stowa

HOOFDRAPPORT

WATERHARMONICA, ONDERZOEK NAAR ZWEVEND STOF EN PATHOGENEN

RAPPORT 2012 10

stowa

WATERHARMONICA, ONDERZOEK NAAR ZWEVEND STOF EN PATHOGENEN

HOOFDRAPPORT

RAPPORT 2012 10

ISBN 978.90.5773.553.0

stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 01
Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort
POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Rob van den Boomen (Witteveen+Bos)
Ruud Kampf (Vrije Universiteit)
Bram Mulling (Universiteit van Amsterdam)

BEGELEIDINGSCOMISSIE
Sybren Gerbens (Wetterskip Fryslân, voorzitter)
Dick de Vente (Waterschap Regge en Dinkel)
Joost Kappelhof (Waternet)
Victor Claessen (Waterschap De Dommel)
Cora Uijterlinde (STOWA)

FOTO'S OMSLAG
Ruud Kampf

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2012-10

ISBN 978.90.5773.553.0

COPYRIGHT De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

TEN GELEIDE

De “Waterharmonica” vormt de natuurlijke schakel tussen de afloop van de nabezinktank en het oppervlaktewater. In de afgelopen jaren is er al veel onderzoek naar het functioneren van dit systeem (zuiveringsmoeras) uitgevoerd, maar verschillende aspecten zijn nog onvoldoende bekend. De Kader Richtlijn Water vraagt ook zeer expliciet om een goede ecologische kwaliteit van het oppervlaktewater en de Waterharmonica kan de afstand tussen behandeld afvalwater en ecologisch gezond oppervlaktewater naar het lijkt overbruggen. Het water wordt weer “natuurlijk”.

In 2007 is in opdracht van de STOWA een visiedocument opgesteld waarin de bestaande en ontbrekende kennis rondom Waterharmonica systemen is samengebracht. De ontbrekende informatie is geordend in onderzoeksvragen en deze zijn geprioriteerd voor beantwoording op korte en lange termijn en beantwoording met hoge of met lage prioriteit. Er zijn twee onderzoeksvragen geselecteerd om nader te onderzoeken:

- onderzoek naar de slibhuishouding en de rol van Waterharmonica systemen in de buffering van slib-uitspoeling in de meer conventionele installaties
- onderzoek naar de rol van moerassystemen in het bereiken van de hygiënische condities opgelegd vanuit de EU-zwemwaterrichtlijn.

In de periode 2008 tot en met 2011 is onderzoek uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in het functioneren van deze specifieke onderdelen en processen in een Waterharmonica.

Dit hoofdrapport bevat de resultaten en conclusies van de deelstudies (2012-11) en de onderlinge verbinding daar tussen.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.
Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.
Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

WATERHARMONICA, ONDERZOEK NAAR ZWEVEND STOF EN PATHOGENEN HOOFDRAPPORT

INHOUD

		TEN GELEIDE	
		STOWA IN HET KORT	
1		INLEIDING	1
	1.1	Aanleiding	1
	1.2	Onderzoeksdoelstelling	3
	1.3	Uitvoering	3
	1.4	Leeswijzer	3
2		ZWEVEND STOF EN PATHOGENEN IN EEN WATERHARMONICA; HYPOTHESE	4
	2.1	Wat is zwevend stof	4
	2.2	Hoeveelheid zwevend stof in een Waterharmonica	5
	2.2	Samenstelling van zwevend stof in een Waterharmonica	6
	2.4	Bronnen en processen	8
	2.5	Analysetechnieken	10
3		ZWEVEND STOF EN PATHOGEN IN WATERHARMONICA SYSTEMEN	13
	3.1	Onderzoeksvragen	13
	3.2	Onderzoeksaanpak	13
	3.3	Hoe is het verloop van de hoeveelheid zwevend stof in een Waterharmonica?	15
	3.4	Hoe snel verdwijnen pathogenen en is er verschil tussen de componenten van een Waterharmonica?	17

4		BUFFERING VAN SLIBUITSPOELING IN EEN WATERHARMONICA	20
	4.1	Onderzoeksvragen	20
	4.2	Onderzoeksaanpak	20
	4.3	Hoe groot is het bufferende vermogen van het waterharmonica systeem?	24
		4.3.1 Algemene parameters	24
		4.3.2 Zwevend stof	24
		4.3.3 Nutriënten	27
		4.3.4 Pathogenen	28
5		AANBEVELINGEN ONTWERP, BEHEER EN MONITORING	30
	5.1	Samenvattend	30
	5.2	Beschouwing met betrekking tot ontwerp, beheer en onderhoud	31
6		REFERENTIES	33

1

INLEIDING

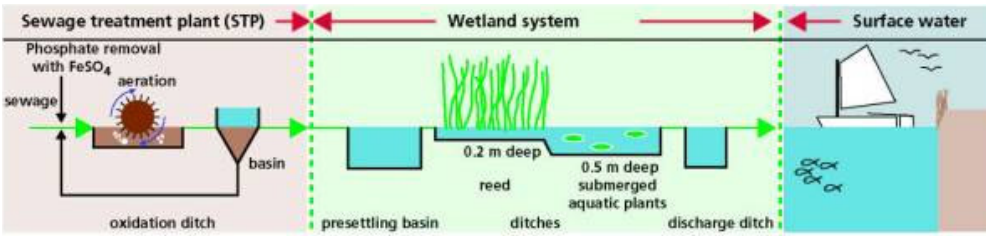
1.1 AANLEIDING

In Nederland wordt grond- en oppervlaktewater gebruikt om drink- en proceswater te maken. Na gebruik in de Waterketen wordt dit uiteindelijk als afval bestempeld. Lozing of hergebruik zijn dan de opties. Vóór lozing of hergebruik dienen diverse stoffen uit het water te worden verwijderd. Op 22 december 2009 is de Waterwet van kracht geworden waarin, net als in aanpalende wetten (zoals de Kader Richtlijn Water) en onderliggende AMvB, ministeriële regeling, verordening en plannen (en ook het Lozingenbesluit Wvo huishoudelijk afvalwater) normen zijn opgenomen voor lozingen, agrarisch gebruik, ontvangend oppervlaktewater, grondwater en hergebruik van afvalwater als proceswater.

In de meeste rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) wordt het afvalwater en regenwater mechanisch en biologisch gezuiverd tot de toegestane lozings- of (her)gebruiksnormen. In Nederland zijn sinds 1985 verschillende moerassystemen als (na)zuivering aangelegd. De eerste waren helofytenfilters voor behandeling van ruw afvalwater.

Een groot systeem, circa 15 ha en ingeplant met riet, lag bij Elburg. Deze heeft jaren gefunctioneerd voor de (na)zuivering van afvalwater maar nadat bleek dat het verwijderingsrendement voor nutriënten te beperkt was, is het afgekoppeld en als natuurgebied ingericht. In 1994 is bij de RWZI Everstekoog op Texel het eerste moerassysteem aangelegd conform het waterharmonica concept [*Kampf, 1997*] waar gezuiverd afvalwater op werd geloosd (zie afbeelding 1.1).

AFBEELDING 1.1 DE WATERHARMONICA ALS SCHAKEL TUSSEN WATERKETEN EN WATERSYSTEEM



Deze Waterharmonica bestond uit een grote buffervijver, waarna de waterstroom verdeeld werd over parallelle sloten. Na Everstekoog volgden onder meer Waterharmonica's bij de RWZI Kaatsheuvel (Klaterwater - 1997), een effluentbuffer bij RWZI Tilburg Noord (1997), bij RWZI Land van Cuijk te Haps (1999), Sint-Maartensdijk (2000), Waterpark de Groote Beerze bij RWZI Hapert (2001), Aqualân bij RWZI Grou (2007) en bij de RWZI Ootmarsum (2010). In 2012 zijn Waterharmonica's in uitvoering bij de RWZI Soerendonk (2011) en Kristalbad bij Enschede/Hengelo en liggen diverse plannen van andere gereed [*Kampf et al. 2009b*].

Waterharmonica systemen, gevoed door water uit de afloop van de nabezinktank van afvalwaterzuiveringen vervullen diverse functies. Dat kan zijn het verbeteren van de waterkwaliteit voor hergebruik of lozing, maar tevens het creëren van natuurwaarde en recreatieve en educatieve mogelijkheden. Tenslotte kan een Waterharmonica dienen voor waterberging. De landschappelijke inpassing is steeds belangrijk. In [*Van den Boomen en Kampf, 2012*] is een samenvattend overzicht opgenomen van de verschillenden waterharmonica's in Nederland, zowel aangelegd als in ontwerp, met daar aan gekoppeld de functies.

In deze Waterharmonica systemen vinden reguliere, meerjarige metingen plaats op basis waarvan inzicht is ontstaat in het functioneren en de ontwikkeling. Daarnaast heeft uitgebreid onderzoek plaatsgevonden door onder andere de STOWA zoals:

- Ondersteuning onderzoek Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier naar nabehandeling van RWZI-effluent tot bruikbaar oppervlaktewater in een moerassysteem, monitoring Waterharmonica Everstekoog 1995-1999;
- Handboek zuiveringsmoerassen voor licht verontreinigd water;
- Ecotoxicologische aspecten bij de nabehandeling van RWZI-effluent met behulp van biomassa kweek;
- Praktijkonderzoek moerassysteem RWZI Land van Cuijk;
- Waterharmonica, de natuurlijke schakel tussen Waterketen en Watersysteem;
- Waterharmonica in the developing world;
- Vergaande verwijdering van fosfaat met helofytenfilters;
- Ondersteuning promotie onderzoeken bij de VU-Amsterdam/TU-Delft en bij de UVA/Waternet.

Verder heeft afstemming plaats gevonden met het KRW Innovatie project "Moeraszuiver afvalwater / WIPE" [*Wipe, 2012*]. Daarin is specifiek onderzoek verricht bij drie Waterharmonica's naar de vermindering van milieuvreemde stoffen en metalen en de verandering van acute en chronische toxiciteit in het systeem.

Enkele voorname conclusies uit die onderzoeken betreft:

- het ecologiseren van het afvalwater: de hoeveelheid (hogere) organismen neemt toe en hiermee de waarde voor het ontvangende watersysteem;
- de nutriëntenverwijdering: het gehalte stikstof en fosfaat wordt gereduceerd, met wisselende resultaten tussen 5 en 60%;
- de hygiënische waterkwaliteit: verbetert, een verwijdering van 90 tot 99 procent (log2 verwijdering) is afhankelijk van de verblijftijd mogelijk;
- een slibuitspoeling, bijvoorbeeld als gevolg van debietvariaties op de RWZI, kan worden gebufferd de spreiding in gehalten zwevend stof na het doorlopen van een Waterharmonica is kleiner;
- de hoeveelheid metalen worden gereduceerd in een Waterharmonica, met name de metalen die zijn gekoppeld aan slibfracties;
- zuiveringsmoerassen geven een reductie van acute en chronische toxiciteit;
- moerassystemen geven enige reductie van milieuvreemde stoffen.

In 2012 is tevens een overkoepelde rapportage opgesteld waarin de resultaten van de verschillende onderzoeken zijn samengebracht in één overzicht met de titel "Waterharmonica's in Nederland, 1996-2011 van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater [*Van den Boomen en Kampf, 2012*].

1.2 ONDERZOEKSDOELSTELLING

Op basis van deze eerdere onderzoeken en metingen is dus een eerste inzicht ontstaan in het functioneren (en daarmee het ontwerp) van een Waterharmonica. Begin 2008 stonden echter nog een aantal onderzoeksvragen open, te weten:

1. Welke componenten en processen zijn van belang in de omzetting van zwevend stof en pathogenen in een Waterharmonica? En welke monitoring/analyse technieken zijn beschikbaar (eventuele uit andere toepassingen) om dit te meten omdat de nu gebruikte analysetechniek alleen inzicht geeft in de hoeveelheid (mg/l)? En is het mogelijk de hygiënische waterkwaliteit door deze nieuwe technieken nauwkeuriger, betrouwbaarder en uitgebreider te monitoren?
2. Bevestigen de routinematige meetgegevens van de Waterharmonica systemen in Nederland de zogenaamde zwevend stof paradox? Daarbij neemt de hoeveelheid zwevend stof uit de RWZI af maar tegelijkertijd wordt een natuurlijk zwevend stof geproduceerd in een Waterharmonica [*Kampf, 2009a*] en welke lessen kunnen worden getrokken uit deze gegevens met betrekking tot zwevend stof en pathogenen?
3. Wat zijn de effecten van piekbelastingen (slibuitspoelingen ten gevolge van bijv. een RWA of DWA) op de effectiviteit van het waterharmonica systeem? Hoe groot is het bufferende vermogen van het waterharmonica systeem met betrekking tot zwevend stof, pathogenen en nutriënten? Hoeveel dragen de verschillende compartimenten (watervlooienvijvers, helofytenfilter) individueel bij aan de werking van het waterharmonica systeem? en welke ontwerp, beheer of monitoring consequentie komen hier uit voort?

1.3 UITVOERING

Om deze onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden heeft in de periode 2008-2011 literatuuronderzoek en laboratorium onderzoek plaatsgevonden. Bovendien zijn veldexperimenten uitgevoerd naar de effecten van een slibuitspoeling op het waterharmonica systeem Aqualân te Grou.

De resultaten van dit onderzoek zijn in vier deelstudie rapporten verwoord:

- Deelstudie rapport 1: Analysemethoden zwevend stof (Engelstalig);
- Deelstudie rapport 2: Hydraulische verblijftijd Aqualân en mesocosms Grou;
- Deelstudie rapport 3: Piekbelasting Aqualân Grou;
- Deelstudie rapport 4: Zwevend stof en pathogenen in Nederlandse Waterharmonica's.

Onderliggend document is het hoofdrapport bij deze deelstudie rapporten en bevat de samenvattende conclusies en integratie.

1.4 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de componenten en processen die van belang zijn bij de omzetting van zwevend stof en pathogenen in een Waterharmonica. Bovendien wordt aandacht besteed aan eventueel geschikte monitoring en analyse technieken om dit te meten. In hoofdstuk 3 wordt een samenvatting gegeven van een analyse van routinematige meetgegevens van de voornaamste waterharmonica systemen in Nederland. Aangegeven is wat de veranderingen zijn in zwevend stof en pathogenen. In hoofdstuk 4 is samengevat wat de effecten zijn van een piekbelasting (bijvoorbeeld een slibuitspoeling ten gevolge van RWA omstandigheden) op de effectiviteit van het waterharmonica systeem. Hoe groot is het bufferende vermogen van dit systeem? In hoofdstuk 5 worden enkele aanbevelingen gegeven voor ontwerp, beheer en monitoring op basis van de bevindingen uit deze studie.

