

Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 549 32 01
info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 2003/375

**De toepasbaarheid van *Dreissena polymorpha*
(Zebra mossel) in een waterfilter**

Datum	3 oktober 2003
Auteurs	V.G. Blankendaal M.G.D. Smit
Projectnummer	32161
Trefwoorden	Helder water Mosselfilter Zebra mossel
Bestemd voor	Vogelpark Avifauna John de Hoon Hoorn 65 2404 HG Alphen a/d Rijn

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Voor de rechten en verplichtingen van de cofinancier wordt verwezen naar de "Voorwaarden voor cofinanciering van vernieuwende kennisontwikkeling".

Samenvatting

In 1999 is TNO gestart met onderzoek naar de inzet van zoutwater mosselen (*Mytilus edulis*) in de waterzuivering. Onder andere bij het Dolfinarium te Harderwijk zijn diverse experimenten uitgevoerd om de mogelijkheden van de ontwikkeling van een mosselfilter te onderzoeken. Gezien de helderheidgerelateerde waterkwaliteitsproblemen in het zoete water is, mede naar aanleiding van de voornoemde experimenten, in 2000 de keuze gemaakt ook de mogelijkheden van zoetwater mosselfilters te onderzoeken.

De zoetwater mossel, in dit geval de zebra mossel, ook wel Driehoeksmossel genoemd (*Dreissena polymorpha*), filtert evenals de zoutwater mossel deeltjes uit het water. Hierdoor wordt de hoeveelheid zwevend materiaal in de waterkolom verlaagd. Het doorzicht en de beleving door publiek zullen hierdoor verhoogd worden. In het verleden is de Driehoeksmossel voor diverse doeleinden ingezet waaronder het tegengaan van eutrofiëringverschijnselen. Dit rapport geeft een overzicht van de eigenschappen van de Driehoeksmossel en de resultaten van eerdere onderzoeken waaruit afgeleid kan worden dat het gebruik van de Driehoeksmossel in een technisch filter potentieel mogelijk moet zijn.

Ter afsluiting worden enkele vervolgstappen in de ontwikkeling van dergelijke filters genoemd. Deze vervolgstappen zullen binnen het “Helder water” project in verschillende praktijk situaties zullen worden uitgevoerd. In de periode 2001 tot 2003 zijn experimenten met een zoetwater mosselfilter gepland. Deze zullen achtereenvolgens bij het vogelpark Avifauna in Alphen a/d Rijn, de monding van de Steenbergse Vliet in het Volkerak en bij de rioolwaterzuiveringsinstallatie in Den Helder worden uitgevoerd. In afzonderlijke rapportages zullen de resultaten van deze experimenten worden gerapporteerd.

Inhoud

	pagina
Samenvatting.....	2
1. Inleiding.....	4
2. De Driehoeksmossel.....	6
2.1 Populatiodynamica.....	6
2.2 Fysische / chemische parameters.....	7
2.3 Voedsel.....	9
2.4 Ecosysteem interacties.....	9
3. Filtercapaciteit.....	11
4. Toepassing van de Driehoeksmosselen als zoetwaterfilter.....	15
4.1 Wolderwijd:.....	15
4.2 Veluwemeer.....	16
4.3 Roggebotssluis.....	17
4.4 Het Volkerak-Zoommeer.....	17
4.5 Hudson Rivier.....	19
4.6 Lake Erie.....	19
5. Toepassing van Driehoeksmosselen in een technisch filter.....	20
6. Literatuur:.....	23
7. Verantwoording.....	26

1. Inleiding

In de Nederlandse oppervlaktewateren komen verschillende soorten zoetwatermosselen voor. De Driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) is de mosselsoort die in de hoogste aantallen voorkomt. Deze mossel is het onderwerp geweest van een groot aantal onderzoeken. Bij deze onderzoeken is onder andere gekeken naar manieren om de Driehoeksmossel te bestrijden en hoe de mossel gebruikt kan worden als signaleringsorganisme bij optredende vervuiling. Doordat de Driehoeksmossel weinig mobiel is, is deze soort zeer geschikt om toe te passen in onderzoeken naar de immobilisatie van verontreinigingen en als hulpmiddel bij het Actief Biologisch Beheer van geëutrofiëerde wateren (Reeders, 1989b). De ontwikkeling van het gebruik van Driehoeksmosselen in het waterkwaliteitsbeheer is nog in volle gang.

Vanwege de hoge verspreiding en groeisnelheid zijn Driehoeksmosselen gemakkelijk in staat een geschikte habitat te koloniseren. Door de enorme groeicapaciteit worden ze vaak als een hinderlijk organisme beschouwd. Bij de industrie die gebruik maakt van ruw oppervlakte water, voor bijvoorbeeld koelwater, komt het voor dat de mosselen de inlaatpijpen van de installaties begroeien, waardoor de toevoer van water sterk gehinderd wordt.

De plaats die de Driehoeksmossel binnen een ecosysteem inneemt staat ter discussie. De mossel zorgt door zijn hoge filtercapaciteit, waardoor de primaire productie door fytoplankton wordt weggenomen voor een verandering in de energicyclus van een systeem. Hierdoor kunnen verschuivingen optreden in de soortensamenstelling van de aquatische ecosystemen. Zo kunnen de effecten van eutrofiëring sterk gereduceerd worden, maar kunnen ook de van oorsprong aanwezige aquatische populaties door de Driehoeksmossel verdrongen worden (Nalepa & Schloesser, 1993).

Problemen met het dichtgroeien van inlaatpijpen en verdringing van de van oorsprong aanwezige aquatische populaties door Driehoeksmosselen zijn in de Nederlandse situatie nog geen actueel probleem. Met name in Amerika zorgt de Driehoeksmossel echter voor grote overlast.

Zoetwatermosselen zijn toegepast als biomonitor voor de bepaling van de kwaliteit van het water. Traditioneel wordt de waterkwaliteit bepaald aan de hand van de chemische en fysische parameters van een systeem en aan de hand van een beoordeling van de voorkomende aquatische fauna en flora. De mosselen lijken vooral geschikt voor de monitoring van het water op puntverontreinigingen met toxische stoffen. De mosselen sluiten en hebben geen activiteit bij een eventuele verontreiniging. Door de activiteiten van de mosselen te monitoren kan acute belasting van het milieu waargenomen worden. Dit principe is toegepast bij de ontwikkeling van de Mosselmonitor (Delta Consult, 1994).

In deze literatuurstudie is gekeken naar de mogelijkheden voor de zoetwatermossel *Dreissena polymorpha* om te fungeren als macrobiologisch zoetwaterfilter voor gesuspendeerde deeltjes in de waterkolom. Deze studie is in navolging van het onderzoek van TNO dat in 1999 is gedaan naar een biologische zuiveringsmethode voor het zoute water in het nieuwe walrussenbassin van het Dolfinarium te Harderwijk. Dit betrof een onderzoek naar de mogelijkheden van het toepassen van “ecological-engineering” om de waterkwaliteit en met name het doorzicht te verbeteren. In dit onderzoek werd gekeken naar de mogelijkheden om met behulp van een gecontroleerd filtersysteem bestaande uit zoutwatermosselen en zeesla het zoute water van het walrussenbassin te zuiveren van zwevende deeltjes (Smit & Foekema, 2000).

