

TNO-rapport

B&O-DH - R 2005/190

**Waterbodemonverontreiniging en
de haalbaarheid van ecologische streefbeelden.**

Experimenten 2004 en samenvatting.

Datum	15 augustus 2005
Auteurs	D.M.E. Slijkerman R. Kampf E.M. Foekema H.P. van Dokkum
Projectnummer	004.35473
Trefwoorden	Waterbodems Baggerspecie Verontreiniging Streefbeelden Biobeschikbaarheid Toxiciteit Kaderrichtlijn Water
Bestemd voor	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier t.a.v. dhr. R. Kampf Postbus 850 1440 AW Purmerend

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.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Uitgebreide Samenvatting

Deze uitgebreide samenvatting beschrijft naast het onderzoek uit dit rapport (mesocosm experiment 2004) ook een mesocosm experiment uit 2003 (TNO Rapport R 2003/380).

Inleiding

In Hollands Noorderkwartier is de waterbodem op een aantal plaatsen vervuild. Omdat de waterbodemverontreiniging niet op korte termijn volledig gesaneerd kan worden, is de vraag ontstaan of de waterbodemverontreiniging remmend is voor de in het 2^e Waterbeheersplan (WBP-2) beschreven streefbeelden. De kern van de streefbeelden is dat helder, plantenrijk water wordt nagestreefd. De hoofdvragen zijn in een bestuursvoorstel (Kampf, 1999) als volgt beschreven:

- Hoe kunnen we de ecotoxicologische risico's van de vervuilde waterbodems in kaart brengen?
- Wanneer zal de huidige en toekomstige kwaliteit van de waterbodems de gekozen streefbeelden onhaalbaar maken?

De huidige klassenindeling gaat weliswaar uit van (eco)toxicologische risico's, maar is geheel gebaseerd op totaal gehalten. In de toxicologie echter gaat het vooral om welk deel van de verontreinigingen daadwerkelijk beschikbaar is.

Uit een verkennend onderzoek (Klinge *et al.*, 2000) blijkt dat de waterbodemklassen niet veel zeggen over de risico's voor het aquatisch ecosysteem. Uit literatuuronderzoek kwam naar voren dat voor zover de beperkte informatie dit toeliet, geconcludeerd mag worden dat de streefsituatie (helder en plantenrijk water) niet gevoeliger is voor waterbodemverontreinigingen dan de huidige situatie (troebel en algenrijk water). Verder is gebleken dat het mogelijk moet zijn om met behulp van allerlei reguliere beheersmaatregelen (ingrepen in waterkwaliteit, -kwantiteit en het voedselweb) boven een verontreinigde waterbodem een ontwikkeling in de richting van helder en plantenrijk water op gang te brengen. Hoe het voedselweb zich precies zal ontwikkelen en of en zo ja in welke mate het negatief beïnvloed zal worden door de verontreinigingen kon echter niet voorspeld worden.

De bovengestelde vraagstelling is veelomvattend, en wordt door een groot aantal experts ondersteund (STOWA, 2001). Door WUR, VU, TNO en HHNK is daaropvolgend een onderzoeksprogramma ingediend bij de technologiestichting STW (Van Straalen *et al.*, 2003; Kampf, 2002), wat echter inmiddels door STW is afgewezen. Kenmerk van dit onderzoeksprogramma was om de onderzoeksvragen te beantwoorden door middel van onderzoek in modelecosystemen (mesocosms).

Doel en opzet van het onderzoek

Ter voorbereiding op het genoemde STW-onderzoeksprogramma zijn door TNO in opdracht van HHNK twee pilotstudies uitgevoerd waarbij het voornaamste doel methodiekontwikkeling voor het meerjarig onderzoek was, teneinde voorstellen te doen voor optimalisatie van de experimentele opzet. De methodiekontwikkeling richtte zich daarbij op het gebruik van model ecosystemen (mesocosms). Er is één mesocosm studie uitgevoerd in 2003 (Slijkerman et al., 2004). Dit experiment is in 2004, na een aantal verbeteringen in de experimentele opzet, voortgezet (het onderhavige rapport).

Bij aanvang van de pilotstudies zijn in 2003, drie sedimenten geselecteerd die verschillen in verontreinigingniveau: schoon (klasse 0), matig verontreinigd (klasse 2) en sterk verontreinigd sediment (klasse 4). Een zestal mesocosms is ingericht met de sedimenten, in duplo, en de invloed van de sedimenten op de ontwikkeling van het aquatische ecosysteem werd in 2003 gedurende 18 weken gevolgd aan de hand van fysisch/chemische en biologische parameters.

Resultaten experiment in 2003

Onafhankelijk van het sedimenttype, heeft zich in 2003 in alle mesocosms een helder door macrofyten gedomineerd ecosysteem ontwikkeld. Er waren echter ook enkele verschillen. In mesocosms met sterk verontreinigd sediment verliep de decompositie van bladmateriaal 25% minder snel dan in mesocosms met schoon of matig verontreinigd sediment. Ook was de slakkenpopulatie sterk gereduceerd in mesocosms met sterk verontreinigd sediment. De vraag is of dit direct vertaald kan worden naar de veldsituatie, waar remigratie van slakken en andere macrofauna soorten kan plaatsvinden, in tegenstelling tot in de mesocosms. De niet ontwikkelde slakkenpopulatie zou zich in de mesocosmsystemen dus minder snel kunnen herstellen dan in de veldsituatie, waardoor daaraan gerelateerde indirecte effecten eerder op kunnen treden in mesocosms, vergeleken met de veldsituatie (bv flabontwikkeling door het ontbreken van graas).

Tijdens het experiment viel ook op dat de pH-waarde in de mesocosms hoog was (tot > 10), ten gevolge van primaire productie. De systemen zijn klein ten opzichte van natuurlijke systemen, en het wateroppervlak ligt ongeveer 15 cm onder de mesocosm rand. De rand van de mesocosm beschermt het wateroppervlak voor de inwerking van de wind en de uitwisseling van gassen met de atmosfeer kan hierdoor beperkt zijn. Dit mogelijke artefact van de mesocosm kan worden verholpen door waterbeweging in het systeem aan te brengen. Deze aanpassing is voorgesteld voor het vervolgonderzoek.

Aanpassingen aan de experimentele opzet

Samengevat zijn de volgende kantekeningen bij het gebruik van mesocosms voor het beoordelen van de effecten van waterbodenvontreiniging op het aquatisch ecosysteem de volgende discussiepunten naar voren gekomen:

- Specifieke soorten kunnen niet rekoloniseren door ontbreken van verbinding met “open water”. Deze soorten kunnen echter bepalend zijn voor het nagestreefde ecosysteem (slakken zijn nodig voor graas op draadalg, macrofauna als gammariden is nodig voor omzetting van organisch materiaal). Het (opnieuw) introduceren van macrofauna kan dit artefact compenseren.
- pH verhoging door ontbreken windwerking resulteert in een afwijking van de pH ten opzichte van de veldsituatie. pH reducerende maatregelen zijn wellicht nodig in mesocosmsystemen om de effecten van windwerking te compenseren
- Indien actieve rekolonisatie (door opnieuw mesocosms te enten met ontbrekende soorten) niet resulteert in de duurzaamheid van het streefbeeld, is wellicht manipulatie van het ecosysteem nodig om duurzaamheid van het streefbeeld te handhaven. (bv. handmatig verwijderen van draadalg/flab).

In de pilotstudie van 2004 zijn de bovengenoemde discussiepunten doorgevoerd in de onderzoeksopzet om het gebruik van mesocosms te optimaliseren.

