



Wetterskip Fryslân

Waterharmonica Grou

Onderzoek naar biologische filtratie van effluent van de RWZI Grou in mesocosm bakken ter optimalisatie van watervlooi-envijvers: fysische chemie



Waterharmonica Grou

Onderzoek naar biologische filtratie van effluent van de RWZI Grou in mesocosm bakken ter optimalisatie van watervlooi-envijvers: fysische chemie

Auteurs:

Ruud Kampf^a

Rob van den Boomen^b

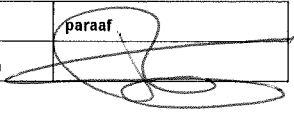
Theo Claassen^c

a) Rekel/water, Vrije Universiteit Amsterdam

b) Witteveen+Bos

c) Wetterskip Fryslân

referentie	projectcode	status
LW289-55/14-006.253	LW289-55	definitief
projectleider	projectdirecteur	datum
ir. R.M. van den Boomen	ir. Th.G.J. Wiltjes	25 maart 2014

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. R.M. van den Boomen	

INHOUDSOPGAVE	blz.
VOORWOORD	1
SAMENVATTING	3
1. INLEIDING	7
1.1. Aanleiding	7
1.2. Waterharmonica algemeen	7
1.3. Aqualân Grou	7
1.4. Kader van het onderzoek	8
1.5. Doelstelling	10
1.6. Leeswijzer	10
2. AQUALÂN GROU	11
2.1. Het ontwerp	11
2.2. Karakteristieken	12
3. MESOCOSM ONDERZOEK	15
3.1. Aanleiding	15
3.2. De voeding met effluent	16
3.3. De mesocosm opstelling	16
3.3.1. Afmetingen en verblijftijd	21
3.3.2. Meting van verblijftijd met tracerproeven	21
3.4. Routinematige monitoring informatie	21
3.4.1. Meetlocaties RWZI Grou en Aqualân	21
3.4.2. Meetlocaties mesocosm bakken	24
3.4.3. Monitoring variabelen	25
3.4.4. Uitvoering van het onderzoek	26
3.4.5. Meetfrequentie	26
3.4.6. Analyse perioden	27
3.5. Projectmatig onderzoek/ondersteuning	29
4. RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK IN DE MESOCOSM BAKKEN IN GROU	31
4.1. Inleiding	31
4.2. Bepaling hydraulische verblijftijd met tracer onderzoek	31
4.2.1. Keuze tracers voor pilot	31
4.2.2. Dosering & metingen'	32
4.2.3. Achtergrondwaarden	32
4.2.4. Data analyse	33
4.2.5. Meetresultaten met Lithium tracer	33
4.2.6. Meetresultaten met Uranine tracer	34
4.2.7. Hydraulische verblijftijd	36
4.2.8. Bevindingen van het tracer onderzoek	36
4.3. Effluent bemonstering	38
4.4. Algemene parameters en zuurstofgehaltes	40
4.5. Andere fysisch-chemische parameters	42
4.5.1. Tijdreeksen (2007 t/m 2010)	42
4.5.2. Vergelijk tussen lijn a en b	46
4.5.3. Rendementen in periode 2	48
4.5.4. Seizoensverschillen	53
4.5.5. Samenvattende conclusies	61
4.6. Watervlooiën	62

5. VERGELIJKING VAN MESOCOSM ONDERZOEK MET AQUALÂN	63
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	69
6.1. Conclusies en aanbevelingen	69
6.2. Vervolg onderzoek/werkzaamheden	71
7. BESLUIT	73
LITERATUUR	75
laatste bladzijde	77
BIJLAGEN	aantal blz.
I Daphnia experiments, Grou (Friesland), 2007-2010, Handleiding	24
II Digital counting of Daphnia, Manual	12
III Stagiaires en stage verslagen	2
IV Analyse resultaten in de Tijd (X-Y grafieken)	8

VOORWOORD

Om de kwaliteit van het oppervlaktewater te verbeteren en om daarmee dichterbij de doelen van de KRW te komen is een verdere waterkwaliteitsverbetering nodig. Enerzijds betreft dat de fysieke inrichting van watersystemen, anderzijds de belasting van het water met vooral nutriënten en milieuvreemde stoffen. In de huidige planperiode van het Waterbeheerplan 2010-2015 van Wetterskip Fryslân ligt het accent sterk op de meer ecologische inrichting van watersystemen, onder meer met de aanleg van natuurvriendelijke oevers en vismigratievoorzieningen. Uit andere studies (onder meer voortkomend uit het KRW innovatieprojecten BaggerNut en Flexibel peilbeheer en uit de haalbaarheidsstudie naar een pilot beheervisserij in een van de Friese boezemmeren) bleek echter dat de huidige belasting met voedingsstoffen nog aanzienlijk te hoog is voor een duurzame omslag naar helder water. Die analyses met het model PCLake lieten voor vrijwel alle meren een te hoge actuele nutriëntenbelasting zien t.o.v. de kritische belasting, waarbij die omslag blijvend kansrijk is. Daarnaast verschijnen alom berichten dat de belasting van het water met microverontreinigingen (in de vorm van medicijnresten en hormoonachtige stoffen) steeds meer zorgen baart.

Effluenten van RWZI's (niettegenstaande hun goede werking) vormen belangrijke puntbronnen voor beide categorieën stoffen. Verdere zuivering van deze afvalstromen biedt dan ook goede mogelijkheden om deze beide categorieën 'probleemstoffen' aan te pakken. Naast veelal dure en fossiele brandstof verbruikende technieken bieden natuurlijke systemen in de vorm van zuiveringsmoerassen hier goede mogelijkheden. Bijkomend voordeel is dat dergelijke natuurlijke systemen de contaminatie met pathogenen sterk verminderen, de zuurstofhuishouding opkrikt en het water gedurende de passage van het systeem verlevendigt, ecologiseert. Nadat in 1995 bij de RWZI Everstekeog op Texel zo'n zuiveringsmoeras was aangelegd en gemonitord volgden meer 'groene nazuiveringssystemen' in de vorm van Waterharmonica's. Bij de RWZI Grou werd in 2006 de Waterharmonica Aqualân aangelegd. Deze Waterharmonica is relatief klein, maar bleek prima geschikt als pilot voor onder meer bewustwording, onderwijs en onderzoek. Vanaf het begin is dit systeem dan ook uitgebreid gemonitord en zijn tal van proeven uitgevoerd.

De basismonitoring door Wetterskip Fryslân is, naast een achttal stagerapporten, voor de periode eind 2006 tot en met 2011 uitgebreid gerapporteerd in 2012. Ook de visstand is gemonitord en gerapporteerd. Daarnaast vonden vanuit STOWA, Imares en de Universiteit van Amsterdam verdiepingsstudies plaats naar de lotgevallen van zwevende stof en de hiervoor genoemde milieuvreemde stoffen. Eén van de schakels in de Waterharmonica, namelijk de vlooienvijvers, spelen daarbij een belangrijke, voor een deel nog niet goed begrepen rol.

Dit laatste was de reden dat er bij de RWZI Grou een parallel experimentele proefopzet is neergezet waar op mesocosm-schaal het doen en laten van watervlooien kon worden bestudeerd. Wat is hun graasgedrag, wat is hun populatiedynamica en hoe beïnvloeden zij het effluent en hoe kan die inzet van watervlooien in full-scale systemen worden geoptimaliseerd waren te beantwoorden vragen. Deze proefopstelling, met de zgn. blauwe bakken, is gemonitord van medio 2007 tot eind 2010. Ruud Kampf was (vanuit de Vrije Universiteit) de motor achter deze proefopstelling. De gelegde relatie met monitoringgegevens van vergelijkbare proefopstelling elders maken die van Grou nog waardevoller. In deze proefopstellingen zijn, net als in Aqualân zelf, ook watervlooien bemonsterd en geanalyseerd. In deze rapportage komen die analyseresultaten (naar het detail van de uitgevoerde zoöplanktonanalyses) nog nauwelijks in beeld. Daar ligt dus nog een klus te wachten.

Na afronding van het rapport 'Vijf jaar monitoring Waterharmonica Aqualân Grou' lag er dus nog een grote dataset aan monitoringgegevens van de blauwe bakken om geëvalueerd en gerapporteerd te worden. Die dataset bleek achteraf, hoe ook met goede bedoelingen vooraf opgezet om te verzamelen, hiaten en onduidelijkheden te bevatten. Vooral Ruud Kampf komt de eer toe orde in die chaos te hebben gebracht. Hij en Rob van den Boomen zijn de hoofdauteurs van dit rapport. Ook de ondersteuning en bijdragen van Arjen Reitsma, Jonathan Helder en Rinse van der Kooij mogen hier niet onvermeld blijven. Met vereende krachten is dit tweede basisrapport over Aqualân Grou gemaakt en afgerond, nadat ook al in een aantal stagerapporten hap en snap data waren gerapporteerd. Met deze beide pijlers (Vijf jaar monitoring Aqualân en Drie jaar mesocosm-proeven), aangevuld met de overige (landelijke) rapporten en publicaties, is deze Waterharmonica een van de best onderzochte in ons land. Nu deze monitoring hier eind 2013 is beëindigd kunnen we dan ook met voldoening terug zien op deze pilot-scale Waterharmonica met alle bijbehorende in rapporten en publicaties vastgelegde monitoringresultaten. Moge een ieder hun voordeel hier mee doen voor op te zetten monitoringprogramma's en nog aan te leggen Waterharmonica's. Dat komt de efficiëntie van de werking ervan en daarmee de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater ten goede.

SAMENVATTING

De lozing van effluenten met daarin nutriënten en microverontreinigingen uit RWZI's op het oppervlaktewater van Friesland vormt, ondanks hun goede werking, nog steeds een belangrijke puntbron van het boezemwater. Dat zorgt er mede voor dat de nutriëntenbelasting voor de Friese meren groter is dan de kritische belasting, nodig voor een blijvende heldere toestand. Natuurlijke zuiveringsmoerassen kunnen hierin een goedkope en energiegunstige bijdrage leveren. Daarbij kunnen mogelijk ook microverontreinigingen uit het effluent worden verwijderd. Bij de RWZI Grou is in 2006 een zogenaamde Waterharmonica aangelegd. Deze werd sindsdien gevoed met een deel van het effluent van de RWZI. In de rapportage 'Waterharmonica Aqualân Grou, Vijf jaar monitoring' is het functioneren van dit systeem uitgebreid beschreven.

Het precieze functioneren van een eerste deel van de Waterharmonica, de watervlooienvijver, is nog niet goed bekend. Om meer inzicht te krijgen in het graasgedrag, de populatiedynamica en hun invloed op de samenstelling van het effluent, is van medio 2007 t/m 2010 op mesocosm-schaal onderzoek verricht naar dit specifieke deel. Dit is uitgevoerd in een experimentele opzet op de RWZI Grou.

Daartoe zijn twee parallelle straten van vier achter elkaar geschakelde mesocosm bakken van elk 1 m³ geplaatst en in genoemde periode onderzocht. De beide parallelle straten werden gevoed met hetzelfde water dat naar de Waterharmonica Aqualân wordt geleid. De toevoer van effluent bedroeg ca. 1.000 l/d, resulterend in een verblijftijd van ca. 1 dag per bak, dus in totaal 4 dagen voor de vier in serie geplaatste bakken. In een tracer onderzoek is deze verblijftijd bevestigd en is vastgesteld dat weinig dode zones bestaan in de proefopzet.

In elk van de mesocosm bakken, plus in het aangevoerde water is een monitoringlocatie opgenomen. Met verschillende frequentie is onderzoek verricht aan fysisch-chemische parameters zoals stikstof, fosfaat, zevende stof, chlorofyl-A en E.Coli. Daarnaast is biologisch onderzoek verricht naar de aanwezigheid en soortensamenstelling van watervlooien (zoöplankton).

Uit een eerste statistische analyse van de meetgegevens bleek dat er in de vier jaar onderzoek in de mesocosm bakken drie perioden onderscheiden kunnen worden: 2007, 2008-2009 en 2010. Het eerste jaar lijkt nog een soort opstart periode te zijn voor het systeem met sterk fluctuerende resultaten. De jaren 2008 en 2009 laten aanzienlijk stabielere onderzoeksresultaten zien en tevens is in deze periode het onderhoud, de monsternamen en analyse zeer regelmatig uitgevoerd. In 2010 is het onderhoud en onderzoek onregelmatig uitgevoerd, vielen pompen geregeld uit en lijken de resultaten weer minder stabiel en betrouwbaar.

Verder is uitgebreid geanalyseerd welke van de drie beschikbare monsterlocaties voor het effluent moet worden gebruikt voor analyse van de resultaten van de mesocosms. Uit vergelijkingsoogpunt is gekozen om de steekmonsters uit de zogenaamde Effluenttank te gebruiken, een mengbak waaruit beide onderzoeksmethoden direct effluent ontvangen. Hieruit zijn net als uit de mesocosm bakken steekmonsters genomen.

Beide parallelle onderzoekslijnen geven overigens sterk overeenkomstige onderzoeksresultaten. Dit ondanks dat één van de twee lijnen vanaf 1 juli 2008 regelmatig schoon werd gemaakt van (draad)algen.

De stikstofanalyses leiden tot de volgende bevindingen:

- sterke schommelingen in NH_4 in het effluent worden door de mesocosm bakken afgevlakt;
- het NH_4 in het effluent wordt grotendeels verwijderd (nitrificatie). Na de 4 dagen in de mesocosm bakken werd 70-80% verwijderd. Na 1 dag was dit slechts 10-15%. Deze verwijdering komt neer op ca. 1.000 kg/ha.j. Deze verwijdering is wel seizoensafhankelijk: 50% in de winter en 90% in de herfst;
- door afbraak van NH_4 wordt NO_3 gevormd. Dit is maximaal na 2 dagen verblijftijd;
- gezien de nog hoge zuurstofconcentraties in de laatste mesocosm bakken wordt vrijwel geen denitrificatie waargenomen.

De mediaan waarden toonden aan dat een verwijdering van 10-25% kan worden bereikt na 4 dagen verblijftijd. Wordt echter gekeken naar gemiddelde waarden dan wordt een negatief verwijderingsrendement bepaald, veroorzaakt door enkele grote uitschieters. In de zomer en de herfst neemt de P-concentratie veelal toe (nalevering 0,3 - 0,5 mg/l), terwijl in de winter en in het voorjaar de concentratie afneemt (rendement 5 tot 50% resulterend in ca. 0,8 mgP/l).

Zwevend stof wordt reeds in de eerste mesocosm bakken gereduceerd met 40-60%. In de mesocosm bakken 3 en 4 neemt het zwevend stof gehalte weer iets toe tot een netto rendement van ca. 10-40%. Dit wordt wel bepaald door enkele uitschieters, omdat op basis van mediaan waarden het rendement op het eind van bak 4 tot 70% is opgelopen. Er is vastgesteld dat tot 2,5 mg/l zwevend stof na 2 dagen wordt verwijderd, maar bij 4 dagen netto maar 1,5 mg/l is verwijderd. Het chlorofyl-A is en blijft in de mesocosm bakken laag (minder dan 5 $\mu\text{g/l}$).

In het begin van het onderzoek, in 2007, werd nog weinig E.Coli verwijderd. Vanaf 2008 is wel een sterke verwijdering vastgesteld: na 2 dagen verblijftijd reeds meer dan 90% en na 4 dagen 96 tot 99,8%. Hierbij zijn voor het grootste deel van het jaar de mediane waarden voor E.Coli lager dan 0,5 MPN/ml. Geconcludeerd wordt dat gemiddeld het niveau van 20 MPN/ml, behoudens een enkele uitschieter in de winter, het hele jaar door gehaald wordt. Een hydraulische verblijftijd van de vlooienvijvers van drie dagen is ook in Grou voldoende voor een vergaande E.Coli verwijdering, vier dagen geeft nog meer zekerheid.

Geconcludeerd kan worden dat de mesocosm bakken, voornamelijk na een opstartjaar, zeer stabiele onderzoeksresultaten hebben opgeleverd. Zowel in de stikstofhuishouding als in de fosforhuishouding is meer inzicht ontstaan door de geconditioneerde onderzoeksomstandigheden. Afvlakking van concentraties treedt op, naast sterke verwijdering van NH_4 en E.Coli. Denitrificatie van NO_3 treedt vrijwel niet op door het nog steeds beschikbare zuurstof in de laatste mesocosm bakken.

De rol van watervlooien wordt in dit rapport nog niet besproken. Er zal hierover binnenkort een aparte rapportage verschijnen. Wel kan worden gezegd dat de watervlooien in het systeem onmisbaar zijn vanwege:

- extra omzetting van zwevend stof uit de RWZI in 'meer biologisch materiaal';
- consumptie van losse bacteriën, zoals E.Coli;
- voorkomen van algenbloei, algen krijgen geen kans om in suspensie te groeien;
- de watervlooien zijn een mooie stap in de voedselketen, ze zijn zeer aantrekkelijk voor stekelbaarsjes, op hun beurt weer prima voedsel voor andere vis en ook vogels.

Verder onderzoek van de beschikbare informatie is aan te bevelen, vooral naar de soorten-samenstelling van de watervlooien in de mesocosm bakken en naar de onderzoeksresultaten van de perioden 1 en 3. Verder is het aan te bevelen een statistische onderbouwing te

geven of het rendement het beste kan worden berekend op basis van mediaan of de gemiddelde waarden. Voor toekomstig vergelijkbaar onderzoek dient monsternamen, analyse en dataopslag beter te worden georganiseerd om beter verkregen meetresultaten vergelijkbaar en bruikbaar te krijgen.

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

In rioolwaterzuiveringen (RWZI's) wordt afvalwater in een aantal stappen behandeld om fysische en chemische vervuilingen zoals zwevend stof, organische vervuilingen en nutriënten te verwijderen. Het effluent van RWZI's voldoet daarmee in de meeste gevallen aan de in de vergunning vastgelegde vereiste fysische en chemische effluentnormen. Een belangrijke vereiste binnen de Kaderrichtlijn Water (KRW) is echter ook oppervlaktewater van een goede ecologische kwaliteit. RWZI effluent heeft juist een beperkte ecologische kwaliteit, het is praktisch 'dood' water en het bevat nog stoffen in een hogere concentratie dan de normwaarden van het oppervlaktewater. Een (aangelegd) moerassysteem tussen RWZI en oppervlaktewater waar het effluent doorheen stroomt, zorgt niet alleen voor een verdere fysisch-chemische (na)zuivering, maar ook voor het ecologiseren van RWZI effluent. Deze schakel tussen de RWZI en het oppervlaktewater wordt een Waterharmonica genoemd (Claassen, 1996 en Kampf, Claassen et al, 2003).

1.2. Waterharmonica algemeen

De Waterharmonica is een ecologische schakel tussen de RWZI en het ontvangende oppervlaktewater in de vorm van een aangelegd moerassysteem. Het RWZI effluent doorloopt in dit moeras een combinatie van verschillende systemen zoals: watervlooienvijvers, rietvelden, waterplantenvijvers, moerasbossen, plas-dras weiland en paaivijvers. Het doel van de Waterharmonica is het verbeteren van de effluentkwaliteit, zodat het ook in ecologisch opzicht zo goed mogelijk voldoet aan de kwaliteitsnormen en de ecologische doelen van oppervlaktewater. Tevens vormt een Waterharmonica een buffer voor het opvangen, verwerken, wegwerken van piekbelastingen uit de RWZI. Daarmee is het effluent weer een (mogelijke) grondstof, net als het drinkwater en regenwater dat de basis vormden voor het afvalwater (cyclus). In ons land zijn er inmiddels minstens 15 aangelegd, een is er uitgebreid en diverse zijn in voorbereiding. Naast deze wat klinische, letterlijke omschrijving is de Waterharmonica figuurlijk een samenwerkingsverband, en nu zelfs een begrip geworden. Ontstaan uit een langdurige samenwerking van Theo Claassen (Wetterskip Fryslân) en Ruud Kampf (toen Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, en Vrije Universiteit Amsterdam, en Waternet). Met ondersteuning van velen, waaronder genoemd moeten worden Rob van den Boomen, Ton Schomaker, Johan Blom en vele anderen. Hierbij is inbreng van STOWA groot geweest. Zie (Boomen en Kampf, 2013).

1.3. Aqualân Grou

Bij de RWZI Grou van Wetterskip Fryslân is eind 2005 een Waterharmonica aangelegd, Aqualân Grou genoemd. De RWZI behandelt het afvalwater van 15 kleinere woonkernen in midden-Friesland, is een laag-belast actief slibstelsysteem, heeft een capaciteit van ca. 18.000 i.e. BZV en een belasting van ca. 17.000 i.e. BZV (na uitbreiding in 2003). De aanleg van een wetland op deze locatie is mede tot stand gekomen doordat het project gesubsidieerd werd binnen het EU Interreg IIIB-project Urban Water Cycle (UWC) in 2004. Daarbij is het wetland aangelegd als een zuiveringsmoeras met paaibiotop als innovatieve oplossing voor problemen met betrekking tot de waterketen, zowel voor waterkwaliteit als waterkwantiteit (Claassen, 1996). Wetterskip Fryslân heeft in de periode 2006-2013 aan Aqualân uitgebreid routinematig waterkwaliteitsonderzoek verricht. Bovendien is beheer en onderhoud uitgevoerd in die periode en is door diverse stagiaires ondersteuning verleend. In het rapport 'Waterharmonica Aqualân Grou, Vijf jaar monitoring' zijn de resultaten van het onderzoek en de monitoring van het waterschap sinds de ingebruikname van Aqualân in 2006

t/m 2011 samengevat (Boomen, Kampf et al, 2012a). Er is tevens een artikel in H₂O verschenen (Boomen, Kampf et al, 2012b).

1.4. Kader van het onderzoek

Het onderzoek met de mesocosms Grou maakt deel uit van een groter 'netwerk onderzoek'. Hiermee is als eerste op Eversteekoog ervaring opgedaan. Het onderzoek in Eversteekoog begon met een idee: 'We zien zoveel watervlooiën in de voorbezinkvijver, wat is er aan de hand'? Je bespreekt het met wat mensen. 'Kunnen we dit eens onderzoeken'? Zo gevraagd, zo gedaan. TNO in Den Helder, al langer betrokken bij het onderzoek aan het moerassysteem er bij betrokken, ondersteuning van het NIOZ, subsidie van de provincie Noord-Holland, goedkeuring van het bestuur van het Hoogheemraadschap Hollands-Noorderkwartier. Hier is een heel verhaal over te schrijven en er is al veel over geschreven (bijvoorbeeld De Volkskrant, 2002, Foekema en Kampf, 2005, Kampf, Jak et al, 1999, Kampf, 2001, Kampf, 2002, Noord-Hollands Dagblad, 2002, Texelse Courant, 2001, Woestenburg, 2001, Zaane, 2001). Het bleek dat in losse samenwerkingsverbanden goed onderzoek is uit te voeren; een ieder bracht wat in. Een ieder wist wel geld aan te boren. Het koste tijd om de samenwerking te organiseren, maar dat kost het schrijven en indienen van projectvoorstellen ook.

Een volgende ronde van het onderzoek kwam door reorganisaties bij Hollands Noorderkwartier, en het daardoor opgezette promotie onderzoek van de eerste auteur van dit rapport. In dat kader werd in 2006 de eerste opstelling met mesocosms in Horstermeer gerealiseerd. Dit gebeurde op aanraden van Jaap van der Graaf, de beoogde copromotor van het genoemde promotie onderzoek. De ontwikkeling sloot aan bij diverse promotie onderzoeken van de TU-Delft bij Waternet (Graaf, 2011) in het kader van onderzoek naar nieuwe methoden naar technische filtratie van effluent in verband met voorbereiding van de uitbreiding van de RWZI Horstermeer (Menkveld en Neef, 2005, STOWA, 2007). De hoofdvraag was: 'Wat kan biologische filtratie in vergelijking met verdergaande behandeling van effluent, zoals zandfiltratie' (Rakovicky, 2010). Er werd ook een proefopstelling geplaatst in Empuriabrava in noordoostelijk Spanje (Sala en Kampf, 2011, Bales, 2008, Colon, Sala et al, 2008, Ortiz en Merseburger, 2010, etc.). Deze onderzoeken werden uitgevoerd in gelijke mesocosm bakken. Ook in ons land zijn elders ervaringen opgedaan, vergelijkbaar met die in Aqualân Grou, zie afbeelding 1.1. De basis van al deze onderzoeken werd gelegd in het eerder uitgevoerde onderzoek in proefvijvers en mesocosm bakken bij de Waterharmonica Eversteekoog op Texel (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (1998-2006)), (Kampf, Schreijer et al, 1996, Schreijer, Kampf et al, 2000, Foekema en Kampf, 2005). In Grou werden weinig watervlooiën gesignaleerd in de vlooienvijvers en de mesocosm proeven aldaar konden mogelijk aantonen dat bij dit specifieke effluent toch hogere aantallen vlooiën mogelijk zouden kunnen zijn. De mesocosm bakken zijn na afloop van het onderzoek in Grou (eind 2010) uitgeleend voor een vergelijkbaar onderzoek bij de RWZI Garmerwolde (waterschap Noorderzijlvest, Groningen) (Hoorn, Elst et al, 2011, Hoorn, Elst et al, 2012).

Het Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water (NN, 2013a, Claassen, 2013, NN, 2013b) gaf vervolgens een grote impuls aan de ontwikkeling van de Waterharmonica (bouw Soerendonk en Kristalbad) en uitgebreid onderzoek, voor een groot deel in Aqualân Grou. Niet alleen werd door de inzet van STOWA, Waternet en de Universiteit van Amsterdam het uitgebreide onderzoek naar lotgevallen van deeltjes in Waterharmonica's mogelijk (Boomen, Kampf et al, 2012d, Boomen, Kampf et al, 2012c), maar kon ook een groot onderzoek naar EC toxiciteit in Waterharmonica's worden uitgevoerd (Waterharmonica Improving Purification Effectiveness, WIPE), zie Foekema, Roex et al, 2012.

Helaas lukte het niet om het onderzoek in de mesocosms goed gefinancierd te krijgen. Het bleef een los 'netwerk onderzoek', dat wel erg leunde op de inzet van stagiaires. Dat gold niet alleen in het begin voor Eversteekooog, voor Grou, maar ook voor Horstermeer en Empuriabrava. In alle gevallen is het door de inzet van velen gelukt het onderzoek uit te voeren. Voor Grou is dit voor een groot deel te danken aan de inzet van de bedrijfsvoerder Rinse van der Kooij.

Afbeelding 1.1. Mesocosm opstellingen voor Waterharmonica onderzoek, met perioden van onderzoek.



Eversteekooog 1998-2006



Horstermeer 2006-2010



Grou 2007-2010



Empuriabrava vanaf 2007



Garmerwolde 2010-2011

1.5. Doelstelling

Naast monitoring van het moerassysteem Aqualân is in de periode medio 2007 t/m 2010 aanvullende monitoring uitgevoerd in een proefopstelling met meerdere 1 m³ bakken. De bevindingen van deze mesocosm bakken dien(d)en voor verder optimalisatie van het functioneren van de drie watervlooienvijvers van Aqualân.

Het doel van het onderzoek in de mesocosm bakken was om inzicht te krijgen in de effectiviteit van watervlooiën en aanverwante organismen voor verwijdering van zwevend stof uit effluent en desinfectie van effluent. Het onderzoek richtte zich daarbij vooral op de fysisch-chemische veranderingen in nutriëntensamenstelling, E.Coli en zwevend stof en daarmee op de hoeveelheid (en het volume van) zoöplankton. Een gedetailleerd onderzoek naar het gehele voedselweb incl. algensoorten, soorten watervlooiën/zoöplankton, hogere organismen zoals slakken en levensgemeenschappen, maakte geen onderdeel uit van dit onderzoek. Wel zullen op een later tijdstip de resultaten van de mesocosm bakken geplaatst worden naast de resultaten van andere mesocosm onderzoeken waardoor extra informatie beschikbaar komt en meer algemeen geldende conclusies getrokken kunnen worden.

De hoofddoelstelling van deze rapportage is een overall weergave - op basis van de monitoring bevindingen - van de werking van de mesocosm bakken over de periode 2007-2010. Deze werking wordt vervolgens vergeleken met die van de drie watervlooienvijvers. De focus in onderhavig rapport ligt op de presentatie van de hydraulische en fysische-chemische werking. Het functioneren en de rol van de watervlooiën wordt apart gerapporteerd.

1.6. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de Waterharmonica van Aqualân Grou beknopt beschreven inclusief de opstelling van de mesocosm bakken. In hoofdstuk 3 wordt de informatie beschikbaarheid weergegeven van het mesocosm onderzoek, inclusief de voornaamste stationaire dimensionering. In hoofdstuk 4 wordt het functioneren van de mesocosm bakken in Grou met betrekking tot fysisch-chemische parameters (en zoöplankton) beschreven. In hoofdstuk 5 worden de resultaten van de mesocosm bakken van Grou vergeleken met ervaringen in Aqualân. In hoofdstuk 6 worden tot slot enkele conclusies en aanbevelingen gepresenteerd, inclusief aan- en opmerkingen over en op beheer en onderhoud en gewenst vervolgonderzoek.

2. AQUALÂN GROU

2.1. Het ontwerp

Het schetsontwerp voor Aqualân, een Waterharmonica bij de RWZI Grou, is door Ruud Kampf en Theo Claassen in 2004 gemaakt. In dit schetsontwerp werd uitgegaan van een debiet van $825 \text{ m}^3/\text{d}$, een totaal nat oppervlak van 9.900 m^2 en dus een hydraulische belasting van $0,08 \text{ m}/\text{d}$. De grootte van het beschikbaar terrein, eigendom van Wetterskip Fryslân, was daarbij bepalend.

Foto 2.1. Aqualân Grou en de RWZI.



Eind 2005 is Aqualân Grou daadwerkelijk aangelegd en medio 2006 is het in gebruik genomen. Aqualân Grou bestaat uit achtereenvolgens drie in serie geschakelde vlooienvijvers en vier parallel geschakelde rietsloten (helofytenfilters) en tot slot een paaivijver welke in open verbinding staat met het boezemwater de Kromme Grouw. Ongeveer een kwart van het RWZI effluent (circa $1.200 \text{ m}^3/\text{d}$, vast debiet met continue belasting) doorloopt Aqualân. Een schematisch overzicht met stroomschema en een bovenaanzicht worden weergegeven in afbeelding 2.1.

Afbeelding 2.1. Schematisch overzicht Aqualân Grou.

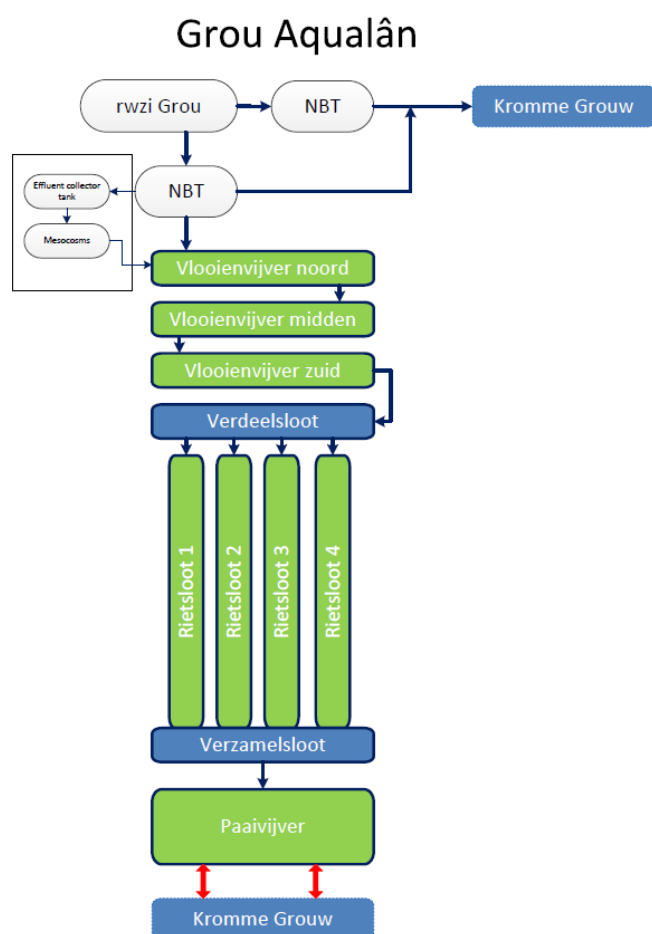


- 1 Effluent
- 2 Vlooienvijver
- 3 Rietsloten
- 4 Paaivijver
- 5 Kromme Grouw



Het stroomschema van Aqualân is weergegeven in afbeelding 2.2.

Afbeelding 2.2. Schematisch overzicht Aqualân Grou.



2.2. Karakteristieken

Het totaaloverzicht van de systeemkarakteristieken zoals aangelegd in 2005 staat weergegeven in tabel 2.1. Dit betreft de afmetingen zoals gepresenteerd in (Claassen, Gerbens et al, 2006). De hydraulische belasting van het hele systeem was 0,12 m/dag (= 12 cm waterlaag per dag), dit was meer dan de beoogde 0,08 m/dag in het schetsontwerp. Aqualân werd daarmee een 'Middel' belaste Waterharmonica (Kampf en Boomen, 2013). Het debiet was bij opstart dus ook niet 825 m³/d (schetsontwerp), of 1.200 m³/d (een kwart van het gemiddelde RWZI effluent debiet), maar 1.000 m³/d.

Tabel 2.1. Systeemgegevens Aqualân Grou (aanleg 2006).

Systeemonderdeel	Diepte (m)	Oppervlak (m ²)	Inhoud (m ³)	Debiet (m ³ .dag ⁻¹)	Verblijftijd (dag)
vlooienvijvers (3 stuks)	2,0	1.485	3. 000	1.000	3,0
rietsloten (4 stuks)	0,3	5.000	1.500	1.000	1,5
paaivijver	0,3-1,1	2.200	1.100	1.000	1,1
systeem totaal		8.685	5.600	1.000	5,6

Uit nader onderzoek in 2011-2012 is gebleken dat de afmetingen van dit systeem afwijken van het ontwerp en de aanleg, zowel in volume als in belasting (Boomen, Kampf et al,

2012a). De hydraulische belasting van het hele systeem bleek in de periode 2006-2010 ca. 0,15 m/dag (= 15 cm waterlaag per dag). Uit tracer onderzoek is geconcludeerd dat de werkelijke verblijftijd van het water en de daarin aanwezige stoffen nog ca. 25% lager is dan op basis van de verblijftijd (berekend op basis van debiet/inhoud) mag worden verwacht. Dit vanwege dode hoeken en preferente stroming (Boomen, Kampf et al, 2012a). In tabel 2.2 zijn de kentallen zoals bekend in 2010 gepresenteerd.

Tabel 2.2. Systeemgegevens Aqualân Grou (situatie 2010).

Systeemonderdeel	Diepte (m)	Oppervlak (m ²)	Inhoud (m ³)	Debiet (m ³ /d)	Verblijftijd (dag)	Tracer-verblijftijd (dag)
vlooienvijvers (3 stuks)	1,0	1.165	1.165	1.200	0,97	0,75
rietsloten (4 stuks)	0,35	4.285	1.500	1.200	1,25	0,98
paaivijver	0,5	2.575	1.288	1.200	1,07	0,72
systeem totaal		8.025	3.953	1.200	3,29	2,45

In de periode vanaf 2011 is een aantal aanpassingen aan Aqualân verricht. Zo zijn de vlooienvijvers en verdeelsloot in de winter 2011-2012 voorzien van een beschoeiing, en is in januari 2013 het niveau in de vlooienvijvers en de verdeelsloot met 15 cm verhoogd. Daarnaast is vanaf april 2012 het toevoerdebiet verlaagd naar 480 m³/dag (van 50 m³/h naar 20 m³/h). Dit leidt tot systeemgegevens van Aqualân zoals gepresenteerd in tabel 2.3. De Tracer-verblijftijden zijn geschat op basis van het eerdere onderzoek.

Tabel 2.3. Systeemgegevens Aqualân Grou (situatie vanaf april 2012).

Systeemonderdeel	Diepte (m)	Oppervlak (m ²)	Inhoud (m ³)	Debiet (m ³ /d)	Verblijftijd (dag)	Tracer- verblijftijd (dag)
vlooienvijvers (3 stuks)	1,0	1.180	1.165	480	2,43	1,8
rietsloten (4 stuks)	0,35	4.285	1.500	480	3,13	2,3
paaivijver	0,5	2.575	1.288	480	2,68	2,0
systeem totaal		8.025	3.953	480	8,24	6,1

Met de toevoer van 480 m³ per dag is de belasting 0,06 m/dag. Hiermee is Aqualân een 'Laag', zelfs bijna 'Zeer laag' belaste Waterharmonica geworden (Kampf en Boomen, 2013). Het blijft bij deze belasting van 6 cm = 60 mm per dag nog steeds een nat gebied (bij 20 mm regen per dag spreken we al van behoorlijk nat weer).

3. MESOCOSM ONDERZOEK

3.1. Aanleiding

Parallel aan het routinematige onderzoek aan de Waterharmonica Aqualân hebben diverse onderzoeken plaatsgevonden waaruit informatie over het functioneren van het systeem naar voren komt. In dit rapport worden de bevindingen beschreven van het onderzoek in de proefopstelling met twee series van vier mesocosm bakken met een volume van 1 m³ elk. Van juni 2007 tot eind 2010 is in het kader van verwerving van inzicht in het functioneren van de Waterharmonica Aqualân, in het bijzonder van de watervlooienvijvers, door het Wetterskip onderzoek ondersteund en uitgevoerd in deze proefopstelling. In de proefbakken heeft onder supervisie van Ruud Kampf specifiek onderzoek plaatsgevonden naar de rol van watervlooien en slakken in de zwevend stof huishouding en pathogenen verwijdering.

Foto 3.1. De mesocosm opstelling in Grou, tussen de nabezinktank en de vlooienvijvers.