Bij deze studie is gekeken naar de eisen die de Driehoeksmosselen hebben ten aanzien van het milieu waarin ze voorkomen. Er wordt gekeken naar de filtercapaciteit van de mosselen. Gegevens over deze eigenschap zijn van belang voor de toepassing van de mosselen als biologisch filter. Tevens wordt op basis van de met deze studie verzamelde gegevens een aanzet gegeven voor de mogelijkheden van het toepassen van de Driehoeksmosselen binnen een gecontroleerd filtersysteem voor de filtratie van zoetwater. De nadruk bij filtratie door mosselen ligt op deeltjes verwijdering. Voor een overzicht van mogelijkheden om opgeloste nutriënten uit zoetwater te verwijderen wordt verwezen naar Holthaus *et al.*, 2002.

2. De Driehoeksmossel.

2.1 Populatiodynamica

De Driehoeksmossel kent zowel een mannelijk als vrouwelijk geslacht. De mosselen zijn geslachtsrijp als zij een lengte van ongeveer 5 mm hebben bereikt. Tijdens de voortplanting worden miljoenen zaadcellen en eitjes vrij gelaten in het water, waar de bevruchting plaats vindt. Meestal vindt de voortplanting plaats in de periode mei tot oktober. In deze periode kunnen in het water vrij levende larven aangetroffen worden. De *Dreissena polymorpha* is de enige zoetwatermollusk waarbij vrij levende larven in het water worden aangetroffen. De andere soorten mollusken vormen larven die parasiteren op bijvoorbeeld de kieuwen van vissen. De larven van de Driehoeksmossel leven 6 tot 20 dagen planktonisch in het water. De duur van deze planktonische fase is afhankelijk van de temperatuur van het water (Nichols, 1996).

De larven kunnen zich voortbewegen met behulp van trilharen. Deze trilharen zorgen naast de voortbeweging ook voor de toevoer van kleine voedselpartikels. Als er geen voedsel aanwezig is, sterft de larve. Sterfte kan ook optreden door predatie door vislarven, vissen, cyclops, filterende volwassen Driehoeksmosselen, slechte kwaliteit van de eieren, bacteriële infectie, voedseltekort etc. (Nalepa & Schloesser, 1993).

Als de larven zwaar genoeg zijn geworden zakken ze naar de bodem, waar ze zich aan een geschikt substraat zullen proberen te hechten. Indien een geschikt substraat ontbreekt, zal de larve alsnog sterven. De jonge Driehoeksmosselen kunnen zich met behulp van de voet en de zogenaamde byssus-draden voortbewegen. Met de byssus-draden zullen zij zich uiteindelijk hechten aan substraat. De mosselen kunnen zich door deze draden op plekken vestigen die moeilijk toegankelijk zijn voor andere soorten bivalven. Het aantal larven dat zich uiteindelijk tot een volwassen mossel ontwikkelt, is een klein percentage van de oorspronkelijke hoeveelheid larven die in het water waren gevormd (MacIsaac & Sprules, 1991).

Gedurende de wintermaanden groeit de mossel niet. Dit zou kunnen samenhangen met de temperatuur van het water. Een andere verklaring voor het stoppen van de groei in de winter zou kunnen zijn het ontbreken aan voldoende voedsel. In de winter dalen de chlorofylgehalten sterk. Er is tevens geen sprake van groei als de mossel zich aan het voortplanten is. De energie wordt dan gebruikt voor het maken van de gameten. Hiermee wordt ook verklaard dat de Driehoeksmossel twee groeiingen per jaar kent. De groeisnelheid hangt naast de temperatuur en de voedselconcentratie in het water af van de grootte van de mossel. Hoe groter de mossel wordt hoe lager de groeisnelheid. De Driehoeksmossel wordt meestal niet ouder dan 4 jaar. Hij heeft dan een lengte van ongeveer 4 centimeter bereikt (MacIsaac, 1994).

2.2 Fysische / chemische parameters.

De Driehoeksmossel tolereert een temperatuur tussen de 0 °C en de 30 °C. De optimale temperatuur voor een succesvolle voortplanting ligt echter tussen de 12 °C en de 24 °C. Tussen deze temperaturen lijken er geen grote verschillen in de filtratiesnelheid van de Driehoeksmosselen te zijn (Nalepa & Schloesser, 1993). Experimenten in het Wolderwijd hebben uitgewezen dat de optimale filtercapaciteit bij een temperatuur tussen de 10 °C en de 20 °C ligt (Noordhuis *et al.*, 1994). Er treed echter pas een reductie in de activiteit van de Driehoeksmossel op bij temperaturen lager dan 5 °C. Verschillende onderzoeken in het buitenland naar de optimale temperatuur voor voortplanting en filtratie van de Driehoeksmossel geven zeer uiteenlopende resultaten (Reeders, 1989a).

Volgens onderzoek van Nichols (1996) is er in wateren waar de temperatuur niet onder de 12 °C komt, sprake van een continue productie van larven. Andere onderzoeken wijzen echter uit dat bij een constante temperatuur van 12 °C de rijping van de eitjes en het moment waarop zaadcellen in het water terecht komen gedesynchroniseerd raakt (Borcherding, 1995). Er bestaat een vermoeden dat de sterke fluctuaties in de temperatuur er een oorzaak van kunnen zijn dat de reproductie van de Driehoeksmosselen wordt verstoord, doordat de rijping van de gameten en eitjes wordt beïnvloed. Zie ook de beschrijving van het experiment in het Veluwemeer, later beschreven in deze tekst.

Een belangrijke fysiologische randvoorwaarde voor het overleven van de Driehoeksmosselen binnen een filter betreft de zuurstofconcentratie. Met name in gestratificeerde plassen zal er bij de bodem sprake kunnen zijn van een zuurstoftekort, waardoor de Driehoeksmosselen bedreigd worden. De zuurstofnorm voor zoutwatermosselen bedraagt >7 mg/l. Dit betreft de grens waarbij het functioneren van de mosselen in gevaar komt. De kritieke ondergrens voor overleving ligt lager (Reeders, 1989b).

Het zuurstofverbruik van de Driehoeksmossel is afhankelijk van het seizoen. In het voorjaar verbruikt de mossel het minst met 18,6 mg O₂/g droge stof/dag. In de zomer is het verbruik het hoogst met 41,0 mg O₂/g droge stof/dag. Deze waarden verschillen echter ook aanzienlijk in verschillende onderzoeken. Er blijkt tevens verschil te zijn in de zuurstofconsumptie tussen kleine mosselen en grote mosselen. De kleine mosselen blijken een veel groter zuurstofverbruik te hebben. Dit kan oplopen tot 106,3 mg O₂/g droge stof/dag (Quigley *et al.*, 1993).

De pH ligt voor een goede ontwikkeling van de larven tussen de 7,4 en de 9,4. Het optimum ligt waarschijnlijk rond de 8,5.

Voor de ontwikkeling van de larven is het ook noodzakelijk dat het calcium-ion voldoende in het water aanwezig is. Een minimum concentratie van 40-60 mg Ca²⁺/liter is vereist voor een goede ontwikkeling van de larven.

De Driehoeksmosselen kunnen tot een gering zoutgehalte voorkomen. Chloridgehaltes tussen de 0,4 tot 0,7 g/liter zijn nodig om een complete levenscyclus te voltooien. De mosselen komen ook voor in gebieden met een hoger zoutgehalte, de individuen zijn dan echter vaak ontstaan uit larven afkomstig uit gebieden met een lager chloridgehalte, en zullen zich naar alle waarschijnlijkheid niet voortplanten in dit gebied (Nalepa & Schloesser (eds), 1993). De larven van de Driehoeksmosselen lijken beter bestand te zijn tegen een hoger zoutgehalte dan de volwassen mosselen (Nichols, 1996).

