden een lagere filtratiecapaciteit bij toename van de concentratie natuurlijk sediment (de filtercapaciteit nam af van 12 naar 1 ml mossel⁻¹ uur⁻¹) (Garton *et al.* 2014). Het lijkt erop dat quaggamosselen iets beter zijn aangepast aan troebelheid dan driehoeksmosselen door een hogere filtratiecapaciteit en lagere metabolische energiebehoeften (Garton *et al.* 2014). Hoewel Karatayev *et al.* (2014) aangeven dat quaggamosselen een voorkeur hebben voor diepe delen van het watersysteem, doen quaggamosselen die worden uitgezet het beter in ondiepe dan in diepe delen van het systeem (pers. comm. Wouter Lengkeek). Dit heeft naar verwachting te maken met de hogere zuurstof- en algenconcentraties in de bovenste waterlaag (pers. comm. Wouter Lengkeek).

1.3 Voorkomen en verspreiding

1.3.1 Geschiedenis van verspreiding

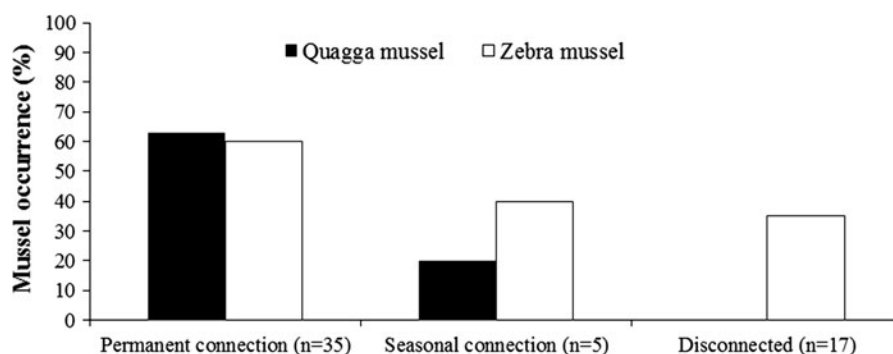
De quaggamossel komt oorspronkelijk uit het Ponto-Caspisch gebied en is in 2006 voor het eerst in Nederland aangetroffen, in het Hollands Diep (Bij de Vaate 2006). Dit was eveneens de eerste melding van de soort in West-Europa. De soort is hier waarschijnlijk door ballastwater terecht gekomen (Matthews *et al.* 2014; Matthews *et al.* 2012). De verspreiding van de quaggamossel is veel later op gang gekomen dan die van de driehoeksmossel, die uit hetzelfde gebied afkomstig is maar al 200 jaar geleden de doorsteek naar West-Europa maakte (Bij de Vaate *et al.* 2014). Na de vestiging van de quaggamossel in Nederland breidde het leefgebied zich snel uit over de grote rivieren richting Duitsland en België (Afbeelding 5) (Matthews *et al.* 2014). In oktober 2014 is de quaggamossel voor het eerst in Groot-Brittannië gesignaleerd (UK Environmental Agency 2014).



Afbeelding 5 Verspreiding van de quaggamossel over Nederland in de jaren 2006-2012 (Matthews *et al.* 2014).

1.3.2 Vectoren van verspreiding

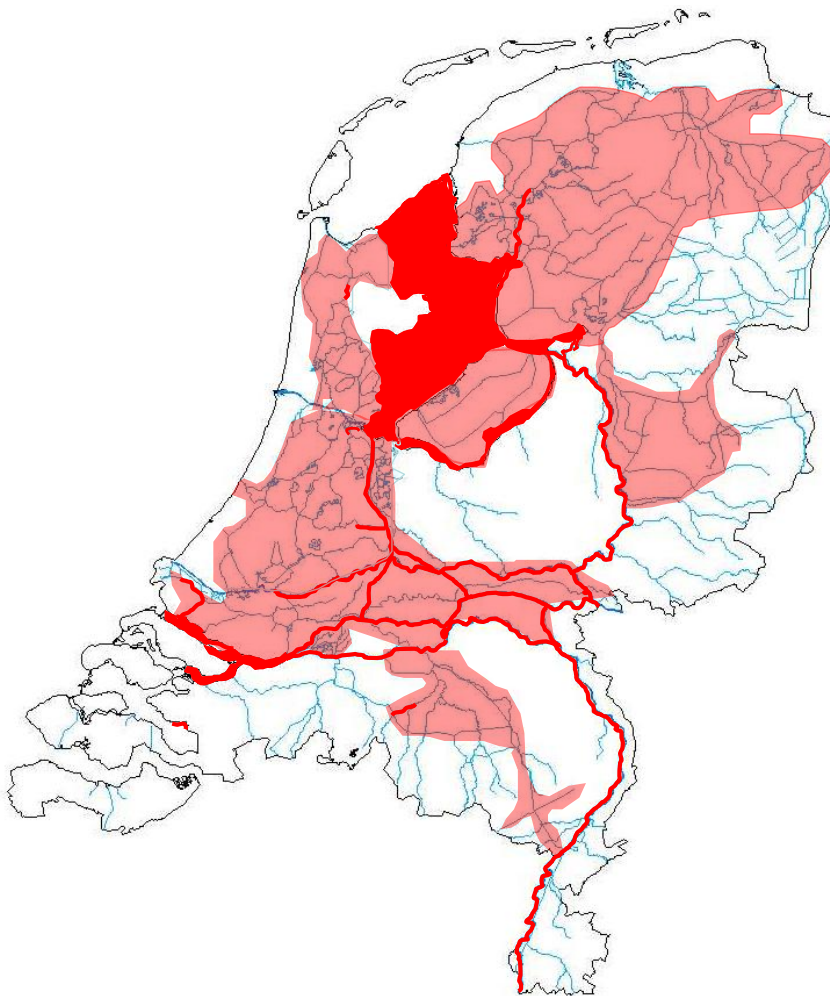
De hoge reproductie, zwemmende larven en de hechting van mosselen aan scheepswanden zorgen ervoor dat de quaggamossel zich snel verspreidt door Nederland (Karatayev *et al.* 2014). De verspreidingssnelheid bedraagt in Nederland tussen de 23 en 105 km jaar⁻¹ (Matthews *et al.* 2014). Hydrologische connectiviteit speelt een sleutelrol in de verspreiding van de quaggamossel. Hoewel de soort een groot deel van de verbonden wateren heeft gekoloniseerd (60% in 2012), is dit veel minder het geval voor wateren die alleen bij hoog water in contact staan met andere wateren (20% in 2012) en ze komen nog niet voor in geïsoleerde wateren (0% in 2012) (Afbeelding 6) (Matthews *et al.* 2014). Voor verspreiding naar geïsoleerde wateren zijn vectoren nodig zoals boottransport over het land. Ondanks de relatieve intolerantie voor droogte is deze vorm van verspreiding toch mogelijk als het transport niet te lang duurt of als de mossels door de aanwezigheid van waterplanten beschermd worden (Matthews *et al.* 2014). Andere mogelijkheden van verspreiding zijn het vervoer van bagger, via vogels of uitzetting (Matthews *et al.* 2012; Matthews *et al.* 2014).



Afbeelding 6 Invloed van hydrologische connectiviteit op het voorkomen van de quagga- en driehoeksmossel (Matthews *et al.* 2014).

1.3.3 Huidige verspreiding

Momenteel komt de quaggamossel al voor in de grote rivieren en meren van Nederland, van het Prinses Margrietkanaal tot de Belgische grens (Afbeelding 7) (Matthews *et al.* 2012). De mossel is nog afwezig in grote delen van Groningen, Drenthe en Zeeland, en in geïsoleerde waterlichamen zoals bovenstroomse riviertakken (Matthews *et al.* 2012). Quaggamosselen komen voor in alle watertypen, waarvan het meest in kanalen en havens (Matthews *et al.* 2014). Op de plekken waar de quaggamossel zich vestigt, wordt hun dichtheid hoger dan die van de reeds aanwezige driehoeksmosselen (Matthews *et al.* 2012). Zo heeft de quaggamossel in het Haringvliet vier tot vijf jaar na vestiging de driehoeksmossel vrijwel verdrongen: In 2009 en 2010 bestond de *Dreissena*-populatie daar voor >99% uit quaggamosselen (Bij de Vaate *et al.* 2010). Deze verschuiving in dominantie is een gevolg van de hogere energetische efficiëntie van de quaggamossel, reproductie bij lagere temperaturen en een lagere gevoeligheid voor verstoring (zie 1.2.3) (Karatayev *et al.*, 2014).

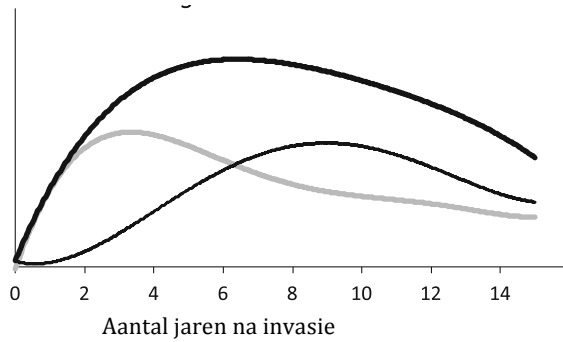


Afbeelding 7 Potentiële verspreiding van de quaggamossel in Nederland. Donkerrood geeft de verspreiding in 2012 aan en lichtrood is de potentiële verspreiding (gebaseerd op de verspreiding van de driehoeksmossel en de hydrologische connectiviteit) (Matthews *et al.* 2012).

