

Laan van Westenenk 501  
Postbus 342  
7300 AH Apeldoorn

[www.mep.tno.nl](http://www.mep.tno.nl)

T 055 549 34 93  
F 055 549 32 01  
[info@mep.tno.nl](mailto:info@mep.tno.nl)

**TNO-rapport**

**R 2003/380**

**Verkennd experiment voor het STW voorstel  
“Waterbodemonverontreiniging en de haalbaarheid  
van ecologische streefbeelden”**

Datum	13 april 2004
Auteurs	D.M.E. Slijkerman E.M. Foekema H.P. van Dokkum R Kampf
Projectnummer	34021
Trefwoorden	
Bestemd voor	Ing. R. Kampf Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

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.

## Samenvatting

Een belangrijke vraag voor waterbeheerders is in hoeverre de haalbaarheid van ecologische streefbeelden wordt beïnvloed door de aanwezigheid van een verontreinigde waterbodem. Om hierover goede uitspraken te kunnen doen is het projectvoorstel “Waterbodemverontreiniging en de haalbaarheid van streefbeelden” geschreven en ingediend bij technologiestichting STW, waarin meerjarig onderzoek met behulp van mesocosms is voorgesteld. Het ecologisch streefbeeld laat zich volgens het projectvoorstel als volgt definiëren:

*Ecologisch streefbeeld: Helder en plantenrijk (macrofyten) water.*

Onderliggende onderzoeksvragen van het vervolgonderzoek “Waterbodemverontreiniging en de haalbaarheid van ecologische streefbeelden” zijn onder andere:

- Beperkt waterbodemverontreiniging de ecologische ontwikkeling naar helder en plantenrijk water?
- Beperkt waterbodemverontreiniging op lange termijn het functioneren en/of de diversiteit van het zich ontwikkelende systeem?

Ter voorbereiding op het voorgestelde meerjarige projectplan werd een pilot studie uitgevoerd waarbij het voornaamste doel de ontwikkeling van methodieken voor het meerjarig onderzoek was, en om voorstellen te doen voor optimalisatie van de experimentele opzet. De methodiekontwikkeling richt zich in de pilot studie op het gebruik van mesocosms.

Om de invloed van sedimenten, wel of niet verontreinigd, op de ontwikkeling van een aquatisch ecosysteem te bepalen, is in de pilot studie gekozen voor de inrichting van mesocosmsystemen met schoon, matig verontreinigd en sterk verontreinigd sediment. De ontwikkeling van het zich te ontwikkelen ecosysteem werd gemonitord aan de hand van fysisch- chemische en biologische parameters. Tevens zijn technieken gebruikt voor het bemonsteren van macrofauna en voor het bepalen van de snelheid van het decompositieproces. De totale monitoringsfase heeft 18 weken geduurd.

In alle ingerichte mesocosms heeft zich onafhankelijk van het type sediment een helder macrofyten gedomineerd ecosysteem ontwikkeld. Er zijn echter ook enkele verschillen. In mesocosms met sterk verontreinigd sediment was de decompositie van bladmateriaal 25% minder dan in mesocosms met schoon en matig verontreinigd sediment. Ook was de slakkenpopulatie sterk gereduceerd in mesocosms met sterk verontreinigd sediment. Beide observaties zijn bepalend voor de duurzaamheid van het ingestelde ecosysteem.

De huidige ontwikkeling in alle mesocosms waarbij het streefbeeld is behaald duidt nog niet op een gezond functionerend systeem en daaraan gerelateerd de duurzaamheid van de ingestelde ecosystemen.

In alle mesocosms is tijdens de testfase de pH zeer hoog opgelopen, met waarden tot en met 10, als gevolg van een zeer hoge primaire productie. De onvoldoende CO<sub>2</sub> uitwisseling vanuit de atmosfeer naar het water kan een gevolg zijn van een eigenschap van de mesocosms. De systemen zijn klein ten opzichte van natuurlijke systemen, en de inwerking van de wind zodat goede uitwisseling van gassen met de atmosfeer tot stand komt is veel minder aanwezig. Dit mogelijke artefact van de mesocosmsysteem kan worden verholpen door waterbeweging in het systeem aan te brengen met behulp van pompjes. Deze aanpassing is voorgesteld voor het vervolgonderzoek.

Er is een voorstel gedaan voor aanpassing in de monitoringsfrequentie van de diverse parameters. Ook is voorgesteld enkele aanvullende parameters in vervolgonderzoek op te nemen in het onderzoeksprogramma. Het voorstel is een afweging op basis van een kosten-baten – analyse die is opgenomen in het laatste hoofdstuk. In onderstaande samenvattende tabel is het voorstel opgenomen.

*Voorgestelde aanpassing mesocosmsysteem en meetfrequentie diverse parameters voor vervolgstudie*

Parameter	Frequentie pilot 2003	Frequentie vervolgstudie	opmerking
Fysisch chemisch	wekelijks	wekelijks	<b>pH reducerende techniek toepassen</b>
Nutriënten	wekelijks	maandelijks	
Chlorofyl a	wekelijks	wekelijks	
Macrofyten	visueel	twee-wekelijks	Bedekking, groei in de tijd
Macrofauna	maandelijks	twee- wekelijks	Determinatie niveau aanpassen
perifyton	-	twee-wekelijks	Soorten/chl a
Macro-algen (flab)	-	wekelijks	bedekking
Fytoplankton	Twee-wekelijks	twee-wekelijks	
Zoöplankton	Twee-wekelijks	twee-wekelijks	
Slakken	eindbemonstering	twee-wekelijks	schraapmethode
Microbiele activiteit	-	maandelijks	Microtox
Decompositie	maandelijks	maandelijks, regressie over langere periode	In relatie tot macrofaunadichtheden

Als extra aanpassing voor vervolgstudie wordt voorgesteld indien in de ontwikkelde systemen het ecologisch beeld gaat afwijken van het streefbeeld de sturende factoren in de ontwikkeling naar het ecologisch streefbeeld te detecteren, en zonodig te manipuleren teneinde het streefbeeld wel te behalen.

## Inhoud

	pagina
Samenvatting.....	2
1. Inleiding.....	5
2. Methoden.....	7
2.1 Mesocosms.....	7
2.2 Chemische parameters.....	9
2.3 Biologische parameters.....	10
2.4 Statistische analyse.....	12
3. Resultaten.....	13
3.1 Sediment.....	13
3.2 Waterkolom karakteristieken.....	19
3.3 Decompositie.....	34
4. Discussie en voorstel.....	37
4.1 Waterbodems en ecologische streefbeelden- pilot studie 1.....	37
4.2 Methodieken.....	40
4.3 Voorstel methodieken in vervolg onderzoek.....	44
5. Literatuur.....	46
6. Verantwoording.....	48
Bijlage 1 Metaal in sediment.....	49
Bijlage 2 PAK in sediment.....	50
Bijlage 3 Metalen in waterfase.....	51

## 1. Inleiding

Al enkele jaren is het voor het hoogheemraadschap (toen Uitwaterende Sluizen, nu Hollands Noorderkwartier) duidelijk dat er veel vragen zijn over het werkelijke effect van de waterbodempvervuiling in het Hollands Noorderkwartier op de in het WBP-2 beschreven streefbeelden. 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?

Kunnen we aangeven wat we met de resultaten kunnen doen, is het mogelijk om aan te geven waar en bij welke biologische streefbeelden de waterbodempvervuiling ecotoxicologische moeilijk aanvaardbare invloed zal hebben? Of anders gesteld 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 "beschikbaar" zijn.

Uit een door Witteveen + Bos uitgevoerde opdracht van het hoogheemraadschap is gebleken de huidige klassenindeling, die gebaseerd is op de resultaten van chemische analyses van waterbodems wel een goede indruk geeft van de verspreiding van (de gemeten!) milieuvreemde stoffen. Verder zeggen de waterbodemklassen echter niet veel over de risico's van de aanwezigheid van deze verontreinigingen 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 waterbodempverontreinigingen 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) op een verontreinigde bodem 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 kan echter niet voorspeld worden (Klinge *et al.*, 2000).

Eigenlijk was vanaf het begin duidelijk dat de vraagstelling veelomvattend en wellicht ook te generiek was voor het hoogheemraadschap. Daarom is het onderzoeksidee getoetst in een door Stowa georganiseerde workshop (STOWA, 2001). Uiteindelijk heeft dit geleid in een wijd ondersteund voorstel dat door een consortium bestaande uit de Vrije Universiteit en Wageningen Universiteit en Researchcentrum met ondersteuning van MEP-TNO en het hoogheemraadschap een onderzoeksvorstel is ingediend bij de technologiestichting STW (van Straalen *et al.*, 2002; Kampf, 2002). In het voorgestelde meerjarig onderzoek zullen verontreinigde sedimenten en schone sedimenten in combinatie met de

ontwikkeling van het bovenliggende aquatische systeem in de tijd worden gevolgd. Specifieke vragen in het dit onderzoek zijn onder andere:

- Beperkt waterbodemonverontreiniging de ecologische ontwikkeling naar helder en plantenrijk water?
- Beperkt waterbodemonverontreiniging op lange termijn het functioneren en/of de diversiteit van het zich ontwikkelende systeem?

Helaas laat de toekenning van dit voorstel al geruime tijd op zich wachten, het voorstel is al wel in behandeling genomen.

In afwachting van de toekenning heeft het hoogheemraadschap daarom aan TNO gevraagd om een pilot-studie uit te voeren. Dit onderzoek moest dienen als voorbereiding op dit STW-project en moet ervaring geven met de gekozen proefopzet en de effecten van verontreinigde waterbodems op de biologische ontwikkeling van (kunstmatige) ecosystemen (Kampf, 2002).

Deze pilot studie heeft geleid tot dit rapport.

## 2. Methoden

Om de invloed van sedimenten, wel of niet verontreinigd, op de ontwikkeling van een aquatisch ecosysteem te bepalen, is in deze pilot studie gekozen voor het gebruik van mesocosm systemen, en de monitoring van fysisch- chemische en biologische parameters. Daarnaast zijn technieken ingezet voor het bemonsteren van macrofauna en voor het bepalen van de snelheid van het decompositieproces als voorbeeld van een relevant ecologisch proces. De inzet en de frequentie van de inzet van de verschillende methodieken is gebaseerd op meerdere argumenten. Hierin spelen beschikbaarheid, uitvoerbaarheid, kosten en relevantie een grote rol. Voor elke methodiek bestaat een specifieke afweging uit een combinatie van de genoemde argumenten. Voor elke methodiek wordt kort beschreven welke argumenten in overweging zijn genomen.

### 2.1 Mesocosms

De mesocosms die zijn gebruikt staan op het terrein van de afdeling Ecologische Risico's van TNO. Het zijn polyester bakken met een diameter van 2 meter, een diepte van 1,5 meter en een volume van 4,5 m<sup>3</sup>.

#### 2.1.1 Sediment

Op basis van sedimentkwaliteit gegevens (gelijk organisch gehalte en verontreinigingsgraad) van het Hoogheemraadschap en een baggerbedrijf (Dosco Baggerwerken) zijn drie sedimenten geselecteerd. Op drie lokaties in Noord Holland zijn vervolgens de sedimenten verzameld en getransporteerd naar de lokatie van TNO in Den Helder. In tabel 1 staat de lokatie, de monstercode van het baggerbedrijf, en de codering die aan de sedimenten is gegeven bij verwerking van de resultaten. Deze laatste codering wordt gebruikt in deze rapportage waarbij a en b de replica's weergeven.

Tabel 1 Lokatie en codering van de sedimenten

Lokatie	Monstercode baggerbedrijf	Codering resultaten
Broek in Waterland	MM1	M (a en b)
Purmerend	MM4	S (a en b)
Edam-Volendam	Watervak 12	V (a en b)

#### 2.1.2 Inrichting

De inrichting van de mesocosms was gepland in het najaar van 2002. De bepaling van de exacte locaties voor het verzamelen van drie sedimenten met gelijke algemene sedimentkarakteristieken (met uitzondering van de

verontreinigingsgraad) heeft echter langer geduurd dan was voorzien.<sup>1</sup> Tevens zorgden meerdere vorstperiodes voor een extra vertraging in het inrichtingsproces en zijn uiteindelijk op 19 december 2002 de drie sedimenten verzameld. Met elk sediment zijn twee mesocosms ingericht (duplo) zodat in totaal zes mesocosms zijn gebruikt in deze studie. Dit aantal is voornamelijk gebaseerd op maximale beschikbaarheid van mesocosms en de wens om de sedimenten minimaal in duplo in te zetten om de resultaten statistisch te kunnen analyseren. In elke mesocosm is getracht ca. 15 cm homogeen sediment aan te brengen. Bij de inrichting van de mesocosms met de drie sedimenten is ervan uitgegaan dat het bovenstaande water zou worden gecirculeerd. Om de watercirculatie praktischer in te richten is de verdeling van de sedimenten niet random over de zes mesocosms verdeeld maar zijn de replica's naast elkaar geplaatst.

Het sediment in de mesocosms is vervolgens afgedekt met een laag Markermeerwater (20 cm) om uitdroging van het sediment te voorkomen. Dit water was nog op het terrein aanwezig ten tijde van het aanbrengen van het sediment. Het compleet vullen van de mesocosms was op dat moment niet mogelijk omdat er geen water ingenomen kon worden in verband met vorst. Na deze tweede vorstperiode zijn de mesocosms op 21 januari 2003 simultaan gevuld met natuurlijk water (inclusief planktongemeenschap) uit het Markermeer.

### 2.1.3 Acclimatisatie fase

In het werkplan was voorgesteld het water tussen replica-mesocosms te laten circuleren met behulp van kleine pompjes met als doel de ontwikkeling van de mesocosms bij aanvang van de testfase gelijk te laten zijn. In verband met de vorstperiode is dit niet uitgevoerd. Kort na dooi bereikte het water de temperatuur waarbij de eigenlijke testfase zou aanvangen, en is er geen ruimte geweest de circulatie te laten plaatsvinden.

Gedurende de korte acclimatisatiefase zijn in alle mesocosms gelijke hoeveelheden organismen uitgezet. Het betreft hier macrofauna (o.a. *Gammarus tigrinus*, *Asellus aquaticus*, *Lymnaea stagnalis*, *Physa sp.*) en de hogere waterplant Waterpest (*Elodea nuttallii*) die als losse stengels in bundels in de mesocosms zijn geplaatst.