De mesocosm bakken zijn gevoed met hetzelfde effluent als het wetland Aqualân. Hierdoor is een goede vergelijking tussen beide systemen mogelijk. De schaal van 1 m³ was groot genoeg om de watervlooienvijvers op een reële en gestructureerde wijze na te bootsen om zo meer inzicht te verkrijgen in processen in de watervlooienvijvers. Het onderzoek op deze schaal is beter beheersbaar, het is een bruikbare simulatie van de werking in de praktijk en de resultaten kunnen worden gebruikt als handreikingen voor optimalisatie en beheer. Dit bleek ook uit de verblijftijdsmetingen die zijn uitgevoerd in het kader van het STOWA onderzoek 'Waterharmonica, onderzoek naar zwevend stof en pathogenen, deelstudies' (Boomen, Kampf et al, 2012d). Wel ontbrak in de proefopstelling een waterbodem.

Populatiedynamica en graasgedrag van watervlooien stonden centraal in de proef. Het doel was om door middel van onderzoek onder deze omstandigheden meer inzicht te krijgen in de rol van de watervlooien en daarmee op hun rol en effect in het zuiveringseffect van effluent in de watervlooienvijvers. Deze processen zijn in de bakken nauwkeuriger te volgen en te bemonsteren dan in de vijvers door de beter controleerbare omstandigheden. Bovendien ontbraken hier met 100% zekerheid vissen die een predatiedruk op de watervlooien kunnen leggen, zoals die wel aanwezig waren in de vlooienvijvers van Aqualân. In de voorbezinkvijver van Everstekooog werden bij proefbevissingen geen enkele maal vis in de vlooienvijver aangetroffen, ondanks de grote aantallen driedoornige stekelbaarsjes in de overstortbakken van de rietsloten (Schreijer, Kampf et al, 2000). In de vlooienvijvers van Aqualân Grou slaagden stekelbaarsjes er wel in om in de vlooienvijver te geraken (Claassen en Koopmans, 2012, Koopmans, 2014). Dit had uiteraard, zij het onbekende, invloed op de watervlooienvijverstand.

3.2. De voeding met effluent

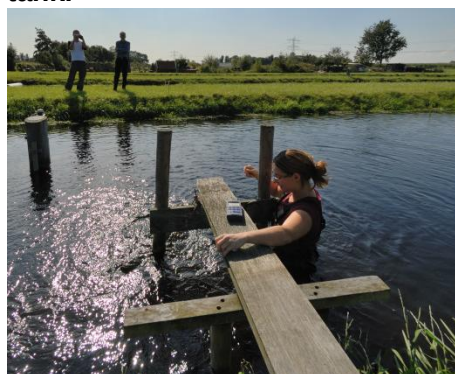
De watervlooienvijvers worden gevoed met effluent uit de nabezinktank. Hiervoor is een aflatconstructie gemaakt, die het water net beneden het oppervlakte van het water afzuigt, zie foto 3.2. In de leiding zit een instelbare klep. Het debiet kan worden bijgesteld en wordt geregistreerd met een debietmeter. Het debiet bleek weinig te verlopen, het niveau in de nabezinktank was vrijwel constant.

De proefopstelling werd met een vrij grote pomp (capaciteit 20 – 30 m³/uur) gevoed vanuit de eerste vlooienvijver (noord), direct bij de instroom vanuit de nabezinktank. Hierdoor mag worden aangenomen dat de voeding niet vermengd was met water verder weg in de vlooienvijver. Er is gekozen om een effluenttank met een waterinhoud van ca. 800 l voor te schakelen (van origine een 1 m³ grote tank, waarin vlokingsmiddel voor slibontwatering is geleverd, waarvan de bovenkant uitgezaagd is). Door gebruik van de effluenttank konden de aanvoerslangen naar de voedingspompen van de twee mesocosm-lijnen van ieder vier bakken kort gehouden worden. Hiermee is met de eerder gebouwde opstellingen in Eversteekooog en Horstermeer goede ervaring opgedaan. Het overschot aan water stroomde via een buis, bevestigd aan een gat aan de zijkant van de tank, terug naar het zuiveringsmoeras. De verblijftijd van het water in de effluenttank was ongeveer 3 – 5 minuten waarbij (volledige) menging plaatsvindt door de energie van instroming. De tank was voorzien van een kraan om de tank leeg te kunnen laten lopen.

Foto 3.2. De aflatconstructie vanuit de nabezinktank naar de eerste/noordelijke vlooienvijver.



Foto 3.3. De loopplank bij de toevoer in de noordelijke vlooienvijver. Aan het eind hangt de voedingspomp naar de effluent-tank.



De keuze van de toevoer van de voeding naar Aqualân vanuit de nabezinktank voor de voeding van de mesocosms was een zeer praktische en robuuste, die in de praktijk goed voldeed. Bij de uitwerking en verwerking van analyseresultaten gaf dit complicaties vanwege verschillende effluent-bemonsteringsresultaten. Er waren namelijk drie locaties met verschillende wijzen van bemonstering en soms ook tamelijk uitlopende resultaten. Meer hierover in hoofdstuk 4.3.

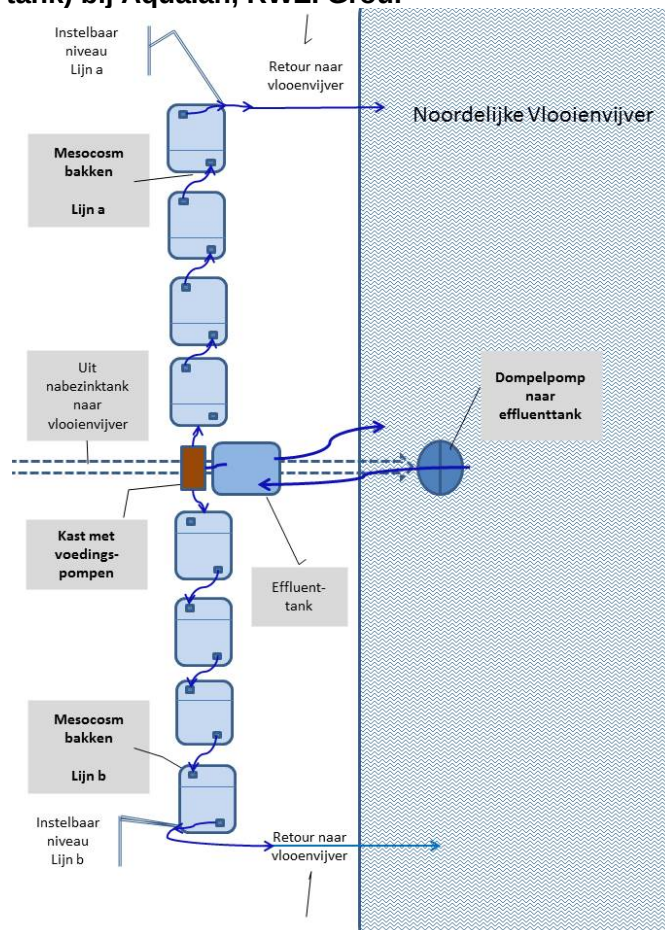
3.3. De mesocosm opstelling

De mesocosm opstelling stond op het terrein van de RWZI Grou, tussen de 'nieuwe' nabezinktank en de vlooienvijvers. De mesocosm bakken waren ter beschikking gesteld door de Vrije Universiteit, afdeling Dierecologie (foto 3.4).

Foto 3.4. Opstelling Mesocosm bakken bij RWZI Grou – Aqualân (juni 2007).



Afbeelding 3.1. Schematische weergave van de blauwe mesocosm bakken in twee lijnen van elk vier bakken, gevoed vanuit een centrale bak (= effluent tank) bij Aqualân, RWZI Grou.



Bij het ontwerp van de opstellingen is zoveel mogelijk gestreefd naar een volmaakte plug-flow. Zie bijlage I (Daphnia experiments, Grou (Friesland), 2007-2010, Handleiding) voor detail informatie.

De mesocosm bakken zijn oorspronkelijk quarantaine bakken voor viskweek (leverancier Coweko te Best, <http://www.coweko.nl/>). De prijs van deze bakken is door serie productie laag (2013: € 483 per stuk). De bakken hebben een eerste klein compartiment (oorspronkelijk filterruimte) en een groot kweekcompartiment, met een dunne tussenwand (zie voor maten van de bakken tabel 3.1). In de opstelling waren vier⁴ bakken in serie achter elkaar geplaatst elk met een verblijftijd van ca. 1 dag dus in totaal ca. 4 dagen. Het geheel is in duplo uitgevoerd, waardoor dus twee parallelle onderzoekslijnen a en b zijn ontstaan.

Tabel 3.1. Binnenmaten van een mesocosm bak inclusief berekening volumes.

Eigenschap	grootte	eenheid
lengte totaal	156	cm
lengte 'filter compartiment'	35,5	cm
lengte 'tank compartiment'	120,5	cm
breedte	105	cm
ingestelde waterhoogte	62,7	cm
<u>'filter compartiment'</u>		
bruto volume	234	liter
aftrek onderzijde	3,55	liter
netto volume	ca. 230	liter
<u>'tank compartiment'</u>		
bruto volume	793	liter
aftrek onderzijde	28,8	liter
netto volume	ca. 770	liter
totaal netto volume	1.000	liter

Foto 3.5 toont een collage van foto's genomen tijdens de opbouw van de opstelling. In meer detail zijn de in- en uitstroming en de koppeling van de mesocosm bakken gepresenteerd.

Foto 3.5. Bouw van de opstelling in juni 2007 - Technische details van de mesocosms bij Aqualân, RWZI Grou.



- De invoer is boven in het kleine compartiment van de 1^e mesocosm om de toevoer te kunnen meten, vervolgens stroomt het water door een gat in de tussenwand naar het grote compartiment. Het gat onderin werd gebruikt om slib uit het eerste compartiment af te voeren.*
- De afvoer geschiedt vanaf de bodem in het grote compartiment naar de bodem van het kleine compartiment in de volgende mesocosm.*
- De afvoer van het laatste compartiment is weer vanaf de bodem, maar via een T-stuk met hoogte regeling om het niveau nauwkeurig te kunnen afstemmen.*
- Het water stroomt via de laatste afvoerbuis vanuit de mesocosm bak naar de eerste vlooienvijver van Aqualân Grou.*



Vanuit de effluentbak werd het effluent met membraanpompen (TEKNA APG 803) naar de twee mesocosm lijnen verpompt. Het overtollige water uit de effluenttank vloei­de terug naar de vlooienvijver. De twee membraanpompen voerden 1.000 l/d naar de mesocosm bakken (ca. 11,6 l/sec, ofwel 500 ml in een periode van 40 – 46 s. Zie bijlage I, Daphnia experi­ments, Grou (Friesland), 2007-2010, Handleiding.



Foto 3.6. De kast met de voedingspompen. De aanzuigslangen waren ca. 30 cm kort.



Foto 3.7. De effluentbak is ingepakt in zwart plastic om algen aangroei te voorkomen.



Foto 3.8. IJken en afregelen van de toevoerpompen.

3.3.1. Afmetingen en verblijftijd

Voor het onderzoek naar processen en processnelheden, is het van groot belang de verblijftijd van het water en de stoffen goed te weten. Dit is op twee manieren vastgesteld: op basis van de dimensionering en op basis van een tracerproef.

Het bruto volume van elke mesocosm is 1.300 l. Door het waterniveau in elke mesocosm lijn nauwkeurig in te stellen is het watervolume per mesocosm bak ingesteld op 1.000 liter. Bij een waterstand van 62,7 cm boven de bodem (zie tabel 3.1), een breedte van 105 cm, een lengte van het kleine compartiment van 35,5 cm en een lengte van 120,5 cm voor het grote compartiment, is het volume van het water in elke bak precies 1.000 liter. De bakken werden geleverd als viskweekbakken, en verdeeld in twee delen, een filterruimte en een hoofdruimte. Het water volume in de filterruimte is 230 liter, van de hoofdruimte is dit 770 liter. De open verbinding tussen de twee ruimtes is een gat met een diameter van 4 cm, ongeveer 10 cm onder de waterspiegel. Het voordeel van de afscheiding van de twee ruimtes, is dat kortsluitstromen vermeden worden. Het kan niet rechtstreeks van de toevoer naar de afvoer stromen. In bijlage 1 staat meer informatie over de afmetingen van de mesocosm.

Met een invoerdebiet van 1.000 liter per dag is de verblijftijd dan $4 \times 1 \text{ dag} = 4 \text{ dagen}$ voor een hele lijn.

3.3.2. Meting van verblijftijd met tracerproeven

Om inzicht te krijgen in het stromingspatroon en de werkelijke hydraulische verblijftijd in de mesocosm bakken, is onderzoek met tracers uitgevoerd. Zie voor een uitgebreide beschrijving van het onderzoek dat ook in Aqualân is uitgevoerd (Boomen, Kampf et al, 2012c). Resultaten van het onderzoek worden weergegeven in hoofdstuk 4.2.

3.4. Routinematige monitoring informatie

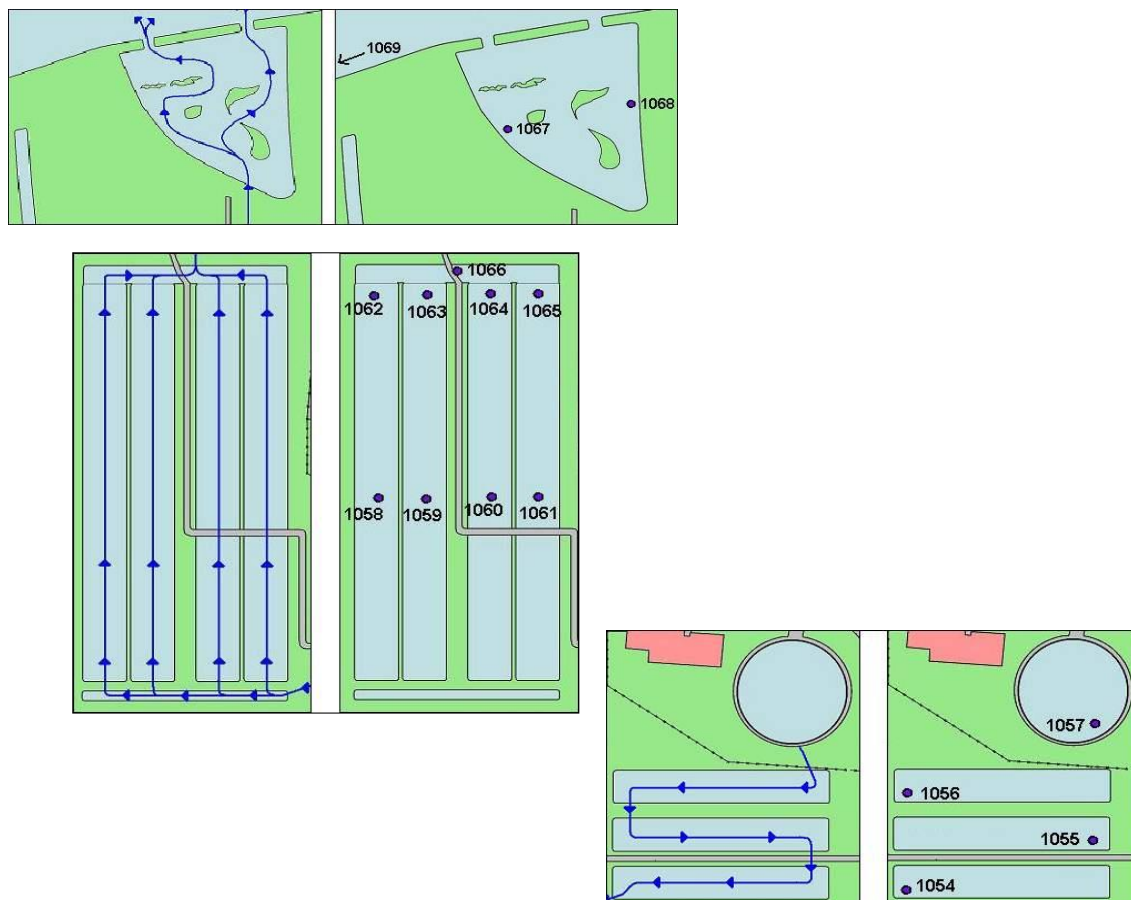
Wetterskip Fryslân heeft in de periode juni 2007 tot en met november 2010 een routinematige monitoring uitgevoerd van de mesocosm bakken. Daarnaast zijn diverse meer projectmatige onderzoeken aan de bakken uitgevoerd (en gerapporteerd, zie paragraaf 3.5). Voor onderhavig onderzoek is alleen uitgegaan van het routinematige onderzoek. De resultaten van de andere aanvullende studies worden hier alleen ter vergelijking beschouwd.

Wat precies waar en wanneer routinematig is gemeten, wordt onderstaand beschreven aan de hand van de meetlocaties, de variabelen en de meetfrequentie.

3.4.1. Meetlocaties RWZI Grou en Aqualân

Voor de volledigheid zijn in afbeelding 3.2 en tabel 3.2 informatie over de meetlocaties van de RWZI en in Aqualân Grou opgenomen. Zie voor meer informatie (Boomen, Kampf et al, 2012b).

Afbeelding 3.2. Overzicht meetlocaties en nummers RWZI en Aqualân Grou.



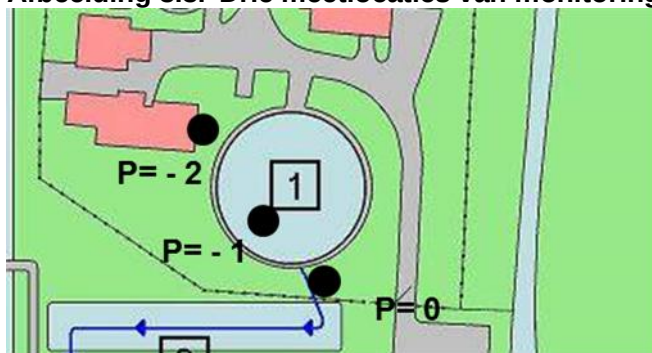
Tabel 3.2. Overzicht namen en referentie nummers meetlocaties Aqualân Grou.

Plaats p.	WF lab naam	WF lab code	Korte naam	Engelse naam
-2	WVO 24 uren bemonsteringslocatie	1057	Effluent_RWZI_24 uur	STP Grou effluent
-1	Nabezinktank, RWZI Grou/Effluent naar Aqualân		Effluent_steekmonster	Effluent to Aqualân
9	Noordelijke vlooienvijver RWZI Grou	1056	Einde eerste vlooienvijver	Daphnia_pond_north
10	Middelste vlooienvijver RWZI Grou	1055	Einde tweede vlooienvijver	Daphnia_pond_middle
11	Zuidelijke vlooienvijver RWZI Grou	1054	Einde vlooienvijvers	Daphnia_pond_south
12	Rietveld 1	1062	Einde rietsloot 1	Reedbed_1_out
13	Rietveld 2	1063	Einde rietsloot 2	Reedbed_2_out
14	Rietveld 3	1064	Einde rietsloot 3	Reedbed_3_out
15	Rietveld 4	1065	Einde rietsloot 4	Reedbed_4_out
16	Uitlaat rietvelden	1066	Einde rietsloten	Reedbeds_out
18	Nazuiveringsvijver west	1067	Paaivijver	Spawn_pond_west
19	Kromme Grouw nabij RWZI	1069	Kromme Grouw	Kromme Grouw

Voor de analyse van het aangevoerde effluent zijn in het mesocosm onderzoek drie meetlocaties gebruikt (zie afbeelding 3.3 en tabel 3.3):

1. Grou effluent; de standaard 24-uurs debiet-proportionele bemonstering die als WVO lozingspunt dient. Dit is het meetpunt 'STP effluent Grou' dat is gelokaliseerd in de verzamelpot waar de aflat van beide NBT's samenkomt alvorens het via een pijpleiding naar de Kromme Grouw wordt afgelaten. Volgens de bedrijfsvoerder worden de NBT's zo goed mogelijk gelijk belast, maar onder regencondities (RWA) kan dit wel iets verschillen (Effluent_24_uur, code p = - 2);
2. meetpunt in de nabezinktank; halverwege op de ruimerbrug (code 1057) en steekmonster vlak bij de toevoer aan het begin van de Waterharmonica in de eerste vlooienvijver. Deze twee meetpunten zijn voor deze analyse samengevoegd tot 'Effluent steekmonster, (code p = - 1);
3. een steekmonster uit de tank die als voorraadvat dient voor de voeding van de mesocosm bakken. Het water wordt opgepompt uit de 1e vlooienvijver, maar de monsternamen vindt plaats uit dit mengvat. Dit is het meetpunt 'Effluent tank' (code p = 0).

Afbeelding 3.3. Drie meetlocaties van monitoring 'Effluent RWZI Grou'.



De resultaten van de effluentbemonsteringen hebben tot veel discussies geleid vanwege de lastig te interpreteren resultaten van de verschillende effluentwaarden. Welk monster

beschrijft de werkelijke toevoer naar de mesocosm bakken het beste? Het 24-uurs monster geeft het beste de gemiddelde werkelijkheid weer en het is alom geaccepteerd. Echter de bemonstering in de mesocosm bakken heeft plaatsgevonden met steekmonsters. Argumenten voor steekmonsters zijn gebaseerd op het eerdere onderzoek op Everstekoog Texel (Schreijer, Kampf et al, 2000, Foekema en Kampf, 2005):

- continu bemonstering is duur en met zoveel meetpunten eigenlijk niet te doen;
- er worden in de effluentbak en in de mesocosm bakken op hetzelfde moment steekmonsters genomen;
- tijdens de vier dagen verblijftijd in de mesocosms vindt veel afvlakking van eventuele fluctuaties over de dag plaats waardoor het verschil tussen een steekmonster en een continue bemonstering genivelleerd wordt.

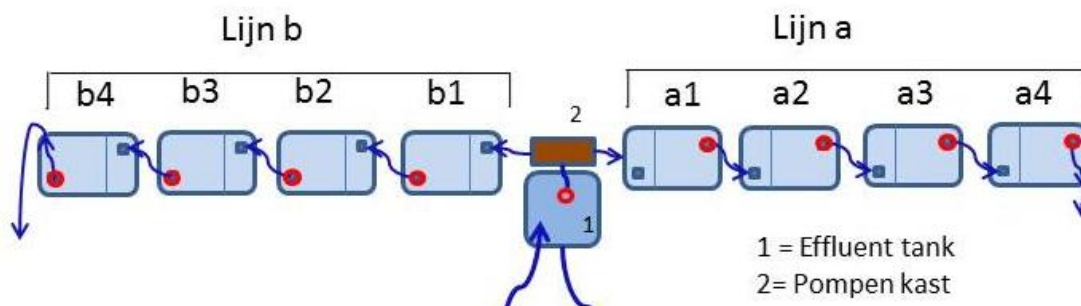
In paragraaf 4.3 wordt de gemaakte keuze in deze effluentbemonstering voor gebruik en verdere verwerking in deze rapportage nader toegelicht.

3.4.2. Meetlocaties mesocosm bakken

De monitoring voor de fysisch-chemische analyse heeft in de mesocosm bakken op een andere wijze plaatsgevonden dan de monitoring voor de watervlooiën. Onderstaand worden beide methoden toegelicht.

De locaties voor watermonsters voor het fysisch-chemische onderzoek aan de mesocosm bakken zijn in afbeelding 3.4 met een rode stip aangegeven.

Afbeelding 3.4. Schematische weergave van de mesocosm bakken met de bemonsteringslocaties (rode stip), lijn b = westelijk, lijn a = oostelijk.



De verbindingen tussen de tanks zijn aan de onderzijde. Hiervoor konden de originele aansluitingen worden gebruikt. Een belangrijk voordeel is dat de kans dat watervlooiën van de ene naar de andere bak zwemmen minimaal is, want ze worden door donker afgestoten. De afvoer is bemonsterd door een watermonster te nemen boven de afvoer in de bodem, dus aan het einde van elke mesocosm bak. Zie voor de procedure de handleiding in de bijlage I.

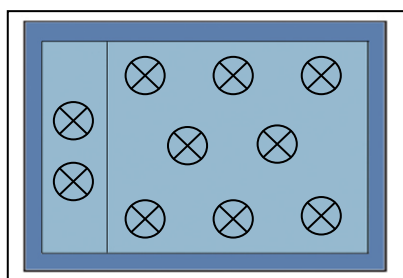
De concentraties en gehalten in de effluentbak zijn representatief voor de toevoer van de mesocosm bakken a1 en b1.

In tabel 3.3 is een overzicht weergegeven van de meetlocaties in het mesocosm onderzoek.

Tabel 3.3. Overzicht namen meetlocaties mesocosm onderzoek.

Plaats p.	WF lab naam	WF lab code	Korte naam	Engelse naam
-2	WVO 24 uren bemonsteringslocatie	1057	Effluent_24 uur	STP Grou effluent
-1	Nabezinktank, RWZI Grou/Effluent naar Aqualân		Effluent_steekmonster	Effluent to Aqualân
0	Vorraadtank mesocosms		Effluent tank	Effluent collector tank
1	Mesocosm RWZI Grou; G- a1		Bak a1	Tank a1
2	Mesocosm RWZI Grou; G- a2		Bak a2	Tank a2
3	Mesocosm RWZI Grou; G- a3		Bak a3	Tank a3
4	Mesocosm RWZI Grou; G- a4		Bak a4	Tank a4
5	Mesocosm RWZI Grou; G- b1		Bak b1	Tank b1
6	Mesocosm RWZI Grou; G- b2		Bak b2	Tank b2
7	Mesocosm RWZI Grou; G- b3		Bak b3	Tank b3
8	Mesocosm RWZI Grou; G- b4		Bak b4	Tank b4

De monsters voor het watervlooiën onderzoek (zoöplankton en aanverwante organismen) zijn op een andere wijze genomen. Hiervoor is een methode gebruikt die bij het mesocosm onderzoek in Eversteekooi is ontwikkeld. Hierbij wordt tien maal een bemonsteringsbuis met aan het eind een kogelventiel op de in afbeelding 3.5 aangegeven plaatsen langzaam en loodrecht in het water geduwd. Op deze wijze werd per keer 10 liter water bemonsterd (2 l uit het kleine compartiment en 8 l uit het grote). Vervolgens worden de watervlooiën en andere organismen met een planktonnet (mesh grootte 50 µm) uit het water gefilterd en in 70 %-alcohol oplossing geconserveerd. Zie voor nadere toelichting de handleiding, Bijlage I.

Afbeelding 3.5. Bemonsteringspunten voor watervlooiën per bak.

3.4.3. Monitoring variabelen

In de routinematige monitoring van de mesocosm bakken zijn zowel fysisch-chemische als enkele biologische variabelen onderzocht. Dit betreft:

Fysische chemie:

Voor temperatuur, zuurgraad, EGV, chloride en BZV zijn géén monsters genomen in de mesocosm bakken. Wel is de temperatuur en de zuurstof concentratie incidenteel gemeten (alleen in 2008).

Voor de nutriënten is regulier gemeten aan:

- stikstof, met de componenten NO₃ en NH₄ (plus sporadisch N-Kj en Ntot);
- fosfaat, met de componenten P_{tot} en PO₄ (omdat die beiden nogal onvolledig zijn, is tevens een component 'P-geschat' afgeleid).

De parameters die zijn vastgesteld gerelateerd aan zwevend stof, pathogenen en het doorzicht betreffen (tussen haakjes) de namen van de gebruikte variabelen in de database, er zijn de underscores (_) gebruikt, omdat punten (.) bij de naamgeving bij de statistische verwerking problemen opleveren:

- Zwevend stof (Suspended_solids en Ash);
- Chlorofyl-A (CHLFA en Sum_faeofitine);
- E.Coli 44 (E_Coli);

Biologie:

Door de opzet van de mesocosm proef is de biologische inventarisatie vooral gericht op de aanwezigheid (hoeveelheid en soorten) watervlooien/zoöplankton. De analyse van de watervlooien heeft in de tijd op twee plaatsen plaatsgevonden:

- t/m 24 juni 2009: digitale analyse bij de VU in Amsterdam;
- vanaf 4 augustus 2008: handmatige analyse bij Wetterskip Fryslân in Leeuwarden (door Arjen Reitsma);
- Tevens heeft een eenmalige opname door studenten van de UvA plaatsgevonden in het najaar van 2008.

Andere variabelen die wel zijn gemeten maar niet in grafieken worden gepresenteerd, zoals (inzet van) slakken, aanwezigheid en verwijderen van draadwieren (flab), etc., worden alleen bij de interpretatie beschouwd.

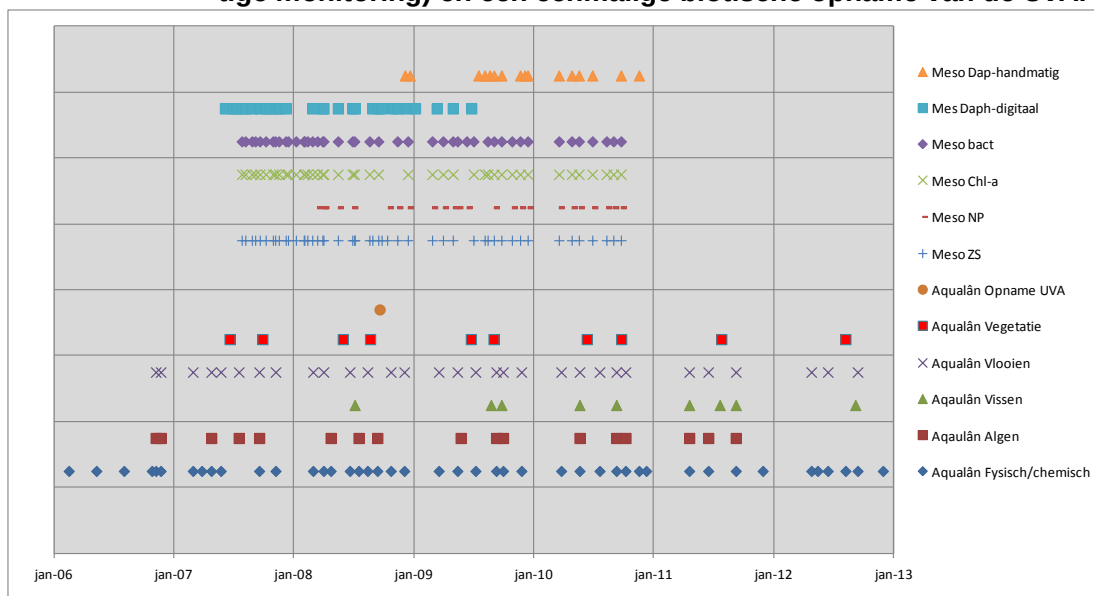
3.4.4. Uitvoering van het onderzoek

De dagelijkse uitvoering van het onderzoek vond plaats door stagiaires van Van Hall Larenstein. Deze stagiaires werden aangestuurd door Theo Claassen en Sybren Gerbens, ondersteund door de bedrijfsvoerder Rinse van der Kooij allen van Wetterskip Fryslân, met ondersteuning op afstand van Ruud Kampf. Omdat er geen directe verantwoordelijke (aanstuurder, controleur) voor het veldwerk was, ontstond in periodes zonder beschikbare stagiaires of bij stagiaires van mindere kwaliteit een hiaat in betrouwbare meetgegevens.

3.4.5. Meetfrequentie

In 2006 is Aqualân gestart. In de periode 2007 t/m eind 2010 heeft monitoring plaatsgevonden van de mesocosm bakken. In afbeelding 3.6 is aangegeven op welke dagen welke monitoring heeft plaatsgevonden van de parametergroepen fysische-chemie, algen, waterplanten, watervlooien en vissen. Dit is gepresenteerd voor zowel Aqualân als voor de mesocosm bakken. In bijlage II zijn de monitoring datums opgesomd.

Afbeelding 3.6. Overzicht meetmomenten Aqualân Grou en mesocosm bakken periode 2006-2013 voor de voornaamste parametergroepen (routinematige monitoring) en een eenmalige biotische opname van de UvA.



3.4.6. Analyse perioden

Om de invloed van de seizoenen te verduidelijken is in de rapportage de volgende indeling toegepast, zie ook (Boomen, Kampf et al, 2012a).

- winter: januari, februari, maart (maanden 1, 2, 3);
- voorjaar: april, mei, juni (maanden 4, 5, 6);
- zomer: juli, augustus, september (maanden 7, 8, 9);
- herfst: oktober, november, december (maanden 10, 11, 12).

Voor de verdere analyse van de rendementen is het onderzoek verdeeld in drie periodes (Zie voor nadere toelichting paragraaf 4.4.1.):

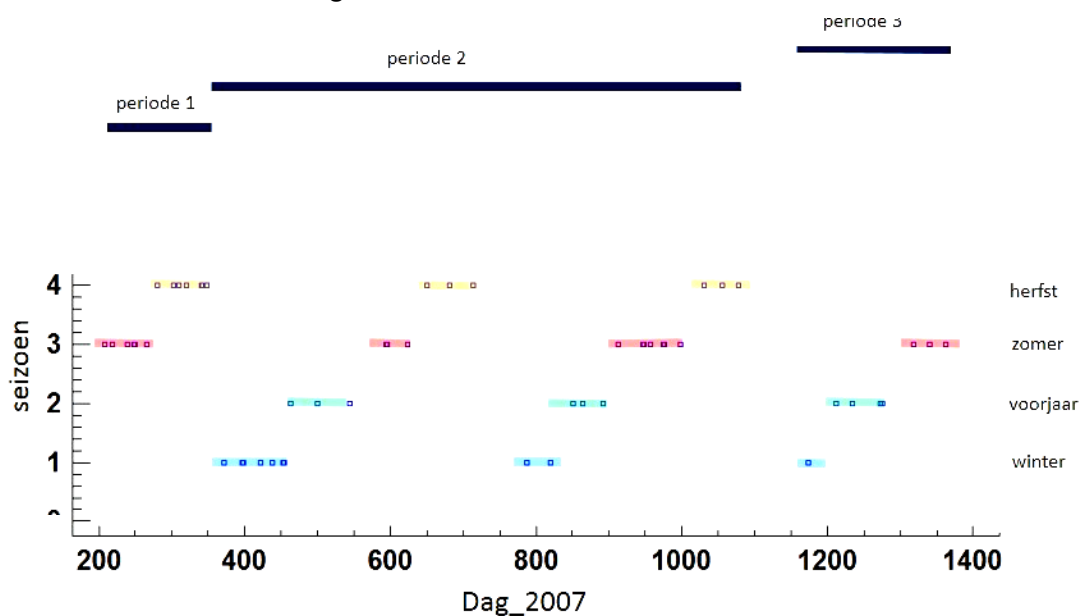
- periode 1 = 2007: opstartperiode;
- periode 2 = 2008 en 2009: meetperiode;
- periode 3 = 2010: periode met minder bruikbare gegevens.

In de tijdreeksen is op de x-as het tijdsverloop weergegeven in het aantal verstreken dagen sinds 1 januari 2007: variabele *dag_200*. Zie tabel 3.4, en afbeelding 3.7 en daarna afbeelding 4.10.

Tabel 3.4 Toelichting bij het gebruik van de tijdduiding met dag_2007, de indeling in seizoenen en de gebruikte onderzoeksperiodes.

datum	dag_2007	begin van het seizoen	periode
1 juli 2007	182	zomer	1
1 oktober 2007	274	herfst	1
1 januari 2008	366	winter	2
1 april 2008	457	voorjaar	2
1 juli 2008	548	zomer	2
1 oktober 2008	640	herfst	2
1 januari 2009	732	winter	2
1 april 2009	822	voorjaar	2
1 juli 2009	913	zomer	2
1 oktober 2009	1005	herfst	2
1 januari 2010	1097	winter	3
1 april 2010	1187	voorjaar	3
1 juli 2010	1278	zomer	3
1 oktober 2010	1370	herfst	Experiment stopgezet

Afbeelding 3.7. Grafische weergave van onderzoeksperiodes (weergegeven vanaf 1 juli 2007) en –seizoenen. De punten geven de momenten van monsterneming aan.



Algemene opmerkingen functioneren mesocosms

Enkele algemene opmerkingen met betrekking tot het functioneren van de mesocosm bakken:

- bij aanvang van het experiment zijn watervlooiën en slakken uit de mesocosm Horstermeer in de mesocosm bakken watervlooiën uitgezet;
- in juli 2008 heeft een grote schoonmaak plaatsgevonden in lijn a, niet in lijn b;
- na 1 juli 2008 werd lijn a onregelmatig schoongemaakt (flab verwijderd) en lijn b niet;
- er is maar een zeer beperkte ijsbedekking geweest;
- af en toe vielen de verschillende pompen uit;
- in de verschillende mesocosm bakken zijn slakken uitgezet.

Door het onregelmatig bijhouden van het logboek door de stagiaires, is van veel van bovenbeschreven onderhoud- of beheer ingrepen geen goede, volledige informatie vastgelegd.

Bij elke onderzoek buiten is het weer van grote invloed. In dit geval is het vooral de temperatuur en de lichtinstraling (zonne-energie). Neerslag is op het mesocosm onderzoek geen invloed van belang gezien de relatief geringe verblijftijd per bak. De temperatuur van het effluent van de RWZI is in de zomer een paar graden koeler dan de buitentemperatuur, maar in de winter juist warmer. Hierdoor bevroren de mesocosms alleen bij aanhoudende vorst. Helaas is het ijsdek niet systematisch bijgehouden. Uit de journaals van stagiaires, voorhanden foto's en uit het temperatuur overzicht van het nabij gelegen meetstation in Leeuwarden (data beschikbaar gesteld door Wetterskip Fryslân) wordt geconcludeerd dat in de onderzoeksperiode de mesocosm slechts in een beperkte tijd waren bevroren.

Afbeelding 3.8. Ijsbedekking mesocosms (foto's Theo Claassen)



De toevoerbak bevroor zelden



Lichte ijsbedekking (21 december 2007)

3.5. Projectmatig onderzoek/ondersteuning

Vanaf de ingebruikname van Aqualân in 2006 en de ingebruikname van de mesocosm bakken in 2007 zijn er diverse onderzoeken geweest. Vanaf de zomer van 2007 is door Wetterskip Fryslân een routinematig monitoringsprogramma uitgevoerd in de mesocosm bakken. Daarnaast hebben diverse studenten (aanvullende) onderzoeken gedaan en het beheer en onderhoud van de mesocosm bakken uitgevoerd.