De Driehoeksmossel koloniseert verschillende typen harde substraten. Zoals stenen en de schelpen van dode Driehoeksmosselen of de schelpen van levende en dode andere soorten zoetwatermosselen, zoals *Anadonta* en *Unio*. In voormalige estuaria vormen de marine schelpen een belangrijk substraat voor de Driehoeksmosselen. Er bestaat competitie voor de ruimte op de harde substraten met andere organismen. Met name macroalgen, zoetwaterpoliepen en de slijkgarnaal (*Corophium curvispinum*) worden als concurrent genoemd.

In de literatuur worden verschillende dieptes genoemd waarop de Driehoeksmosselen voorkomen. De optimale diepte lijkt rond de 2 tot 4 meter onder het wateroppervlak te liggen. Boven deze dieptes is er waarschijnlijk sprake van een te grote turbulentie, waardoor sprake is van opwerveling van materiaal (Morton, 1969). Ook predatie zou een mogelijke oorzaak kunnen zijn voor het minder voorkomen van de Driehoeksmosselen tot een diepte van 2 meter (zie ook paragraaf 2.4 Ecosysteem interacties). Silt en detritus kunnen als een bedreiging voor de Driehoeksmosselen gezien worden. Bij opwerveling van grote hoeveelheden silt en detritus kunnen complete kolonies bedekt worden met een laag materiaal en hierdoor verstikken. Er kunnen echter ook door resuspensie voormalig bedekte harde substraten vrijkomen voor kolonisatie (Nalepa & Schloesser, 1993).

De mosselen zijn niet afhankelijk van een bepaald type vegetatie voor hun voorkomen. De aanwezige vegetatie is een bron van voedsel, zorgt voor de zuurstof die nodig is in een systeem en dient als bescherming of als substraat (Bentham Jutting, 1959).

De stroomsnelheid kan de filtercapaciteit van de Driehoeksmosselen op twee manieren beïnvloeden. Tot een bepaalde snelheid zal de filtercapaciteit toe nemen, door een betere aanvoer van zwevende stof. Boven een bepaalde snelheid neemt de filtratiecapaciteit verder af. Bij zeer hoge snelheid kan dit uiteindelijk leiden tot het loslaten van de mosselen van het substraat (Ackerman, 1999).

2.3 Voedsel

Driehoeksmosselen zijn zogenaamde “filter-feeders”. Ze filteren organische en anorganische gesuspendeerde deeltjes uit het water. Ze eten vooral bacteriën, blauw-groen algen en zeer kleine detritus deeltjes. De onverteerbare deeltjes worden met behulp van een slijmerige substantie verwerkt tot pseudo-feces die worden uitgestoten en vervolgens bezinken. Het andere deel wordt verteerd. Hetgeen overblijft na de vertering wordt als feces uitgescheiden. De Driehoeksmosselen zorgen hierbij dus voor een netto verwijdering van gesuspendeerde deeltjes in de waterkolom. Driehoeksmosselen prefereren deeltjes groter dan 5 µm. Deeltjes kleiner dan 5 µm worden wel gefilterd. De opname efficiëntie van deze deeltjes is echter een stuk lager dan van de deeltjes van 5 µm en groter (Gossiaux *et al.*, 1998). Over het algemeen kunnen de Driehoeksmosselen deeltjes filteren tot een grote van 750 µm. De deeltjes van 15 µm tot 40 µm worden geselecteerd voor vertering. Het blijkt dat de mosselen 's nachts meer filteren dan overdag (Horgan & Mills, 1997).

Onderzoek van Bastvinken *et al.* (1998) heeft uitgewezen dat de Driehoeksmossel zijn voedsel selecteert. Waarschijnlijk vindt de selectie van het voedsel plaats op de kieuwen of labiale palpen. De verschillen in opname lijken niet erg afhankelijk te zijn van de grootte van de deeltjes. Er zijn grote verschillen in opname tussen verschillende soorten algen die zich in dezelfde grote klasse bevinden. Sommige algensoorten als *Cryptomonas spp.* komen niet in de pseudo-feces van de Driehoeksmosselen voor. Dit duidt erop dat de mossel deze algensoorten compleet verteert. Onderzoek van Lei *et al.* (1996) naar de filtratie dynamica ondersteunt de bevindingen van Bastvinken *et al.* (1998). Ook in dit onderzoek waarbij gebruik werd gemaakt van microsferen van verschillende grootte werd geen onderscheid gevonden in de mate van filtratie van de verschillende microsferen. Wel bleek uit het onderzoek dat de Driehoeksmosselen een voorkeur hebben voor natuurlijke deeltjes boven deze kunstmatige deeltjes.

Onderzoek naar de productie van feces in het Volkerak-Zoommeer wijst uit dat de feces een grotere concentratie verontreinigingen heeft dan het gemeten slib. Dit komt vermoedelijk doordat de Driehoeksmossel voor voedsel organische stof onttrekt in de vorm van algen en bacteriën, waardoor de samenstelling van de feces afwijkt van de samenstelling van de gesuspendeerde slibdeeltjes (Reeders, 1989a).

2.4 Ecosysteem interacties

De Driehoeksmossel vormt een belangrijke voedselbron voor verschillende soorten duikeenden, met name kuifeenden. Ook is er predatie door verschillende vissoorten, zoals blankvoorn, koolblei en aal. In het IJsselmeer is de blankvoorn verantwoordelijk voor vrijwel alle predatie door vissen op Driehoeksmosselen. Bloedzuigers (*Glossiphonia complanata*) en rivierkreeften (*Orconectes limosus*)

prederen met name op jonge mosselen. Ook zijn parasieten een belangrijke oorzaak van sterfte van de jonge Driehoeksmosselen (Nalepa & Schloesser, 1993).

De verwijdering van zwevende stof door de mosselen zorgt ervoor dat het licht een grotere diepte kan bereiken waardoor de macrofyten een grotere kans krijgen om zich te ontwikkelen. De Driehoeksmosselen zorgen voor een verhoging van het organisch materiaal in het sediment. Een verhoging van het organisch materiaal in het sediment scheidt gunstige omstandigheden voor muggenlarven en gammariden (Bruner *et al.*, 1994).

De Driehoeksmosselen kunnen een negatief effect hebben op mossel- en slakkensoorten. Bijvoorbeeld de *Unioniden*, die als substraat kunnen dienen voor de Driehoeksmosselen, blijken bij kolonisatie door Driehoeksmosselen minder in biomassa toe te nemen. De Driehoeksmosselen zorgen voor een afname van hun filterefficiëntie. Slakken kunnen moeilijker overleven doordat de aan hun schelpen bevestigde mosselen ervoor zorgen dat ze moeilijker kunnen voortbewegen (Griffiths, 1993).

De mosselen zorgen voor een transport van nutriënten uit het water naar het sediment in de vorm van pseudo-feces en feces. Een deel van de nutriënten gebruikt de mossel voor groei en reproductie. Een ander deel scheidt de mossel uit als organisch materiaal of als opgelost anorganische stof. Opgeloste anorganische nutriënten zijn direct beschikbaar voor de groei van algen. Zo kunnen door de uitscheiding van opgeloste anorganische nutriënten door de mosselen bepaalde algensoorten gestimuleerd worden om te groeien. De mosselen kunnen de algenpopulatie binnen een watersysteem derhalve beïnvloeden door enerzijds begrazing en anderzijds stimulatie (Arnott & Vanni, 1996).