Fytoplankton en zoöplankton zijn met het water en sediment geïntroduceerd, terwijl insecten (chironomiden, wantsen) de mesocosms tijdens het experiment vanuit de lucht koloniseren. Er zijn geen vissen ingezet.

---

<sup>1</sup> Het uitgangspunt was om een referentie sediment (klasse 0) te gebruiken en twee sedimenten met kwaliteitsoordeel klasse 4, waarvan één voornamelijk op basis van metalenverontreiniging, en de ander voornamelijk op basis van PAK-verontreiniging.



## 2.2 Chemische parameters

### 2.2.1 Verontreinigingsgraad sediment

De waterbodemkwaliteit is getoetst volgens de 4<sup>e</sup> Nota Waterhuishouding. Aanvankelijk is daarom gekozen om eenmalig een mengmonster per mesocosms te analyseren op een “standaard” pakket stoffen. Op 11 maart 2003 is van elke mesocosm een mengmonster genomen van het sediment door met een sedimenthapper op drie plaatsen in de mesocosms een submonster te nemen en deze in een emmer te mengen. Deze mengmonsters zijn in het laboratorium van het HHNK geanalyseerd op metalen (cadmium, kwik, koper, nikkel, lood, zink, chroom), PAK (10 van VROM), EOX, minerale olie, organische stof en lutumgehalte.

Op basis van deze resultaten en de behoefte aan aanvullend inzicht aangaande de heterogeniteit van het sediment in de mesocosms is tijdens de eindbemonstering op 8 juli 2003 een aanvullende monsternamen uitgevoerd. Per mesocosm zijn drie monsters genomen met een sedimenthapper en de monsters zijn individueel geanalyseerd op dezelfde parameters als tijdens de aanvangsbemonstering, behalve EOX en minerale olie.

### 2.2.2 Verontreinigingsgraad water

Voor de interpretatie van de resultaten van de biologische meettechnieken is ook informatie over de verontreinigingsgraad van de waterkolom van belang. Tijdens de eindbemonstering zijn daartoe eenmalig watermonsters uit de mesocosms genomen om de verontreiniging in de waterfase te bepalen. Watermonsters van 1 liter zijn in het laboratorium van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier geanalyseerd op metalen (cadmium, kwik, koper, nikkel, lood, zink, chroom) en PAK (10 van VROM). Minerale olie en EOX zijn niet in het pakket opgenomen vanwege de geringe oplosbaarheid in water.

Met behulp van evenwichtpartiticoëfficiënten is berekend of de gemeten metaalconcentraties in het water in evenwicht zijn met de metaalconcentraties in de bodem. De gebruikte coëfficiënten zijn afkomstig uit Crommentuijn *et al.* (1997), en gebaseerd op onderzoek van Stortelder *et al.* (1989).

De gestandaardiseerde gemeten metaal concentraties in het water zijn vergeleken met de berekende evenwichtconcentraties om te bepalen of evenwicht tussen sediment en water was ingesteld. Indien de gemeten en de berekende in verhouding gelijk zijn aan 1, is er evenwicht tussen de beide compartimenten. Indien de verhouding tussen de concentraties kleiner is dan 1, dan is er nog geen evenwicht ingesteld.

### 2.2.3 Fysisch- chemische parameters

Gedurende de acclimatisatie fase zijn, tenzij dit door ijs werd belemmerd, elke 2 weken de volgende waterkarakteristieken bepaald om de aanvangstijd van de testperiode te bepalen: temperatuur, pH, opgelost zuurstof, geleidbaarheid, chlorofyl a. De testfase is begonnen bij een watertemperatuur van ongeveer 7 °C, op 4 maart 2003. Verwacht werd dat vanaf deze temperatuur de (biologische) productiviteit van het systeem zou toenemen en eventuele effecten waarneembaar zouden worden. In het hoofdstuk resultaten wordt het tijdstip waarop de testfase begint aangeduid met “week 0”.

Tijdens de testfase zijn in het water van de mesocosms tot 8 juli (“week 18”) wekelijks op hetzelfde tijdstip (rond 10.30 uur) de volgende fysisch chemische parameters bepaald: Temperatuur (°C), pH, opgelost zuurstof (mg/l), geleidbaarheid (µS/cm). De bepaling van de fysisch chemische parameters kost bij de uitvoering weinig tijd en ze zijn indicatief voor de productiviteit van het systeem.

### 2.2.4 Nutriënten

De volgende nutriënten zijn wekelijks bepaald in het laboratorium van het hoogheemraadschap (volgens NEN): nitraat, nitriet, ammonium, kjeldahl stikstof, silicaat, ortho-fosfaat en totaal fosfaat. De nutriëntenanalyses zijn van belang bij de interpretatie van de primaire productiviteit in het systeem.

### 2.2.5 TOC en DOC

De biologische beschikbaarheid van metalen wordt sterk beïnvloed door de concentratie organisch koolstof. Voor de interpretatie van effecten in de waterkolom is het totaal organisch koolstof en het opgelost organisch koolstof in de waterkolom bepaald. Van elke mesocosms is tijdens de eindbemonstering op 8 juli 2003 een watermonster genomen.

## 2.3 Biologische parameters

### 2.3.1 Chlorofyl a

Chlorofyl a (µg/l) is zowel in de acclimatisatiefase als in de testfase wekelijks bepaald. Chlorofyl a is een directe indicator voor primaire productie. Deze bepaling geeft een direct inzicht in de biomassa ontwikkeling van de fytoplankton-gemeenschap. Voor de bepaling van chlorofyl-a zijn drie monsters per mesocosm genomen om eventuele variatie in de mesocosm te bepalen en statistisch een krachtiger analyseresultaat te verkrijgen.

### 2.3.2 Plankton

De fyto- en zoöplankton soortensamenstelling is eens per twee weken bepaald. De ontwikkeling van zoöplankton reageert vertraagd op het aanbod van fytoplankton (voedsel) als gevolg van de langere generatietijd. De generatietijd van zoöplankton is mede afhankelijk van temperatuur en soort en is ongeveer 10 dagen. De responstijd van eventuele subletale effecten (bijvoorbeeld reproductie) op zoöplankton is bepalend geweest voor de frequentie van zoöplanktonbemonstering en analyse. De bemonstering en analyse van fytoplankton is hieraan gekoppeld en is ook om de twee weken uitgevoerd.

Fytoplankton heeft een kortere generatietijd en effecten zullen daardoor sneller waarneembaar zijn. De wekelijkse chlorofyl a- bepalingen geven een indicatie voor de tussentijdse (biomassa)ontwikkeling in deze gemeenschap. Aangezien gedurende een langere periode zowel fytoplankton als zoöplankton gemeenschappen gemonitord worden mag worden verwacht dat een twee-wekelijkse analyse een duidelijk beeld van de dynamiek in beide gemeenschappen geeft.

### 2.3.3 Macrofauna

De macrofaunagemeenschap zou twee-wekelijks bepaald worden met behulp van twee zogenaamde “macrofaunavallen”. In plaats van twee-wekelijks is de macrofauna echter maandelijks bepaald, met behulp van zogenaamde bladpakketten. Het voordeel van deze methode ten opzichte van de macrofaunavallen is dat er tevens informatie kan worden verkregen over de decompositiesnelheid van de bladeren (zie 2.3.5). Deze bladpakketten bestaan uit een ingewogen hoeveelheid elzenblad (1 gram) in een zakje met maaswijdte van ongeveer 1 cm<sup>2</sup>. Bij deze maaswijdte is macrofauna (bijvoorbeeld Gammarus en Asellus) in staat het bladmateriaal te koloniseren. Per mesocosm zijn vijf pakketten op het sediment geplaatst. Na vier weken werden de pakketten uitgehaald en de soorten en aantallen gescoord. De waargenomen dieren werden weer teruggeplaatst in de mesocosm. De resultaten zijn indicatief voor de samenstelling van de macrofaunagemeenschap die verantwoordelijk is voor de afbraak van detritus. De uitgehaalde pakketten zijn vervangen door nieuwe bladpakketten. Zodoende zijn macrofauna gegevens in vijfvoud in plaats van in duplo verkregen voor de maand maart, april, mei en juni.

Additioneel is een slakkenbemonstering uitgevoerd vlak voor de eindbemonstering. De bemonstering per mesocosm is uitgevoerd met behulp van een net. Het net was gebonden aan een halfronde sleepring. Met de kromme zijde is tot 1,25 m diep tot aan het wateroppervlak op vier punten de mesocosmwand “geschraapt” en zijn alle slakken die op de wand aanwezig waren in het net verzameld. De slakken zijn geteld en op soort gebracht. Het totaal geschraapte wandoppervlak per mesocosm is 0,75 m<sup>2</sup>.

### **2.3.4 Macrofyten**

De macrofyten zijn ingezet om in de systemen een natuurlijk evenwicht tussen macrofyten en algen te laten ontwikkelen. Tevens zouden eventuele effecten van het sediment op de macrofyten kunnen worden bepaald. Hiertoe zouden de planten aan het eind van de testfase worden geogst, gedroogd en gewogen. Echter, volgens afspraak is na de testperiode de opstelling in stand gehouden om aanvullende experimenten uit te kunnen voeren. Daardoor is het niet mogelijk geweest om een macrofytenbepaling te doen zoals oorspronkelijk in het werkplan is beschreven. In het hoofdstuk resultaten wordt een korte beschrijving gegeven over de visuele waarneming gedurende de testfase.

### **2.3.5 Decompositie**

De bladpakketten die hebben gediend voor de macrofauna- inventarisatie zijn tevens gebruikt om de decompositiesnelheid van elzenblad te bepalen in de mesocosms met de verschillende sedimenten. Het blad is na uithalen drie dagen gedroogd bij 60 °C en teruggewogen. De gewichtsafname is een maat voor decompositie. De decompositiesnelheid is bepaald gedurende vier weken tijdens de maanden maart, april, mei en juni.

## **2.4 Statistische analyse**

De resultaten van eenmalige monsternames zijn statistisch getoetst door middel van een One-Way- ANOVA , gevolgd door een Bonferoni post-test. Significantie niveau in deze rapportage is  $p < 0,05$ .

De resultaten van monsterreeksen in de tijd (bv fysisch chemische parameters) zijn statistisch getoetst met behulp van een repeated measures ANOVA, gevolgd door een Bonferoni post-test.

Bovenstaande analyses zijn uitgevoerd met behulp van het software programma GraphPad Prism versie 4.0.

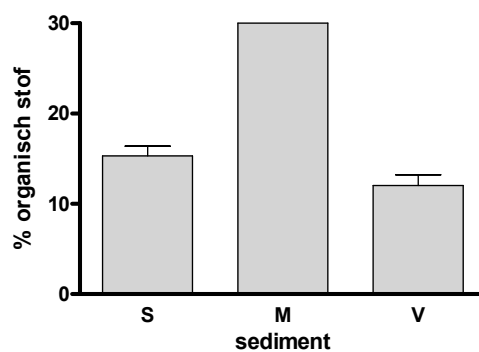
### 3. Resultaten

De resultaten richten zich op de waargenomen respons van de gekozen parameters. In het hoofdstuk “discussie” zullen de resultaten in het kader van de experimentele opzet worden belicht. Omdat aangenomen wordt dat de verontreinigingsgraad van de sedimenten bepalend is voor de verontreinigingsgraad in de waterkolom en de eventueel waargenomen repons, worden eerst de karakteristieken van de sedimenten besproken. Daarna wordt de verontreinigingsgraad van de waterkolom behandeld. Vervolgens komen de fysisch- chemische en biologische responsvariabelen aan bod.

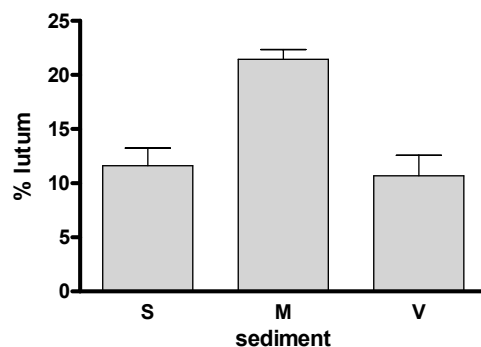
#### 3.1 Sediment

##### 3.1.1 Organisch stof en lutum gehalte

In Figuur 1 staat het percentage organisch stof van elk van de sedimenten weergegeven. In figuur 2 staat het percentage lutum van elk van de sedimenten weergegeven.



*Figuur 1 Het percentage organisch stof gemeten in elk sediment.*



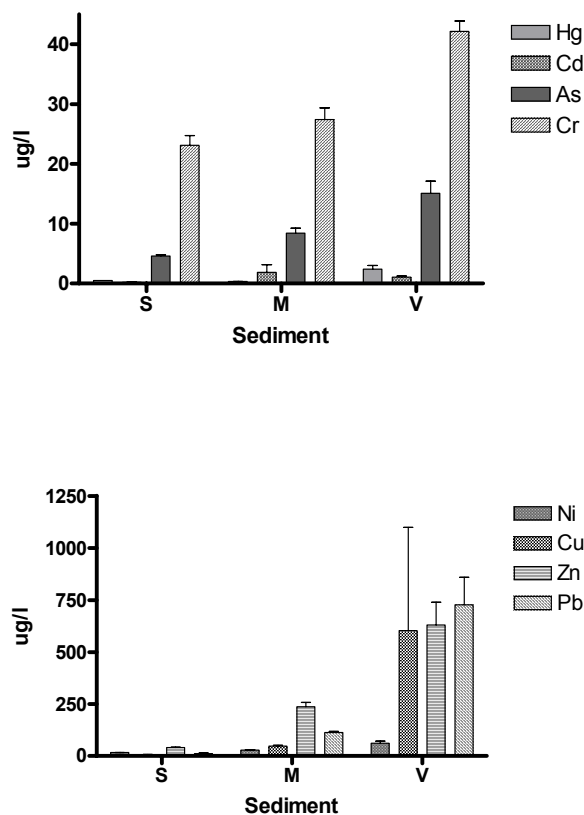
*Figuur 2* Het percentage lutum (deeltjes  $<2 \mu\text{m}$ ) gemeten in elk sediment.