2

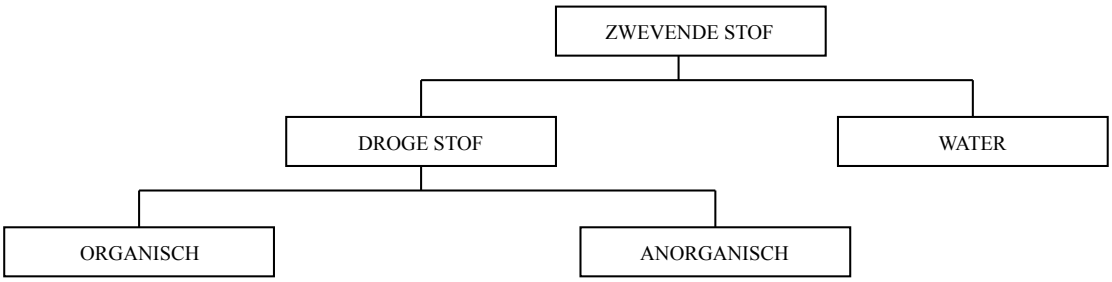
ZWEVEND STOF EN PATHOGENEN IN EEN WATERHARMONICA; HYPOTHESE

2.1 WAT IS ZWEVEND STOF

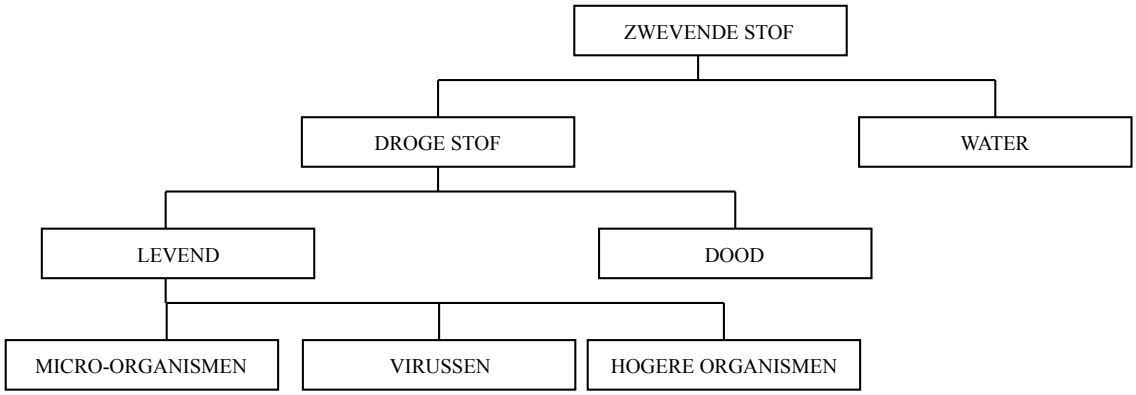
Wat wordt eigenlijk verstaan onder zwevend stof en wat is het verschil met pathogene bacteriën en virussen zoals vermeld in de zwemwaterrichtlijn? Het zijn allen deeltjes die in het water voorkomen, echter in verschillende grootte, in een andere vorm en samenstelling. Opgeloste stof is kleiner(bv Dissolved Organic Matter < 1 μm), particulair zwevend stof is groter (bv Particular Organic Matter > 1mm). Ze kunnen ook sterk verschillen in hun uitwerking, bijvoorbeeld het risico voor humane besmetting.

Voor zwevend stof worden verschillende indelingen gehanteerd. In afbeelding 2.1 is een onderscheid gemaakt in anorganisch en organisch, maar ook een onderverdeling in levend en dood materiaal is mogelijk (afbeelding 2.2).

AFBEELDING 2.1 ZWEVEND STOF, ONDERVERDELING IN ORGANISCH EN ANORGANISCH



AFBEELDING 2.2 ZWEVEND STOF, ONDERVERDELING IN DOOD EN LEVEND



Daarbij kunnen de levende "micro-organismen" uit afbeelding 2.2 weer worden onderscheiden op verschillende manieren zoals op basis van:

- vorm (bijvoorbeeld bollen, staven);
- voedsel (heterotroof = behoefte aan organische stof, autotroof = kan zelf organische stof maken);
- celwandstructuur (dik, dun);
- omgevingsomstandigheden (bijvoorbeeld zuur of temperatuur).

De virussen kunnen worden onderverdeeld in:

- bacteriële virussen (bacteriofagen);
- plantenvirussen;
- dierlijke virussen.

Bij de hogere organismen kan onder andere worden gedacht aan fytoplankton (algen) en zooplankton (bijvoorbeeld Daphnia).

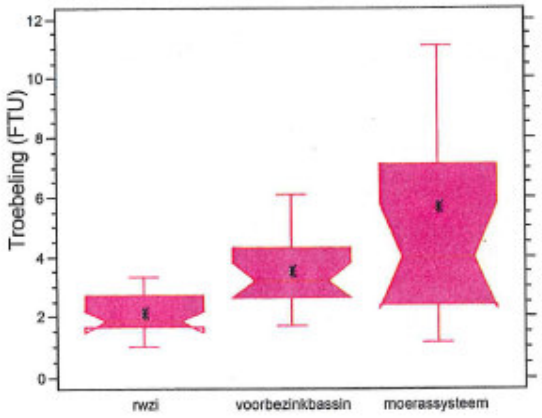
"Pathogenen" zijn ziekteverwekkers van biologische oorsprong en kunnen zowel bacteriën zijn als virussen, maar ook eencelligen, schimmels en wormen.

Voor zwevend stof bestaat dus geen eensluidende definitie. Voor verschillend gebruik / risicoanalyse zijn verschillende onderdelen van belang. De beschikbare analysetechnieken zijn ook vaak gericht op slechts delen van het zwevend stof. Van oppervlaktewater monsters is vaak alleen het droge stof gehalte bekend met soms aanvullende informatie over de hoeveelheid organische stof en anorganisch (gloeirestbepaling), zoals gepresenteerd in afbeelding 2.1.

2.2 HOEVEELHEID ZWEVEND STOF IN EEN WATERHARMONICA

Uit eerdere studies aan waterharmonica systemen (Everstekoog en Elburg) is gebleken dat de hoeveelheid zwevend stof in een Waterharmonica niet afneemt, en soms zelfs toeneemt [*Butijn, 1990 en Schreijer, 2000*]. In afbeelding 2.3 is dit weergegeven als een toename van de vertroebeling in het moerassysteem van Everstekoog. De troebelheid (uitgedrukt in FTU) heeft een sterke correlatie met de hoeveelheid onopgeloste bestanddelen. Voor een uitleg van presentatievorm in de box-whisker-plot wordt verwezen naar deelstudie rapport 4 (Zwevend stof en pathogenen in Nederlandse Waterharmonica's). De lijnen met op het eind een haaks streepje die boven het blok steken vertegenwoordigen de hoogste datapunten (de datarange) exclusief uitschieters. De box vertegenwoordigt de middelste helft van de data met de zogenaamde interkwartielafstand (25% boven en beneden de mediaanwaarde). De mediaan waarde is de middelste waarde uit de datareeks en is weergegeven bij de inkeping van de box.

AFBEELDING 2.3 TROEBELING IN VERSCHILLENDE COMPARTIMENTEN VAN HET MOERASSYSTEEM VAN EVERSTEKOOG [SCHREIJER, 2000]



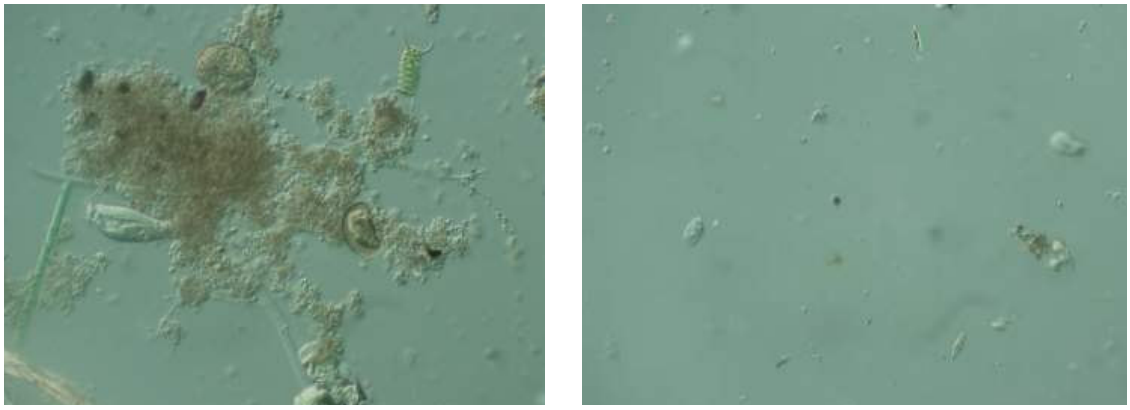
Dat de hoeveelheid zwevend stof niet echt afneemt is enigszins in tegenstelling tot de verwachting omdat er, zeker in de eerste waterverdeelbasins bezinking op kan treden. Een deel van het zwevend stof verdwijnt dus naar de bodem. Er wordt echter een toename gemeten. Blijkbaar wordt er in de loop van een Waterharmonica zwevend stof geproduceerd. Hoeveel dit is en welke componenten van een Waterharmonica welke bijdrage daar in hebben, is nog niet goed bekend. In deelstudie 4 (Zwevend stof en pathogenen in Nederlandse Waterharmonica's) is op basis van meetgegevens van enkele jaren van zes waterharmonica systemen in Nederland geanalyseerd hoe de totale hoeveelheid zwevend stof in een Waterharmonica verandert. In hoofdstuk 3 van dit hoofdstuk worden daarvan de conclusies gepresenteerd.

Daarbij komt een tweede vraag naar voren: hoe gaat een Waterharmonica om met een slibuitspoeling van de RWZI. Met andere woorden, wat gebeurt er in een Waterharmonica met een kortstondige extra, hoeveelheid zwevend stof? Hier kan op twee manieren naar worden gekeken: óf analyseren van de dataset met routinematige metingen en kijken of er significante verschillen zijn gemeten in de Waterharmonica onderdelen, óf het analyseren van een specifieke slibuitspoeling, en monitoring gedurende en na deze uitspoeling. In deelstudie 3 (Piekbelasting Aqualân Grou) is zo'n onderzoek uitgevoerd op de Waterharmonica van Aqualân (RWZI Grou) en gerapporteerd. In hoofdstuk 4 worden de voornaamste resultaten gepresenteerd.

2.3 SAMENSTELLING VAN ZWEVEND STOF IN EEN WATERHARMONICA

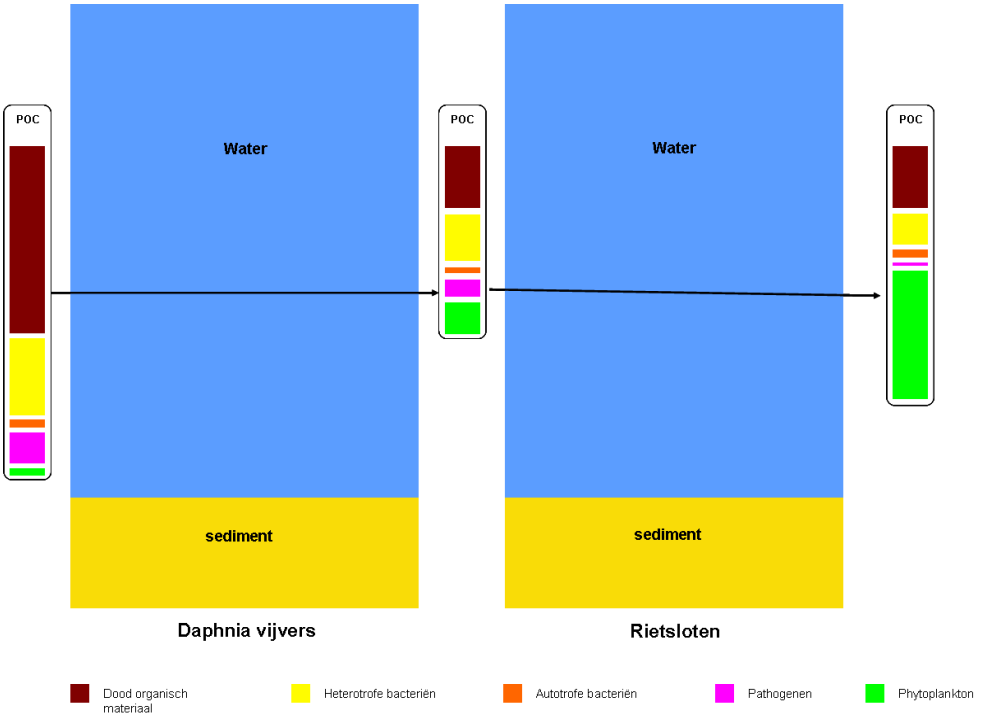
Uit microscopisch onderzoek naar de samenstelling van het zwevend stof in Everstekoog is gebleken dat het zwevend stof verandert van kleine slibvlokken met actief slib en bacteriedraden naar fijn organisch plantaardig materiaal en algen (diatomeeën). Er lijkt dus sprake te zijn van een conversie van het zwevend stof [*Schreijer, 2000*]. In afbeelding 2.4 zijn foto's weergegeven van de verandering van zwevend stof afkomstig uit de RWZI in een Waterharmonica.

AFBEELDING 2.4 **DE SAMENSTELLING VAN ZWEVEND STOF VERANDERT VAN ACTIEF SLIB MET VEEL BACTERIËN (EERSTE FOTO) NAAR MEER NATUURLIJK WATER (TWEEDE FOTO) (FOTO'S ANNIE KREIKE, WATERPROEF)**



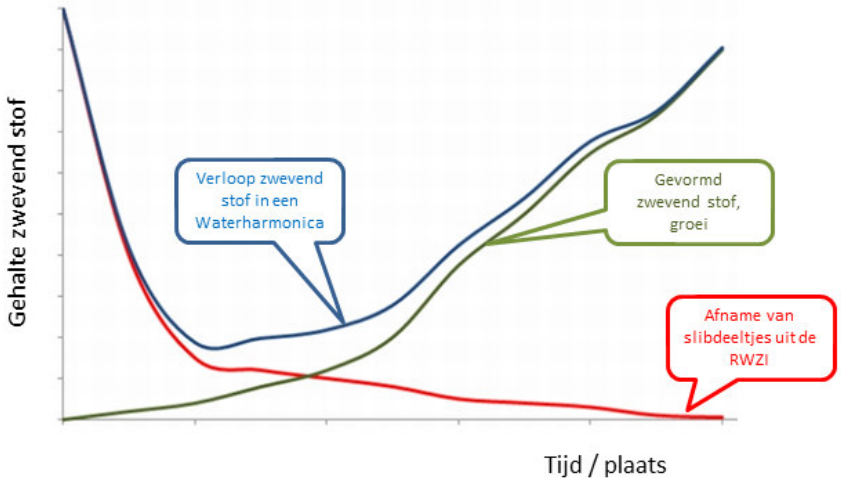
In afbeelding 2.5 is hypothetisch weergegeven hoe de samenstelling van het organische deel van het zwevend stof (inclusief pathogenen) zou kunnen veranderen bij het doorlopen van de eerste twee componenten van een waterharmonica systeem; de bezink- of Daphnia vijvers en de rietsloten.