3. Filtercapaciteit

Bij de bepaling van het vermogen van de Driehoeksmossel om water te filteren, wordt met verschillende begrippen gewerkt. De filtercapaciteit is het volume water dat per tijdseenheid per hoeveelheid mosselen volledig van zwevend materiaal wordt ontdaan. Dit wordt ook wel “clearance rate” genoemd. Onder filtratiesnelheid wordt verstaan de massa zwevende deeltjes die per tijdseenheid door de kieuwen van de mosselen wordt gefilterd. De opnamesnelheid van de zwevende deeltjes is gelijk aan de filtratiesnelheid indien er geen pseudo-feces worden geproduceerd (Lei *et al.*, 1996).

Bij het onderzoek naar de filtercapaciteit van de Driehoeksmossel wordt vaak gekeken naar de volwassen mosselen van groter dan 12 mm. De jonge mosselen van 2 tot 12 mm blijken echter ook een bijdrage te leveren aan de filtratie van een systeem, zoals is gebleken uit onderzoek van Bunt *et al.* (1993) in Lake Erie waar de populatie met name uit kleinere mosselen bestaat. Bij andere onderzoeken naar de bepaling van de filtratiesnelheid van een mossel wordt er vanuit gegaan dat de capaciteit afhankelijk is van de oppervlakte van de mossel (Reeders *et al.*, 1989).

Doordat verschillende onderzoekers de filtercapaciteit van de Driehoeksmossel relateren aan verschillende grootheden zijn de resultaten van de onderzoeken over het algemeen zeer moeilijk vergelijkbaar. Naast verschillen in grootheden zijn er ook veel verschillen in de omstandigheden die gebruikt werden bij de laboratorium- en in situ experimenten die leiden tot verschillen in de bepaalde filtercapaciteiten.

In eutrofe meren hebben de mosselen een hogere groeisnelheid dan in de mesotrofe en oligotrofe meren. De aantallen mosselen zijn in de mesotrofe en oligotrofe meren echter groter. Uit laboratorium onderzoek is gebleken dat de mosselen een bepaalde optimale voedselconcentratie prefereren. Hoge concentraties voedsel zorgen ervoor dat het filtering systeem van de mossel verstopt (Nalepa & Schloesser, 1993). Naast de eutrofiëgraad blijkt het vermogen van een populatie Driehoeksmosselen om een compleet watersysteem te filtreren ook afhankelijk te zijn van de stratificatie van een systeem (Bunt *et al.*, 1993).

Experimenten met Driehoeksmosselen in situ in het Volkerak-Zoommeer en in laboratoriumexperimenten wijzen uit dat de groei van de mosselen in situ groter is dan de groei onder laboratoriumomstandigheden (Reeders, 1989a). Dit laat zien, zoals ook uit andere studies blijkt, dat de proefomstandigheden het functioneren van de Driehoeksmossel beïnvloeden. Uit de experimenten blijkt dat er een lineaire toename is van (pseudo-)feces productie bij een toename van het zwevende stof gehalte. Ook bij hoge gehalten bleek het zuiverend vermogen niet aangetast te worden. Bij de productie van (pseudo-)feces bleek de temperatuur van gering belang (Reeders, 1989a). Onderzoek van Lei *et al.*, (1996) die gebruik maakte van onnatuurlijke microsferen wees echter uit dat de (pseudo-)feces productie

afhankelijk is van de concentratie zwevende stof in het water en de grootte van de mosselen. Beneden een bepaalde concentratie werd geen (pseudo-)feces productie waargenomen. Boven een bepaalde concentratie nam de filtratiesnelheid af. Dit is in overeenstemming met onderzoek in het Wolderwijd (Noordhuis *et al.*, 1994).

Onderzoek heeft uitgewezen dat mosselen erg gevoelig zijn voor onnatuurlijke omstandigheden. Bij onderzoek naar marine soorten werd de filtratiesnelheid van de soorten altijd flink onderschat door tegenwerkende experimentele condities, zoals onnatuurlijke substraten, fysische of chemische verstoring en abnormale hoge algenconcentraties (Reeders *et al.*, 1989; Kryger & Riisgård, 1988).

Bij het toedienen van verschillende soorten voedsel bleek het onder laboratorium omstandigheden uit te maken aan welk type voedsel de Driehoeksmossel werd blootgesteld (Sprung, 1989). Laboratoriumonderzoek van Gossiaux *et al.*, (1998) heeft uitgewezen dat de kwaliteit van het voedsel een grote rol speelt bij de filtratiesnelheid van de voedseldeeltjes. Blootstelling aan gemakkelijk opneembaar voedsel leidt tot een lage filtratiesnelheid, omdat hierbij minder energie nodig is om het voedsel te verzamelen. Kryger & Riisgård (1988) maakten hierom bij de bepaling van de filtratiesnelheid gebruik van gemakkelijk op te nemen algen (*Chlorella*). Uit waarnemingen van Reeders *et al.*, (1989) bij het onderzoek in het veld, bleek geen voorkeur voor een bepaald type voedsel.

Bijgaande tabel laat zien dat er grote verschillen bestaan tussen de diverse gemeten filtratiecapaciteiten.

Tabel 1 Overzicht van verschillende in de literatuur aangetroffen filtratiecapaciteiten.

	Filtratiecapaciteit (ml/mossel/uur)	schelp lengte (mm)	temp.	plaats
1	8-44	21-22	–	Polen
	135-150	–	–	Nederland
	260-286	–	–	Denemarken
	0,4-516	wisselend met de schelp lengte	–	West Lake Erie
	20-120	–	–	Veluwemeer
2	50-100	21-22	–	Veluwemeer
	15-170	–	–	Markermeer
	50-163	–	–	IJsselmeer
3	5-180	29	–	Colloïdaal grafiet (Dag 554), verschillende media met micro-organismen, snelheid afhankelijk van het type medium dat werd toegediend. Hoe groter het micro-organisme des te lager de filtratiesnelheid
				maat is het drooggewicht van de het weefsel van de mossel
4	500-700		19 - 20 °C	Gevoed met Chlorella, water uit de Ladegards, water in Denemarken
5	0,2-2	2-7 mm	20 °C	Gevoed met Cryptomonas, mosselen uit Lake Erie
6	20-180	22 mm	div.	Wolderwijd
7	61	klein	–	Oneida Lake, lab experiment met grond spinazie (?) fijn gemalen
	110	middel groot	–	
	217	groot	–	
8	3,7-7	maat is per ug drooggewicht van het weefsel van de mossel	–	sediment in lab omstandigheden
	0,6-8,9	–	–	algen in lab omstandigheden
	493-897	–	–	sediment in lab omstandigheden
	47-143	–	–	algen in lab omstandigheden

(1. Leach (1993), 2. Reeders *et al.*, (1989), 3. Sprung (1989), 4. Kryger & Riisgård (1988), 5. Bunt *et al.*, (1993), 6. Noordhuis *et al.*, (1994), 7. Horgan & Mills (1997), 8. Gossiaux *et al.*, (1998))

In vergelijking met de marine soorten is de filtratiesnelheid van de Driehoeksmossel laag. Veel van de marine mosselen zijn afhankelijk van het tij voor het verzamelen van het voedsel. Dit zou een reden kunnen zijn waarom de marine soorten een hogere filtratiesnelheid hebben (Sprung, 1989).