De sedimenten verschillen van elkaar in organisch- en lutum gehalte. Sediment M heeft een significant hoger organisch stof en lutum gehalte dan sediment S en V, die een met elkaar vergelijkbaar lutum en organisch stof gehalte bevatten.

### **3.1.2 Verontreinigingsgraad**

#### **3.1.2.1 Metalen**

In Figuur 3 staat het gemiddelde gehalte metalen voor elk sediment op basis van de mengmonsters genomen bij aanvang van de testfase en de zes individuele monster (drie per mesocosm) die genomen zijn tijdens de eindbemonstering. Weergave van de resultaten is op basis van gestandaardiseerde gehaltenes.



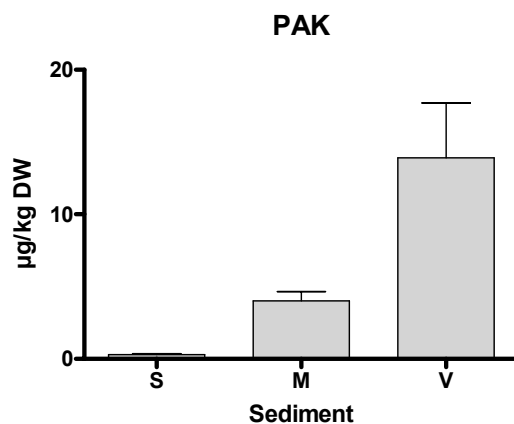
*Figuur 3 Gemiddeld gehalte metalen (n=8) (Arseen, cadmium, chroom, koper, kwik, nikkel, lood en zink) in mg/kg droge stof in elk sediment. Standaard deviatie is tevens gegeven. Gestandaardiseerde gehalten zijn weergegeven.*

Het gehalte arseen en koper is lager in sediment S dan in sediment M en V. De gehalten kwik, nikkel, lood en zink is in sediment V hoger dan in sediment S. Sedimenten M en V verschillen alleen in lood en kwik gehalte van elkaar, waarbij sediment M een lager gehalte van beide metalen bevat. In sediment V komt koper in een hoge concentratie voor, maar dit ging gepaard met een zeer hoge variatie. Deze variatie is gebaseerd op één monster waarin een bijna viermaal hogere concentratie is aangetroffen dan in de overige monsters. Het gemiddelde kopergehalte in sediment V zonder deze uitzonderlijke waarde is 82 mg/kg DS.

### 3.1.2.2 PAK

In Figuur 4 is het gemiddelde gesommeerde PAK gehalte weergegeven per mesocosm op basis van het mengmonster dat genomen is bij aanvang van de

testfase en op basis van de drie individuele monsters die genomen zijn tijdens de eindbemonstering. De resultaten zijn gestandaardiseerd. De 10 individuele PAK concentraties volgen hetzelfde patroon als in Figuur 4 is weergegeven.



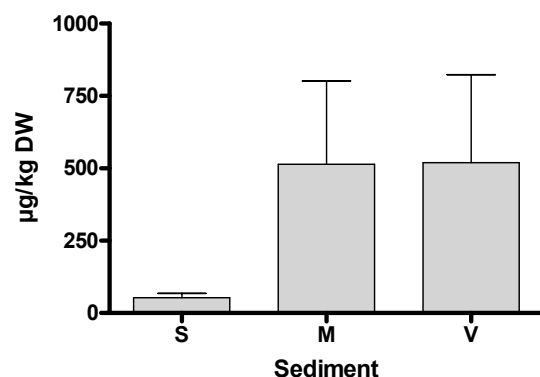
*Figuur 4 De gesommeerde hoeveel PAK (10 van VROM) in het sediment van elk sediment( + standaarddeviatie). Gestandaardiseerde gehalten zijn weergegeven.*

Sediment S heeft een lager gehalte totaal PAK dan sedimenten M en V. De gemiddelde PAK concentratie in V is hoger dan in M, maar verschilt statistisch niet significant. Tevens worden alle individuele PAK in een lagere concentratie aangetroffen in sediment S dan in sedimenten M en V.

### 3.1.2.3 Minerale olie

In Figuur 5 is het gemiddeld gehalte minerale olie weergegeven per mesocosm op basis van het mengmonster dat genomen is bij aanvang van de testfase en op basis van de drie individuele monster die genomen zijn tijdens de eindbemonstering.





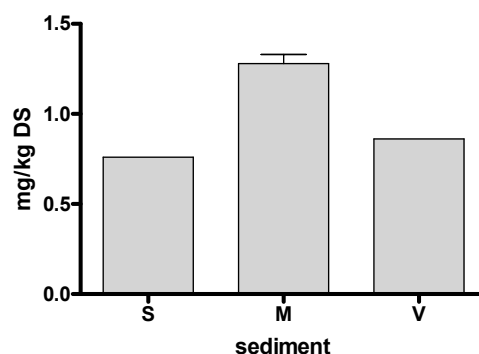
*Figuur 5 Gemiddeld gehalte minerale olie (n= 2 mesocosms) gemeten in elk sediment op basis van een mengmonster bij aanvang, en drie monsters per mesocosm bij de eindbemonstering. Gestandaardiseerde gehalten zijn weergegeven.*

Voor elk sediment blijkt een grote variatie in olie concentratie te bestaan tussen de genomen monsters. Er zijn geen statistisch significante verschillen tussen de sedimenten wat betreft de concentratie minerale olie. Dit is het gevolg van het feit dat de olie zeer heterogeen wordt aangetroffen. De trend is echter wel dat in sediment S minder olie wordt aangetroffen dan in sediment M en V.

#### **3.1.2.4 EOX**

In Figuur 6 staat het gehalte EOX (extraheerbare organische halogeenvbindingen) in elk sediment op basis van analyse van het mengmonster bij aanvang van de testfase.

Sediment M heeft een significant hoger gehalte EOX dan sedimenten S en V, die een met elkaar vergelijkbaar EOX gehalte bevatten. In sediment S en V is in een van de twee mengmonsters geen EOX gedetecteerd waardoor de standaard deviatie niet berekend kan worden.



Figuur 6 Gehalte EOX gemeten in elk sediment aan het begin van de testfase (1 mengmonster per mesocosm).

### 3.1.2.5 Kwaliteitsoordeel huidige normering

De resultaten van de chemische analyses zijn getoetst volgens de 4<sup>e</sup> Nota Waterhuishouding en op basis daarvan hebben de sedimenten een kwaliteitsoordeel gekregen. In Tabel 2 staat dit kwaliteitsoordeel per sediment op basis van de aanvangsbemonstering (mengmonster) en op basis van de drie monsters bij de eindbemonstering. Achter het oordeel staat tussen haakjes op welke verontreiniging het oordeel is gebaseerd. In Tabel 3 staat het kwaliteitsoordeel per sediment gegeven voor de drie deelmonsters die zijn genomen tijdens de eindbemonstering<sup>1</sup>.

Tabel 2 Kwaliteitsoordeel per sediment op basis van een mengmonster genomen bij aanvang. Tevens is tussen haakjes weergegeven op welke verontreiniging het oordeel is gebaseerd.

Sediment	Sa	Sb	Ma	Mb	Va	Vb
oordeel	0	1	2 (Cu, PAK)	2 (Cu)	4 (Pb)	4 (Pb)

Tabel 3 Kwaliteitsoordeel per sediment op basis van de drie deelmonsters genomen tijdens de eindbemonstering. Tevens is tussen haakjes weergegeven op welke verontreiniging het oordeel is gebaseerd.

	Sa	Sb	Ma	Mb	Va	Vb
Monster 1	0	0	2 (Cu, Ni, PAK)	2 (Cu, PAK)	4 (Cu, Pb, Zn)	2 (Cu, PAK)
Monster 2	0	0	2 (Cu, PAK, olie)	2 (Cu, Cd, PAK)	4 (Pb)	4 (Pb, Zn)
Monster 3	0	1 (olie)	2 (Cu, PAK)	2 (PAK)	4 (Pb)	4 (Pb)

<sup>1</sup> Uit Tabel 2 en Tabel 3 blijkt dat de sedimenten niet de kwaliteitsoordeel krijgen dat bij aanvang van mesocosminrichting was bedoeld. In plaats van één klasse 0 en twee maal een klasse 4 sediment, waarvan één op basis van metalen, en een op basis van PAK, zijn bij de inrichting van de mesocosms een klasse 0, een klasse 2 en een klasse 4 sediment in de mesocosms geplaatst. De afwijkende experimentele opzet vormde geen bezwaar voor de uitvoering aangezien het een pilot experiment betrof.

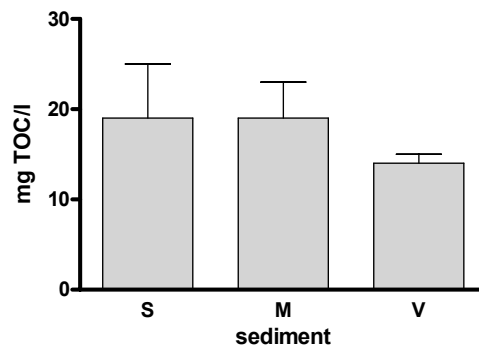
Betekenis kwaliteitsoordeel:

- 0: voldoet aan streefwaarde:  
Waarde die het kwaliteitsniveau aangeeft waarbij de functionele eigenschappen van een het systeem voor mens, plant en dier zijn veiliggesteld.
- 1: voldoet aan grenswaarde:  
Vormt de grens tussen klasse 1 en klasse 2
- 2: voldoet aan toetsingswaarde:  
Norm die bepalend is of bagger op land verspreid mag worden
- 3: voldoet aan interventiewaarde:  
Waarde die aangeeft bij welke concentratie sprake is van ernstige vermindering van de functionele eigenschappen van het systeem. Bij overschrijding van de interventiewaarde spreekt men van een ernstig geval van waterboderverontreiniging.
- 4: overschrijdt interventiewaarde

## 3.2 Waterkolom karakteristieken

### 3.2.1 TOC en DOC

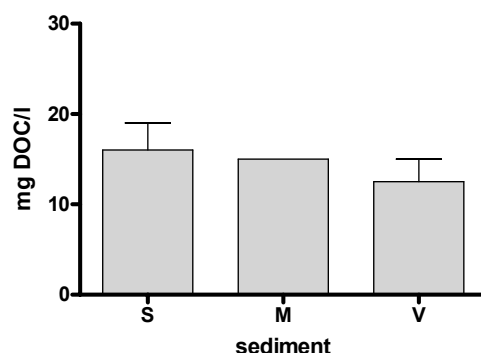
In Figuur 7 staat het gemiddeld totaal organisch koolstof (TOC) waterfase van de mesocosms met verschillende sedimenten tijdens de eindbemonstering weergegeven. Ten tijde van de eindbemonstering is er geen statistisch significant verschillende mesocosms.



Figuur 7 Gemiddeld totaal organisch koolstof in de waterfase van de mesocosms met verschillende sedimenten tijdens de eindbemonstering.

In Figuur 8 staat het gemiddeld opgelost organisch koolstof in de waterfase van de mesocosms met verschillende sedimenten tijdens de eindbemonstering weergegeven. Ten tijde van de eindbemonstering is er geen statistisch significant verschil in DOC tussen de verschillende mesocosms.

De DOC waarden zijn ten opzichte van het Nederlands gemiddelde relatief hoog. In Kramer *et al.* (2001) worden DOC waarden van Nederlands oppervlaktewater gerapporteerd. De DOC waarden van grote meren en plassen variëren tussen de 3 en de 30 mg/l, DOC waarden van rivieren variëren daarentegen tussen de 2 en 7.



Figuur 8 Gemiddeld opgelost organisch koolstof in de waterfase van de mesocosm met verschillende sedimenten.

### 3.2.2 Verontreinigingsgraad

In Tabel 4 staan de gemeten metaalconcentraties in de waterkolom.

Tabel 4 Gehalte gemeten metalen (arsen, cadmium, chroom, koper, kwik, nikkel, lood en zink) in  $\mu\text{g/l}$  in de waterkolom van elke mesocosm. (-: onder detectielimiet)

	Cd	Hg	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	As
<b>S</b>	0,03	0,14	2,36	1,50	-	0,58	0,31	0,58
<b>M</b>	0,05	0,02	3,19	1,07	1,05	1,03	0,05	1,18
<b>V</b>	0,07	0,01	2,35	3,12	2,78	1,13	0,11	0,59

In Tabel 5 staat de verhouding tussen de gemeten concentratie en de berekende concentratie indien metaalconcentraties in het sediment in evenwicht zijn met de concentraties in het water. Indien er sprake is van evenwicht tussen sediment en water zal de verhouding 1 zijn. Een getalswaarde kleiner dan 1 betekent dat er nog geen evenwicht is ingesteld.

De getalswaarden in Tabel 5 zijn allen lager dan 1, en dus is in geen van de mesocosms evenwicht bereikt tussen de metaalconcentraties in het sediment en in de waterfase.

Tabel 5 *Verhoudingsgetallen gemeten: evenwicht metaal concentraties voor de waterfase bij elk sedimenttype.*

	<b>Cd</b>	<b>Hg</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>As</b>
<b>S</b>	0,05	0,36	0,15	0,17	-	0,01	0,07	0,20
<b>M</b>	0,35	0,26	0,45	0,15	0,05	0,03	0,01	0,56
<b>V</b>	0,53	0,02	0,10	0,21	0,02	0,01	0,01	0,16

Tijdens de eindbemonstering zijn uit alle mesocosms watermonsters genomen voor de analyse op PAK, maar er zijn nauwelijks PAK in het water aangetroffen. Alleen in water van mesocosms met sediment S (mesocosm Sb), en met sediment V (zowel mesocosm a als b) de stof naftaleen aangetroffen in resp. 0,04 (S) en 0,03 (V) µg/l. De MTR voor naftaleen in oppervlaktewater is 0,1 µg/l en deze wordt niet overschreden.

### 3.2.3 Kwaliteitsoordeel verontreinigingsgraad water

In Tabel 6 staan voor de stoffen die geanalyseerd zijn in de waterkolom de minimumkwaliteit en streefwaarden vermeld die in de Vierde Nota Waterhuishouding gehanteerd worden. In alle mesocosms is alleen de concentratie koper MTR overschrijdend. De MTR voor koper is 1,5 µg/l, en in het water van de mesocosms is gemiddeld 3,4 µg/l gevonden. Echter, de effecten van koper op waterorganismen worden onder andere bepaald door de biologisch beschikbare hoeveelheid koper. Het DOC gehalte is in alle mesocosms erg hoog waaruit volgt dat het koper in hoge mate gebonden zal zijn, en dus ook verminderd biologisch beschikbaar.