AFBEELDING 2.5 HYPOTHETISCHE VERANDERING VAN SAMENSTELLING VAN ORGANISCHE DEEL VAN ZWEVEND STOF IN COMPONENTEN VAN EEN WATERHARMONICA [MULLING, 2011]



Dit is gebaseerd op de hypothese dat in een Waterharmonica de heterotrofe bacteriën en pathogenen verdwijnen en daarvoor mogelijk autotrofe bacteriën, maar vooral plantaardig en dierlijk materiaal terug komt. Dit is in de zogenaamde "zwevend stof paradox" vervat: de hoeveelheid zwevend stof in een Waterharmonica neemt niet af, maar de samenstelling verandert wel wezenlijk [*Kampf, 2009a*] (zie verder paragraaf 3.3). In afbeelding 2.6 is deze conversie op een andere wijze gevisualiseerd dan in afbeelding 2.5. In de afbeelding is weergegeven dat de hoeveelheid bacteriologisch actief slib vanaf het overdrachtpunt van de nabezinktank naar de Waterharmonica steeds verder afneemt in het systeem. Daarentegen neemt in het systeem, met de tijd en de afstand, het zwevend stof met een "natuurlijke" samenstelling toe. Het totaal van deze twee componenten van zwevend stof volgt daarmee de bovenste lijn in de afbeelding: een mogelijke afname in het Waterharmonica systeem, maar aan het einde weer een toename.

AFBEELDING 2.6. SCHEMATISCHE WEERGAVE ZWEVEND STOF PARADOX: CONVERSIE VAN ZWEVEND STOF IN EEN WATERHARMONICA [KAMPF, 2009A]

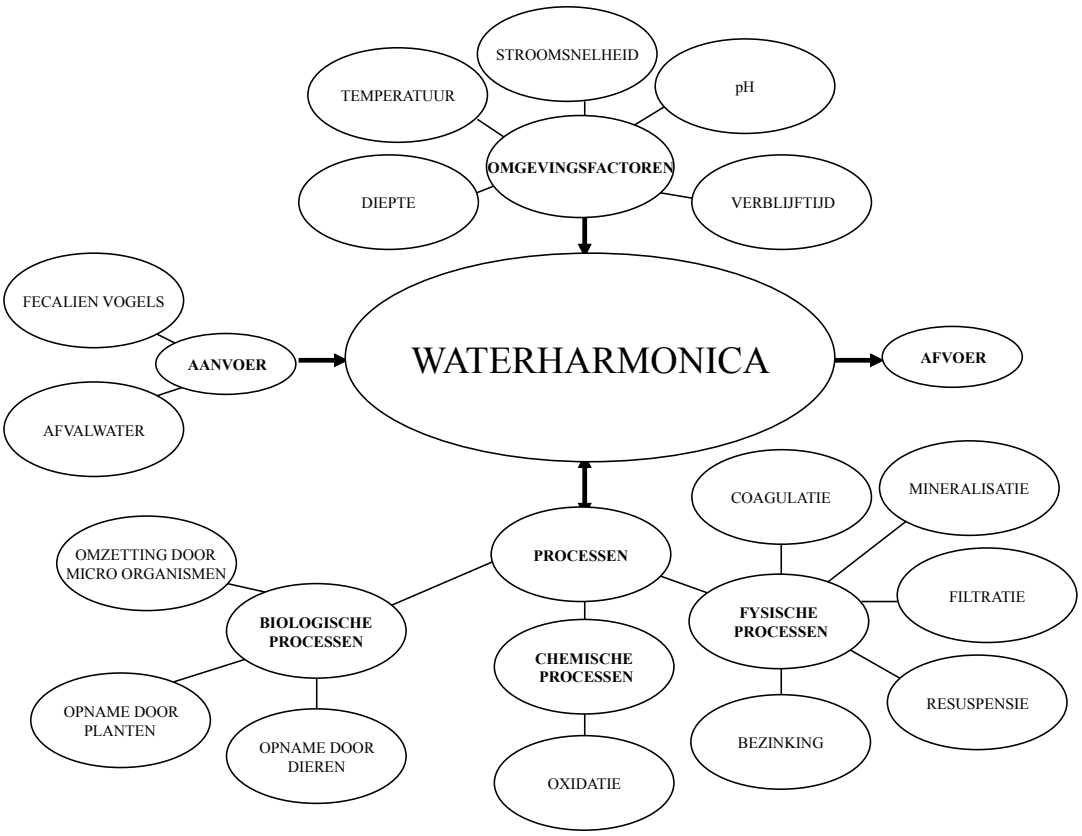


De “bacteriologische en virale samenstelling” van het water in een waterharmonica systeem volgt een vergelijkbaar verloop zoals in afbeelding 2.6 met rode lijn is gepresenteerd “Afname van slibdeeltjes uit de RWZI”. Voor pathogenen wordt in het algemeen een logaritmische afname in de tijd c.q. de afstand gemeten. Bij zowel het systeem in Elburg als in Everstekoog is een absolute verwijdering van E.Coli geregistreerd van 90 tot 99%. Eerdere studies hebben aangetoond dat in natuurlijke moerassystemen de verblijftijd van het water de bepalende factor is. En tevens dat dit een logaritmische afname betreft. Dit beeld is in Everstekoog bevestigd [*Schreijer, 2000*]. In deelstudie 4 (Functioneren enkele Waterharmonica’s in Nederland) is op basis van meetgegevens van enkele jaren van zes waterharmonica systemen in Nederland geanalyseerd hoe de E.Coli in een Waterharmonica veranderd. In hoofdstuk 3 van dit hoofdstuk worden daarvan de conclusies gepresenteerd.

2.4 BRONNEN EN PROCESSEN

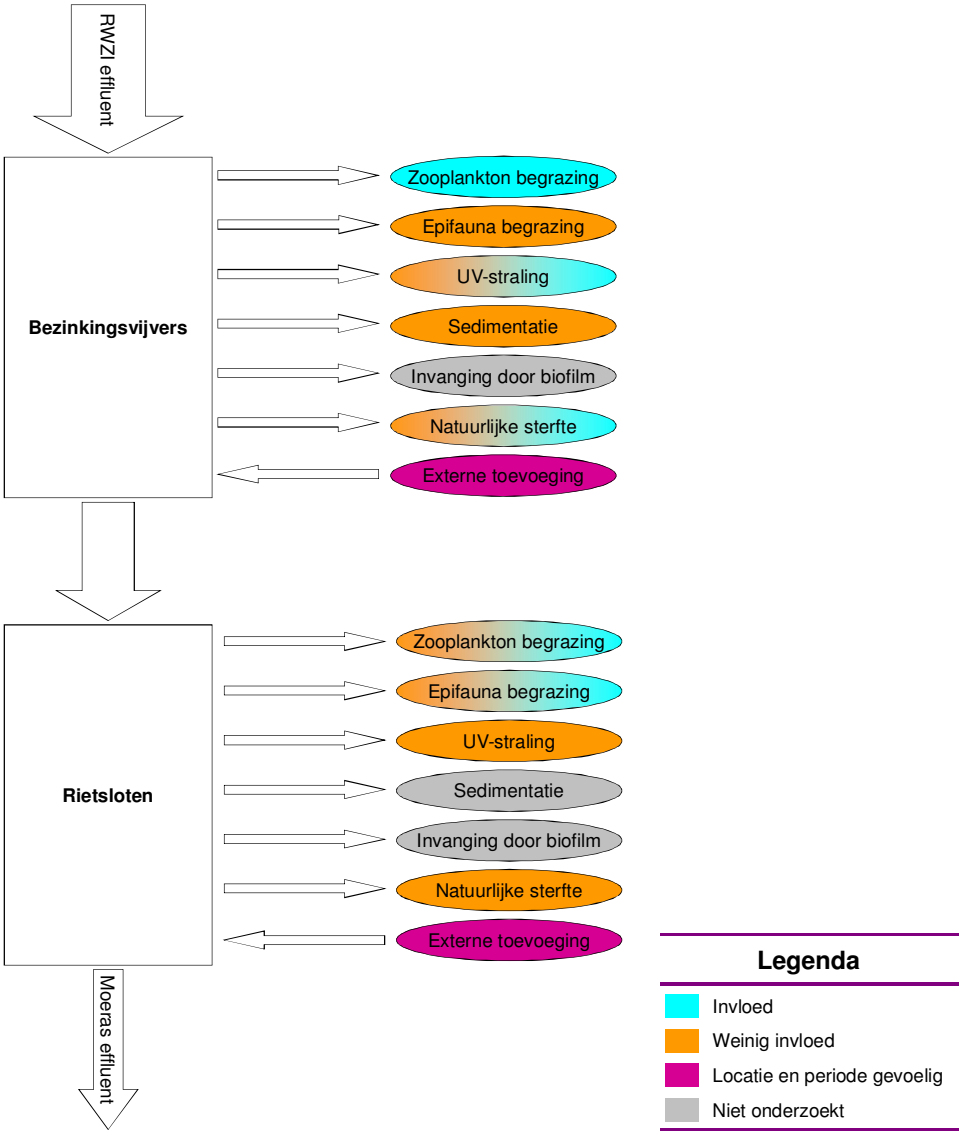
Het zwevend stof (en dus ook pathogenen) dat naar een Waterharmonica wordt aangevoerd ondergaat verschillende processen en wordt ook deels weer afgevoerd uit de Waterharmonica. De voornaamste routes en processen zijn in afbeelding 2.7 gevisualiseerd. In het Waterharmonica treden allerlei fysische, chemische en biologische processen op. Deze processen worden tevens gestuurd door omgevingsfactoren zoals temperatuur, pH, instraling, stroomsnelheid, diepte, verblijftijd, etc.

AFBEELDING 2.7 BRONNEN, PROCESSEN EN ROUTES MET BETREKKING TOT ZWEVEND STOF IN EEN WATERHARMONICA



De processen vinden naar verwachting in meer of mindere mate plaats in de verschillende componenten van een Waterharmonica. Daardoor kan er een ruimtelijk verschil ontstaan in de absolute hoeveelheid en in de samenstelling van zwevend stof (zie afbeelding 2.6). De voornaamste processen die van invloed zijn op de hoeveelheid zwevend stof zijn sedimentatie, biofiltratie, afbraak, resuspensie en biomassa productie. Voor pathogenen zijn mogelijk bepalende processen de natuurlijke sterfte, sedimentatie, biologische filtratie (door bijvoorbeeld zoöplankton) of sterfte door UV straling. De rol en de bijdrage van de verschillende bronnen en deze processen is nog maar deels bekend. Om hier meer inzicht in te krijgen loopt een promotie onderzoek aan de Vrije Universiteit Amsterdam. Eind 2012 zullen de eerste onderzoeksresultaten worden gepubliceerd. In onderstaande afbeelding 2.8 zijn enkele eerste resultaten gepresenteerd. Illustratief is aangeven welke processen naar verwachting het belangrijkste zijn in deze verwijdering, met onderscheid naar de compartimenten bezinkvijvers en rietsloten.

AFBEELDING 2.8 MOGELIJKE BIJDRAGE INDIVIDUELE PROCESSEN IN DE VERWIJDERING VAN ZWEVEND STOF IN HET WATERHARMONICA VAN AQUALÂN TE GROU



2.5 ANALYSETECHNIEKEN

Zwevend stof bestaat dus uit een mix van deeltjes en de absolute hoeveelheid in een Waterharmonica wordt bepaald door een mix van processen die deels fysisch, deels biologisch en ook chemisch zijn. Om de werking van de conversie van het zwevend stof te begrijpen, dienen de individuele fracties en de processen te kunnen worden gemeten.

De meest gebruikte methoden voor het verkrijgen van inzicht in zwevend stof zijn het bepalen van de absolute hoeveelheid droge stof en de gloeirest (zie afbeelding 2.1). Op basis van deze twee analytische methoden kan de totale hoeveelheid zwevend stof worden bepaald en de verhouding tussen de anorganische fractie (=gloeirest) en de organische. Voor pathogenen zoals E.Coli worden meestal plaattechnieken gebruikt en de resultaten worden uitgedrukt in het aantal kolonievormende eenheden (MPN per 100 ml). Deze zogenaamde standaardmethoden geven een goed beeld van de totale hoeveelheden zwevend stof en indicator voor pathogenen en zijn voor de basis monitoring van de RWZI's en de waterharmonica systemen goed bruikbaar.

Echter dit geeft weinig inzicht in de details van samenstelling en processen. Naast bovengenoemde analysetechnieken bestaan verschillende analysemethoden die het onderzoeksstadium reeds hebben verlaten en kunnen worden toegepast.

Er heeft onderzoek plaatsgevonden naar 21 analysetechnieken voor de deeltjes bepaling in de ruimste zin van het woord. In het deelstudie rapport 1 (Analysemethoden zwevend stof (Engelstalig)) zijn de resultaten van dit onderzoek in detail weergegeven. Per analysemethode is een uitgebreide beschrijving opgenomen van werking en toepassingsmogelijkheden. De analysetechnieken kunnen in 5 groepen worden onderverdeeld:

- Grootteverdeling;
- Chemische samenstelling;
- Biologische samenstelling;
- Ruimtelijke structuren;
- Pathogenen.

Onderstaand worden per groep de onderzochte analysetechnieken kort toegelicht.

GROOTTEVERDELING

In de categorie grootte verdeling wordt onderscheid gemaakt naar verschillende grootte fracties van het zwevend stof door middel van:

1. Laser diffraction;
2. Laser back scattering;
3. Spatial filter velocimetry;
4. Particle video microscopy;
5. Acoustic spectrometry;
6. Electroresistance counting;
7. Flow cytometry.

Met de Spatial filter velocimetry zijn in het kader van dit onderzoek experimenten uitgevoerd die een goed beeld geven over de hoeveelheid deeltjes en de grootteverdeling. Door deze methode toe te passen is het mogelijke veranderingen in de deeltjesgrootte verdeling waar te nemen en te zien waardoor dit wordt veroorzaakt. Neemt bijvoorbeeld de hoeveelheid kleine deeltjes toe of het aantal grote deeltjes af. Deze metingen geven een aanwijzing van processen als defragmentatie en flocculatie in een systeem en de grootteverdeling kan worden gebruikt voor inschattingen van de sedimentatie.