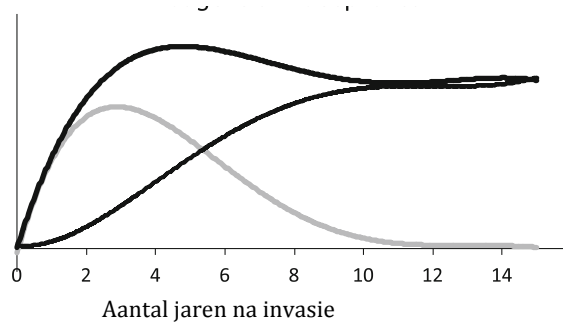
1.3.4 Potentiële verspreiding

De verwachting is dat grote delen van het Nederlandse waternetwerk gekoloniseerd zullen worden door de quaggamossel (Afbeelding 7) (Matthews *et al.* 2014). Hoewel veel geïsoleerde wateren nu nog quaggamossel-vrij zijn, is het slechts een kwestie van tijd voordat ook deze wateren gekoloniseerd zullen worden (Matthews *et al.* 2014). Alleen slecht gebufferde en brakke of zoute wateren zijn ongeschikt voor de quaggamossel (Matthews *et al.* 2012). Net als alle invasieve exoten, is ook voor de quaggamossel te verwachten dat de populatie zich na een periode van explosieve groei zal stabiliseren (Matthews *et al.* 2012). De komst van parasieten of afname van voedselvoorziening zou hier een rol in kunnen spelen (Matthews *et al.* 2012). Volgens Karatayev *et al.* (2014) duurt het 12.5 ± 1.5 jaar voordat een

quaggamosselpopulatie in een waterlichaam de maximale omvang heeft bereikt. Er is hierbij een verschil tussen ondiepe wateren en diepe wateren. In ondiepe wateren vindt de stabilisatie plaats na een periode van ongeveer negen jaar (Afbeelding 8), terwijl dat in diepe wateren een paar jaar langer duurt (Afbeelding 9). Dit is anders dan bij de driehoeksmossel, die al na 2.5 ± 0.2 jaar de maximale populatiegrootte bereikt. Door de gevoeligheid voor zuurstofloze omstandigheden, zou massamortaliteit ervoor kunnen zorgen dat lokaal de mosselpopulatie in één klap achteruit gaat (pers. comm. Bram bij de Vaate en Wouter Lengkeek). Daarnaast zal de verzilting van het Volkerak-Zoommeer en het Haringvliet zorgen voor achteruitgang van de quaggamosselpopulaties in die gebieden (Bij de Vaate *et al.* 2010).



Afbeelding 8 Conceptuele illustratie van de populatiegrootte van de driehoeksmossel (grijze lijn), quaggamossel (dunne zwarte lijn) en beide soorten opgeteld (dikke zwarte lijn) in ondiepe meren (Karatayev *et al.* 2014).



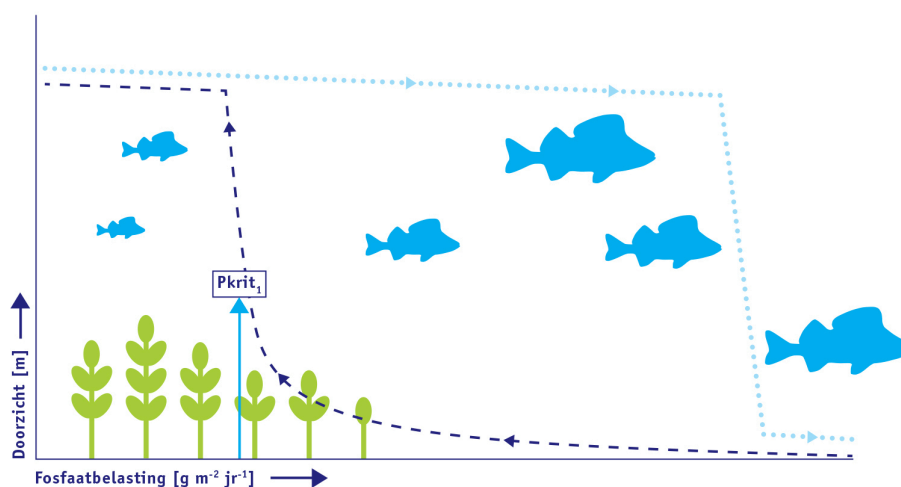
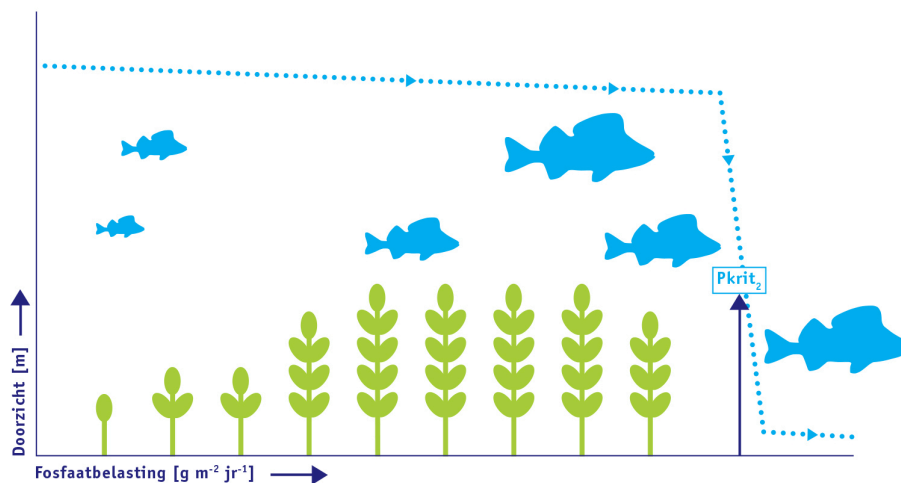
Afbeelding 9 Conceptuele illustratie van de populatiegrootte van de driehoeksmossel (grijze lijn), quaggamossel (dunne zwarte lijn) en beide soorten opgeteld (dikke zwarte lijn) (Karatayev *et al.* 2014).

2. Effecten van de quaggamossel op het ecosysteem

Door de hoge populatiedichtheden en de grote filtratiecapaciteit heeft de quaggamossel een groot effect op het ecosysteem. De soort is een echte 'ecosystem engineer'. In gebieden waar de quaggamossel in hoge dichtheden voorkomt nemen de algenconcentraties af, de helderheid toe en bij hoge nutriëntenconcentraties in de bodem kunnen ondergedoken waterplanten explosief gaan groeien. Deze verandering van habitat heeft zijn weerslag op andere groepen organismen, zoals macrofauna en vissen. Dit hoofdstuk beschrijft deze veranderingen op het ecosysteem en de gevolgen voor gebruikers van het water.

2.1 Van troebel naar helder water

Het beheerdoel van veel Nederlandse wateren is de terugkeer van helder, plantenrijk water met een grote soortenrijkdom aan flora en fauna. De hoge nutriëntenbelasting (meestal stikstof en fosfaat) zorgt echter voor een troebel watersysteem, met hoge concentraties algen en slib en daardoor weinig planten. Helder, plantenrijke en troebele, algenrijke systemen zijn twee alternatieve stabiele toestanden die zichzelf versterken en die moeilijk te veranderen zijn (Scheffer *et al.* 2001). De nutriëntenbelasting is bepalend voor een omslag van een troebel naar een helder systeem en *vice versa*. De nutriëntenbelasting waarbij het systeem omslaat, wordt de kritische belasting genoemd. De kritische belasting om een troebel systeem helder te krijgen, is echter veel lager dan andersom (Afbeelding 10) (Jaarsma *et al.* 2008; Scheffer *et al.* 2001).

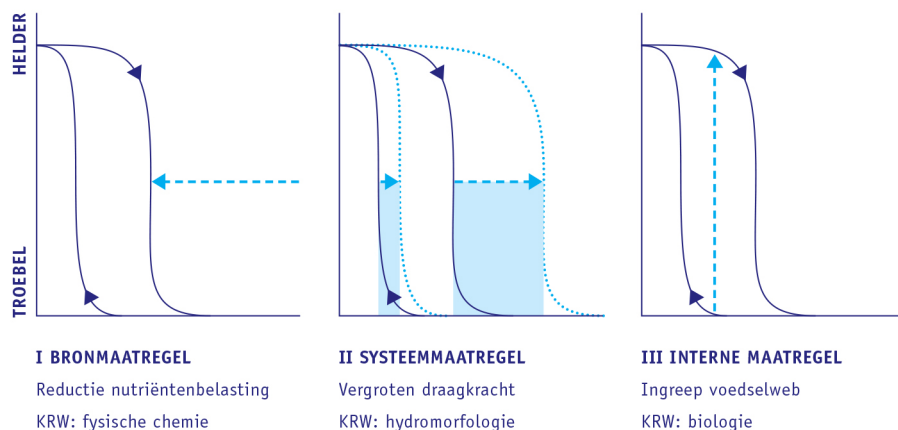


Afbeelding 10 De kritische fosfaatbelasting om een helder plantenrijk systeem te laten omslaan naar een troebel algenrijk systeem (boven) is veel hoger dan de kritische belasting om een troebel systeem te herstellen naar een helder systeem (onder) (Jaarsma *et al.* 2008).