- Met betrekking tot de ontbrekende rekolonisatie zijn opnieuw slakken geënt in de mesocosms waarin ze afwezig waren (mesocosms met klasse 4 sediment).
- In alle mesocosms zijn pompen aangebracht met als doel de waterbeweging aan het wateroppervlak te vergoten, en gasuitwisseling tussen water en atmosfeer te bevorderen.
- Draadalg en flab zal direct worden verwijderd indien deze tot ontwikkeling komt, teneinde nutriëntenallocatie te voorkomen en het ingestelde streefbeeld te beschermen.

Naast bovengenoemde aanpassingen is het actieve maaibeheer gesimuleerd door de macrofyten met 50% te reduceren. De effecten van bovengenoemde aanpassingen aan het systeem zijn gedurende 16 weken gevolgd aan de hand van fysisch-chemische en biologische parameters.

Resultaten experiment in 2004

In 2004 is in bijna alle mesocosms opnieuw helder, plantenrijk water ontstaan, onafhankelijk van het type sediment. In één mesocosm met sterk verontreinigd sediment (klasse 4) hebben de macrofyten zich niet ontwikkeld. Flab en draadalg kwamen hier herhaaldelijk op, en zijn steeds direct verwijderd. Desondanks heeft zich een algengedomineerd systeem ontwikkeld. Het gereduceerd functioneren, zoals waargenomen in een verlaagde decompositiesnelheid in 2003, is in 2004 niet waargenomen. De verschillen in de macrofaunagemeenschap waren gering. De slakkenpopulatie in mesocosms met sterk verontreinigd sediment (klasse 4) is in 2004 het enige significante structuurverschil: net als in 2003 zijn de slakken hier verdwenen, ondanks de herintroductie. Of de onderliggende oorzaak van toxicologische of ecologische aard is, is niet onderzocht. De afwezigheid van slakken heeft niet geresulteerd in de ontwikkeling van macroalgen.

Effect van verbeterde watercirculatie

Een horizontale waterbeweging heeft niet geresulteerd in een pH verlaging. Na deze observatie is de waterbeweging in verticale positie gebracht. Ook deze waterbeweging heeft geen effect gehad op de pH. Als gevolg van primaire productie zijn in 2004 opnieuw pH waarden waargenomen van 10.

De mesocosms blijken door hun vorm en grootte representatief te zijn voor vijvers of ondiepe plassen, die ook volledig door macrofyten gedomineerd kunnen worden. Aanvullende veldmetingen wijzen uit dat in deze systemen pH-waarden van 9-10 geen uitzondering zijn. In de huidige, statische opzet zijn de mesocosms niet representatief voor de vaarten en kanalen waar de onderzochte sedimenten uit afkomstig zijn.

Effect van herintroductie van slakken

De rekolonisatie van slakken in mesocosms met klasse 4 sediment heeft niet geleid tot de ontwikkeling van een slakkenpopulatie zoals in de andere mesocosms is waargenomen. De afwezigheid van slakken heeft echter niet geleid tot de ontwikkeling van draadalg of flab. De oorzaak van de afwezigheid van slakken is niet onderzocht.

Effect van reductie van de macrofyten

Het verwijderen van een deel van de macrofyten voorafgaand aan het experiment van 2004 (gesimuleerde stress) heeft er niet toe geleid dat het heldere, macrofyten-gedomineerde ecosysteem in de mesocosms werd aangetast. In slechts één van de zes mesocosms ontstond een algen-gedomineerd systeem.

Conclusies

De volgende conclusies kunnen uit de twee experimenten worden getrokken:

- Een ecosysteem met helder, plantenrijk water is mogelijk boven een verontreinigde waterbodem, zowel bij klasse 2 als bij klasse 4 sediment.
- De belangrijkste waargenomen effecten van waterbodemverontreiniging op het aquatisch ecosysteem zijn het ontbreken van slakken (zowel in 2003 als in 2004) en een gereduceerde decompositiesnelheid (in 2003, niet bevestigd in 2004). De oorzaak (stof, mechanisme) is niet bekend.
- De mesocosms blijken als onderzoeksinstrument de omstandigheden in een vijver of ondiepe plas na te bootsen. Kenmerken hiervan zijn beperkte invloed van de wind, beperkte gasuitwisseling met de atmosfeer, relatief grote invloed van de macrofytengemeenschap, sterke primaire productie gekoppeld aan hoge pH.
- Omdat de sedimenten uit kanalen afkomstig zijn, simuleren de mesocosms een situatie waarin door inrichtingsmaatregelen de windwerking en resuspensie van sediment zijn uitgeschakeld. Onder deze omstandigheden wordt het water helder, en kan zich een macrofytengemeenschap ontwikkelen.
- Het heldere, door macrofyten gedomineerde ecosysteem in de mesocosms blijkt robuust te zijn: Met slechts één uitzondering wordt deze toestand in alle

mesocosms, in 2003 én 2004, bereikt. Het reduceren van de macrofyten-biomassa voorafgaand aan het experiment van 2004 heeft hier ook geen effect op gehad.

- Er zijn dan ook geen aparte ingrepen nodig om de heldere, door macrofyten gedomineerde toestand van het ecosysteem in de mesocosms in stand te houden.

Ten aanzien van het toekomstig gebruik van mesocosms als onderzoeksinstrument voor vergelijkbare vraagstellingen, kan het volgende geconcludeerd worden:

- Voor het simuleren van andere systemen dan vijvers of ondiepe plassen, zijn andere mesocosms nodig. Gedacht kan worden aan grootschaliger (gegraven) experimentele systemen.
- De resultaten suggereren dat sedimentatie en resuspensie van zwevend stof belangrijker zijn voor het bereiken van een helder, door waterplanten gedomineerd ecosysteem dan toxische stoffen in de waterbodem. Daarom moeten factoren die van invloed zijn op sedimentatie/ resuspensie, zoals windwerking, bodemwoelende vis, en stroming, ook in de experimentele systemen gesimuleerd kunnen worden. Alleen dan kan de relatieve invloed van inrichtingsmaatregelen en sanering van de waterbodem op het bereiken van het streefbeeld goed worden onderzocht.
- Het is wenselijk om in de toekomst ook de oorzaak van waargenomen effecten (zoals het verdwijnen van slakken) te onderzoeken, bijvoorbeeld door aanvullend Toxicity Identification and Evaluation (TIE) onderzoek.
- Tenslotte is het wenselijk om rekolonisatie van de mesocosms mogelijk te maken, zodat eventuele tijdelijke effecten van langdurige effecten kunnen worden onderscheiden.

Inhoud

	pagina
Uitgebreide Samenvatting	2
Voorwoord.....	8
1. Inleiding	9
1.1 Aanpassingen 2004.....	9
1.2 Monitoring en beheer in 2004	10
2. Resultaten.....	12
2.1 Fysisch/ chemische parameters	12
2.2 Biologische parameters.....	16
3. Discussie en conclusie	24
3.1 Effecten stimuleren gasuitwisseling	24
3.2 Reductie macrofyten.....	25
3.3 Introductie slakken	25
3.4 Stabiliteit van het ecosysteem.....	25
4. Literatuurlijst.....	27
5. Verantwoording	28

Voorwoord

Sinds 2000 wordt door HHNK, TNO en anderen gewerkt aan de voorbereiding van het onderzoeksprogramma “Waterbodems en streefbeelden” (Klinge *et al.*, 2000; Kampf, 1999; Kampf, 2000). Dit heeft geresulteerd in een subsidieaanvraag bij de Technologiestichting STW, onder de naam “Waterbodemverontreiniging en de haalbaarheid van ecologische streefbeelden” (Van Straalen, 2003). In 2003 is door TNO in opdracht van HHNK een pilot-project uitgevoerd om de in dit onderzoek voorgestelde onderzoeksmethoden te testen. Het doel van het onderzoek in 2003 was om te onderzoeken of mesocosms geschikte testsystemen zijn, en om te onderzoeken of in mesocosms een stabiel ecosysteem met de kenmerken van “helder plantenrijk water” na te bootsen is (Kampf, 1999). De resultaten van dit onderzoek zijn beschreven in Slijkerman *et al.*, 2004.