Tabel 6 *Minimumkwaliteit (MTR) en streefwaarden voor metalen in oppervlaktewater (bron: vierde nota waterhuishouding). \* methyl kwik*

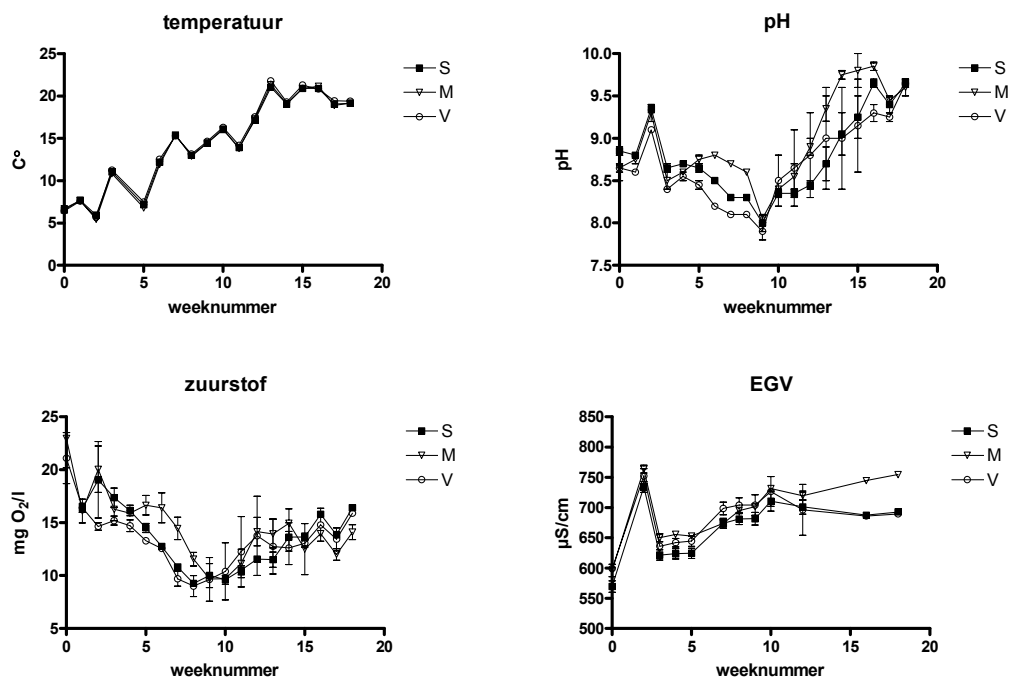
<b>Stof</b>	<b>Cd</b>	<b>Hg</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>As</b>
MTR (µg/l)	0,4	0,2/0,02*	1,5	5,1	11	9,4	8,7	25
Streefwaarde (µg/l)	0,08	0,01	0,5	3,3	0,3	2,9	0,3	1

### 3.2.4 Fysisch/ chemische parameters

In Figuur 9 zijn de gemiddelde temperatuur (°C), pH, opgelost zuurstof (mg/l) en het electrolytisch geleidingsvermogen, EGV (µS/cm) in de tijd weergegeven voor elk sediment (n=2 mesocosms). De temperatuur liep in de tijd op. Er zijn tussen de verschillende mesocosms geen temperatuursverschillen waargenomen.

De gemiddelde pH nam tot en met week 9 af. Vanaf week 10 liep de pH langzaam op tot een pH waarde van iets boven de 10. Tussen week 5 en week 9 waren verschillen in pH zichtbaar tussen de verschillende mesocosms; sediment M had een gemiddeld hogere pH dan sediment S en V.

In Figuur 9 is het gemiddelde opgeloste zuurstof in mg/l weergegeven in de tijd voor elk sediment. De concentratie opgelost zuurstof was bij aanvang van de testfase erg hoog, maar naarmate de watertemperatuur steeg daalde de concentratie zuurstof iets. De zuurstofverzadiging bleef gedurende de hele studie echter wel boven de 100%. Tussen week 6 en 8 vertoont het zuurstofgehalteverschillen tussen de mesocosms met sediment M aan de ene kant en S en V aan de andere kant. In mesocosms met sediment M was de concentratie hoger dan in de mesocosms met sediment S en V.



Figuur 9 Fysisch chemische parameters: gemiddelde en standaard deviatie ( $n=2$  mesocosms) temperatuur, pH, opgelost zuurstof en EGV in de tijd in mesocosms met verschillende sedimenten.

### 3.2.5 Nutriënten

In Figuur 10 staan de gemiddelde concentraties van nitraat, ammonium, silicaat, Kjeldahl stikstof, ortho-fosfaat en totaal fosfaat in de tijd gemeten in mesocosms met sediment S, M en V weergegeven. De resultaten van de nitrietbepaling zijn niet weergegeven omdat nitriet is aangetroffen rondom de detectielimiet. Dit betekent tevens dat nitriet niet in toxische concentraties aanwezig was.

De nitraatconcentratie is tot en met week 4 significant hoger in mesocosms met sediment M ten opzichte van nitraatconcentraties in mesocosms met sediment S en V. Na week 4 zijn de nitraatconcentraties nauwelijks meetbaar. In de mesocosms

vindt dan nog wel primaire productie plaats wat erop wijst dat er continu nitraat en/of ammonium beschikbaar komt dat direct wordt gebruikt voor de primaire productie.

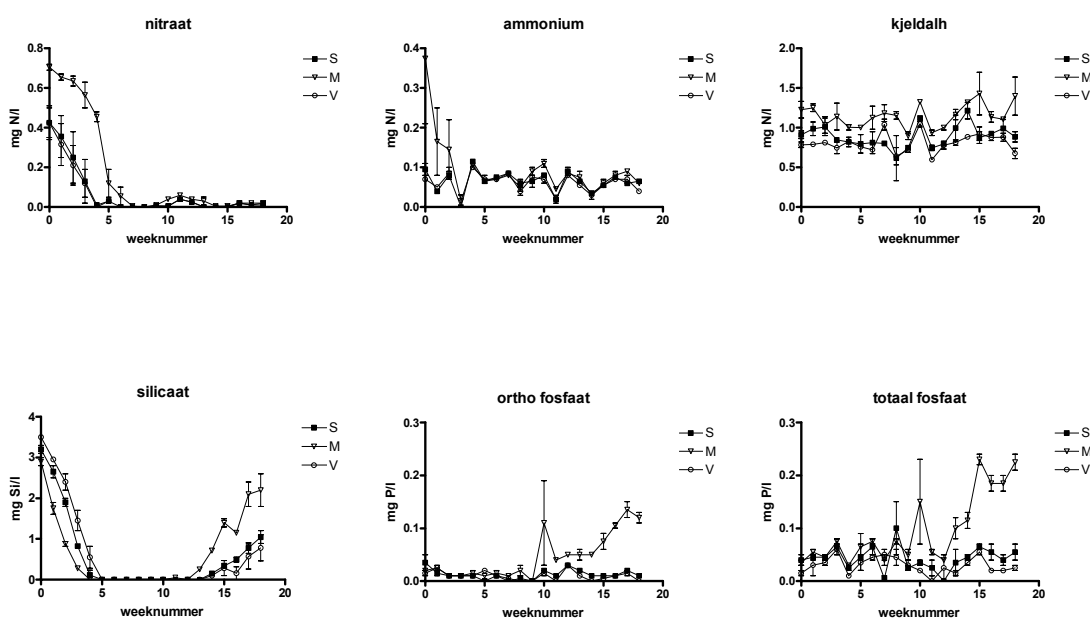
De concentratie ammonium is in mesocosms met sediment M in de eerste week van de test significant hoger dan in mesocosms met sediment S en V. Na week 1 blijft de concentratie ammonium in alle mesocosms rond de 0,1 mg/l.

De concentratie Kjeldahl stikstof (ammonium + organisch gebonden stikstof) ligt gedurende de testfase in elke mesocosm rond de 1 mg N/l. Op basis van de ammoniumresultaten kan worden berekend dat de Kjeldahl-stikstof voornamelijk (90%) uit organisch gebonden stikstof moet bestaan (ammonium, eiwitten en andere stikstofverbindingen in detritus en plankton). De concentratie Kjeldahl stikstof is in de eerste 2 weken in mesocosms met sediment M significant iets hoger dan in mesocosms met sediment S.

De concentratie silicaat nam in alle mesocosms vanaf de aanvang van de testfase af van 3 mg Si/l naar 0 mg Si/l in week 5. In mesocosms met sediment M ligt de concentratie silicaat in die periode significant lager dan in mesocosms met sediment S en V. Tot en met week 12 blijft de concentratie silicaat beneden de detectielimiet. Vanaf week 12 neemt de concentratie silicaat toe in mesocosms met sediment M, en vanaf week 13 ook in mesocosms met sediment S en V. De concentratie silicaat is na week 12 in mesocosms met sediment M significant hoger dan in mesocosms met sediment S en V.

De concentraties ortho-fosfaat en totaal fosfaat waren bij aanvang laag maar volgden verder hetzelfde patroon als silicaat. De concentraties ortho-fosfaat en totaal fosfaat waren tot week 8 erg laag. Het lijkt dat tot week 8 naast nitraat ook fosfaat limiterend is voor de primaire productie. In mesocosms met sediment 2 was tussen week 5 en 8 een algenbloei waar te nemen (Figuur 11) wat erop wijst dat het fosfaat direct werd omgezet in biomassa. Na week 8 nam de concentratie orthofosfaat en totaal fosfaat toe in mesocosms met sediment M. In mesocosms met sediment S en V daarentegen blijft de fosfaatconcentratie significant lager dan in mesocosms met sediment M.

Blijkbaar is de N/P ratio van nutriënten die vrijkomen erg laag; fosfaat komt in relatieve overmaat vrij zodat stikstof beperkend is voor de groei van fytoplankton.



Figuur 10 De gemiddelde concentraties van nitraat, ammonium, silicaat, ortho-fosfaat en totaal fosfaat in de tijd gemeten in mesocosms met verschillende sedimenten.

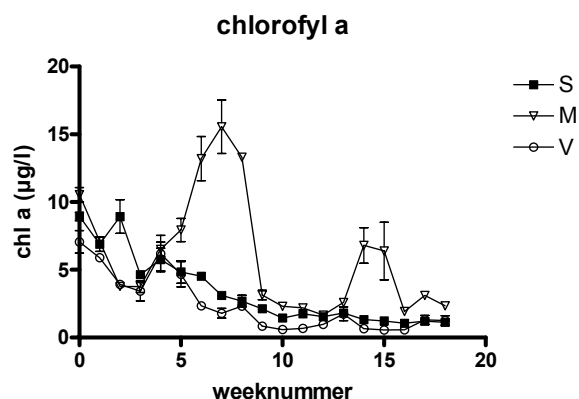
### 3.2.6 Chlorofyl-a

In Figuur 11 staat de gemiddelde ( $n=2$  mesocosms) concentratie chlorofyl a (3 metingen per tijdstip per mesocosm) in de tijd voor elk sediment weergegeven. Het chlorofyl neemt af in mesocosms met sediment S en V tot week 10 waarna het ongeveer gelijk blijft in de tijd. Het chlorofyl a is afhankelijk van het sediment. In mesocosms met sediment M is het chlorofyl a gehalte hoger dan in mesocosms met sediment S en V. Tevens is in mesocosms met sediment M tweemaal een verhoging van het chlorofyl waargenomen, eenmaal tussen week 5 en week 8 en nogmaals in week 13 en 14. De eerste algenbloei veroorzaakt een verhoogde pH en een verhoogd gehalte opgelost zuurstof in diezelfde periode in mesocosms met sediment M. De tweede bloei is minder uitgesproken en gaat niet gepaard met een relatieve verhoging van pH en zuurstof in mesocosms met sediment M (ten opzichte van mesocosms met sediment S en V).



Hoewel het chlorofyl-gehalte in mesocosms met sediment V op veel tijdstippen lager is dan in mesocosms met sediment S, is dit verschil niet significant. De waargenomen verschillen zijn in elk geval niet groot genoeg om ecologisch relevant te zijn.

Het chlorofyl-gehalte in de mesocosms is tevens opvallend laag vergeleken met de veldsituatie. In Van der Molen *et al.* (1998) staan chlorofylgehalten vermeld die in de periode 1980-1996 gemeten zijn in Nederlandse meren en plassen. Het mediane zomer chlorofylgehalte is niet hoger dan 50 µg/l en heeft pieken tot boven de 150 µg/l. Een verklaring voor de lage gemeten chlorofylgehalten kan zijn dat nutriënten zijn opgenomen door de macrofyten. De lage chlorofyl gehalten zijn indicatief voor de helderheid van de waterkolom. Bij de gemeten lage chlorofylgehalten is visueel een heldere waterkolom waargenomen (geen troebelheid gemeten).



Figuur 11 Gemiddelde concentratie chlorofyl a (µg/l) in de tijd in mesocosms met verschillende sedimenten.

### 3.2.7 Fytoplankton

In totaal zijn er 37 fytoplankton-taxa onderscheiden. Het totaal aantal taxa dat per sediment gevonden is staat weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7 Gemiddeld aantal onderscheiden taxa per sediment + standaard deviatie.

Sediment	Aantal taxa
S	12 ± 4
M	23 ± 2
V	19 ± 2

Hoewel het lijkt dat in mesocosms met sediment S het aantal aangetroffen soorten lager is dan in de overige mesocosms is dit niet significant (Tabel 7).