Om een troebel waterlichaam te laten omslaan naar een helder, plantenrijk systeem zijn drie soorten maatregelen mogelijk (Afbeelding 11) (Jaarsma *et al.* 2008). Bronmaatregelen verminderen de nutriëntenbelasting en brengen deze terug tot de kritische belasting. Systeemmaatregelen vergroten de kritische belasting, en brengen die als het ware naar de actuele belasting toe. Ten derde zorgen interne maatregelen voor een omslag van troebel naar helder door in te grijpen op het voedselweb. De quaggamossel past in die laatste categorie: door algenconsumptie (dus veranderingen in het voedselweb) wordt het water helder en neemt het aantal ondergedoken waterplanten toe (Mayer *et al.* 2014; Karatayev *et al.* 2014). Quagga- en driehoeksmosselen leiden gemiddeld tot een afname van fytoplankton chlorofyl-a van 45% in meren en 78% in rivieren (Higgins 2014). Deze invloed is zowel direct door het consumeren van fytoplankton, als indirect door het verbruiken van fosfaat dat daardoor niet meer beschikbaar is voor fytoplankton (Karatayev *et al.* 2014). Door de vorming van pseudofeces leiden quaggamosselen ook tot een vermindering (bezinking) van andere vormen van zwevende stof zoals slib. De concentratie zwevende stof neemt na kolonisatie door quaggamosselen af met gemiddeld 40% in zowel meren als rivieren (Higgins 2014). In het IJsselmeer groeien hierdoor inmiddels waterplanten op een diepte van 3 meter (pers. comm. Bram bij de Vaate). Wanneer de nutriëntenconcentraties in de bodem hoog zijn, leidt de toegenomen helderheid van het water tot een explosieve groei aan dominante ondergedoken waterplanten (STOWA 2014). Kolonisatie door de quaggamossel wordt geassocieerd met een gemiddelde toename aan waterplantbedekking van wel 180 % (Higgins 2014).

OVERZICHT MAATREGELEN

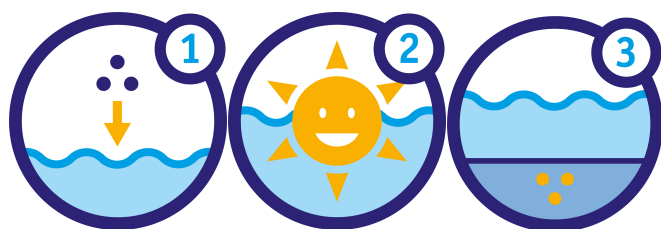
Type maatregelen in relatie tot de nutriëntenbelasting en kritische grenzen.



Afbeelding 11 De maatregelen die genomen kunnen worden om een troebel systeem te laten omslaan naar een helder systeem zijn bronmaatregelen, systeemmaatregelen en interne maatregelen (Jaarsma *et al.* 2008).

Quaggamosselen dragen bij aan veranderingen in de nutriëntenhuishouding van het watersysteem. Door het filteren van het water worden zowel organisch als anorganisch materiaal uit de waterkolom verplaatst naar de waterbodem. Dit gebeurt door het uitscheiden van (pseudo)feces en door opslag in mosselbiomassa. Een gedeelte van de nutriënten wordt uitgescheiden in opgeloste vorm (Bootsma & Liao 2014). Uit een meta-analyse van Higgins (2014) blijkt dat de quaggamossel in meren leidt tot een gemiddelde afname in totaal fosfor van 18%, met name door de afname van fosfor in niet-opgeloste vorm (in het zwevend stof). In rivieren treedt er geen verschil op in de concentratie totaal fosfor, doordat de afname van niet-opgeloste fosfor wordt gecompenseerd door de gemiddelde toename aan opgeloste fosfor met wel 430%. Er werden geen verschillen gevonden in opgelost stikstof (nitraat en ammonium) in meren en rivieren, maar in gesloten experimenten leidde de quaggamossel tot een toename van de hoeveelheid stikstof. Deze bevindingen werden bevestigd in een *enclosure*-experiment in het Tsjeuksmeer, waaruit bleek dat quaggamosselen leiden tot een afname in totaal-fosfor en een toename aan opgelost fosfaat en nitraat. Ook daar was geen effect te meten op de concentratie totaal nitraat (pers. comm. Guido Waaijen). Door de verplaatsing van nutriënten uit de waterkolom naar de waterbodem wordt de interne nutriëntenbelasting vergroot, wat leidt tot een verdere stimulering van vegetatieontwikkeling (Matthews *et al.* 2012).

Door de STOWA zijn ecologische sleutelfactoren (ESF's) opgesteld die een voorwaarde vormen voor een ecologisch goed functionerend watersysteem (STOWA 2014). Voor de terugkeer van ondergedoken waterplanten, de eerste stap naar herstel van de waterkwaliteit en het ecosysteem, zijn drie ecologische sleutelfactoren van belang. Dit zijn de productiviteit van het water, het lichtklimaat en de productiviteit van de bodem (Afbeelding 12). De quaggamossel grijpt met name in op ESF 2 (lichtklimaat). Door de afname in zwevende stof neemt het doorzicht toe. Hoewel licht essentieel is voor het herstel van ondergedoken waterplanten, vormen ook de productiviteit van het water (ESF 1) en de productiviteit van de bodem (ESF 3) voorwaarden voor een soortenrijke, niet woekerende waterplantenvegetatie. Door het filteren van zwevend materiaal verplaatst de quaggamossel nutriënten uit de waterkolom (ESF 1) naar de bodem (ESF 3). Wanneer de externe nutriëntenbelasting van het water hoog is, zoals door nutriëntenrijk toestromend oppervlaktewater, zal de productiviteit van het water ook hoog blijven. Daarnaast wordt de productiviteit van de bodem door de quaggamossel verhoogd door de ophoping van (pseudo)feces. In gebieden waar de externe nutriëntenbelasting en de nutriëntenconcentraties in de bodem (de interne nutriëntenbelasting) nog niet op orde zijn, zullen beheer en maatregelen gericht op het terugdringen hiervan nodig blijven, ook wanneer de quaggamossel zijn intrede doet in het gebied. Voorbeelden van maatregelen zijn het instellen van peilfluctuatie, het omleiden van nutriëntenrijke waterstromen en het aanpakken van de waterbodem (Jaarsma *et al.* 2008).



Afbeelding 12 De ecologische sleutelfactoren voor het herstel van ondergedoken waterplanten zijn productiviteit van het water (ESF 1), lichtklimaat (ESF 2) en productiviteit van de bodem (ESF 3) (STOWA 2014).

2.2 Andere habitat geeft andere organismen

De aanwezigheid van quaggamosselen zorgt zowel direct als indirect voor veranderingen in de habitat. Habitatgeschiktheid is na het herstel van ondergedoken watervegetatie de eerstvolgende ecologische sleutelfactor om herstel van het aquatisch ecosysteem mogelijk te maken (Afbeelding 13). Na vestiging van de quaggamossel vinden veranderingen vooral op de bodem plaats, ook wel benthificatie genoemd (Mayer *et al.* 2014). Door het verbeterde lichtklimaat komt op de bodem de primaire productie door benthische algen en ondergedoken waterplanten op gang. De mosselbanken vormen een habitat en beschutting voor zoöplankton, macrofauna en vis (Mayer *et al.* 2014; Matthews *et al.* 2012). De (pseudo)feces van de quaggamosselen zijn in de mosselbanken bovendien een waardevolle voedselbron. Daarnaast vormen de ondergedoken waterplanten een habitat voor plantminnende vissoorten en een hoge diversiteit aan macrofauna (Noordhuis *et al.* 2014). Duikeenden en visetende vogels krijgen hierdoor te maken met een veranderd voedselaanbod (Noordhuis *et al.* 2014).



Afbeelding 13 De vierde ecologische sleutelfactor is habitatgeschiktheid (STOWA 2014).

2.2.1 Fytoplankton

De quaggamossel leidt gemiddeld tot een afname in fytoplanktonconcentraties van 45-78% (Higgins 2014). Doordat quaggamosselen selectief grazen, kunnen ze ook invloed hebben op de

soortensamenstelling van fytoplankton (Vanderploeg *et al.* 2014). Met name voor het effect op cyanobacteriën is onder waterbeheerders veel belangstelling. Het effect van de quaggamossel op cyanobacteriën is echter niet eenduidig. Uit een aantal studies blijkt dat quaggamosselen voor een toename aan cyanobacteriën kunnen zorgen. Quaggamosselen grazen selectief van het fytoplankton en kunnen cyanobacteriën (in dit geval *Mycrosystis*) uitscheiden, maar hierin was veel variatie (Vanderploeg *et al.* 2014). Of selectief grazen tot bloei van cyanobacteriën leidt, hangt af van de mosselabundantie en fosforconcentraties. De hoeveelheid fosfor bepaalt namelijk de mortaliteit en groeisnelheid van andere soorten fytoplankton en hun onderlinge concurrentie (Vanderploeg *et al.* 2014). De toename van oplosbaar reactief fosfor in het water door de quaggamossel kan de groei van cyanobacteriën stimuleren (Matthews *et al.* 2012). Naast nutriëntenconcentraties bepaalt ook de diepte van het waterlichaam of de hoeveelheid cyanobacteriën toe- of afneemt. In diepere meren kunnen cyanobacteriën zich namelijk onttrekken aan de graasdruk door te migreren naar ondiepere delen in de waterkolom (pers. comm. Ronald Bijkerk en Miguel Dionisio Pires). Bij lage concentraties cyanobacteriën kan de wind ervoor zorgen dat er lokaal alsnog een drijfslag ontstaat (pers. comm. Ronald Bijkerk en Miguel Dionisio Pires). In Nederland lijkt het er tot nu toe op dat quaggamosselen de concentraties cyanobacteriën juist doen afnemen. Dit blijkt onder andere uit *enclosure*-experimenten in het Tsjeukermeer, uitgevoerd door Waterschap de Brabantse Delta. Uit de resultaten bleek dat de quaggamosselen zorgden voor lagere concentraties cyanobacteriën (pers. comm. Guido Waaijen). Ook een proef met *Mycrosystis* door Bureau Waardenburg liet zien dat quaggamosselen deze cyanobacteriën wel degelijk consumeren en het water helder maken (pers. comm. Wouter Lengkeek). Op twee locaties waar de quaggamossel actief is uitgezet (de Linievijver in Breda en de gracht van Fort de Bilt in Utrecht) is de hoeveelheid cyanobacteriën sterk afgenomen. De looptijd van deze projecten is echter nog te kort om hieruit conclusies te kunnen trekken (pers. comm. Wouter Lengkeek en Guido Waaijen). In het Volkerak-Zoommeer is sinds 2005 de overlast van cyanobacteriën afgenomen, wat waarschijnlijk wordt veroorzaakt door de hoge dichtheden quaggamosselen (Van Hoorn & Visser 2012). Om erachter te komen of de quaggamossel wel of juist niet helpt om de problemen met cyanobacteriën in Nederland te bestrijden, is meer kennis nodig over de effecten in diverse watertypen in Nederland.

