

stituut voor onderzoek in de bos- en land-schapsbouw 'De Dorschkamp'. Wageningen. Rapportnr. 516: 51-62.

Heil, G. W., D. van Dam & B. Heijne, 1987. Catch of atmospheric deposition in relation to vegetation structures of heathland. In: Ammonia and acidification. Proceedings of the EURASAP, 13-15 April 1987. RIVM Bilthoven, The Netherlands: 107-123.

Klinka, K., R. N. Green, R. L. Trowbridge & L. E. Lowe, 1981. Taxonomic classification of humus forms in ecosystems of British Columbia, First Approximation. Province of British Columbia, Ministry of Forests.

Tietema, A., J. J. H. M. Duysings, J. M. Verstraten & J. W. Westerveld, 1986. Estimation of actual nitrification rates in an acid forest soil. In: Proceedings ICE-conference 'Field Methods in Terrestrial Nutrient Cycling' Grange-over-sands.

Ulenberg, S. A., 1988. Identificatie van Lepidoptera met behulp van larvale kenmerken, in het bijzonder met betrekking tot *Ceraapteryx graminis* (L.) en *Tholera cespitis* (D&S). In: De grasuilplaag van 1987. Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en land-schapsbouw 'De Dorschkamp'. Wageningen. Rapportnr. 516: 17-22.

Summary

Effect of the *Ceraapteryx graminis* moth on vegetation and soil of the Deelerwoud

On a local scale outbreaks of *Ceraapteryx graminis* are not rare and can stay in a particular area during several years. The caterpillars of this moth eat grasses such as *Nardus stricta*, *Molinia caerulea* and *Deschampsia flexuosa*.

In 1986 and 1987 an outbreak of this moth occurred in the central part of The Netherlands, Deelerwoud-Veluwe, and affected hundreds of hectares of a homogeneous *Deschampsia flexuosa* vegetation in a Pine forest.

In 1988 effects of the infestation of these caterpillars on vegetation and soil are studied. As a result of this infestation more seeds of *Pine* and *Birch* germinated in gaps of the *Deschampsia* vegetation. It is concluded that this plague of *Ceraapteryx graminis* resulted into a change in competition for space between *Deschampsia* and other plant species. Ultimately, this may lead to a more differentiated vegetation of a mixed forest. The infestation also resulted in a change of nutrient availability in the soil due to an extra input of organic material into the soil. Possible effects of this change in nutrient availability are discussed.

K. Zwerver, Dr. G. W. Heil & J. Jonkers
Fysisch Geografisch en Bodemkundig
Laboratorium, UvA
Dapperstraat 115
1093 BS Amsterdam

De Driehoeksmossel

(*Dreissena polymorpha*)

als biofilter

H. H. Reeders

voor het oppervlaktewater



De huidige samenleving wordt geconfronteerd met verontreinigde oppervlaktewateren. Eutrofiëring treedt op door belasting met grote hoeveelheden nutriënten. Daarnaast vormen de vele gifstoffen een groot probleem. De Driehoeksmossel kan worden ingezet in de bestrijding van deze vervuiling.

De Driehoeksmossel is een zoetwatermossel. Het is een zogenaamde 'filterfeeder': voedseldeeltjes, algen en bacteriën, worden verkregen door filtratie. Alle zwevende deeltjes $> 1 \mu\text{m}$ worden uit het water gefiltreerd (Jørgensen et al., 1984), terwijl inwendig voedselselectie plaatsvindt m.b.v. ciliën (trilharen). Oneetbare deeltjes en overtollige voedseldeeltjes worden met mucus, een soort stug slijm, samengekit tot pellets, pseudofaeces genoemd, en weer uitgestoten via de instroomopening. Echte faeces, verteerd voedsel, ver-

Fig. 1. De Driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*).

The Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) (photo: A. Bij de Vaate).

laat het lichaam via de uitstroomopening. Vanwege zijn gestreepte uiterlijk luidt de Engelse naam 'zebra mussel' (fig. 1). In het Duits is het 'Wander-muschel', vanwege zijn mobiele gedrag, m.n. in de jonge stadia. De soort komt voor in zowel rivieren als stagnante wateren (meren, kanalen e.d.) op diepten variërend van 0,5-50 m met maximale dichtheden tussen 2-10 m (Franchini, 1978) gehecht aan een harde ondergrond m.b.v. 'byssusdraden'.

De Driehoeksmossel werd pas in 1827 voor het eerst in Nederland aangetroffen in de Maas door Dreissens, aan wie de wetenschappelijke geslachtsnaam is ontleend. De soort kwam hier echter reeds in het Pleistocene voor. De laatste ijstijd verdreef de mossel naar het gebied rond de Kaspische Zee en Zwarte Zee: een post-glaciaal refugium. In de vorige eeuw koloniseerde de soort vrijwel ge-

heel Europa. Door de aanleg van kanalen werden watersystemen met elkaar verbonden en kon verspreiding plaatsvinden via de toegenomen binnenscheepvaart. Harde substraten, zoals schelpen en stenen, raken begroeid met driehoeksmosselen. Eenmaal gevestigd kan een populatie sterk in omvang toenemen als voldoende substraat aanwezig is. Het koloniserend vermogen van de Driehoeksmossel is zeer groot vanwege het planktonische, vrij in het water levende larvestadium, de 'veliger larven'. Deze kunnen na de broedval, de periode mei tot september, in zeer hoge dichtheden voorkomen: tot enkele 100.000en m^{-3} (Lewandowski, 1982). Van recente datum is de kolonisatie van de Great Lakes (Noord-Amerika) waar de Driehoeksmossel in 1985 is geïntroduceerd met het ballastwater van schepen uit Europa, en zich sindsdien explosief verspreidt (Hebert et al., 1989). De ongebreidelde kolonisatie van de Great Lakes kan plaatsvinden, omdat hier (nog) nauwelijks natuurlijke vijanden van de Driehoeksmossel zijn. Dit is echter een kwestie van tijd. Op termijn zal de populatie waarschijnlijk weer in omvang afnemen, zoals dit o.a. is gebeurd in de Bodensee. Predatie door duikeenden, zoals de Kuifeend (*Aythya fuligula*) en de Tafelend (*Aythya ferina*), en meerkoeten (*Fulica atra*) speelt hierbij een belangrijke rol. Ook enkele vissoorten, zo-

als Paling (*Anguilla anguilla*), Kolblei (*Abramis bjoerkna*) en Blankvoorn (*Rutilus rutilus*), eten driehoeksmosselen.