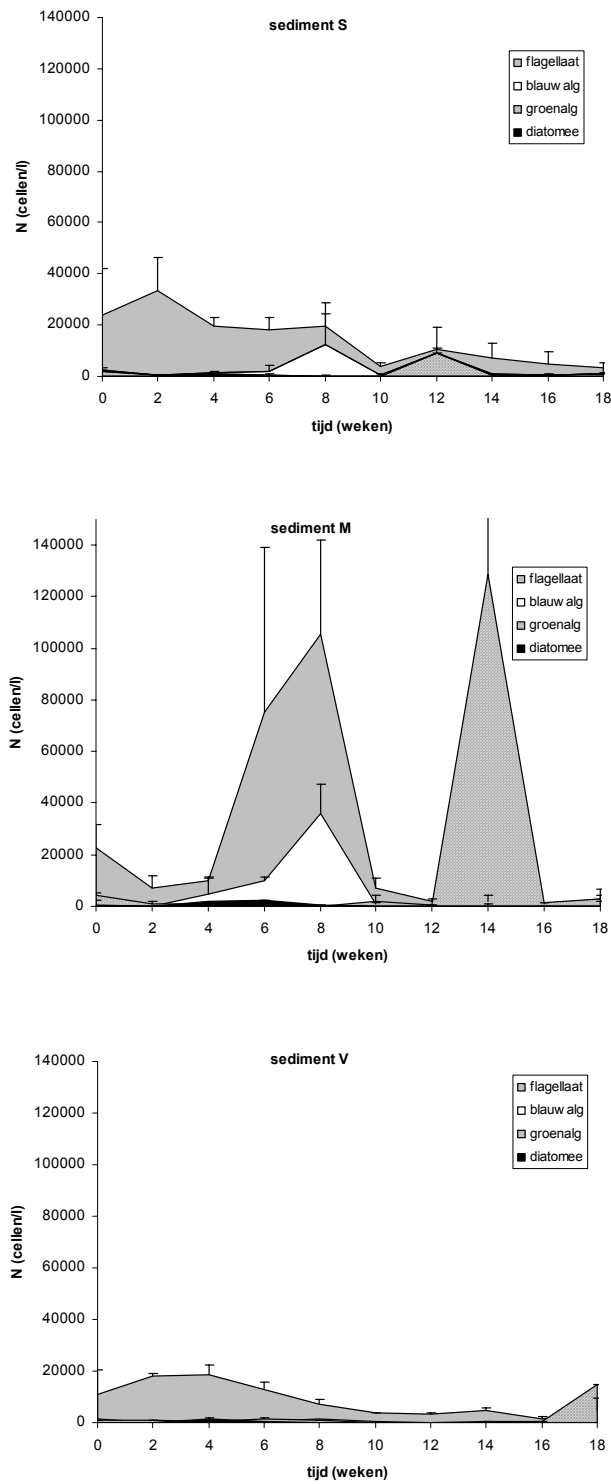
In Figuur 12 staan de ontwikkelingen in cellen per liter van het gemiddelde aantal groenalgen, diatomeeën, blauwalgen en flagellaten in de tijd weergegeven voor elk sediment. De hoogste abundantie in alle systemen heeft de groep van flagellaten, gevolgd door groenalgen. De diatomeeën komen in alle systemen voor in lage dichtheden.

De diatomeeën zijn aanvankelijk in elke mesocosm aanwezig, maar na week 12 worden ze niet meer waargenomen. Dit gaat gepaard met de afname in silicaatconcentratie (Figuur 10). Wanneer de silicaatconcentratie weer toeneemt worden ook de diatomeeën weer waargenomen (week 16). De meest voorkomende diatomee is *Nitzschia sp.* Er zijn geen effecten van het sediment op de ontwikkeling van diatomeeën waargenomen.

De groenalgen hebben een continue dichtheid in de tijd tot week 14. Vanaf week 14 neemt het aantal groenalgen in mesocosms met sediment M toe. Deze toename correspondeert met de tweede toename in chlorofyl concentratie in mesocosms met sediment M (Figuur 11). De meest voorkomende groenalg in alle mesocosms is tot en met week 8 *Ankistrodesmus angustus*. Vanaf week 10 is *Ankyra ancora* de meest dominante groenalg. Er zijn geen effecten van het sediment op de ontwikkeling van groenalgen waargenomen.

De dominante blauwalg die in alle systemen wordt aangetroffen is *Oscillatoria sp.* (nieuwe naam: *Planktotrix sp.*). De blauwalgen zijn in de tijd heel variabel aanwezig. Na een toename vanaf week 4 tot week 8 neemt het aantal snel af en zijn de blauwalgen op een aantal tijdstippen niet meer in elke mesocosm aanwezig. Er zijn geen statistisch significante effecten van het sediment op de ontwikkeling van blauwalgen waargenomen.

De flagellaten hebben in alle mesocosms de hoogste dichtheden fytoplankton. In mesocosms met sediment M wordt tussen week 6 en week 8 een kleine toename van flagellaten waargenomen. Deze toename correspondeert met de eerste toename in chlorofyl a concentratie (Figuur 11) en met de verhoging van pH en zuurstof in mesocosms met sediment M (Figuur 9). Flagellaten in de grootteklasse tussen 3 en 10 µm zijn in elke mesocosm het meest abundant. Er zijn geen effecten van het sediment op de ontwikkeling van flagellaten waargenomen.



*Figuur 12* Gemiddeld aantal cellen per liter in de tijd in mesocosms met verschillende sedimenten voor vier groepen fytoplankton; groenalgen, diatomeeën, blauwalgen en flagellaten.

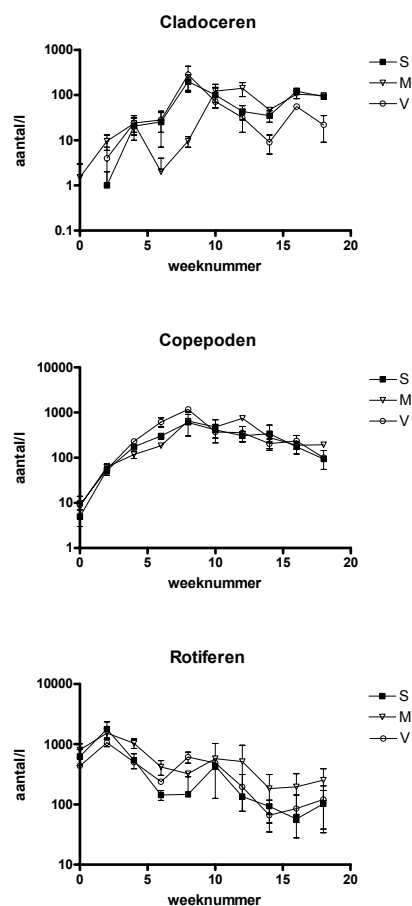
### 3.2.8 Zoöplankton

Er zijn 72 taxa zoöplankton onderscheiden. Voor de rapportage is gekozen om de soorten onder te brengen in drie hoofdgroepen, de cladoceren, copepoden en rotiferen.

In Figuur 13 is het gemiddelde aantal cladoceren, copepoden en rotiferen in de tijd weergegeven voor elk sediment. In het begin van de testfase waren geen cladoceren aanwezig. Vervolgens is in week 5 elke mesocosm geënt met een mix van cladoceren-soorten waardoor het totaal aantal toegevoegde cladoceren in de mesocosm op 0,2 per liter kwam. De cladoceren gemeenschap kwam daarna langzaam op gang (week 4-6). De meest voorkomende cladoceren zijn *Daphnia galeata* en *Bosmina longirostris*, gevolgd door *Daphnia cucullata* en *Chydorus sphaericus*. Er zijn geen verschillen in de cladoceren gemeenschap tussen de verschillende mesocosms waargenomen.

De copepoden gemeenschap nam tot week acht van de testfase toe in omvang, waarna ze langzaam weer afnam. De meest dominante copepode is de calanoïde copepode *Eudiaptomus gracilis*. Er zijn geen verschillen in de copepode gemeenschap tussen de verschillende mesocosms waargenomen.

De rotiferengemeenschap nam in de eerste twee weken iets toe, waarna ze langzaam afnam. De meest voorkomende rotifeer is *Polyartha sp.* Gevolgd door *Keratella quadrata* en *Synchaeta sp.* Er zijn geen verschillen in de rotifeer gemeenschap tussen de verschillende mesocosms waargenomen.



Figuur 13 Gemiddeld aantal cladoceren, copepoden en rotiferen per liter in de tijd in mesocosms met verschillende sedimenten.

### 3.2.9 Macrofyten

De Waterpest (Elodea) is niet geogst en groei is niet gemeten. Niettemin zijn de systemen visueel gevolgd tijdens de testfase.

De macrofyten in mesocosms met sediment S zijn vanaf de tewaterlating geleidelijk aan gaan groeien. Aanvankelijk hebben de macrofyten zich via de bodem verspreid waarna ze langzaam de hoogte zijn ingegaan. In mesocosms met sediment M was er aanvankelijk geen waarneming van macrofyten groei mogelijk omdat het water te troebel was. Dit valt samen met de periode van de eerste algenbloei in mesocosms met sediment M. Nadat de algenbloei voorbij was zijn de macrofyten opgekomen en is het opvallend dat de groei van de macrofyten direct verticaal was. De macrofyten dichtheid in mesocosms met sediment M had een

hogere dichtheid en groeide hoger uit dan in de overige mesocosms. In mesocosms met sediment V zijn de macrofyten opvallend lang laag in groei gebleven.

De snelle verticale groei van de macrofyten in mesocosms met sediment M is kenmerkend voor systemen met een verhoogd nutriënten gehalte. De macrofyten moeten snel de hoogte in om in de concurrentieslag met algen nog licht te kunnen invangen.

In een mesocosm met sediment S is gedurende de testfase een periode van enkele weken geweest dat draadalg en flab is ontwikkeld en zich heeft vastgezet tegen de mesocosmwand. Ook in een mesocosm met sediment V is tijdens de testfase een korte periode (2-3 weken) geweest waarbij flab het wateroppervlak bedekte.

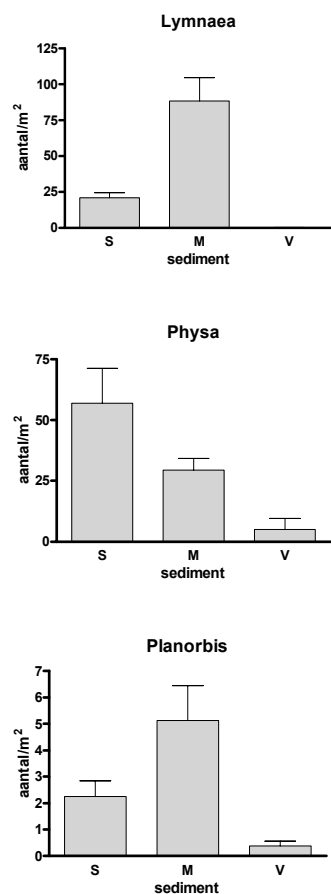
### 3.2.10 Macrofauna

In Figuur 14 is het gemiddeld aantal slakken (*Lymnaea stagnalis*, *Physa sp.* en *Planorbis sp.*) per m<sup>2</sup> mesocosmwand gegeven bij elk sediment.

De longslak *Lymnaea sp.* heeft een dichtheid van ongeveer 24 individuen per m<sup>2</sup> in mesocosms met sediment S. In mesocosms met sediment M is daarentegen een significant hogere dichtheid van ruim 80 *Lymnaea*-individuen per m<sup>2</sup> aangetroffen. *Lymnaea* kwam in mesocosms met sediment V niet voor tijdens de bemonstering. Het aantal *Lymnaea* ligt in mesocosms met sediment V significant lager dan in mesocosms met sediment M. Tussen mesocosms met sediment S en V is er geen significant verschil in het aantal *Lymnaea*.

De slak *Physa sp.* is in mesocosms met sediment S in significant hogere aantallen (63 per m<sup>2</sup>) aanwezig dan in mesocosms met sediment V. Er is geen significant verschil in aantallen in mesocosms met sediment S en M, en tussen mesocosms met sediment M en V.

De slak *Planorbis sp.* heeft in mesocosms met sediment M een significant hogere dichtheid dan in mesocosms met sediment V. Tussen mesocosms met sediment S en M, en tussen mesocosms met sediment S en V zijn de verschillen niet significant.



Figuur 14 Gemiddeld aantal slakken (*Lymnaea*, *Physa*, *Planorbis*) per m<sup>2</sup> plus standaard deviatie weergegeven in mesocosms met verschillende sedimenten.

De macrofauna die gescoord is met behulp van de bladpakketten in de maanden april, mei en juni staan weergegeven in Figuur 15. In maart zijn in alle mesocosms slechts enkele individuen *Asellus* gevonden. Deze resultaten zijn niet opgenomen in de figuur.

In april is in alle mesocosms overwegend *Asellus* aanwezig. In mesocosms met sediment M is significant meer *Asellus* aanwezig dan in mesocosms met sediment S en V. Voor de overige soorten zijn geen verschillen in aantal waargenomen tussen de verschillende mesocosms.

In mei is het aantal soorten en de aantal individuen per soort dat wordt waargenomen in alle mesocosms hoger dan in april. *Asellus* is ook in mei de

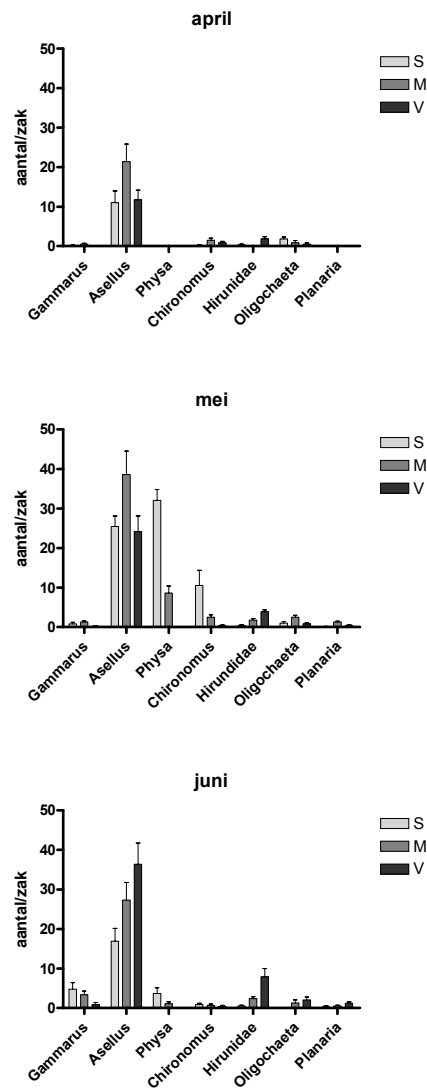
dominante soort, en is in mesocosms met sediment M in significant hogere aantallen waargenomen en opzichte met mesocosms met sediment S en V.