CHEMISCHE SAMENSTELLING

In de categorie chemische samenstelling vallen analysetechnieken die onderscheid maken in de elementaire componenten waar zwevend stof uit bestaat, zoals stikstof, fosfaat, koolstof en zwavel. Mogelijke analysetechnieken zijn:

1. Standaard chemische analyses;
2. Environmental Scanning Electron Microscopy, Energy Dispersive X-ray spectroscopy (ESEM-EDX);
3. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS).

Zowel met chemische analyses als met de ICP-MS zijn experimenten uitgevoerd waarbij concentraties van verscheidene elementen konden worden bepaald in de gloeirest van het zwevend stof. In het algemeen kan ICP-MS worden ingezet om een grote verscheidenheid van elementen (nutriënten, metalen) in één analyse te bepalen in water, organische stof, anorganische stof of het totaal van al deze fracties. ESEM-EDX is juist geschikt om een grote verscheidenheid aan elementen in zwevend stof weer te geven. ESEM-EDX heeft als nadeel dat dit niet kwantitatief is, maar heeft als voordeel dat het visueel de locatie van elementen weergeeft. Dit maakt identificatie van deeltjes mogelijk; bijvoorbeeld een deeltje met veel Chloride is mogelijk een plastic en deeltje met veel Silicium is mogelijk zand of een diatomee.

BIOLOGISCHE SAMENSTELLING

In de categorie biologische samenstelling wordt onderscheid gemaakt naar de organismen (bacteriën, algen) en andere deeltjes (detritus, organische stof) in zwevend stof door middel van:

1. Manual microscopy;
2. Fluorescent In Situ Hybridization (FISH);
3. Particle video microscopy;
4. Flow cytometry;
5. Environmental scanning electron microscopy (ESEM).

Zowel de handmatige microscopie als de ESEM en de Fluorescent In Situ Hybridization (FISH) zijn in het kader van dit onderzoek toegepast en geven een duidelijk beeld van de soorten groepen. FISH is een methode die op DNA gebaseerd is en hierdoor is de methode aan te passen aan de vraag. Het is bijvoorbeeld mogelijk om alle bacteriën zichtbaar te maken, maar ook specifieke bacteriën zoals *E.Coli* of *Enterococci*.

RUIMTELIJKE STRUCTUREN

In de categorie ruimtelijke structuren wordt onderscheid gemaakt naar de vorm van zwevende deeltjes door middel van:

1. Spatial particle structure;
2. Confocal laser scanning microscopy (CLSM);
3. Environmental scanning electron microscopy (ESEM).

De Confocal laser scanning microscopy (CLSM) is toegepast en is bruikbaar. CLSM is een speciale microscoop techniek die het mogelijk maakt 3D plaatjes te maken van objecten zoals een zwevend stof deeltjes. Door CLSM te combineren met bijvoorbeeld FISH en andere kleuringen is het mogelijk specifieke organismen en organische stof zichtbaar te maken en de onderlinge 3 dimensionale oriëntatie zichtbaar te maken.

PATHOGENEN

In de categorie pathogenen / specifieke organismen wordt onderscheid gemaakt door middel van:

1. Indicator species culturing;
2. Real time quantitative Polymerase Chain Reaction (QPCR);
3. Multiplex QPCR;
4. Denaturing Gel Electrophoresis (DGE);
5. DNA restriction analysis;
6. DNA microarrays;
7. Matrix-assisted laser desorption/ionization, time of flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS);
8. Fluorescent In Situ Hybridization (FISH).

De resultaten met gebruik van Indicator species culturing, DGE, en QPCR lijken goed bruikbaar. Gebruik van Indicator species is de standaard (plaat) methode en heeft als voordeel dat naar infectieuze/active pathogenen wordt gekeken. De methode kan tot een onderschatting leiden als meerdere pathogenen te dicht bij elkaar zitten. QPCR kijkt naar het totaal DNA van een specifieke pathogeen, maar kan leiden tot een overschatting doordat ook niet active en dode pathogenen worden meegenomen. DGE geeft een goed beeld van de veranderingen van de totale samenstelling van de bacteriële gemeenschap maar is niet bruikbaar ter herkenning van pathogenen.

Samenvattend kan worden gesteld dat een aantal van de onderzochte en gebruikte technieken duidelijk meer inzicht verschaffen in de deeltjes samenstelling en bacteriologische samenstelling. Dat is dus veelbelovend om een beter inzicht te krijgen in het functioneren van de conversie van zwevend stof. Wel moet worden gesteld dat de gebruikte technieken nog niet ruim toepasbaar zijn voor algemene laboratoria. Voor routinematige monitoring kan vooralsnog het beste gebruik gemaakt worden van:

- de NEN - Chemical analyzers methode, voor de bepaling van absolute hoeveelheden voor zwevend stof en nutriënten;
- de Indicator species culturing (plaat) methode, voor het bepalen van de hoeveelheid van infectieuze/active pathogenen.

Bij meer specifieke onderzoeksvragen, zoals het vaststellen van de omzetting van afvalwater naar natuurlijk water, kunnen andere methoden worden gebruikt zoals microscopie. De te gebruiken methode wordt bepaald door de vraag in hoeverre de resultaten kwalitatief of kwantitatief moeten zijn.

3

ZWEVEND STOF EN PATHOGEN IN WATERHARMONICA SYSTEMEN

3.1 ONDERZOEKSVRAGEN

De specifieke onderzoeksvraag voor dit onderdeel van het onderzoek betrof het vaststellen of de routinematige meetgegevens van waterharmonica systemen die in Nederland operationeel zijn, de hypothese van de zwevend stof omzetting en afbraak van pathogenen (zie afbeelding 2.6) bevestigen. En welke ontwerp- of beheerlessen kunnen worden getrokken uit deze analyse?

3.2 ONDERZOEKSAANPAK

Om antwoord te kunnen geven op deze vragen heeft een inventarisatie plaatsgevonden van beschikbare meetgegevens van de voornaamste waterharmonica systemen in Nederland. Dit betreft de volgende acht systemen:

- Elburg;
- Everstekoog te Texel;
- Land van Cuijk te Haps;
- De Groote Beerze te Hapert;
- Sint Maartensdijk;
- Klaterwater te Kaatsheuvel;
- Aqualân te Grou;
- Ootmarsum.

In afbeelding 3.1 is een impressie gepresenteerd van deze systemen.

Om te beoordelen of de resultaten van de systemen vergelijkbaar of aanvullend zijn, is een overzicht gemaakt van de voornaamste systeemkarakteristieken. In tabel 3.1 zijn enkele karakteristieken van deze acht waterharmonica systemen weergegeven.

De waterharmonica's in Tilburg-Noord, Sint-Oedenrode, Kristalbad en Soerendonk zijn niet in het onderzoek betrokken, omdat er (nog) geen of weinig gegevens beschikbaar zijn.

AFBEELDING 3.1 IMPRESSIE VAN ONDERZOCHTE WATERHARMONICA'S

TABEL 3.1 ENKELE KARAKTERISTIEKEN VAN DE ONDERZOCHTE WATERHARMONICA SYSTEMEN

Systeem	Oppervlak (m^2)	Debiet (m^3/dag)	Hydraulische belasting (m/d)	Verblijftijd (d)	Deel van afloop nabezinktank (%)
Elburg	150.000	10.000	0,07	15	100
Everstekoog te Texel	13.100	3.500	0,27	2[a]	100
Ootmarsum	23.000	3.030	0,13	3,7	100
Aqualân te Grou	8.000	1.200	0,15	3,3	ca. 25
Groote Beerze te Hapert	38.000	7.200	0,19	2,8	100
Land van Cuijk te Haps	35.700	8.650	0,24	4	ca. 25
Sint Maartensdijk	10.200	2.400	0,24	1,5	100
Klaterwater te Kaatsheuvel	71.200	1.380	0,02	105	ca. 10[b]

Ad [a]: Everstekoog: Tijdens onderzoek 1995-1999 verblijftijden tussen 1,3 en 11 dagen.

Ad [b]: Klaterwater: ca 10 % van de afloop van de nabezinktank wordt op RWZI behandeld in zandfiltratie met vergaande P-verwijdering.

De gegevens/resultaten zijn deels afkomstig uit rapportages en deels zijn de meetgegevens opgevraagd en opgeslagen in een centrale database. Van elke Waterharmonica heeft een systeembeschrijving plaatsgevonden waarbij zowel het processchema als de afmetingen en de hydraulische belasting is vastgesteld. Op de database heeft vervolgens een statistische analyse plaatsgevonden waarmee gemiddelden, mediaanwaarden, uitbijters, spreiding en betrouwbaarheidintervallen zijn vastgesteld. In het deelstudie rapport 4 (Zwevend stof en pathogenen in Nederlandse Waterharmonica's) zijn deze resultaten beschreven. Onderstaand zijn de voornaamste conclusies weergegeven.

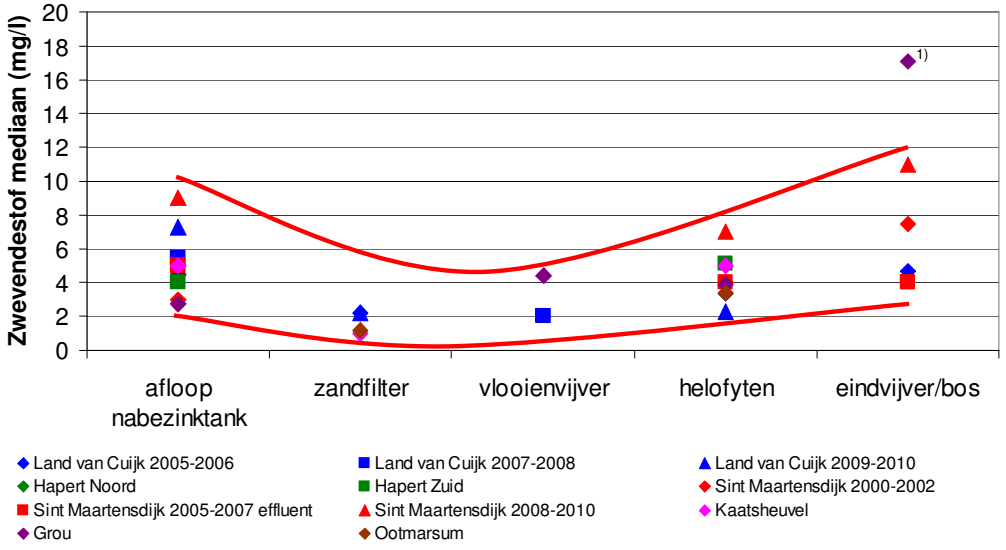
3.3 HOE IS HET VERLOOP VAN DE HOEVEELHEID ZWEVEND STOF IN EEN WATERHARMONICA?

Het rietveld bij Elburg (circa 15 hectare) heeft in de periode vanaf 1978 jaren gefunctioneerd als nazuiveringsfilter van de RWZI Elburg. De totale hoeveelheid zwevend stof nam bezien over het rietveld eerder toe dan af. Daarbij is mogelijk een maaiactiviteit van het riet en daarmee vrijkomende deeltjes uit het afgestorven plantenmateriaal de oorzaak. Ook in het Waterharmonica van Everstekoog werd een duidelijke toename van de gemiddelden en mediaanwaarden geregistreerd vanaf de aflaat van de nabezinktank van de RWZI, via de voorbezinkbasin naar de helofytensloten (zie afbeelding 2.3). Uit de analyse van meerjarige meetreeksen van eerder genoemde waterharmonica systemen, komt een vergelijkbaar beeld: De totale hoeveelheid zwevend stof neemt in de eerste componenten van een Waterharmonica wel af, maar neemt weer toe naar het einde van het systeem. In afbeelding 3.2 zijn de meerjarige mediaanwaarden van de verschillende waterharmonica systemen, opgesplitst naar componenten, gepresenteerd.

Als het aflaat van de nabezinktank van de RWZI meer dan circa 5 mg/l zwevend stof bevat, zal dit in een Waterharmonica door bezinking en mogelijk begrazing in de eerste bezink/watervlooienvijvers licht kunnen afnemen (tot 2-4 mg/l). De rietsloten van een Waterharmonica resulteren over het algemeen in een gelijkblijvende of lichte stijging van het zwevend stof in het water. Na een waterplantengedeelte of moerasbos kan het zwevend stof gehalte nog iets verder zijn gestegen en zeker bij een open paaigebied worden waarden gemeten die lager zijn dan (of overeenkomen met) het ontvangende oppervlaktewater (10 mg/l zwevend stof in het ontvangende oppervlaktewater is een heel normale waarde in Nederland).

Het natuurlijke proces in de Waterharmonica zorgt voor een verandering van de samenstelling van het zwevend stof naar een meer natuurlijke vorm (bijvoorbeeld algen en watervlooien). Dit komt niet tot uitdrukking in de vaak gehanteerde analysetechniek voor het bepalen van de totale hoeveelheid zwevend stof (in mg/l). Hierdoor lijkt een Waterharmonica met betrekking tot zwevend stof geen positieve bijdrage te leveren, maar het water is natuurlijker geworden. De hoeveelheid algen in de eerste (vlooien)vijvers is over het algemeen nog beperkt. Dit kan komen door de begrazing door zooplankton maar mogelijk ook door remming via het specifieke afvalwater.

AFBEELDING 3.2 VERLOOP VAN DE ZWEVEND STOF GEHALTEN (MEDIAAN WAARDEN) IN COMPONENTEN VAN NEDERLANDSE WATERHARMONICA'S



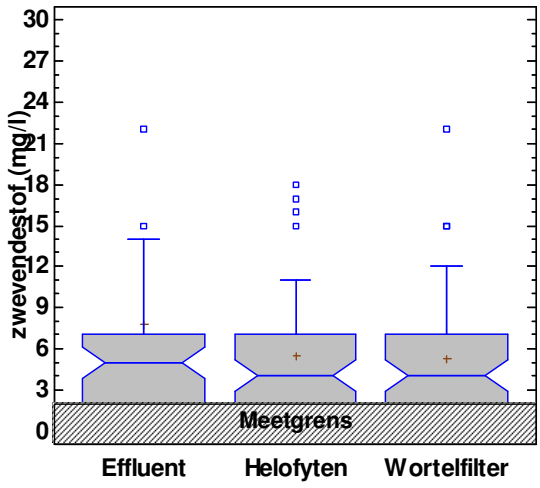
1) = meting in de paaivijver bij Aqualân te Grou. Deze komt sterk overeen met het oppervlaktewater van de Kromme Grou.