2.2.2 Zoöplankton en bacteriën

De abundantie van bacteriën in het sediment neemt gemiddeld met 2000% toe in de buurt van quaggamosselbanken (Higgins 2014). Quaggamosselen leiden tot een gemiddelde afname in zoöplankton biomassa van 47% in meren en 76% in rivieren (Higgins 2014). Ook uit de *enclosure*-experimenten in het Tsjeukermeer bleek dat de quaggamossel leidt tot een afname in zoöplankton (pers. comm. Guido Waaijen). Hieraan liggen drie mogelijke oorzaken ten grondslag (Matthews *et al.* 2012; Karatayev *et al.* 2014). Ten eerste kan de afname in zoöplankton veroorzaakt worden door directe consumptie door quaggamosselen. Daarnaast leidt de mosselsoort tot lagere concentraties fytoplankton en detritus, de belangrijkste voedselbron van zoöplankton. Ten derde zorgt het toegenomen doorzicht voor een hogere predatiedruk door de larven van benthivore vissen.

2.2.3 Macrofauna

Quaggamosselen leiden tot een toename in abundantie en diversiteit van macrofauna, doordat de mosselbanken zorgen voor habitatcomplexiteit, schuilmogelijkheden en voedselvoorziening (Ward & Ricciardi 2014). Ook de waterplanten vormen een habitat voor allerlei soorten slakjes, erwtenmosseltjes en vlokreeftjes (Noordhuis *et al.* 2014). Doordat quaggamosselen zich hechten op andere schelpen zou deze soort een negatief effect kunnen hebben op de *Unionidae*, een familie zoetwater tweekleppigen (Matthews *et al.* 2012). (Matthews *et al.* 2012). In Noord Amerika worden veel inheemse *Unionidae* bedreigd door de quagga- en driehoeksmossel (Ward & Ricciardi 2014). In Nederlandse wateren worden inheemse *Unionidae* ook begroeid door quagga- en driehoeksmosselen (Matthews *et al.* 2012). Kreeften en krabben prederen op quaggamosselen en kunnen dus profijt hebben van de quaggamosselinvasie (Matthews *et al.* 2014). Uit een meta-analyse blijkt dat quagga- en driehoeksmosselen in ondiepe wateren leiden tot een toename in biomassa van bodemdieren met gemiddeld 58% (exclusief *Dreissena's*) en 520% (inclusief *Dreissena's*) (Higgins 2014). In diepe watersystemen leiden quaggamosselen juist tot een gemiddelde afname van macrofauna met 47% in biomassa, doordat de voedselbeschikbaarheid afneemt (Ward & Ricciardi 2014; Higgins 2014)

2.2.4 Vissen

De aanwezigheid van de quaggamossel heeft op diverse manieren invloed op de samenstelling en abundantie van de vispopulaties. De afname van zoöplankton kan de totale biomassa van planktivore (levensstadia van) vissen doen afnemen (Karatayev *et al.* 2014; Matthews *et al.* 2012). Daarnaast leidt de

toegenomen helderheid tot een verhoogde predatiedruk op vissenlarven, terwijl visueel prederende vissen er juist voordeel bij hebben (Karatayev *et al.* 2014). Een aantal vissoorten zoals de blankvoorn en zwartbekgrondel prederen op quaggamosselen en zullen dus profiteren van toegenomen quaggamosselpopulaties (Bij de Vaate 2009). De mogelijke achteruitgang van *Unionidae* zoals de zwanenmossel door de quaggamossel is nadelig voor de bittervoorn. Dit is een beschermde vissoort die voor zijn voortplanting afhankelijk is van deze mosselen (Ravon 2014). Door de toename in ondergedoken waterplanten ontstaat er een verandering naar een plantminnende visgemeenschap met soorten zoals de blankvoorn, baars en driedoornige stekelbaars (Noordhuis *et al.* 2014). In het Veluwemeer heeft de groei van kranswieren bijvoorbeeld geleid tot een toename in het aantal vissoorten (Matthews *et al.* 2012).

2.2.5 Vogels

De toegenomen quaggamosselpopulatie in het IJsselmeergebied heeft niet geleid tot een toename van op *Dreissena* foeragerende duikeenden zoals de kuifeend, tafeleend, toppereend en brilduiker (Noordhuis *et al.* 2014). Dit komt waarschijnlijk doordat de voedingswaarde van de quaggamossel slecht is door het hoge calciumgehalte (Noordhuis *et al.* 2014). De duikeenden zijn gedeeltelijk overgestapt op andere prooisorten zoals slakken, erwtenmosselen en vlokreeften (Noordhuis *et al.* 2014). Deze zijn aanwezig in gebieden zoals de randmeren waar de hoeveelheid waterplanten sterk is toegenomen, waarschijnlijk door de quaggamossel (Noordhuis *et al.* 2014). Op die manier lijkt de quaggamossel indirect dus toch een positief effect te hebben op deze vogelsoorten. Tot nu toe heeft echter alleen de tafeleend een toename in populatiegrootte laten zien (Noordhuis *et al.* 2014). De toppereend en brilduiker profiteren wellicht minder van het verbreed voedselaanbod doordat deze pas laat in het seizoen arriveren (Noordhuis *et al.* 2014). Visetende vogels hebben last van de toegenomen helderheid van het water en dan met name de soorten die niet diep kunnen duiken (zoals de dwergmeeuw, visdief en zwarte stern). Die kunnen minder spiering vinden in gebieden met de quaggamossel omdat deze vissoort voorkeur heeft voor een troebele omgeving (Noordhuis *et al.* 2014).

2.2.6 Casus: het IJsselmeergebied

In het IJsselmeergebied hebben zich de afgelopen jaren grote veranderingen voorgedaan in het aquatisch ecosysteem, waarbij naast afgenomen nutriëntenconcentraties ook de quaggamossel een rol speelt. Er is een uitgebreide studie uitgevoerd naar de autonoom neergaande trends van vis- en vogelsoorten in dit gebied (Noordhuis *et al.* 2014). Allereerst leidden lagere nutriëntenconcentraties tot verarming van het systeem. De algenconcentraties gingen achteruit en de algen werden minder voedszaam, wat een achteruitgang veroorzaakte van de driehoeksmosselpopulatie. Dit had tot gevolg dat duikeenden zoals de kuifeend, tafeleend, toppereend en brilduiker in aantallen afnamen. Daarnaast ondervonden ook visetende vogels zoals de dwergmeeuw, visdief en zwarte stern een lager voedselaanbod, doordat de spiering achteruitging of wegtrok naar gebieden met troebel water. Vanaf 2007 zijn de meren in het IJsselmeergebied gekoloniseerd door de quaggamossel. De soort leidde door de hoge filtratiecapaciteit tot een verdere afname van de algenconcentraties. Zo wordt de inhoud van het Eemmeer tegenwoordig driemaal per dag gefilterd door de quaggamosselen (pers. comm. Gerben van Geest). In alle meren is de watervegetatiebedekking de afgelopen twee decennia toegenomen. Hoe de watervegetatie zich ontwikkelt en welke soorten gaan groeien is afhankelijk van de nutriëntenconcentraties, de helderheid en de waterdiepte (Van Geest & Noordhuis 2014). De quaggamossel bleek als nieuwe voedselbron niet direct te leiden tot een toename aan duikeenden. Dit komt waarschijnlijk door de slechte voedingswaarde van de quaggamossel door de lage nutriëntenconcentraties in het gebied. Indirect leidt de mossel echter wel tot een nieuwe en diverse voedselbron voor duikeenden. De toegenomen watervegetatie is namelijk een habitat voor allerlei macrofauna zoals slakjes en vlokreeftjes. De verandering in habitat heeft ook gevolgen gehad voor de vissoortensamenstelling. In de Randmeren is de brasem sterk achteruit gegaan, terwijl blankvoorn en stekelbaars in grotere getalen voorkomen. Deze vissoorten vormen een alternatieve prooi voor de visetende vogels. Vanwege het beperkte areaal van de ondiepe wateren, waar deze vissen voorkomen, zal het niet voldoende zijn om de vogelpopulaties volledig te herstellen. Dit voorbeeld laat zien hoe de quaggamossel ontwikkelingen in een ecosysteem kan versterken, die al zijn ingezet door beperkingen in nutriëntenbelasting. De helderheid van het water is toegenomen en de watervegetatie begint zich te ontwikkelen. De nutriëntenconcentraties bepalen vervolgens of de vegetatieontwikkeling leidt tot een dominantie aan bijvoorbeeld draadwier, kranswier of fonteinkruid (Van Geest & Noordhuis 2014). Deze veranderingen hebben vervolgens invloed op alle trofische niveaus, van zoöplankton en macrofauna tot vissen en vogels.