De bevindingen zijn vastgelegd in diverse rapporten en verslagen. In het rapport 'Waterharmonica Aqualân Grou, Vijf jaar monitoring' is een overzicht opgenomen van alle onderzoeken, rapporten en meetresultaten (Boomen, Kampf et al, 2012a). In tabel 3.5 is een

overzicht gegeven van de stageverslagen/rapportages. In bijlage IV zijn nog enkele aanvullende operationele opmerkingen opgenomen.

Tabel 3.5 Overzicht rapportages en artikelen gerelateerd aan het mesocosm onderzoek in Grou.

jaartal	naam	referentie
	<u>Stage verslagen:</u>	<u>Stagiaire</u>
2007	Waterzuivering Grou	(Dijkstra, 2007)
2008	Van effluent naar natuurlijk oppervlaktewater	(van der Burgh, 2008)
2009	Constructed wetland Aqualân	(Limareva, 2009)
2009	Removal of SS and pathogens	(Jitprasarn, 2009)
2009	Waterharmonica Grou, efficiency	(Rietdijk, 2009)
2010	Water fleas in the Waterharmonica	(Moed, 2010)
2010	Waterharmonica evaluation 3 years monitoring	(Rattip, 2010)
2011	Werking van Waterharmonica Aqualân	(Willemsma, 2011)

4. RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK IN DE MESOCOSM BAKKEN IN GROU

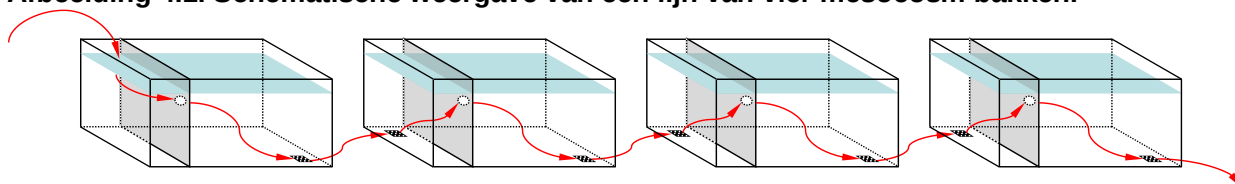
4.1. Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de onderzoeken in de mesocosm bakken gepresenteerd. Daarbij wordt allereerst ingegaan op de hydraulische verblijftijd, omdat deze van belang is voor de presentatie en interpretatie van de effectiviteit van de processen in de mesocosm bakken. In paragraaf 4.3 wordt nader ingegaan op het effluentmonster, dat als input dient voor de mesocosms bakken. In paragraaf 4.4 worden de analyseresultaten op het fysisch-chemische vlak gepresenteerd voor de algemene parameters en in paragraaf 4.5 voor de nutriënten en deeltjes. In paragraaf 4.6 wordt zeer beknopt ingegaan op de watervlooiën, en nog minder op algensoorten en hogere organismen (planten/draadalgen, slakken).

4.2. Bepaling hydraulische verblijftijd met tracer onderzoek

Het STOWA onderzoek (Boomen, Kampf et al, 2012c) gaf de mogelijkheid om het stromingsgedrag en daarmee ook de hydraulische verblijftijd met tracer onderzoek vast te stellen. In afbeelding 4.1 is aangegeven hoe het water door een streng bakken heen vloeit. Met behulp van traceronderzoek kan worden vastgesteld of het water deze preferente lijnen volgt met dus hier en daar 'dode ruimtes'/hoeken, of dat de bakken zich toch als compleet gemengde reactoren gedragen zonder 'dode ruimtes'.

Afbeelding 4.1. Schematische weergave van een lijn van vier mesocosm bakken.



4.2.1. Keuze tracers voor pilot

Bij de keuze van de meest geschikte tracer, is met de volgende criteria rekening gehouden:

- hoge mobiliteit;
- hoge stabiliteit;
- lage toxiciteit;
- afbraak in milieu;
- vergelijkbare dichtheid als water;
- makkelijk te detecteren;
- acceptabel in kosten;
- bij voorkeur te meten op locatie/in het veld.

Vanwege de snellere afbraak (2 à 3 dagen) en de eigenschap om aan het in ruime mate aanwezige organische materiaal te absorberen werd Rhodamine niet geschikt bevonden om als tracer in dit systeem te dienen. Natriumchloride werd ook ongeschikt bevonden, de hoogte en variatie van de achtergrond waarde (zowel totaal ionen als chloride concentratie) is te hoog, waardoor de toe te voegen hoeveelheid natriumchloride het water brak zou maken. Uiteindelijk kwamen het zout Lithiumchloride en de kleurstof Uranine als beste naar voren. Omdat op grond van vooronderzoek geen duidelijke voorkeur bleek, werden voor het onderzoek in Aqualân Grou beide tracers afzonderlijk en na elkaar in de mesocosms uitgetest.

4.2.2. Dosering & metingen'

De hoeveelheid tracer is bepaald door de detectiegrens te vermenigvuldigen met het volume van een mesocosm lijn (totaal volume 4 m³). Met deze dosering was het zeer waarschijnlijk mogelijk om nog meetbare concentraties aan te treffen aan het einde van het systeem (uitlaat laatste mesocosm bak). Voor iedere individuele lijn zijn zowel Lithiumchloride (17,0 gram) als Uranine (6,0 gram) voor de dosering opgelost in 50 liter RWZI effluent (beide tracers gezamenlijk in een vat). Vanuit deze oplossing zijn de tracers aan de mesocosm lijnen toegediend.

De toediening kan zowel gebeuren door middel van een enkele piekdosering, waarbij de totale tracer oplossing direct aan het systeem wordt toegevoegd, of als blokdosering, waarbij de tracers geleidelijk aan het systeem worden toegevoegd. Gezien het relatief kleine volume van het totale mesocosm systeem in vergelijking met de hoeveelheid water om de tracers in op te lossen, zou een piekdosering een relatief grote invloed hebben op de HRT, doordat het totale debiet wordt verhoogd. Om deze reden is verkozen de tracer als een blok aan het systeem toe te dienen, waarbij de traceroplossing door middel van de al aanwezige pompen aan beide lijnen is toegediend. Hierdoor heeft de toediening van de tracer geen invloed gehad op het debiet van de mesocosms. Daarnaast werden door deze methode de tracers op dezelfde manier toegediend als het normale effluent, waardoor ook de stroming van het water minimaal beïnvloed is. Nadeel van deze manier van toedienen is de verlaging van de tracer concentratie, waardoor er een grotere hoeveelheid tracer benodigd is.

Lithiumchloride is direct in het veld gemeten met een ion-selectieve elektrode (Mettler Toledo; DX207-Li⁺ Lithium half-cell), waarbij gedurende vijf dagen van 7 uur in de ochtend tot 7 uur in de avond elk uur gemeten werd. Voor de Uranine bepalingen zijn drie maal per dag, om 8 uur, 13 uur en 18 uur) monsters water (volume 50 ml) genomen en gekoeld opgeslagen in afwachting van analyse in het laboratorium. Daar is de Uranine concentratie bepaald met een absorptie meting bij 494 nm (Shimadzu, 1601-UV).

De proef, zowel met Lithium als met Uranine, is uitgevoerd in september 2009, in beide mesocosm lijnen (Boomen, Kampf et al, 2012d, Boomen, Kampf et al, 2012c).

4.2.3. Achtergrondwaarden

Voor Lithium wordt de achtergrondwaarde voornamelijk bepaald door een aantal storende ionen die van nature in het effluent aanwezig zijn. Deze ionen komen echter niet in vaste waarden voor in het RWZI effluent en zijn onderhevig aan schommelingen. Hierdoor moet de achtergrondwaarde per locatie en tijdstip (experiment) bepaald worden door een aantal metingen uit te voeren kort voordat er tracers worden toegediend.

De achtergrondwaarde van Uranine is afhankelijk van de kleuring (samenstelling) van het oorspronkelijke effluent (bijvoorbeeld de concentratie humuszuren) en moet hierdoor per locatie bepaald worden. Dit is gedaan door een aantal watermonsters zonder tracer te meten bij dezelfde golflengte als de Uranine metingen.

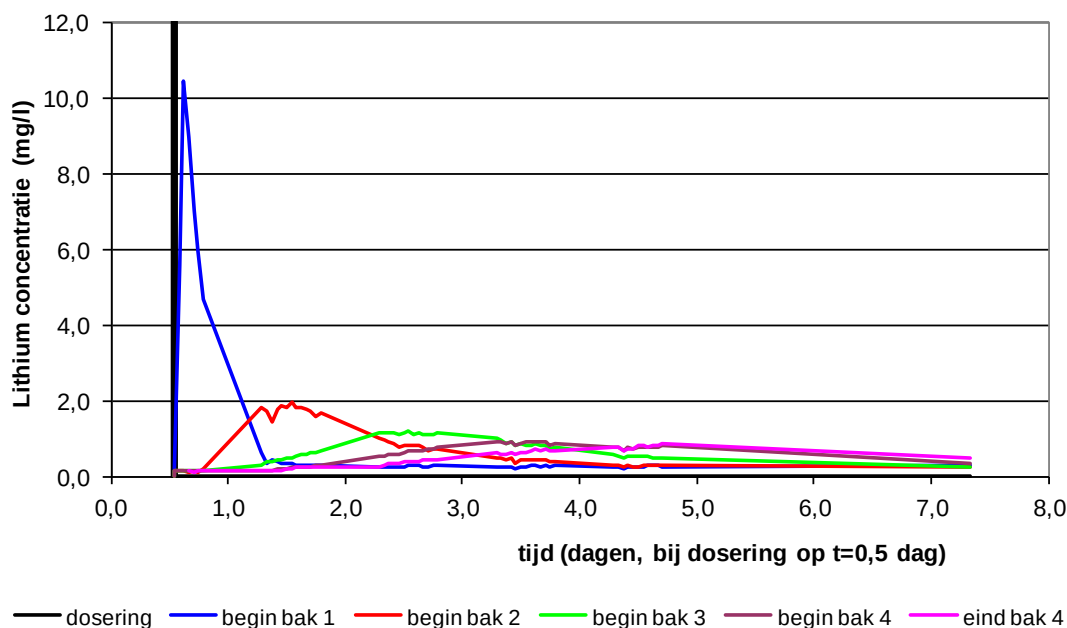
4.2.4. Data analyse

De meetgegevens zijn verwerkt in Microsoft Excel, waarbij de gemeten achtergrondwaarde van alle overige meetwaarden is afgehaald. Voor deze pilot is de HRT bepaald aan de hand van de tijd waarop het piekmaximum gemeten is. De tijd tussen het piekmaximum van meetpunt x en piekmaximum van punt x+1 is de retentietijd van het tussenliggende systeem.

4.2.5. Meetresultaten met Lithium tracer

De concentratie Lithium was op alle meetpunten goed te meten en van de achtergrond waarde van 0,2 mg/l te onderscheiden. Op het eerste meetpunt, vlak na het doseringspunt, komt het Lithium als een piek langs met een maximum concentratie van 10,4 mg/l Lithium (afbeelding 4.2, presentatie van gemiddelde van beide mesocosm lijnen). Gedurende het verblijf van de tracer in het systeem is te zien dat de maximum concentratie van de piek per meetpunt daalt. En dat de piek naarmate het experiment breder wordt daarbij een 'klok'-vorm aanneemt. Na vier dagen was de Lithiumconcentratie bij de uitlaat van de laatste mesocosms met 91,9 % verminderd (0,87 mg/l), maar was met een concentratie van ± 300 % hoger dan de achtergrondwaarde nog steeds goed meetbaar. Tevens werd 79,8 % van het toegediende Lithium tracer terug gemeten in de uitlaat van de laatste mesocosm bak (tabel 4.1).

Afbeelding 4.2. Lithium concentratie over de tijd van het experiment (bij dosering op $t = 0,5$ dag) op de verschillende meetpunten. De meetpunten zijn genomen bij het begin van vier in serie geschakelde mesocosms en bij de uitlaat van de laatste mesocosm bak (gemiddelde van de twee lijnen a en b).



Tabel 4.1. Gegevens over de Lithium tracer

		Lithium
Achtergrond waarde	mg/l	0,2
Detectie limiet	mg/l	0,01
Piekhoogte vermindering (na 5 dagen) bij einde bak 4	%	91,9
Tracer recovery	%	79,8

4.2.6. Meetresultaten met Uranine tracer

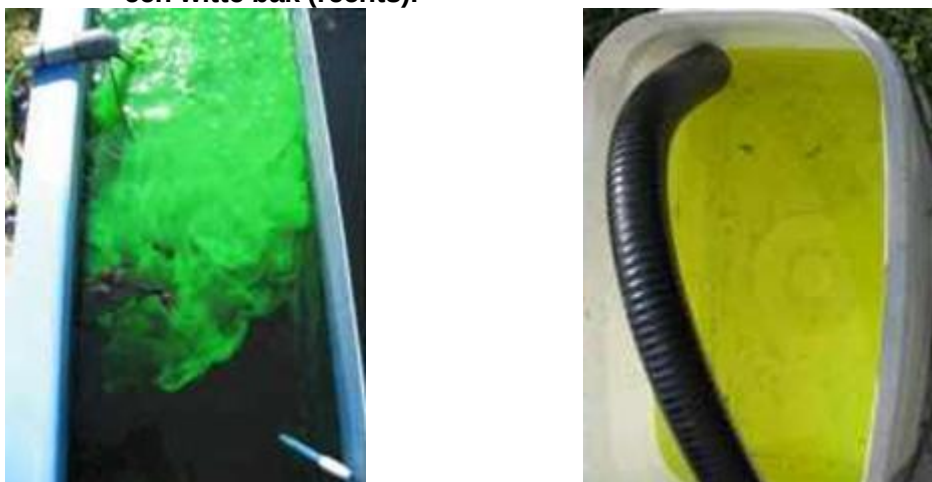
Ook de Uranine was net als het Lithium op alle meetpunten goed te onderscheiden van de achtergrondwaarde die 0,5 mg/l bedroeg (tabel 4.2). In afbeelding 4.3 is de kleuring van de mesocosms gepresenteerd direct na de start (alleen kleuring in de eerste bak) en na menging door alle bakken.

Afbeelding 4.3. Kleuring door Uranine na volledige menging door alle mesocosms.



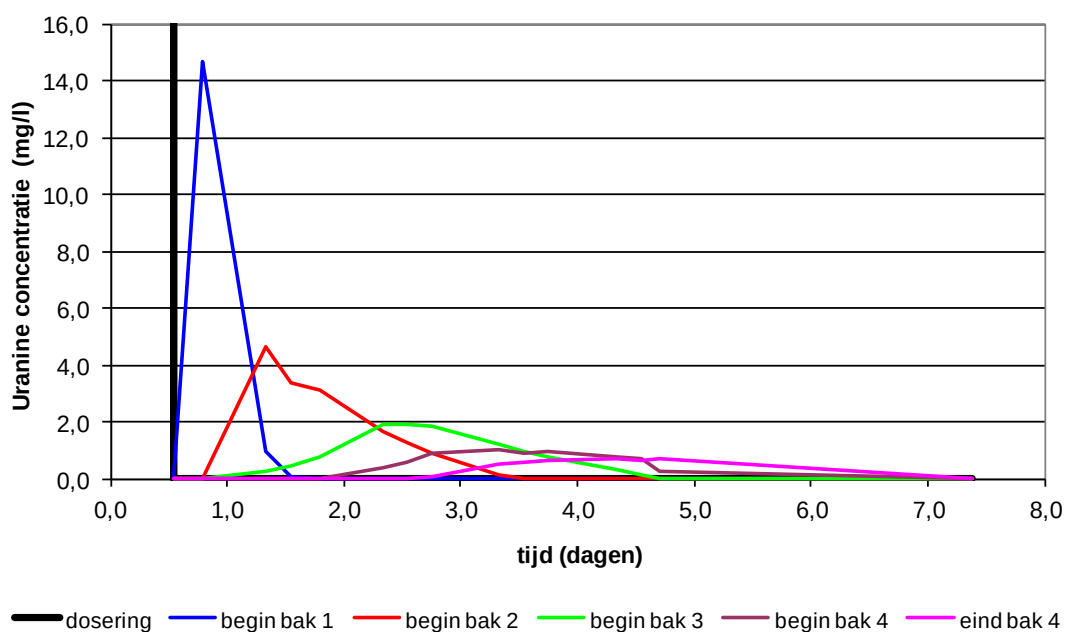
Uranine is een gele kleurstof maar doordat de mesocosms zelf blauw zijn, lijkt de kleuring verontrustend groen. In afbeelding 4.4 is dit gepresenteerd waarbij hetzelfde water in een mesocosm wordt gebracht en in een witte bak.

Afbeelding 4.4. De kleur van Uranine in de blauwe mesocosm bakken (links) en in een witte bak (rechts).



Op het laatste meetpunt was de maximale Uranine concentratie gedaald van 14,92 mg/l (eerste meetpunt) naar 1,17 mg/l (afbeelding 4.5). Met een daling van 94,9% was de maximale gemeten Uranine concentratie op het laatste meetpunt $\pm 200\%$ hoger dan de achtergrondwaarde en nog goed detecteerbaar. Tevens werd op het laatste meetpunt 66,7% van de totaal toegediende vracht teruggemeten (tabel 4.2). Verder is te zien dat Uranine als een piek het eerste meetpunt doorloopt, maar op de latere meetpunten een klokvorm aanneemt. En naarmate er meer tijd verstrijkt in breedte toeneemt en in hoogte afneemt. Naast de gemeten gegevens was Uranine door de felle kleur ook met het oog te volgen.

Afbeelding 4.5. Uranine concentratie over de tijd van het experiment (bij dosering op $t = 0,5$ dag) op de verschillende meetpunten. De meetpunten zijn genomen bij het begin van vier in serie geschakelde mesocosms en bij de uitlaat van de laatste mesocosm bak (gemiddelde van de twee lijnen a en b).



Tabel 4.2. Gegevens Uranine tracer

		Uranine
Achtergrond waarde	mg/l	0,5
Detectie limiet	mg/l	0,40
Piekhoogte vermindering (na 5 dagen)) bij einde bak 4	%	94,9
Tracer recovery	%	66,7

4.2.7. Hydraulische verblijftijd

Uit de metingen van Uranine en Lithium zijn de hydraulische verblijftijden (HRT) van de individuele mesocosm bakken bepaald. De verschillen tussen de lijnen a en b bleken gering te zijn. Hierbij zijn er geen significante verschillen vastgesteld tussen de resultaten van Lithium en Uranine. In absolute waarden zijn de verblijftijden weergegeven in tabel 4.3 als gemiddelden van de beide lijnen.

Tabel 4.3 Gemeten hydraulische verblijftijden (HRT) met de twee geteste tracers

		Lithium		Uranine		Gemiddeld
		HRT	spreiding HRT	HRT	spreiding HRT	HRT
mesocosm 1	uur	22,1	4,5	20,0	0,0	21,1
mesocosm 2	uur	25,7	5,4	28,4	3,8	27,0
mesocosm 3	uur	26,8	1,5	23,0	3,8	24,9
mesocosm 4	uur	32,1	6,0	30,5	6,8	31,3
totaal	uur	106,7		101,9		104,3
gemiddeld per mesocosm	uur	26,7		25,5		26,1
totaal	dag	4,40		4,20		4,30
gemiddeld per mesocosm	dag	1,11		1,06		1,09

De HRT van de mesocosm bakken 1 t/m 4 liggen dus tussen de 21 en 31 uur. De verblijftijd in de eerste mesocosm is lager dan in de andere vanwege een mogelijke kortsluitstroom omdat de invoer in tegenstelling tot de andere bakken van boven plaatsvindt. Dit was gedaan om de toevoer eenvoudig te kunnen meten en om de onderafvoer van het eerste kleine compartiment voor afvoer van slib te kunnen gebruiken. Waarom de verblijftijd in de 4^e mesocosm bak hoger is, is niet te verklaren. Het zou kunnen komen door de verminderde recovery van de tracers. Het duidt of op afbraak of op ad/absorptie in biofilms en ander organisch materiaal in de opstelling. Voor de vier mesocosm bakken kan een verblijftijd worden afgeleid op basis van het quotiënt van debiet en volume.

In de onderzoeksperiode september 2009 wordt dan een totale verblijftijd per lijn (a of b) afgeleid van 4,3 dag. Dit is iets hoger dan de eerder toegelichte (zie paragraaf 3.3.1) verblijftijd van 4,0 dag, maar dit komt door een iets hogere waterstand dan normaal. Geconcludeerd mag worden dat de gehele lijn van mesocosms behoorlijk goed als een plug-flow functioneert, met verwaarloosbare dode ruimtes en/of kortsluitstromen.

4.2.8. Bevindingen van het tracer onderzoek

Meetfrequentie

Voor Lithium en Uranine zijn verschillende meetfrequenties gebruikt, respectievelijk elk uur (van 07:00 tot 19:00 uur) en om de 5 uur (08:00; 13:00; 18:00 uur). Beide frequenties gaven een redelijk goed beeld van de piek. Hieruit valt te concluderen dat bij deze systeemkarakteristieken (HRT en stroomsnelheid) een meetfrequentie van één maal per uur relatief

hoog is en lager zou kunnen zijn. Dit is voornamelijk bij het laatste meetpunt het geval. Daarnaast is bij de Uranine te zien dat op het eerste meetpunt eigenlijk maar één meting heeft plaatsgevonden in de piek. De piek is hierdoor wel waargenomen, maar wordt maar in zeer gering detail beschreven. Hieruit valt te concluderen dat de meetfrequentie van één maal per 5 uur relatief laag is en frequenter had moeten zijn (afhankelijk van de systeem karakteristieken); voornamelijk dus voor het eerste meetpunt. Naast deze uitkomsten zijn de nachtelijke periodes, waarin geen metingen zijn uitgevoerd, duidelijk te herkennen in zowel de gegevens van Lithium als Uranine. Deze periodes zouden ook gemeten moeten worden om een meer gedetailleerd beeld te kunnen krijgen van het verloop en de vervorming van de piek. Voornamelijk de vervorming van de piek kan belangrijke informatie genereren over de waterstroming van een systeem. Concluderend is de meetfrequentie idealiter variabel, waarbij er direct na de dosering van de tracer met een hoge frequentie gemeten worden en naarmate de tijd toeneemt de frequentie lager kan worden met een minimum van om de 3 uur. Daarbij is het ook wenselijk om 24 uur per dag metingen te verrichten.

Vrachtverlies

Zowel bij Lithium als bij Uranine is een verlies aan tracer geconstateerd. Dit betekent dat er tussen het doseringspunt en het laatste meetpunt tracer is verdwenen. Bij Uranine wordt bij het laatste meetpunt slechts 66.7% van de gedoseerde tracer terug gemeten. Het verlies aan Uranine is, zoals verwacht deels te verklaren door natuurlijke afbraak van deze stof onder invloed van UV (zonlicht). Bij Lithium is er op het laatste meetpunt nog 79.7% van de doseringsvracht terug gemeten. De verklaring voor het merendeel van dit verlies ligt waarschijnlijk in de onzekerheid van de achtergrondwaarde. Zoals eerder vermeld, is de achtergrondwaarde van Lithium metingen met een ion-selectieve elektrode afhankelijk van de concentratie interfererende ionen die natuurlijk in RWZI effluent en oppervlaktewater voorkomen. Aannemende dat alleen de concentratie van deze storende ionen variabel is en de samenstelling relatief stabiel, kan uit eerder gemeten geleidbaarheidsmetingen (niet gepresenteerd) geconcludeerd worden dat de achtergrondwaarde op twee momenten op dezelfde locatie 35% kan verschillen (maximum en minimum waarde). Hiernaast zal de achtergrondwaarde per locatie verschillen, waarmee bij deze pilot geen rekening is gehouden. Bij volgende experimenten is het daarom verstandig om per locatie en over een langere periode een gemiddelde achtergrondwaarde te bepalen (voor toediening van de tracer).

Dosering

Op het laatste meetpunt waren zowel Lithium als Uranine nog goed te onderscheiden van de achtergrondwaarde. Hierbij was de Uranine concentratie $\pm 200\%$ boven de achtergrondwaarde en de Lithium concentratie $\pm 300\%$. Dit geeft aan dat voor deze pilot een relatief ruime dosering is gebruikt en dat voor een experiment naar een soortgelijke HRT, de dosering van beide tracers lager kan worden gekozen.

Tracer keuze

Uit de resultaten valt af te leiden dat zowel Lithiumchloride als Uranine goede stoffen zijn om als tracer gebruikt te worden en beide gewenste resultaten opleverden. Daarnaast waren er ook verschillen op te merken tussen beide tracers. Deze verschillen zijn terug te leiden naar de vooraf gestelde eisen waaraan de tracers moesten voldoen (tabel 4.4). Hierbij komt Uranine wat betreft toxische effect beter naar voren dan Lithium en zal mede door de natuurlijke afbraak minder schadelijk zijn voor het milieu. Lithium heeft toch de voorkeur omdat het makkelijker te meten is in het veld, maar ook omdat het water niet zo 'gemeen geel' kleurt als met Uranine. De felgroene kleur die daar het gevolg van was in de blauwe mesocosm bakken leidde zelfs tot enige onrust, maar had klaarblijkelijk geen gevolgen voor de watervlooiën (afbeeldingen 4.3 en 4.4).

Tabel 4.4. Vergelijking tussen Lithium en Uranine op de gestelde eisen voor tracers

	Lithium	Uranine
Hoge mobiliteit	±	±
Vergelijkbaar dichtheid als medium	+	-
Hoge stabiliteit	±	±
Afbraak in milieu	-	+
Lage toxiciteit	-	+
Eenvoudig te detecteren	±	±
Bij voorkeur te meten op locatie/in het veld	+	-
Acceptabel in kosten	±	±
Overige effecten (kleuring water)	+	-

De plussen en minnen geven aan:

+ = prettige eigenschap

± = maakt niet zo veel uit, minder belangrijk

- = minder prettige eigenschap

De hydraulische verblijftijd

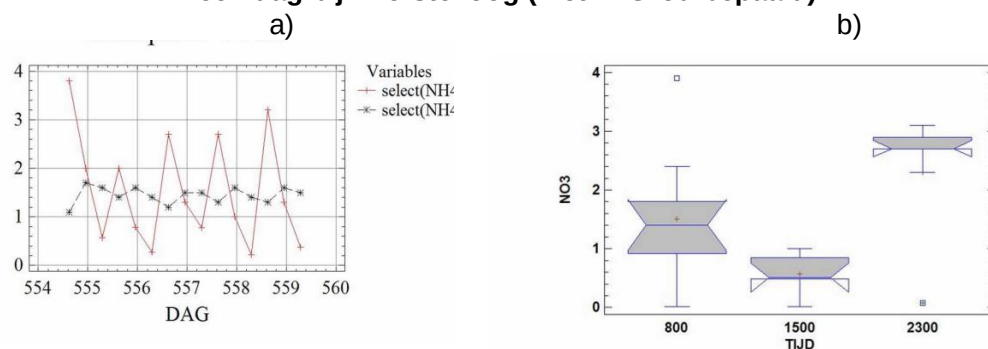
Voor de vier mesocosm bakken is op basis van de analyse van de tracers een totale verblijftijd berekend van 4,30 dag. Tijdens het tracer onderzoek was de waterstand ca. 67 cm (boven de binnenkant bodem), waardoor de inhoud per mesocosm mogelijk 1.070 l was i.p.v. 1.000 l (zoals berekend en toegelicht in tabel 3.1). Omdat de toevoer 1.000 l/dag was, is de verblijftijd op basis van afmetingen dan 1,07 dag per bak, ofwel 4,28 dag voor alle vier de mesocosm bakken samen.

Geconcludeerd mag worden dat de gehele lijn van mesocosms weinig dode ruimtes en/of kortsluitstromen kent.

4.3. Effluent bemonstering

Uit metingen over een etmaal bij Eversteekoog is gebleken dat de effluentkwaliteit sterk kan verschillen over een dag. Onderstaand wordt met een voorbeeld (gebaseerd op de beschikbare meetgegevens) weergegeven dat het ammonium gehalte en het nitraat gehalte, kenmerkend voor effluënten over de dag sterk variëren. Het moment van monsternamen (bij een steekmonster) is dan ook sterk bepalend voor de gemeten stikstof-gehalten. In afbeelding 4.6 a is de variatie van de NH_4 -concentratie in zowel effluent als in de vlooienvijver van Eversteekoog weergegeven over enkele dagen: monsternemingen om 8:00, 15:00 en 23:00 uur. Na een lage belasting gedurende de nacht is vrijwel alle NH_4 genitrificeerd. Vervolgens loopt het gehalte gedurende de dag op. De schommelingen in de vlooienvijver zijn veel minder groot. De variatie van nitraat is in afbeelding 4.6.b op een andere wijze weergegeven. Het beeld voor nitraat is tegengesteld aan dat voor ammonium. Tijdens de nacht neemt het gehalte aan nitraat toe, door zowel hogere toevoer en onvoldoende nitrificatie capaciteit. De N-boxen geven ook weer dat de proces stabiliteit overdag minder groot is dan in de nacht.

Afbeelding 4.6. Variatie van analyse resultaten van NH_4 (a) en NO_3 (b) in de tijd op één dag bij Eversteekoog (niet in Grou bepaald).



Hieruit kan worden geconcludeerd dat bij een steekmonster in de ochtend t.o.v. een 24 uur continu meting:

- de ammoniumconcentratie wordt onderschat;
- de nitraatconcentratie wordt overschat.

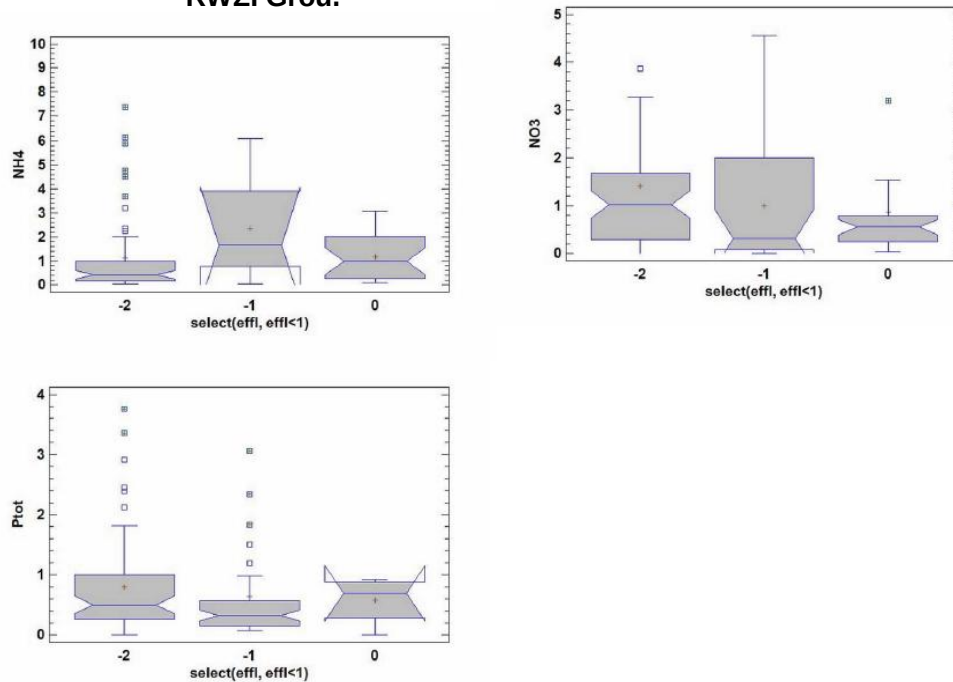
Voor het effluent van Grou zijn geen detailmetingen beschikbaar op verschillende tijdstippen op de dag. Wel zijn meetgegevens beschikbaar van steekmonsters versus 24-uurs daggemiddelde monsters. In paragraaf 3.4.1 is ingegaan op de verschillende effluentmonsters. De drie beschikbare meetpunten zijn:

1. Grou effluent; de standaard 24-uurs debiet-proportionele bemonstering die als WVO lozingspunt dient: Effluent_24_uur, code p=-2);
2. Steekmonster effluent van de RWZI: 'Effluent steekmonster, (code p=-1);
3. Steekmonster 'Effluent tank' (code p=0).

In afbeelding 4.7 zijn de analyse resultaten van Grou weergegeven voor NO_3 , NH_4 en P_{tot} voor deze drie meetlocaties (= meetmethoden) van het effluent van de RWZI.

Afbeelding 4.7. Verschillen in concentraties van de analyse resultaten van NH_4 , NO_3 en Ptot op de drie beschikbare meetlocaties van het effluent van de

RWZI Grou.



Uit de vergelijking van deze resultaten blijkt:

- net als dat de ammonium-concentratie in de steekmonsters in Eversteekoog werd onderschat, zijn de metingen in Grou vergelijkbaar;
- nitraat-concentratie wordt in het steekmonster bij Eversteekoog overschat, in Grou zijn de steekmonsters juist veelal lager dan in de mengmonsters;
- ortho P- concentratie is alleen in steekmonster ($p=0$) beschikbaar;
- hetzelfde geldt voor chlorofyl-A en E.Coli, daarvoor is alleen informatie in het steekmonster beschikbaar;
- de zwevend stof concentraties zijn in Eversteekoog vergelijkbaar, in Grou is dit in het steekmonster ($p=0$) veel hoger dan in het mengmonster van de NBT ($p=-2$);

Op basis van de meetgegevens in de mesocosm bakken is het logisch om de steekmonsters uit de effluenttank als input te gebruiken. Dit betekent dat voor de verdere beschrijving van de resultaten van de mesocosm bakken is gekozen om gebruik te maken van de steekmonsters van de effluentbak ($p=0$). Daarmee zijn de resultaten van de mesocosms tevens het beste te vergelijken met de resultaten in de vlooienvijvers van Aqualân. Bij ammonium en nitraat wordt dit mogelijk genuanceerd met de metingen van het 24-uurs mengmonster uit de RWZI.

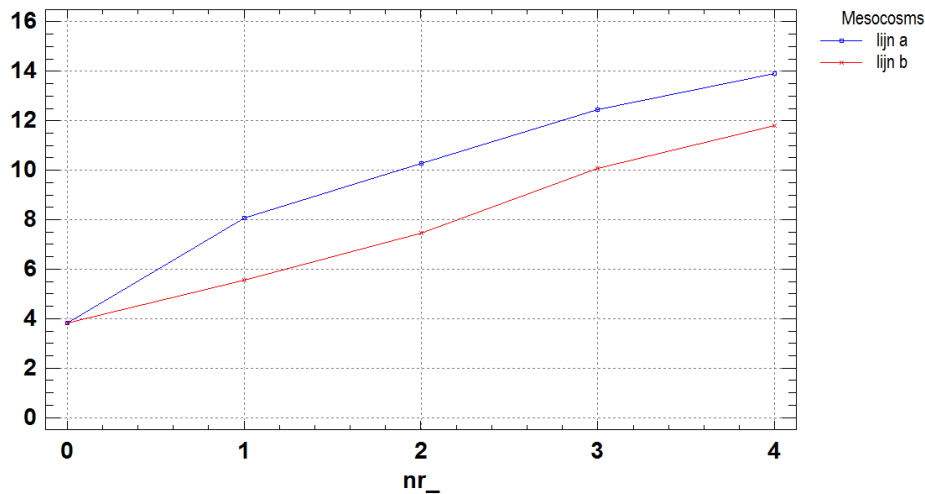
4.4. Algemene parameters en zuurstofgehaltes

Van de algemene parameters zoals zuurgraad, EGV, chloride en BZV zijn geen monsters genomen in de mesocosm bakken. Zuurstofgehaltes (en temperatuur) zijn erratisch bepaald in de mesocosm bakken. Er zijn slechts waarnemingen in 2008.

Onderstaand worden enkele resultaten voor zuurstof (in $\text{mg O}_2/\text{l}$) in twee delen gesplitst weergegeven. In afbeelding 4.8 is de periode van maart tot eind juli met zuurstofgehaltes

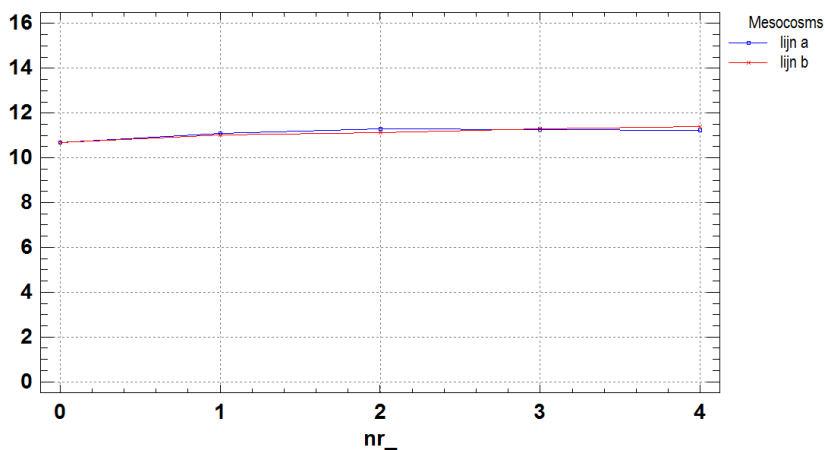
van rond de 4 mg/l in de effluent tank (weergegeven als nr_=0) oplopend tot 12 tot 14 mg/l in de 4^e mesocosm bak.

Afbeelding 4.8. Toename van het zuurstofgehaltes in de mesocosms, maart – juli 2008, gemiddelde van enkele metingen.



In afbeelding 4.9 wordt op een vergelijkbare wijze het zuurstofverloop (in mg O₂/l) weergegeven in de periode augustus tot oktober 2008. Toen waren de gehalten in zowel de effluent bak als in de mesocosm bakken meer constant en hoog, iets boven de verzadigingswaarde voor zuurstof bij de heersende temperatuur (tussen 16 en 20 °C).

Afbeelding 4.9. Toename van het zuurstofgehaltes in de mesocosms, augustus - oktober 2008, gemiddelde van enkele metingen.



De temperatuur was bij deze metingen tussen 16 en 20 °C. Geconcludeerd mag worden dat zuurstof in de mesocosms geen beperkende factor is. Het gehalte van zuurstof in het effluent van de RWZI was in 2008 tussen 1 en 4 mg O₂/l. Terwijl dit in de vlooienvijvers gemiddeld niet hoger werd dan 5 mg/l, zie hiervoor (Boomen, Kampf et al, 2012b, hoofdstuk 5).