De Driehoeksmossel kan enorme dichtheden bereiken: Wiktor (1963) geeft een dichtheid van 114.000 m^{-2} voor de Szczecin Lagune in Polen. Normaal gesproken worden dichtheden van gemiddeld $\pm 500 m^{-2}$ bereikt, in banen zelfs tot enkele 1000en m^{-2} (Bij de Vaate, 1990). De mosselen hechten zich aan elkaar en vormen kluitjes van 100-150 individuen. Stromend water vormt een optimaal milieu voor de soort: constante voedseltoevoer, afvoer van afvalstoffen, en een goede zuurstofvoorziening. De aangroei van driehoeksmosselen kan grote problemen veroorzaken bij waterinlaten van energiecentrales e.d., waar optimale omstandigheden worden gecombineerd met voldoende substraat. Voorgaande algemene informatie is ontleend aan literatuur vermeld in Reeders (1989a, b). Een grote populatie driehoeksmosselen kan door filtratie een substantiële invloed uitoefenen op de stofkringloop in een ecosysteem (Stanczykowska et al., 1976). Het is deze filterende werking die kan worden aangewend voor het waterkwaliteitsbeheer.

Waterbeheer met driehoeksmosselen

Het onderzoek naar de mogelijkheden voor het inzetten van de Driehoeksmos-

sel in het waterbeheer kent twee sporen: eutrofiëringsbestrijding en reductie van vrachten microverontreinigingen. Hoewel het in beide gevallen gaat om verwijdering van ongewenste deeltjes, algen resp. gifstoffen, is er een verschil in benadering. Bij de eutrofiëringsbestrijding gaat het om een vorm van actief biologisch beheer en is de benadering ecologisch. De werking berust op ingrijpen in de voedselketen en de mossel neemt een natuurlijke niche in het ecosysteem in. De benadering bij het reduceren van de hoeveelheid microverontreinigingen is daarentegen technisch van aard: de Driehoeksmossel fungeert hierbij puur als filter.

Eutrofiëringsbestrijding

Door eutrofiëring zijn de Nederlandse oppervlaktewateren 'verbrasmend': de visstand wordt gedomineerd door m.n. Brasem (*Abramis brama*). Mede door het verdwijnen van waterplanten is de stand van de Snoek (*Esox lucius*) sterk gereduceerd, en daarmee de predatiedruk op jonge Brasem. Brasem zorgt voor vertroebeling van het water vanwege predatie op groot zoöplankton en door bodemwoeling. Door de afname in zoöplankton wordt algenbloei niet meer gecontroleerd, terwijl ook bekend is dat draadvormige blauwwieren, welke optreden in ondiepe geëutrofiëerde wateren, het filterend vermogen van groot zoöplankton hinderen. Met de teruggang van de waterplanten verdween ook een mogelijk allelopathisch effect op algen (allelopathie is de remmende werking van specifieke, uitgescheiden stoffen op andere organismen). Door maatregelen van visstandsbeheer, waarbij

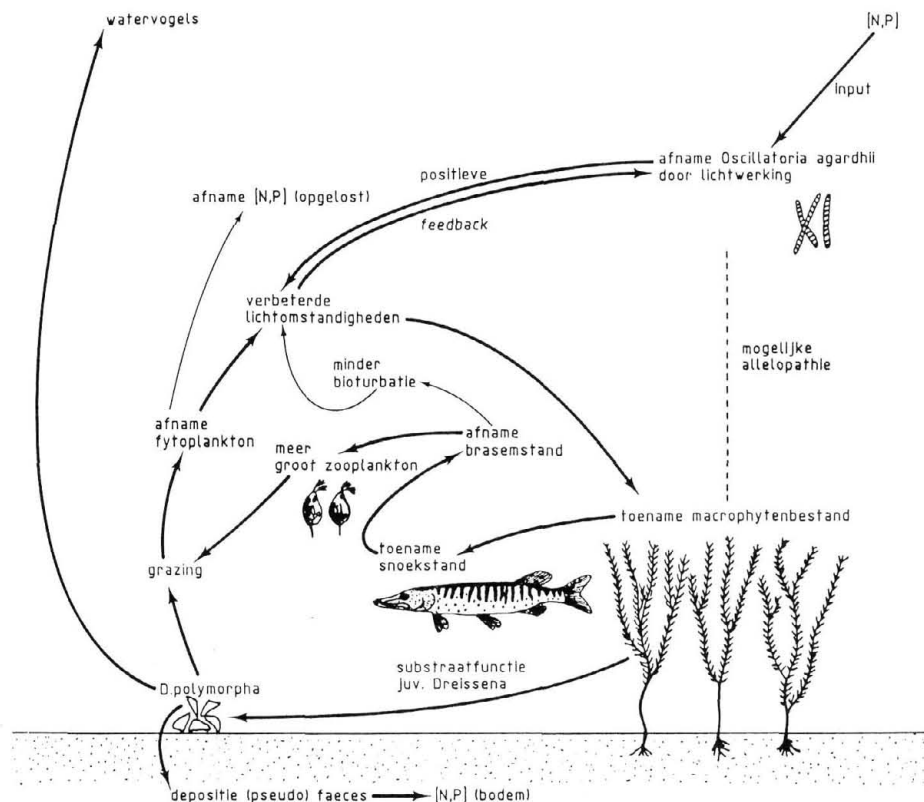
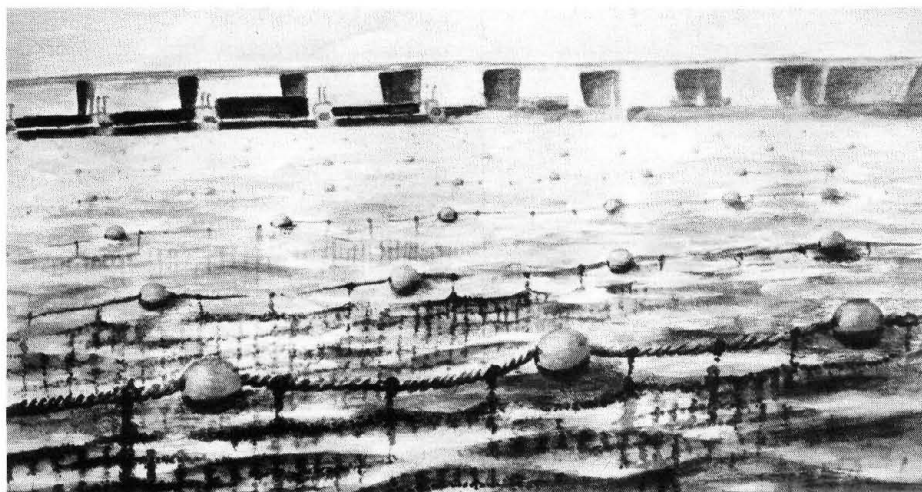


Fig. 2. De relaties tussen de belangrijkste elementen in de biomanipulatie-keten. Geëutrofiëerde zoete wateren zijn troebel door de hoge brasemstand. Door visstandsbeheer (afvissen Brasem en/of stimulering snoekstand) en stimulering van de populatie driehoeksmosselen kan de helderheid toenemen, zodat waterplanten kunnen terugkeren. Deze vormen een belangrijke schakel in het ecosysteem voor Snoek, watervlooien en driehoeksmosselen.