2.3 Sociaal-economische effecten

De quaggamossel heeft niet alleen effect op het ecologisch functioneren, maar ook op andere functies van een waterlichaam zoals die voor recreatie en (drinkwater)industrie. Iedere functie stelt andere eisen aan het watersysteem, die door de komst van de quaggamossel zowel positief als negatief beïnvloed kunnen worden. Hieronder wordt kort uiteengezet wat de effecten van de quaggamossel (kunnen) zijn op deze functies van het watersysteem.

2.3.1 Recreatie

Recreanten die het water gebruiken om te zwemmen, varen of te vissen, ondervinden gevolgen van de quaggamossel. Allereerst zorgt de afname van algenbloei voor een hogere belevingswaarde van het water. Voor zwemmers is de toegenomen helderheid van het water is een positieve ontwikkeling. Als de quaggamossel een remmend effect heeft op bloei van cyanobacteriën, wat niet zeker is, zou dat zeer gunstig zijn. Aan de andere kant kan overmatige groei van ondergedoken waterplanten zoals fonteinkruid en draadwier overlast veroorzaken voor zowel zwemmers als pleziervaart. Daarnaast kunnen quaggamosselen zich hechten aan de wanden van vaartuigen (pers. comm. Guido Waaijen).

Sportvisserij Nederland maakt zich zorgen over de effecten van de quaggamossel op de vispopulaties. Zij verwijzen daarbij naar de effecten in Noord-Amerika, waar de hoge filtratiecapaciteit van quagga- en driehoeksmosselen heeft geleid tot zeer lage algenconcentraties en kelderende visstanden (Emmerik 2014). Hun visie richt zich vooral op de achteruitgang van vissoorten die momenteel veel worden gevangen, wat vaak soorten zijn zoals brasem die zich thuis voelen in troebele en voedselrijke wateren (pers. comm. Ruurd Noordhuis en Miguel Dionisio Pires). Door de quaggamosselpopulaties zal de vissoortensamenstelling veranderen naar plantminnende soorten zoals blankvoorn en stekelbaars, waardoor het type vissen waarop gevestigd kan worden verandert. Daarnaast kan de afname in zoöplankton en de toegenomen predatiedruk op de larven door de helderheid van het water ertoe leiden dat de productiviteit van planktivore vissen zoals brasem zal afnemen (Karatayev *et al.* 2014; Matthews *et al.* 2012).

2.3.3 (Drinkwater)industrie

Doordat de quaggamossel zich in grote dichtheden hecht aan allerlei materialen, kan de soort een probleem vormen voor de (drinkwater)industrie die via leidingen water uit rivieren of meren oppompt. Om dichtgroei van leidingen te voorkomen worden door drinkwaterbedrijven al voorzorgsmaatregelen genomen, zoals behandeling met chloorbleekloog dat mossellarven tijdelijk inactief maakt en het aanbrengen van microzeven om de larven tegen te houden (Evides 2014). Daarnaast is een hoge stroomsnelheid van $>1,5 \text{ m s}^{-1}$ gewenst om aanhechting te voorkomen (Evides 2014). Doordat de quaggamossel zich bij lagere temperaturen voorplant dan de driehoeksmossel en door de hogere populatiedichtheden in sommige drinkwaterbekkens is het aan te bevelen om de leidingen actief te monitoren en om de protocollen voor behandeling indien nodig aan te passen (Evides 2014).

3. Doelen, beheer en maatregelen

Voor de wateren in Nederland zijn ecologische doelen opgesteld, waarvan helder en schoon water met een gezonde biodiversiteit een van de belangrijkste is. De sterke effecten van de quaggamossel op doorzicht roept de vraag op, in hoeverre deze soort bijdraagt aan deze doelen of juist ecosysteemherstel in de weg zit. De Kaderrichtlijn Water (KRW) is een belangrijk beleidsinstrument voor het opstellen en evalueren van deze ecologische doelen. Daarom worden de effecten van de quaggamossel op het behalen van deze KRW-doelen hier eerst besproken. Vervolgens kan worden bepaald of het beheer en de maatregelen, gericht op die doelen nog actueel is of moet worden aangepast wanneer de quaggamossel het waterlichaam heeft gekoloniseerd.

3.1 Doelen binnen de Kaderrichtlijn Water

Voor de Nederlandse waterlichamen zijn ecologische doelen opgesteld binnen de KRW. Hoewel de quaggamossel als exoot zelf niet in de KRW-doelen is opgenomen, heeft de soort wel indirect invloed door de brede effecten op het aquatisch ecosysteem. De KRW-maatlatten zijn per type waterlichaam verschillend. De effecten van de quaggamossel op de KRW-maatlatscores is daardoor complex. Het is dan ook onmogelijk om de gevolgen precies te voorspellen. Daarom wordt hieronder een indicatie gegeven van de te verwachte effecten. Tenzij anders aangegeven is de informatie in dit deelhoofdstuk gebaseerd op STOWA (2012).

Voor de KRW zijn Nederlandse waterlichamen ondergebracht in 42 natuurlijke watertypen en 13 kunstmatige watertypen. Deze watertypen vormen samen 4 categorieën: meren, rivieren, kust- en overgangswateren. Voor elk watertype zijn doelen opgesteld voor vier biologische kwaliteitselementen: fytoplankton, overige waterflora, macrofauna en vis. De doelen zijn gebaseerd op de referentietoestand, de toestand van het waterlichaam zoals die zou zijn geweest zonder menselijke beïnvloeding. Voor natuurlijke wateren is de norm de Goede Ecologische Toestand (GET), terwijl voor kunstmatige of sterk veranderde wateren het Goed Ecologisch Potentieel (GEP) de norm is. Dit GEP is omlaag bijgesteld naar realistische doelen, omdat menselijke ingrepen het bereiken van de eigenlijke doelen onhaalbaar hebben gemaakt. Bij de evaluatie van een waterlichaam wordt voor ieder biologisch kwaliteitselement de Ecologische Kwaliteitsratio (EKR), de score bepaald. De EKR is gebaseerd op indicatoren en deelmaatlaten, die op hun beurt (groepen van) soorten bevatten die een relatie hebben met sturende milieuvariabelen, biologische processen en/of mate van verstoring. Om als waterlichaam aan de norm (GET of GEP) te voldoen, moeten naast de biologische ook de algemene fysisch-chemische en hydromorfologische kwaliteitselementen als 'goed' worden beoordeeld.

Hieronder is uitgewerkt wat de invloed is van quaggamosselpopulaties in een waterlichaam op de EKR binnen de vier biologische kwaliteitselementen fytoplankton, waterflora, macrofauna en vis (Tabel 3). Als laatste komen kort ook de hydromorfologische en algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen aan bod.

Tabel 3 Biologische, hydromorfologische en algemene fysisch-chemische KRW-kwaliteitselementen (STOWA 2012).

Biologisch	Hydromorfologisch	Algemene fysisch-chemisch
Samenstelling en abundantie van fytoplankton (-R)	Hydrologisch regime (M,R)	Doorzicht (-R)
Samenstelling en abundantie van overige waterflora	Getijdenregime (O,K)	Thermische omstandigheden
Samenstelling en abundantie van macrofauna	Riviercontinuïteit (R)	Zuurstofhuishouding
Samenstelling, abundantie en leeftijdsopbouw van vis (-K)	Morfologie	Zoutgehalte (M,R)
		Verzuringstoestand (M,R)
		Nutriënten

- R = niet voor categorie Rivieren
- K = niet voor categorie Kustwateren
- R = alleen voor de categorie Rivieren
- M, R = alleen voor de categorieën Meren en Rivieren
- O, K = alleen voor de categorieën overgangs- en kustwateren

3.1.1 Fytoplankton

Dit element wordt voor de KRW alleen beoordeeld in de categorieën meren, overgangswateren en kustwateren. Omdat de quaggamossel een zoetwatersoort is, zullen hier alleen meren worden besproken. Zoals bij elk biologisch kwaliteitselement bepalen zowel de fytoplanktonabundantie als de soortensamenstelling de score. Als indicator voor abundantie wordt het zomergemiddelde chlorofyl-a gebruikt. Omdat de quaggamossel fytoplanktonconcentraties vermindert, zal de score op deze deelmaatlat positief beïnvloed worden door de quaggamossel (Higgins 2014). De deelmaatlat soortensamenstelling fytoplankton is gebaseerd op de bloei van ongewenste soorten. Wanneer er helemaal geen sprake is van bloei, wordt er geen score toegekend aan deze deelmaatlat. Er is nog onduidelijkheid of de quaggamossel de bloei van schadelijke fytoplanktonsoorten vermindert of juist stimuleert. Bovendien zal dit effect afhankelijk zijn van onder andere nutriëntenconcentraties en diepte (Vanderploeg *et al.* 2014).