4.5. Andere fysisch-chemische parameters

De fysisch-chemische parameters (zoals nutriënten, zwevend stof, pathogenen en chlorofyl-A) worden in de volgende paragrafen gepresenteerd in afbeeldingen en tabellen waarbij onderscheid is gemaakt in:

1. tijdreeksen (2007 t/m 2010);
2. vergelijking tussen lijn a en lijn b;
3. rendementen in periode 2;
4. in periode 2
 - winter: januari, februari, maart (maanden 1, 2, 3);
 - voorjaar: april, mei, juni (maanden 4, 5, 6);
 - zomer: juli, augustus, september (maanden 7, 8, 9);
 - herfst: oktober, november, december (maanden 10, 11, 12).

4.5.1. Tijdreeksen (2007 t/m 2010)

De presentatie van het verloop van alle gemonitorde componenten in de tijd is opgenomen in bijlage V. In onderstaande tekst zijn voor de eenvoud en helderheid alleen de waarden voor de effluënten en aan het eind van de beide lijnen a en b weergegeven, dus na een hydraulische verblijftijd van 4 dagen elk.

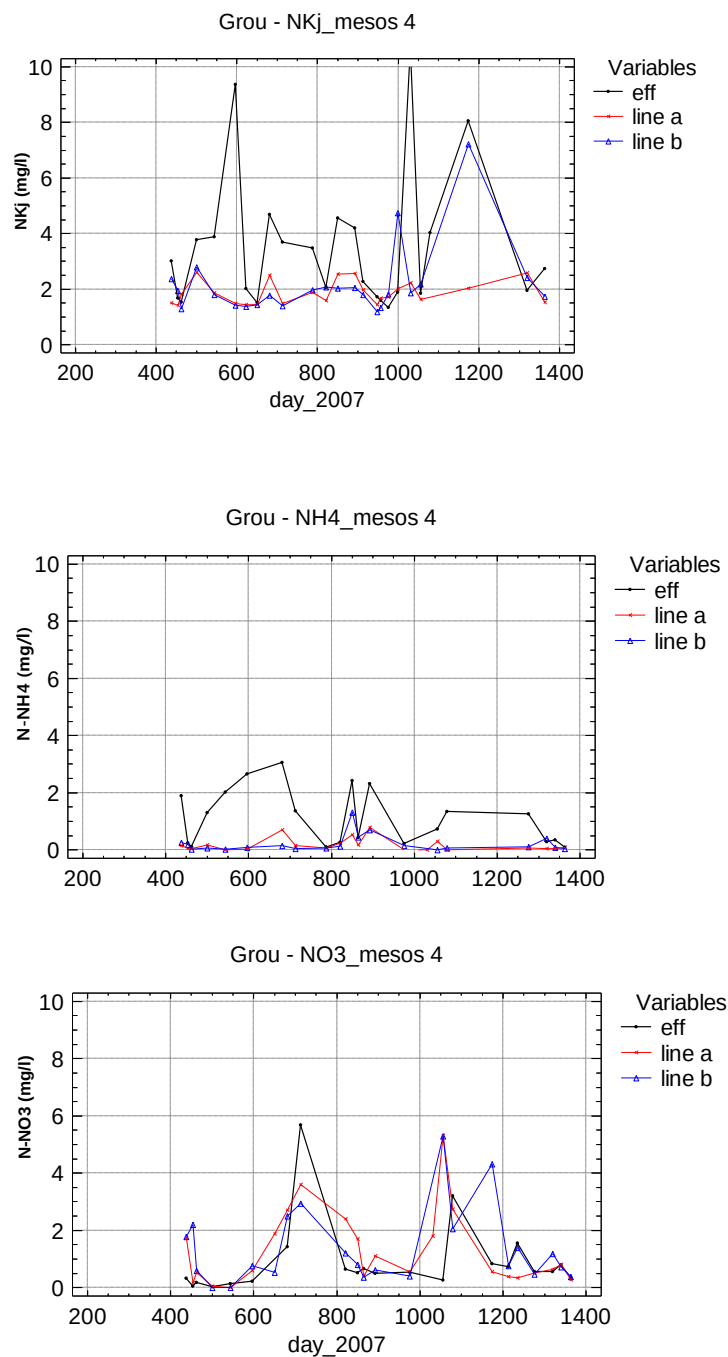
Tijdreeksen nutriënten

De stikstof en fosfor kringloop in natuurlijke systemen is gecompliceerd. In de RWZI wordt een aantal van deze processen geconditioneerd om een specifieke nutriëntenverwijdering te bereiken. In een Waterharmonica kan nog een extra deel worden verwijderd. Stikstof kan worden vastgelegd in planten, kan met zwevend stof worden afgevoerd (bezinking of omzetting in ander organisch materiaal) of worden verwijderd via ontwijking/denitrificatie. De fosfaatverwijdering is een combinatie van bezinking, fixatie en opname in planten. Daarbij kan biologische en chemische binding optreden. Deze binding is in veel gevallen niet permanent (irreversibel). Onder niet aerobe omstandigheden kunnen gevormde fosfaatverbindingen verbreken en kan fosfaat weer vrijkomen (Boomen & Kampf, 2012). Deze P-afgifte is bij P-verwijdering met Al-zouten minder dan bij gebruik van Fe-zouten (Flyckt, 2010).

Hoe groot de rol van de individuele processen hierbij is, kan nader worden afgeleid uit de gegevens van de mesocosm bakken. Daarbij wordt dan onderscheid gemaakt in:

- stikstof, met de componenten NO_3 en NH_4 (plus sporadisch N-Kj en Ntot);
- fosfaat, met de componenten P_{tot} en PO_4 (omdat die beiden nogal onvolledig zijn, is tevens een component 'P-geschat' afgeleid).

Afbeelding 4.10. Verloop van de concentraties NKj, NH₄ en NO₃ in mg N/l aan het eind van beide lijnen a en b (de tijdsas is het dagnummer vanaf 1 januari 2007). Voor de effluent waarden zijn de steekmonsters uit de effluentbak gebruikt (p=0).

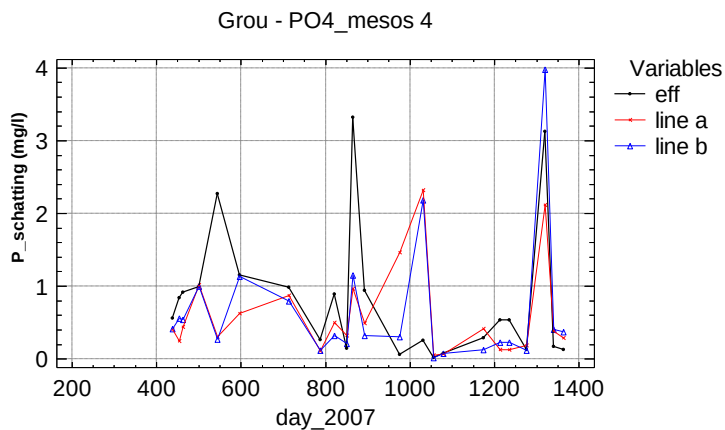


Algemene waarnemingen:

- NKj : vrij grote schommelingen van de effluent waarden, de sterke pieken verdwijnen (door omzetting, afbraak) in de mesocosms;
- NH_4 : in de bakken vindt vergaande nitrificatie plaats (omzetting van NH_4 in NO_3 en NO_2);
- NO_3 : dit laat meer seizoensdynamiek zien, met hogere concentraties dan in het effluent, geen structurele verandering in de loop der jaren. Gezien het hoge zuurstofgehalte in de mesocosms (zie paragraaf 4.4), is het niet verwonderlijk dat er geen verregaande denitrificatie plaatsvindt.

Voor fosfor is een vergelijkbare analyse uitgevoerd en gepresenteerd in afbeelding 4.11. Omdat de analyseset voor fosfor nogal onvolledig is, is in aanvulling op de PO_4 en P_{tot} een variabele 'P-geschat' vastgesteld, waarbij deze geschatte waarde het PO_4 of het P_{tot} is.

Afbeelding 4.11. Verloop van de concentratie PO_4 in de tijd van het onderzoek (2007 t/m 2010) aan het einde van beide lijnen a en b (de tijdsas is het dagnummer vanaf 1 januari 2007).



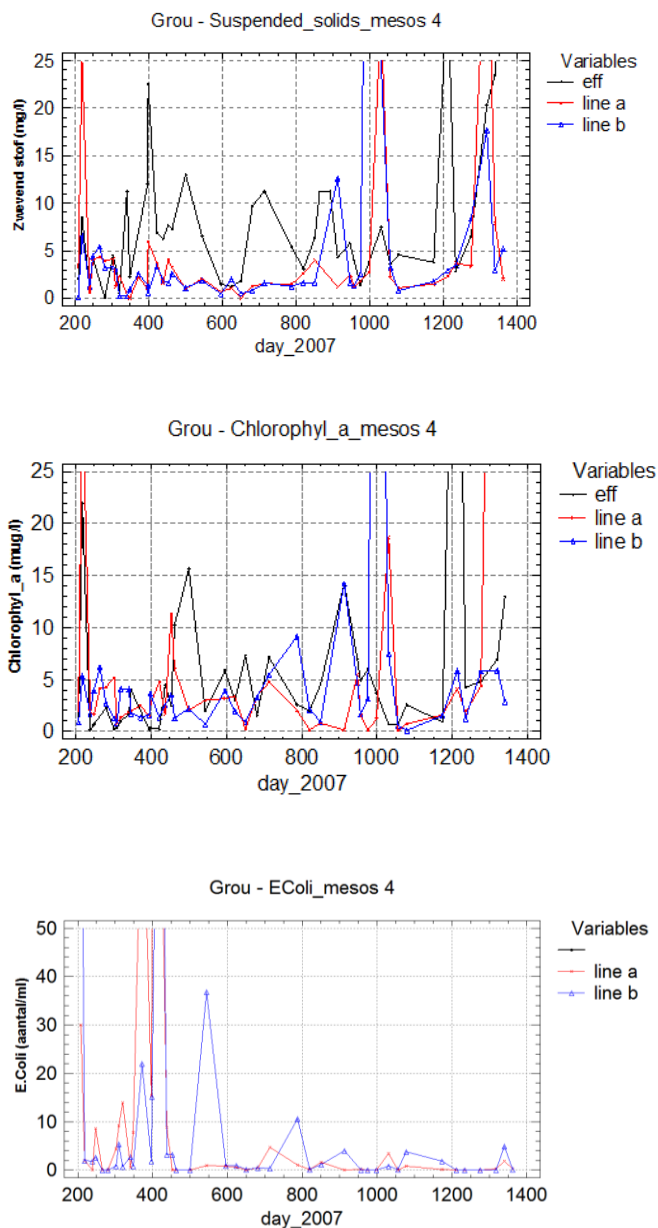
Waarneming:

- het lijkt dat de concentratie in het effluent van 2008 t/m 2010 afneemt in de tijd, en dat komt ook terug in de mesocosm. Op 10 augustus 2010 worden extreem hoge waarden gemeten in zowel het effluent als in de mesocosms. Niet bekend is wat toen is gebeurd.

Tijdreeksen zwevend stof, chlorofyl-A en E.Coli

In onderstaande afbeelding 4.12 zijn de tijdreeksen gepresenteerd van gehalten zwevend stof (= gesuspendeerde stof), chlorofyl-A en E.Coli in de mesocosm bakken.

Afbeelding 4.12. Verloop van de gehalten zwevend stof, chlorofyl-A en E.Coli in de tijd van het onderzoek (2007 t/m 2010) aan het einde van beide lijnen a en b (de tijdsas is het dagnummer vanaf 1 januari 2007).



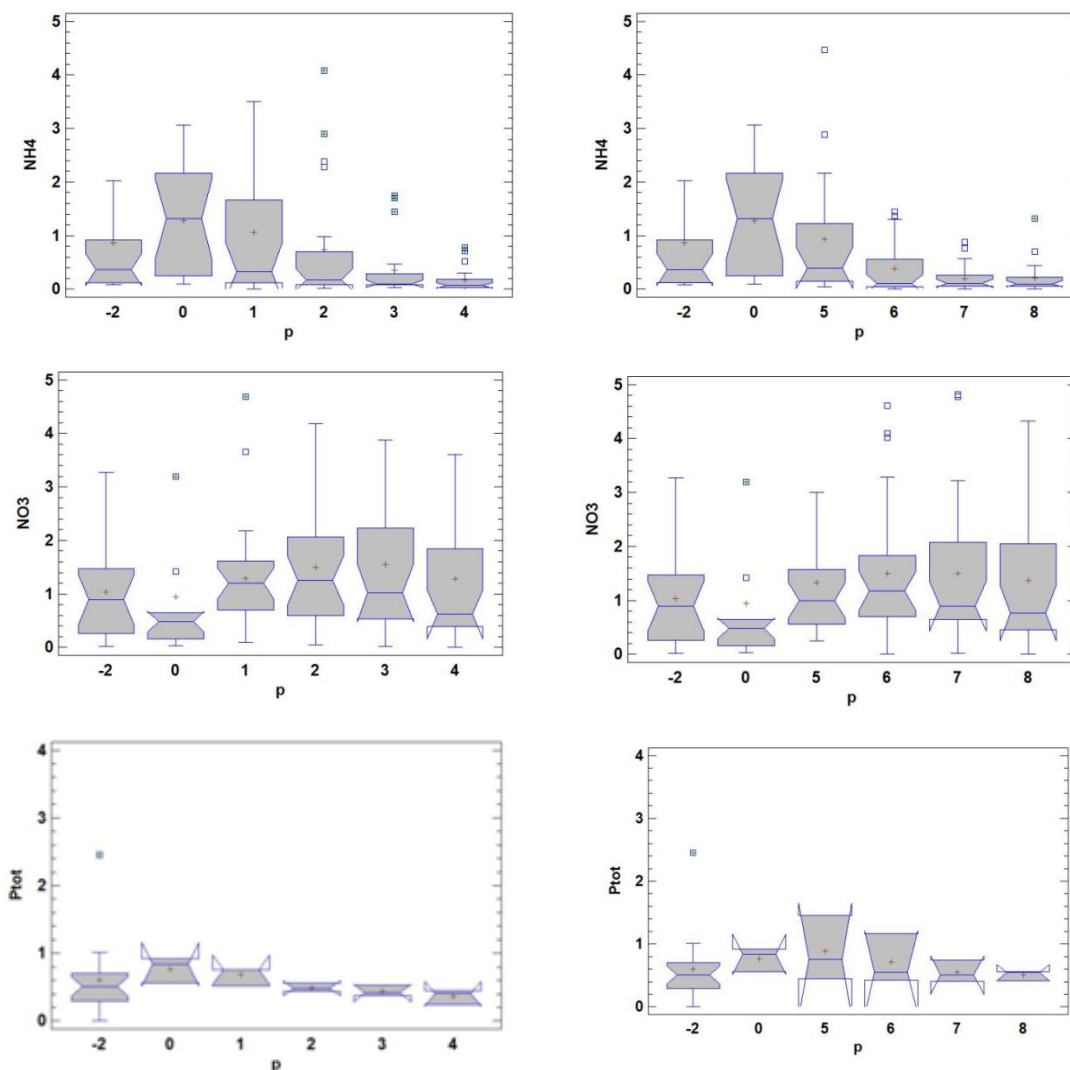
Waarneming:

- SS en chlorofyl-A: stabiele meetresultaten in de periode 2007 t/m 2009. Vanaf 2010 (vanaf dag 1097) zijn weinig metingen beschikbaar en er komen onverwacht hoge concentraties SS en chlorofyl-A voor. Het operationele beheer van de mesocosm bakken is vanaf begin 2010 ook veel minder intensief uitgevoerd. Pompen vielen vaak uit. De meetresultaten zijn daardoor minder bruikbaar in de reeksanalyse;
- E.Coli: in het begin van de proef periode (begin tot eind 2007), lijkt de E.Coli verwijdering in de mesocosm bakken nog weinig te doen. Pas na januari 2008 ontstaat er een groter verschil.

4.5.2. Vergelijk tussen lijn a en b

Zoals in de afbeeldingen 4.10 en 4.11 kan worden gezien, is er weinig verschil waarneembaar tussen de lijnen a en b in de analyseresultaten voor ammonium, nitraat en fosfaat. In afbeelding 4.13a wordt dit nogmaals, maar dan op een andere wijze geïllustreerd. Hierin zijn de resultaten gepresenteerd over de periode 2007 t/m 2011. NKj is niet gepresenteerd omdat dit niet is bemonsterd in de mesocosm bakken 1, 2 en 3, alleen in a4 en b4.

Afbeelding 4.13a. Verloop van de concentratie (in mg/l) NH_4 , NO_3 en P_{tot} in de lijnen a (links) en b (rechts).

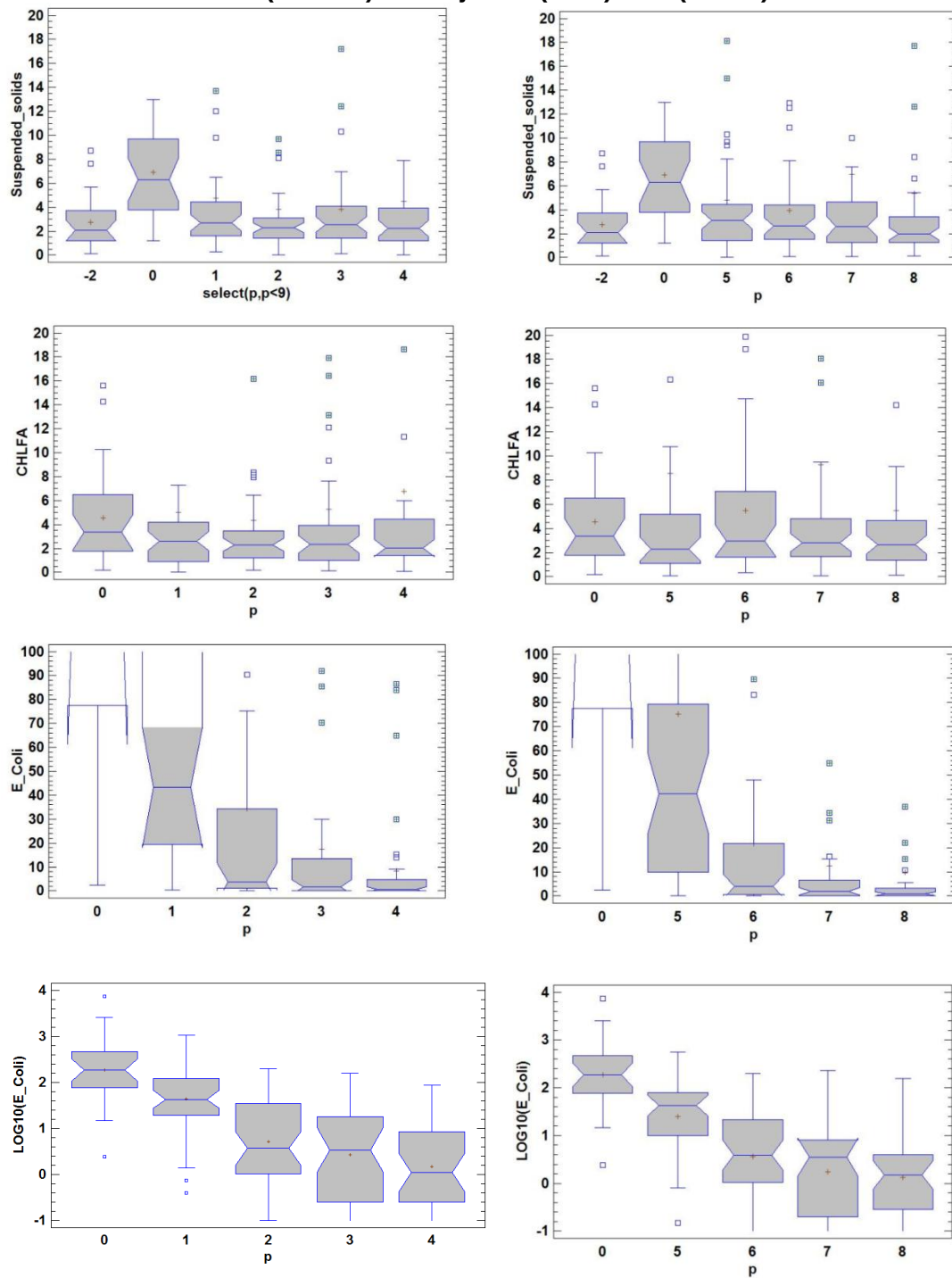


Waarneming:

- NH_4 , NO_3 en PO_4 : de meetresultaten van beide lijnen lijken sterk op elkaar.

De geringe frequentie van monsternamen is ongeschikt om piekbelastingen te analyseren. De afname van de grootte van de boxen in de afbeeldingen 4.13a en 4.13b laat zien dat belastingpieken sterk gedempt worden. Deze demping treedt niet op bij nitraat.

Afbeelding 4.13b. Verloop van de concentratie zwevend stof (mg/l), chlorofyl-A ($\mu\text{g/l}$) en E.Coli (MPN/ml) in de lijnen a (links) en b (rechts).



Waarneming:

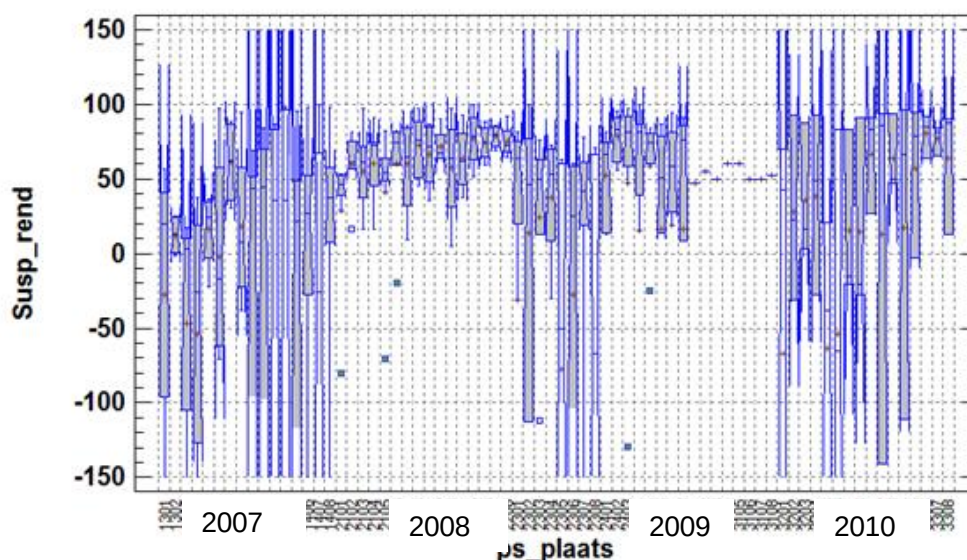
- zwevende stof: de twee lijnen a en b lijken sterk op elkaar;
- chlorofyl-A: de twee lijnen lijken sterk op elkaar. Er is weinig effect zichtbaar van het schoonhouden van lijn a, als dit al direct effect zou hebben op de hoeveelheid chlorofyl-A (door meer/minder licht, door concurrentie tussen algen en flab of meer/minder pre-datie door watervlooien);
- E.Coli: de twee lijnen lijken sterk op elkaar.

4.5.3. Rendementen in periode 2

Voor de analyse van de rendementen is het eerst noodzakelijk te bepalen of de gehele onderzoeksperiode kan worden betrokken in de analyse. Dit blijkt niet het geval. Het jaar 2007 blijkt een opstart halfjaar te zijn waarin geheel andere rendementen worden berekend dan in de jaren 2008 en 2009. In 2010 is door beperkt onderhoud vaak de aanvoer verstoord waardoor dit geen representatieve resultaten oplevert. Ook is het aantal chemische analyses in 2010 (nog) geringer dan in de eerdere onderzoeksperiodes.

De onderzoeksperiode 2008 en 2009 is wel consistent en stabiel. In onderstaande afbeelding 4.14 is dit gevisualiseerd voor zwevend stof waarin duidelijk is dat de spreiding in verwijderingsrendementen in 2007 en 2010 veel groter is dan in de tussenliggende periode, mogelijk veroorzaakt door eerder genoemde situaties.

Afbeelding 4.14. Verloop van de concentratie zwevende stof (mg/l) in de tijd van de mesocosm bakken waarbij de hoogte van de boxen de grootte van de spreiding aangeeft.



Voor de verdere analyse van de rendementen is daarom het onderzoek onderverdeeld in drie periodes:

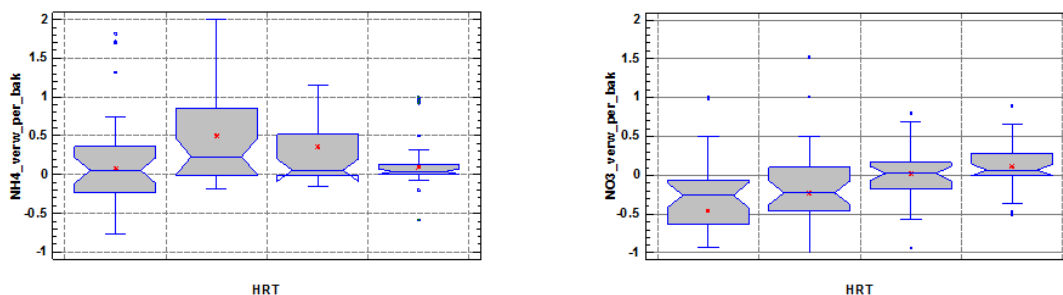
- periode 1 = 2007: opstartperiode;
- periode 2 = 2008 en 2009: meetperiode;
- periode 3 = 2010: periode met onvoldoende onderhoud en verminderde onderzoeksinspanning.

Voor de interpretatie van het functioneren van de mesocosm opstelling is de periode 2, jaren 2008 – 2009 gebruikt. In paragraaf 4.5.5 wordt ingegaan op periodes 1 en 3.

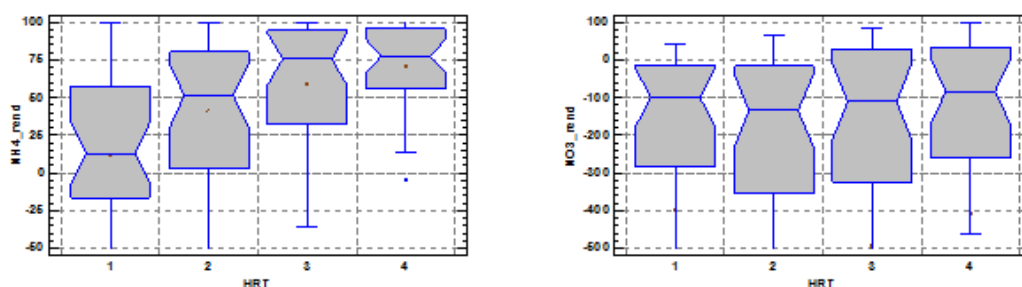
Verwijdering nutriënten

In de volgende afbeeldingen zijn eerst de absoluut verwijderde hoeveelheden per bak weergegeven (in mg/l). Voor NH_4 in afbeelding 4.15, voor NO_3 in afbeelding 4.16 en voor fosfaat in afbeelding 4.17. Daarbij zijn de onderzoekslijnen a en b steeds samengevoegd.

Afbeelding 4.15. Absolute verandering van NH_4 en NO_3 (mg/l) in periode 2 (HRT resp. 1, 2, 3 en 4 dagen) per mesocosm bak.

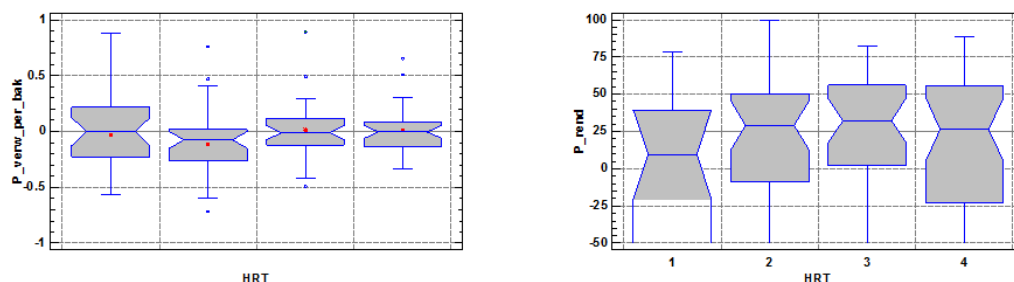


Afbeelding 4.16. Cumulatieve verwijderingsrendement NH_4 en NO_3 (%) in periode 2 (HRT resp. 1, 2, 3 en 4 dagen) van de mesocosm bakken.



NH_4 wordt in de mesocosm bakken sterk gereduceerd tot 70-80% bij een verblijftijd van 4 dagen (op basis van gemiddelden). Na een HRT van 1 dag is dit nog maar beperkt tot 10-15%, deze waarde is echter erg onzeker door de variaties in het ammoniumgehalte van het effluent over de dag. Na een HRT van 2 dagen neemt de reductie toe tot 40%, na een HRT van 3 dagen tot 60% (alle op basis van gemiddelden). Dit levert een NH_4 afname op van ca. 1 mg/l na een HRT van 4 dagen, ofwel een verwijdering van 1.000 kg N/ha.jaar. NO_3 wordt uit de afgebroken NH_4 geproduceerd door aanwezigheid van zuurstof. Deze NO_3 -productie bereikt zijn maximale waarde na 2 dagen verblijftijd (een factor 4 a 5) en neemt daarna iets af. Vanaf het effluent gerekend nemen de nitraatconcentraties met 0,50 tot 0,65 mg/l toe.

Afbeelding 4.17. Fosfor (uit P-ortho en P_{tot} afgeleide waarden). Links: absolute verandering (mg/l) per mesocosm bak. Rechts: cumulatief verwijderingsrendement (%). Periode 2 (HRT resp. 1, 2, 3 en 4 dagen)



Op basis van gemiddelde waarden van 2008-2009 wordt voor P een negatief verwijderingsrendement berekend van ca.100% (verdubbeling van de concentratie). Als wordt uitgegaan van mediaan waarden wordt een verwijdering van 10 tot 25 % bereikt. De grote verschillen tussen de gemiddelde en de mediaan waarden worden veroorzaakt door enkele grote uitschieters. Ook spelen voor fosfaat de grote verschillen tussen de seizoenen een belangrijke rol; uit de gemiddelden lijkt te komen dat er met fosfaat in de bakken niets gebeurt. Zie echter afbeelding 4.11 en paragraaf 4.5.4.

De statistische berekening resulteert in verwijderingsrendementen zoals gepresenteerd in tabel 4.5.

Tabel 4.5. Gehaltes (gemiddelden van alle data van 2008 en 2009 zowel van lijn a als van lijn b) waarop de afbeeldingen 4.15 t/m 4.17 gebaseerd zijn.

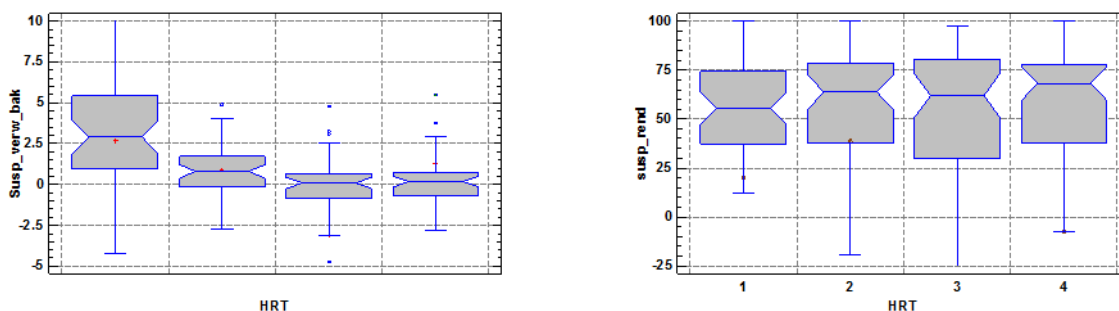
NH ₄	-2	0	1	2	3	4
	Efl-24h	Efl. bak				
Gehalte – gemiddeld (mg/l)	0,87	1,27	1,20	0,66	0,31	0,22
Gehalte – mediaan (mg/l)	0,36	1,31	0,55	0,20	0,12	0,12
Rendement, gebaseerd op gemiddelde (%)			12,1	42,0	59,2	70,8
Verwijdering gemiddeld cumulatief (mg/l)			0,07	0,66	0,96	1,06
Verwijdering gemiddelde per bak (mg/l)			0,07	0,49	0,35	0,09
Rendement, gebaseerd op mediaan (%)			13,2	51	75,6	77,7
NO ₃	-2	0	1	2	3	4
Gehalte – gemiddeld (mg/l)	1,03	0,95	1,40	1,63	1,61	1,50
Gehalte – mediaan (mg/l)	0,89	0,48	1,14	1,54	1,10	1,10
Rendement, gebaseerd op gemiddelde (%)			-398	-523	-496	-408
Verwijdering gemiddeld cumulatief (mg/l)			-0,47	-0,66	-0,65	-0,56
Verwijdering gemiddelde per bak (mg/l)			-0,47	-0,23	0,03	0,11
Rendement, gebaseerd op mediaan (%)			-100	-134	-110	-83,1
P	-2	0	1	2	3	4
Gehalte – gemiddeld (mg/l)	0,53	0,85	0,71	0,60	0,61	0,62
Gehalte – mediaan (mg/l)	0,50	0,86	0,66	0,53	0,43	0,3
Rendement, gebaseerd op gemiddelde (%)			-406	113	-124	-122
Verwijdering gemiddeld cumulatief (mg/l)			-0,03	-0,11	0,011	0,007
Verwijdering gemiddelde per bak (mg/l)			-0,03	-0,07	-0,01	-0,004
Rendement, gebaseerd op mediaan (%)			9,5	29,1	22,3	26,3

Verwijdering en vorming van deeltjes

Het tweede blok fysisch-chemische parameters betreffen drie parameters die alle met zwevend stof, pathogenen en het doorzicht van het water te maken hebben. Het zijn:

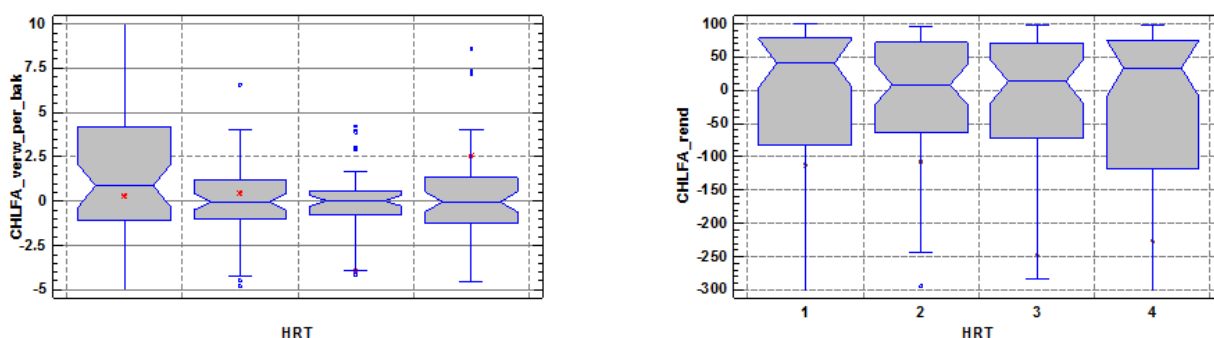
- zwevend stof (Suspended_solids);
- Chlorofyl-A (CHLFA en Som_faefitine);
- E.Coli 44 (E.Coli).

Afbeelding 4.18. Zwevend stof Links: absolute verwijdering/verandering (mg/l) per mesocosm bak. Rechts: Cumulatief verwijderingsrendement (%). Periode 2 (HRT resp. 1, 2, 3 en 4 dagen).



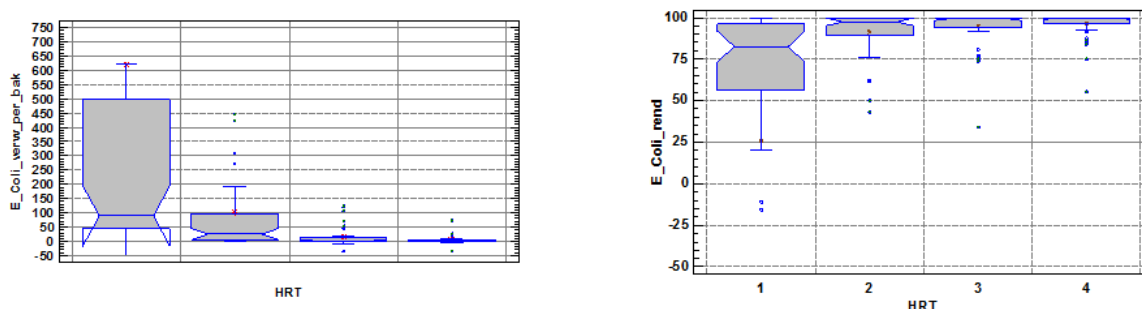
Zwevend stof wordt in de eerste mesocosm bakken gereduceerd met 40 tot 60% op basis van resp. gemiddelde of mediaan waarde (afbeelding 4.18). De verwijdering blijft ook met een verblijftijd van 3 tot 4 dagen ca. 60-70%. Door enkele extreme waarden wordt de berekende verwijdering bij een verblijftijd van 3 en 4 dagen op basis van gemiddelden veel lager (-10 tot -40%). Netto kan er bij een verblijftijd van 2 dagen ca. 2,5 mg/l zwevend stof worden verwijderd/omgezet, maar bij het doorlopen van ca. 4 dagen verblijftijd is de absolute afname slechts ca. 1,5 mg/l (t.o.v. ca. 5 mg/l in het effluent).

Afbeelding 4.19. Chlorofyl-A Links: absolute verwijdering/verandering (µg/l) per mesocosm bak. Rechts: Cumulatief verwijderingsrendement (%). Periode 2 (HRT resp. 1, 2, 3 en 4 dagen).