Bevat het water van de afloop van de nabezinktank minder dan 5 mg/l, dan zal aan het einde van een Waterharmonica de hoeveelheid zwevend stof waarschijnlijk zijn toegenomen. Indien bijvoorbeeld een zandfilter vóór het Waterharmonica wordt geplaatst, resulteert dit in een sterke reductie van het zwevend stof tot waarden rondom de 2 mg/l. Dit is dan met name de grotere fractie zwevend stof (die ook makkelijker kan bezinken). De kleinere fractie is met name voedsel voor watervlooien.

De rietsloten resulteren over het algemeen in een gelijkblijvende of lichte stijging van het zwevend stof in het water. Na een waterplantengedeelte of moerasbos kan het zwevend stof gehalte nog iets verder zijn gestegen en zeker bij een open paaigebied worden waarden gemeten die overeenkomen met het ontvangende oppervlaktewater.

Sommige van de waterharmonica systemen lijken een lichte demping van de extremen in het water van de afloop van de nabezinktank te bewerkstelligen. In afbeelding 3.3 is hiervan een voorbeeld gegeven voor de situatie bij Sint Maartensdijk.

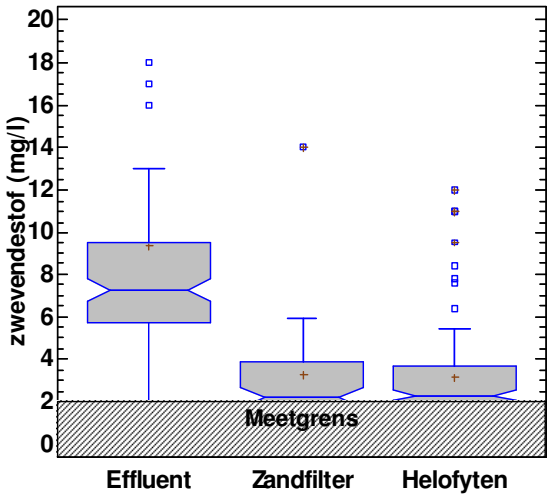
AFBEELDING 3.3 VERLOOP VAN ZWEVEND STOF GEHALTE IN DE WATERHARMONICA COMPONENTEN VAN SINT MAARTENSDIJK (PERIODE 2005-2007)



Hieruit blijkt overigens ook dat na de helofytensloten de spreiding weer toeneemt (hogere extreme waarden). Een wortelfilter zoals bij Sint Maartensdijk aanwezig lijkt te resulteren in een toename van het zwevend stof. Dit komt mogelijk door het vrijkomen van biofilm omdat het systeem niet regelmatig wordt schoongespoeld (terugspoeling).

Na een zandfilter kan het zwevend stof gehalte in een Waterharmonica ook weer toenemen, zie afbeelding 3.4. De combinatie van een zandfilter met rietsystemen en waterpartijen kan wel zorgen voor een omzetting naar meer natuurlijk zwevend stof. De zandfilters bij de Waterharmonica's van Klaterwater en Land van Cuijk zijn ook niet zozeer aangelegd om de hoeveelheid zwevend stof sterk te verlagen maar eerder om de pathogenen en nutriënten te verwijderen.

AFBEELDING 3.4 VERLOOP VAN ZWEVEND STOF GEHALTE IN DE WATERHARMONICA VAN LAND VAN CUIJK IN DE PERIODE MET ZANDFILTRATIE OP DE AFLOOP VAN DE NABEZINKTANK (PERIODE 2009-2010)



De inzet van specifieke grazers, zoals uit de eerste resultaten van mesocosms onderzoek van Ruud Kampf is gebleken met de zoöplankton Daphnia Magna, kan de verwijdering van zwevend stof verbeteren.

Zwevend stof wordt met name in de winter het beste verwijderd omdat dan waarschijnlijk wel de fysische processen zoals bezinking doorgaan, terwijl de productie van organisch zwevend vrijwel stil ligt.

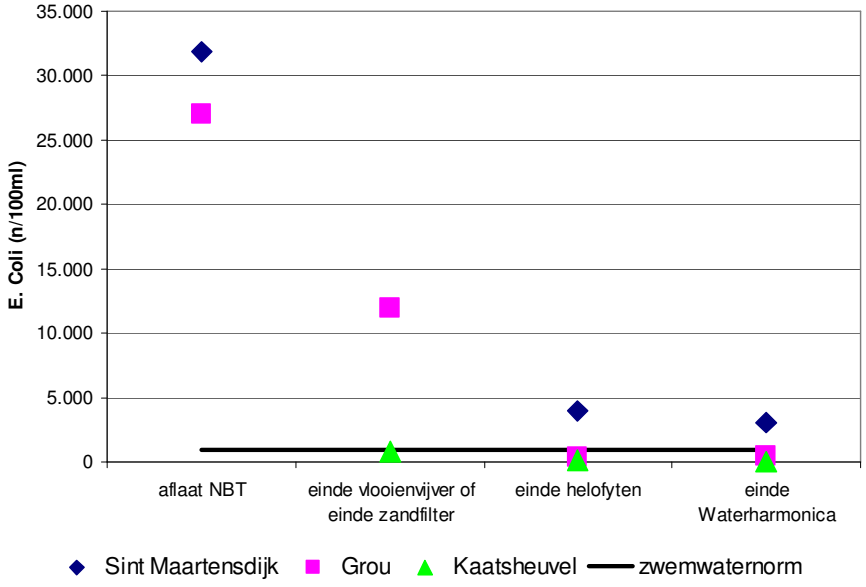
3.4 HOE SNEL VERDWIJNEN PATHOGENEN EN IS ER VERSCHIL TUSSEN DE COMPONENTEN VAN EEN WATERHARMONICA?

In de afloop van de nabezinktank wordt E.Coli, een indicator voor pathogenen, gemeten in waarden van 50.000 tot 100.000 E.Coli/100ml. Er is geen lozingseis voor pathogenen, maar indien het wenselijk is de waarden voor E.Coli van het water van de aflaat van de nabezinktank op de locatie van lozing naar de zwemwaternormering te brengen (900 E.Coli/100ml [*EU directive 2006/7/EC, 2006*]) is een afname met meer dan 98 procent noodzakelijk.

Een Waterharmonica resulteert in een sterke afname van de aanwezige pathogenen. Diverse onderzoeken hebben dit aangetoond. Uit de metingen bij het helofytensysteem in Elburg bleken de Thermotolerante Coli voor meer dan 98% verwijderd te worden. Totaal coliform

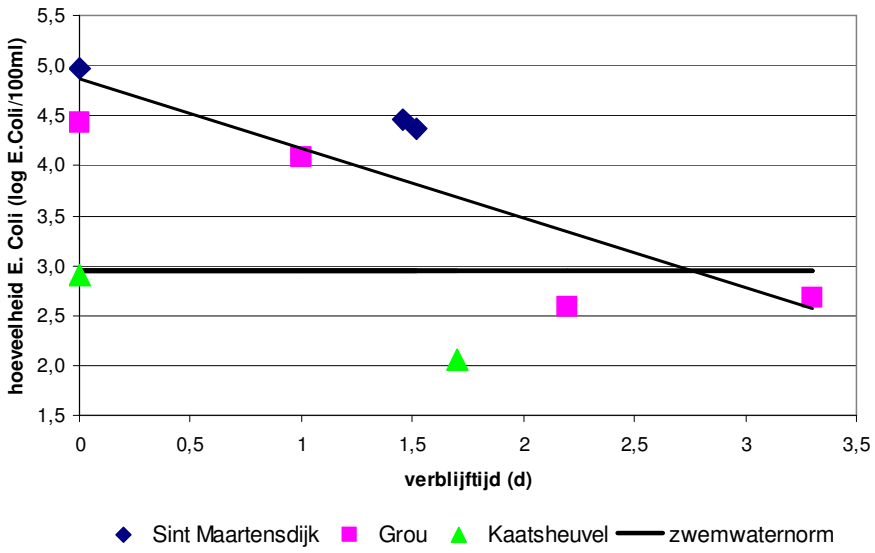
voor 97-99%, Salmonella voor 93% en Streptococcen voor 99,5% [*Butijn, 1990*]. Verder werd in het onderzoek van 1995-1998 bij Everstekoog reeds aangetoond dat een verwijdering met 99 tot 99,9% (2log tot 3log) van E.Coli goed mogelijk is. Na de eerste vijvers in Everstekoog werd een E.Coli gemeten van ca. 1.500 E.Coli/100ml en na de rietsloten nog maar ca. 180 E.Coli/100ml [*Schreijer, 2000*]. Recent zijn de meetgegevens van E.Coli op de Waterharmonica's van Sint Maartensdijk, Grou en Kaatsheuvel naast elkaar gelegd [*Boomen en Kampf, 2012a*]. Ook uit de analyse van deze meerjarige meetreeksen komt naar voren dat de hoeveelheid pathogenen "logaritmisch" afneemt met de verblijftijd. In afbeelding 3.5 zijn de gemeten waarden gepresenteerd.

AFBEELDING 3.5 E.COLI GEHALTEN (MEDIAAN WAARDEN) IN ACHTEREENVOLGENDE COMPONENTEN VAN NEDERLANDSE WATERHARMONICA'S



Er zijn maar weinig meetgegevens beschikbaar maar in afbeelding 3.6 zijn de mediaanwaarden van deze metingen weergegeven waarbij de aantallen E.Coli/100ml zijn uitgezet op een logaritmische as. Op deze wijze wordt geïllustreerd dat de afname op een logaritmische schaal lineair is (doorgetrokken lijn).

AFBEELDING 3.6 E.COLI GEHALTEN (MEDIAAN WAARDEN) UITGEZET TEGEN DE VERBLIJFTIJD VAN NEDERLANDSE WATERHARMONICA'S



De metingen van Kaatsheuvel laten een vergelijkbare afname zien als bij die van Grou en Sint Maartensdijk die echter lager start omdat de zandfilter van de RWZI Kaatsheuvel al de eerste reductie heeft bewerkstelligd. Uit deze metingen kan een lineaire relatie worden afgeleid van log E.Coli/100ml = -0,69 * HRT + 4,9 waarbij HRT de hydraulische verblijftijd is. In [*Schreijer, 1996]* werd een verband afgeleid van log E.Coli = -0,65 * HRT + C. Een afbraaksnelheid van −0,65 tot -0,70 is niet uitzonderlijk voor afsterven van E.Coli in oppervlaktewater [Ruiter, 1978]. De mogelijke processen die deze afname bepalen zijn natuurlijke sterfte, sedimentatie, biologische filtratie (door bijvoorbeeld zoöplankton / Daphnia) en sterfte door UV straling. Tevens kan productie van pathogenen in een Waterharmonica ontstaan vanuit nieuwe natuur zoals bijvoorbeeld de aanwezigheid van vogels.

Indien het wenselijk is de waarden voor E.Coli van het water van de aflaat van de nabezinktank op de locatie van lozing naar de zwemwaternormering te brengen, is een 1,75 log verwijdering noodzakelijk. Om deze reductie te bereiken is een minimale verblijftijd van 2,5 dag (bij DWA) in de Waterharmonica noodzakelijk. De zandfilter van Kaatsheuvel bereikt ook al deze waarden.

Op de vraag of specifieke onderdelen van een Waterharmonica meer of minder bijdragen, kan worden geantwoord dat in de eerste bezink/vlooienvijvers mogelijk nog een lichte toename plaatsvindt. Daarna vindt in de volgende vlooienvijvers een snelle afname plaats. Na de helofytensloten is een log 2 verwijdering opgetreden bij Grou. De afname lijkt sterk verblijftijd bepaald. Lopend onderzoek aan de UVA zal mogelijk eind 2012 meer inzicht verschaffen in de bijdrage van de verschillende processen en procesonderdelen. Op basis hiervan kan mogelijk verdere procesontwerp of -optimalisatie plaatsvinden.

4

BUFFERING VAN SLIBUITSPOELING IN EEN WATERHARMONICA

4.1 ONDERZOEKSVRAGEN

De specifieke onderzoeksvragen voor het deelonderzoek naar de bufferende werking van waterharmonica systemen en slibuitspoeling zijn:

1. Hoe groot is het bufferende vermogen van het waterharmonica systeem met betrekking tot zwevend stof, pathogenen en nutriënten?
2. Hoeveel dragen de verschillende compartimenten (watervlooienvijvers, helofytenfilter, paaivijver) individueel bij aan de werking van het waterharmonica systeem? En welke ontwerp, beheer of monitoring consequenties komen hier uit voort?

Naar deze twee onderzoeksvragen heeft uitgebreid onderzoek plaatsgevonden waarvan de resultaten zijn beschreven in het deelstudierapport 2 (Hydraulische verblijftijd Aqualân en mesocosms Grou) en het deelstudierapport 3 (Piekbelasting Aqualân Grou). In de volgende paragrafen worden de resultaten beknopt samengevat in een beantwoording van de onderzoeksvragen. Eerst wordt echter de opzet van de experimenten kort toegelicht.

4.2 ONDERZOEKSAANPAK

Om antwoord te kunnen geven op deze vragen heeft literatuuronderzoek, veldonderzoek en laboratoriumonderzoek plaatsgevonden. Naast dit STOWA onderzoek lopen onderzoeken die meer in de theorie en in delen van processen inzicht zullen verschaffen, zoals de Wipe studie en de onderzoeken van Ruud Kampf bij de VU/TUD en Bram Mulling bij de UVA. Om die reden is besloten binnen onderhavige studie de meeste aandacht te besteden aan nieuwe veldanalyses in een bestaand waterharmonica systeem.

LOCATIE

Het onderzoek heeft zich gericht op de analyse van het bufferend en zuiverend vermogen van een piekbelasting van zwevend stof. Van de in Nederland bestaande waterharmonica systemen is onderzocht welke geschikt zouden zijn voor deze proeven. Daarbij is meegewogen of het systeem al in een evenwichtssituatie is. Het duurt namelijk twee tot vier jaar voordat een Waterharmonica zich heeft ingeregeld en er een stabiele buffering, zuivering en ecologie is ontstaan. Tevens heeft in de keuze meegespeeld of er uit eerder en/of lopend onderzoek voldoende aanvullende informatie beschikbaar is, bijvoorbeeld de hydraulische belasting, de nutriëntenverwijdering, de dimensionering. Ten slotte is een kostenafweging gemaakt of het onderzoek beter op één of op meerdere waterharmonica systemen kon worden uitgevoerd.