3.1.2 Waterflora

Het kwaliteitselement overige waterflora geldt voor alle watertypen, maar hier wordt alleen ingegaan op meren en rivieren omdat de quaggamossel daar voorkomt. Voor de deelmaatlat abundantie wordt het relatieve voorkomen van verschillende groeivormen van macrofyten gebruikt als indicator. Dit is vanwege het functionele verband tussen groeivormen en het aquatisch milieu. Daarin worden de volgende groeivormen onderscheiden: submerse vegetatie, drijfbladvegetatie, emerse vegetatie, draadwier en kroosvegetatie, aangevuld met oevervegetatie. De quaggamossel heeft door het verbeteren van doorzicht een stimulerend effect op de groei van met name ondergedoken waterplanten (Higgins 2014). Bij hoge nutriëntenconcentraties kan ook een toename aan draadwier ontstaan, zoals het geval is in de Randmeren (pers. comm. Ruurd Noordhuis). In de meeste gevallen geldt dat de beoordeling op de maatlat een optimum heeft, wat betekent dat de score weer afloopt boven een bepaalde bedekkingsgraad. Het is daarom afhankelijk van de Ausgangssituatie, de toename in abundantie van de verschillende typen waterplanten en de ligging van dit optimum op de KRW-maatlat wat het effect van the quaggamossel is op de deelmaatlat waterflora-abundantie. Wanneer het waterlichaam voorheen in een troebele staat verkeerde zonder waterflora, dan zal de score op de deelmaatlat zeer waarschijnlijk hoger worden nadat het water door de quaggamossel helder is geworden en de watervegetatie is toegenomen. De deelmaatlat soortensamenstelling bevat indicatoren gebaseerd op een lijst kenmerkende soorten per watertype. De nutriëntenconcentratie in de bodem zal bepalen of een hoge diversiteit kenmerkende soorten zich zal vestigen, of dat slechts een paar ongewenste ondergedoken waterplanten de hele waterbodem zullen domineren (STOWA 2014). Voor rivieren wordt ook het fytobenthos meegenomen als indicator voor de soortensamenstelling. Door de toegenomen waterhelderheid heeft de quaggamossel een positief effect op de biomassa van benthische algen (Higgins 2014). Hoe de soortensamenstelling van fytobenthos wordt beïnvloed, is echter moeilijk te voorspellen.

3.1.3 Macrofauna

Het derde biologische kwaliteitselement is de macrofauna, waarbij weer alleen de meren en rivieren worden besproken. De maatlat is samengesteld uit de abundantie en soortensamenstelling van kenmerkende, positief dominante en negatief dominante taxa. Positief dominante soorten zijn soorten die dominant voorkomen in de referentiesituatie, terwijl negatief dominante soorten juist dominant voorkomen als de ecologische toestand slecht is. Kenmerkende soorten komen bij uitstek voor in de referentiesituatie in het betreffende watertype. Quaggamosselen leiden tot een toename van zowel dichtheid als diversiteit van macrofauna (Ward & Ricciardi 2014). Het is echter niet mogelijk om een conclusie te trekken over de invloed op de KRW-score, omdat niet opgemaakt kan worden of het hier om positief dominante, karakteristieke of om negatief dominante soorten gaat.

3.1.4 Vis

Naast abundantie en soortensamenstelling wordt bij het biologisch kwaliteitselement vis ook leeftijdsopbouw meegenomen. De indicatoren van de maatlat zijn vooral gericht op algemene soorten die verband houden met humane stressfactoren zoals eutrofiëring en peilbeheersing. In meren worden de indicatoren gevormd door de relatieve biomassa van brasem, baars, blankvoorn, plantminnende en zuurstoftolerante vissoorten. Door de quaggamossel zal de brasem afnemen, terwijl de baars en blankvoorn profiteren van de nieuwe omstandigheden (Noordhuis *et al.* 2014). Om ook plantminnende vissen zoals snoek en zilt te laten toenemen zijn naast helder water met voldoende waterplanten ook oevers nodig (pers. comm. Gerben van Geest). Wat betreft het effect op zuurstoftolerante vissoorten is er nog onvoldoende bekend. Bij elkaar opgeteld zal de quaggamossel in meren waarschijnlijk een positief effect hebben op de score voor de maatlat Vis. Voor de grote rivieren vormen inheemse diadrome, rheofiele en limnofiele vissoorten de indicatoren. In de rivieren zal waarschijnlijk het prederen op de

quaggamossel en het vormen van habitat om te schuilen de belangrijkste effecten teweeg brengen in de vissamenstelling. Of de vissoortensamenstelling in rivieren daadwerkelijk zal veranderen door de quaggamossel is nog moeilijk te zeggen.

3.1.5 Algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen

De algemeen fysisch-chemische kwaliteitselementen zijn doorzicht, temperatuur, zuurstofverzadiging, zoutgehalte, verzuringstoestand en nutriënten. Wanneer een waterlichaam aan één van deze elementen niet voldoet, zal de KRW score matig blijven ook al zijn alle biologische kwaliteitselementen in goede toestand. De quaggamossel zal bij hoge populatiedichtheden het doorzicht verbeteren (Matthews *et al.* 2012). Daarnaast kan de quaggamossel leiden tot veranderingen in nutriëntenconcentraties (toename in opgelost fosfor en afname in totaal fosfor) en een afname van zuurstofconcentraties (Higgins 2014; Matthews *et al.* 2012). Vanwege het *one-out-all-outprincipe* is het lastig te voorspellen of en hoe de uiteindelijke score op deze maatlat zal worden beïnvloed door de quaggamossel.

3.1.6 Hydromorfologische kwaliteitselementen

De hydromorfologische kwaliteitselementen bestaan voor zoete wateren uit hydrologisch regime, riviercontinuïteit en morfologie. Dit gaat om grote patronen waarop de quaggamossel geen invloed heeft, behalve de substraatsamenstelling van de rivierbedding. Dit is echter een klein onderdeel van de maatlat en de quaggamossel zal daarom geen invloed hebben op de scores van de hydromorfologische kwaliteitselementen.

3.1.7 KRW-referentietoestand

De referentietoestand van een waterlichaam is de toestand waarin het water zou verkeren zonder menselijke invloeden. Omdat de quaggamossel effect heeft op alle delen van het ecosysteem, kan de vraag worden opgeworpen of de referentietoestand hierop aangepast zou moeten worden. Hierbij spelen twee tegengestelde redeneringen een rol. Bij het opstellen wordt de maatlat gevalideerd, waarbij gevraagd wordt of er een versturende invloed in het spel is waardoor de referentietoestand irreëel is. Wellicht is de komst van de quaggamossel zo'n versturende invloed en moeten de maatlaten opnieuw gevalideerd worden. Aan de andere kant kan de quaggamossel ook gezien worden als een natuurlijke wijziging in het ecosysteem, die het systeem blijvend kan veranderen. Ook dat zou de referentietoestand veranderen. Het gaat natuurlijk wat ver om bij elke nieuwe soort de referentietoestanden aan te passen. Bovendien zou je kunnen zeggen dat de quaggamossel een niche vervult die andere inheemse (mossel)soorten ook hadden kunnen vervullen. De vraag of de referentietoestanden moeten worden aangepast is dan ook meer een 'filosofische' discussie, waarmee in de praktijk niet snel wat gedaan zal worden.

3.2 Effecten op beheer

Met dit globale overzicht van de effecten van de quaggamossel op de ecologische doelen van een watersysteem, kan bepaald worden of het beheer en de maatregelen moeten worden aangepast bij aanwezigheid van de quaggamossel. Hoewel de quaggamossel aanrijpt op de helderheid van het water, worden niet de nutriëntenbelasting en de nutriëntenconcentraties in de bodem aangepakt. Daarom zal het in eutrofe gebieden nog steeds van belang zijn om het beheer en de maatregelen gericht op het verminderen van de nutriëntenconcentraties uit te voeren. De aanwezigheid van de quaggamossel kan wel het nemen van interne maatregelen gericht op het helder maken van water, zoals het wegvangen van brasem vervangen.

Naast beheer en maatregelen gericht op ecologisch systeemherstel, kan de quaggamossel ook leiden tot andere typen beheer en maatregelen gericht op het verminderen van schade of overlast voor de watergebruikers. In Noord-Amerika hebben de quagga- en driehoeksmossel geleid tot grote problemen door verstopping van fabrieksleidingen. In Nederland heeft men al ervaring met de driehoeksmossel, waardoor de leidingen van fabrieken en drinkwaterbedrijven al zijn toegerust met filters om mossellarven tegen te houden (Evides 2014). Daarnaast wordt ook chloorbleekloog toegepast om hechting van de mosselen te voorkomen (Evides 2014). Doordat quaggamosselen zich bij lagere temperaturen voortplanten dan de driehoeksmossel en de populaties zich snel uitbreiden, zullen controle en reiniging van leidingen vaker nodig zijn. Daarnaast kan de quaggamossel voor problemen zorgen door het hechten aan duikers en pleziervaartuigen. Daarom is het voor waterbeheerders van belang om kwetsbare of belangrijke punten regelmatig te controleren op begroeiing met de quaggamossel en deze eventueel te verwijderen. De toename van watervegetatie is soms ongewenst en zorgt daardoor voor meer maaiwerkzaamheden. Dominantie van de watervegetatie is met name te verwachten in gebieden met een nutriëntrijke waterbodem zoals in veengebieden.

3.3 De quaggamossel uitzetten als maatregel

Hoewel de quaggamossel zich al in de meeste rivieren en grote meren heeft verspreid, zijn geïsoleerde wateren nog niet gekoloniseerd. Hoewel dit waarschijnlijk een kwestie van tijd is, kan het wenselijk zijn om in deze wateren de quaggamossel uit te zetten. Door de grote filtratiecapaciteit kan de quaggamossel als interne maatregel toegepast worden om een systeemomslag teweeg te brengen van een troebel naar helder watersysteem.