Het chlorofyl-A gehalte in het effluent is zeer laag. In de mesocosm bakken kan dit toenemen door de groei van algen (afbeelding 4.19). De percentuele toename van het chlorofyl lijkt hoog, gemiddeld een verdubbeling van de waarden. Net als bij zwevend stof wordt dit ook hier veroorzaakt door uitschieters. Als wordt gelet op de mediaan waarden (dus met uitsluiting van enkele extremen), lijkt een verwijdering van chlorofyl-A plaats te vinden. Gesteld moet worden dat de waarden voor chlorofyl-A sowieso laag zijn (minder dan 5 µg/l).

Afbeelding 4.20. E.Coli Links: absolute verwijdering/verandering (MPN/ml) per mesocosm bak. Rechts: Cumulatief verwijderingsrendement (%). Periode 2 (HRT resp. 1, 2, 3 en 4 dagen).



Voor E.Coli worden in de mesocosm bakken hoge verwijderingspercentages bereikt. Na een verblijftijd van 2 dagen wordt een verwijdering van meer dan 90% bereikt, na 4 dagen verblijftijd is dit toegenomen tot 96% of zelfs 99,8% (op basis van mediaan waarden).

In tabel 4.6 worden de bovenomschreven waarnemingen getalsmatig ondersteund en gespecificeerd.

Tabel 4.6. Gehaltes (gemiddelden van alle data van periode 2 (2008 en 2009) zowel van lijn a als van lijn b) waarop de afbeeldingen 4.18 t/m 4.20 gebaseerd zijn.

Zwevend stof	-2 Efl-24h	0 Efluentbak	1	2	3	4
Gehalte – gemiddeld (mg/l)	2,72	6,93	3,87	3,02	6,06	4,80
Gehalte – mediaan (mg/l)	2,06	6,29	2,59	2,36	2,00	1,7
Rendement, gebaseerd op gemiddelde (%)			20,0	39,4	-39,2	-7,3
Verwijdering gemiddeld cumulatief (mg/l)			2,65	3,53	0,38	1,66
Verwijdering gemiddelde per bak (mg/l)			2,66	0,88	-3,1	1,3
Rendement, gebaseerd op mediaan (%)			55,5	63,7	62,1	68,2
Chlorofyl-A	-2	0	1	2	3	4
Gehalte – gemiddeld (µg/l)		4,55	4,19	3,73	7,65	5,11
Gehalte – mediaan (µg/l)		3,34	2,62	2,29	2,37	2,19
Rendement, gebaseerd op gemiddelde (%)			-112	-107	-247	-226
Verwijdering gemiddeld cumulatief (µg/l)			2,65	3,51	0,38	1,7
Verwijdering gemiddelde per bak (µg/l)			0,32	0,46	-3,9	2,5
Rendement, gebaseerd op mediaan (%)			41,1	8,8	13,7	33,3
E.Coli	-2	0	1	2	3	4
Gehalte – gemiddeld (MPN/ml)		709	142	33,7	17,1	11,2
Gehalte – mediaan (MPN/ml)		186	48,8	3,85	1,40	0,83
Rendement, gebaseerd op gemiddelde (%)			25,5	91,3	94,7	96,3
Verwijdering gemiddeld cumulatief (MPN/ml)			620	725	743	747
Verwijdering gemiddelde per bak (MPN/ml)			620	102	17	6
Rendement, gebaseerd op mediaan (%)			82,6	97,4	99,6	99,8

4.5.4. Seizoensverschillen

In voorgaande paragraaf zijn de bevindingen in de 2^e meetperiode bij elkaar gebracht en geanalyseerd. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven over de vier seizoenen:

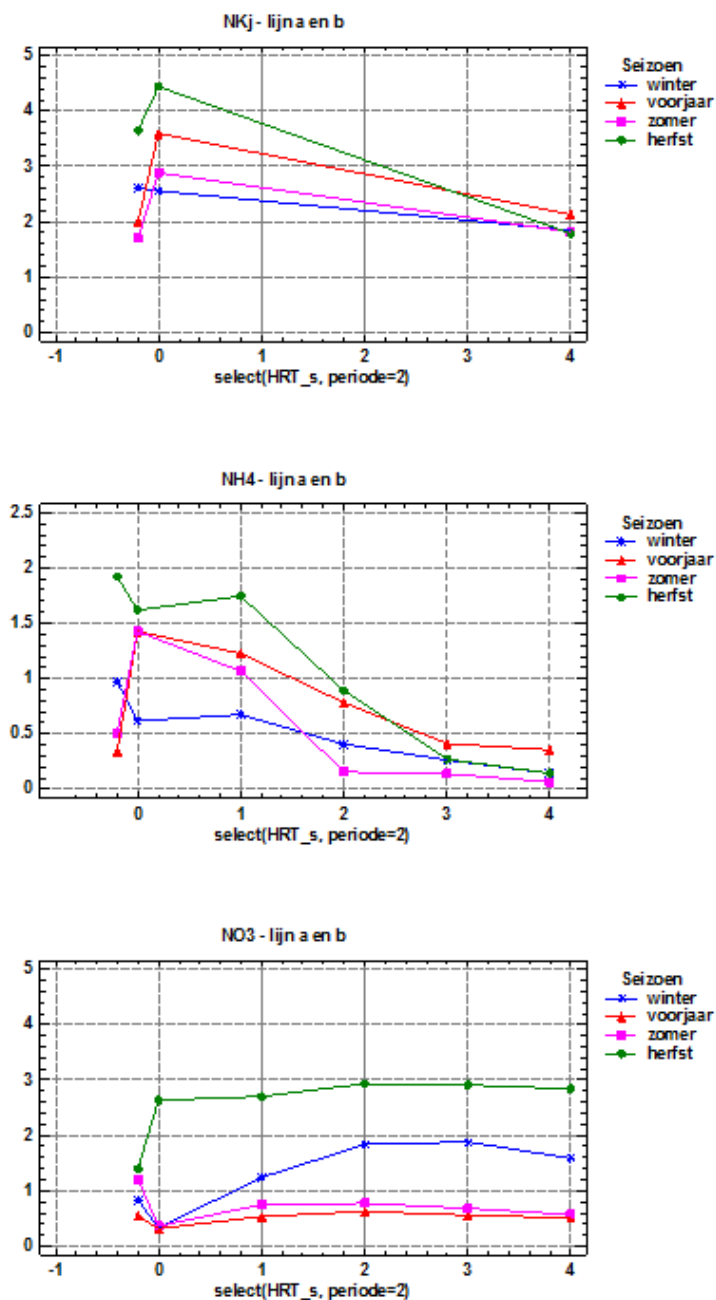
- winter: januari, februari, maart (maanden 1, 2, 3);
- voorjaar: april, mei, juni (maanden 4, 5, 6);
- zomer: juli, augustus, september (maanden 7, 8, 9);
- herfst: oktober, november, december (maanden 10, 11, 12).

Telkens worden per seizoen de gegevens over de twee meetjaren 2008 en 2009 bij elkaar gebracht.

Seizoensverschillen nutriënten

In afbeelding 4.21 zijn de concentraties per seizoen weergegeven. Omdat de onduidelijkheid over de voeding van de effluentmonsters toch nog vragen oproept, zijn ook hier de beide monsters in de figuren weergegeven (het 24hrs verzamelmonster is weergegeven bij de x-as = -1 en de effluentbak is weergegeven bij de x-as = 0).

Afbeelding 4.21. Gemiddelde gehalten NH_4 en NO_3 (in mg/l) per seizoen in meetperiode 2 in het verloop van de mesocosm bakken van het onderzoek (2008 en 2009), gemiddelde van de beide lijnen a en b

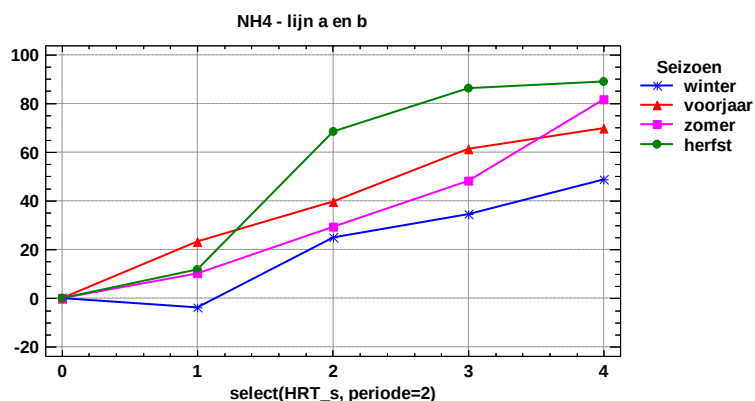


Waarneming Kjeldahl-stikstof, ammonium en nitraat (afbeelding 4.21):

- in alle seizoenen eindigt N-Kj op ca. 2 mg/l, onafhankelijk van de effluent-concentratie;
- voor ammonium en nitraat geldt dat de concentraties in de effluent bak in voorjaar, zomer en herfst op 1,5 mg NH_4 /l ligt. In de winter is de nitrificatie in het effluent van de RWZI tegen de verwachtingen beter: 0,6 mg NH_4 /l in bak 1;
- de NH_4 concentratie in mesocosm bak 4 is in de zomer 0,35 mg/l, in de andere seizoenen 0,06 – 0,14 mg/l. Het rendement voor de nitrificatie van NH_4 is in de winter bijna 50 % en in de herfst bijna 90 % (afbeelding 4.22);

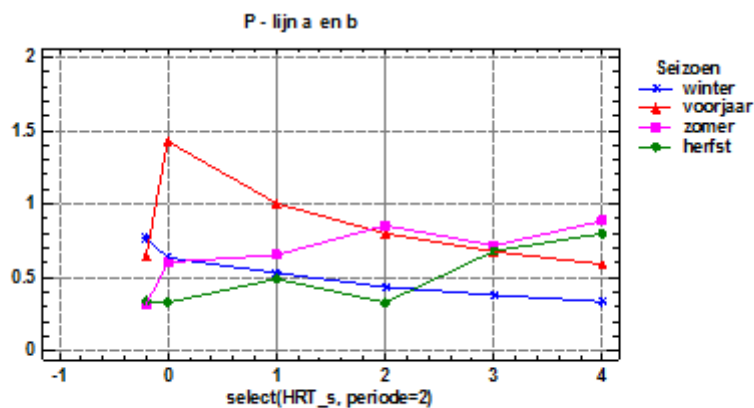
- NO_3 : De effluent gehaltenes nitraat blijven in voorjaar en zomer laag, rond de 0,7 mg/l gelijk of stijgen zelfs. Ook hier lijken alleen in de herfst en winter veranderingen plaats te vinden. Door hoge zuurstofgehaltenes in de mesocosm bakken is de denitrificatie (tot N_2) gering.

Afbeelding 4.22. Gemiddelde rendement verwijdering NH_4 (%), per seizoen, periode 2, gemiddelde beide lijnen a en b.



Het gehalte aan P-verbindingen in het effluent bedraagt ca. 0,5 mg/l, maar is in het voorjaar met 1,5 mg/l hoger, zie afbeelding 4.23.

Afbeelding 4.23. Gemiddelde gehalten van P-verbindingen (in mg/l)(berekend uit de P_{tot} en P-ortho gegevens) per seizoen in meetperiode 2 in het verloop van de mesocosm bakken van het onderzoek (2008 en 2009), gemiddelde van beide lijnen a en b.



Waarneming:

P: in winter en voorjaar een afname van P vanaf effluent tot bak 4, in de zomer en herfst neemt de concentratie P verderop in de bakken juist toe (mogelijk release van P uit algen): afbeelding 4.23.

In tabel 4.7 wordt een overzicht gegeven van de onderliggende data.

Tabel 4.7. Verwijderingsrendement P (in cumulatief % t.o.v. effluent, p=0), gemiddelden en mediaan waarden (negatief getal betekent toename van de concentratie), gemiddelde van beide lijnen (a en b) – periode 2 (2008 en 2009).

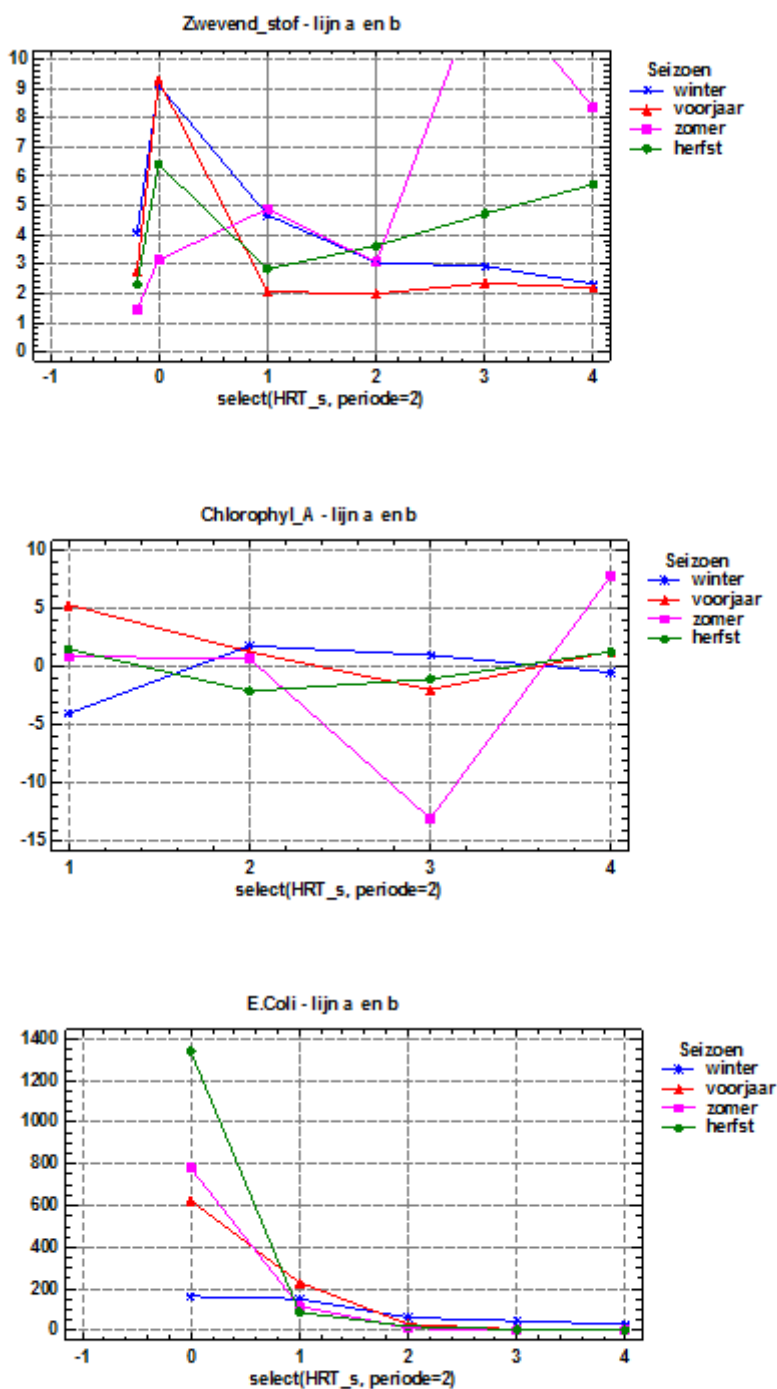
winter	1	2	3	4
P- gemiddelde (%)	15,6	31,4	40,8	47,0
P-verwijdering (mg/l) op basis van gemiddelde	0,10	0,20	0,26	0,30
P- mediaan (%)	17,1	36,5	49,4	49,1
Voorjaar	1	2	3	4
P- gemiddelde (%)	-1,8	4,7	3,7	28,7
P-verwijdering (mg/l) op basis van gemiddelde	0,43	0,63	0,76	0,81
P- mediaan (%)	13,4	39,7	43,8	49,3
Zomer	1	2	3	4
P- gemiddelde (%)	-455	-729	-361	-705
P-verwijdering (mg/l) op basis van gemiddelde	-0,05	-0,25	-0,10	-0,28
P- mediaan (%)	-201	-358	18	-216
Herfst	1	2	3	4
P- gemiddelde (%)	- 1411	-124	-363	-227
P-verwijdering (mg/l) op basis van gemiddelde	-0,16	0,0	-0,35	-0,47
P- mediaan (%)	-32	10,2	4,5	-1,0

- het verschil tussen de seizoenen is groot. In de winter en lente worden rendementen berekend van 5 tot 50 %, met de hoogste rendementen bij een verblijftijd van 4 dagen. Daarbij kan een hoeveelheid tot 0,8 mg P/l worden verwijderd (voorjaar). In de zomer worden zeer sterke negatieve verwijderingsrendementen berekend. Ook in de herfst treedt nog P vorming op, mogelijk door afbraak van algen op. Dit kan een concentratie-toename van 0,3 tot 0,5 mg/l betekenen.

Seizoensverschillen deeltjes

Voor zwevende stof, chlorofyl-A en E.Coli is in onderstaande afbeelding 4.24 weergegeven en aangegeven of er seizoenverschillen zijn.

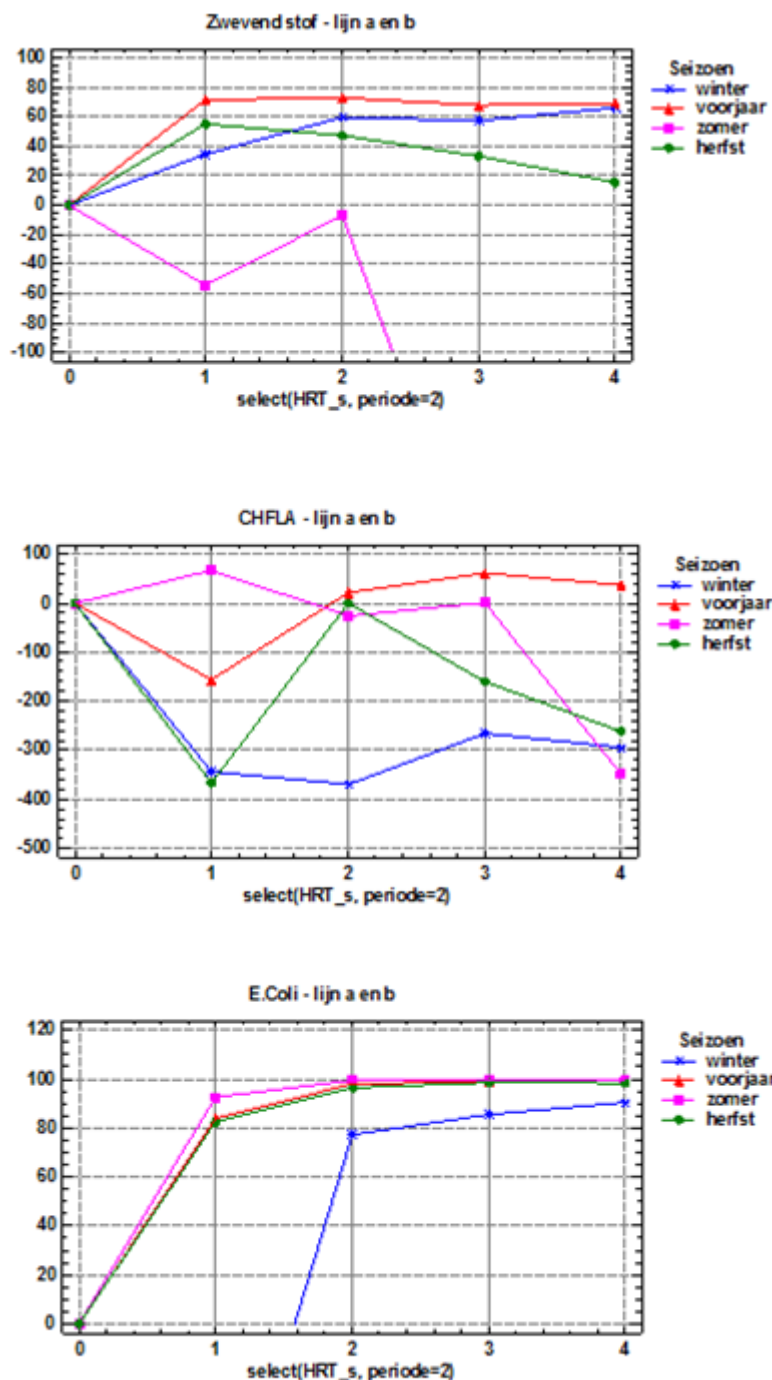
Afbeelding 4.24. Verloop van de concentratie zwevend stof (mg/l), Chlorofyl-A ($\mu\text{g/l}$) en E.Coli (MPN/ml in log) in de tijd c.q. in het verloop van de mesocosm bakken van het onderzoek in beide lijnen a en b waarbij de vier seizoenen zijn onderscheiden – periode 2 (2008 en 2009).



Voor het berekenen van de verwijderingsrendementen voor zwevende stof, chlorofyl-A en E.Coli is, net als bij de nutriënten, alleen gebruik gemaakt van de meetresultaten in de jaren 2008 en 2009, periode 2. Dit omdat in 2007 en 2010 sterk instabiele analyseresultaten zijn gevonden. In afbeelding 4.28 zijn de rendementen van verwijdering/verandering gepre-

senteerd voor zwevende stof, chlorofyl-A en E.Coli, waarbij de onderzoekslijnen a en b zijn samengevoegd.

Afbeelding 4.28. Verwijderingsrendement zwevende stof, chlorofyl-A en E.Coli in de tijd (HRT resp. 1, 2, 3 en 4 dagen) van de mesocosm bakken met onderscheid naar de seizoenen – periode 2 (2008 en 2009).



De verwijderingsrendementen voor E.Coli in getalsvorm zijn gepresenteerd in tabel 4.8.

Tabel 4.8. E.Coli in de mesocosm, lijnen a en b samen genomen – periode 2 (2008 en 2009). De aantallen E.Coli zijn uitgedrukt in MPN/ml.

tijdvak	HRT (dagen)	aantal be-monsterin-gen	gemiddelden				medianen		
			gemiddel-de waarde	afna-me cumulatief	afna-me per bak	afna-me %	mediaan waarde	medi-aan %	afname cumula-tief
winter	0	10	179				154		
	1	8	151	28	28,2	15,8	90,0	41,4	63,6
	2	8	62,4	117	88,6	65,2	25,9	83,2	128
	3	8	44,7	135	17,7	75,1	15,6	89,9	138
	4	8	29,5	150	15,2	83,5	9,5	93,8	144
voor-jaar	0	6	550				186		
	1	4	232	317	317	57,8	56,0	69,8	130
	2	4	28,9	521	203	94,7	6,9	96,3	179
	3	4	4,1	546	24,8	99,3	2,6	98,6	183
	4	4	5,1	545	-1,0	99,1	0,6	99,7	185
zomer	0	8	954				563		
	1	7	113	841	840	88,2	16,2	97,1	547
	2	7	12,3	941	101	98,7	1,6	99,7	562
	3	7	0,9	953	11,4	99,9	0,6	99,9	563
	4	7	0,7	953	0,3	99,9	0,5	99,9	563
herfst	0	7	1.207				186		
	1	6	86,9	1.120	1.120	92,8	47,5	74,4	138
	2	6	20,1	1.187	66,8	98,3	6,3	96,6	179
	3	5	3,8	1.203	16,3	99,7	1,5	99,2	184
	4	6	1,3	1.205	2,6	99,9	0,6	99,7	185

De tabel 4.8 met gegevens over E.Coli illustreert goed de problemen met de uitwerking van de data. De aantallen monsters zijn niet hoog (4 – 8, maximaal 10) per monsterplek (wel zijn de lijnen a en b samengenomen). Een enkele uitschieter heeft direct grote invloed op het gemiddelde, daarom zijn ook de mediaanwaarden in de tabel genomen.

In de winter was de afname per bak gelijkelijk verdeeld over de bakken, terwijl in de warmere en lichtere seizoenen de meeste E.Coli al na de eerste dagen verdwenen waren.

In tabel 4.9 zijn de waardes van tabel 4.8 logaritmisch weergegeven. In de mesocosm van Grou bleef de reductie van E.Coli beperkt tot 0,8 - 1 log waarde in de winter, maar bedroeg 2,5 tot 3 in de andere seizoenen.

Tabel 4.9. Logaritmische waarden van E.Coli, lijnen a en b samen genomen – periode 2 (2008 en 2009). De aantallen E.Coli zijn uitgedrukt in MPN/ml.

tijdvak	HRT (dagen)	log gemiddelden		log medianen	
		log gem	afname cumulatief	afname per bak	log afname cumulatief
winter	0	2,3			2,2
	1	2,2	0,07	0,07	2,0
	2	1,8	0,46	0,38	1,4
	3	1,7	0,60	0,14	1,2
	4	1,5	0,78	0,18	0,98
voorjaar	0	2,7			2,3
	1	2,4	0,37	0,37	1,7
	2	1,5	1,3	0,91	0,84
	3	0,61	2,1	0,85	0,42
	4	0,71	2,0	-0,09	-0,24
zomer	0	3,0			2,8
	1	2,1	0,93	0,93	1,2
	2	1,1	1,9	1,0	0,21
	3	-0,04	3,0	1,1	-0,25
	4	-0,18	3,2	0,1	-0,28
herfst	0	3,1			2,27
	1	1,9	1,1	1,1	1,7
	2	1,3	1,8	0,6	0,80
	3	0,58	2,5	0,7	0,17
	4	0,11	3,0	0,5	-0,26

Tabel 4.10 Afbraaksnelheden van de E.Coli (zowel gemiddelde waarden als mediane waarden) in de mesocosm afhankelijk van de beschouwde seizoenen (periode 2 – 2008 en 2009, lijnen a en b bij elkaar gevoegd).

Seizoen	Gemiddelden		Medianen	
	Afbraaksnelheid	Waarde na 4 dagen	Afbraaksnelheid	Waarde na 4 dagen
	(per dag)	(MPN/l)	(per dag)	(MPN/l)
Winter	-0,21	29,5	-0,31	9,5
Voorjaar	-0,73	5,1	-0,63	0,6
Zomer	-1,00	0,66	-1,27	0,5
Herfst	-0,81	1,28	-0,72	0,6

De afbraaksnelheden zijn in de winter met –0,2 tot -0,3 per dag laag, in de andere seizoenen worden waarden van –0,6 tot bijna -1,3 per dag gevonden (tabel 4.10).

In de tabel 4.10 zijn ook de eindwaardes na een verblijftijd van 4 dagen opgenomen. In de afloop van de mesocosms waren de mediaanwaarden, dus de 'gewoonlijke waarden' rond de 0,5 ml. Dit niveau van mediaan waarden werd in de winter niet bereikt, in de lente na 2,8 dag, in de zomer na 1,6 dag en in de herfst na 2,5 dag. Door de invloed van uitschieters, van pieken, op de gemiddelden waren deze periodes voor de gemiddelde waarden hoger.

4.5.5. Samenvattende conclusies

- de analyseresultaten laten in het jaar 2007 een sterke variatie zien. Dit kan worden beschouwd als een opstart halfjaar. In 2010 heeft door slecht en onregelmatig onderhoud het systeem niet stabiel gefunctioneerd. Voor het bepalen van rendementen zijn daarom alleen de resultaten uit 2008 en 2009 gebruikt;
- de geringe frequentie van monstername in de mesocosm bakken bleek ongeschikt om piekbelastingen te detecteren en het effect ervan te analyseren. Wat wel wordt gesignaleerd is dat de spreiding van de gegevens, die dus duiden op pieken, afneemt in de loop van de mesocosm bakken;
- voor NH_4 , NO_3 , P, zwevende stof, chlorofyl-A en E.Coli lijken de meetresultaten van de beide lijnen a en b sterk op elkaar. In lijn a is structureel flab verwijderd, in lijn b niet. Dit lijkt weinig verschil te maken op de genoemde fysisch-chemische parameters;
- voor ammonium (NH_4) worden over het algemeen lage concentraties gemeten, lager dan in het effluent en vrij constant in de loop der jaren. Er is wel een verschil tussen enerzijds herfst en voorjaar (hogere concentraties in het effluent) en anderzijds zomer en winter (lagere concentraties in effluent). De concentratie in mesocosm bak 4 is in alle seizoenen in dezelfde orde van grootte. Die concentratie is laag (minder dan 0,3 mg/l), terwijl het effluent varieert van 0,6 tot 1,6 mg/l. Ammonium wordt in de mesocosm bakken dus sterk gereduceerd, tot 70-80% bij een verblijftijd van 4 dagen (op basis van gemiddelden). Na een HRT van 1 dag is dit nog maar beperkt (ca. 10-15%) wat vooral komt door de variatie van het ammoniumgehalte van het effluent over de dag, zie paragraaf 4.3, na een HRT van 2 dagen tot 40%, na een HRT van 3 dagen 60% (alle op basis van gemiddelden). Dit levert een NH_4 verwijdering op van ca. 1 mg/l na een HRT van 4 dagen;
- nitraat (NO_3) laat meer seizoensdynamiek zien, met hogere concentraties in de mesocosm bakken dan in het effluent. Er wordt geen structurele verandering in de loop der jaren gemeten. Nitraat wordt uit de afgebroken NH_4 biologisch geoxideerd door aanwezigheid van zuurstof. Deze NO_3 -productie bereikt maximale waarde na 2 dagen verblijftijd (een factor 4 á 5) en neemt daarna iets af. De nitraatconcentraties nemen met 0,50 tot 0,65 mg/l toe vanaf het effluent. De meeste veranderingen lijken alleen in de zomer en winter plaats te vinden. Het nitraat wordt niet verder gereduceerd tot stikstof vanwege het hoge zuurstofgehalte in de mesocosms;
- de concentratie fosfaat (PO_4) lijkt in het effluent van 2008 t/m 2010 af te nemen, en dat komt ook terug in de mesocosm bakken. Op basis van jaargemiddelde waarden wordt voor P een negatief verwijderingsrendement berekend van ca.100% (verdubbeling van de concentratie). Als wordt uitgegaan van mediaan waarden wordt een verwijdering van 10 tot 25 % berekend. Het fosfaatgehalte neemt in de winter en het voorjaar sterk af vanaf effluent tot bak 4 (rendement 5 tot 50%) met de hoogste rendementen bij een verblijftijd van 4 dagen. Daarbij kan een hoeveelheid tot 0,8 mg P/l worden verwijderd (voorjaar). In de zomer en herfst neemt de concentratie fosfaat juist toe verderop in de bakken (waarschijnlijk door het vrijkomen van P door afbraak van algen). Dit kan een nalevering van 0,3 tot 0,5 mg/l betekenen;
- voor zwevend stof zijn stabiele meetwaarden geregistreerd over de periode 2007 t/m 2009. Door een onvoldoende operationele beheer van de mesocosm bakken vanaf begin 2010 zijn die resultaten veel minder betrouwbaar en bruikbaar. Zwevend stof wordt in de eerste mesocosm bakken (HRT 2 dagen) gereduceerd met 40 tot 60% op basis van resp. gemiddelde of mediaan waarde. De verwijdering blijft ook met een verblijftijd van 3 tot 4 dagen ca. 60-70%. Door enkele extreme waarden wordt de berekende verwijdering bij een verblijftijd van 3 en 4 dagen op basis van 'gemiddelden' veel lager (-10 tot -40%). Netto kan er bij een verblijftijd van 2 dagen ca. 2,5 mg/l zwevend stof worden verwijderd, maar bij het doorlopen van ca. 4 dagen verblijftijd is de absolute afname slechts ca. 1,5 mg/l;

- ook voor chlorofyl-A zijn stabiele meetwaarden geregistreerd over de periode 2007 t/m 2009 en minder stabiele waarden in 2010. Chlorofyl-A in het effluent is zeer laag. In de mesocosm bakken kan dit toenemen door de groei van algen. Op basis van de gemiddelde getallen is een toename van 100 tot 250% mogelijk. Gesteld moet worden dat de waarden voor chlorofyl-A laag zijn (minder dan 5 µg/l);
- tot en met eind 2007 lijkt de E.Coli verwijdering in de mesocosm bakken nog weinig te doen. Pas na januari 2008 ontstaat er een grotere verschil. Het eerste halfjaar lijkt dan ook een inloopjaar. Voor E.Coli worden in de mesocosm bakken hoge verwijderingspercentages bereikt. Na een verblijftijd van 2 dagen wordt al een verwijdering van meer dan 90% bereikt, maar na 4 dagen verblijftijd is dit toegenomen tot 96% of zelfs 99,8% (op basis van mediaan waarden). Hierbij zijn voor het grootste deel van het jaar de mediane waarden voor E.Coli lager dan 0,5 MPN/ml. Geconcludeerd wordt dat gemiddeld het niveau van 20 MPN/ml, behoudens een enkele uitschieter in de winter het hele jaar door gehaald wordt. Een hydraulische verblijftijd van de vlooienvijvers van drie dagen is ook in Grou voldoende voor een vergaande E.Coli verwijdering, vier dagen geeft nog meer zekerheid.

4.6. Watervlooien

De rol van watervlooien wordt in dit rapport nog niet besproken. Er zal hierover binnenkort een aparte rapportage verschijnen.

Wel kan worden gezegd dat de watervlooien in het systeem onmisbaar zijn vanwege:

- extra omzetting van zwevend stof uit de RWZI in 'meer biologisch materiaal';
- consumptie van losse bacteriën, zoals E.Coli;
- voorkomen van algenbloei, algen krijgen geen kans om in suspensie te groeien;
- de watervlooien zijn een mooie stap in de voedselketen, ze zijn zeer aantrekkelijk voor stekelbaarsjes, op hun beurt weer prima voedsel voor andere vis en ook vogels.

5. VERGELIJKING VAN MESOCOSM ONDERZOEK MET AQUALÂN

Het onderzoek in de mesocosm bakken is uitgevoerd om een beter begrip te krijgen van de rol van watervlooien in een Waterharmonica en dan specifiek in vergelijking met de (eerste) vlooienvijvers. Mogelijk kan de omzetting van zwevend stof in het effluent van de RWZI in de vlooienvijvers dan nog verder worden geoptimaliseerd. Dat kan dan zowel gevolg hebben voor:

- het ontwerp en de dimensionering van de vlooienvijvers (lang en smal of kort en breed, diep of ondiep, meerdere vijvers achter elkaar of juist parallel, een verschil tussen de vijvers aanbrengen als ze in serie staan, mogelijkheid voor eenvoudige verwijdering slib uit de eerste vijvers, functionele taluds en waterdiepte vanwege (niet gewenste) waterplanten, regeling goede doorstroming c.q. voorkomen dode hoeken, etc.);
- het beheer zoals de grootte van de belasting met effluent en dus de verblijftijd en stroomsnelheid, het wel of niet (regelmatig) oogsten/enten met watervlooien, verwijdering op vlooiën prederende vissen, etc.), het verwijderen van ijs, het al dan niet verwijderen van vogels, etc.;
- het onderhoud zoals de noodzaak tot het verwijderen van waterplanten (als refuge voor vissen die de watervlooien consumeren), de noodzaak en frequentie van baggeren van de vlooienvijvers, het handhaven van de taluds (afkalving levert extra zwevend stof en nutriënten aan de vijvers) en de rol van afstromend oppervlakkig water naar de vijvers.

Deze rapportage geeft voornamelijk een overzicht van de (analyse)resultaten van de mesocosm bakken zoals deze bij de RWZI Grou hebben gefunctioneerd. Op deze plaats worden al wel voor een aantal elementen enkele globale eerste relaties gelegd tussen de mesocosm resultaten en het functioneren van Aqualân. Dit is nu nog geen volledige analyse.

Er zijn echter wel diverse verschillen in het beheer en onderhoud tussen de mesocosms bakken enerzijds en Aqualân anderzijds. In de mesocosm bakken zijn zowel watervlooien als slakken uitgezet. Dit in tegenstelling tot Aqualân. Verder werd in één lijn van de mesocosms bakken actief het flab verwijderd (in de andere lijn niet), terwijl dit in Aqualân niet gebeurt, anders dan periodiek de vegetatie verwijderen. In Aqualân daarentegen komen waterplanten voor (die regelmatig zijn worden verwijderd) en ook komt vis voor die predeert op watervlooien (en wordt jaarlijks zo goed mogelijk is verwijderd). Beiden organismengroepen komen niet voor in de mesocosm bakken. Helaas is ook niet hetzelfde analyse pakket uitgevoerd in beide systemen (met dezelfde monitoring frequentie), zodat geen directe parallele vergelijking tussen bakken en vijvers kan worden gemaakt. Wel kunnen eenduidige uitspraken worden gedaan over de verandering van de nutriëntengehalten fosfaat en stikstof, met hun componenten, E.Coli en overige gemeten parameters.

Eén van de verschillen tussen de mesocosm bakken en Aqualân is het aantal watervlooien. Dit is aanzienlijk meer in de mesocosm bakken dan in de vlooienvijvers. In de vlooienvijvers worden wel met enige regelmaat wolven watervlooien gesignaleerd maar in een veel lagere dichtheid dan in de mesocosm bakken. Hiervoor kunnen verschillende oorzaken zijn, zoals een lagere stroomsnelheid in de mesocosm bakken of de aanwezigheid van stekelaarsjes en mogelijke andere predatoren voor watervlooien in de vlooienvijvers.

Een tweede opvallend verschil is dat in de mesocosm bakken vrijwel geen slib op de bodem werd gevormd. Vooral in de eerste vijver van Aqualân is tussen 2007 en 2012 een aanzienlijke toename gemeten van de slibhoeveelheid op de bodem. Dit is ook waargenomen in bijvoorbeeld de eerste vijver van de Waterharmonica bij de RWZI Land van Cuijk. De hypothese is dat door de (biologische) omzetting van zwevend stof uit het RWZI effluent in de vlooienvijvers er meer anorganisch slib op de bodem zal achterblijven.