The biomanipulation cascade. Eutrophicated fresh waters are turbid due to the large bream stock. Fishstock management (removing bream and/or stimulating the pike stock) and manipulation of the Dreissena population can improve water clarity, and macrophytes can recover. These are important elements in the ecosystem for Pike, zooplankton and zebra mussels.



Brasem wordt weggevangen en/of roofvis (bv. Snoek) uitgezet, is herstel van een water mogelijk (Hosper et al., 1987). Door afname van Brasem neemt de predatie op zoöplankton af, zodat de graasdruk op fytoplankton weer toeneemt. Figuur 2 toont deze biomanipulatie-keten en de plaats die de Driehoeksmossel daarin kan innemen. De totale filtratiecapaciteit van de populatie driehoeksmosselen is afhankelijk van de populatiegrootte. Deze kan worden gemanipuleerd door het beschikbaar stellen van aanhechtingssubstraat.

Zowel voor driehoeksmosselen, watervlooien als Snoek spelen waterplanten een belangrijke rol. Waterplanten vormen een paaipplaats voor Snoek, terwijl watervlooien en jonge Snoek er een schuilplaats vinden tegen predatie. Voor driehoeksmosselen zijn waterplanten van belang als substraat bij de eerste vestiging van het broed. Bij het helder worden van het water onder invloed van herstelmaatregelen zal regeneratie optreden van het areaal waterplanten. Door filtratie van particulier fosfaat ($P-PO_4$) door de driehoeksmosselen neemt het P-gehalte in het water af, waardoor de kans op een succesvol herstel groter wordt, ook op lange termijn (Benndorf, 1987). Visstandsbeheer en biomanipulatie met de Driehoeksmossel gaan uitstekend samen en versterken elkaar wederzijds. Toepassing van de Driehoeksmossel in het waterbeheer verhoogt bovendien de natuurwaarde van het systeem, daar deze een belangrijke voedselbron vormt voor m.n. meerkorten en duikenden zoals Kuifeend en Tafelend (Van Eerden & Bij de Vaate, 1984; Leuzinger & Schuster, 1970). Dit vormt een meerwaarde voor het gebruik van de Driehoeksmossel.

Biologisch filter

Hangcultures van driehoeksmosselen vormen de grondslag van het biologisch filter. Met driehoeksmosselen gekoloniseerde netten worden hierbij in de te zuiveren waterstroom gehangen. Momenteel wordt door Rijkswaterstaat een dergelijk filter ontwikkeld voor het Volkerak-Zoommeer (Reeders, 1989 c). Figuur 3 geeft een impressie van de mogelijke vorm van dit filter. Het filter zal worden geplaatst in het spuigedeelte van de Volkeraksluizen. Hier is geen scheepvaartverkeer. Verontreinigd water uit het

Fig. 3. Een 'artists impressie' van het beoogde biologisch filter voor het Volkerak-Zoommeer, bestaande uit hangcultures driehoeksmosselen.

An 'artist impression' of the intended biological filter at the inlet of Lake Volkerak-Zoommeer, consisting of suspended cultures of zebra mussels (illustration: E. van Luin/DBW-Riza).

Hollandsch Diep passeert eerst het filter alvorens te worden ingelaten in het Volkerak-Zoommeer (fig. 4). Zwevend stof wordt door de mosselen uit het water gefilterd en in de vorm van pseudofaeces gedeponeerd op de bodem, inclusief de aangehechte verontreinigingen. Hierdoor wordt vervuiling van het nog schone Volkerak-Zoommeer tegengegaan en worden de verontreinigingen op één plaats geconcentreerd. Het zuiverend rendement van het filter verschilt per stof, en is groter naarmate de hechting aan zwevend stof sterker is. Dit geldt bv. voor PCB's en cadmium. Het rendement wordt ook bepaald door het aantal mosselen in het filter ('capaciteit') en hydraulische zaken als opstuwings spelen een rol. Er zijn meerdere toepassingen van een dergelijk biologisch filter denkbaar. Te denken valt bijvoorbeeld aan waterinlaten van drinkwa-

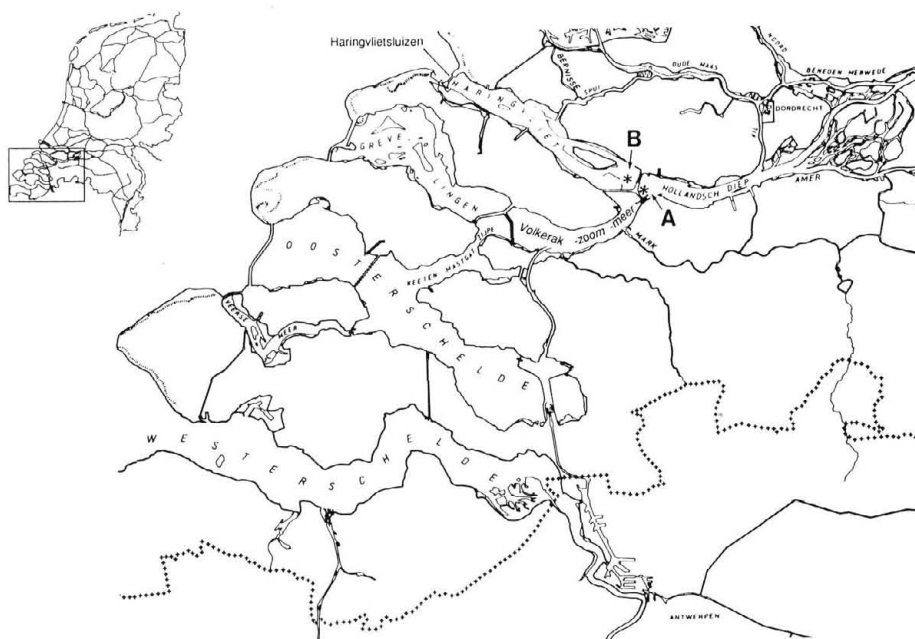


Fig. 4. Een kaart van het Volkerak-Zoommeer en het Haringvliet. De beoogde locatie van het biologisch filter en de plaats waar kolonisatie-experimenten voor hangcultures driehoeksmosselen plaatsvinden zijn aangegeven met een pijl.