Stadsvijvers zijn uitermate geschikt voor het uitzetten van quaggamosselen; er is veel overlast door algen en cyanobacteriën, ze hebben weinig natuurwaarde en bronbestrijding is vaak niet of slecht mogelijk. Bureau Waardenburg is al actief in het uitzetten van quaggamosselen om de groei van cyanobacteriën in stadswateren te bestrijden, zoals de Linievijver in Breda en de grachten van Fort de Bilt in Utrecht (pers. comm. Wouter Lengkeek). Door de mosselen te plaatsen op kratjes, wordt het risico op sterfte door zuurstofloosheid verminderd en bevinden de mosselen zich in een ondiepere waterlaag met hogere fytoplanktonconcentraties. De lopende projecten lijken succesvol in het terugbrengen van de concentraties van algen en cyanobacteriën, maar het is nog te vroeg om conclusies te trekken (pers. comm. Wouter Lengkeek).

Naast het uitzetten in stadsvijvers, hebben quaggamosselen nog andere toepassingen. Zo kunnen de mosselen worden ingezet bij RWZI's. Door algen en slib uit afvalwater te filteren, versnellen quaggamosselen het bezinkingsproces. Bovendien kunnen mogelijk ook nutriënten en microverontreinigingen zoals medicijnresten uit het water worden gefilterd. Door waterschap Rijn en IJssel worden momenteel proeven uitgevoerd om de toepasbaarheid van quagga- en driehoeksmosselen in de afvalwaterzuivering te onderzoeken (pers. comm. Annemarie Kramer-Hoenderboom). Daarnaast kunnen de mosselen gekweekt worden voor veevoer, specifiek voor het hoge fosforgehalte, wat in Polen en Litouwen wordt toegepast (pers. comm. Ruurd Noordhuis en Miguel Dionisio Pires). Een andere mogelijke toepassing is het inzetten van quaggamosselen om nutriëntenconcentraties in waterlichamen te verminderen, waarbij de quaggamosselen na het oogsten gebruikt kunnen worden in bijvoorbeeld biovergisting (pers. comm. Wouter Lengkeek).

Omdat de quaggamossel een invasieve exoot is, kan het uitzetten ervan alleen na systeemanalyse en een zorgvuldige afweging plaatsvinden. Voor de quaggamossel zijn nog niet alle (langetermijn)effecten op het aquatisch ecosysteem bekend. De soort zou bijvoorbeeld kunnen zorgen voor een *invasive meltdown*, waarbij de quaggamossel invasie van andere exoten faciliteert. Daarom is het aan te bevelen om quaggamosselen alleen uit te zetten in regio's waar de soort al voorkomt, en niet in de buurt van natuurgebieden of industrie.

4. Monitoring en onderzoek

4.1 Kennisleemten

Hoewel er in Nederland trends zichtbaar zijn die erop wijzen dat de quaggamossel leidt tot een afname van fytoplankton en een toename aan helder water en waterplanten, zijn de precieze effecten op bijvoorbeeld de soortensamenstelling nog onduidelijk. Daarbij zijn de lokale omstandigheden van groot belang. Nutriëntenbelasting, bodemtype, morfologie, connectiviteit en beheer zijn mede bepalend voor de soorten die zich vestigen en hoe het ecosysteem zich ontwikkelt (STOWA 2014). Daarnaast is er nog weinig bekend over de langetermijneffecten. Zo is het de vraag in hoeverre de quaggamosselpopulatie in de toekomst weer zal teruglopen, en of dit gepaard zal gaan met massamortaliteit. In gebieden waar de quaggamossel zich heeft gevestigd, zijn veranderingen in het aquatisch ecosysteem nog in volle gang. Het kost tijd voordat een nieuw evenwicht zich instelt. De ecosystemen met helder maar nutriëntenrijk water die hierdoor kunnen ontstaan, komen nu nog niet voor in Nederland. Daarom is het des te lastiger om te voorspellen welke veranderingen er gaan optreden en wat de evenwichtssituatie zal zijn.

4.2 Monitoring en onderzoek

Om de kennisleemtes in te vullen is monitoring en onderzoek nodig. Op sommige plekken gebeurt dit al. Zo wordt door Hoogheemraadschap Rijnland het voorkomen van de quaggamossel in ondiepe laagveenmeren in kaart gebracht (pers. comm. Marloes van der Kamp en Johan Oosterbaan). Daarnaast zijn in de Brabantse Delta al *enclosure*-experimenten uitgevoerd naar de effecten van de quaggamossel op onder andere het chlorofylgehalte, nutriëntenconcentraties, cyanobacteriën en zwevend materiaal (pers. comm. Guido Waaijen). Voor de KRW wordt eens in de zes jaar de macrofauna bemonsterd, inclusief de quaggamossel. De technieken voor deze monsterring zijn echter niet afgestemd op mosselen en schieten daarom tekort voor het ontwikkelen van de benodigde kennis over de quaggamossel (pers. comm. Johan Oosterbaan). Technieken die al worden uitgevoerd en die geschikter zijn om de verspreiding van de quaggamossel te onderzoeken zijn bijvoorbeeld kartering met behulp van sonar en bemonsterring met duikers of happers (Bij de Vaate & Jansen 2012, pers. comm. Johan Oosterbaan). Wanneer de verspreiding op deze manier in kaart is gebracht, kunnen correlaties met andere ontwikkelingen in het ecosysteem onderzocht worden. Daarbij kun je denken aan algenconcentraties, bloei van cyanobacteriën, doorzicht, visstanden en macrofaunadiversiteit. Doordat in een ecosysteem veel factoren een rol spelen, zal het lastig blijven om een causaal verband aan te tonen tussen de vestiging van de quaggamossel en waargenomen trends in het waterlichaam. Daar zal experimenteel onderzoek een bijdrage aan kunnen leveren.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Het doel van dit rapport is een overzicht te geven van de invloed die quaggamossel heeft op het waterbeheer in Nederland. De belangrijkste gevolgen van de quaggamossel op het aquatisch ecosysteem is dat troebel water helder wordt, ook als de interne en/of externe nutriëntenbelasting nog hoog is. Door de toename in doorzicht kunnen ondergedoken waterplanten weer gaan groeien. Bij hoge nutriëntenconcentraties kan dat leiden tot woekering van dominante ondergedoken waterplanten en draadwier. De mosselbanken en watervegetatie vormen een habitat voor een hoge abundantie en diversiteit van macrofauna. De vissoortensamenstelling zal veranderen, met een toename aan plantminnende soorten. Door de afname aan zoöplankton biomassa kan de totale biomassa aan planktivore vis afnemen. Voor de gebruikers van het water vermindert de quaggamossel de algenoverlast, maar de overlast door waterplanten kan daarentegen toenemen. De effecten van de quaggamossel op de bloei van cyanobacteriën is nog niet eenduidig. Pleziervaart en (drinkwater)industrie kan hinder ondervinden doordat de quaggamossel leidingen en boten koloniseert. Doordat de quaggamossel ingrijpt op het hele ecosysteem, worden ook de doelen en de maatregelen van het waterbeheer beïnvloed. KRW-maatlatten worden specifiek opgesteld per watertype en het is alleen mogelijk om algemene uitspraken te doen over het effect van de quaggamossel op deze maatlatten. Omdat de quaggamossel bijdraagt aan een helder systeem met een toegenomen diversiteit aan flora en fauna, is de verwachte invloed op de KRW-maatlatten positief. Hoewel de quaggamossel de helderheid verbetert, zullen beheer en maatregelen gericht op het terugdringen van de nutriëntenconcentraties nodig blijven voor het herstel van gewenste soorten en levensgemeenschappen. Bij aanwezigheid van de quaggamossel hoeven de nutriëntenconcentraties echter minder ver omlaag gebracht te worden om toch een omslag van een troebel naar helder watersysteem te bewerkstelligen. Overlast door waterplanten kan ervoor zorgen dat de watervegetatie vaker verwijderd moet worden. Daarnaast zullen monitoring en eventueel verwijdering nodig zijn om begroeiing van duikers tegen te gaan. Omdat de quaggamossel zich gemakkelijk verspreidt en via boottransport en vogels geïsoleerde wateren kan bereiken, zullen maatregelen om verspreiding tegen te gaan op de lange termijn niet effectief zijn en de verspreiding hooguit uitstellen. De hoge filtratiecapaciteit van de quaggamossel kan ingezet worden om algenoverlast in stadswateren te verminderen. Hiervoor kunnen kratjes begroeid met quaggamosselen worden uitgezet. Dit kan na zorgvuldige overweging en binnen randvoorwaarden gebeuren, zoals het alleen uitzetten binnen het verspreidingsgebied van de soort. Er zijn nog kennisleemten op het gebied van de precieze (langetermijn)effecten van de quaggamossel op delen van het ecosysteem en hoe factoren zoals diepte of nutriëntenconcentraties deze beïnvloeden. Om hier antwoord op te krijgen is monitoring en onderzoek nodig.

5.2 Aanbevelingen

De quaggamossel is relatief kort aanwezig in Nederland en de verspreiding en toename van populatiedichtheden bevinden zich nog in de exponentiële fase. De verspreiding kunnen we niet tegenhouden. Wel kunnen we nadenken over de gevolgen die de soort heeft op de ecologische waterkwaliteit en over de vraag of het beheer hierop moet worden aangepast. Tot nu toe was helder water een maat die representatief was voor een lage nutriëntenbelasting. Rekening houdend met de effecten van de quaggamossel, is dat nu niet meer het geval. De quaggamossel kan helpen om het proces om de waterkwaliteit te verbeteren, te versnellen. Het huidige beheer en de maatregelen blijven echter nodig om de ecologische doelstellingen te behalen. Zonder het terugdringen van nutriëntenbelasting en bijvoorbeeld natuurvriendelijke oevers zullen de gewenste diversiteit aan planten en dieren niet terugkomen.