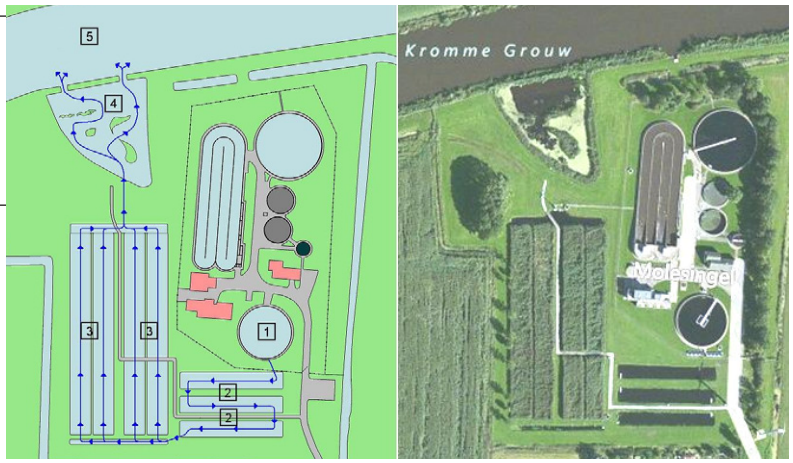
Op basis van bovenstaande criteria, is besloten het onderzoek naar de effecten van een piekbelasting met slibuitspoeling uit te voeren op één systeem en wel het waterharmonica systeem

Aqualân bij de RWZI Grou. Dit systeem functioneert reeds jaren goed en stabiel. Tevens monitort Wetterskip Fryslân dit systeem nog routinematig en heeft veel onderzoek plaatsgevonden aan dit systeem.

In onderstaande afbeelding 4.1 is het systeem van Aqualân weergegeven. Het systeem bestaat uit drie in serie geplaatste bezink- c.q. Daphnia vijvers, vier parallel geplaatste rietsloten en tot slot een paaivijver. Die paaivijver staat in open verbinding met het ontvangende oppervlaktewater, de Kromme Grou, waardoor de vijver een overgangszone vormt.

AFBEELDING 4.1 **DE WATERHARMONICA AQUALÂN TE GROU**

1 Nabezinktank
2 Watervlooienvijver
3 Helofytenfilters
4 Paaivijver
5 Kromme Grou



Het overzicht van de ontwerpafmetingen staat weergegeven in tabel 4.1 [*Claassen, T.H.L., 2006*].

TABEL 4.1 **SYSTEEMGEGEVENS AQUALÂN GROU (ONTWERP 2006)**

Systeemonderdeel	Diepte (m)	Oppervlak (m^2)	Inhoud (m^3)	Debiet (m^3/d)	Hydraulische belasting (m/d)	Verblijftijd (d)
watervlooienvijvers (3 stuks)	2,0	1.485	3. 000	1.000	0,67	3,0
rietsloten (4 stuks)	0,3	5.000	1.500	1.000	0,20	1,5
vispaaivijver	0,3-1,1	2.200	1.100	1.000	0,45	1,1
systeem totaal		8.685	5.600	1.000	0,11	5,6

VERBLIJFTIJD EN HYDRAULISCHE BELASTING

Omdat de verblijftijd en de hydraulische belasting goede indicatoren zijn voor de totale werking van een waterharmonica systeem, is voor het Waterharmonica van Aqualân uitgebreid onderzoek verricht aan de gemiddelde verblijftijd en -spreiding. Een goede kennis van de verblijftijd is tevens noodzakelijk om de rol van individuele processen goed te kunnen verifiëren en kwantificeren en is noodzakelijk om de tijdstippen van monitoring in het Waterharmonica te kiezen.

- In het deelstudierapport 2 (Hydraulische verblijftijd Aqualân en mesocosms Grou) is beschreven hoe de verblijftijd het beste kan worden bepaald in dit soort systemen en welke verblijftijd in Aqualân is gemeten. Hierbij zijn structurele afwijking aangetoond van de ontwerpkarakteristieken zoals gepresenteerd in tabel 4.1. Onderstaand zijn de voornaamste conclusies gepresenteerd waarna in tabel 4.2 en 4.3 de huidige, werkelijke systeemgegevens van Aqualân zijn weergegeven;

- De gemiddelde hydraulische verblijftijd van het water kan worden berekend op basis van het quotiënt van het volume en het debiet. Het Aqualân wordt in tegenstelling tot het ontwerp zoals weergegeven in tabel 4.1 vanuit de nabezinktank (NBT) met een vrijwel constant debiet gevoed van 50 m^3/h =1.200 m^3/dag. Op basis van deze belasting en de ontwerpafmetingen, is de verwachte gemiddelde verblijftijd van het water in het gehele systeem ca. 4,7 dag in plaats van 5,6 dag;
- Uit metingen van de onderwaterprofielen in 2008 en 2010 zijn eveneens afwijking gesignaleerd ten opzichte van het ontwerp. Gedurende de jaren na aanleg is er met name in de Daphnia vijvers een sliblaag ontstaan. Deze sliblaag ontstaat door sedimenterend zwevend stof en veroorzaakt samen met het afkalven van de oevers een verondieping en dus verkorting van de verblijftijd in de Daphnia vijvers. De paaivijver is mogelijk iets dieper. Dit resulteert in een gemiddelde verblijftijd over de hele Waterharmonica van circa 3,3 dag;
- Door dode hoeken, preferente stroming, weerstand, volumeveranderingen etc., wordt het water en de daarin aanwezige deeltjes echter meestal niet homogeen verdeeld. Dat betekent dat sommige deeltjes (water en stoffen) langer in het systeem blijven en andere korter. De werkelijke gemiddelde verblijftijd is daardoor veelal korter dan de theoretische verblijftijd. Om de verblijftijdspreiding te bepalen zijn zowel op de mesocosms als op het Aqualân met de tracers Lithiumchloride en Uranine gewerkt. Lithiumchloride bleek het meest geschikt. Op basis van tracerproeven in de vlooienvijvers is een gemiddelde verblijftijd vastgesteld van 0,75 dag. In vergelijking met de verblijftijd van circa 1,0 (situatie 2010 op basis van fysische afmetingen en een belasting van 1.200 m^3/d), kan worden geconcludeerd dat er ca 25% dode ruimtes cq. preferente stroming aanwezig is. Dit maakt de daadwerkelijke reactietijd dus kleiner. Mogelijk is dit in de andere Waterharmonica's ook het geval;

TABEL 4.2 **OVERZICHT VERBLIJFTIJDEN (IN DAGEN) VAN DE ONDERDELEN VAN AQUALÂN TE GROU OP BASIS VAN VERSCHILLENDE MEETMOMENTEN C.Q. MEETMETHODEN**

Systeemonderdeel	situatie 1 ontwerp 2006	situatie 2 ontwerp 2006 met 1.200 m^3/d	situatie 3 in-meting 2010 met 1.200 m^3/d	situatie 4 met tracerproeven en 1.200 m^3/d
watervlooienvijvers (3 stuks)	3,0	2,50	0,97	0,75
rietsloten (4 stuks)	1,5	1,25	1,25	0,98
vispaaivijver	1,1	0,92	1,07	0,72
systeem totaal	5,6	4,7	3,3	2,5

- Een lagere gemiddelde verblijftijd (op basis van tracer proeven) dan een theoretische gemiddelde verblijftijd is in principe geen probleem voor ontwerp, zolang maar eenduidig wordt bepaald met welke van de twee rekening is gehouden. Voor de beoordeling van de werking en bij onderlinge vergelijking van waterharmonica systemen kan het beste gebruik worden gemaakt van de verblijftijd en hydraulische belasting op basis van inmetingen. In tabel 4.3 zijn de te gebruiken systeem eigenschappen weergegeven. Voor onderzoek naar processnelheden en de bijdrage van individuele processen, dient gebruik te worden gemaakt van de verblijftijden en hydraulische belasting op basis van tracer proeven (dus circa 25% minder).

TABEL 4.3 SYSTEEMGEGEVENS AQUALÂN GROU (SITUATIE 2010)

Systeemonderdeel	Diepte (m)	Oppervlak (m^2)	Inhoud (m^3)	Debiet (m^3/d)	Hydraulische belasting (m/d)	Verblijftijd (d)
watervlooienvijvers (3 stuks)	1,0	1.165	1.165	1.200	1,03	1,0
rietsloten (4 stuks)	0,35	4.285	1.500	1.200	0,3	1,2
vispaaivijver	0,5	2.575	1.288	1.200	0,5	1,1
systeem totaal		8.025	3.978	1.200	0,15	3,3

MEETFREQUENTIE

Verder is besloten het onderzoek te baseren op tweede meetronden. Dit om niet op basis van één meetcampagne conclusies te moeten trekken. Tevens kon daarmee worden gekeken of er eventuele seizoensverschillen zijn. Er hebben dan ook twee meetronden plaatsgevonden; de eerste van 19 november tot en met 8 december 2009 (herfst/winter) en de tweede van 24 tot en met 30 augustus 2010 (zomer).

PIEKBELASTING

Het onderzoek richt zich op het effect en het bufferend vermogen van een waterharmonica systeem op een piekbelasting met zwevend stof, een zogenaamde slibuitspoeling. De verwachting is dat ook de hoeveelheid pathogenen en de nutriënten bij deze piek zijn verhoogd. Daarbij bestond de keuze uit het monitoren van een daadwerkelijk optredende slibuitspoeling of het simuleren van een slibuitspoeling. Omdat de meetcampagne dusdanig complex was, meetapparatuur en personeel continu beschikbaar moest zijn, een slibuitspoeling niet goed voorspelbaar is en dus onverwacht kan optreden, en met name slibuitspoeling niet vaak voorkomt, is besloten een slibuitspoeling te simuleren.

Uit eerder onderzoek naar de frequentie en hoogte van slibuitspoelingen bij meerdere RWZI's in Nederland [*van Leusden et al, 2009*], is gebleken dat het gehalte aan drogestof in de aflaat van de nabezinktank (NBT) tijdens slibuitspoeling dag-proportioneel tussen de 30 en 75 mg/l bedraagt met uitschieters tot boven de 150 mg/l. De slibuitspoeling duurt daarbij gemiddeld ruim 7 uur, met in die periode veel hogere zwevend stof gehalten. Om een dag-proportioneel gemiddelde van 75 mg/l na te bootsen, zijn de experimenten uitgevoerd met een opgewekte belasting van circa 215-220 mg zwevend stof gedurende 8 uur. Ter vergelijking, het normale zwevend stofgehalte in dit water ligt tussen de 2 en 5 mg/l. In de eerste meetcampagne is het goed gelukt de concentratie zwevend stof gedurende circa 8 uur op 230 mg/l te brengen. In de tweede meetcampagne is, door onbekende oorzaak, het zwevend stofgehalte aanzienlijk lager geweest, circa 25 mg/l. Ondanks dat dit niet de bedoeling was, geeft het wel extra informatie over de belasting van een waterharmonica systeem ergens tussen normaal en extreme slibuitspoeling. De slibconcentratie is gecreëerd door een opmenging van een slib/water mengsel onder en boven uit de nabezinktank. Dit kan mogelijk effect hebben op de bezinkeigenschappen van dit zwevend stof (het bezinkbare deel van het zwevend stof is nu namelijk meegenomen) en dus invloed hebben op de bezinkbaarheid in de Waterharmonica.

Omdat de Waterharmonica bij Grou met een continu debiet wordt belast, is daaraan in dit onderzoek vastgehouden. De slibuitspoeling werd dan ook alleen gesimuleerd door een (sterke) verhoging van de concentratie zwevend stof, en geen verandering van de hydraulische belasting. De verblijftijden in Aqualân werden dan ook niet beïnvloed tijdens de experimenten.

4.3 HOE GROOT IS HET BUFFERENDE VERMOGEN VAN HET WATERHARMONICA SYSTEEM?

Een aantal Waterharmonica systemen in Nederland worden met een continu debiet belast (zoals Land van Cuijk en Grou), andere hebben een variabele hydraulische belasting en krijgen onder RWA omstandigheden meer water te verwerken. Afhankelijk van de belasting kunnen processen en de Waterharmonica in een bepaalde stabiele situatie komen. Planten en dieren passen zich dan aan en vestigen zich op bepaalde plaatsen juist wel of niet.

Maar hoe reageert een waterharmonica systeem op een piekbelasting van slibuitspoeling? Daarbij spelen twee vragen een rol. De eerste vraag is of het Waterharmonica een piek kan opvangen en dus als een soort buffer de piek van water en stoffen (gedeeltelijk) afvlakt. De tweede vraag is of het Waterharmonica door de piekbelasting dusdanig wordt beïnvloed dat het (beter of) slechter gaat functioneren in de toekomst. Met name de eerste vraag is onderzocht in onderhavig onderzoek waarbij is gekozen voor een continu debiet en een verandering van stoffen tijdens de slibuitspoeling (zie voorgaande paragraaf). De tweede vraag kan slechts worden afgeleid uit de resultaten van de piekbelasting zelf (inschatting van blijvende effecten zoals eventueel verondieping), in combinatie met langjarig, routinematige onderzoek van het systeem.

Het effect van een slibuitspoeling wordt onderstaand bondig beschreven voor de variabelen zwevend stof, nutriënten en pathogenen. Daarbij worden de resultaten van beide meetcampagnes weergegeven. In detail zijn de resultaten beschreven in het deelstudierapport 3 (Piekbelasting Aqualân Grou).

4.3.1 ALGEMENE PARAMETERS

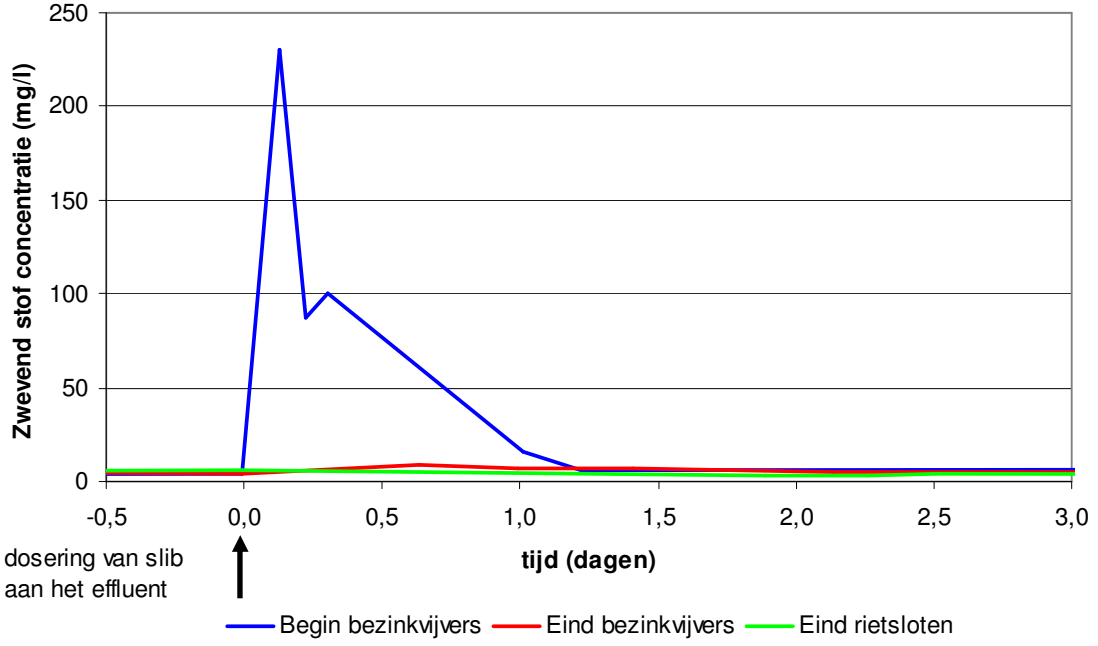
De slibuitspoeling had in beide meetcampagnes relatief weinig invloed op de algemene parameters pH, temperatuur en EGV. Waarden waren binnen enkele dagen weer naar normale niveaus. Wel werd het zuurstofgehalte direct vanaf het lozingspunt erg laag (minder dan 1 mg O_2/l) maar dit was aan het einde van de watervlooienvijvers weer hersteld. Tevens zijn, tengevolge daarvan, geen acute negatieve effecten op de ecologie gesignaleerd (zoals bijvoorbeeld vissterfte).