A map of the Lake Volkerak-Zoommeer and Haringvliet area. Arrows indicate the

* A Locatie van het beoogde filter

* B Locatie experimenten hangcultures driehoeksmosselen

future location of the intended biological filter and the location where experiments with suspended cultures of zebra mussels are conducted.

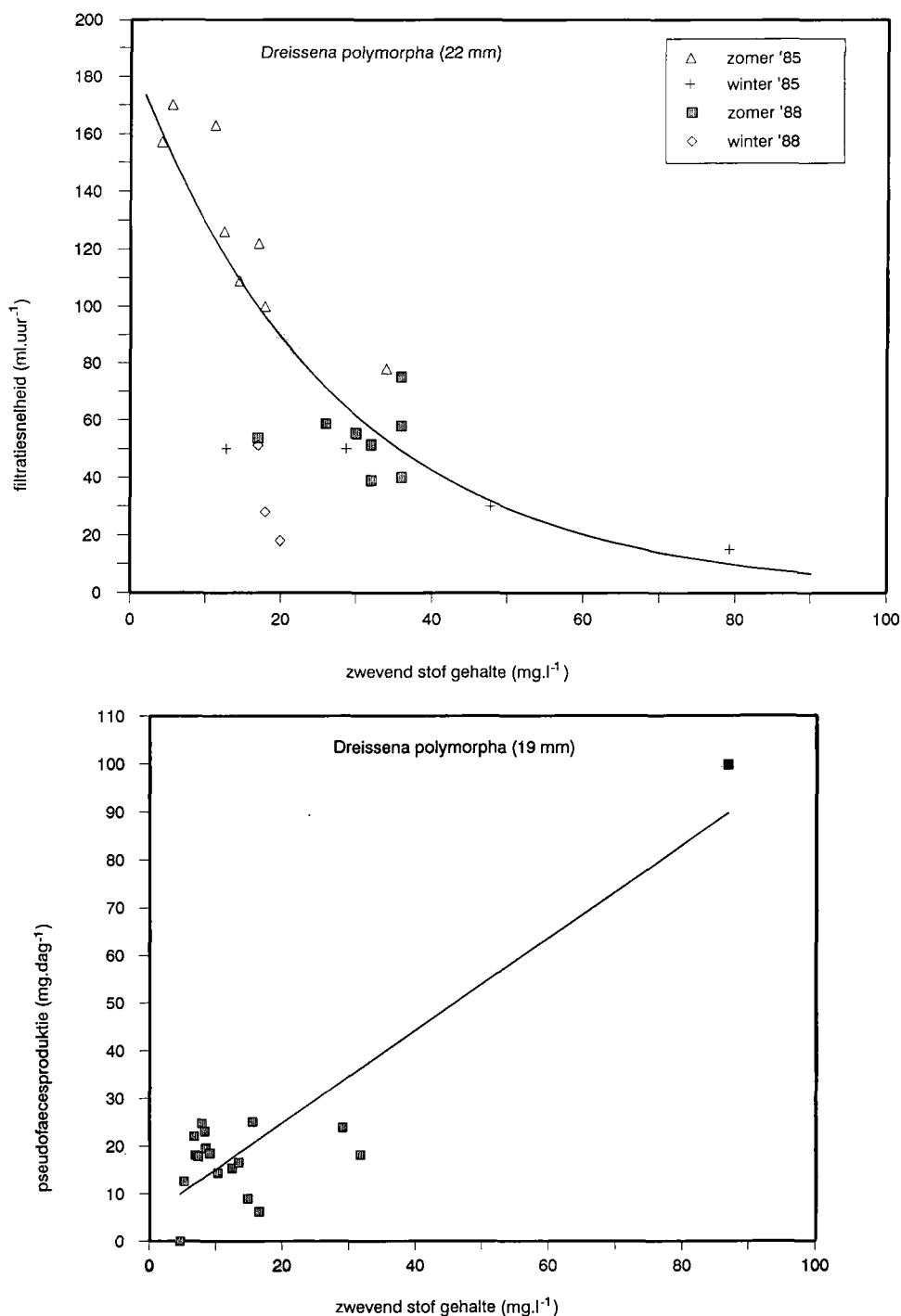


Fig. 5. De relatie tussen het zwevend stof gehalte (ZS) van het water en
a) de filtratiesnelheid (FS): $FS (22 \text{ mm}) = 187,1 e^{-0,037 ZS} (\text{ml.uur}^{-1})$

b) de pseudofaecesproductie (PSF): $PSF (19 \text{ mm}) = 5,54 + 0,97 ZS (\text{mg.dag}^{-1})$
van de Driehoeksmossel. Voor de filtratiesnelheid zijn metingen in 1985 en 1988 samengevoegd; de relatie geldt voor de zomerperiode (temperatuur $> 5^\circ\text{C}$).

The relation of dry matter content (DMC) with

a) filtration rate (FR): $FR (22 \text{ mm}) = 187,1 e^{-0,037 DMC} (\text{ml.h}^{-1})$

b) pseudofaeces production (PSF): $PSF (19 \text{ mm}) = 5,54 + 0,97 \times DMC (\text{mg.d}^{-1})$ of the zebra mussel. Filtration rate measurements in 1985 and 1988 are combined; the relation has been drafted for the summer period (temperatures $> 5^\circ\text{C}$).

terbedrijven, terwijl hangcultures eveneens kunnen worden ingezet voor het bestrijden van eutrofiëring in stagnante wateren, zoals kanalen.