Mosselen onttrekken op twee manieren verontreinigingen uit het water. Er is filtratie van opgeloste verontreinigingen die direct via de kieuwen door de mossel opgenomen worden en er is een indirecte opname van verontreinigingen die geabsorbeerd zijn aan gesuspendeerd materiaal. De meest efficiënte methode om de verontreinigingen op te nemen is door de filtering van de opgeloste verontreiniging. Het aan het gesuspendeerde materiaal geabsorbeerde materiaal zou eerst moeten resorberen, voordat het in het weefsel van de mossel opgenomen kan worden (Bruner *et al.*, 1994).

4. Toepassing van de Driehoeksmosselen als zoetwaterfilter

Grote hoeveelheden mosselen kunnen door hun filterende vermogen een aanzienlijke bijdrage leveren aan de helderheid van het water. In de Nederlandse meren lijkt de hoeveelheid geschikt substraat een beperkende factor te kunnen zijn voor de ontwikkeling van grote concentraties mosselen. Bij voldoende substraat kan het toepassen van mosselen door de korte levenscyclus en het grote voortplantingsvermogen van de mosselen al in het eerste jaar resultaat opleveren.

Driehoeksmosselen zijn in verschillende Nederlandse wateren geïntroduceerd om het effect van de mosselen op de waterkwaliteit te onderzoeken. In de meeste Amerikaanse onderzoeken naar de Driehoeksmossel wordt de nadruk gelegd op de negatieve aspecten van de introductie van de mossel in de Noord-Amerikaanse wateren. Er wordt gewezen op de overlast die mossel veroorzaakt wanneer deze aangroeit aan schepen en pijpleidingen. Maar wordt ook het opnieuw verschijnen van waterplanten als een bedreiging gezien voor de recreatie. Doordat de algemene aanwezigheid van waterplanten het zwem- en vaarogenot zou bedreigen.

Ook op ecologisch vlak wordt de Driehoeksmossel in Amerika als een groot gevaar beschouwd. Zo worden de van origine aanwezige zoetwatermolusken bedreigd door aangroei van de Driehoeksmossel. Visbroedplaatsen zouden door een chemische verandering van het water in gevaar gebracht worden. De afname van de fytoplankton-concentratie wordt gezien als een afname van de energie in de voedselketen van het meer, waardoor op fytoplankton foeragerende vissen en zooplankton niet worden voorzien in hun voedselbehoefte.

In de navolgende paragrafen wordt een beschrijving gegeven van de wateren waarin de Driehoeksmossel is geïntroduceerd en waarbij de Driehoeksmossel onderwerp van onderzoek is geweest. Tevens wordt aangegeven welke problemen optraden bij het toepassen van de mosselen.

4.1 Wolderwijd:

In de jaren '60 werden de effecten van de eutrofiëring van de Nederlandse oppervlakte wateren duidelijk. In de randmeren van Flevoland resulteerde dit in een sterke opbloei van met name planktonische blauwwieren, een sterk verminderd doorzicht en het verdwijnen van de waterplanten. Een grote diversiteit aan maatregelen lijkt het stabiele troebele systeem niet te kunnen verbeteren. Het uitzetten van Driehoeksmosselen lijkt een mogelijkheid om het zwevend materiaal uit de waterkolom te verwijderen en daarmee het doorzicht te verbeteren.

Experimenten in het meer Wolderwijd naar de filtercapaciteit van de mosselen hebben uitgewezen dat de mosselen optimaal filteren tussen een temperatuur van 10 °C tot 20 °C. De filtratiesnelheid bleek tussen deze temperaturen niet significant

te verschillen, maar nam wel af bij een toename van het organische stofgehalte van het systeem. Alhoewel er geen relatie werd gevonden tussen de filtratiesnelheid en het chlorofylgehalte van het systeem, werd wel een positieve relatie gevonden tussen de filtratiesnelheid en de hoeveelheid blauwalgen per liter.

De groeisnelheid van het fytoplankton kan zodanig zijn dat de populatie in drie dagen is verdubbeld. De concentratie mosselen in het systeem moet zodanig zijn dat in drie dagen het gehele systeem gefiltreerd kan worden, wil er een duidelijk effect in de waterkwaliteit zichtbaar zijn. Uitgaande van een zwevend stof gehalte zoals deze in de randmeren gebruikelijk is, zou een dichtheid van ongeveer 350 mosselen per m³ nodig zijn (Noordhuis *et al.*, 1994).

4.2 Veluwemeer

De Driehoeksmossel kwam in de beginjaren na het ontstaan van het Veluwemeer veelvuldig voor. Met de toenemende eutrofiëring nam de populatie af. Waarschijnlijk is dit veroorzaakt doordat het substraat van de mosselen is verdwenen. De geschikte verharde substraten raakten begroeid met algen. Tevens nam de hoeveelheid organisch materiaal door de toenemende eutrofiëring sterk toe. De mosselen werden bedekt met een laag dood organisch materiaal, waardoor het filtratievermogen van de mosselen zwaar gehinderd werd.

In het Veluwemeer is een entpopulatie geïntroduceerd om de Driehoeksmossel populatie weer terug te laten komen in het Veluwemeer. Tevens zijn er kokkelschelpen aangebracht die als substraat moesten dienen voor de nieuwe populatie mosselen. De geïntroduceerde populatie bleek echter geen broedval te hebben. De mannetjes produceerden hun zaadcellen later dan de vrouwtjes hun eitjes waardoor geen bevruchting heeft plaats gevonden.

Waarschijnlijk is de verstoring van de voortplanting veroorzaakt door grote temperatuurswisselingen in het water. De mosselpopulatie kan zich aan fluctuerende temperaturen aanpassen door de filtratiesnelheid aan te passen. Dit proces kost echter veel tijd en energie en kan derhalve ten kosten gaan van de voortplanting. Door de geringe diepte (gemiddeld 1,5 meter) zijn de randmeren gevoelig voor veranderingen in de luchttemperatuur. Er treden grotere seizoensfluctuaties op dan bijvoorbeeld in het IJsselmeer (4-6 meter). Vooral op warme windstille dagen kunnen de temperatuursverschillen tussen overdag en 's avonds flink oplopen. Het Veluwemeer lijkt voor het instandhouden van een mosselpopulatie dus afhankelijk te zijn van aanvoer van larven van elders (Noordhuis *et al.*, 1994).

4.3 Roggebotssluis

De Driehoeksmosselen zijn toegepast in de eutrofiëringcontrole in twee hypertrofe plassen bij de Roggebotssluis. Doel van het experiment was te kijken naar de verschillen in een plas met en een plas zonder Driehoeksmosselen. De Driehoeksmosselen kwamen eerder niet voor in beide plassen. Beide plassen werden geïsoleerd van de omgeving. In de grootste van de twee plassen werden Driehoeksmosselen uitgezet. Omdat een geschikt substraat in de plas ontbrak zijn als substraat netten op 10 tot 50 cm van de bodem opgehangen.

Vanaf het begin van het uitzetten bleek dat de plas waarin de mosselen waren uitgezet een groter doorzicht kreeg. De algenbloei was minder groot en er verschenen waterplanten. Bovendien kwamen de draadalgen, die niet als geschikt voedsel voor de mosselen beschouwd worden, niet meer voor. Dit laatste effect werd vermoedelijk veroorzaakt door neveneffecten van de filtratie. Draadalgen zijn snelle groeiers onder slechte lichtcondities. De slechte lichtcondities zijn verdwenen, doordat de mosselen de zwevende deeltjes hebben weggenomen. De cyanobacteriën hebben derhalve geen voordeel meer ten opzichte van andere groepen van fytoplankton en zijn ook uit het systeem verdwenen (Reeders *et al.*, 1993).