Omdat eind 2003 nog geen uitsluitsel van STW was verkregen, heeft HHNK aan TNO gevraagd om het pilot-onderzoek in 2004 voort te zetten. Het doel van het onderzoek in 2004 was om te onderzoeken hoe mesocosms dusdanig aangepast of gemanipuleerd kunnen worden, dat ze de veldsituatie zoveel mogelijk nabootsen.

In deze rapportage wordt een beknopt overzicht gegeven van de resultaten. Met de opdrachtgever is afgesproken om deze rapportage de vorm van een addendum op de rapportage van 2003 te geven, met daarbij een interpretatie van de bevindingen. Tevens bevat het rapport een uitgebreide samenvatting, waarin zowel het onderzoek van 2003 als dat van 2004 wordt beschreven. In de samenvatting wordt de bruikbaarheid van mesocosms in onderzoek naar waterbodemkwaliteit en het behalen van streefbeelden bediscussieerd.

In het kader van de samenwerkingsverbanden tussen HHNK, TNO en de VU zijn de resultaten van proeven naar de afbraak van bladpakketjes gebruikt voor een wetenschappelijke publicatie (Slijkerman *et al.*, 2005).

Inmiddels is van STW een afwijzing ontvangen, waardoor het onderzoeksprogramma “Waterbodems en streefbeelden” naar verwachting niet verder zal worden uitgevoerd.

1. Inleiding

Voor een uitgebreide beschrijving van de experimentele achtergronden en opzet wordt verwezen naar de rapportage over 2003 (Slijkerman, 2004). Hier worden alleen die aspecten aangehaald die specifiek van belang waren voor het onderzoek in 2004.

De onderzoeksopzet bestond uit zes mesocosms (polyester bakken met een diameter van 2 meter, een diepte van 1,5 meter en een volume van 4,5 m³) die zijn voorzien van 15 cm sediment. In 2003 zijn drie verschillende sedimenten geselecteerd op basis van verontreinigingskarakteristieken, namelijk:

- schoon sediment S (klasse 0),
- matig verontreinigd sediment M (klasse 2) en
- verontreinigd sediment V (klasse 4).

De sedimenten zijn in duplo in de mesocosms aangebracht. Vervolgens zijn de mesocosms gevuld met water afkomstig uit het Markermeer, waardoor direct een natuurlijke planktongemeenschap is geënt. Daarnaast is macrofauna (o.a. *Gammarus tigrinus*, *Asellus aquaticus*, *Lymnaea stagnalis*, *Physa sp.*) uitgezet in de mesocosms, en de macrofyt *Elodea* (waterpest) is in elke mesocosm in twee bosjes afgezonken.

1.1 Aanpassingen 2004

In 2004 is vrijwel dezelfde proefopzet gehanteerd als in 2003, met enkele afwijkingen. In 2003 was gebleken dat, zeker in het begin van het experiment geen stabiel ecosysteem aanwezig was, maar dat het ecosysteem in alle bakken nog in ontwikkeling was. Dit werd gekenmerkt door een grote primaire productie. In een nader overleg op 30-1-2004 is hierover uitgebreid overleg geweest tussen HHNK en TNO. Besloten werd dat door ingrijpen in het ecosysteem (beheren) getracht zal worden de ontwikkelingen zo veel mogelijk te stabiliseren. Gedacht kan worden aan het verwijderen van kroos en flab, het verwijderen van overdadige plantengroei, et cetera. Eén van de problemen in 2003 was de zeer hoge pH waarden (>10) die gedurende een langere periode werden waargenomen, waarschijnlijk als gevolg van de hoge primaire productie in de mesocosms. De wind heeft weinig invloed op het wateroppervlak van de mesocosms wat een geringe gasuitwisseling tussen het mesocosmsysteem en de atmosfeer tot gevolg heeft. De combinatie van hoge primaire productie en de geringe waterbeweging in het systeem hebben kunnen leiden tot de hoge pH waarden. Daarom werd om de gasuitwisseling te vergroten in alle mesocosms een pompsysteem ingezet om meer waterbeweging aan het oppervlak te verkrijgen.

In mesocosms met sediment V is de slakkenpopulatie in 2003 niet tot ontwikkeling gekomen. Slakken vervullen een belangrijke ecologische rol door te grazen op bentische algen, en kunnen de ontwikkeling van flab controleren. Bij aanvang van de experimenten in 2004 zijn daarom opnieuw slakken aan de mesocosms toegevoegd. Daartoe zijn *Lymnaea* (10 individuen) en *Physa* (5) uitgezet in beide mesocosms met sediment V.

Om de effecten van de systeemaanpassingen op het zich ontwikkelende ecosysteem en streefbeeld te bepalen zijn naast fysisch-chemische parameters enkele biologische parameters gemonitord, waarbij de macrofyten in 2004 kwantitatief zijn beoordeeld.

1.2 Monitoring en beheer in 2004

Het onderzoek heeft plaatsgevonden tussen week 9 en week 27 van 2004. In deze periode is de fysisch-chemische waterkwaliteit wekelijks bepaald. Daarnaast zijn er vijf uitgebreide bemonsteringsrondes uitgevoerd, te weten op 1 maart 2004, 29 maart 2004, 26 april 2004, 25 mei 2004 en 22 juni 2004. Voor de fysisch-chemische metingen wordt verwezen naar de rapportage over 2003. Hieronder is beschreven welke metingen tijdens de uitgebreide bemonsteringsrondes zijn uitgevoerd.

Om een schatting te maken van de hoeveelheid macrofyten per mesocosm is per tijdstip de bedekkinggraad en de hoogte bepaald. Hieruit is het “volume macrofyt” per mesocosm berekend. Slakken zijn vier keer bemonsterd door de tot op een diepte van 1,25 m van de wand te schrapen. De slakken zijn in een onderliggend net verzameld, vervolgens op soort gedetermineerd en geteld. Per mesocosm zijn per bemonstering vier “schrapen” uitgevoerd (totaal wandoppervlak 0,75 m²). Het aantal slakken is uitgedrukt in aantal per m².

De decompositiesnelheid is twee keer bepaald, eenmaal over een periode van 28 dagen, in mei, en eenmaal over een periode van bijna 4 maanden. De decompositie van bladmateriaal is bepaald met de zogenaamde bladpakketten methode. Elzenblad (precies ingewogen op ongeveer 1 gram) wordt in zakjes met een maaswijdte van 0,5 x 0,5 cm afgezonken in de mesocosm en een gedefinieerde periode aan de lokale omstandigheden blootgesteld. In deze periode kan de aanwezige macrofauna en de microbiële gemeenschap bijdragen aan de degradatie van het bladmateriaal. Het blad wordt na het uithalen gedroogd en teruggewogen. De gewichtsafname van het blad is een maat voor het functioneren van het ecosysteem.

Als beheersmaatregel is tijdens de monitoringsperiode herhaaldelijk beginnende groei van flab verwijderd. Zodoende heeft flab zich niet verder kunnen ontwikkelen en heeft het de nutriëntenhuishouding tussen algen en macrofyten niet kunnen beïnvloeden.