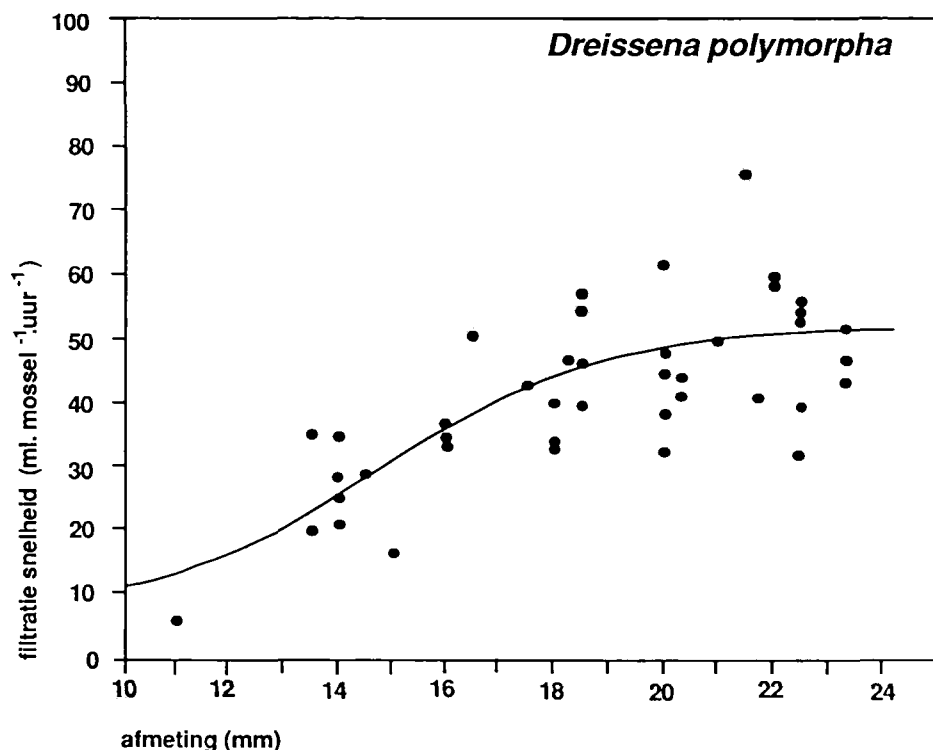
Metingen van het zuiverend vermogen van de Driehoeksmossel

Door de filtratie-activiteit van de Driehoeksmossel neemt de concentratie geleidelijk af. Uit deze afname kan het filterend vermogen worden berekend. Metingen van de filtratiesnelheid in de literatuur variëren van 2-287 ml.uur^{-1} voor mosselen van 22 mm (Reeders & Bij de Vaate, 1990). Reeders et al. (1989) toonden echter aan, dat verstoring van

de mossel onder kunstmatige omstandigheden groot kan zijn waardoor de metingen worden verstoord. De meeste filtratie experimenten vermeld in de literatuur zijn uitgevoerd in het laboratorium met algencultures of grafiëtoplossingen. Dit is een mogelijke oorzaak voor de spreiding in waarden. Metingen van de filtratiesnelheid van de Driehoeksmossel dienen onder zo natuurlijk mogelijke omstandigheden te worden uitgevoerd.

In 1988 zijn metingen verricht aan het filterend vermogen en de pseudofaecesproductie van de Driehoeksmossel. In het kader van de eutrofiëringbestrijding zijn in situ metingen van de filtratiesnelheid uitgevoerd in het Wolderwijd, een hypertroof door blauwalg (m.n. *Oscillatoria agardhii*) gedomineerd Veluwe-randmeer (Reeders & Bij de Vaate, 1990). Voor het biologisch filter staan de eigenschappen en productie van pseudofaeces centraal. De metingen van de pseudofaecesproductie zijn verricht in de Maas (Reeders, 1989 b). Deze stroomt via het Hollandsch Diep in het Volkerak-Zoommeer. Daar de metingen van de filtratiesnelheid en de pseudofaecesproductie hebben plaatsgevonden onder nagenoeg natuurlijke omstandigheden in het voor zuivering in aanmerking komende water, kunnen de resultaten direct worden vertaald naar de praktijk van het waterbeheer.

De hoogte van de filtratiesnelheid en de mate van pseudofaecesproductie worden grotendeels bepaald door het gehalte zwevend stof van het water. Figuur 5 toont de relatie tussen het gehalte zwevend stof en a) filtratiesnelheid (incl. enige metingen in 1985: Reeders et al., 1989) resp. b) pseudofaecesproductie voor driehoeksmosselen van 22 mm resp. 19 mm. Zelfs bij zeer hoge zwevend stof gehaltes (tot 80 mg.l^{-1}) treedt nog geen remming op van de pseudofaecesproductie, terwijl de maximale filtratie-activiteit pas bij zeer lage concentraties wordt bereikt. Dit is van belang voor de toepassing van de Driehoeksmossel in het waterbeheer. Opmerkelijk is de geringe betekenis van temperatuur voor de mate van activiteit van de Driehoeksmossel, een onverwacht verschijnsel, daar een mossel een koudbloedig organisme is. Bij de metingen van de filtratiesnelheid kon voor de range van 5-20°C geen duidelijk effect van temperatuur worden aangetoond, voor de pseudofaecesproductie slechts een ge-



ring effect. Beneden $\pm 5^\circ\text{C}$ treedt een plotselinge daling op van de filtratie-activiteit van de Driehoeksmossel (Reeders & Bij de Vaate, 1990). Dit komt overeen met metingen van de groei (Bij de Vaate, 1990). Dergelijke lage temperaturen komen slechts gedurende enkele maanden per jaar voor, waarbij ook planktongroei nagenoeg is gestopt. Gedurende de winterperiode wordt geen water ingelaten in het Volkerak-Zoommeer (Reeders, 1989 c). Een lager zuiverend vermogen van het filter in deze periode vanwege lagere temperaturen levert derhalve voor de beheerder geen problemen op. Het is opmerkelijk dat het gevonden omslagpunt van $\pm 5^\circ\text{C}$ zeer dicht is gelegen bij de temperatuur waarbij water de hoogste dichtheid heeft, nl. 4°C .

Figuur 6 toont het verband tussen de lengte van de Driehoeksmossel en de filtratiesnelheid. Dit verband is sigmoïd: de grootste mosselen vertonen een relatief lage filtratiesnelheid in vergelijking tot de kleinere. Dit is mogelijk een degeneratief verschijnsel dat samenhangt met ouderdom. De relatie tussen droog lichaamsgewicht (W) en filtratiesnelheid (FS) heeft de vorm $FS = a \cdot W^b$. De exponent b van de relatie is hier 0,608. Dit is iets lager dan de theoretische waarde ($b = 0,667$), indien de activiteit proportioneel zou toenemen met het lichaamsoppervlak, hetgeen hier niet het geval is.

Filtratiesnelheid en pseudofaecesproductie zijn aan elkaar gerelateerde

processen. Figuur 7 toont deze relatie voor een gemiddelde Driehoeksmossel in een populatie zoals gedefinieerd in figuur 8. Bij een hoge concentratie is de filtratiesnelheid laag en de pseudofaecesproductie hoog, en vice versa. Regulatie van de voedselopname bij twee-kleppigen (Bivalven) geschiedt 1) via de filtratiesnelheid, bv. de Kokkel (*Cerastoderma edule*), of 2) via de pseudofaecesproductie, waarbij de filtratiesnelheid constant is en overtollig materiaal

Fig. 6. De relatie tussen afmeting (L) en filtratiesnelheid (FS) van de Driehoeksmossel: $FS = 15,43 / (0,29 + 52,38 e^{-0,37 \times L})$. Uitgedrukt als $FS = aW^b$ voor droog lichaamsgewicht (mg W) luidt dit: $FS = 5,132 W^{0,608}$ ($ml.uur^{-1}$).