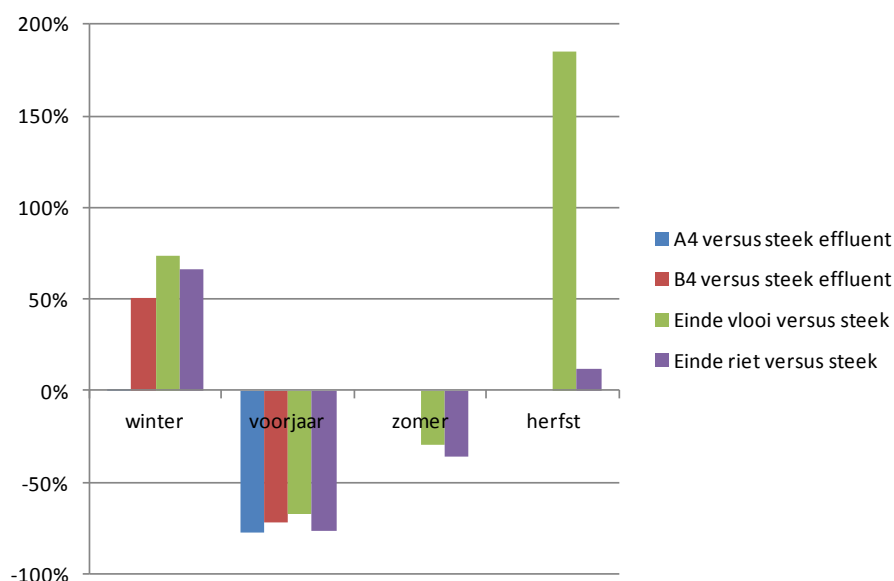
Dit kan echter niet eenduidig worden verklaard omdat:

- uit metingen na 2010 in Aqualân Grou lijkt de slibdikte zich te stabiliseren. Het biologische omzettingsproces is sinds dat moment echter naar verwachting niet gewijzigd. De toename van het slib kan ook zijn veroorzaakt door het afkalven van de taluds. Er is echter sinds 2010 ook geen noemenswaardige wijziging in opgetreden;
- in de mesocosm bakken wordt vrijwel geen slib op de bodem gevonden. In de bakken zijn echter ook slakken uitgezet, juist met het doel om de door de watervlooien afgegeven zwevend stof en dood materiaal op te eten. Of er dus minder materiaal is geproduceerd of door de slakken in compactere vorm omgezet. Of dat dit is geconsumeerd, kan niet worden vastgesteld.

Specifiek voor de elementen fosfor, stikstof, zwevende stof en E.Coli zijn enkele rendementsvergelijkingen uitgevoerd.

Voor P_{tot} is in afbeelding 5.1 het verwijderingsrendement gepresenteerd met onderscheid naar de vier seizoenen waarbij de resultaten van de laatste mesocosm bakken (a4 en b4) zijn geplaatst naast het verwijderingsrendement aan het einde van de drie vlooienvijvers en aan het einde van de rietsloten bij Aqualân, over de meetperiode 2009-2010.

Afbeelding 5.1. Verwijderingsrendement (- = verwijdering) van P_{tot} aan het einde van de mesocosms (a4 en b4), aan het eind van de drie vlooienvijvers en aan het einde van de rietsloten van Aqualân, over de meetperiode 2009-2010.

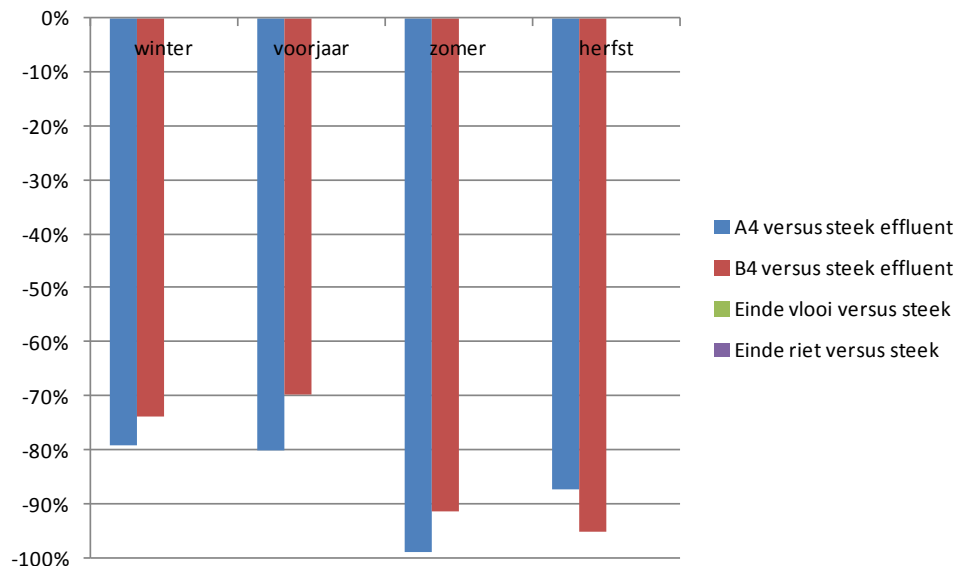


Algemeen kan worden geconcludeerd dat:

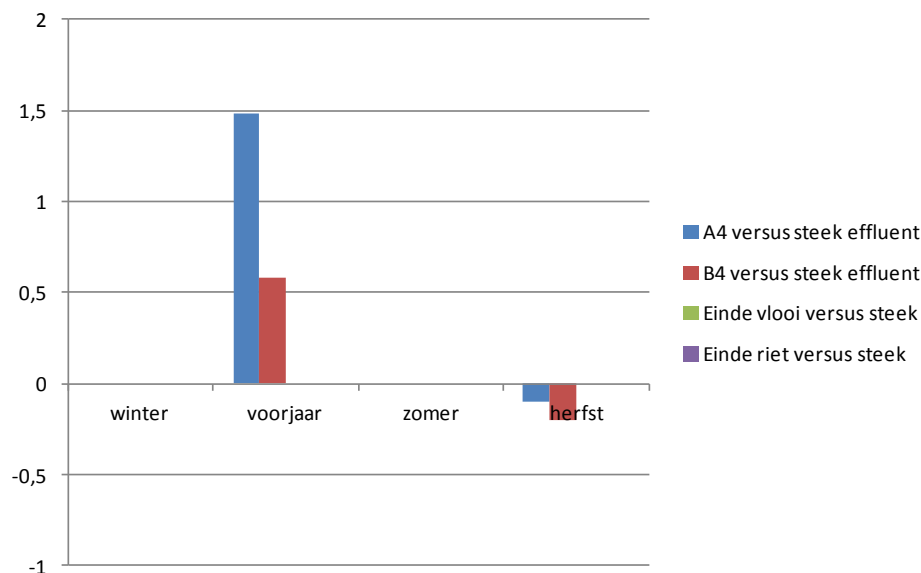
- er een vergelijkbaar beeld optreedt in de vlooienvijvers als in de mesocosm bakken;
- de P verwijdering vooral optreedt in voorjaar en zomer, P release in winter en herfst;
- de vlooienvijvers in de herfst veel P vrijlaten mogelijk door afsterving van flab en algen;
- over het gehele jaar gemiddeld hebben de mesocosm bakken een hoger verwijderingsrendement (ca. -30%) dan de vlooienvijvers (ca. +40%). Aan het einde van het riet is de netto verwijdering voor fosfaat ca. -8%;
- dit zijn alleen verwijderingsrendementen. Dit dient nog afgezet te worden tegen de absolute concentraties en de absolute verwijderde hoeveelheden. Dat kan door het maken en analyseren van de stoffenbalansen.

Voor stikstof is eveneens een vergelijkende analyse gemaakt. Er zijn echter geen vergelijkbare variabelen geanalyseerd in de mesocosm bakken en Aqualân. Uit de mesocosm bakken kan wel worden geconcludeerd dat het aanwezige NH_4 sterk wordt afgebroken en dat er NO_3 voor in de plaats komt. In afbeelding 5.2 resp. 5.3 is dit weergegeven voor de mesocosm bakken.

Afbeelding 5.2. Verwijderingsrendement (- = verwijdering) van het NH_4 gehalte aan het einde van de mesocosms (a4 en b4), aan het eind van de drie vlooienvijvers en aan het einde van de rietsloten van Aqualân, over de meetperiode 2009-2010.



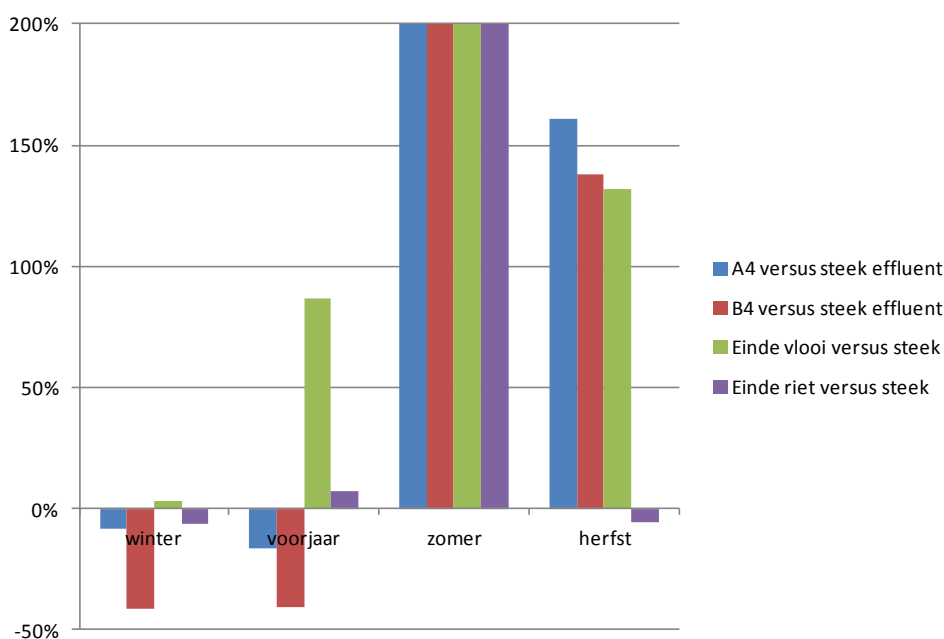
Afbeelding 5.3. Verwijderingsrendement (- = verwijdering) van het NO_3 gehalte aan het einde van de mesocosms (a4 en b4), aan het eind van de drie vlooienvijvers en aan het einde van de rietsloten van Aqualân, over de meetperiode 2009-2010.



Verder kan worden geconcludeerd dat de N_{tot} verwijdering in de vlooienvijvers van Aqualân vooral in het voorjaar plaatsvindt en daarentegen in de andere seizoenen juist toeneemt. Aan het einde van de rietsloten is dit anders: zowel in voorjaar als in de zomer vindt een sterke reductie van N_{tot} plaats (mogelijk vastlegging in organisch materiaal), tegen een toename in herfst en winter (mogelijk release van stikstof).

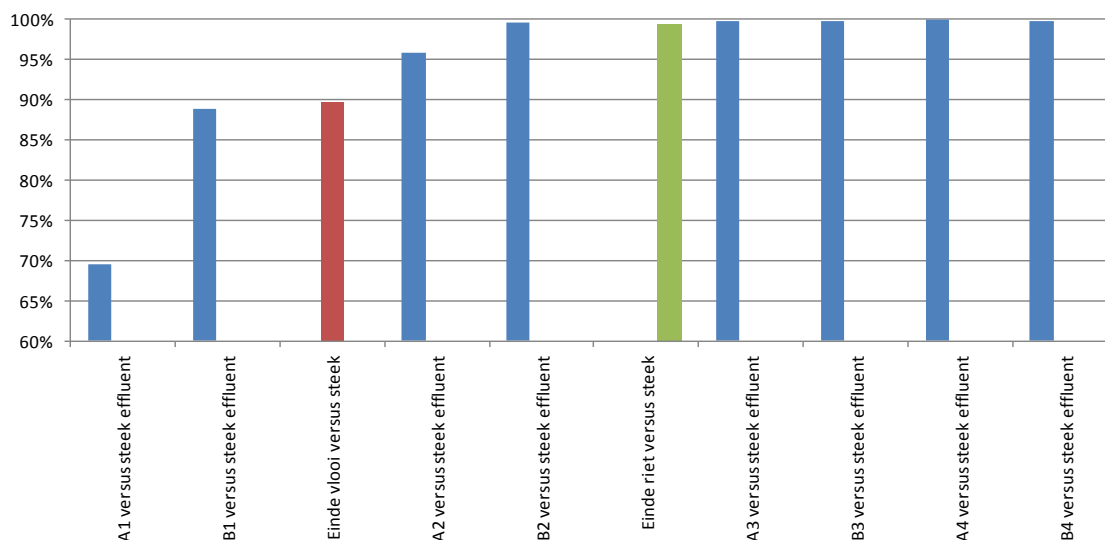
Zwevende stof verwijdering treedt vooral op in de winter en het voorjaar, met een duidelijke productie in de zomer en de herfst. Deze productie in zomer en herfst wordt zowel gemeten in de mesocosm bakken als in Aqualân vlooienvijvers en rietsloten. De vlooienvijvers lijken in alle vier de seizoenen, zij het in zeer lichte mate in de winter, zwevende stof te produceren (zie afbeelding 5.4).

Afbeelding 5.4. Verwijderingsrendement (- = verwijdering) van het zwevende stof gehalte aan het einde van de mesocosms (a4 en b4), aan het eind van de drie vlooienvijvers en aan het einde van de rietsloten van Aqualân, over de meetperiode 2009-2010.



Tot slot laat de verwijdering van E.Coli rendementen in de mesocosm bakken zien die in vergelijkbare orde van grootte liggen als in de vlooienvijvers en rietsloten zoals nu aanwezig in Aqualân. In afbeelding 5.5 zijn de verwijderingsrendementen van E.Coli gepresenteerd waarbij de mesocosm bakken en de vlooienvijvers en rietsloten van Aqualân op volgorde zijn gezet van toenemende verblijftijd. De eerste mesocosm bakken a1 en b1 hebben een vergelijkbare verblijftijd van ca. 1 dag met de eerste drie vlooienvijvers van Aqualân. Na de tweede mesocosm bakken (a2 en b2) is een verblijftijd van 2 dagen gerealiseerd, vergelijkbaar met het einde van de rietsloten in Aqualân. De mesocosm bakken 3 en 4 hebben dan nog langere verblijftijden.

Afbeelding 5.5. Verwijderingsrendement (- = verwijdering) van E.Coli aan het einde van de mesocosms (a4 en b4), aan het eind van de drie vlooienvijvers en aan het einde van de rietsloten van Aqualân, over de meetperiode 2009-2010.



Op basis van deze analyse lijken de verwijderingsrendementen van de mesocosms sterk op die van Aqualân bij vergelijkbare verblijftijden (resp. 79, 89 en 90% bij de ca. 1 dag verblijftijden 96, 99,7 en 99,4% bij twee dagen verblijftijd). Uit de mesocosm onderzoeken kan wel worden geconcludeerd dat het verhogen van de verblijftijd in een Waterharmonica tot 3 of 4 dagen kan resulteren in een verwijdering van E.Coli tot resp. 99,8% en 99,9%.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1. Conclusies en aanbevelingen

Van zowel de uitvoering van het onderzoek als met betrekking tot de analyse van gegevens en het ontwerp van een Waterharmonica, zijn verschillende conclusies te trekken en aanbevelingen te doen.

Onderzoek:

- het uitvoeren van het pilot onderzoek in (gedeeltelijk) geconditioneerde omstandigheden van de mesocosm bakken maakt het onderzoeken van de individuele rol van processen beter mogelijk dan de full-scale analyses in Aqualân;
- de mesocosm bakken hebben naast hun onderzoeksmatige functie, een sterk illustratief en dus communicatief karakter. In één oogopslag kan aan zowel medewerkers van het waterschap als aan bezoekers gezien laten worden welke verandering het effluent van de zuivering nog kan ondergaan in (de watervlooienvijvers van) een Waterharmonica;
- de experimenten waren strak opgezet, maar toch is een wijze les bij dit onderzoek dat de inzet van één duidelijke verantwoordelijke voor de uitvoering van de proeven onmisbaar is. Hierdoor is het tevens mogelijk sneller en beter te sturen indien de mesocosm bakken plotseling niet goed functioneren (bv bij flab, uitvallen pompen, ijs, etc.).

Analyse:

- voor de vergelijking van de mesocosm bakken met Aqualân hadden zoveel mogelijk vergelijkbare monsternamen methoden en analyse pakketten moeten worden uitgevoerd. Doordat dit nu niet is gebeurd, zijn minder specifieke conclusies te trekken in relatie tot het functioneren van Aqualân. Ook bleek het verschil tussen de resultaten van de analyses van het effluent van de RWZI en van de voeding van de mesocosm bakken de interpretatie te bemoeilijken;
- door de wijziging van de manier van determineren en tellen van watervlooiën tijdens het onderzoek, is een conversie nodig die niet eenduidig beschikbaar is. Dit bemoeilijkt het vergelijken van de resultaten van de gehele meetreeks. Door een (laboratorium-) medewerker gedurende de gehele proef intensief bij de monsternamen, analyse en interpretatie van de resultaten te betrekken, kan veel standaardisatie en dus verbetering worden bereikt.

Functioneren mesocosm/watervlooiën vijvers:

- door aanloop en uitloop perikelen zijn de analyseresultaten van de jaren 2008 en 2009 van de mesocosm bakken het beste bruikbaar en dus vooral gebruikt;
- de verblijftijden in de mesocosm bakken zijn, ook aangetoond met tracer proeven, goed en stabiel in te stellen. Daarbij is de hydraulische verblijftijd goed te schatten op basis van de afmetingen en de hydraulische belasting. Er blijken in de mesocosm bakken ook nauwelijks dode hoeken voor te komen;
- de mesocosm bakken laten voor de meeste variabelen een afvlakking van pieken zien. De gemeten dynamiek van de meetwaarden in het effluent komt veel minder terug in het afgelaten water aan het einde van de vier mesocosm bakken (in beide onderzoekslijnen);
- voor NH_4 , NO_3 , P, zwevende stof, chlorofyl-A en E.Coli lijken de meetresultaten van de beide lijnen a en b sterk op elkaar. In lijn a is structureel flab verwijderd, in lijn b niet. Dit lijkt weinig verschil te maken op de genoemde fysisch-chemische parameters;
- NH_4 wordt in de mesocosm bakken sterk gereduceerd tot 70-80% bij een verblijftijd van 4 dagen (op basis van gemiddelden). Na een HRT van 1 dag is dit nog maar 10-15% (wat vooral komt door de variatie van het ammoniumgehalte van het effluent over de

- dag), na een HRT van 2 dagen 40%, na een HRT van 3 dagen 60% (allen op basis van gemiddelden). Dit levert een NH_4 verwijdering op van ca. 1 mg/l na een HRT van 4 dagen, ofwel 1.000 kg N/ha.jaar;
- NO_3 wordt uit de afgebroken NH_4 geproduceerd door aanwezigheid van zuurstof. Deze NO_3 -productie bereikt zijn maximale waarde na 2 dagen verblijftijd (een factor 4 á 5) en neemt daarna iets af. De nitraatconcentraties nemen met 0,50 tot 0,65 mg/l toe vanaf het effluent gerekend;
 - de concentratie fosfaat (PO_4) lijkt in het effluent van 2008 t/m 2010 af te nemen, en dat komt ook terug in de mesocosm bakken. Op basis van jaargemiddelde waarden, wordt voor P een negatief verwijderingsrendement berekend van ca.100% (verdubbeling van de concentratie). Als wordt uitgegaan van mediaan waarden wordt een verwijdering van 10 tot 25 % berekend. Het fosfaat neemt in de winter en het voorjaar sterk af vanaf effluent tot bak 4 (rendement 5 tot 50%) met de hoogte rendementen bij een verblijftijd van 4 dagen. Daarbij kan een hoeveelheid tot 0,8 mg P/l worden verwijderd (voorjaar). In de zomer en herfst neemt de concentratie fosfaat juist toe verderop in de bakken (vrijkomen van P door afbraak van algen). Dit kan een nalevering van 0,3 tot 0,5 mg/l betekenen;
 - zwevend stof wordt in de eerste mesocosm bakken (HRT 2 dagen) gereduceerd met 40 tot 60% op basis van resp. gemiddelde of mediaan waarden. De verwijdering blijft ook met een verblijftijd van 3 tot 4 dagen ca. 60-70%. Netto kan er bij een verblijftijd van 2 dagen ca. 2,5 mg/l zwevend stof worden verwijderd, maar bij het doorlopen van ca. 4 dagen verblijftijd is de absolute afname slechts ca. 1,5 mg/l;
 - chlorofyl-A in het effluent is al zeer laag. In de mesocosm bakken kan dit toenemen door de groei van algen. Op basis van de gemiddelde getallen is een toename van 100 tot 250% mogelijk. Gesteld moet worden dat de waarden voor chlorofyl-A dan nog laag zijn (minder dan 5 $\mu\text{g/l}$);
 - voor E.Coli worden in de mesocosm bakken hoge verwijderingspercentages bereikt. Na een verblijftijd van 2 dagen wordt al een verwijdering van meer dan 90% bereikt, maar na 4 dagen verblijftijd is dit toegenomen tot 96% of zelfs 99,8% (op basis van mediaan waarden). Hierbij zijn voor het grootste deel van het jaar de mediane waarden voor E.Coli lager dan 0,5 MPN/ml. Geconcludeerd wordt dat gemiddeld het niveau van 20 MPN/ml, behoudens een enkele uitschieter in de winter het hele jaar door gehaald wordt. Een hydraulische verblijftijd van de vlooienvijvers van drie dagen is ook in Grou voldoende voor een vergaande E.Coli verwijdering, vier dagen geeft nog meer zekerheid.

Ontwerp, beheer en onderhoud vlooienvijvers:

- door de beperkte overlap van analyseresultaten tussen de mesocosm bakken en Aqua-lân kunnen weinig specifieke conclusies en adviezen worden getrokken;
- wel is aangetoond dat een hoog verwijderingsrendement voor E.Coli kan worden bereikt in de Waterharmonica, en dit kan nog verder worden verhoogd door de verblijftijd in de vlooienvijvers te verhogen naar 3 of 4 dagen. Vanaf 2012 is de belasting van Aqua-lân hierop aangepast. daarvan zijn nog geen resultaten uitgewerkt;
- de mesocosm bakken met watervlooiën en slakken lieten vrijwel geen aanwas van slib op de bodem zien, terwijl er wel een verandering van zwevend stof wordt waargenomen. Of op deze wijze de slibaanwas in de eerste vlooienvijver zou kunnen worden beperkt zou mooi zijn moet nader verkend worden. Er moet dan mogelijk wel voor een passend substraat worden verzorgd, omdat de slakken alleen op hard substraat functioneren;
- de afwezigheid van watervlooiën etende vissen in de vlooienvijvers blijft essentieel voor een voldoende biomassa aan watervlooiën.

6.2. Vervolg onderzoek/werkzaamheden

In de analyse en onderliggende rapportage is maar een deel van de beschikbare data ontsloten. In aanvulling kan worden gedacht aan onderzoek of nadere analyse van beschikbare meetgegevens over de volgende zaken:

- er is in deze rapportage niet ingegaan op algensoorten en hogere organismen (planten/draadalgen, slakken). Wat betreft watervlooiën is alleen gekeken naar de hoeveelheid (volume en aantal), evt. gesplitst in klassengrootte en dus niet naar de soorten of soortgroepen. Dit verdient nadere uitwerking, zowel voor de mesocosm bakken als voor Aqualân zelf;
- vanaf 2012 is het aanvoerdebiet van effluent naar Aqualân sterk verminderd. Welke effecten dit heeft op de omzetting van het zwevend stof, de nutriënten en de E.Coli is nog onbekend. De resultaten van de analyses van de monsters zijn wel beschikbaar;
- in de interpretatie van veranderingen van concentraties/gehalten in de mesocosm bakken en Aqualân is veelal gebruik gemaakt van gemiddelden. Onderzocht dient te worden of bij deze dataset (met beperkt aantal monsternames en extreme analyse) niet beter de mediaanwaarden kunnen worden gebruikt;
- de aanloop (2007) en uitloop (2010) fase van de bakkenproeven zijn nu buiten beschouwing gelaten. Daaruit is echter mogelijke relevante of aanvullende informatie af te leiden. Ook zijn bij enkele stageonderzoeken aanvullende gegevens verzameld, die verdere aandacht en uitwerking verdienen;
- bij vervolg onderzoek dient de bemonstering, analyse en interpretatie meer structureel te worden georganiseerd.

7. BESLUIT

Afgezien van de zuiverende werking van watervlooien zijn ze een mooie stap in de voedselketen, ze zijn zeer aantrekkelijk voor stekelbaarsjes, op hun beurt weer prima voedsel voor andere vis en ook vogels. In het bijzonder voor lepelaars (zie De Volkskrant, 2002, Jak, Foekema et al, 2000, Kampf, 2001, Kampf, Eenkhoorn et al, 2002, Texelse Courant, 2001, Woestenburg, 2001).

Het belang van de watervlo kan niet mooier verwoord worden dan het gedicht dat stond op de uitnodiging van de feestelijke opening van Aqualân Grou, en daarbij ook de start van het mesocosm onderzoek (NN, 2007 en Ruebsamen, 2005):



'Ach, de watervlo....'

“

De watervlo die is geen vlo
De mensen noemen hem maar zo
Het is een heel klein soortje kreeft
Dat slechts in 't beste water leeft
Dus wees niet boos als u hem ziet
Want dat verdient hij zeker niet
Hij zorgt voor waterzuivering
En dat is een zeer belangrijk ding!

”

(de Volkskrant, Zaterdag 23 juli 2005)

LITERATUUR

Bales A., (2008). Mesocosmos: La filtració biològica aplicada a la regeneració d'aigües residuals. Girona, Universitat de Girona/Consorti de la Costa Brava

Boomen R. M. v. d. en Kampf R., (2013). Waterharmonica's in Nederland, 1996-2012: van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater, STOWA 2013-07. Amersfoort, STOWA

Boomen R. M. v. d., Kampf R. en Claassen T.H.L., (2012a). Aqualân Grou, vijf jaar Waterharmonica. Deventer/Leeuwarden, Witteveen+Bos/Wetterskip Fryslân

Boomen R. M. v. d., Kampf R. en Claassen T.H.L., (2012b). Waterharmonica Aqualân Grou. Vijf jaar monitoring. Leeuwarden, Wetterskip Fryslân

Boomen R. M. v. d., Kampf R. en Mulling B.T.M., (2012c). Waterharmonica, onderzoek naar zwevend stof en pathogenen, deelstudierapporten, STOWA 2012_11. Amersfoort, STOWA

Boomen R. M. v. d., Kampf R. en Mulling B.T.M., (2012d). Waterharmonica, onderzoek naar zwevend stof en pathogenen, hoofdrapport, STOWA 2012_10. Amersfoort, STOWA

Claassen T. H. L., (1996). Het 3D-schakelsysteem: van tweesporenbeleid naar driesporenbeleid; ecotechnologisch van randverschijnsel naar centrumpositie (8), 141 - 153. Utrecht, STOWA

Claassen T. H. L., (12-10-2013). Verslag Workshop natuur zuivert effluent 12 maart 2013, KRW event Den Bosch

Claassen T. H. L., Gerbens S. en Kampf R., (2006). Texelse kennis toegepast bij zuiveringsmoeras en paaibiotop bij rwzi Grou. H2O, 39 (24), 41 – 43

Claassen T. H. L. en Koopmans M., (2012). Vis in het Aqualân Grou. H2O, 45 (25/26), 46 – 49

Colon J., Sala L. en Kampf R., (2008). Projecte: Mesocosmos d'Empuriabrava: Regeneració d'aigües depurades mitjançant filtració biològica. Informe del primer any de funcionament (juliol 2007-juny 2008). English version: Projecte: Mesocosmos d'Empuriabrava: Regeneració d'aigües depurades mitjançant filtració biològica. Informe del primer any de funcionament (juliol 2007-juny 2008)

De Volkskrant, (17-8-2002). Vlooiënfabriek voor lepelaars. De Volkskrant

Flyckt L., (2010). Reningsresultat, drifterfarenheter och kostnadseffektivitet i svenska våtmarker för spillvattenrening , LITH-IFM-A-EX--10/2377—SE . Linköping, Tekniska Högskolan, Linköpings Universitet

Foekema E. M. en Kampf R., (2005). Overzicht van werkzaamheden in het kader van het Kwekelbaarsjesproject in de periode 1998 - 2004, B&O-DH - R 2005/257. Den Helder, TNO

Foekema E. M., Roex E., Sneekes A., Koelemij E. et al, (2012). De invloed van moerassystemen op de milieukwaliteit van rwzi effluent en aanbevelingen tot optimalisering, rapport C005/12, Waterharmonica Improving Purification Effectiveness, WIPE. IJmuiden/Wageningen, IMARES/Deltares

Graaf J. H. J. M. v. d., (2011). Het geklaarde afvalwater, rede, uitgesproken bij afscheid als hoogleraar

Hoorn M. v., Elst D.v.d. en Kampf R., (2011). Tussenrapportage effluentpolishing met waternlooiën . Groningen, Waterschap Noorderzijlvest

Hoorn M. v., Elst D.v.d., Poiesz W.G. en Kampf R., (2012). Ecologisch nazuiveren. Groningen, Waterschap Noorderzijlvest

Jak R. G., Foekema E.M., Kampf R. en Dokkum H.P., (2000). Gebruik van effluent van de rwzi De Cocksdorp om de voedselsituatie van Lepelaars te verbeteren. Den Helder, Edam, TNO en Uitwaterende Sluizen

Kampf R., (2001). Lepelaars profiteren van effluent rwzi Texel, bron voor voedselkringloop op waddeneiland. H2O, 34 (6), 6

Kampf R., (2002). Effluent van de rwzi De Cocksdorp voor natuurdoeleinden, D en H voorstel. Edam

Kampf R. en Boomen R.M.v.d., (2013). De toekomst van de Waterharmonica in Friesland, Verkenning mogelijkheden 2012-2027, LW289-47. Leeuwarden, Deventer, Schermerhorn, Wetterskip Fryslân, Witteveen+Bos, Rekel/water

Kampf R., Claassen T.H.L. en Palsma B., (2003). De Waterharmonica. H2O (7), 44 – 46

Kampf R., Eenkhoorn B.J., Foekema E.M. en Dokkum H.P., (2002). Spelen Lepelaars een rol in het integraal waterbeheer op Texel? Enkele vragen, antwoorden en praktische oplossingen uit het gezichtspunt van een Nederlands waterschap, bewerking van de summary voor Eurosite-workshop on Management of Coastal Wetlands for Spoonbills and associated waders. Texel, The Netherlands, 19-22 april 2002

Kampf R., Jak R.G. en Groot M., (1999). Growing Daphnia on effluent to improve the food situation of spoonbills on the island of Texel, do Daphnia really eat sludge?, 4th International Conference on Ecological Engineering for Wastewater Treatment, 7-11 June 1999 ed., As, Norway

Kampf R., Schreijer M., Toet S. en Verhoeven J.T.A., (1996). Nabehandeling van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater in een moerassysteem met helofyten en waterplanten, opzet van een vierjarig demonstratieproject op praktijkschaal op rwzi Eversteekog. H2O, 29 (14), 400 – 402

Koopmans M., (2014). Vismonitoring Aqualân Grou 2013, A&W-rapport 1942Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek/Wetterskip Fryslân

Menkveld H. W. M. en Neef R., (2005). Rwzi Horstermeer is proeftuin voor zuiveringstechnieken. Land+Water, september 2005 (9), 9 – 10

NN, (2007). Opening Aqualân Grou. Leeuwarden, Wetterskip Fryslân/Provincie Fryslân

NN, (2013a). Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water. Den Haag, AgentschapNL. <http://www.agentschapnl.nl/subsidies-regelingen/innovatieprogramma-kaderrichtlijn-water/projectresultaten>

NN, (2013b). Nationaal Event Innovatieprogramma Kaderrichtlijn WaterLandbouw op peil. http://landbouwoppeil.nl/nieuws/@228336/pagina/?csrf_id=olj4evfkwrpilhcx2v0rk

Noord-Hollands Dagblad, (2002). Proef Texel met watervlooiën en vis in afvalwater. Noordhollands Dagblad, Den Helder

Ortiz J. en Merseburger G., (2010). Estudi de la biodiversitat de macroinvertebrats en els tancs de filtració biològica de l'Edar d' Empuriabrava. Reus/Girona, Rgeos ecology/Consorti de la Costa Brava

Rakovicky T., (2010). Waterharmonica Biological filtration experiments. Monitoring report Horstermeer 2009. Amsterdam, Waternet

Ruebsamen H., (23-7-2005). 'Ach, de watervlo...', sprak de dichter vertederd. De Volkskrant. Amsterdam, De Volkskrant

Sala L. en Kampf R., (2011). The Costa Brava approach to the Dutch concept of Waterharmonica. Girona, Consorci de la Costa Brava. http://ccbgi.org/docs/smallwat_2011/l_sala_smallwat_2011.pdf

Schreijer M., Kampf R., Verhoeven J.T.A. en Toet S., (2000). Nabehandeling van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater in een moerassysteem met helofyten en waterplanten, Resultaten van een 4-jarig demonstratieproject op rwzi Eversteekoo, Texel. Edam en Utrecht, Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen en Universiteit Utrecht

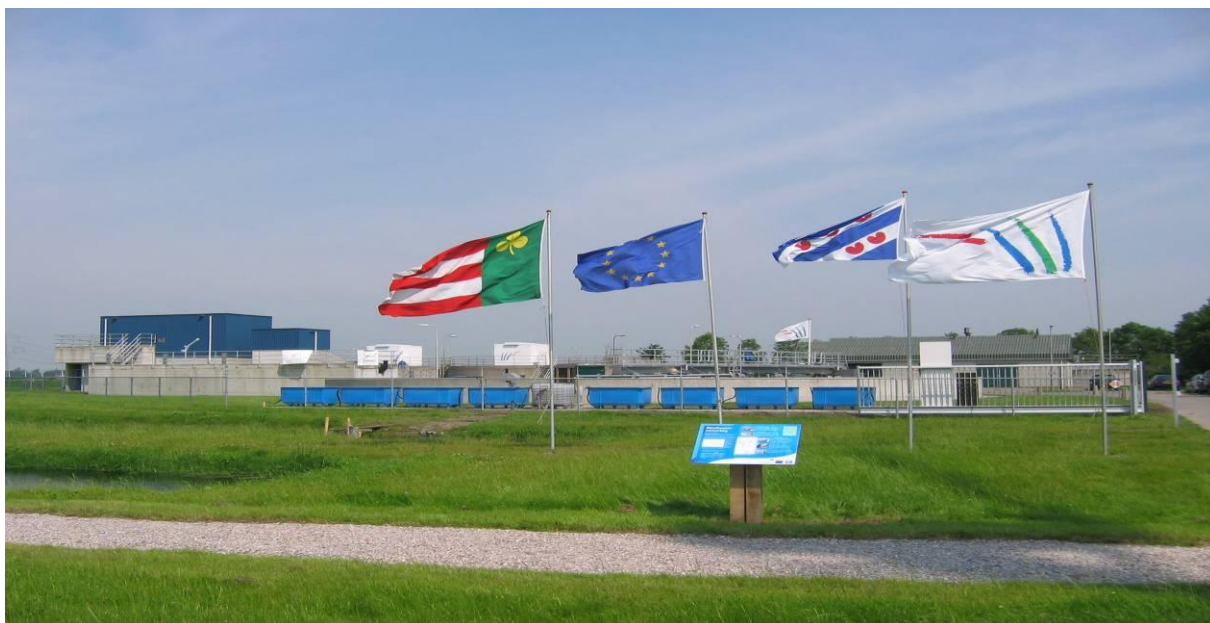
STOWA, (21-6-2007). Vergaande zuivering. Wat kan en wil je er mee? De langste dag van Horstermeer. Horstermeer, STOWA, NVA, Waternet

Texelse Courant, (27-2-2001). Hoe lepelaars baat hebben bij Texelse waterzuivering, experimentele kwekerij watervlooiën bij Eversteekoo. Texelse Courant, dinsdag 27 februari 2001

Woestenburg K., (2001). Lepelaars profiteren van wonderbaarlijke kwekelbaarsjesvermenigvuldigingsfactor. Aquarel

Zaane M. v., (2001). Proef met moeras om effluent te zuiveren succesvol. H2O, 34 (3), 37

**I. DAPHNIA EXPERIMENTS, GROU (FRIESLAND), 2007-2010, HANDLEI-
DING**



Mesocosm Proefopstelling Grou 2007 - 2010

Handleiding



Eerste versie door: Jamal Ahdour, Vrije Universiteit Amsterdam, afgeleid van de Horstermeer (*Daphnia* proefopstelling) handleiding

Vertaald en bewerkt door: Linde van der Burgh, Hogeschool Van Hall Larenstein – Wetterskip Fryslân. Voor dit rapport bewerkt en ingekort.

Inleiding

Deze handleiding is gemaakt voor de *Daphnia* proefopstelling die is opgestart in juni 2007 bij de RWZI in Grou. Deze handleiding is afgeleid van de handleiding van de *Daphnia* proefopstelling in Horstermeer. Deze handleiding is gericht op supervisie, onderhoud en bemonstering van de proefopstelling. In andere handleidingen zijn het digitaal tellen van *Daphnia* en het deeltjes tellen beschreven (bijlage II).

De rioolwaterzuiveringsinstallatie in Grou, waar de proefopstelling staat, kan alleen betreden worden met toestemming van de klaarmeester (Rinse van der Kooi) of van iemand anders van Wetterskip Fryslân. Het adres van de RWZI: Molesingel 2, 9001 ZD in Grou. Telefoonnummer: 0566-625780.

In hoofdstuk 1 was de proefopstelling beschreven, met behulp van enkele schematische weergaven van de proefopstelling, hiervoor wordt nu verwezen naar paragraaf. Hoofdstuk 2 bevat een checklist van punten die gedaan moeten worden bij het onderhoud aan de proefopstelling. In hoofdstuk 3 wordt de bemonsteringsmethode van water en *Daphnia* uitgelegd.

Inhoudsopgave

BESCHRIJVING VAN DE PROEFOPSTELLING	1
1.1. Simpele controle: werkt alles nog steeds?	2
1.2. Checklist: nauwkeurige controle proefopstelling	2
1.2.1. Mesocosmos	2
1.2.2. Effluent verzameltank	3
1.2.3. Membraanpompen: onderhoud	3
1.2.4. Membraanpompen: verhelpen verstopping	4
1.3. Voorzorgsmaatregelen bij vorst	5
 2. BEMONSTERING	 5
 2.1. WATER	 5
2.1.1. Materiaal	5
2.1.2. Methode	5
 3. DAPHNIA BEMONSTEREN IN DE MESOCOSMOS	 7
3.1. Materiaal	7
3.2. Methode	7
 2. BIJLAGEN	 9
a. Bijlage I: Specificatie van de mesocosmos	11
b. Bijlage II: Instellen van de debieten	11
c. Bijlage III: Contacten voor de mesocosmos en membraanpompen	12
d. Bijlage IV: Runlists	13

Vul bij elk bezoek het Bezoekrapport in!!!!