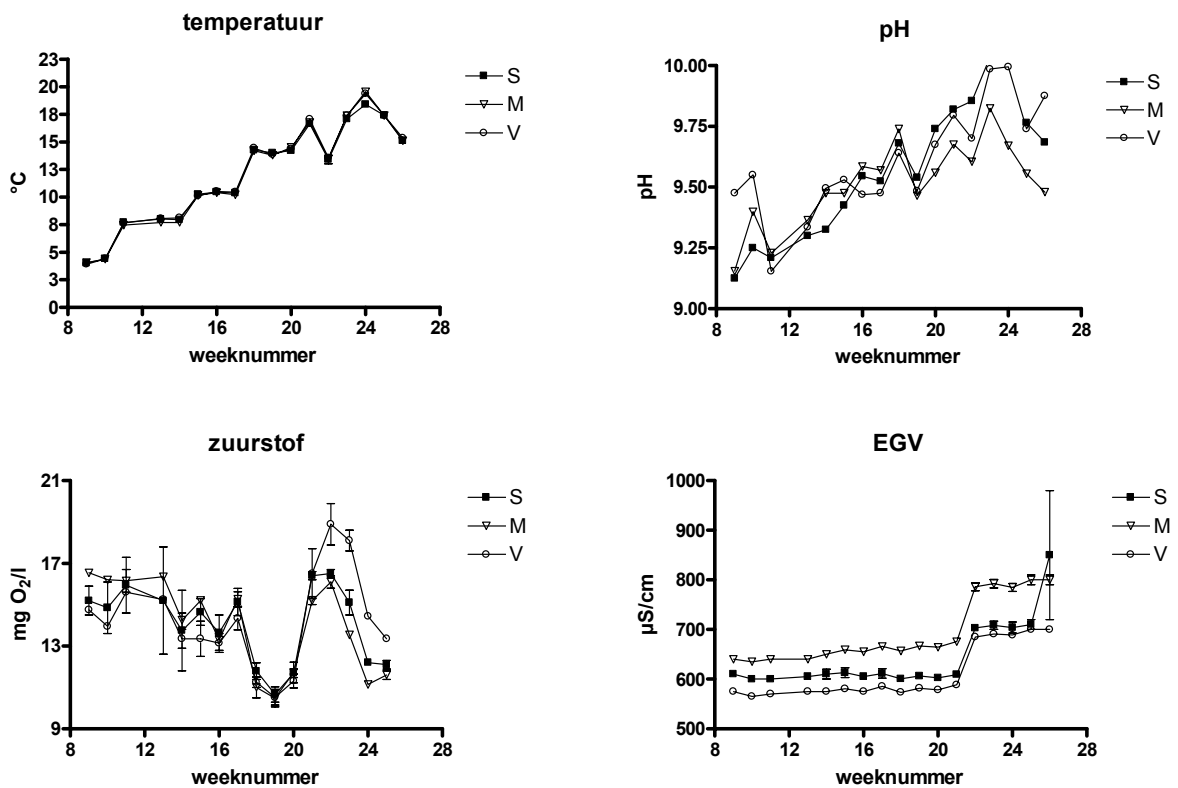
2. Resultaten

2.1 Fysisch/ chemische parameters

In Figuur 1 zijn de gemiddelde temperatuur (°C), pH, opgelost zuurstof (mg/l) en het elektrisch geleidend vermogen (EGV, in $\mu\text{S}/\text{cm}$) weergegeven voor elk sediment ($n=2$ mesocosms), vanaf week 9 (maart) tot en met week 26 (juni). De temperatuur liep in de tijd op van 4 °C tot maximaal 20 °C in week 24. Er zijn geen temperatuursverschillen tussen de verschillende mesocosms waargenomen.

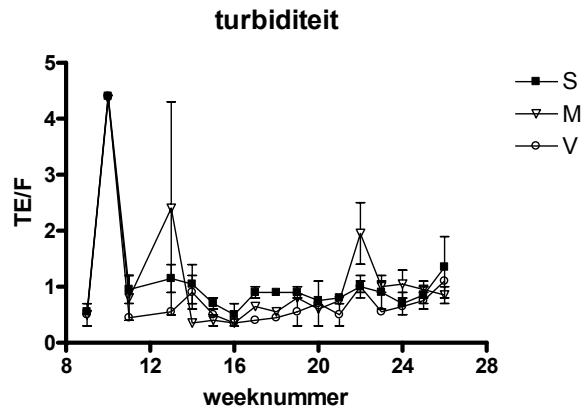
De pH liep in de onderzoeksperiode geleidelijk op. De pH was bij aanvang van de monitoringsperiode hoog, ongeveer 9-9,5. Een week voor monitoring zijn pompjes in de mesocosms geplaatst om het water te circuleren en de waterbeweging en gasuitwisseling te bevorderen. Dit zou ook moeten resulteren in een daling van de pH. De waterbeweging was van week 8 tot week 14 horizontaal en de pH werd hierdoor niet omlaag gebracht. De uitvoer van de pompjes is in week 14 in verticale richting geplaatst. Ook dit heeft geen invloed gehad op de pH. Als gevolg van primaire productie steeg de pH verder tot een pH waarde van 10. In mesocosms met sediment M is vanaf week 19 de pH lager dan in de mesocosms met sediment S en V.

De zuurstofverzadiging bleef gedurende de monitoringsperiode boven de 100%. Het zuurstofgehalte is tot week 21 vergelijkbaar in alle mesocosms, variërend tussen 14 en 16 mg/l. Tussen week 16 en 20 zakt het gemiddelde zuurstofgehalte in de mesocosms; waarschijnlijk een gevolg van een beperkt aantal uren zonneshijn (KNMI gegevens). Na week 22 is het zuurstofgehalte in mesocosms met sediment V significant hoger dan in de overige mesocosms.



Figuur 1 Fysisch chemische parameters: gemiddelde en standaard deviatie (n= 2 mesocosms) van temperatuur, pH, opgelost zuurstof en elektrisch geleidend vermogen (EGV) uitgezet tegen de tijd. S = 'schoon' sediment (klasse 0), M = 'Matig vies' sediment (klasse 2) en V = 'Vies' sediment (klasse 4).

In Figuur 2 is de turbiditeit weergegeven. Turbiditeit is een maat voor de lichttransmissie. Hoe hoger de parameter Te/F hoe troebeler het water. Tijdens de monitoringsperiode zijn tussen de mesocosms geen verschillen in doorzicht waargenomen. In alle mesocosms was de turbiditeit laag, rondom 1 Te/F. Dit duidt op helder water.