Bij de proef bleek dat er net als bij de toepassing in het Veluwemeer geen sprake was van voortplanting. De proef bij de Roggebotssluis heeft echter uitgewezen dat de mosselen kunnen zorgen voor een helder watersysteem. Het verschijnen van waterplanten duidt erop dat de spiraal naar steeds troebeler water omgekeerd kan worden. Het verdwijnen van de mosselen door het ontbreken van een goede voortplanting hoeft derhalve geen bezwaar te zijn. De Driehoeksmossel kan gebruikt worden als katalysator die na het gedane arbeid weer verdwijnt uit een systeem waar hij van nature niet voorkwam. Met name in kleinere plassen is de mossel goed toe te passen. In de grotere ondiepere wateren lijkt het van belang de externe toevoer van larven zo veel mogelijk te stimuleren (Noordhuis *et al.*, 1994).

Beperkende factoren in de verdere toename van de helderheid van het water zijn vermoedelijk de vissoorten brasem en blankvoorn. De kleinere vissen eten zoöplankton en de grotere vissen eten de muggenlarven in de bodem. De grotere vissen zorgen voor re-suspensie van het bodemmateriaal, waardoor nieuw zwevend materiaal in de waterkolom gebracht wordt (Reeders *et al.*, 1993).

4.4 Het Volkerak-Zoommeer

Driehoeksmosselen zijn in dit meer (doelstelling van dit meer is natuurbehoud en ontwikkeling) toegepast om de helderheid van het water te vergroten, door middel van de filtering van het fytoplankton en om de nog relatief schone onderwaterbodem te beschermen voor oplading met verontreinigd sediment.

Aangezien het meer historisch gezien zout was, werd om het verharde oppervlak van het meer te vergroten gebruik gemaakt van schelpen uit het mariene milieu (Smit *et al.*, 1993).

Het verontreinigde zwevende materiaal moet bij de inlaat van het Volkerak-Zoommeer bezinken, zodat er geen verspreiding van de verontreinigingen in het meer plaats vindt. Doordat de Driehoeksmosselen ook verontreinigd materiaal filteren, zullen ze door bioaccumulatie sterk verontreinigd zijn. Bij verwijdering van het filter zullen daarom voorzorgsmaatregelen genomen moeten worden (Reeders, 1989a).

Bij het experiment was het de bedoeling te onderzoeken of het mogelijk is om hangcultures Driehoeksmosselen te maken. Hangcultures zijn veel toegepast in de commerciële zoutwater mosselkweek. De hangcultures moeten door de mosselen zelf gekoloniseerd worden, zodat dit leidt tot een minimale inspanning voor de beheerder van het filter. De netten, van verschillende materialen gemaakt, werden opgehangen boven een Driehoeksmosselbank. Daarnaast werden nog een aantal netten op de Driehoeksmosselbank gelegd.

De aangroei van de Driehoeksmosselen op de bepaalde hangende netten bleek zeer homogeen, op andere netten werden alleen de knopen begroeid. De kolonisatie van de liggende netten bleek zeer onregelmatig. Gedeeltes die op de bodem hebben gelegen waren niet gekoloniseerd, waarschijnlijk door bedekking met een laag slib. Alleen het deel van het net dat vlak boven de mosselkolonie zweeft bleek begroeid te zijn met Driehoeksmosselen. De dichtheid van de mosselen neemt toe met de diepte. Een verklaring hiervoor kan een negatieve foto-tropie zijn of de predatiedruk door kuifeenden.

Na bovengenoemde waarnemingen zijn de netten teruggehangen. De netten werden hierna twee maal bezocht. Bij het tweede bezoek bleken de Driehoeksmosselen praktisch verdwenen te zijn. Mogelijke oorzaken voor deze plotselinge veranderingen zou bijvoorbeeld de windwerking kunnen zijn. De hechting van de mosselen is relatief zwak, zodat bij een plotselinge toename van de windinvloed verliezen kunnen optreden. Tevens zou predatie door duikeenden, meerkoeten, blankvoorn, koolblei en de Amerikaanse rivierkreeft een reden kunnen zijn voor de afname van de aantallen Driehoeksmosselen aan de hangcultures. Hier zijn echter geen concrete gegevens over bekend. Een laatste oorzaak zou de migratie kunnen zijn van de juveniele mosselen naar een andere locatie. Van de mosselen is bekend dat de eerste vestiging bij voorkeur plaats vindt op waterplanten, indien aanwezig. Er vindt daarna zowel passieve als actieve verplaatsing plaats. Passief door afsterven van de waterplanten, maar ook bij meerjarige planten blijken de mosselen te migreren. (Reeders, 1989b; Reeders, 1990).

4.5 Hudson Rivier

De introductie van de Driehoeksmossel in de Hudson Rivier heeft ertoe geleid dat de fytoplankton concentratie en de samenstelling in het systeem is veranderd. De verandering in samenstelling van de fytoplankton populatie wordt naast de filtratie door de Driehoeksmosselen toegeschreven aan de verschillen in de groeisnelheid van de verschillende soorten fytoplankton, waardoor sommige algensoorten die een snelle vermenigvuldiging kennen een voorsprong krijgen ten opzichte van andere algensoorten. Niet verteerde of afgestoten fytoplankton wordt vastgelegd in de pseudo-feces, door opwerveling van het sediment kunnen deze deeltjes weer in de waterkolom gebracht worden. De samenstelling van de fytoplankton concentratie zal derhalve deels afhankelijk zijn van de re-suspensie in een systeem (Bastviken *et al.*, 1998).

4.6 Lake Erie

Hoewel in Amerika de meeste onderzoekers de introductie van de Driehoeksmosselen zien als een bedreiging voor het ecosysteem zijn er ook enkele onderzoekers die voordelen zien. Een van de belangrijkste ontwikkelingen is de toenemende helderheid van het water. Stuckey & Moore (1995) constateerden dat submerse planten die soms al meer dan 30 jaar niet voorkwamen in Lake Erie sinds de introductie van de Driehoeksmossel weer in grote aantallen voorkomen.

In Lake Erie zijn metingen gedaan naar de veranderingen die optraden na de natuurlijke introductie van de Driehoeksmossel. Het bleek dat na het eerste jaar een toename in het doorzicht van het water optrad van 85 %. Resuspensie van bodemmateriaal door winderige omstandigheden heeft ervoor gezorgd dat het doorzicht weer enigszins afnam.

De chlorofyl-concentratie nam in de gemeten periode af (Nalepa & Schloesser, 1993). Onderzoek van Dobson & Mackie (1998) wijst uit dat de sedimentatie van gesuspendeerd materiaal 8 maal zo hoog is geworden in het meer. Bij dit onderzoek is echter geen rekening gehouden met de re-suspensie van sediment. De effectieve sedimentatie zal daarom lager zijn dan de in dit onderzoek vastgestelde waarde.

5. Toepassing van Driehoeksmosselen in een technisch filter.

De belangstelling binnen het waterkwaliteitsbeheer voor het toepassen van Driehoeksmosselen binnen het ecologisch waterbeheer neemt toe. De effecten die de Driehoeksmosselen kunnen hebben op de zwevende stof concentratie binnen een ecosysteem worden algemeen erkend.

Toepassing van de Driehoeksmosselen binnen een technisch filter is echter nergens beschreven. Tot heden is er voornamelijk gekeken naar de toepassing van Driehoeksmosselen in veldsituaties en in laboratoriumexperimenten. Toepassing van de Driehoeksmosselen binnen een gecontroleerd filter lijkt wenselijk boven toepassing van de mosselen direct in een systeem. De mossel kan zich onder goede omstandigheden onbeperkt voortplanten, wat tot allerlei onwenselijke situaties kan leiden. Bovendien kan in een gecontroleerd filter beter bepaald worden of de werking effectief is en is het eenvoudiger de effecten te volgen.