The relation between size (L) and filtration rate (FR) of the zebra mussel:

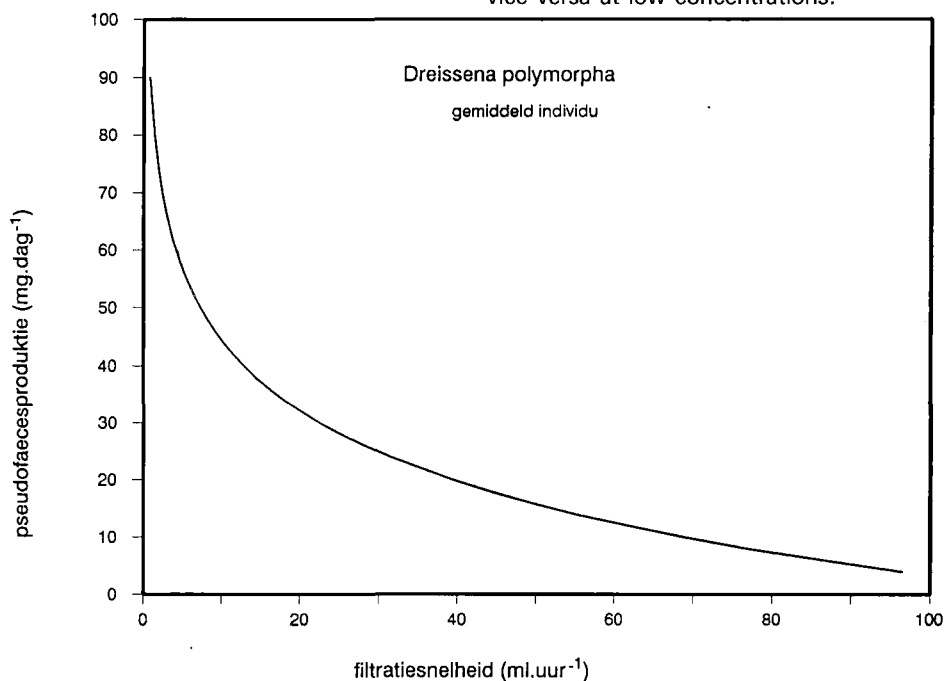
$FR = 15,43 / (0,29 + 52,38 e^{-0,37 \times L})$. Expressed as $FR = aW^b$ for dry body weight (mg W) this relation yields: $FR = 5,132 W^{0,608}$ ($ml.h^{-1}$).

Fig. 7. De relatie tussen de pseudofaecesproductie (PSF , $mg.dag^{-1}$) en de filtratiesnelheid (FS , $ml.uur^{-1}$) van een gemiddelde Driehoeksmossel:

$PSF = 142,86 - 17,92 \times \ln FS$. De opname van voedsel wordt gereguleerd door beide processen. Bij hoge concentraties is de pseudofaecesproductie hoog maar de filtratiesnelheid laag; bij lage concentraties is dit vice versa.

The relation between pseudofaeces production (PSF , $mg.d^{-1}$) and filtration rate (FR , $ml.h^{-1}$) of a 'population-average' zebra mussel:

$PSF = 142,86 - 17,92 \times \ln FR$. Food intake is regulated by both processes: at high concentrations the pseudofaeces production increases but the filtration rate is low, vice versa at low concentrations.



als pseudofaeces wordt uitgestoten, bv. de zeemossel (*Mytilus edulis*) (Foster-Smith, 1975). De Driehoeksmossel vertoont echter beide strategieën, afhankelijk van de concentratie zwevend stof. Bij hoge concentraties is de filtratiesnelheid laag en nagenoeg constant, en vindt regulatie van de voedselopname plaats middels pseudofaecesproductie; bij lage concentraties neemt de filtratiesnelheid toe en wordt er weinig pseudofaeces gevormd. Dit is een opportunistische

eigenschap van de Driehoeksmossel: door deze flexibele strategie is het aanpassingsvermogen aan veranderende omstandigheden groot.

Waterkwaliteitsbeheer met de Driehoeksmossel in de praktijk

Het zuiverend vermogen van een populatie driehoeksmosselen kan worden berekend uit de metingen van filtratiesnelheid en pseudofaecesproductie en de samenstelling en omvang van de populatie (lengte-frequentie verdeling). Figuur 8 toont het filtrerend vermogen en de pseudofaecesproductie capaciteit van een populatie-eenheid van 1000 driehoeksmosselen uit een gedefinieerde populatie, in relatie tot het zwevend stof gehalte. Uit de curves kan het zuiverend vermogen van een bepaalde populatie driehoeksmosselen worden afgeleid door extrapolatie naar de betreffende omvang van de populatie.

Een methode voor eutrofiëringsbestrijding wordt momenteel ontwikkeld in de Veluwe-randmeren. Hoewel de Driehoeksmossel hier in het verleden in groten getale voorkwam (Leentvaar, 1961) is deze nagenoeg uit deze wateren verdwenen. De oorzaak van het verdwijnen van de mossel moet worden gezocht in de beschikbaarheid van substraat. Blauwalgen vormen geen beperking voor de Driehoeksmossel: de filtratiesnelheid en de groei worden er niet door verlaagd. Door ondersneeuwen met detritus, in grote hoeveelheden geproduceerd in deze algenrijke systemen, en omwerking van de bodem onder invloed van wind zijn oude Zuiderzee-schelpen momenteel niet meer beschikbaar voor aanhechting. De schelpen vormen nu op 10-15 cm onder het bodemoppervlak een horizont. In deze laag worden tevens oude driehoeksmossel-schelpjes aangetroffen: de vroegere populatie. Het verdwijnen van de Driehoeksmossel uit de randmeren valt samen met het massale afsterven van de waterplanten eind jaren '60 o.i.v. eutrofiëring. Door het wegvallen van de dempende werking van de waterplanten op de waterbeweging nam de invloed van wind sterk toe, en daarmee de omwerking van de bodem. Het verdwijnen van de Driehoeksmossel uit de randmeren is waarschijnlijk geen geleidelijk proces geweest, maar heeft vrij abrupt plaatsgevonden.