BESCHRIJVING VAN DE PROEFOPSTELLING

Zie voor een uitgebreide beschrijving van de proefopstelling hoofdstuk 3 in dit rapport.

1. Checklist

Om zeker te weten dat het onderhoud goed gebeurt, en niks vergeten wordt is er een checklist opgesteld. Het is handig om deze checklist bij elk bezoek langs te lopen, zodat alles nagekeken is.

1.1. Simpele controle: werkt alles nog steeds?

Kijk eerst of alles nog werkt, en of er dingen zijn die direct moeten gebeuren. Het is snel te zien of er iets mis is, als het waterniveau van de tanks te hoog is, is de afvoer verstopt. Als er water uit de kast komt, is er een buisje lek. Als de pompen niet meer tikken, werken ze niet. Als het waterniveau te laag staat, zijn de pompen verstopt. Etc. etc. etc. Ga na deze eerste controle de checklist van 2.2 langs.

Als er problemen zijn, neem dan contact op met:

Ruud Kampf: tel. 06-49450214 of tel. 072 502 2998, email ruud@kampf.nl

Of met een van de volgende betrokken personen:

Rinse v/d Kooij:	0646173069
Theo Claassen:	Werk: 0582922170
	Mobiel: 0646172170

1.2. Checklist: nauwkeurige controle proefopstelling

Noteer alle werkzaamheden die uitgevoerd worden in op het 'visit report' (zie bijlage). Ook je waarnemingen wat betreft het aantal *Daphnia*, troebelheid van het water, hoeveelheid algen etc. noteren.

1.2.1. Mesocosmos

- Controleer of het waterniveau goed is: waterhoogte in de bak 63 cm. Als het te hoog is zit de afvoer van de laatste tank verstopt, deze moet dan worden losgeschroefd en neergelegd, zodat hij even door kan stromen. Als hij weer goed doorstroomt en er geen flab of iets dergelijks meer uitkomt, kan hij weer vastgemaakt worden.
- Verwijder drijvend materiaal, zoals flab, waterplanten, insecten, kroos etc.
- Verwijder de draadalgen van de wand, als dit er teveel zijn geworden. Hier kan de verfrabber met verlengstuk voor gebruikt worden. Als ze los zijn van de wand, moeten ze er ook uitgehaald worden
- Houd het netjes, zorg dat de algen etc. ook opgeruimd worden. Gooi het niet in het gras!
- Verwijder slib (bezinksel) als er te veel ligt. Het is mogelijk dat delen van de mesocosmos vol raken met slib. Graag wel het volume van het verwijderde slib noteren, en neem een monster van het verwijderde slib voor een droge stof analyse en chemisch zuurstof verbruik (CZV). Dit kan op de RWZI gedaan worden.
- Controleer of er genoeg slakken in de tanks zijn.

- Controleer of de verbinding buizen tussen de mesocosmos niet verstopt zijn. Dit is te zien door een verschil in waterniveau.

1.2.2. Effluent verzameltank

- Controleer de toevoer: wordt de tank nog goed gevuld, zijn er geen verstoppingen?
- Controleer de afvoer: stroomt het wateroverschot weg, zijn er geen verstoppingen?
- Controleer of de tank nog algenvrij is: als er veel algen in zitten, maak dan de tank schoon
- Controleer of het netje om de slangen naar de membraanpompen nog goed bevestigd en schoon is. Dit netje is belangrijk, anders raken de pompen vaker verstopt met slakken en algen. Afbeelding 1.

Afbeelding 1: Verbeterde versie van het netje rondom de aanzuigslangen



1.2.3. Membraanpompen: onderhoud

- Controleer of er iets lekt, ringetjes, pakkingen, slangetjes etc. Als er iets kapot is, moet het worden vervangen.
- Controleer of de pompen verstopt zijn, met slakken, slib, algen etc. (zie bijlage 2 voor ontstoppen)
- Meet hoeveel water er uit de pompen komt, kalibreer de pompen als dit nodig is. Op de pompen zitten draaiknopjes die de stroomsnelheid bepalen. Deze moeten zo ingesteld zijn dat er in 43 s (tussen de 40 en 46 seconden) 500 ml uit moet komen.

Afbeelding2: Meten van het debiet



- Zorg dat er geen lucht in de pompen zit als er iets mee is gedaan:
 - Draai de plastic 'ring' bovenaan het ontluchtingsslangetje open
 - Zorg dat de slang van de pomp naar de mesocosmos afgesloten is (bijvoorbeeld met je duim)
 - Als het ontluchtingsslangetje is gevuld met water, draai dan de plastic 'ring' bovenaan het ontluchtingsslangetje weer dicht, terwijl de andere slang nog steeds afgesloten blijft
- **Pas op met het vastdraaien van onderdelen van de pompen! Draai het nooit vast met gereedschap maar alleen met je handen.**

1.2.4. Membraanpompen: verhelpen verstopping

- Zet de pomp altijd eerst uit!

Afbeelding 3: stap 1 en stap 2



- Stap 1: Draai de buizen van de effluent tank naar de pompen los. Zie afbeelding 3, stap 1.
- Stap 2: Draai het onderste 'ventiel' los, zie afbeelding 3, stap 2. Je kunt hier eventueel een baco of ander gereedschap voor gebruiken, maar wees voorzichtig!

Stap 3: Verwijder algen, slakken en slib uit het 'ventiel'. Je kunt hier eventueel een spuit voor gebruiken, om met druk water erdoorheen te spuiten. Wees wel voorzichtig met scherpe voorwerpen.

Stap 4: Doe dit zelfde voor de bovenkant voor de pomp

Belangrijk:

- Wees voorzichtig met de onderdelen. Het is van plastic, dat gaat gemakkelijk kapot.
- Zorg dat als je het aansluit, de ringetjes overal er goed tussen zitten! Lekt de pomp als hij weer in elkaar zit, dan zit er een ringetje niet goed.
- Zorg dat er geen onderdelen kwijt raken en zorg voor voldoende reserve onderdelen.

- Meet hierna altijd weer het debiet, zoals hierboven beschreven en vul het inde runlijst in.

1.3. Voorzorgsmaatregelen bij vorst

Tijdens langere vorstperiodes, bestaat de kans dat de membraanpompen bevriezen. Ook de afvoerbuizen en verbindingsbuizen van de mesocosmos kunnen bevriezen, waardoor er veel druk op de mesocosmos zal komen te staan. Het zal niet erg snel bevriezen, omdat het effluent relatief warm is.

Er moet gezorgd worden dat de pomphuizen van de membraanpompen niet bevriezen. Om dit te voorkomen, moet het water uit de pompen gepompt worden, door de buizen van de effluent tank naar de pomp uit de effluent tank te halen. Hierbij moeten de pompen nog aanstaan, zodat het water eruit gepompt wordt. Zorg dat de laag ijs in de tanks niet te dik wordt, de tanks moeten niet kapotvriezen. Verwijder het ijs zo vaak als mogelijk is, liefst dagelijks.

Zodra de vorstperiode over is, kan alles weer opgestart worden.

2. BEMONSTERING

Voor zowel de bemonstering van *Daphnia* wordt een bemonsteringsbuis gebruikt. Deze PVC buis met een diameter van 70 mm is aan de onderkant voorzien van een kogel terugslagklep. Het volume tot maatstreep is 1000 liter. Door de buis langzaam in het water te laten zakken kan op deze wijze een monster van 1 liter per keer worden genomen.

2.1. WATER

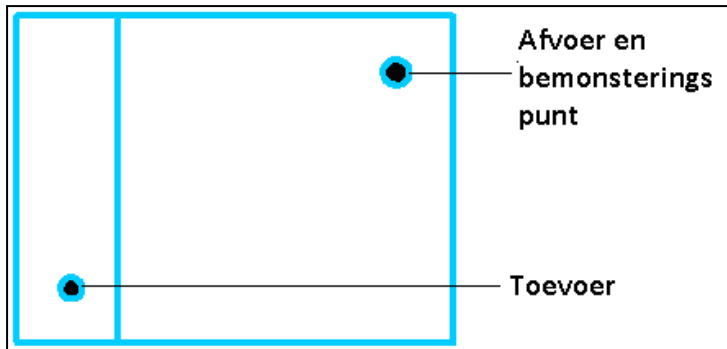
2.1.1. Materiaal

- Twee emmers van 10 liter
- Planktonnet (50 µm)
- Klem
- 9 x 4 monsterpotten met stickers (staan klaar)
- 9 x gesteriliseerd potje voor *E. coli* bepaling (staan klaar)

2.1.2. Methode

- Zet de monsterflessen bij de bijbehorende mesocosmos of effluent tank.
- Schep met een schone emmer water uit de mesocosmos vlak bij de label met het mesocosmos nummer, zie afbeeldingen 3 en 4. Doe dit voorzichtig, op een diepte van 0 tot maximaal 50 cm.

- Afbeelding 4: Bemonsteringspunt (in de regel wordt van de mesocosms alleen de afvoer bemonsterd).



Afbeelding 5: Label: plaats van monsternamen van water



- Giet dit water door een planktonnet in een andere emmer.
- Vul eerst het *E. coli* monsterpotje, door deze onder water te vullen en dicht te draaien.
- Giet daarna de 4 monsterflessen vol.
- Zet deze flessen in kratten bij de weg, zodat Rinse de flessen mee kan nemen naar het laboratorium.

Belangrijk:

- Het bemonsteren moet altijd 'ochtenden vroeg gebeuren, de bemonsteringsflessen moeten voor 12 uur in Leeuwarden zijn.
- Het bemonsteren gebeurt op vaste data, op dezelfde data dat de RWZI bemonsterd wordt, Rinse heeft deze data.
- Zorg dat alle flessen en potjes goed dicht gedraaid zijn!

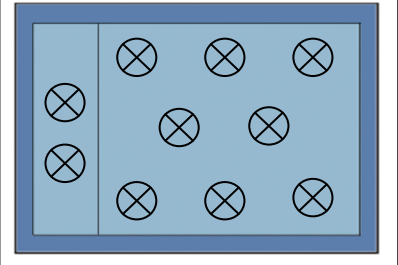
3. *DAPHNIA* BEMONSTEREN IN DE MESOCOSMOS

3.1. Materiaal

- Bemonsteringsbuis (volume tot maatstreep is 1000 liter)
- 10 liter emmer
- Plankton net (50 µm)
- Fles met alcohol (70%)
- Fles met water (zonder *Daphnia*)
- 8 X 100 ml monsterpotjes
- Merkstift
- Klem

3.2. Methode

- Schrijf met de merkstift de datum, het mesocosmos nummer en de plaats op de bemonsteringspotjes (2008-07-17, A1, Grou). *NB: houdt er rekening mee dat alcohol inkt oplost... Doe ook een papiertje beschreven met potlood in elk potje.*
- Zorg dat je water zonder *Daphnia* bij de hand hebt om te spoelen (het planktonnet kan gebruikt worden om het water '*Daphnia* vrij' te maken).
- Hang het planktonnet met de klem aan de rand van de mesocosmos.
- Zet de emmer onder het planktonnet.
- Laat de bemonsteringsbuis langzaam in het water zakken, tot de maatstreep op de buis, volgens afbeelding 6.
- Leeg de buis in het planktonnet, en zorg dat het water in de emmer komt, zie afbeeldingen 6 en 7.

Afbeelding 6: Bemonsteringspunten	Afbeelding 7: Buis laten zakken	Afbeelding 8: Buis legen
		

- Herhaal dit negen keer, op de plaatsen aangegeven in afbeelding 6. Doe dit steeds in dezelfde volgorde zodat je niet in de war raakt.
- Gebruik nu het water zonder *Daphnia* om de *Daphnia* van het net naar het zeefje onderin te spoelen.
- Schroef het zeefje onderaan het planktonnet los.
- Leeg het zeefje in een monsterpotje. Spoel de *Daphnia* goed uit het zeefje in het monsterpotje met de alcoholoplossing.
- Controleer hoeveel water in de emmer zit, om zeker te weten dat het aantal bemonsteringen (in één tank) klopt.

2. BIJLAGEN

a. Bijlage I: Specificatie van de mesocosmos

Mesocosms, calculation of volumes

water table	62.705
-------------	--------

Bruto inside measurement

	cm	dm
length total	156	15.6
length of filter compartment	35.5	3.6
length of tank compartment	120.5	12.1
wide	105	10.5
watertable	62.705	6.3

gross volume of filtercompartment	233.7
gross volume of tank compartment	793.4

corners of the tank (10 cm wide)	length cm	length dm	volume l
lower sides of filter compartment	35.5	3.55	3.6
lower sides of tank compartment	120.5	12.05	12.1
lower end	105	10.5	5.3
front end sides	62.705	6.2705	6.3

volume of filter compartment	230.2
volume of tank compartment	769.8

total volume of mesocosm	1000.0
--------------------------	--------

b. Bijlage II: Instellen van de debieten

	Units	flow the collector tanks	Feed mesocosms
HRT	day	0.03	1
	hour	0.72	24
Volume	liter	1000	1000
Flow	l/day	33333	1000
Volume to measure in a certain time	Liter	10	
	ml		500
Measuring time (s)	s	25.92	43.2
Accuracy		20%	8%
When to calibrate the pumps?			
	minimals	21	40
	maximals	31	46

c. Bijlage III: Contacten voor de mesocosmos en membraanpompen

Mesocosmos (zelfde in Horstermeer, Grou en Empuriabrava)

Leverancier:

Coweko
Munterstraat 9
5683 NNA Best

Contact:
G. Cornuijt
info@coweko.nl
0499 327048
06 51353990

www.coweko.nl
www.coweko.nl/catalog/product_info.php?products_id=844

Mesocosm membraanpompen van Horstermeer en Grou

TEKNA AXL 904 dosing pump
Price 400 Euro, min. 10 %

HYCON Hydrochemie-Conhag
Postbus 122
2650 AC Berkel en Rodenrijs

info@hycon.nl
www.hycon.nl

010 5111 52 11

contact
I. van den Berg
010 5191235

Bemonsteringspotjes *Daphnia*

Fisher Emergo, order nr. 043520, 100 ml 380 pots per box, about Euro 0.20 each

d. Bijlage IV: Runlists

De data server:

Er zijn twee verschillende dataseverns ingericht:

- 1- Alleen toegang voor project medewerkers: <ftp://data.waterharmonica.nl>
- 2- Voor studenten: <ftp://student.waterharmonica.nl>

Voor toegang is een ftp programma nodig, een soort Windows explorer met internet toegang.

Toegankelijk gemaakt via::

<http://www.waterharmonica.nl/downloads/totalcmd/wincd.zip>

Downloaden unzip de zip file in een nieuwe directory Total Commander op een USB-stick. Upgrades zijn beschikbaar vanaf <http://www.ghisler.com>

- the download bevat de FTP-settings voor file transfer
- start het programma met starttc.exe

button: FTP – pop-up scherm

kies de gewenste verbinding

Als er toch wat ingevuld moet worden: dit zijn de settings.

data.waterharmonica.nl

Session: data daphnia filtration

hostname: data.waterharmonica.nl

username: daphnia01

password: do not fill in here, but only when you log in

Local directory: fill in the directory on your own computer

Remote directory: httpdocs/

use passive mode for transfers

Save these settings.

student.waterharmonica.nl

Session: students_daphnia

hostname: students.waterharmonica.nl

username: daphnia_student

password: do not fill in here, but only when you log in

Local directory: fill in the directory on your own computer

Remote directory: httpdocs/ (can be handy to fill in your own student directory)

Downloads en gebruik van de runlisten, opslag van data

The papieren dienen in het veld ingevuld te worden en bewaard te blijven in de journaal map.

The Excel versies voor metingen dienen in de betreffende directory van de data server te worden opgeslagen.

1. Run list measurements during sampling

Print the paper version of the runlist (page 17) which can be downloaded from ftp data server, and fill it in in the field. Then fill in the excel template version which can also be downloaded from the ftp data server under the name *sampling_Grou*, then copy the table mentioned in the template to the data analysis file:
grou_total_analysis_date_2007_09_11_b.

Grou - Biological filtration				
date:		fill in date !!!		
sampled by:				
remarks:				
a4				
a3				
a2				
a1				
Ef_col tank				
b1				
b2				
b3				
b4				
	values to be measured			
place	Field_temp	pH_TP	O2_TP	Turbidity
Ef_col tank				
a1				
a2				
a3				
a4				
b1				
b2				
b3				
b4				

2. Visit Report

Print the visit report on page 19 (or download from ftp data server), fill it in and add it to visitors papers file and make a more detailed one in a word file, then add it to the forum as explained on the page 9.

MONITORING, MONSTERNAME EN ANALYSES

datum	dag_2007	ran gnr	Zwe- vend stof	NKJ	Nox	Ntot	Chlo- rop- hyl	E_Coli	daph- nia_di gitaal	daph- nia_h and	opmerkingen
5-6-2007	156	7							x		
29-6-2007	180	9							x		
10-7-2007	191	10							x		
26-7-2007	207	11	x				x	x	x		
6-8-2007	218	12	x				x	x	x		
26-8-2007	238	13	x				x	x	x		
5-9-2007	248	14	x				x	x			
22-9-2007	265	26	x				x	x	x		
7-10-2007	280	18	x				x	x	x		
22-10-2007	295	19							x		
29-10-2007	302	21	x				x	x			
5-11-2007	309	22	x				x	x	x		
16-11-2007	320	24	x				x	x	x		
7-12-2007	341	25	x				x	x	x		
14-12-2007	348	26	x				x	x			
7-1-2008	372	27	x				x	x			
31-1-2008	396	28	x				x	x			
2-2-2008	398	29	x				x	x			
11-2-2008	407	30	x				x	x			
26-2-2008	422	31	x				x	x	x		
12-3-2008	437	32	x		x		x	x			
28-3-2008	453	33	x		x		x	x	x		
7-4-2008	463	34	x		x		x	x	x		
14-5-2008	500	35	x		x		x	x	x		
27-6-2008	544	36	x		x		x	x	x		
3-7-2008	550	37	b				b	b			opnieuw Daphnia in lijn a
4-7-2008	551	38	x						x		
4-8-2008	582	39									droge stof flab
18-8-2008	596	40	x				x	x			
27-8-2008	605	41	x						x		
14-9-2008	623	42	x	x			x	x	x		
24-9-2008	633	43	x						x		
11-10-2008	650	44	x	x							
13-10-2008	652	45			x						
29-10-2008	668	46							x		
11-11-2008	681	47	x		x			x	x		
4-12-2008	704	48								x	
8-12-2008	708	49							x		

13-12-2008	713	50	x		x		x	x			
19-12-2008	719	51								x	
4-1-2009	735	52							x		
25-2-2009	787	53	x		x		x	x			
11-3-2009	801	54							x		
30-3-2009	820	55	x		x		x	x			
29-4-2009	850	56	x		x		x	x	x		
13-5-2009	864	57			x			x			
10-6-2009	892	58			x			x			
24-6-2009	906	59							x		
1-7-2009	913	60	x	x			x	x			
16-7-2009	928	61								x	
4-8-2009	947	62	x	x			x			x	
13-8-2009	956	63	x	x			x	x			
19-8-2009	962	64								x	
1-9-2009	975	65	x		x		x	x		x	
24-9-2009	998	66	x	x			x	x			
26-10-2009	1030	67	x		x		x	x			
20-11-2009	1055	68	x		x		x	x		x	
4-12-2009	1069	69								x	
13-12-2009	1078	70	x		x		x	x			
18-3-2010	1173	71	x		x		x	x			
26-4-2010	1212	72	x		x		x	x		x	
18-5-2010	1234	73	x		x		x	x		x	
28-6-2010	1275	74	x		x		x	x		x	
10-8-2010	1318	75	x		x		x	x			
31-8-2010	1339	76	x		x		x	x			
23-9-2010	1362	77	x		x		x	x		x	
17-11-2010	1417	78								x	

II. DIGITAL COUNTING OF DAPHNIA, MANUAL

Digital counting of Daphnia MANUAL



By Xavier Serra, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Spain
Jamal Ahdour and Ruud Kampf, Vrije Universiteit (VU)

Introduction

This manual explains the different steps for the counting daphnia using the program AnalySIS, made by Xavier Serra, student from Universitat Pompeu Fabra (UPF, Barcelona, Spain), during august 2006 and renewed by Jamal Ahdour, student of the Vrije Universiteit, with the support of Harm van Geest, Universiteit van Amsterdam, in the summer of 2007. In the other manuals supervising, maintaining, sampling the mesocosms and particle counting are described.

The program AnalySIS makes the counting of Daphnia using a digital camera once the daphnia have been recollected. For the final counting it is necessary to put the obtained data in an Excel file template then update the total analysis file.

Index:

I-	Digital counting of daphnia.....	1
	A) Materials.....	1
	B) Method.....	1
II-	Converting the Daphnia data for Analysis to the Excel template.....	5
III-	Copying Daphnia data into the file "total_analysis" files.....	6
	1) Horstermeer data file.....	6
	2) Grou data file.....	7
	3) Empuriabrava data file.....	8
	Appendix.....	9

Part I- Digital counting of daphnia

A) Materials:

- 5 ml pipette
- 100 ml cylinder
- Plate (72 cm²)
- Olympus Camedia camera
- AnalySIS auto program
- Lamp
- Ethanol 70%
- Ruler

B) Method:

Filenames and where to save

Make a directory with the year, month, day of sampling, i.e. 2007_08_25_horstermeer. There it has to be saved:

- Photo of ruler, i.e. 2007_08_25_ruler (for the calibration)
- Photos of every sample have to be saved! I.e. date and sample name, i.e. 2007_08_25_a1
- Results of the counting (Excel file), i.e. 2007_08_25_horstermeer_daphnia

Preparing the camera and the programme AnalySIS

- 1) Make sure that the energy cable is plugged in and connected to the camera
- 2) Make sure that the USB cable of the camera is connected with the computer
- 3) Put the camera at 40cm height
- 4) Turn on the camera
- 5) Turn on the circle light under the camera lens
- 6) Open the program AnalySIS auto (icon on the desktop)
- 7) In the *Set Input* button (or press F6), select (or make sure it is selected) macro40cm SHQ

Calibration

- 8) Make a picture of a ruler and save it (*once the program calibrated, it not needed to calibrate it every single use*)

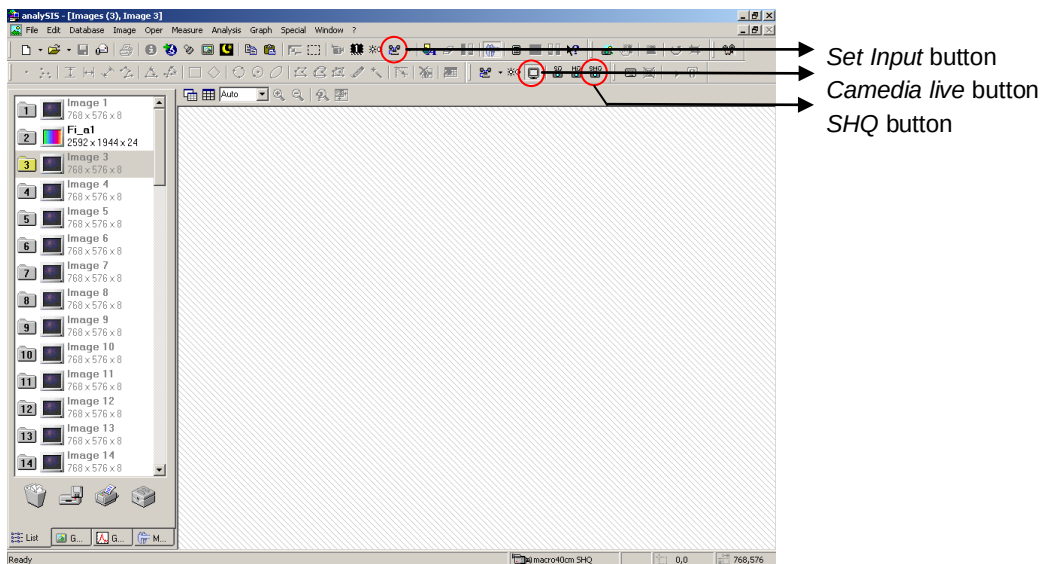
Preparing the sample

- 9) Look at the sampled daphnia and think which volume you want to use for the total volume. The sub volume are always 25 ml.
- 10) You must do this, because you reduce the use of ethanol and on all pictures there must be 100 daphnia on it to give the picture a good representation of the water tank.
- 11) It is a 100 daphnia at the picture or all daphnia of the sample.
- 12) Put the daphnia in a total volume of 100/ 50 / 25 ml ethanol 70%
- 13) when is it 25 ml you don't have to take a sub sample.
- 14) Mix it with the pipette
- 15) Take a sub-sample (5ml if there are a lot of daphnia to 100 ml if there is hardly any daphnia!) and put it on a plate (72,4 cm²)
- 16) Use this runlist to write down the subsamples volumes which will be used in case of any eventual corrections (Print the runlist on Appendix page11 and fill it in during counting)
- 17) Remove any big masses which are not Daphnia, like algae, snails...

- 18) Switch off the light of the room to prevent the reflections (the picture should be taken in the dark room)
- 19) Always fill a digital 'Sample and subsample volumes daphnia counting_01' form in to know how big the total and the sub sample volume are.
- 20) The total and the subsample volume in the counting file must be the same as in the 'Sample and subsample volumes daphnia counting_01' form.
- 21) If there are problems, go to Harm v/d Geest and ask if he can help you or someone else of the people who works at the university.

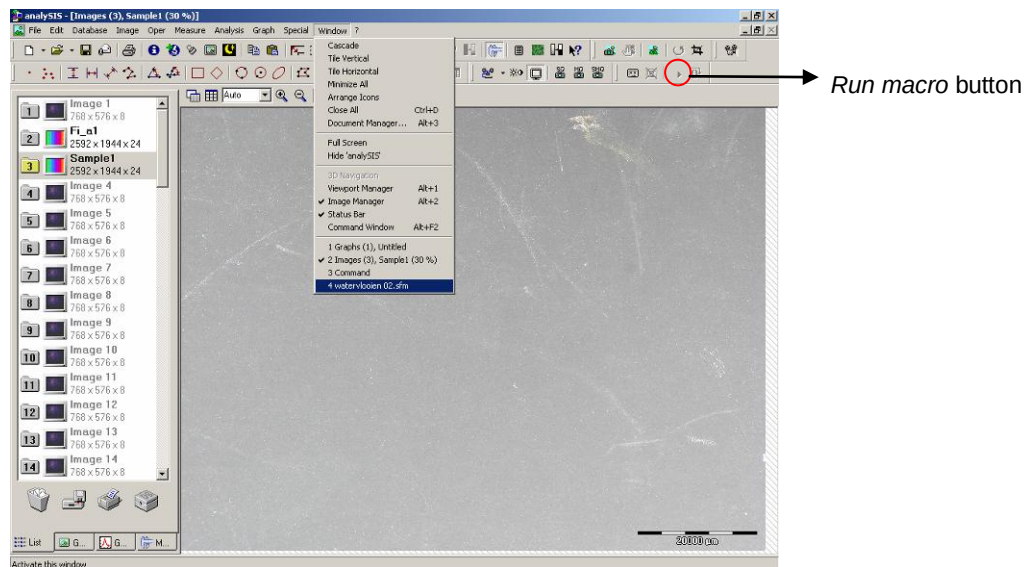
Taking the picture and analysis of the image

- 22) Press the *Camedia live* button to display a live image on the Olympus screen to centre the plate
- 23)
- 24) Select *SHQ* button to acquire an image in super high quality

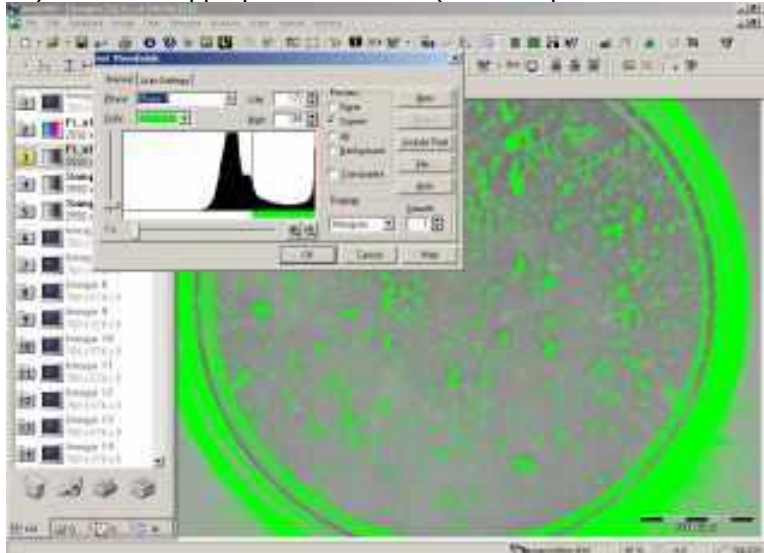


- 25) Save (Ctrl + s)
- 26) In the Window menu, select *watervlooien 02.sfm*

27) Select *Run macro* button (or F5) to start the subprogram



28) Select an appropriate threshold (all the daphnia should be completely green) and press OK



29) Press OK twice (for the "Define Separator" window and for the "Define measurements" one)

- 30) Make sure all the daphnia and only the daphnia have been measured. If not you can:
- Delete particles (in Analysis menu>delete particles) using the left button of the mouse and, when finish, pushing in the right one.
 - Append particles (in Analysis menu>append particles), chose the "Pen", then follow borders of the Daphnia you want to select maintaining the right button pushed on. When finished push in the left button then OK to save the changes.

Note: When there are white points which are not detected by the program (because they are under the threshold). Use the microscope to make sure that the things are daphnia, then take small subsamples (5 ml for example) then select them manually following the procedure described in section 20) b.

Warning: Do not change the threshold, because the program will detect small particles which are not daphnia (soil, dust...)

Collect and copy the measurements, in Analysis>particle results

ID	Particle	Class	Area	Diameter	Shape Factor	F	G	H	I
1			258.00	38.12	0.45				
2			258.00	37.76	0.39				
3			258.00	31.00	0.41				
4			238.00	38.40	0.29				
5			262.00	25.90	0.79				
6			338.00	27.40	0.36				
7			338.00	31.68	0.68				
8			364.00	28.15	0.79				
9			282.00	48.36	0.28				
10			662.00	62.11	0.26				
11			218.00	24.64	0.42				
12			352.00	28.80	0.37				
13			294.00	28.02	0.43				
14			388.00	31.06	0.73				
15			622.00	36.72	0.46				
16			3038.00	193.03	0.48				
17			233.00	24.70	0.38				
18			546.00	53.00	0.21				
19			778.00	48.02	0.73				
20			228.00	28.00	0.37				
21			388.00	43.97	0.15				
22			288.00	29.00	0.44				
23			672.00	37.36	0.67				
24			1473.00	73.55	0.42				
25			387.00	28.58	0.79				
26			223.00	25.94	0.26				
27			387.00	37.36	0.56				
28			228.00	26.07	0.32				
29			333.00	28.15	0.40				
30			238.00	31.28	0.27				
31			258.00	23.26	0.58				

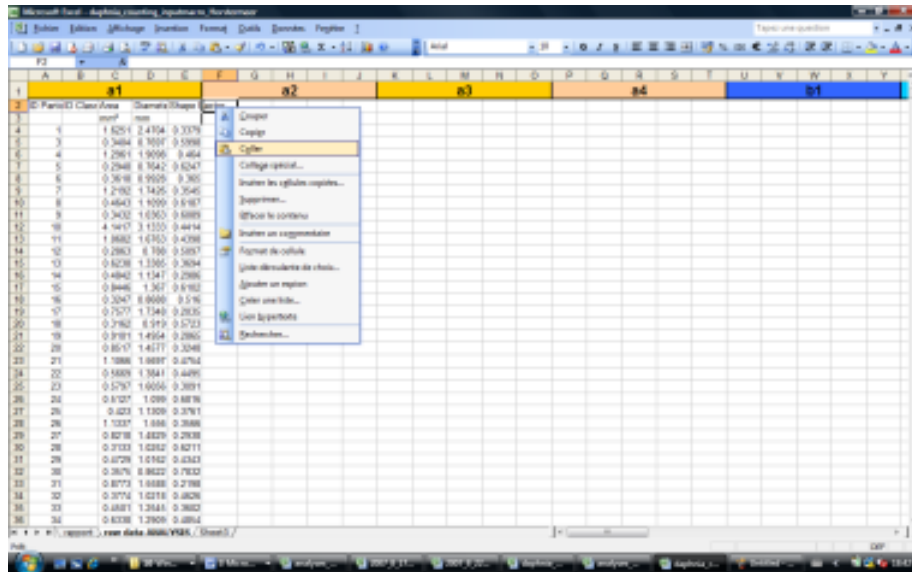
Part II: Converting the Daphnia data for Analysis top the Excel template

31) Open the template file for the experiment:

The template name for the Horstermeer samples is:
year_month_day_daphnia_counting_inputmacro_Horstermeer

The template name for the Grou samples is:
year_month_day_daphnia_counting_inputmacro_grou_01

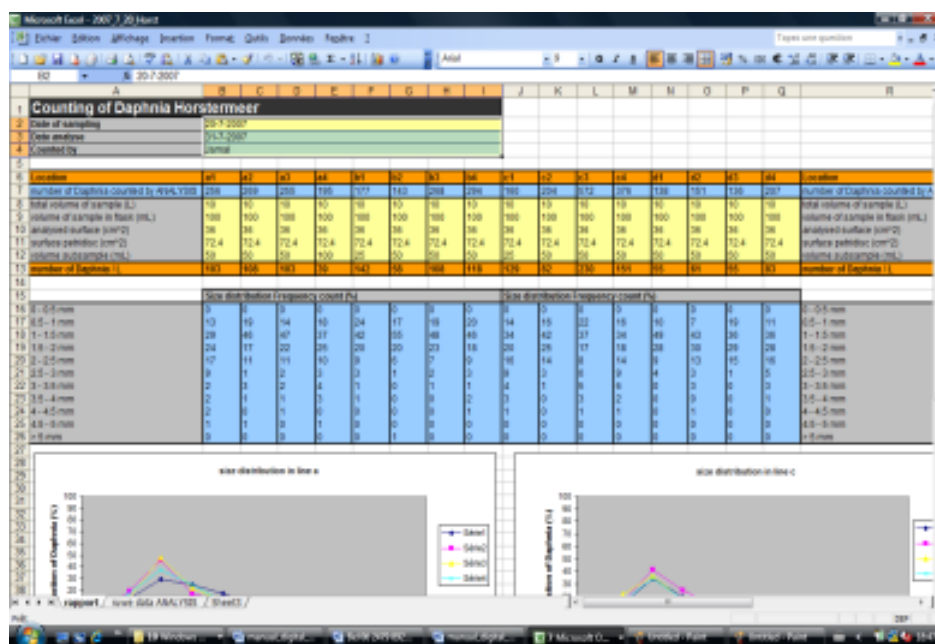
32) Paste the output of the program Analysis in the sheet "raw data ANALYSIS" ON LINE 2 (LEFT CORNER below the name of the mesocosm)



33) In the "rapport sheet", you have to type the data from the Daphnia counting runlist!! (sub sampling volume, etc);

34) Do change in the template in case of any change in the specifications of Petri dish or volumes;

35) Type the Date of sampling, Date of counting and the name of the counter in the upper table

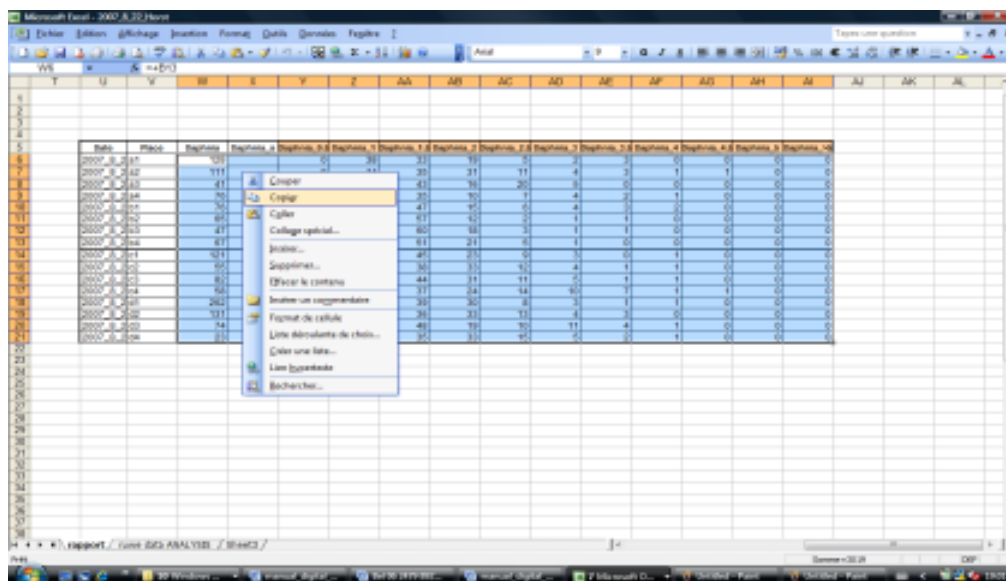


36) Save 2 copies of the "rapport sheet"; one in the computer of the university and an other one in your storage device, (i.e. 2007_08_25_horstermeer_daphnia)

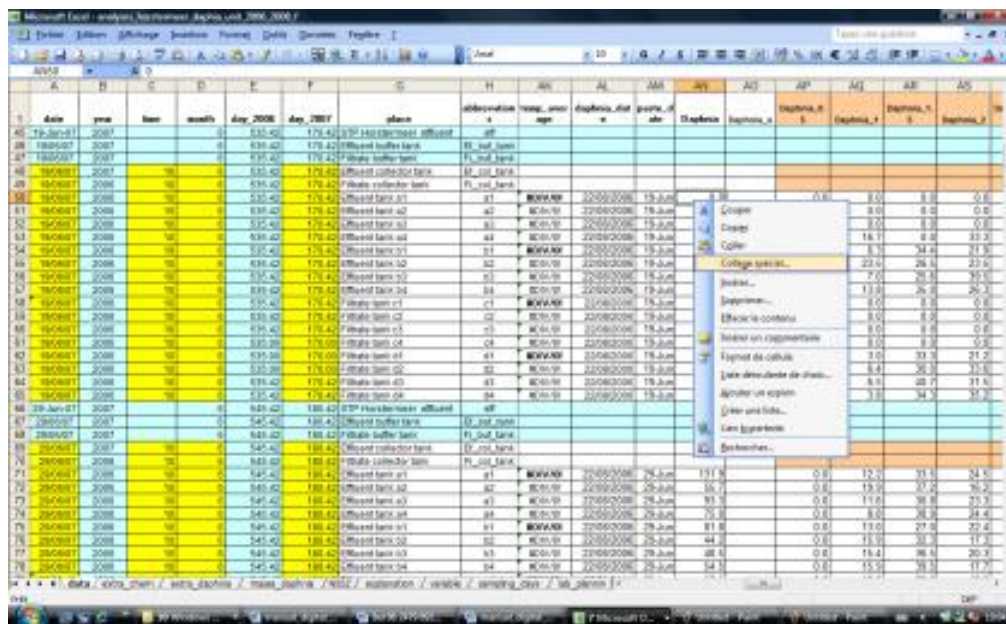
Part III: Copying Daphnia data into the file "total_analysis" files

1) Horstermeer data file:

- For the Horstermeer experiments open the total data file: horstermeer_total_analysis_date_2007_09_11_a
- Open the Excel file of the results of the counting, i.e. 2007_08_25_horstermeer_daphnia
- Copy the table titled as "Data to be pasted in the total_analysis file", Copy the columns from the W to AI



- d) then paste it "as values" in its place in the template of the total data file, paste it in the Cell AX- Line containing the abbreviation a1



- e) Enter the date of sampling in the first column A

2) Grou data file:

- Open the total data file: grou_total_analysis_date_2007_10_17_a;
- Open the Excel file of the results of the counting, i.e. 2007_06_30_grou_daphnia;
- Copy the table " values to be pasted into the table" from the L to AK columns, then paste it as values in the cell AX-Line containing the abbreviation a1
- Enter the date of sampling in the first column A

3) Empuriabrava data file:

- a) Open the total data file: total_analyses_empuriabrava_daphia_version_2007_08_23
- b) Open the excel file of the results of the counting, i.e. 2007_06_30_empuriabrava_daphnia
- c) Copy the table titled as "*Data to be pasted in the total_analysis file*", Copy the columns from the U to AI
- d) then paste it "*as values*" in its place in the template of the total data file, paste it in the Cell *F- Line containing the "mesocosm a1"*
- e) Enter the date of sampling in the first column A

Before leaving the room:

Do close the cover of the lens at the end of the counting

Do clean and rinse the Petri dishes, pipettes...