Er zijn geen grote veranderingen gesignaleerd op biologische componenten, waarbij vermeld moet worden dat dit alleen op visuele waarneming is gebaseerd. Enkele dagen na de eerste slibuitspoeling is op de Daphnia-vijvers wel een drijflaag ontstaan (minder dan 1% van het oppervlak) die na enkele dagen weer verdween. Dit is vaker gesignaleerd na een slibuitspoeling op het systeem van Aqualân. Specifiek onderzoek naar oorzaak, samenstelling en processen is niet uitgevoerd.

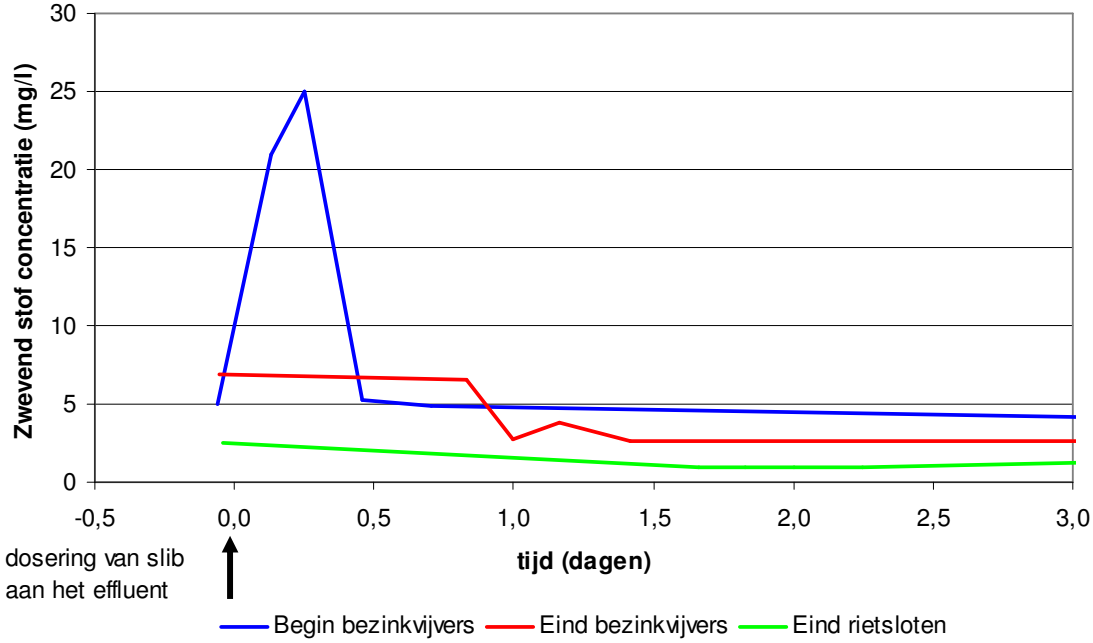
4.3.2 ZWEVEND STOF

Het Waterharmonica lijkt een zeer grote buffering te kunnen vormen voor het uitgespoelde zwevend stof. Circa 95% van de zwevend stof piek van de eerste slibuitspoeling (8 uur lang circa 230 mg/l) werd reeds in de Daphnia vijvers teruggehouden en circa 97% van de piekbelasting uit de nabezinktank was verwijderd na de rietsloten. In de paaivijvers neemt het zwevend stof gehalte weer iets toe naar natuurlijke waarden die ook in het ontvangende watersysteem van de Kromme Grou worden gemeten. Uit de tweede meetproef, met een veel lager zwevend stof gehalte in de slibuitspoeling (circa 25 mg/l), bleek de buffering aanzienlijk lager (circa 75 % van de lozing werd tegengehouden). In afbeeldingen 4.2 en 4.3 is illustratief het verloop van de concentratie zwevend stof weergegeven gedurende de experimenten met de piekbelasting. Op t=0 heeft de piekdosering plaatsgevonden.

AFBEELDING 4.2 VERLOOP ZWEVEND STOF GEHALTE IN DE TIJD (IN MG/L) IN DE VERSCHILLENDE WATERHARMONICA COMPARTIMENTEN VAN AQUALÂN BIJ DE EERSTE PROEF (NOVEMBER 2009)



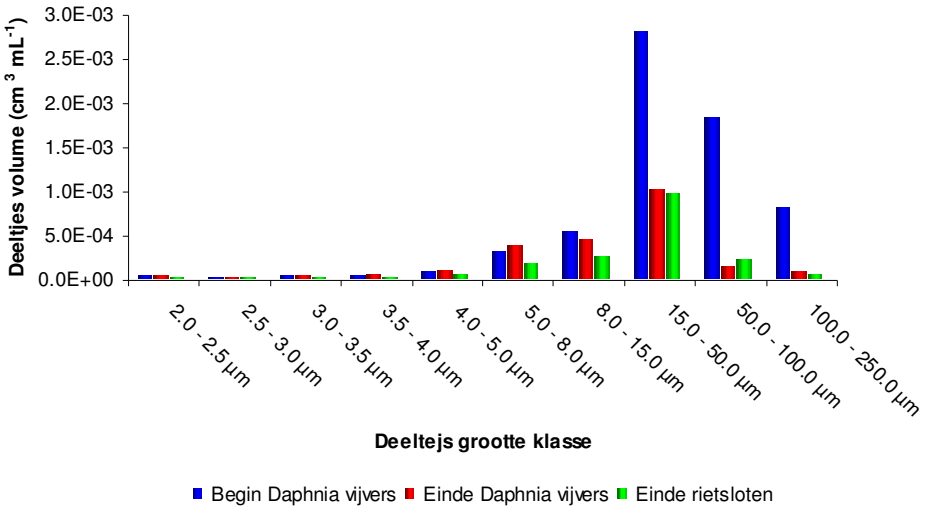
AFBEELDING 4.3 VERLOOP ZWEVEND STOF GEHALTE IN DE TIJD (IN MG/L) IN DE VERSCHILLENDE WATERHARMONICA COMPARTIMENTEN VAN AQUALÂN BIJ DE TWEEDE PROEF (AUGUSTUS 2010)



De verwijdering van zwevend stof deeltjes van de piekbelasting vindt dus hoofdzakelijk plaats in de Daphnia vijvers. Uit metingen in slib/sedimentvallen in de Daphnia-vijvers kan worden geconcludeerd dat daarbij het grootste deel al in de eerste vijver sedimenteert. Dit wordt ondersteund door metingen van de slibdikte die is opgebouwd in de vijvers in de afgelopen jaren. Ook daaruit blijkt dat de eerste Daphnia vijver het meeste heeft achtergehouden.

In de Daphnia vijvers verdwijnen met name de grotere deeltjes door sedimentatie of afbraak tot kleinere deeltjes. In afbeelding 4.4. is geïllustreerd dat de grotere deeltjes nog wel in de Daphnia vijvers voorkomen, maar niet meer in de rietsloten of de paaivijver. De grotere slibdeeltjes, meer dan 16 µm, hebben een goede bezinkbaarheid (10-25 m/d). In de achtereenvolgende vijvers wordt tevens een toename van de kleine deeltjes gemeten.

AFBEELDING 4.4 **DEELTJES GROOTTE VERDELING VAN ZWEVEND STOF (IN VOLUME) IN DE VERSCHILLENDE WATERHARMONICA COMPARTIMENTEN VAN AQUALÂN BIJ DE TWEEDE PROEF (AUGUSTUS 2010)**



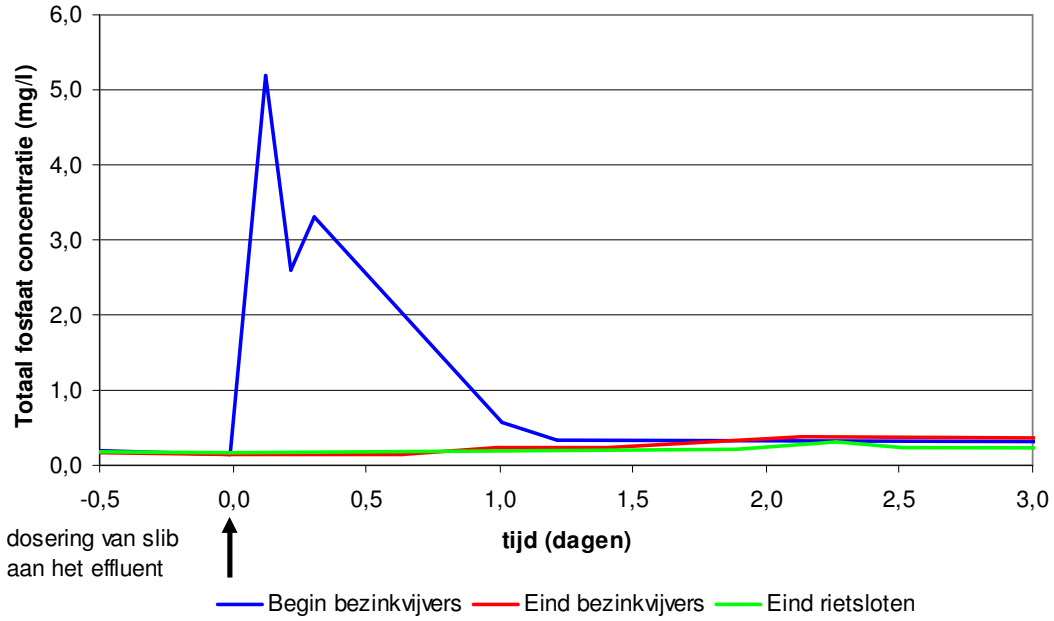
Een versterking van de sedimentatie kan optreden door flocculatie waarbij deeltjes samenklonteren. Deze flocculatie wordt waarschijnlijk gestimuleerd door een piekbelasting want de verhoging van de hoeveelheid deeltjes verhoogt de kans op onderling contact. Er wordt ook een verhoging van relatief kleine deeltjes gemeten. Dit kan komen door afbraak van grotere deeltjes of door groei van micro-organismen. Verder lijkt dat in de Daphnia vijvers met name de organische fractie in het zwevend stof sterk afneemt. Deze fractie sedimenteert mogelijk meer dan de anorganische fractie of ondergaat een biologische transformatie. De concentratie van zwevend stof (mg/l) wordt voornamelijk bepaald door relatief kleine deeltjes. Het volume aan zwevend stof deeltjes wordt echter voornamelijk bepaald door relatief grote deeltjes.

Samenvattend verzorgen de eerste (Daphnia) vijvers een grote afname van het zwevend stof van een slibuitspoeling (95%) waarbij de rietsloten nog een extra reductie opleveren (tot in totaal 97%). De concentratie zwevend stof aan het einde van de rietsloten komt tijdens en na een slibuitspoeling niet hoger dan circa 4 mg/l wat in de bandbreedte is van een normale werking van de Waterharmonica.

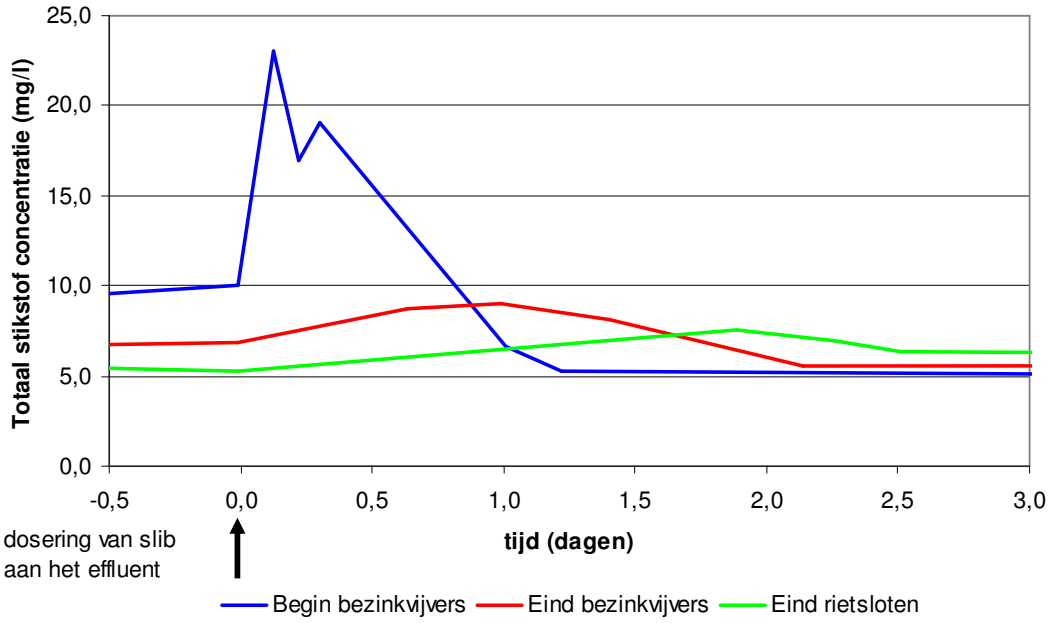
4.3.3 NUTRIËNTEN

Voor nutriënten komt een vergelijkbaar beeld naar voren als dat met zwevend stof is gemeten, doch met lagere rendementen. In afbeelding 4.5 is illustratief het verloop van de concentratie totaal-P weergegeven gedurende het eerste experiment met de piekbelasting. Op t=0 heeft de piekdosering plaatsgevonden. In afbeelding 4.6 is dit weergegeven voor totaal-stikstof.