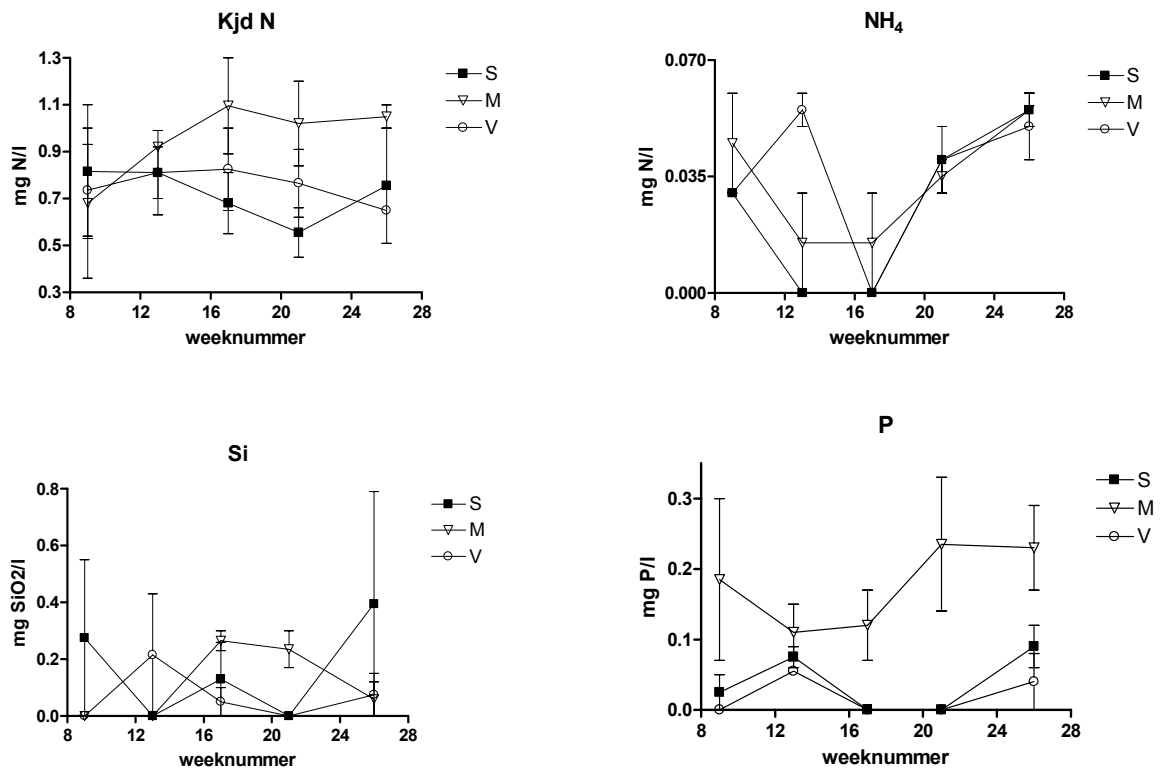


Figuur 2 Turbiditeit uitgezet tegen de tijd in mesocosms met verschillende sedimenten. S = 'schoon' sediment (klasse 0), M = 'Matig vies' sediment (klasse 2) en V = 'Vies' sediment (klasse 4).

In Figuur 3 zijn de gemiddelde concentraties van nitraat, ammonium, silicaat en totaal fosfaat in mesocosms als functie van de tijd weergegeven. De resultaten van de nitriet- en nitraatbepaling zijn niet weergegeven omdat de stoffen niet zijn aangetroffen boven de detectielimiet. Dit, in combinatie met de lage concentratie ammonium, geeft aan dat de systemen stikstof gelimiteerd zijn. Het totaal stikstof (som kjeldahl-, nitriet-, nitraat-, en ammoniumstikstof) bestaat voornamelijk uit organisch gebonden stikstof.

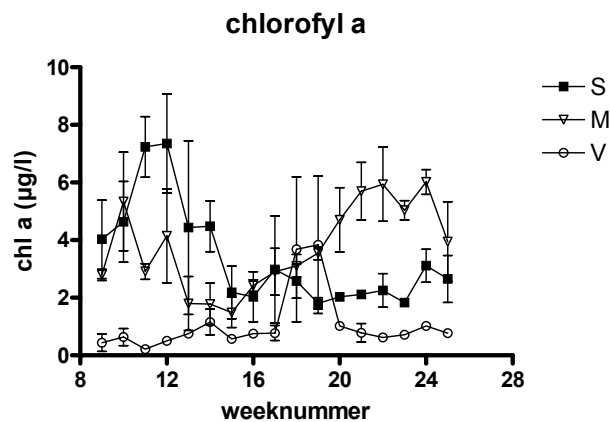
Mesocosms met sediment M hebben gemiddeld een hoger kjeldahl stikstof en totaal fosfaat gehalte dan de overige mesocosms. Tussen mesocosms met sedimenten S en V zijn geen verschillen in nutriëntenstatus waargenomen. Ortho-fosfaat is éénmalig geanalyseerd in week 9. De concentraties waren voor de mesocosms S, M en V respectievelijk 0,035; 0,9 en 0,015 mg P/l

De concentratie silicaat is gedurende de monitoringsperiode erg laag, of beneden de detectielimiet. De concentratie silicaat is tussen week 16 en week 24 significant hoger in mesocosms met sediment M dan in de overige mesocosms. Tussen mesocosms met sediment S en V zijn geen significant verschillen in silicaatconcentratie waarneembaar.



Figuur 3 Concentratie kjeldahl stikstof, ammonium stikstof, silicaat en totaal fosfaat als functie van de tijd in mesocosms met verschillende sedimenten. S = 'schoon' sediment (klasse 0), M = 'Matig vies' sediment (klasse 2) en V = 'Vies' sediment (klasse 4).

Het chlorofylgehalte blijft over de hele monitoringsperiode laag (Figuur 4). In mesocosms met sediment V is het gemiddelde chlorofylgehalte lager dan in de overige mesocosms, met uitzondering van week 17 tot 20. In mesocosms met sediment M is het chlorofylgehalte vanaf week 19 significant hoger dan in de overige mesocosms. Het absolute verschil is echter niet zo groot dat het verschil ecologische significantie heeft.



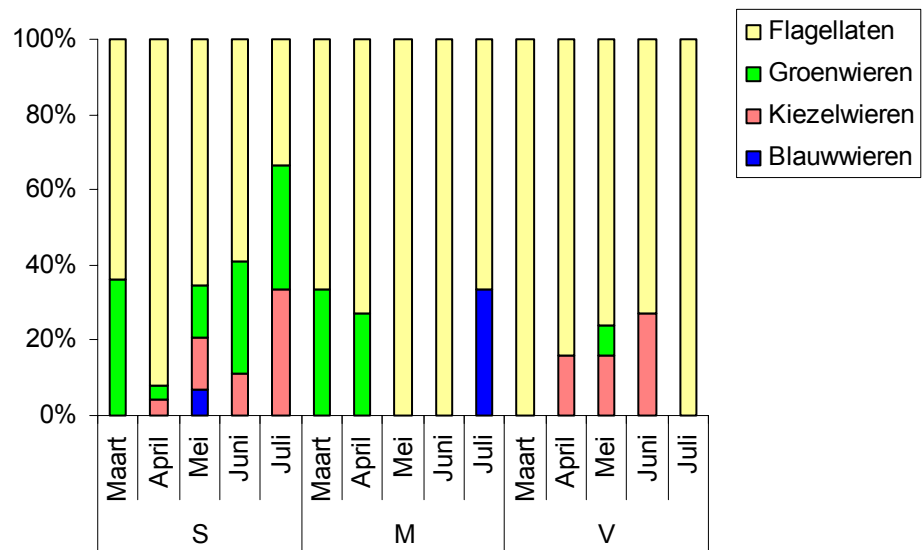
Figuur 4 Gemiddelde concentratie (met SD) chlorofyl a ($\mu\text{g/l}$) in de tijd in mesocosms met verschillende sedimenten. S = 'schoon' sediment (klasse 0), M = 'Matig vies' sediment (klasse 2) en V = 'Vies' sediment (klasse 4).