De ecologische ontwikkelingen die de quaggamossel sinds de introductie Hollands Diep in vele waterlichamen in gang heeft gezet, zijn nog in volle gang. Het kost tijd voordat ecosystemen weer een evenwicht bereiken. Het is daarom belangrijk om niet te snel conclusies te trekken of te oordelen over de gevolgen van de quaggamossel. Overlast die nu plaatsvindt in bijvoorbeeld het Eemmeer door de hoge dichtheden fonteinkruid en draadwier, is wellicht slechts een tussenstadium. In andere meren wordt al geobserveerd dat de hoeveelheid draadwier weer is afgenomen en een diversere vegetatie van ondergedoken waterplanten ontstaat. Over het verloop van de veranderingen in aquatische ecosystemen

als gevolg van de quaggamossel is nog niet alles bekend. Hoewel in Noord-Amerika meerdere studies zijn uitgevoerd naar de gevolgen van de quaggamossel op aquatische ecosystemen, moet voorzichtig worden omgegaan met het toepassen van die resultaten op de situatie in Nederland. De omstandigheden in de Grote Meren zijn anders dan in de Nederlandse watersystemen. Hier zijn de waterlichamen over het algemeen ondieper, met een ander type bodem en de nutriëntenconcentraties zijn hier hoger. Observaties en onderzoek in onze Nederlandse wateren is nodig om meer te weten over de gevolgen die hier plaatsvinden of plaats zullen vinden. Het is aan te bevelen om tussen instellingen zoals de waterschappen kennis uit te wisselen en afspraken te maken over de verdeling en afstemming van monitoring en onderzoek.

7 Referenties

7.1 Interviews

Bij de Vaate, Bram. Waterfauna Hydrobiologisch Adviesbureau. 15 oktober 2014

Bijkerk, Ronald. Koeman en Bijkerk. 3 november 2014

Kamp, Marloes van der. Hoogheemraadschap Rijnland. 11 november 2014

Kramer-Hoenderboom, Annemarie. Waterschap Rijn en IJssel. 9 december 2014

Lengkeek, Wouter. Bureau Waardenburg. 18 november 2014

Leuven, Rob. Radboud Universiteit. 20 oktober 2014

Noordhuis, Ruurd. Deltares. 27 oktober 2014

Oosterbaan, Johan. Hoogheemraadschap Rijnland. 25 november 2014

Pires, Miguel Dionisio. Deltares. 27 oktober 2014

Pot, Roelf. Roelf Pot onderzoek- en adviesbureau. 3 november 2014

Stroom, Jasper. Waternet. 17 oktober 2014

Van Geest, Gerben. STOWA. 3 december 2014

Waijen, Guido. Waterschap Brabantse Delta. 3 november 2014

7.2 Literatuurlijst

Ackerman, J.D., 1999. Effect of velocity on the filter feeding of dreissenid mussels (*Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis*): implications for trophic dynamics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56(9), pp.1551–1561.

Ackerman, J.D., 2014. Role of fluid dynamics in Dreissenid mussels biology. In T. F. Nalepa & D. W. Schloesser, eds. *Quagga and Zebra Mussels; Biology, Impact and Control*. CRC press, Boca Raton. Second edition, pp. 471–486.

Baldwin, B.S. *et al.*, 2002. Comparative growth and feeding in zebra and quagga mussels (*Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis*): implications for North American lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59(4), pp.680–694.

Bij de Vaate, A. De & Jansen, E.A., 2007. Onderscheid tussen de driehoeksmossel en de quaggamossel. *Spirula*, 356, pp.78–81.

Bij de Vaate, A., 2006. De quaggamossel, *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov 1897), een nieuwe zoetwater mosselsoort voor Nederland. *Spirula*, 353, pp.143–144.

Bij de Vaate, A., 2009. *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897), in de Nederlandse rijkswateren in 2008. Waterfauna, rapportnummer 2009-01. Lelystad.

- 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.
- Bij de Vaate, A. *et al.*, 2010. Een uitgangssituatie voor *Dreissena*'s in het Haringvliet ten behoeve van onderzoek naar effecten van het openen van de Haringvlietssluis. Waterfauna rapportnummer 2010-03. Lelystad.
- Bij de Vaate, A. *et al.*, 2014. Spread of the Quagga Mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*) in Western Europe. In T. F. Nalepa & D. W. Schloesser, eds. *Quagga and Zebra Mussels; Biology, Impact and Control*. CRC press, Boca Raton. Second edition, pp. 83–92.
- Bij de Vaate, A. & Jansen, E.A., 2011. De dichtheid van driehoeks- en quaggamosselen in het Markermeer : resultaten van de kartering uitgevoerd in 2011. Waterfauna rapportnummer 2011-03. Lelystad.
- Bij de Vaate, A. & Jansen, E.A., 2013. De groei van quagga- en driehoeksmosselen in het IJsselmeer : een pilotstudie. Waterfauna, rapportnummer 2013-01. Lelystad.
- Bij de Vaate, A. & Jansen, E.A., 2012. Quaggamosselen in het IJsselmeer : resultaten van een gebiedsdekkende kartering uitgevoerd in 2012. Waterfauna, rapportnummer 1012-03. Lelystad.
- Bootsma, H.A. & Liao, Q., 2014. Nutrient cycling by Dreissenid mussels: controlling factors and ecosystem response. In T. F. Nalepa & D. W. Schloesser, eds. *Quagga and Zebra Mussels; Biology, Impact and Control*. CRC press, Boca Raton. Second edition, pp. 555–574.
- Emmerik, W. Van, 2014. Onstuitbare opmars van de quaggamossel. *Visionair*, 33, pp.32–33.
- Evides, 2014. *Dreissena*-mosselen bij Evides Waterbedrijf : Bedrijfsbreed onderzoek betreffende biologie , beheersing en monitoring. Rapportnummer TB-00292.
- 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. *Quagga and Zebra Mussels; Biology, Impact and Control*. CRC press, Boca Raton. Second edition, pp. 383–402.
- Higgins, S.N., 2014. Meta-analysis of Dreissenid effects on freshwater ecosystems. In T. F. Nalepa & D. W. Schloesser, eds. *Quagga and Zebra Mussels; Biology, Impact and Control*. CRC press, Boca Raton. Second edition, 487–494.
- Houghton, C.J. & Janssen, J., 2014. Variation in predator-prey interactions between round gobies and Dreissenid mussels. In T. F. Nalepa & D. W. Schloesser, eds. *Quagga and Zebra Mussels; Biology, Impact and Control*. CRC press, Boca Raton. Second edition, 359–367.
- Jaarsma, N., Klinge, M. & Lamers, L., 2008. Van helder naar troebel ... en weer terug. STOWA, rapportnummer 2008-04. Utrecht.
- 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.
- Matthews, J. *et al.*, 2012. Key factors for spread , impact and management of Quagga mussels in the Netherlands. Environmental Science, rapportnummer 404. Nijmegen.
- 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.

- Mayer, C.M. *et al.*, 2014. Benthification of freshwater lakes. In T. F. Nalepa & D. W. Schloesser, eds. *Quagga and Zebra Mussels; Biology, Impact and Control*. CRC press, Boca Raton. Second edition, pp. 575–585.
- Noordhuis, R., 2014. Kraanwater in het IJsselmeer; Over quagga-mosselen, fosfaat en vis. Deltares, presentatie.
- Noordhuis, R. *et al.*, 2014. Wetenschappelijk eindadvies ANT-IJsselmeergebied. Deltares, rapportnummer 1207767-000.
- Oosterbaan, J., 2014. Helder en probleemloos water dankzij de quaggamossel? De Rijnland case. Hoogheemraadschap van Rijnland, presentatie [2 oktober 2014].
- Vanderploeg, 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. F. Nalepa & D. W. Schloesser, eds. *Quagga and Zebra Mussels; Biology, Impact and Control*. CRC press, Boca Raton. Second edition, pp. 509–524.
- Van Geest, G. & Noordhuis, R., 2014. Sturen op watervegetaties. Deltares, rapportnummer 1208460-000-ZWS-0006.
- Van Hoorn, I. & Visser, S., 2012. Zoetwater Rapportage 2012; Op weg naar een duurzame zoetwater voorziening in de Zuidwestelijke Delta.
- Ravon, 2014. Bittervoorn. Website: <http://www.ravon.nl/Infotheek/Soortinformatie/Vissen/Bittervoorn/tabid/1405/Default.aspx> [16 december 2014].
- Scheffer, M. *et al.*, 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413(6856), pp.591–596.
- STOWA, 2014. Ecologische sleutelfactoren; Begrip van het watersysteem als basis voor beslissingen. STOWA, rapportnummer 2014-19. Amersfoort.
- STOWA, 2012. Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water. STOWA, rapportnummer 2012-31. Amersfoort.
- UK Environmental Agency, 2014. Quagga mussel discovered for first time in UK. Website: <https://www.gov.uk/government/news/quagga-mussel-discovered-for-first-time-in-uk> [22 november 2014].
- Ward, J.M. & Ricciardi, A., 2014. Impact of Dreissena on benthic macroinvertebrate communities: predictable patterns revealed by invasion history. In T. F. Nalepa & D. W. Schloesser, eds. *Quagga and Zebra Mussels; Biology, Impact and Control*. CRC press, Boca Raton. Second edition, pp. 599–610.