Voor toepassing in het waterbeheer zal rekolonisatie van de Driehoeksmossel in de randmeren moeten

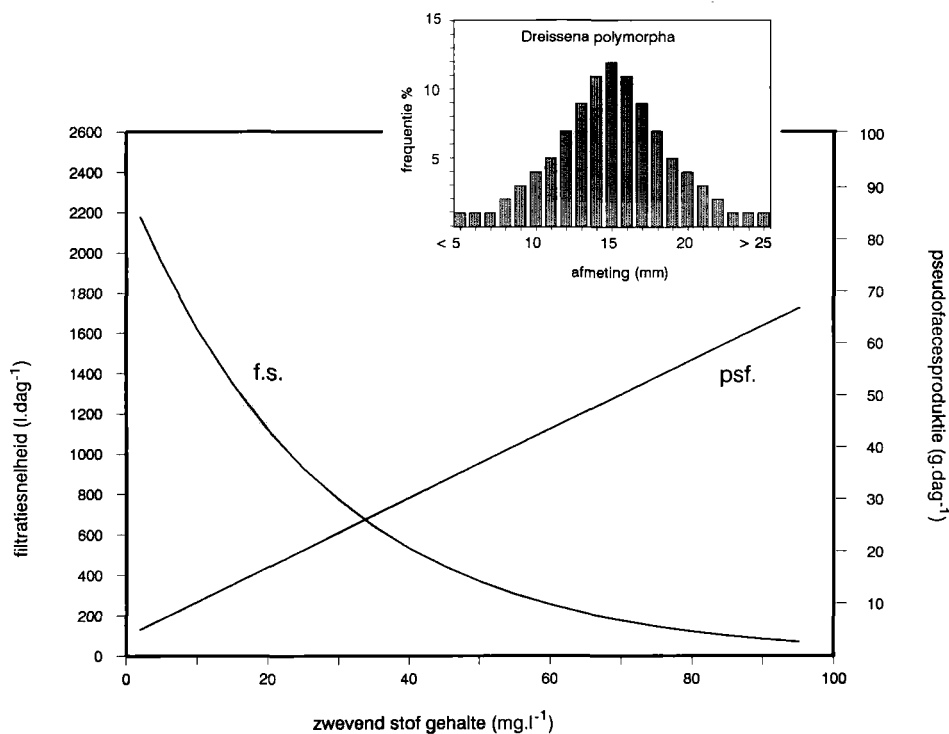


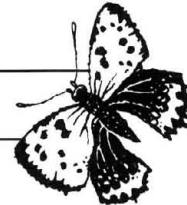
Fig. 8. De totale pseudofaecesproductie en filtratie-capaciteit van een populatie-eenheid van 1000 driehoeksmosselen met de aangegeven lengte-frequentie verdeling in relatie tot het zwevend stof gehalte. Voor de filtratie-capaciteit luidt het verband: $FS(1000) = 2347,1 \cdot e^{-0,037 \times ZS}$ (l.dag⁻¹); voor de pseudofaecesproductie luidt dit: $PSF(1000) = 3,787 + 0,663 \times ZS$ (g.dag⁻¹). Door extrapolatie naar de betreffende omvang kan ditzelfde voor elke willekeurige populatie worden berekend.

The total pseudofaeces production and filtration capacity of a population-cohort of 1000 zebra mussels with indicated length-frequency. For the filtration capacity the relation yields: $FR(1000) = 2347,1 \cdot e^{-0,037 \times ZS}$ (l.d⁻¹); for the pseudofaeces production it is: $PSF(1000) = 3,787 + 0,663 \times ZS$ (g.d⁻¹). With these relations the filtration and pseudofaeces production of any population of known size can be calculated by extrapolation.

plaatsvinden. Dit kan via een 'stepping stone' strategie: het kolonisatieproces vindt stapsgewijze plaats. Allereerst worden enkele kolonisatiekernen aangebracht die als bron fungeren voor broed. Rond deze kernen wordt vlak voor de broedval substraat toegevoegd, bv. schelpen. De populatie kan zich vervolgens vanuit deze kernen uitbreiden door kolonisatie van dit substraat met het geproduceerde broed. Kolonisatie van substraatvelden vindt derhalve sprongsgewijs plaats vanuit de kern. Substraat is de centrale factor, waarmee de omvang van de populatie kan worden gereguleerd. De populatie driehoeksmosselen

benodigd voor reductie van de hoeveelheid fytoplankton is m.b.v. de bovenstaande relaties voor het filtrerend vermogen en uitgaande van een fytoplanktongroei van $\mu = 0,3$ berekend op 630 m⁻² voor het Veluwemeer, 675 m⁻² voor het Wolderwijd en 540 m⁻² voor het Drontermeer (Reeders & Bij de Vaate, 1990).

Hangcultures driehoeksmosselen zijn te creëren door het uithangen van netten boven een mosselbank gedurende de periode van broedval ($\pm$ mei t/m augustus). De netten fungeren als substraat en worden gekoloniseerd door driehoeksmosselbroed. Op deze wijze werden bij experimenten in 1989 in het Haringvliet (fig. 4) maximale dichtheden bereikt van 38000 individuen.m⁻² netoppervlak (fig. 9). De groeicondities voor hangcultures zijn beter dan voor bodemcultures, zodat deze 0⁺-mosselen afmetingen tot 17 mm kunnen bereiken. Dit is groot in vergelijking met stagnante wateren. De populatie driehoeksmosselen benodigd om het ingelaten water naar het Volkerak-Zoommeer (gemiddeld 14 m³.s⁻¹) te filteren bedraagt $\pm$ 1,5 miljard. Dit aantal lijkt aanzienlijk, maar bedraagt slechts 3 à 4% van de bestaande populatie in het Hollandsch Diep/Haringvliet. Dit gebied is sterk vervuild, doordat veel door de Rijn en Maas aangevoerde verontreinigingen hier sedimenteren (Verwaart, 1989). De Driehoeksmossel komt er echter in grote aantallen voor, zodat de ge-



voeligheid van dit bodemorganisme voor verontreiniging niet bijzonder groot kan zijn. Het benodigde netoppervlak is afhankelijk van de populatie-dichtheid in de culture. Bij een verkennende studie is uitgegaan van 24 ha bij 5000 individuen m^{-2} (Reeders, 1989 c). De uiteindelijke dichtheid kan op dit moment nog niet worden voorspeld, daar het onderzoek naar de hangcultures nog gaande is. Voor sterk aan zwevend stof gehechte verontreinigingen, zoals Cd en PCB's, kunnen de hoogste rendementen worden bereikt: $\pm 25-45\%$ van de ingelaten vracht (Reeders, 1989 c).