In mei worden *Physa* sp en *Chironomus* in significant in hogere aantallen waargenomen in mesocosms met sediment S ten opzichte van mesocosms met sediment M en V. In mesocosms met sediment V worden bloedzuigers (Hirudinea) significant vaker waargenomen dan in de overige mesocosms. In mesocosms met sediment V wordt de slak *Physa* helemaal niet waargenomen. Wellicht is de afwezigheid van *Physa* in een gevolg van de aanwezigheid van Hirudinea. Boeldzuigers prederen onder andere op slakken.

In juni is *Asellus* nog steeds de meest abundante soort. In tegenstelling tot de samenstelling in mei, is *Asellus* in juni in mesocosms met sediment V in significant hogere aantallen aanwezig ten opzichte van mesocosms met sediment S. *Gammarus* lijkt in juni met name in mesocosms met sediment S iets in aantal toe te nemen. Wellicht is de toename van *Asellus* in mesocosms met sediment V, en de afname van *Asellus* in mesocosms met sediment S, een gevolg van de ontwikkeling van de *Gammarus* populatie. De verschillen in *Gammarus* populatie tussen de verschillende mesocosms zijn niet significant maar kunnen verklarend zijn in de waarnemingen rondom *Asellus*. *Gammarus* fourageert onder andere op *Asellus*, en de aanwezigheid van *Gammarus* in mesocosms met sediment S kunnen indicatief zijn voor de verlaagde *Asellus* aantallen.

In juni zijn de aantallen *Physa* afgenomen ten opzichte van mei, maar is *Physa* nog steeds afwezig in mesocosms met sediment V. Ook in juni zijn Hirudinea voornamelijk aanwezig in mesocosms met sediment V (significant hogere aantallen ten opzichte van mesocosms met sedimenttype S en M).





*Figuur 15 Macrofauna: Het gemiddeld aantal individuen per soort gevonden per bladpakket in de maanden april, mei en juni in mesocosms met verschillende sedimenten.*

### 3.3 Decompositie

In Figuur 16 is de decompositie van elzenblad weergegeven in de maanden maart, april, mei en juni in de mesocosms met de verschillende sedimenten.

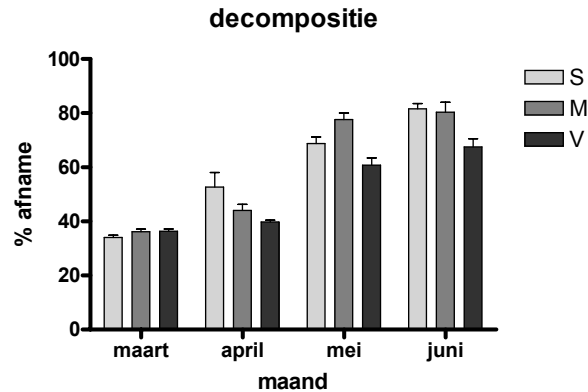
De decompositiesnelheid per maand neemt toe in de loop van de testfase. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de toenemende temperatuur waardoor de aanwezige macrofaunagemeenschap zich ontwikkelt tot een zomerpopulatie en actiever wordt. Tevens zal de microbiële gemeenschap zich verder ontwikkelen en actiever worden met toenemende temperatuur.

De gewichtsafname is in maart in alle mesocosms ongeveer 30%. Dit is voornamelijk gewichtsverlies als gevolg van uitloging van het blad (Peterson & Cummins, 1973 ; Kaushik & Hynes, 1971). Macrofauna is in de bladpakketten in zeer lage aantallen waargenomen. Er zijn geen significante verschillen in decompositie tussen de mesocosms waargenomen.

In de maand april neemt de decompositiesnelheid toe ten opzichte van maand maart. Alleen voor de decompositie in mesocosms met sediment S is deze toename ten opzichte van maart significant. Decompositie in april in mesocosms met sediment S is significant hoger dan in mesocosms met sediment V. Decompositie in mesocosms met sediment S en M, en in mesocosms met sediment M en V, verschilt niet.

In mei is de decompositiesnelheid van alle systemen significant hoger dan in maand april. Decompositie in mesocosms met sediment M is significant hoger dan in mesocosms met sediment V. Decompositie in mesocosms met sediment S en M, en in mesocosms met sediment S en V verschilt niet significant.

In juni is de decompositiesnelheid ten opzichte van mei alleen nog significant toegenomen in mesocosms met sediment S. In mesocosms met sediment S en M zijn de decompositiesnelheden aan elkaar gelijk. Daarentegen is de decompositie in mesocosms met sediment V significant lager dan de decompositie in mesocosms met sediment S en M.

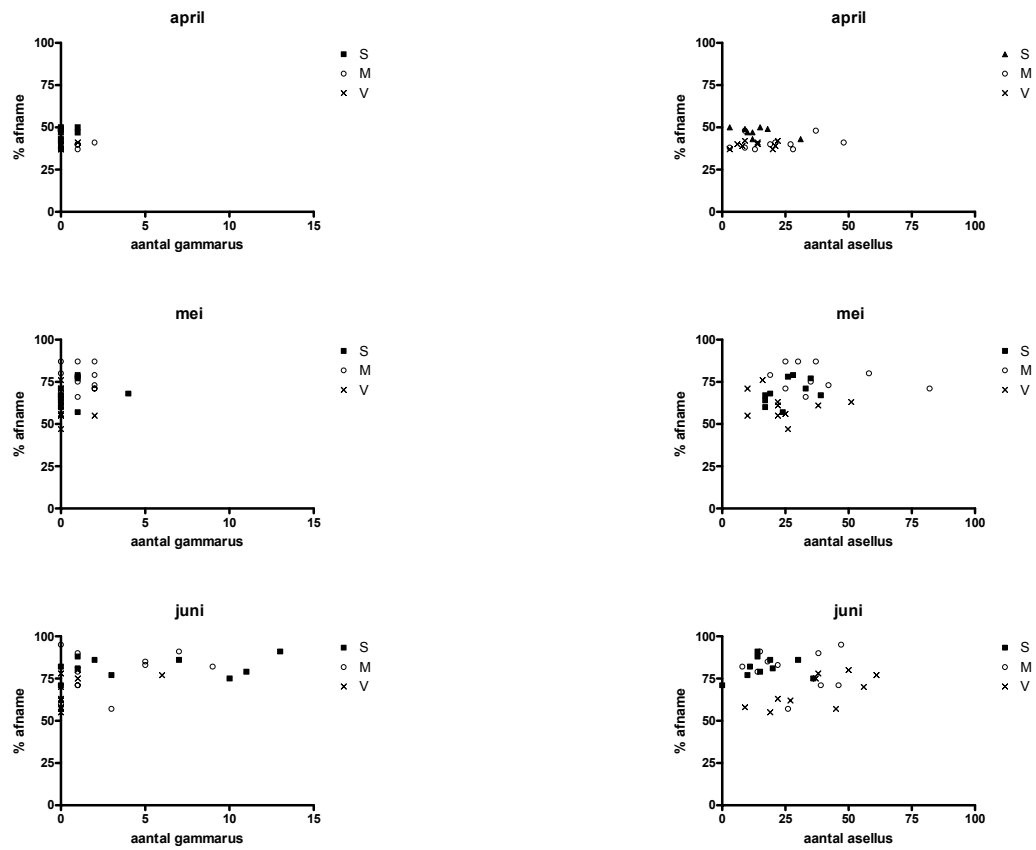


Figuur 16 Decompositie van elzenblad in de maanden maart, april, mei en juni in mesocosms met verschillende sedimenten, gemeten als % gewichtsafname (+ standaard deviatie)

De macrofauna soorten die in deze studie aanwezig zijn in de mesocosms en vanuit hun ecologische rol de grootste bijdrage leveren aan het decompositieproces zijn *Gammarus* en *Asellus*. *Gammarus* eet direct van het blad. *Asellus* daarentegen foerageert voornamelijk op de schimmels en epifyton op blad en eet af en toe onwillekeurig een stukje blad mee. In Figuur 17 staan voor de maanden april, mei en juni het percentage afname van het elzenblad per bladpakket met de daarbij corresponderende aantallen *Gammarus* en *Asellus*.

In april is de decompositie in mesocosms met sediment S significant hoger dan in de overige mesocosms, maar het aantal *Asellus* is hoger in mesocosms met sediment M.

In mei en juni is de decompositie in mesocosms met sediment V lager dan in mesocosms met sediment S en M. Het verschil in afbraaksnelheid kan ten opzichte van mesocosms met sediment M worden gerelateerd aan het hogere aantal *Asellus*. Vergeleken met mesocosms met sediment S is er echter geen verschil in aantal *Asellus*. Wellicht is er tevens een effect op de microbiële of epifytische gemeenschap waardoor *Asellus* minder fourageert op het elzenblad.



Figuur 17 *Het percentage gewichtsafname van elzenblad in de maanden april, mei en juni in mesocosms met verschillende sedimenten uitgezet tegen enerzijds het aantal Gammarus en anderzijds het aantal Asellus bij het corresponderende bladpakket.*

## 4. Discussie en voorstel

In dit hoofdstuk worden meerdere onderwerpen behandeld. Het voornaamste doel in de beschreven pilot studie was de ontwikkeling van methodieken voor het meerjarig onderzoek gebaseerd op mesocosmsystemen, en om voorstellen te doen voor optimalisatie van de experimentele opzet voor het onderzoeken van effecten van verontreinigd sediment op ecologische streefbeelden. De toegepaste technieken worden in dit hoofdstuk besproken op de bruikbaarheid en relevantie in onderzoek naar de haalbaarheid van het ecologisch streefbeeld. Om de waarde van de testmethode te kunnen beschrijven wordt eerst ingegaan op de ecologische bevindingen en gevolgtrekkingen die er op grond van het eerste onderzoeksjaar getrokken konden worden.

### 4.1 Waterbodems en ecologische streefbeelden- pilot studie 1

In deze paragraaf worden de algemene ontwikkeling van de mesocosms gedurende het pilotonderzoek kort besproken.

#### *Sediment S:*

Het chemische kwaliteitsoordeel van sediment S is volgens de Vierde Nota Waterhuishouding klasse 0. In mesocosms met sediment S heeft zich gedurende de testfase een macrofyten gedomineerd systeem ontwikkeld, en was de waterkolom helder. In een van de mesocosms met sediment S heeft zich draadalg en flab ontwikkeld. Deze laatste primaire producenten domineerden tijdens deze periode echter niet. In vergelijking met sediment M hebben mesocosms met sediment S een kleinere populatie slakken en macrofaunagemeenschap. Het decompositieproces is gelijk aan het proces in mesocosms met sediment M.

#### *Sediment M:*

Het chemische kwaliteitsoordeel van sediment M is volgens de Vierde Nota Waterhuishouding klasse 2. In mesocosms met sediment M heeft zich gedurende de testfase een macrofyten gedomineerd systeem ontwikkeld, en was de waterkolom helder. In vergelijking met mesocosms met sediment S en sediment V was de macrofytendichtheid hoger, wellicht gestuurd door het hogere organisch stof gehalte. Ook zijn de slakkenpopulatie en de macrofaunagemeenschap in mesocosms met sediment M in vergelijking met de overige mesocosms individuenrijker. Het decompositieproces is niet structureel sneller dan in de overige mesocosms.

#### *Sediment V:*

Het chemische kwaliteitsoordeel van sediment V is volgens de Vierde Nota Waterhuishouding klasse 4. In mesocosms met sediment V heeft zich gedurende de testfase een macrofyten gedomineerd systeem ontwikkeld, en was de waterkolom

helder. In vergelijking met mesocosms met sediment S en sediment M was de macrofytendichtheid visueel gelijk aan S, en lager dan M. De groei van macrofyten bleef voornamelijk in hoogte achter.

Mesocosms met sediment V waren onderscheidend in het decompositieproces; de snelheid lag tot 25% dan lager in mesocosms met sediment S en M. Het verschil in decompositiesnelheid is niet gecorreleerd met het verschil in aantallen *Gammarus* en *Asellus*.

De slakkenpopulatie in mesocosms met sediment V is in vergelijking met de mesocosms met sedimenten S en M sterk gereduceerd.

In alle mesocosms heeft zich gedurende de testfase van het pilot-experiment een helder macrofyten gedomineerd systeem ontwikkeld en wordt er voldaan aan een van de voorwaarden van het ecologisch streefbeeld. Toch zijn er enkele kanttekeningen te plaatsen bij het functioneren van de mesocosms, en daaraan gerelateerd de duurzaamheid van de ingestelde ecosystemen:

#### pH

Tijdens de pilotstudie is vanaf week 10 in alle mesocosms een pH boven de 10 waargenomen. Dit is een indicatie voor verhoogde primaire productiviteit. De planten (zowel algen als macrofyten) nemen koolzuur op waardoor de CO<sub>2</sub> concentratie in het water daalt en de pH omhoog gaat. Een pH boven de 9 is echter niet gezond voor het aquatisch systeem (Normoverschrijding volgens Leidraad Monitoring, CIW). Indien de pH langere tijd te hoog blijft kan dat duiden op een verstoorde koolstofaanvoer. De aanvoer van CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer op het wateroppervlak is dan onvoldoende en kan op termijn resulteren in koolzuur tekort.

De onvoldoende CO<sub>2</sub> uitwisseling vanuit de atmosfeer naar het water kan een gevolg zijn van een eigenschap van de mesocosms. In verhouding tot natuurlijke ecosystemen hebben de model ecosystemen een kleiner oppervlakte:volume verhouding. De inwerking van de wind (strijk lengte) kan geringere zijn. Zodoende is een goede uitwisseling van gassen met de atmosfeer minder aanwezig. Voor een vervolgstudie is het aan te bevelen de gasuitwisseling te bevorderen door middel van technische aanpassingen aan het systeem.

#### Decompositieproces

Het decompositieproces is vertraagd in mesocosms met klasse 4 sediment. Het decompositieproces is een van de bepalende processen binnen het functioneren van het ecosysteem; Het is een belangrijke schakel in het verloop van de biochemische cycli van onder andere stikstof en koolstof. Biodiversiteit, maar daarbij ook het actueel functioneren van de lokaal aanwezige organismen (macrofauna en micro-organismen) garanderen de continuïteit van dergelijke processen. Lange termijn effecten van de vertraagde decompositie kunnen liggen in een verstoorde nutriënten turn-over en een verstoring van de voedselweb relatie waarbij de macrofauna en micro-organismen een sleutelrol hebben. In de praktijk kan dit leiden tot ophoping van organisch materiaal op de bodem van het systeem (bv

ingevallen bladeren, afgestorven plantenmateriaal). Het decompositieproces kan een indicatieve rol spelen om het functioneren van de systemen onder invloed van verontreinigde sedimenten te monitoren.