De experimenten die gedaan zijn met de Driehoeksmosselen leveren over het algemeen zeer verschillende resultaten. Driehoeksmosselen blijken gevoelig voor verstoring. Laboratorium experimenten geven veelal afwijkende resultaten van in situ experimenten. Dit geldt overigens ook voor de zoutwatermosselen. Zoals bleek uit het onderzoek van Smit & Foekema (2000) bleken de zoutwatermosselen (*Mytilus edilus*) toegepast in een technisch filter een kleinere filtersnelheid te hebben dan wat volgens de literatuur mogelijk moet zijn.

De vraag is dan ook in hoeverre en hoe de Driehoeksmosselen op een zo natuurlijk mogelijke wijze toepasbaar zijn binnen een technisch filter. Dit houdt in dat we de mosselen een zo normaal mogelijke levenscyclus willen laten doorlopen, inclusief groei en reproductie.

Factoren die met name van belang lijken bij het toepassen van de Driehoeksmosselen binnen een technisch filter zijn de temperatuur en de stroomsnelheid van het water. Problemen waar men in veldexperimenten tegenaan loopt zoals de predatiedruk en de problemen die ontstaan bij golfwerking van het water, zullen bij een technisch filter van ondergeschikt belang zijn. De situatie binnen een filter zal beter te hanteren zijn.

De mosselen lijken hun levenscyclus optimaal te kunnen voltooien bij temperaturen tussen de 12 °C en de 24°C. Sterk wisselende temperaturen lijken een negatief effect te hebben op de voortplanting van de mosselen. In de literatuur is niet bekend wat de effecten zijn van een constante temperatuur op de levenscyclus van de Driehoeksmosselen. De een voorspelt continue groei, terwijl de ander een verstoring van de reproductie waarneemt. Als we bij het toepassen van een technisch filter de situatie voor de mosselen zo natuurlijk mogelijk willen houden, zou er aanvullend onderzoek gedaan moeten worden naar de effecten van de omstandigheden binnen het filter op het functioneren van de Driehoeksmossel.

Onderzoek naar de filtratiesnelheid en filtercapaciteit laat zien dat er bij verschillende onderzoeken uiteenlopende snelheden worden vastgesteld. Het uiteenlopen van de resultaten wordt toegeschreven aan verschillende oorzaken. De kwaliteit en de kwantiteit van de zwevende stof blijken van groot belang voor de filtratiecapaciteit van de mosselen. De stroomsnelheid in het filter zou zo moeten zijn aangepast dat de mosselen door het hele filter genoeg voedsel en zuurstof krijgen aangeboden, maar tegelijkertijd niet zoveel dat een groot deel van het water ongefilterd het systeem weer verlaat. Met een regelmatige aanvoer van zuurstofrijk water kan er tevens voor gezorgd worden dat de mosselen voorzien worden van zuurstof.

Het toepassen van Driehoeksmosselen als zoetwaterfilter biedt gezien de Nederlandse onderzoeken naar de effecten van de Driehoeksmosselen op de waterkwaliteit zeker perspectieven. Zeker op het gebied van de verwijdering van zwevend materiaal uit de waterkolom kunnen de mosselen een zeer effectief filter zijn.

Problemen bij de introductie van de Driehoeksmosselen als biologisch filter lijken met name te liggen op het terrein van een effectieve inrichting van het filter. De inrichting van het filter moet zo opgebouwd zijn dat de mosselen zo natuurlijk mogelijk kunnen filteren onder optimale chemische en fysische omstandigheden.

Bij de inrichting van het filter moet een systeem worden ingebouwd dat de geproduceerde (pseudo)-feces opvangt en tevens zorgt voor een onderschepping van de door de Driehoeksmosselen geproduceerde larven. Het is niet wenselijk dat de Driehoeksmosselen via het gefiltreerde water in het watersysteem terechtkomen. Onderzoeken naar het voorkomen van begroeiing van industriële pijpleidingen met Driehoeksmosselen wijzen uit dat daar voor een zeef met een maaswijdte van 100 µm gebruikt zal moeten worden.

Mogelijk kan bij de inrichting van het systeem gebruik gemaakt worden van de gegevens die bekend zijn van de zoutwater mosselfilters. Met name voor de bepaling van de ideale doorstroming van het systeem zou het rapport van Van der Welle (2000) een aanzet kunnen zijn.

De volgende onderwerpen zullen moeten worden onderzocht om te komen tot een optimaal ontwerp voor een mosselfilter met Driehoeksmosselen:

- Kunnen de mosselen moeten groeien onder zo natuurlijk mogelijke omstandigheden? In de natuur ondervindt de mossel een seizoensritmiek, binnen een filter zal dit misschien niet zo zijn door verminderde temperatuurswisselingen. Indien de Driehoeksmosselen onder constante temperatuur en voldoende voedsel gehouden worden, is er dan sprake van continue groei?
- Bekend is dat wisselingen in temperatuur de reproductie van de Driehoeksmosselen kunnen verstoren. In de literatuur wordt beschreven dat bij

een temperatuur van circa 12 °C sprake is van reproductie. Wat is het effect van een continue “gunstige” temperatuur en voldoende voedsel voorziening op de reproductie? Vindt er continue reproductie plaats of raakt de reproductie ontregeld? Als er continue reproductie optreedt is er dan sprake van een verstoring van de groei van de Driehoeksmosselen?

- Wat is het watervolume dat door het mosselfilter per tijdseenheid gefiltreerd moet worden? Wat is de zwevende stof vracht die per volume eenheid in het water aanwezig is? Hoeveel mosselen zijn nodig om een bepaald volume water met een bepaalde hoeveelheid zwevende stof te zuiveren.
- Wat is de optimale stroomsnelheid van het water, zodat de mosselen optimaal kunnen functioneren binnen een geconditioneerd systeem? Hoe moet de waterstroom lopen wil er sprake zijn van voldoende zuurstof en voedselvoorziening door het gehele systeem? Kan er bij het ontwerp van het filter gebruik gemaakt worden van de gegevens bekend over de zout water mosselfilters?

Deze vervolgstappen worden binnen het “Helder Water” project in verschillende praktijk situaties uitgevoerd. In de periode 2001 tot 2003 zijn experimenten met verschillende zoetwater mosselfilters gepland. Achtereenvolgens zal de werking en inrichting van een mosselfilter in de volgende praktijksituaties worden onderzocht:

- *De pelikanen vijver van het vogelpark Avifauna in Alphen a/d Rijn.* Deze vijver is zeer sterk geëutrofeerd doordat dagelijks met de voedergift van de pelikanen grote hoeveelheden nutriënten in het systeem terechtkomen. Zomers leidt dit tot blauwalgen bloei.
- *De monding van de Steenbergse Vliet nabij het Volkerak.* Het Volkerak kampt al jaren met een steeds erger wordend eutrofiëringprobleem. Één oorzaak is de grote hoeveelheid nutriënten die door de aanvoerende beken worden aangevoerd. In de Steenbergse Vliet is een groot deel van deze nutriënten gebonden aan deeltjes. Verwijdering van deze deeltjes door mosselen kan een bijdrage leveren aan de vermindering van de eutrofiëring.
- *De rioolwaterzuiveringsinstallatie in Den Helder.* Effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties bevatten soms nog nutriënten en zwevend stof. De bijdrage van Driehoeksmosselen op de kwaliteitsverbetering van het effluent zal worden onderzocht.