Conclusies

Waterkwaliteitsbeheer met driehoeksmosselen lijkt vele nieuwe mogelijkheden te bieden en is volop in ontwikkeling. Oorzaken van de milieuproblemen worden echter niet weggelaten, de maatregelen blijven effectgericht. Dit kan alleen door een brongerichte aanpak: een drastische reductie van lozingen en een terugdringen van het gebruik van gifstoffen en nutriënten (meststoffen). Maatregelen m.b.v. driehoeksmosselen kunnen het herstel van de waterkwaliteit echter wel bespoedigen. De toepassing van de Driehoeksmossel is ecologisch inpasbaar. Er wordt geen schade berokkend aan het systeem; er wordt daarentegen iets aan toegevoegd. De natuurwaarde van een gebied neemt toe bij stimulering van de populatie driehoeksmosselen, vanwege het belang van de soort als voedsel voor diverse watervogels en vissen. Waterbeheer en natuurfunctie gaan hier hand in hand; een combinatie die past in de integrale aanpak van waterbeheer.

Literatuur

Benndorf, J., 1987. Food web manipulation without nutrient control: a useful strategy in lake restoration? *Schweizerisches Zeitschrift für Hydrologie* 49/2 : 237-248.

Bij de Vaate, A., 1990. Occurrence and aspects of population dynamics of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), in the Lake IJsselmeer area (The Netherlands). In prep.

Eerden, M. R. van & A. Bij de Vaate, 1984. Natuurwaarden van het IJsselmeergebied. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Flevo-bericht nr. 242.

Foster-Smith, R. L., 1975. The effect of concentration of suspension on the filtration rates and pseudofaecal production for *Mytilus edulis* L., *Cerastoderma edule* (L.) and *Venerupis pullastra* (Montagu). *Journal of experimental marine Biology and Ecology* 17: 1-22.

Franchini, D. A., 1978. Distribuzione verticale di *Dreissena polymorpha* (Pallas) nel lago di Garda. *Bollettino di Zoologia* 45: 257-260.

Hebert, P. D. N., B. W. Muncaster & G. L. Mackie, 1989. Ecological and Genetic studies on *Dreissena polymorpha* (Pallas): a new mollusc in the Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46: 1587-1591.

Hosper, S. H., M.-L. Meijer & E. Jagtman, 1987. Actief biologisch beheer, nieuwe mogelijkheden bij het herstel van meren en plassen. *H₂O* 20 (12): 274-279.

Jørgensen, C. B., T. Kiørboe, F. Möhlenberg & H. U. Riisgård, 1984. Ciliary and mucus-net filter feeding, with special reference to fluid mechanical characteristics. *Marine Ecology Progress Series* 15: 283-292.

Leentvaar, P., 1961. Hydrobiologische waarnemingen in het Veluwemeer. *De Levende Natuur* 64 (4): 273-279.

Leuzinger, H. & S. Schuster, 1970. Auswirkungen der Massenvermehrung der Wandermuschel *Dreissena polymorpha* auf die Wasservögel des Bodensees. *Der ornithologische Beobachter* 67: 269-274.

Lewandowski, K., 1982. The role of early developmental stages in the dynamics of *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia) populations in lakes. I. Occurrence of larvae in the plankton. *Ekologia Polska* 30: 81-109.

Reeders, H. H., 1989 a. De driehoeksmossel en actief biologisch beheer; in situ metingen van de filtratiesnelheid in het Wolderwijd - 1988. *Nota Dienst Binnenwateren/RIZA* nr. 89.030.

Reeders, H. H., 1989 b. De driehoeksmossel *Dreissena polymorpha* als natuurlijk waterfilter; onderzoek naar mogelijkheden voor reductie van de verontreinigde sliblast bij de inlaat van het Volkerak-Zoommeer. *Nota Dienst Binnenwateren / Riza* nr. 89.052.

Reeders, H. H., 1989 c. Een biologisch filter: haalbaar of niet? Evaluatie van de mogelijkheden voor de zuivering van inlaatwater van het Volkerak-Zoommeer met een

driehoeksmossel. *Nota Dienst Binnenwateren / Riza* nr. 89.059.

Reeders, H. H. & A. Bij de Vaate, 1990. Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): a new perspective for water quality management. *Hydrobiologia* 200/201, in press.

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 Biology* 22: 133-141.

Stanczykowska, A., W. Lawacz, J. Mattice & K. Lewandowski, 1976. Bivalves as a factor effecting circulation of matter in Lake Mikolajskie (Poland). *Limnologia* 10 (2): 347-352.

Verwaart, J. W. A., 1989. De verontreinigde waterbodem in het Hollandsch Diep en Haringvliet: problematiek, effecten en ontwikkelingen. *H₂O* 22(2): 59-63.

Wiktor, J., 1963. Research on the ecology of *Dreissena polymorpha* Pall. in the Szczecin Lagoon (Zalew Szczeciński). *Ekologia Polska/Seria A* 11: 275-280.

Summary

The zebra mussel *Dreissena polymorpha* as a biofilter for polluted waters

Two methods for water quality management with zebra mussels are discussed: eutrophication control and reduction of pollutants adsorbed to suspended silt. Zebra mussels are able to filter particles like silt and algae $> 1 \mu m$ from the water. The key factor is substrate, for attachment of the mussels. By manipulating the amount of substrate the population size can be regulated. For restoration measures of eutrophicated lakes natural benthic populations can be managed, e.g. by adding shells to the system. In addition to the effects on water quality the nature value of the lake increases for waterfowl. For reduction of the polluted silt load to Lake Volkerak-Zoommeer (The Netherlands) a biological filter at the inlet is being developed at present, consisting of suspended cultures of zebra mussels on nets.

The filtration activity is not adversely affected by the occurrence of filamentous cyanobacteria or high silt contents of the water. The filtration rate is mainly determined by the concentration of the medium; water temperature, surprisingly, is of little importance. Curves are provided for derivation of the clearing capability of a population in relation to the suspended matter content.

Dankwoord

Graag wil ik A. Bij de Vaate en E. C. L. Martijn bedanken voor het kritisch doorlezen van de tekst.

Ir. H. H. Reeders
Rijkswaterstaat
Dienst Binnenwateren/Riza
Postbus 17, 8200 AA Lelystad

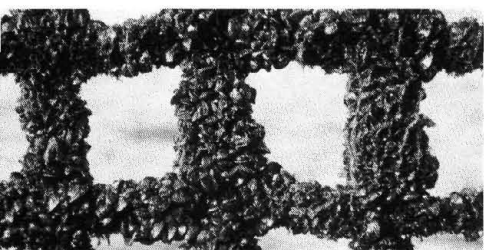


Fig. 9. Een met jonge driehoeksmosselen gekoloniseerd net t.b.v. de ontwikkeling van het biologisch filter voor het Volkerak-Zoommeer.

A net colonized by juvenile zebra mussels, used in the research for the construction of a biological filter at the inlet of Lake Volkerak-Zoommeer.