#### Slakken

De afwezigheid van slakken in mesocosms met klasse 4 sediment is in deze pilot opvallend. De afwezigheid kan verschillende oorzaken hebben die in deze pilotstudie niet zijn onderzocht:

- Directe toxiciteit op de slakken
- Toxisch effect op perifyton, waardoor de voedselbron afwezig is
- Predatie van bloedzuigers op de slakken

Door het ontbreken van de regulerende rol van de grazende slakken kan in het voorjaar een ongelimiteerde groei van macro-algen (Flab) optreden. Indien grote hoeveelheden flab in de systemen tot ontwikkeling komt zal dit het lichtklimaat veranderen en de macrofyten het licht ontnemen. Het macrofyt gedomineerde systeem zal zich dan richting een algen-gedomineerd systeem ontwikkelen, waardoor aan het ecologisch streefbeeld niet langer wordt voldaan.

In het voorjaar van deze studie waren aanvankelijk in alle systemen volwassen slakken aanwezig als gevolg van de introductie bij de inrichting van de mesocosms. Zodoende is de algenontwikkeling dit voorjaar nog wel gecontroleerd. In het volgende voorjaar zijn de slakkendichtheden aangepast op de draagkracht van het systeem. Eventuele directe en indirecte effecten op slakken en indirecte effecten op ecosysteem niveau zullen dan groter kunnen zijn dan in het afgelopen experimentele seizoen.

De bovengenoemde aspecten zijn belangrijke componenten in een gezond functionerend ecosysteem en vertonen een afwijking in systemen met klasse 4 sediment ten opzichte van het functioneren in het ontwikkelde systeem met klasse 0 sediment. Het is aan te bevelen deze componenten die in de pilot reeds zichtbaar zijn geworden in meer detail te onderzoeken in een vervolgtraject.

De trofische status van het klasse 2 sediment zal ook in het volgende voorjaar bepalend zijn voor de ontwikkeling van het systeem. Afgelopen jaar heeft zich een macrofyten gedomineerd systeem ontwikkeld. Indien het volgende seizoen een algenbloei opkomt en het licht wegneemt dat nodig is voor de macrofyten om uit te groeien, dan zal het systeem zich algengedomineerd kunnen ontwikkelen.

Tevens moet de opmerking worden geplaatst dat er in de huidig gebruikte experimentele opzet geen vissen aanwezig zijn. Vissen hebben een stabiliserende rol in het de ontwikkeling van een ecosysteem (Scheffer, 1998). Bodemwoelende vissen als brasem zorgen voor een troebele toestand van het water. Omdat algen een betere concurrentie positie dan macrofyten hebben met betrekking tot licht, kan

er in het geval van aanwezigheid van vis en de diverse sedimenten een ander ecosysteem tot ontwikkeling komen dan in deze studie is geobserveerd.

## 4.2 Methodieken

Voor de beoordeling van de effecten van sedimentkwaliteit op de tot standkoming van het gedefinieerde ecologisch streefbeeld hebben de mesocosm het doel gedient. Het effect van sediment is geïsoleerd doordat invloeden als bv. bodemwoelende vis en de troebelende werking van wind niet plaatsvinden in de mesocosms. Voor de laatst genoemde factoren is het gebruikte type mesocosm minder veld-realistisch.

In paragraaf 4.1 zijn de ingestelde streefbeelden gediscussieerd in relatie tot de ecologie. De gebruikte methodieken worden hieronder bediscussieerd, opgesplitst naar inrichting van de mesocosms, aanpassing aan de mesocosms en aanpassing aan de monitoring (sfrequentie). Tevens is een geschatte kostenspecificatie opgenomen voor de diverse experimentele onderdelen.

### 4.2.1 Inrichting

#### Sediment

De geselecteerde en gebruikte sedimenten voldoen niet aan de eisen zoals gesteld aan het begin van de experimentele fase. Het geselecteerde referentiesediment “sediment S” voldoet aan de gestelde eisen, en ook een klasse 4 sediment is geselecteerd. De verontreinigingsgraad van dit sediment is voornamelijk op basis van PAK en metalen. Het tweede geselecteerde klasse 4-sediment bleek na chemische analyse en kwaliteitsbeoordeling klasse 2 sediment (sediment M) te zijn, op basis van metalen en PAK. Omdat de beschreven studie een pilot studie betrof is het experiment met de beschreven sedimenten uitgevoerd. De selectie van sedimenten blijkt een kritisch onderdeel van de experimentele opzet en voor dit aspect dient in een vervolgstudie ruim tijd voor chemische analyses en definitieve selectie worden gereserveerd.

In alle mesocosms is in de waterfase een hoge koperconcentratie aangetroffen, die niet afgeleid kan worden uit concentraties in het onderliggende sediment. Op basis van gegevens uit de DONAR database van rijkswaterstaat ([www.waterbase.nl](http://www.waterbase.nl)) blijkt dat in het najaar van 2002 in het oppervlaktewater van het Markermeer een koperconcentratie is bepaald van 3,4 µg/l. Dit kan verklarend zijn voor de gemeten concentraties in de mesocosms. Op basis van evenwichtspartitie is het evenwicht in metaalgehalten tussen sediment en waterfase berekend. Het blijkt dat de metalenconcentraties in de waterfase nog niet in evenwicht zijn met de gehalten in het sediment.



### Water

De inrichting vond plaats in de winterperiode en diverse planktonsoorten zijn niet meer aanwezig in het natuurlijke geïntroduceerde water. De winterieren die diverse zoöplankton soorten produceren voordat de koude intreedt, zijn in de meren, sloten en plassen naar de bodem gezakt, of aan de oever gehecht. Bij waterinname komen deze winter-eieren niet mee, en is gebleken dat voornamelijk de ontwikkeling van cladoceren gemeenschap uitbleef. Omdat de cladoceren een bepalende rol in het aquatisch systeem hebben is er na constatering van het uitblijven van cladoceren gemeenschap een ent cladoceren vanuit een gerijpte mesocosm verdeeld over de 6 ingerichte mesocosms. Het is aan te bevelen dat de inrichting van mesocosms plaatst vindt in het late najaar of in het vroege voorjaar en niet in de winterperiode.

Het is aan te bevelen het water voor inname te analyseren op stoffen die persistent zijn en gedurende het onderzoekstraject voor effecten kunnen zorgen. Anderzijds kan de DONAR database geraadpleegd worden om inzicht te krijgen in potentiële aanwezigheid van diverse stoffen. Hierbij kan gedacht worden aan pesticiden, metalen en PAK.

#### **4.2.2 Technische aanpassingen mesocosms**

##### pH

In verband met de waarneming van hoge pH waarden in alle systemen wordt voorgesteld om de gasuitwisseling aan het wateroppervlak te bevorderen met behulp van technische aanpassingen aan het systeem. Een klein waterpompje kan een waterbeweging in gang zetten zodat er meer opwerveling aan het wateroppervlak is en mogelijk een pH verlaging tot gevolg heeft.

#### **4.2.3 Aanpassing monitoringsfrequentie**

##### Fysisch chemisch

De diverse fysisch- chemische parameters hebben inzicht gegeven in verschillen in de primaire productiviteit van het systeem. De bepalingen zijn in een korte tijd uitvoerbaar en passen daardoor in een wekelijks meetprogramma. Een lagere meetfrequentie wordt afgeraden omdat door de snelle ontwikkeling van fytoplankton een algenbloei gemist kan worden.

##### Helderheid:

Tijdens deze studie is de helderheid afgeleid van het chlorofyl gehalte. De helderheid van de systemen kan in een vervolgstudie tevens worden bepaald aan de hand van metingen van bv de turbiditeit.

##### Nutriënten

Nutriënten in de waterfase zijn gedurende de 18 weken van de testfase wekelijks bepaald. Monitoring over een langere periode geeft inzicht in de dynamiek van

nutriëntenbeschikbaarheid en de mogelijkheid voor primaire productiviteit. Een tijdreeks geeft voldoende inzicht en voorgesteld wordt om in het vervolgonderzoek de nutriënten analyses in plaats van wekelijks, maandelijks uit te voeren.

#### Chlorofyl a

De bepaling van chlorofyl a heeft de afgelopen studie in drievoud per bemonsteringdatum plaatsgevonden om variatie binnen de mesocosm te bepalen. Het blijkt dat de variatie in de mesocosm te verwaarlozen is en dat een enkele meting per mesocosm per monsterdatum volstaat. De wekelijkse bepaling van chlorofyl a geeft voldoende inzicht in de dynamiek in ontwikkeling van de algen. Voorgesteld wordt om de meetfrequentie van chlorofyl a niet aan te passen, maar de metingen in plaats van in drievoud in enkelvoud uit te voeren.

#### Macrofauna

Tijdens de testfase is macrofauna maandelijks bemonsterd met behulp van de bladpakketten. Deze methode werkt goed en omdat er een vijfvoudige bepaling per bemonstering wordt uitgevoerd geeft de methode tevens inzicht in heterogeniteit in de macrofaunagemeenschap in de mesocosm.

Het laagste determinatieniveau was het geslachtsniveau, en voor de moeilijker determineerbare dieren is het klasseniveau het laagste determinatie niveau (bv Polychaeta). Er zijn aanwijzingen dat er sedimentgerelateerde effecten zijn op het macrofauna dat op de bodem leeft. Het voorstel is om de macrofaunagemeenschap intensiever te monitoren door tweewekelijks een bemonstering uit te voeren. Hierbij zal de determinatie op een hoger taxonomisch niveau kunnen plaatsvinden.

Een artefact in de macrofaunabemonstering in deze eerste pilot studie kan zijn dat macrofaunagemeenschap in de mesocosms nog niet is ontwikkeld tot de “eigenlijke” gemeenschap. De *Gammarus* populatie heeft een langzame ontwikkeling gehad in alle mesocosms. Waarschijnlijk is dit het gevolg van de lange koude periode tijdens de acclimatisatiefase. Pas na het passeren van alle seizoenen wordt verwacht dat de macrofaunasamenstelling gestabiliseerd is rondom de draagkracht van de mesocosm. Monitoring van de macrofaunagemeenschap blijft een waardevolle parameter in de duurzaamheidsbepaling van het zich ontwikkelde systeem.

Een aparte groep van aandacht binnen de macrofauna gemeenschap zijn de slakken. Tijdens de pilot studie is de slakken gemeenschap additioneel bemonsterd met behulp van de schraapmethode. Er is een totaal oppervlakte mesocosmwand geschraapt van 0,75 m<sup>2</sup>. Deze methode geeft een goede indicatie in aantallen slakken per soort per mesocosmwand. De ontwikkeling van de slakkengemeenschap is door de eenmalige bemonstering niet bepaald.

De macrofaunagemeenschap tesamen met de slakkenpopulatie blijken een sterk onderscheidende parameter te zijn met bijhorend functionele rol, en aanbevolen wordt om deze parameter in vervolgonderzoek in meer detail te onderzoeken.

### Macrofyten

De ontwikkeling van macrofyten is tijdens de pilotstudie niet kwantitatief vastgesteld. Afgelopen seizoenen zijn de macrofyten wel in alle systemen tot ontwikkeling gekomen. Er is geen bepaling van de groei uitgevoerd omdat de mesocosms in stand werden gehouden en oogst van de macrofyten voor een structurele verandering zouden zorgen in de ontwikkeling van de systemen. Voorgesteld wordt om in de volgende experimentele periode macrofyten ontwikkeling te monitoren waarbij kleine potten met sediment met macrofyten worden geplaatst in de mesocosm. De potten met macrofyten kunnen worden geoogst zonder dat de complete mesocosm opgeofferd hoeft te worden.

### Zoöplankton

Tijdens de pilotstudie zijn geen verschillen in zoöplankton gemeenschap tussen de diverse mesocosms waargenomen. De tweewekelijkse bemonstering en analyse van zoöplankton geeft voldoende inzicht in de ontwikkeling.

### Fytoplankton

Tijdens de pilotstudie zijn geen verschillen in de fytoplankton gemeenschap tussen de diverse mesocosms waargenomen. De tweewekelijkse bemonstering en analyse van fytoplankton geeft voldoende inzicht in de ontwikkeling.

### Decompositie

De verstoring in het decompositieproces heeft gevolgen op de energiebalans en het functioneren van het systeem. De decompositiesnelheid relateert zich aan de aanwezigheid en het functioneren van macrofauna. Monitoring van de decompositie over een langere periode, en in mesocosms waarvan de macrofauna gemeenschap zich gestabiliseerd heeft rondom de karakteristieken van het sediment, geeft geen direct antwoord op het behalen van het streefbeeld. Daarentegen krijgt men bij bepaling van decompositie over een langere periode direct inzicht in onderliggende primaire processen van het ecosysteem. Voorgesteld wordt om het decompositieproces nader te bekijken en om hierin ook de microbiële component te betrekken in het onderzoek.

In Tabel 8 staat een geschatte kostenspecificatie voor de diverse experimentele onderdelen. Rapportage en management zijn buiten beschouwing gelaten. Tevens is een afweging gemaakt in het percentage kosten en de betekenis die de resultaten hebben gehad op de verworven inzichten. Het blijkt dat bv met slechts 5% van de totale experimentele kosten de macrofauna en slakken bemonsterd zijn, die tevens een sterk onderscheidend vermogen hebben in dit experiment. De standaard waterparameters en nutriënten analyse beslaan een hoog aandeel in de kosten wat gerelateerd is aan de hogere meetfrequentie en kosten per analyse. Op basis van deze tabel en de onderstaande discussie per monitoringstechniek wordt de paragraaf afgesloten met een samenvattende tabel met daarin aanpassingen in mesocosmtechniek en aanpassingen in monitoringsfrequentie.