6. Literatuur:

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: 1551-1561.

Arnott D.L. & M.J. Vanni (1996): Nitrogen and phosphorus recycling by the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in the western basin of lake Erie. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53(3):646-659.

Bastviken D.T.E., N.F. Caraco & J.J. Cole (1998): Experimental measurements of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) impacts on phytoplankton community composition. Freshwater Biol. 39:375-386.

Benthem Jutting W.S.S. van (1959): Ecology of freshwater Mollusca in the Netherlands. Basteria 23(Suppl.):106-131.

Borcherding J. (1995): Laboratory experiments on the influence of food availability, temperature and photoperiod on gonad development in the freshwater mussel *Dreissena polymorpha*. Malacologia 36 (1-2): 15-27.

Bruner K.A., S.W. Fisher & P.F. Landrum (1994): The role of the Zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, in contaminant cycling: II. Zebra mussel contaminant accumulation from algae and suspended particles, and transfer to the benthic invertebrate, *Gammarus fasciatus*. J. Great Lakes Res. 20:735-750.

Bunt C.M., H.J. MacIsaac & W.G. Sprules (1993) Pumping rates and projected filtering impacts of juvenile zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) in western Lake Erie., Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50:1017-1022.

Delta Consult (1994): Mosselmonitor. Delta Consult, Kapelle.

Dobson E.P. & C.L. Mackie (1998): Increased deposition of organic matter, polychlorinated biphenyls, and cadmium by zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) in western Lake Erie. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55(5):1131-1139.

Gossiaux D.C., P.F. Landrum & S.W. Fisher (1998): The assimilation of contaminants from suspended sediment and algae by the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. Chemosphere 36:3181-3197.

Griffiths R.W. (1993): Effects of Zebra mussels on Benthic Fauna of Lake St. Clair. In: Zebra mussels. Biology, impacts, and control. T.F. Nalepa & D.W. Schloesser (eds.) (1993) Lewis publishers, Boca Raton.

- Holthaus K.I.E., A. Weber, R.H. Jongbloed & M.G.D. Smit. (2002) Macrofyten als hulpmiddel bij de verwijdering van fosfaat en stikstof in een gesloten, eutroof watersysteem. TNO-MEP R 2002/637
- Horgan M.J. & E.L. Mills (1997): Clearance rates and filtering activity of Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): implications for freshwater lakes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54:249-255.
- Kryger J. & H.U. Riisgård (1988): Filtration rate capacities in 6 species of European freshwater bivalves. Oecologia 77:34-38.
- Leach J.H. (1993): Impacts of the Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*) on Water Quality and Fish Spawning Reefs in Western Lake Erie. In: Zebra mussels. Biology, impacts, and control. T.F. Nalepa & D.W. Schloesser (eds.) (1993) Lewis publishers, Boca Raton.
- Lei J., B.S. Payne & S.Y. Wang (1996): Filtration dynamics of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 29-37.
- MacIsaac H.J. & W.G. Sprules (1991): Ingestion of small-bodied zooplankton by zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): Can cannibalism on Larvae influence population dynamics? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48: 2051-2060.
- MacIsaac H.J. (1994): Comparative Growth and Survival of *Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis*, Exotic Molluscs Introduced to the Great Lakes. J. Great Lakes Res. 20 (4): 783-790. Internat. Assoc. Great Lakes Res.
- Morton B.S. (1969): Studies on the biology of *Dreissena polymorpha* Pall. III. Population dynamics. Proc. Malac. Soc. Lond. 38:471-482.
- Nalepa T.F. & D.W. Schloesser (eds) (1993): Zebra mussels. Biology, impacts and control. Lewis publishers. Boca Raton.
- Nichols S.J. (1996): Variations in the reproductive cycle of *Dreissena polymorpha* in Europe, Russia, and North America. Amer. Zool., 36:311-325.
- Noordhuis R., H.H. Reeders & E.C.L. Marteiijn (1994): Inzet van Driehoeksmosselen bij biologisch waterbeheer; resultaten van veldexperimenten. H2O 27:150-160.
- Quigley M.A., W.S. Gardner & W.M. Gordon (1993): Metabolism of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in Lake St. Clair of the Great lakes. In: Zebra mussels. Biology, impacts, and control. T.F. Nalepa & D.W. Schloesser (eds.) (1993) Lewis publishers, Boca Raton.

Reeders H.H. (1989a): De Driehoeksmossel, *Dreissena polymorpha*, als natuurlijk waterfilter. Onderzoek naar de mogelijkheden voor reductie van de verontreinigde sliblast bij de inlaat van het Volkerak-Zoommeer., RWS RIZA nota nr. 89.052.

Reeders H.H (1989b): Actief beheer Zoommeer. Biologisch filter: haalbaar of niet? RWS RIZA nota nr. 89.059.

Reeders H.H., A. bij de Vaate & F.J. Slim (1989): The filtration rate of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia) in three Dutch lakes with reference to biological water quality management. *Freshwater Biol.* 22:133-141.

Reeders H.H. (1990): Hangcultures Driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) resultaten van onderzoek in 1989. Dienst Binnenwateren/RIZA nota 90.030.

Reeders H.H., A. bij de Vaate & R. Noordhuis (1993): Potential of the Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*) for Water Quality Management. In: Zebra mussels. Biology, impacts, and control. T.F. Nalepa & D.W. Schloesser (eds.) (1993) Lewis publishers, Boca Raton.

Smit H., A. bij de Vaate, H.H. Reeders, E.H. van Nes & R. Noordhuis (1993): Colonization, Ecology, and Positive Aspects of Zebra Mussels (*Dreissena polymorpha*) in The Netherlands. In: Zebra mussels. Biology, impacts, and control. T.F. Nalepa & D.W. Schloesser (eds.) (1993) Lewis publishers, Boca Raton.

Smit M.G.D. & E.M. Foekema (2000): Massabalansen in relatie tot microbiologische zuivering in het nieuwe walrussenverblijf van het Dolfinarium. TNO-MEP - R 2000/183.

Sprung M. (1989): Field and laboratory observations of *Dreissena polymorpha* larvae: abundance, growth, mortality and food demands. *Arch. Hydrobiol.* 115: 537-561.

Stuckey R.L. & D.L. Moore (1995): Return and increase in abundance of Aquatic Flowering Plants in Put-in Bay Harbor, Lake Erie, Ohio. *Ohio J. Sci.* 95 (3):261-266.

Welle R. van der (2000): CFD berekeningen aan een mosselwaterfilter. TNO-MEP – R 2000/029.

7. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Vogelpark Avifauna
John de Hoon
Hoorn 65
2404 HG Alphen a/d Rijn

Namen en functies van de projectmedewerkers:

M.G.D. Smit	Projectleider
V.G. Blankendaal	Onderzoeker
G. Hoornsman	Onderzoeks assistent
A.G. Bakker	Onderzoeks assistent

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

-

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

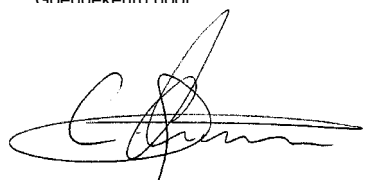
2000 - 2003

Ondertekening:



M.G.D. Smit
Projectleider
3 oktober 2003

Goedgekeurd door:



C.C. Karman
Afdelingshoofd
3 oktober 2003