2.2 Biologische parameters

Plankton

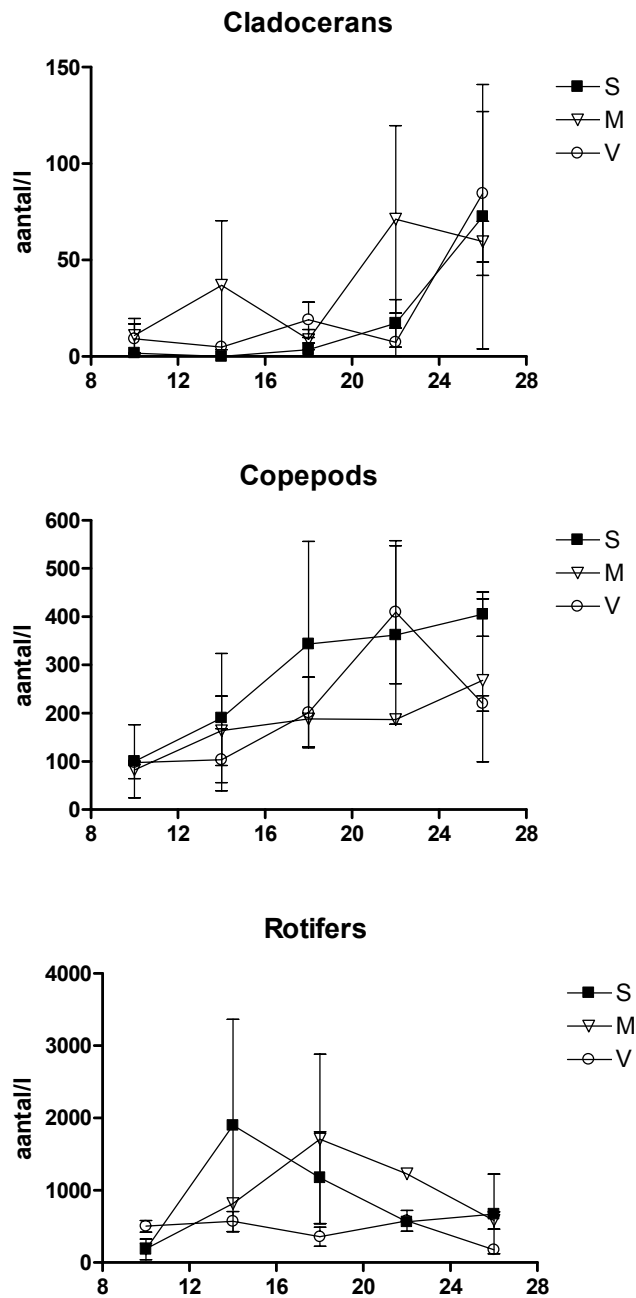
In mesocosms met sediment S is na een dominantie van flagellaten in de eerste maanden, een fytoplanktongemeenschap tot stand gekomen met flagellaten, groenwieren en kiezelwieren. In de mesocosms met sedimenten M en V wordt de fytoplanktongemeenschap vanaf mei totaal gedomineerd door flagellaten. In juli worden naast flagellaten ook blauwwieren waargenomen in de mesocosms met sediment M. In mesocosms met sediment V worden naast flagellaten ook kiezelwieren waargenomen (in april, mei en juni).

In het algemeen zijn de verschillen in de fytoplanktongemeenschap van de mesocosms niet groot. De dominante groep algen is in elke mesocosm flagellaten, met daarnaast, afhankelijk van het sedimenttype, enkele andere groepen.



Figuur 5 Fytoplanktongemeenschap in de tijd weergegeven als cumulatieve percentuele bijdrage van flagellaten, groenwieren, kiezelwieren en blauwwieren. S = 'schoon' sediment (klasse 0), M = 'Matig vies' sediment (klasse 2) en V = 'Vies' sediment (klasse 4).

De zoöplanktongemeenschap bestaat uit cladoceren (watervlooien), copepoden (roeipootkreeftjes) en rotiferen (raderdiertjes). Gedurende de monitoringsperiode zijn er tussen de verschillende mesocosms geen significante verschillen waargenomen in de zoöplanktongemeenschap (Figuur 6). Globaal gesproken neemt het aantal cladoceren en copepoden toe in de tijd, en neemt het aantal rotiferen af. Tussen de replica's zijn grote verschillen aanwezig.

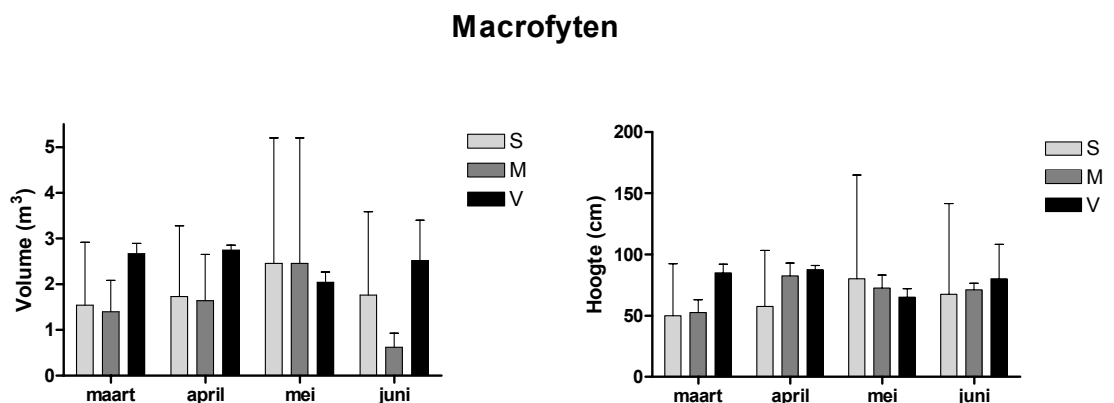


Figuur 6 Gemiddeld aantal cladoceren, copepoden en rotiferen per liter in de tijd in mesocosms met verschillende sedimenten. S = 'schoon' sediment (klasse 0), M = 'Matig vies' sediment (klasse 2) en V = 'Vies' sediment (klasse 4).

Macrofyten

De hoeveelheid macrofyten is uitgedrukt als volume macrofyt (in m³, zie hoofdstuk 1.2). Het totaal volume water in een mesocosm is 4.5 m³. Tevens is de hoogte van de macrofyten in de mesocosms weergegeven. Tussen de replica's zijn grote verschillen waargenomen in macrofytvolume en hoogte (Figuur 7). Er zijn geen significante verschillen waargenomen in de macrofyten ontwikkeling tussen de verschillende sedimenten.

Voor aanvang van de monitoringsperiode, in februari 2004, zijn de macrofyten 25-40 % in bedekking gereduceerd, om zodoende het afsterven van macrofyten in een strenge winter te simuleren. De bedekking in mesocosms met sediment V was groter dan in de overige mesocosms. Dit resulteert ook na de reductie in een (niet significante) ongelijke bedekking macrofyten bij aanvang van de monitoringsperiode. Gedurende het groeiseizoen blijft dit initiële verschil niet in stand.



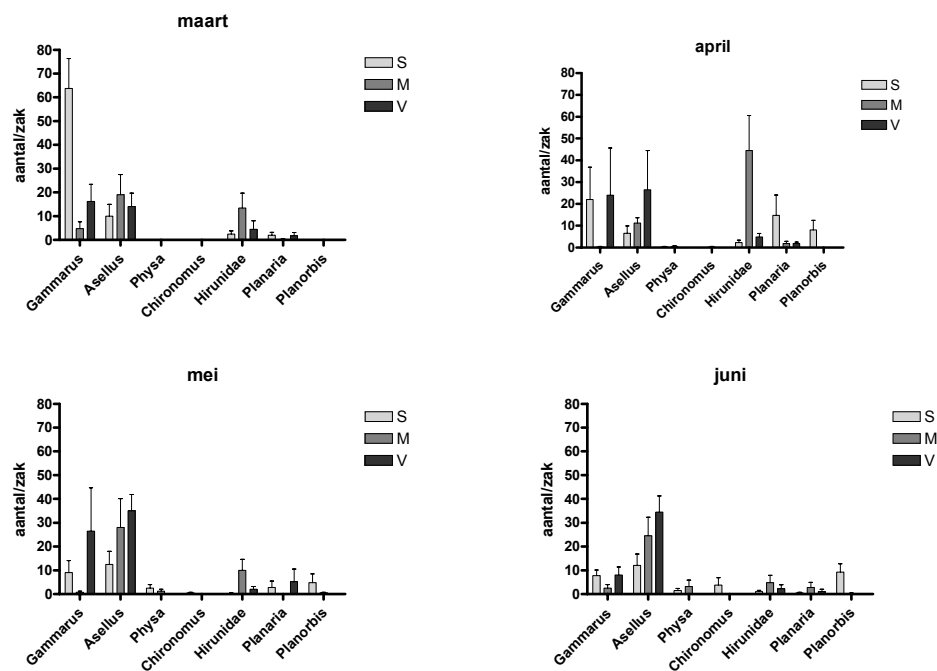
Figuur 7 Gemiddeld volume macrofyten (links) en de gemiddelde hoogte van de macrofyten (rechts) in de tijd in mesocosms met verschillende sedimenten. S = 'schoon' sediment (klasse 0), M = 'Matig vies' sediment (klasse 2) en V = 'Vies' sediment (klasse 4).