And switch of the lights



Appendix: Sample and subsample volumes daphnia counting

STP	
Date	
Counted by	

Sample code	Sample volume	Subsample volume
A1		
A2		
A3		
A4		
B1		
B2		
B3		
B4		
C1		
C2		
C3		
C4		
D1		
D2		
D3		
D4		

III. STAGIAIRES

In de periode van 2006 – 2011 heeft een serie van stagiaires gewerkt aan zowel het Aqualân als aan het mesocosm onderzoek. Zie voor details aangaande het Aqualân (1336, Kampf, R. and Boomen, R. M. van den, 13). Onderstaand alleen de extra-activiteiten aan de mesocosms, aangevuld met metingen in de watervlooienvijvers gepresenteerd. Dit ten behoeve van de vergelijkingen in hoofdstuk 6.

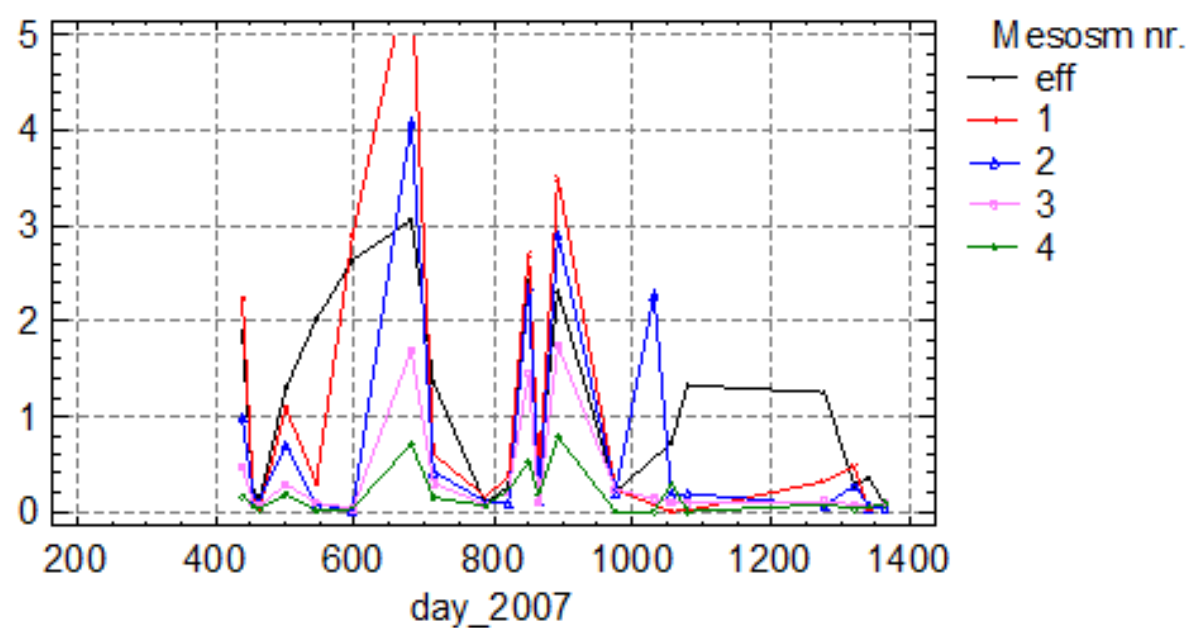
1. *Alba Bales*, Tellingen watervlooien.
2. *Triest, Henk van*, 2007. Tellingen watervlooien en metingen deeltjesgrootte.
3. *Ahdour, Jamal*, 2007. Tellingen watervlooien, bijdragen aan handleidingen en opzet experimenten.
4. *Dijkstra, Tineke*, 2007. *Waterzuivering Grou: Een beschrijving van het zuiverings- en nazuiveringsproces*. Leeuwarden, juli 2007 ((1256, Dijkstra, T., 07).
 - periode januari 2006 t/m juni 2007.
 - Tineke heeft in juni 2007 geholpen bij de opbouw van de opstelling.
5. *Burgh, Linde van den*, 2008. *Van effluent naar 'natuurlijk' oppervlaktewater*. Leeuwarden, juli 2008 ((1012, Burgh, L. van der, 08).
 - periode november 2006 t/m november 2007.
 - Zij was de eerste student die ingeschakeld werd bij de mesocosms proefbakken (onderhoud bakken, grootte verdeling watervlooien en *E-coli* verwijdering): studie naar *Daphnia*'s in aantal en grootteverdeling en verwijdering van thermotolerante *E-coli*. Zowel het moerassysteem als de bakken kenden grote startproblemen met veel draadalgen (flab) ontwikkeling en kroosvorming.
6. *Martí, Magali*
 - periode augustus t/m oktober 2008.
7. *Limareva, Anastasia*, 2009. *The constructed wetland Aqualân and the pilot study on mesocosms at the wastewater treatment plant Grou, Friesland, The Netherlands*. Leeuwarden, August 2009 ((1259, Limareva, A., 09)
 - periode het gehele jaar 2008 (februari t/m december met zes meetperioden) en later als invalkracht
 - Onderzoek naar de invloed per seizoen van verwijderingrendementen van de fysisch-chemische parameters. Onderzoek van vrachten van zuiveringsmoeras, metingen van slibaanwas in de vlooienvijvers
8. *Jitprasarn, Thipsuda*, 2009. *Waterharmonica; Removal of suspended solids and pathogens by a Waterharmonica*. Leeuwarden, September 2009 (1261, Jitprasarn, T., 09).
 - periode januari 2006 t/m juli 2009
 - Laboratoriumproeven bij laboratorium van Van Hall Larenstein met vier verschillende dichtheden watervlooien op efficiëntie *E-coli* verwijdering. Resultaten gepresenteerd in concentratieverlopen door het moerassysteem. Specifiek aandacht voor zwevende stof en *E-coli*.
9. *Ajuria, Victor*, 2009 *Daphnia counting report, July to September 2009, Amsterdam, Netherlands* (1378, Ajuria Llorens, V., 09). Tellingen watervlooien in vijvers en mesocosms.

10. *Rietdijk, Jessy, 2009. Waterharmonica Grou; Efficiency van een nazuiveringsysteem. Leeuwarden, november 2009 (1260, Rietdijk, J., 09.*
 - Periode xxx
 - Onderzoek van zuiveringsrendement mesocosms bakken met drie metingen in september en oktober 2009.
11. *Rattip, Piyanuch, 2010. Waterharmonica Aqualân Grou: Evaluation of 3 years monitoring. Leeuwarden, February 2010 (1262, Rattip, P., 10.*
 - Periode xxx
 - Potentie van waterharmonicasystemen voor Thailand beschouwd.
12. *Moed, Niels; Water fleas (Daphnia magna) in the Waterharmonica system Aqualân Grou. Leeuwarden, juli 2010 (1264, Moed, N., 10.*
 - Periode februari-juni 2010
 - Onderzoek naar de rol van zoöplankton bij de verwijdering van *E-coli* ofwel watervlooien en de efficiency van bacterieverwijdering (*E-coli*). In het laboratorium van Van Hall Larenstein de verwijdering (afbraak, consumptie) van *E-coli* gemeten met watervlooien en onder invloed van UV-licht, gedurende een aaneengesloten periode van 72 uur.
13. *Willemsma, Richtje, 2011. De werking van de Waterharmonica Aqualân bij RWZI te Grou. Leeuwarden, maart 2011 (1263, Willemsma, R., 11*
 - Periode xxx
 - Uitwerking data.

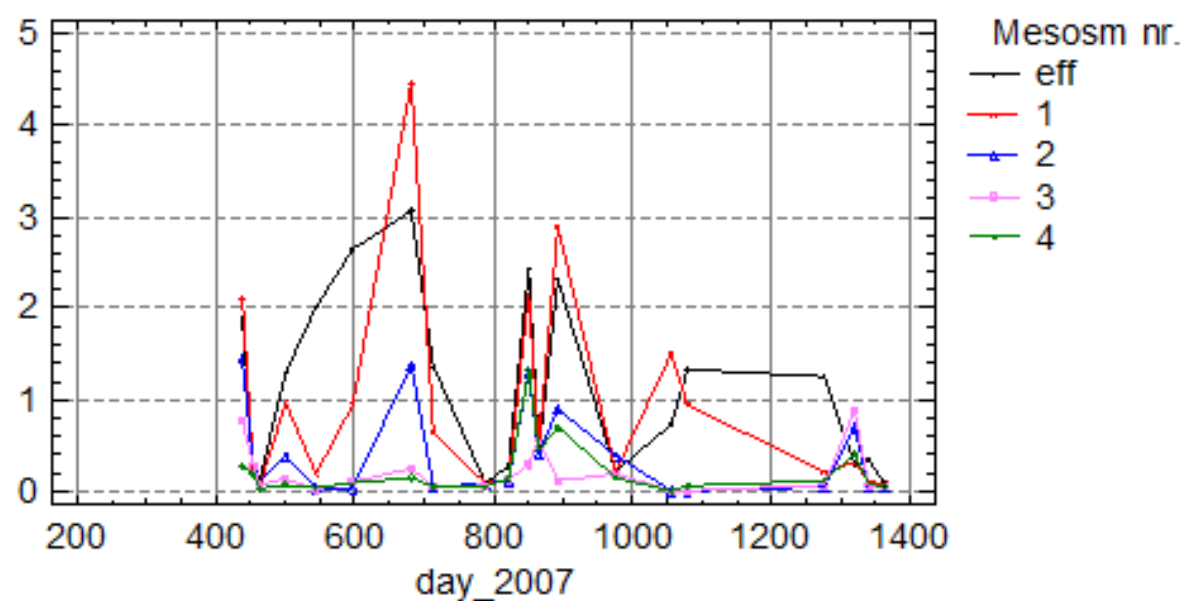
Van Hall Larenstein komt ieder jaar met ene groepje studenten om te oefenen / leren / veldwaarnemingen te doen. Doordat het Wetterskip na 2013 gaat stoppen met monitoring, is het een optie om VHL de interesseren iets van monitoring serieus te adopteren.

IV. XY- FIGUREN

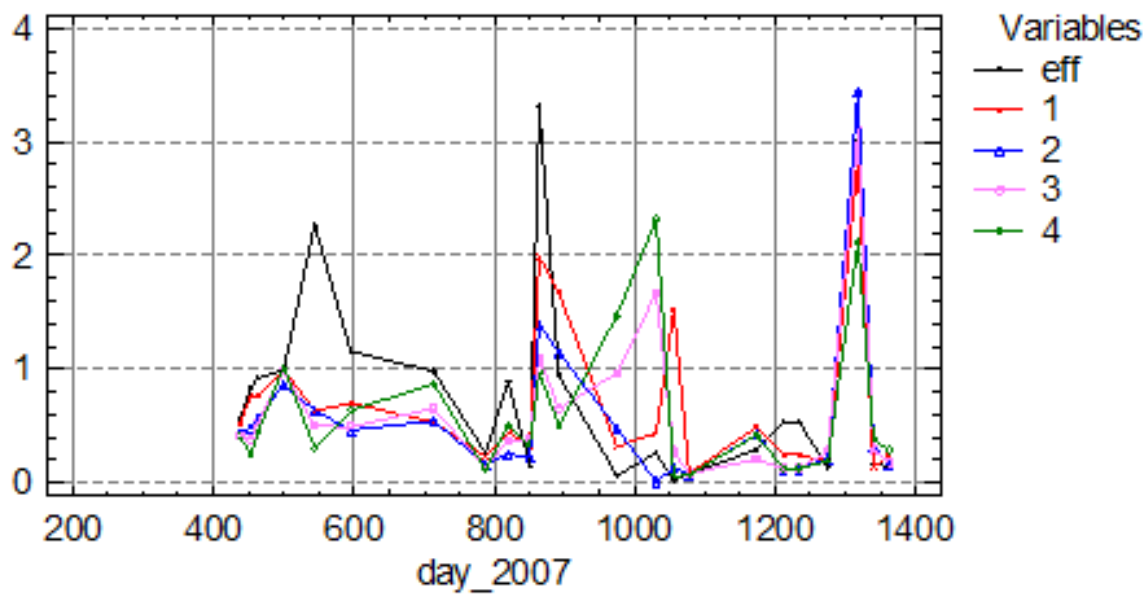
Grou - NH4 - line a



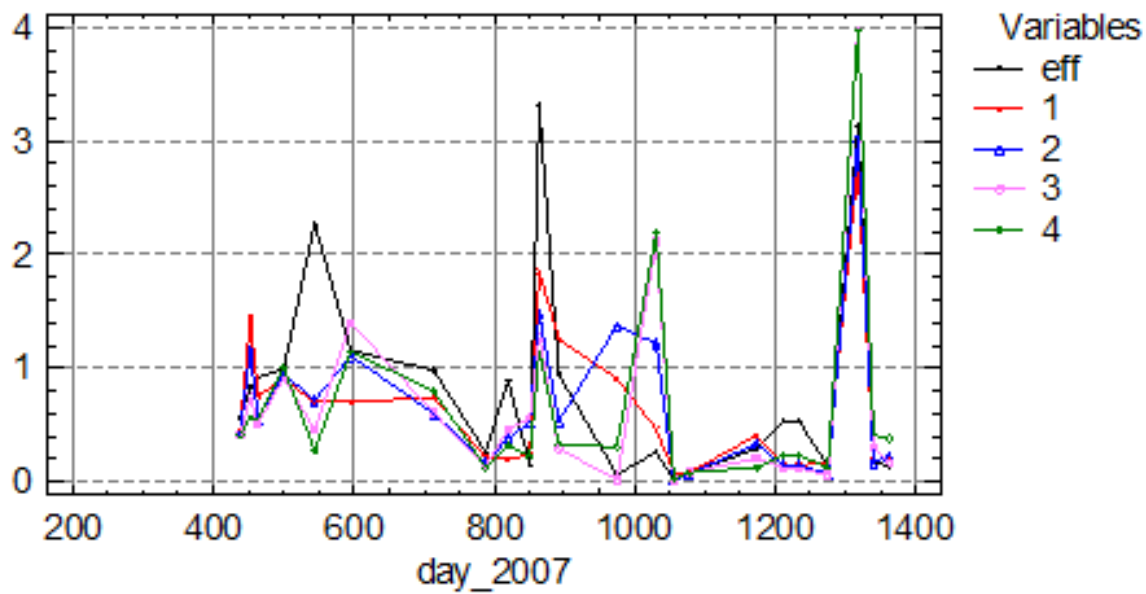
Grou - NH4 - line b



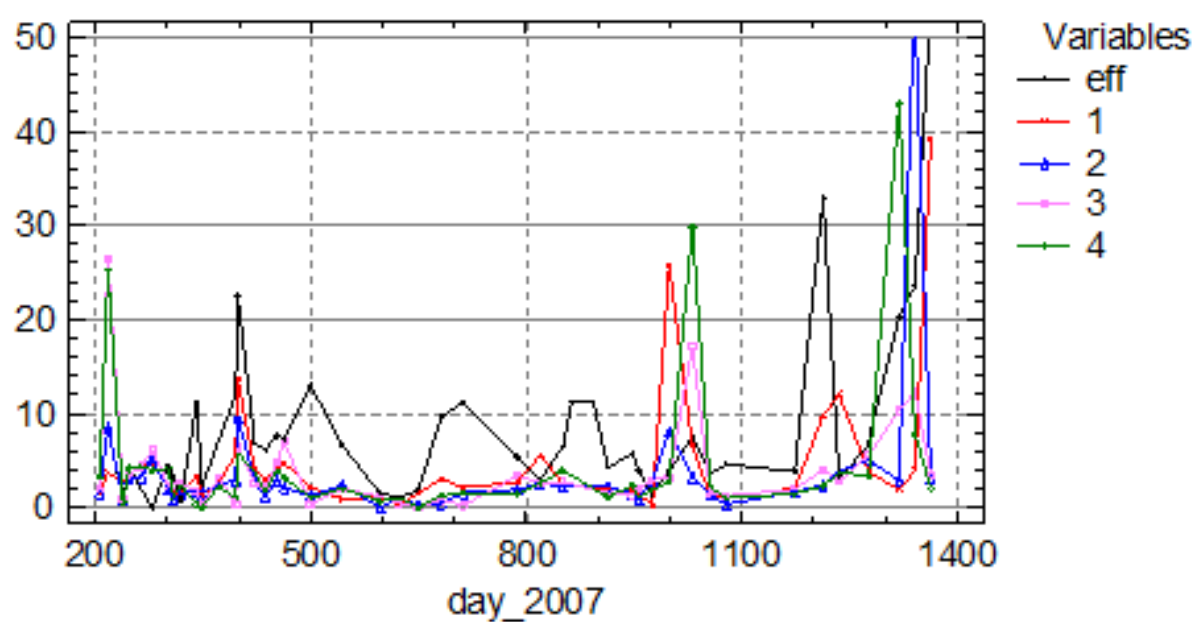
Grou - P-schatting - line a



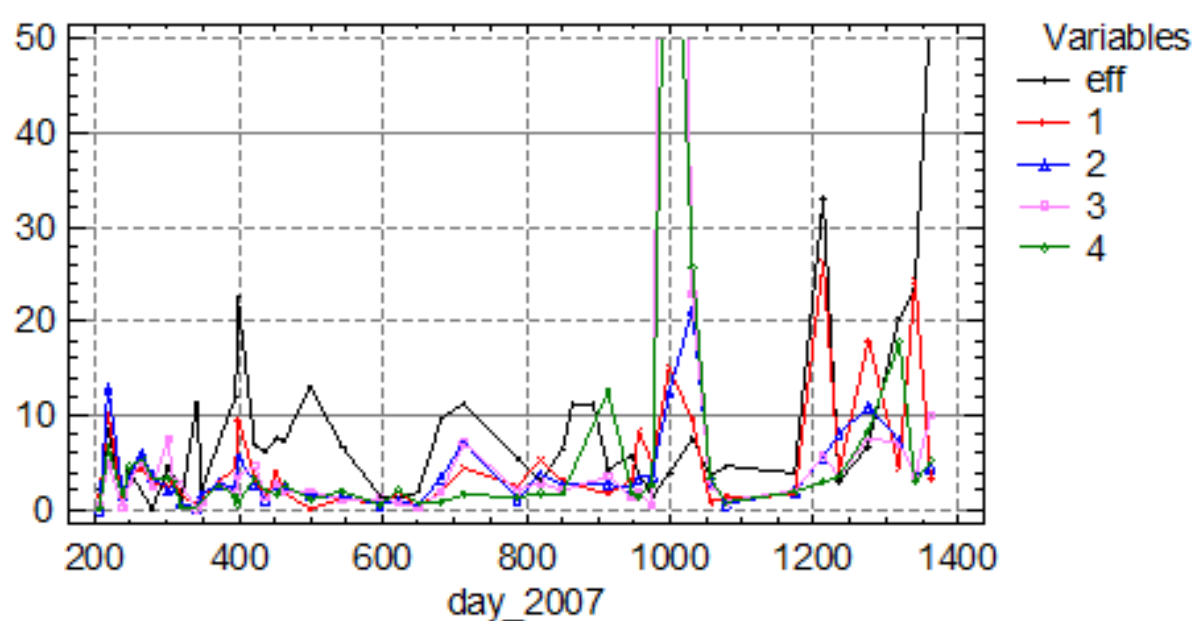
Grou - P-schatting - line b



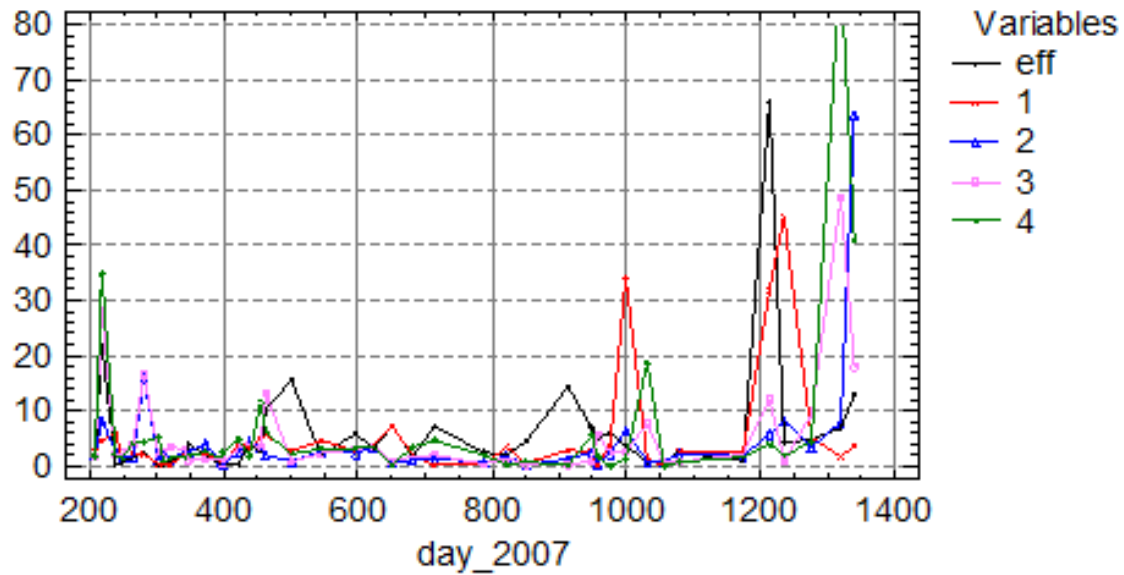
Grou - Suspended solids - line a



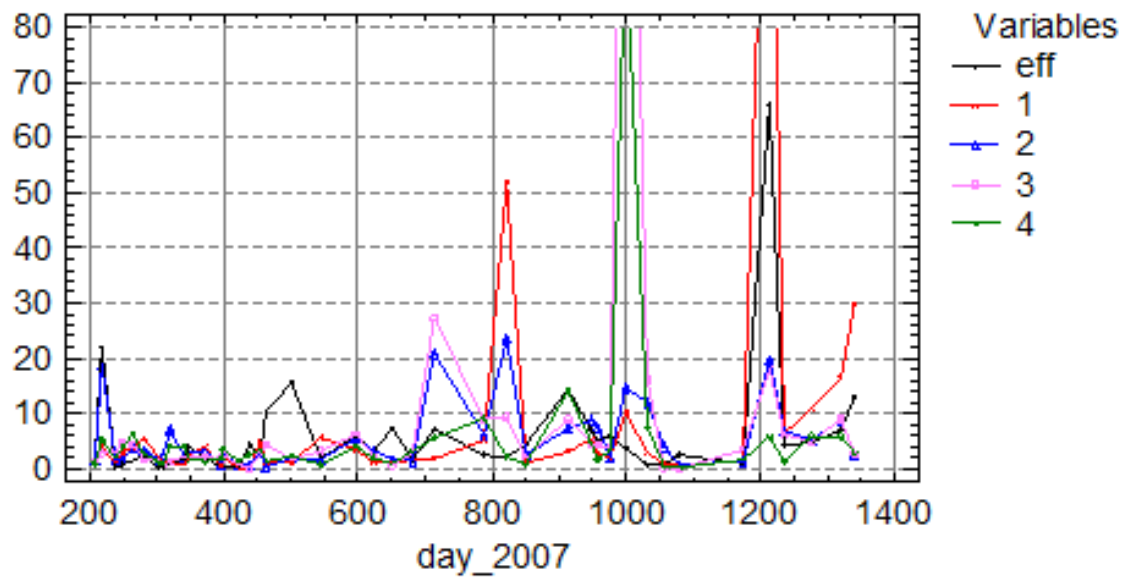
Grou - Suspended solids - line b



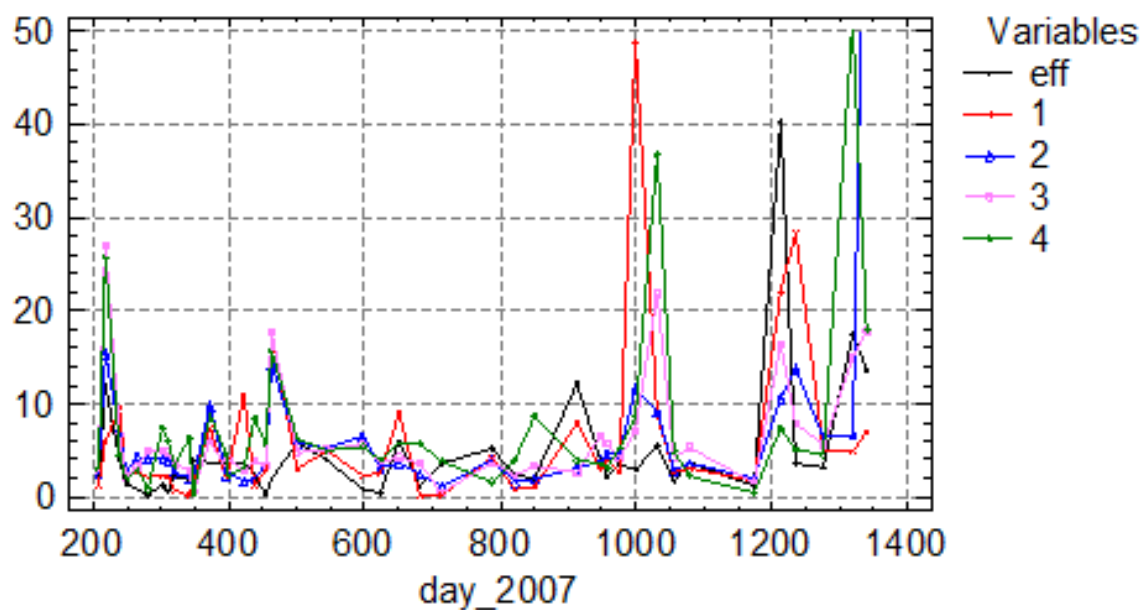
Grou - CHLFA - line a



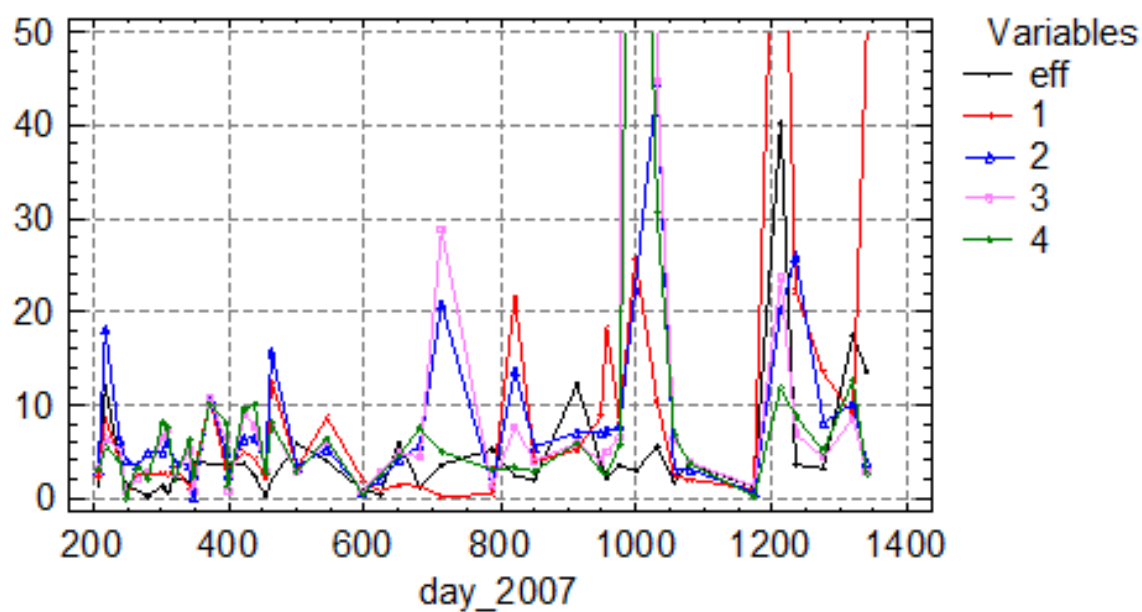
Grou - CHLFA - line b



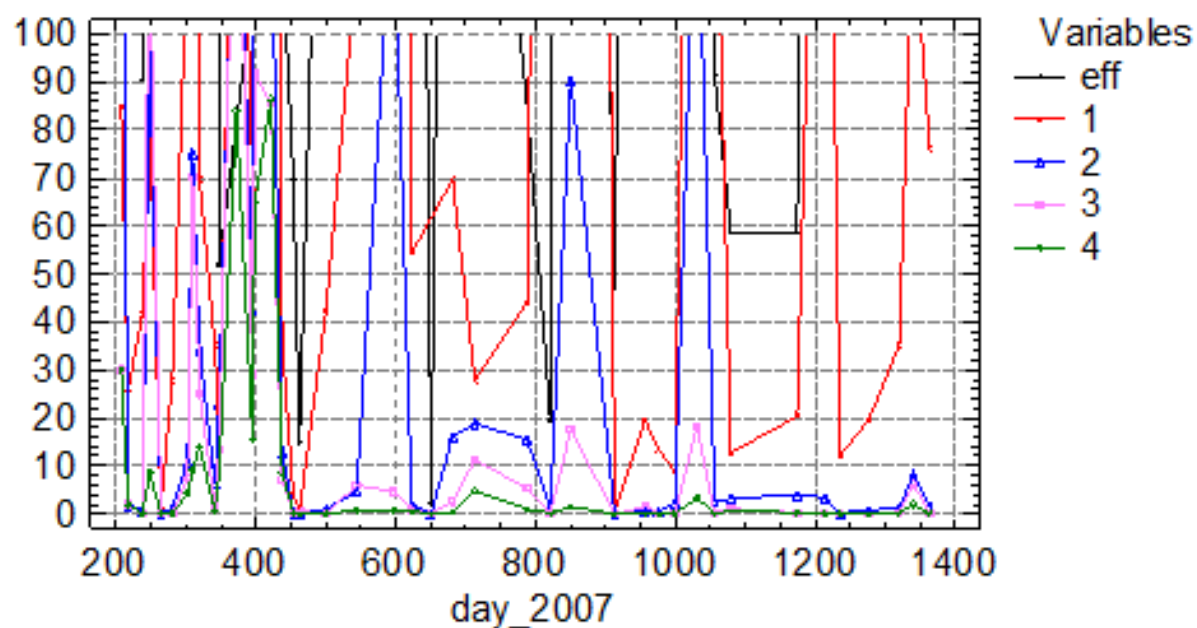
Grou - faefotine - line a



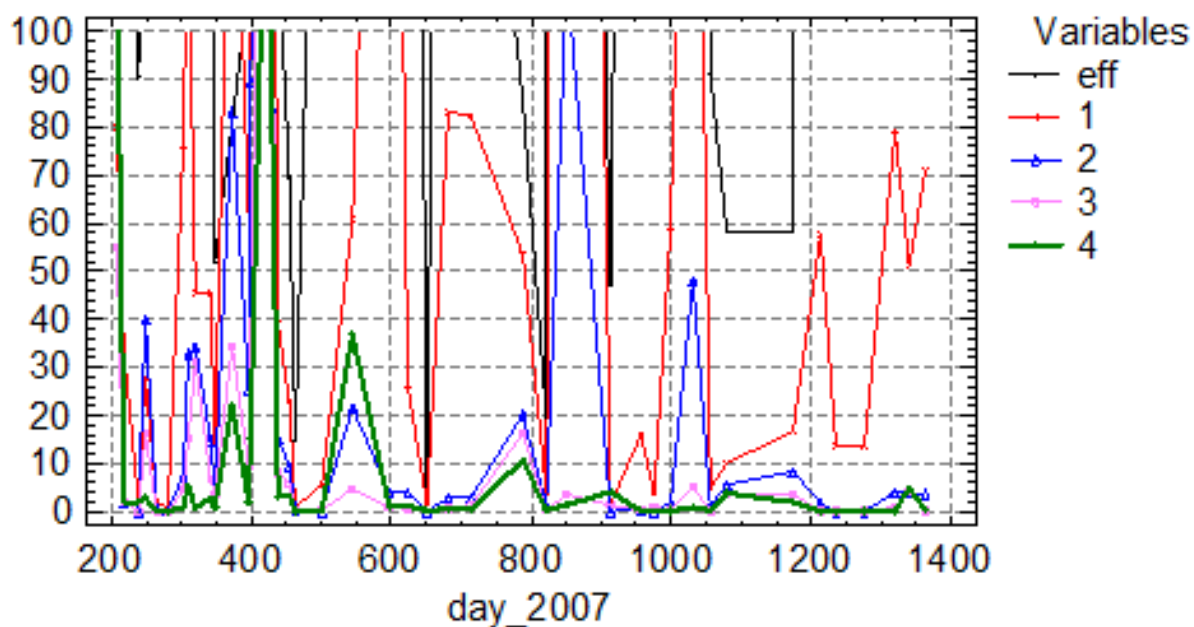
Grou - faefotine - line b



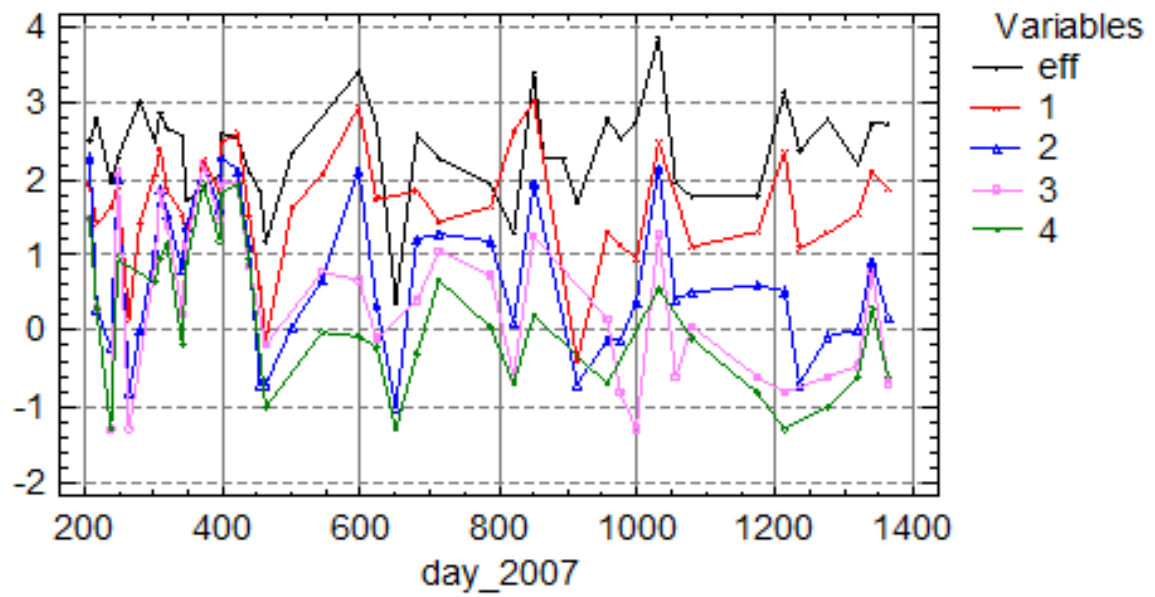
Grou - E-coli (nr/ml) - line a



Grou - E-coli (nr/ml) - line b



Grou - log E-coli (nr/ml) - line a



Grou - log E-coli (nr/ml) - line b