*Tabel 8 Percentage kosten per onderzochte parameter en betekenis in de discussie per parameter (inclusief inrichting) (++:sterk onderscheidende parameter in verhouding tot de kosten, +: gemiddeld onderscheidende parameter in relatie tot de kosten).*

<b>Wat</b>	<b>Percentage kosten</b>	<b>Betekenis</b>
Chemie water	2%	+
Macrofauna/slakken	5%	++
Nutrienten	26%	+
Chemie bodem	7%	++
Fytoplankton	8%	+
Zooplankton	8%	+
Decompositie	13%	+
Inrichting	14%	++
Standaard water parameters	18%	+

### **4.3 Voorstel methodieken in vervolg onderzoek**

#### **4.3.1 Aanpassing**

In Tabel 9 staat een voorstel met aanpassingen in mesocosmtechniek en aanpassingen in monitoringsfrequentie van de diverse parameters. Aanvullingen op de gebruikte set parameters zijn ook opgenomen; perifyton en microbiële activiteit als parameters in relatie tot respectievelijk de functionaliteit van slakken en het decompositieproces.

*Tabel 9 Voorgestelde aanpassing mesocosmsysteem en meetfrequentie diverse parameters voor vervolgstudie*

<b>parameter</b>	<b>Frequentie pilot 2003</b>	<b>Frequentie vervolg</b>	<b>opmerking</b>
Fysisch chemisch	wekelijks	wekelijks	pH reducerende techniek toepassen
Nutriënten	wekelijks	maandelijks	
Chlorofyl a	wekelijks	wekelijks	
Macrofyten	visueel	twee-wekelijks	Bedekking, groei in de tijd
Macrofauna	maandelijks	twee- wekelijks	Determinatie niveau
perifyton	-	twee-wekelijks	Soorten/chl a
Macro-algen (flab)	-	wekelijks	Bedekking/ visueel
Fytoplankton	Twee-wekelijks	twee-wekelijks	
Zoöplankton	Twee-wekelijks	twee-wekelijks	
Slakken	eindbemonstering	twee-wekelijks	schraapmethode
Microbiele activiteit	-	maandelijks	Microtox
Decompositie	maandelijks	maandelijks, regressie over langere periode	In relatie tot macrofaunadichtheden

#### **4.3.2 Vervolgonderzoek**

In de opdracht “waterbodemonverontreiniging en de haalbaarheid van ecologische streefbeelden: pilotstudie 2” is een vervolgonderzoek voorgesteld waarin de belangrijkste discussiepunten uit deze pilot zijn opgenomen. In afstemming met het hoogheemraadschap is het volgende afgesproken:

Het vervolgonderzoek zal maart 2004 van start gaan. Deze studie begint met een aanpassing aan het mesocosm systeem om te proberen windwerking te simuleren, en zodoende de hoge pH in de loop van het seizoen te reduceren.

Gedurende het voorjaar zal de ontwikkeling en de duurzaamheid van de ingestelde ecologische beelden laag frequent worden gemonitord. Hierin worden fysisch chemische parameters, bedekkingsgraad macrofyten, macrofauna, zooplankton, fytoplankton en nutriëntenstatus in het monitoringsprogramma opgenomen. Indien het streefbeeld gaat afwijken zal met behulp van inrichtingsmaatregelen geprobeerd worden het streefbeeld te herstellen.

## 5. Literatuur

Crommentuijn T., M.D. Polder & E.J. van de Plassche (1997): Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations for metals, taking background concentrations into account. RIVM report No. 601501001.

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

Kaushik N.K. & H.B.N. Hynes (1971): The fate of the dead leaves that fall into streams. Arch. Hydrobiol. 68(4):465-515.

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

Kramer K.J.M., R.G. Jak, B. van Hattum & R.N. Hooftman (2001): Koper in de Nederlandse oppervlaktewateren. Toxiciteit in relatie tot organisch materiaal. STOWA rapport 2001/06.

Molen D.T. van der, R. Portielje, P.C.M. Boers & L. Lijklema (1998). Changes in sediment phosphorus as a result of eutrophication and oligotrophication in Lake Veluwe, The Netherlands. Water Res. 32(11):3281-3288.

Peterson R.C. & K.W. Cummins (1973): Leaf processing in a woodland stream. Freswat. Biol. Vol 4: 343-368.

Scheffer M. (1998): Ecology of Shallow Lakes. Chapman and Hall. London.357 pp.

Stortelder P.B.M., M.A. van der Gaag & L.A. van der Kooij (1989): "Kansen voor waterorganismen". Een ecotoxicologische onderbouwing voor kwaliteitsdoelstellingen voor water en waterbodem. Deel 1. Resultaten en berekeningen. DBW/RIZA nota nr. 89.016a.

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

Straalen N.M. van, A.A. Koelmans, J.M. Brils & R. Kampf (2002). STW-voorstel Waterbodemonverontreiniging en de haalbaarheid van ecologische streefbeelden.

Vierde nota waterhuishouding. Regeringsbeslissing. (1998). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.

## 6. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier  
R. Kampf  
Postbus 850  
1440 AW Purmerend

Namen en functies van de projectmedewerkers:

D.M.E. Slijkerman	projectleider
W.E. Lewis	projectmedewerker
G. Hoornsman	projectmedewerker
A.C. Sneekes	projectmedewerker
E.M. van der Vlies	projectmedewerker
E.M. Foekema	Onderzoeker

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

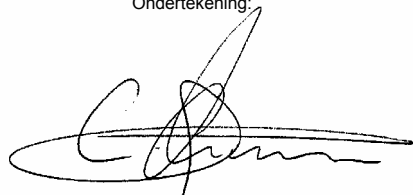
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier  
(analyses: nutriënten en chemie water en bodem)

AquaSense Amsterdam (zoöplankton analyse)

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

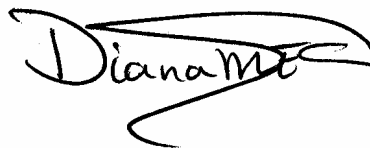
December 2002 – juli 2003

Ondertekening:



C.C. Karman  
Afdelingshoofd  
13 april 2004

Goedgekeurd door:



D.M.E. Slijkerman  
Projectleider  
13 april 2004



## Bijlage 1 Metaal in sediment

De gemeten metaalgehalten voor elk sediment en daarbij de minimumkwaliteit (MTR) en de streefwaarde volgens de vierde Nota Waterhuishouding.

*Gemeten metaal gehalten in de sedimenten in mg/kg droge stof*

Datum	Sediment	Submonster	Arseen	Cadmium	Chroom	Koper	Zink	Kwik	Lood	Nikkel
12-2-2003	Ma	1	13,8	1,33	25,2	81,7	330	0,38	157	25,7
12-2-2003	Mb	1	15,5	1,45	26	86,9	358	0,45	163	28,5
12-2-2003	Sa	1	5,63	0,19	20,3	6,72	34	0,07	13,5	13
12-2-2003	Sb	1	5,05	0,18	17,2	5,14	30,2	0,03	10,2	10,6
12-2-2003	Va	1	11,5	0,85	21,8	79,9	402	5,12	761	29,8
12-2-2003	Vb	1	13	0,92	29,4	130	323	20,2	518	38,7
8-7-2003	Ma	1	14,2	1,47	29,6	95,2	380	0,44	154	33,1
8-7-2003	Ma	2	11,9	1,19	24,1	66,6	316	0,43	121	23
8-7-2003	Ma	3	11,6	1,2	23,8	82,2	304	0,3	143	23,4
8-7-2003	Mb	1	14,7	1,26	29,8	70,3	304	0,36	141	28,3
8-7-2003	Mb	2	12,5	16,4	23,9	73,1	352	0,35	139	25,3
8-7-2003	Mb	3	7,86	0,79	16,9	59,7	213	0,37	112	16,2
8-7-2003	Sa	1	3,24	0,18	12,1	4,06	25	0,03	9,12	7,3
8-7-2003	Sa	2	4,07	0,21	19	5,59	31,7	0,02	13,8	10,8
8-7-2003	Sa	3	3,86	0,19	13,4	4,88	25,6	0,02	10,1	8,57
8-7-2003	Sb	1	3,22	0,19	12,9	3,86	24	0,02	10,5	7,88
8-7-2003	Sb	2	4,54	0,23	18	5,54	34,6	0,04	9,97	10,6
8-7-2003	Sb	3	5,32	0,26	26,1	7,86	42,2	0,49	13	15,1
8-7-2003	Va	1	19,1	1,47	32,6	2283	574	2,53	553	42,3
8-7-2003	Va	2	12,6	1,06	27,7	97,2	423	3,8	565	31,1
8-7-2003	Va	3	10,8	0,74	26,8	78,7	354	1,59	887	28,3
8-7-2003	Vb	1	11	0,7	39,9	59,1	185	0,39	238	32
8-7-2003	Vb	2	10,6	0,71	26,8	83,1	619	1,87	954	28,6
8-7-2003	Vb	3	9,44	1,17	26	92,7	397	1,71	457	44,4

*De minimumkwaliteit (MTR) en de streefwaarde (beide mg/kg) in sediment. (bron: vierde Nota waterhuishouding).*

	arseen	cadmium	chroom	koper	kwik	nikkel	lood	zink
MTR	55	12	380	73	1.4	44	530	620
SW	29	0.8	100	36	0.3	35	85	140

## Bijlage 2 PAK in sediment

De gemeten PAK in elk sediment en daarbij de minimumkwaliteit (MTR) en de streefwaarde volgens de vierde Nota Waterhuishouding.

*Gemiddelde gehalte individuele PAK mg/kg droge stof.*

Datum	Sediment	submonster	Ants <sup>1</sup>	Baas <sup>2</sup>	Baps <sup>3</sup>	Bghips <sup>4</sup>	Bkfs <sup>5</sup>	Chrs <sup>6</sup>	Fens <sup>7</sup>	Flus <sup>8</sup>	Inps <sup>9</sup>	Nafs <sup>10</sup>
12-2-2003	Ma	1	0,64	1,23	1,13	1	0,61	1,3	1,7	3,79	1,13	0,03
12-2-2003	Mb	1	0,65	1,14	1,01	1,04	0,56	1,18	1,53	3,76	0,85	0,04
12-2-2003	Sa	1	0,01	0,02	0,02	0,07	0,01	0,03	0,04	0,07	0,02	0
12-2-2003	Sb	1	0,04	0,03	0,03	0,07	0,02	0,03	0,06	0,09	0,03	0
12-2-2003	Va	1	0,77	1,72	1,56	0,97	0,78	1,77	0,94	3,91	1,59	0,07
12-2-2003	Vb	1	0,42	1,46	1,46	1,07	0,73	0,77	0,58	3,1	1,51	0,08
8-7-2003	Ma	1	0,63	1,38	1,31	1,16	0,66	1,44	2,13	3,79	0,82	0,05
8-7-2003	Ma	2	0,55	1,28	1,17	1,61	0,62	1,36	2	3,28	0,85	0,09
8-7-2003	Ma	3	0,34	0,81	0,81	0,69	0,43	0,85	1,06	2,29	0,49	0,07
8-7-2003	Mb	1	0,75	2,56	2,11	1,56	1,07	2,42	2,22	6,44	1,26	0,08
8-7-2003	Mb	2	0,45	0,91	0,9	0,82	0,49	0,98	1,49	2,97	0,69	0,06
8-7-2003	Mb	3	0,34	0,78	0,77	0,59	0,39	0,79	1,29	2,34	0,51	0,05
8-7-2003	Sa	1	0,01	0,03	0,03	0,06	0,02	0,03	0,03	0,07	0,03	<0,010
8-7-2003	Sa	2	0,01	0,05	0,05	0,06	0,03	0,05	0,03	0,07	0,04	<0,010
8-7-2003	Sa	3	0,02	0,03	0,03	0,08	0,02	0,04	0,05	0,08	0,03	<0,010
8-7-2003	Sb	1	0,01	0,02	0,02	0,04	0,01	0,03	0,03	0,06	0,02	<0,010
8-7-2003	Sb	2	0,17	0,12	0,11	0,08	0,06	0,15	0,19	0,2	0,07	0,02
8-7-2003	Sb	3	0,01	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,06	0,03	0,01
8-7-2003	Va	1	0,48	1,8	1,52	1,26	0,92	2,23	0,72	3,2	1,06	0,1
8-7-2003	Va	2	0,5	1,93	1,69	1,18	0,87	2,15	0,77	4	1,11	0,1
8-7-2003	Va	3	2,67	3,59	3,12	2,2	1,58	4,42	7,61	8,04	2,1	0,19
8-7-2003	Vb	1	0,16	0,51	0,53	0,39	0,25	1,09	0,25	1,09	0,35	0,05
8-7-2003	Vb	2	0,31	1,46	1,53	1,18	0,75	1,7	0,75	2,43	1,15	0,21
8-7-2003	Vb	3	0,64	1,96	1,86	1,44	0,94	2,17	1,06	4,15	1,26	0,31

1 Antracene; 2 Benz(a)antracene; 3 Benzo(a)pyreen; 4 Benzo(ghi)peryleen; 5 Benzo(k)fluorantheen; 6 Chryseen; 7 Fenantreen; 8 Fluorantheen; 9 Indeopyreen; 10 Naftaleen.

*De minimumkwaliteit (MTR) en de streefwaarde PAK in sediment (bron: vierde Nota waterhuishouding).*

	Ants <sup>1</sup>	Baas <sup>2</sup>	Baps <sup>3</sup>	Bghips <sup>4</sup>	Bkfs <sup>5</sup>	Chrs <sup>6</sup>	Fens <sup>7</sup>	Flus <sup>8</sup>	Inps <sup>9</sup>	Nafs <sup>10</sup>
MTR	0.1	0.4	3	8	2	11	0.5	3	6	0.1
SW	0.001	0.003	0.003	0.08	0.02	0.1	0.005	0.03	0.06	0.001

### Bijlage 3 Metalen in waterfase

De gemeten metaalconcentraties ( $\mu\text{g/l}$ ) in de waterfase.

Datum	Sediment	Arseen	Cadmium	Chroom	Koper	Kwik	Nikkel	Lood	Zink
8-7-2003	Ma	0,96	0,07	0,023	3,553	0,013	0,457		1,114
8-7-2003	Mb	1,39	0,034	0,071	2,831	0,021	1,691	1,054	0,951
8-7-2003	Sa	0,53	0,033	0,305	1,521	0,016	1,744		0,891
8-7-2003	Sb	0,62			3,2	0,266	1,262		0,273
8-7-2003	Va	0,41	0,074	0,118	2,071	0,014	2,915	1,201	1,038
8-7-2003	Vb	0,77		0,101	2,629	0	3,318	4,366	1,214