Macrofauna

In Figuur 8 zijn de gemiddelde aantallen macrofauna zoals aangetroffen in de bladpakketten weergegeven. In maart is in alle mesocosms overwegend *Asellus* en *Gammarus* aanwezig. In mesocosms met sediment S is significant meer *Gammarus* aanwezig dan in mesocosms met sediment M en V. Hirudinea zijn in hogere aantallen aanwezig in mesocosms met sediment M.

Vanaf april wordt *Gammarus* nauwelijks meer waargenomen in mesocosms met sediment M. *Chironomus* wordt gedurende de monitoring nauwelijks waargenomen. In mesocosms met sediment V wordt ten opzichte van mesocosms

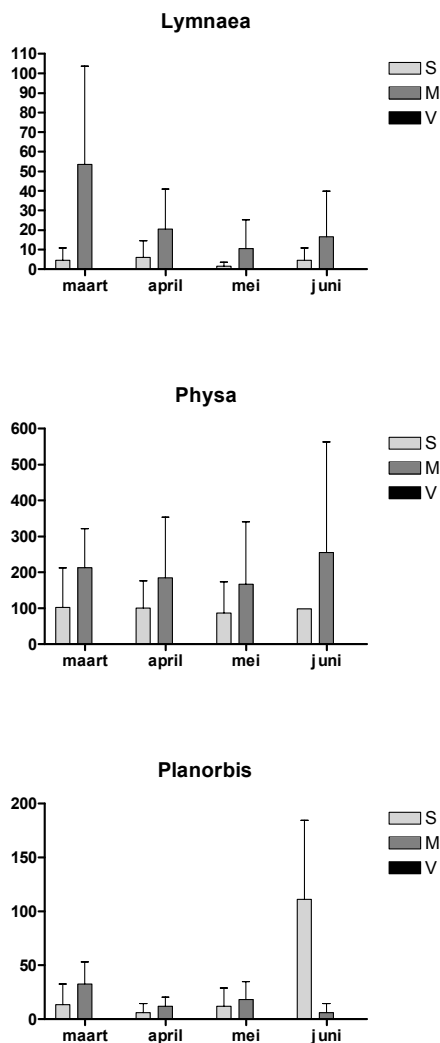
met sediment S gedurende de maanden april, mei en juni significant meer *Assellus* waargenomen. In de maand mei wordt ook *Gammarus* in hogere aantallen aangetroffen in V, vergeleken met S.



Figuur 8 Gemiddeld aantal macrofauna met standaard deviatie in mesocosms met verschillende sedimenten in de maanden maart, april, mei en juni. S = 'schoon' sediment (klasse 0), M = 'Matig vies' sediment (klasse 2) en V = 'Vies' sediment (klasse 4).

Slakken

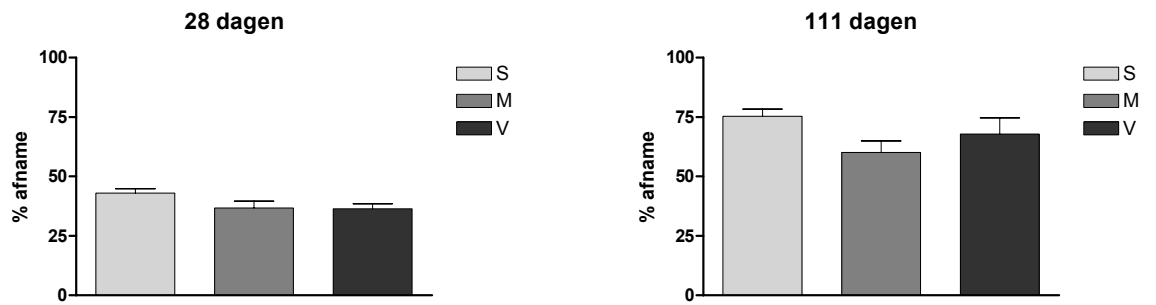
In Figuur 9 is het gemiddelde aantal slakken (*Lymnaea stagnalis*, *Physa sp.* en *Planorbis sp.*) per m² mesocosmwand gegeven voor elk sediment. *Planorbis sp.* is niet in de mesocosms geënt, maar is langs natuurlijke weg in de systemen gekomen. Er zijn tussen de mesocosms met sediment S en M geen significante verschillen waargenomen in aantallen *Lymnaea*, *Physa* en *Planorbis* hoewel de aantallen in het algemeen hoger zijn bij sediment M. In mesocosms met sediment V zijn geen slakken aangetroffen, hoewel deze wel uitgezet zijn.



Figuur 9 Gemiddeld aantal slakken per soort gevonden per m² mesocosmwand met standaard deviatie in de maanden maart, april, mei en juni. S = 'schoon' sediment (klasse 0), M = 'Matig vies' sediment (klasse 2) en V = 'Vies' sediment (klasse 4).

Decompositie

In Figuur 10 is het percentage bladafbraak weergegeven over een periode van 28 dagen, en over een periode van 111 dagen. Er zijn geen verschillen in decompositiesnelheid waargenomen tussen de verschillende mesocosms.



Figuur 10 Decompositie van elzenblad na 28 dagen in mei, en na 111 dagen (gehele monitoringsperiode). S = 'schoon' sediment (klasse 0), M = 'Matig vies' sediment (klasse 2) en V = 'Vies' sediment (klasse 4).

3. Discussie en conclusie

In de pilotstudie van 2004 was het doel om te onderzoeken of zich in de mesocosms met verschillende sedimenten helder, plantenrijk water zou ontwikkelen. Indien helder, plantenrijk water niet bereikt zou worden, zouden ingrepen worden gedaan, om wel helder, plantenrijk water te bereiken.

Concreet zijn er drie manipulaties uitgevoerd (ten opzichte van het experiment in 2003):

1. De gasuitwisseling tussen water en atmosfeer is gestimuleerd;
2. De waterplanten zijn voorafgaande aan het experiment deels verwijderd;
3. Er zijn (opnieuw) slakken in de mesocosms met sediment V geïntroduceerd.

In dit hoofdstuk worden de ingrepen en hun effecten op het ecosysteem bediscussieerd.

3.1 Effecten stimuleren gasuitwisseling

Een week voor de monitoringsperiode zijn pompjes in de mesocosms geplaatst om het water te circuleren en door de toegenomen waterbeweging de gasuitwisseling te bevorderen. Dit zou extreem hoge pH-waarden, zoals die in 2003 zijn waargenomen, moeten voorkomen. De waterbeweging was van week 8 tot week 14 horizontaal en de pH werd hierdoor niet omlaag gebracht. De uitvoer van de pompjes is in week 14 in verticale richting geplaatst. De veranderde waterbeweging heeft vervolgens geen merkbare invloed gehad op de pH. Als gevolg van primaire productie steeg de pH zelfs nog verder tot een pH waarde van 10. De ingreep heeft dus niet geleid tot het verwachte resultaat.

De vraag is overigens of pH-waarden > 10 daadwerkelijk onrealistisch zijn. De sedimenten zijn afkomstig uit vaarten/kanalen in Noord Holland. Daar wordt een $pH > 10$ niet bereikt. De mesocosms zijn qua grootte en morfologie echter beter vergelijkbaar met een vijver of (ondiepe) plas. De pH waarden moet dus worden vergeleken met veldrealistische waarden in vijvers/plassen waarbij macrofyten het ecosysteem domineren. Om dit te onderzoeken zijn tijdens de monitoringsperiode in een vijver in Den Helder die volledig begroeid was met macrofyten pH metingen uitgevoerd. De pH waarden in deze vijver (pH 9 – 10) waren te vergelijken met waargenomen pH in de mesocosms. Wellicht beperken macrofyten de gasuitwisseling; door de dichte begroeiing is waterbeweging gereduceerd en is alleen diffusie verantwoordelijk voor de uitwisseling van gassen.

3.2 Reductie macrofyten

Tijdens de experimenten van 2003 ontstond in de mesocosms helder, plantenrijk water. Om te onderzoeken of deze situatie duurzaam is, ook onder stress, is de macrofytenbiomassa gereduceerd om het effect van een strenge winter te simuleren. Ongeveer 40% van de toplaag van de macrofyten is actief verwijderd voor aanvang van het experiment in 2004. De wortelstokken bleven intact.

De reductie van macrofyten heeft geen invloed gehad op de ontwikkeling van het ecosysteem; in alle mesocosms ontstond in 2004 weer helder, plantenrijk water. In één van de twee replica's van mesocosms met sediment S zijn de macrofyten niet tot ontwikkeling gekomen. De oorzaak hiervan is niet duidelijk. Het water was aanvankelijk helder genoeg om macrofytengroei te initiëren. Het doorzicht in dit systeem was niet minder dan in de overige systemen. Later in het seizoen heeft zich hier een algengedomineerd systeem ontwikkeld.

3.3 Introductie slakken

De herintroductie van slakken in mesocosms met sediment V heeft niet geleid tot de vestiging van een slakkenpopulatie. In mesocosms met sediment S en M is de slakkenpopulatie uit 2003 verder uitgegroeid. De afwezigheid van slakken in de mesocosms met sediment V heeft overigens niet geleid tot de ontwikkeling van draadalg of flab. Oorzaak van de afwezigheid van slakken is in deze studie niet verder onderzocht. Redenen kunnen zijn:

- Directe toxische effecten op de slakken, of op de ontwikkeling van slakkeneieren.
- Toxisch effect op perifyton, waardoor de voedselbron afwezig is.
- Predatie van bloedzuigers op slakken. Dit is echter minder waarschijnlijk, omdat bloedzuigers (Hirudinea) vooral in mesocosms met sediment M voorkomen.

3.4 Stabiliteit van het ecosysteem

Verondersteld wordt dat de aanwezige verontreiniging in de gebruikte sedimenten geen invloed heeft op de ontwikkeling van helder en macrofytenrijk water. Deze toestand is (bijna) overal bereikt, onafhankelijk van het sediment, en ondanks de reductie van macrofyten voorafgaand aan het experiment. In één replica van sediment S (klasse 0) heeft zich geen macrofytengemeenschap ontwikkeld. Flab en draadalg zijn steeds direct verwijderd. Desondanks heeft zich een algengedomineerd systeem ontwikkeld en hebben macrofyten zich in dit systeem niet meer kunnen ontwikkelen.

De gereduceerde decompositiesnelheid bij sediment V, zoals waargenomen in 2003, is in 2004 niet opnieuw geconstateerd. De geringe verschillen in macrofaunagemeenschap tussen de mesocosms hebben zich in 2004 niet geuit in verschillen in de decompositiesnelheid.

Het ontbreken van een slakkenpopulatie in mesocosms met sediment V (klasse 4) is in de pilot 2004 het enige significante structuurverschil tussen de mesocosms. Of de onderliggende oorzaak van toxicologische of ecologische aard is, is niet onderzocht. De afwezigheid van slakken heeft in dit experiment niet geresulteerd in de ontwikkeling van macroalgen. De ontwikkeling van macroalgen kan via een cascadowerking in de nutriënten- en lichthuishouding het macrofyten gedomineerde systeem bedreigen.

Het ecologisch streefbeeld dat centraal staat in dit project, blijkt te weinig specifiek te zijn. Hoewel bij alle sedimenten “helder en plantenrijk water” wordt bereikt, is hiermee niet gegarandeerd dat het ecosysteem een goede structuur heeft en goed functioneert. Het verdient aanbeveling om het streefbeeld specifiekere te maken.

4. Literatuurlijst

Kampf R. (1999): Invloed van vervuiling in waterbodems op huidige en toekomstige ecologische kwaliteit van sloten en boezems in het Hollands Noorderkwartier, voorstel D en H. .

Kampf R. (2000): Project "Waterbodems en streefbeelden", voorstel D en H, registratienr. 0013564.

Kampf R. (2002): Vervolg project "Waterbodems en streefbeelden", voorstel Technologiestichting STW , voorstel D en H.

Klinge M., J.M. Brils & R. Kampf (2000): Waterbodems en de haalbaarheid van ecologische streefbeelden, Samenvattend eindrapport fase 1: brede oriëntatie op de problematiek. Deventer, Den Helder, Edam, Witteveen + Bos, TNO - MEP, Uitwaterende Sluizen.

Slijkerman D.M.E., E.M. Foekema, R.G. Jak, R. Kampf & N.M. van Straalen (2005): Decomposition of alder leaves as a functional bioassessment tool: evaluation of contaminated sediments. *Journal of Soils and Sediments* 2005; to be published.

Slijkerman D.M.E., E.M. Foekema, H.P. Dokkum & R. Kampf (2004): Verkennend experiment voor het STW voorstel "Waterbodems en de haalbaarheid van ecologische streefbeelden". TNO R 2003/380, Den Helder, MEP-TNO.

Stowa (2001): Expertmeeting "Waterbodemverontreiniging en de haalbaarheid van streefbeelden", Deventer, Utrecht: Witteveen + Bos, Stowa,

Straalen N.M. van, V. Koelmans, J.M. Brils & R. Kampf (2003): STW-voorstel Waterbodemverontreiniging en de haalbaarheid van ecologische streefbeelden.

5. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
t.a.v. dhr. R. Kampf
Postbus 850
1440 AW Purmerend

Namen en functies van de projectmedewerkers:

D.M.E. Slijkerman	Projectleider
E.M. Foekema	Onderzoeker
G. Hoornsman	Projectmedewerker
A.C. Sneekes	Projectmedewerker
H.P. van Dokkum	Adviseur

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

-

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

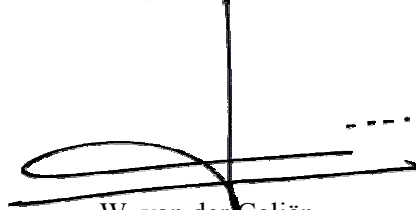
Februari 2004 – Augustus 2005

Ondertekening:



D.M.E. Slijkerman
Projectleider
6 oktober 2005

Goedgekeurd door:



W. van der Galiën
Team leider a.i.
6 oktober 2005