AFBEELDING 4.5 VERLOOP TOTAAL-P GEHALTE IN DE TIJD (IN MG/L) IN DE VERSCHILLENDE WATERHARMONICA COMPARTIMENTEN IN AQUALÂN BIJ DE EERSTE PROEF (NOVEMBER 2009)



AFBEELDING 4.6 VERLOOP TOTAAL-N GEHALTE IN DE TIJD (IN MG/L) IN DE VERSCHILLENDE WATERHARMONICA COMPARTIMENTEN IN AQUALÂN BIJ DE EERSTE PROEF (NOVEMBER 2009)



Tijdens de eerste slibuitspoeling (met 230 mg/l zwevend stof) werd 50-70% van het totaal-N achter gehouden en 25-95 % voor totaal-P. Bij de tweede slibuitspoeling met veel minder zwevend stof (25 mg/l) was dit rendement veel lager. In onderstaande tabel 4.4 zijn de verwijderingrendementen voor totaal-P en totaal-N weergegeven.

TABEL 4.4. VERWIJDERINGSRENDEMENTEN TOTAAL-N EN TOTAAL-P BIJ EEN SLIBUITSPOELINGSPROEF OP DE WATERHARMONICA VAN AQUALÂN

meetronde	component	verwijderingsrendement totaal-N (%)	verwijderingsrendement totaal-P (%)
November 2009	Daphniavijvers	61	93
	rietsloten	67	94
Augustus 2010	Daphniavijvers	0	25
	rietsloten	50	40

Deze nutriëntenreductie kan mogelijk worden gekoppeld aan de sterke reductie van het zwevend stof in de Daphnia vijvers (circa 95% eerste proef, 75% tweede proef). Het totaal-N en totaal-P zoals bepaald bestaat zowel uit opgelost als niet opgeloste delen. Met name de niet opgeloste delen zullen met (of als onderdeel van) het zwevend stof waarschijnlijk bezinken. De opgeloste fractie blijft echter naar verwachting redelijk constant waardoor het totaal rendement lager is dan bij zwevend stof.

De extra N-totaal verwijdering in de rietsloten is waarschijnlijk het gevolg van denitrificatie. Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat rietmoerassen met name stikstof verwijderen via denitrificatie die mogelijk is door de lage zuurstofgehalten in het water rondom de rietwortels.

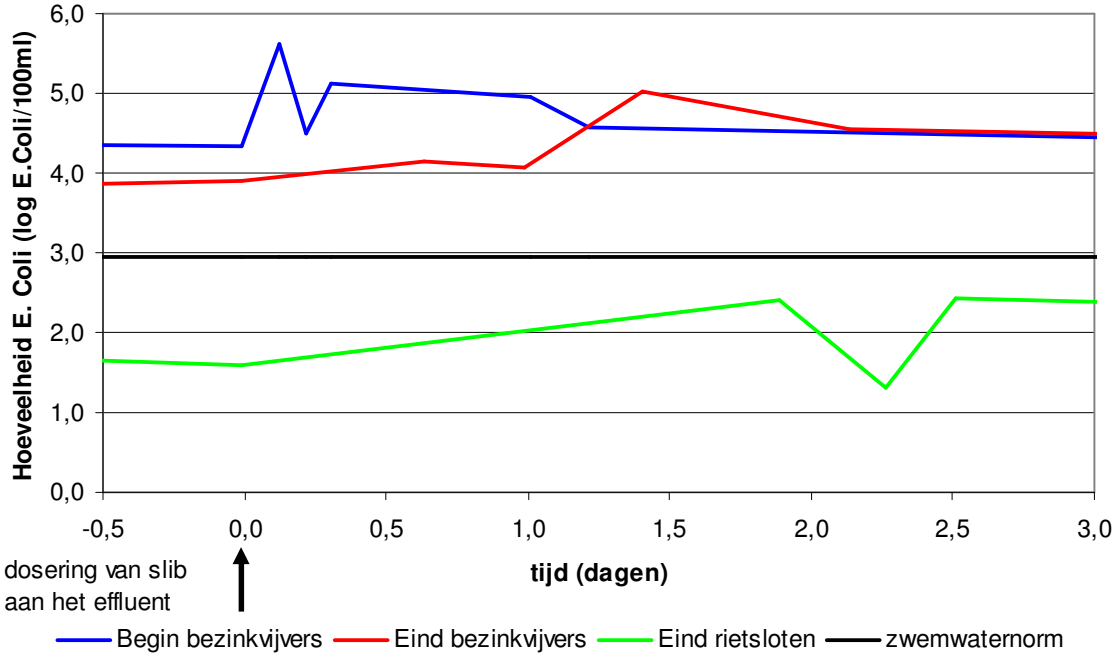
Er is geen onderzoek gedaan naar de eventuele verandering van het vastleggen of vrijkomen van nutriënten P en N in de nieuw gevormde waterbodem waardoor een eventueel langere termijn effect (zoals nalevering) van de buffering van een slibuitspoeling niet kan worden bepaald.

4.3.4 PATHOGENEN

Met betrekking tot de onderzochte pathogenen wordt een piekbelasting/slibuitspoeling in een Waterharmonica sterk verminderd. Een tijdelijke stijging met een factor 10 in het begin van de Daphnia-vijvers (van circa 30.000 E.Coli/100ml als basis belasting tot circa 300.000 E.Coli/100ml bij de piekbelasting waarbij het debiet constant was en is gebleven tijdens de piek) wordt aan het einde van de rietsloten vrijwel niet teruggevonden. In de Daphnia-vijvers wordt al een belangrijk deel verwijderd; 75% voor *E.Coli* en 90% voor intestinale enterococcen. Na de rietsloten is dit voor beide indicatoren meer dan 99,5 %. De pathogenen worden verwijderd met circa 2log eenheden van het begin van het waterharmonica systeem tot aan het einde van de rietsloten, dat wil zeggen een reductie van circa 99%. De absolute waarden aan het einde van de rietsloten liggen onder de zwemwaternormen (900 E.coli/100ml). Ook de lage concentraties pathogenen tijdens de tweede piekbelasting worden geheel gebufferd tot op de zwemwaternorm aan het einde van de rietsloten.

In afbeelding 4.7 is illustratief het verloop van *E. Coli* weergegeven gedurende het eerste experiment met de piekbelasting. Op t=0 heeft de piekdosering plaatsgevonden. De Y-as is weergegeven als logaritmische schaal vanwege de grote verschillen in absolute meetwaarden en de logaritmische verwijdering (zie paragraaf 3.4). Hierdoor is bijvoorbeeld de zwemwaternorm van 900 E.Coli/ml gepresenteerd als 2,95 omdat $10 \wedge^{2,95} = 900$.

AFBEELDING 4.7 VERLOOP VAN HET AANTAL E.COLI BACTERIËN (IN LOG. AANTALLEN/100ML IN DE TIJD) IN DE VERSCHILLENDE WATERHARMONICA COMPARTIMENTEN IN AQUALÂN BIJ EEN PIEKBELASTINGSEXPERIMENT IN NOVEMBER 2009



In deze afbeelding is te zien dat de piek aan het begin van de Daphnia-vijvers later en lager wordt gemeten in de volgende onderdelen van de Waterharmonica. Ook is duidelijk te zien dat met name na de rietsloten een sterke afname is opgetreden, mogelijk door (een combinatie van) de extra verblijftijd en filtratie en adsorptie in dat deel van de Waterharmonica. De verwijdering van pathogenen lijkt maar deels te worden veroorzaakt door sedimentatie. De gehalten pathogenen in het water en in het, in sedimentvallen ingevangen, zwevend stof in de vlooienvijvers zijn namelijk vrijwel overeenkomstig. Ook lijken de pathogenen niet geassocieerd te zijn met grote aggregaten of kolonies. Het zijn klein deeltjes niet gebonden aan zwevend stof. De extra aanvoer van pathogenen (bijvoorbeeld door vogels) of de menging met water uit de Kromme Grou zouden een verklaring kunnen vormen waarom hogere waarden E.Coli worden gemeten in de paaivijver dan aan het einde van de rietsloten.

5

AANBEVELINGEN ONTWERP, BEHEER EN MONITORING

5.1 SAMENVATTEND

Het doel van waterharmonica systemen is veelal niet alleen het zuiveren van het water, maar ook het ecologiseren ervan. De hoeveelheid levende, hogere organismen neemt toe en hiermee de waarde voor het ontvangende watersysteem: het water uit de afloop van de nabezinktank wordt in natuurlijk water omgezet. Uit onderliggend onderzoek kunnen de volgende resultaten worden afgeleid:

WAARUIT BESTAAT HET ZWEVEND STOF IN EEN WATERHARMONICA?

Zwevend stof bestaat uit verschillende componenten waarbij onderscheid kan worden gemaakt in bijvoorbeeld de organische en de anorganische fractie. Een ander onderscheid is die in levend en dood materiaal. Bij levend materiaal kan dan weer onderscheid worden gemaakt in micro-organismen (bijvoorbeeld heterotrofe en autotrofe bacteriën), virussen (bacterieel plantaardig of dierlijk) en hogere organismen zoals fytoplankton (algen) en zoöplankton (bijvoorbeeld Daphnia). Voor deze verschillende componenten of groepen bestaan verschillende analyse technieken. De veel gebruikte basisanalyse van totaal droge stof en gloeirest geeft alleen inzicht in de hoeveelheid zwevend stof en eventueel de verdeling organisch/anorganisch. De microbiologische plaattechniek levert inzicht in specifieke pathogenen. Onderzoek heeft plaatsgevonden naar 21 andere analysetechnieken die mogelijk bruikbaar zijn bij het verhogen van inzicht in de werking van dit systeem. Sommige technieken zijn gericht op onderscheid in grootteverdeling, in chemische samenstelling, in biologische samenstelling, in ruimtelijke structuren of detecteren specifiek pathogenen. De onderzochte en gebruikte technieken geven duidelijk meer inzicht in het functioneren van het systeem van zwevend stof waarbij een techniek als ESEM-EDX (kwalitatief, maar zeer illustratief) en het vaststellen van de fracties organisch en anorganisch een goede uitbreiding vormen. Wel moet worden gesteld dat de onderzochte technieken (nog) niet grootschalig toepasbaar zijn voor routinematige monitoring.

WAT GEBEURT ER BIJ EEN NORMALE HYDRAULISCHE BELASTING?

De totale hoeveelheid zwevend stof neemt in een waterharmonica systeem als geheel onder normale belasting meestal niet af. Wel lijkt de hoeveelheid na de Daphnia/bezinkvijvers af te zijn genomen om daarna weer toe te nemen. Recente meetgegevens van zes waterharmonica systemen in Nederland bevestigen dit. Dit kan een bewijs zijn van de zogenaamde “zwevend stof paradox” waarbij wordt gesteld dat in een Waterharmonica het typische afvalwater (met veel bacteriën) wordt omgezet in meer natuurlijk zwevend stof (met bijvoorbeeld meer algen) Deze verandering van samenstelling kan ruimtelijk verschillen waardoor niet overal even veel totaal zwevend stof voorkomt. Er is verder een duidelijke afname te zien van het zwevend stof bij gebruik van een zandfilter direct na de nabezinktank.

Voor pathogenen wordt een afname in de waterharmonica systemen gesignaleerd van 90 tot 99% (1log tot 2log verwijdering) tot soms wel een 3log verwijdering (99,9%)! Dit resulteert in waarden die onder of nabij de zwemwaternormering liggen. Indien het wenselijk is de zwemwaternormering voor oppervlaktewater te bereiken, dan is een 1,75log (98%) verwijdering noodzakelijk. De afname lijkt direct gecorreleerd met de verblijftijd maar het aantal metingen is beperkt. Bij 2 dagen is het verwijderingsrendement al snel 90%, bij meer dan 3 dagen meer dan 99%.

De nutriënten totaal-P en totaal-N worden over het algemeen verwijderd voor respectievelijk 5 tot 40% en 10 tot 60%. Ook negatieve rendementen worden gemeten. Verder neemt het verwijderingsrendement af met een toename van de belasting, mogelijk door een vaste of maximale opname in planten of fysisch/chemische vastlegging van P en N.

ONDER PIEKBELASTING/SLIBUITSPOELING

Uit onderzoek bij de Waterharmonica van Grou op basis van twee meetcampagnes, kan worden geconcludeerd dat waterharmonica systemen een zeer goede buffering kunnen vormen voor slibuitspoeling (bij een hydraulisch continue belasting). De eerste bezink- c.q. Daphnia-vijvers spelen daarbij al een zeer belangrijke rol. Het gehele waterharmonica systeem, en dan met name de Daphnia-vijvers en de rietsloten bufferen een piek van zwevend stof van meer dan 200 mg/l naar circa 4 mg/l (circa 97% afname), ruim onder de lozingsnormering. Bij een slibuitspoeling met lagere gehalten zwevend stof (circa 25 mg/l) neemt de bufferende capaciteit relatief af (tot circa 75% voor zwevend stof).

De in een slibuitspoeling aanwezige nutriënten totaal-P en totaal-N worden sterk verminderd met gemiddelde rendementen van respectievelijk circa 60% (tussen 25 en 95%) en 45 % (tussen 0 en 70%).

Ook de bacteriologische verontreiniging van een piekbelasting wordt sterk verminderd (log 1,5 tot 2 verwijdering) tot waarden onder de zwemwaternorm.

5.2 BESCHOUWING MET BETREKKING TOT ONTWERP, BEHEER EN ONDERHOUD

Op basis van het onderzoek naar het functioneren van een waterharmonica systeem onder normale condities en tijdens een slibuitspoeling, kunnen een aantal richtlijnen worden afgeleid. Deze moeten bij het ontwerp of het beheer van een Waterharmonica worden afgewogen tegen evt. andere belangen omdat alleen onderzoek is verricht aan zwevend stof, pathogenen en enkele nutriënten.

- De gemiddelde verblijftijd in een Waterharmonica is waarschijnlijk lager dan de ontwerpverblijftijd. Uit dit onderzoek is gebleken dat dit wel een factor 2 kan verschillen door een andere hydraulische belasting en afwijkende onderwaterprofielen ontstaan door bijvoorbeeld slibaanwas en afkalving oevers. Bij het ontwerp en de aanleg moet rekening worden gehouden dat dit afneemt in de tijd. Uit dit onderzoek bleek dat Aqualân geen verblijftijd had van 6,3 dag zoals verwacht, maar slechts 3 dagen.
- Uit tracer proeven is gebleken dat door dode hoeken en preferente stroming de gemiddelde verblijftijd nog 25% lager zal zijn. Dit is van belang voor onderzoek naar processnelheden. De gemeten rendementen in de Nederlandse Waterharmonica's treden dus feitelijk al op bij een kortere verblijftijd. In het ontwerp van een Waterharmonica kan dit percentage mogelijk worden verlaagd en hiermee het benodigde oppervlak verkleind.

- Het ontwerp en de dimensionering van een Waterharmonica moet worden gerelateerd aan de doelstelling. Uit de bestaande Waterharmonica's in Nederland kan worden afgeleid dat de verwijdering van pathogenen en ook nutriënten gecorreleerd is aan de verblijftijd. Om de pathogenen te verwijderen met een 2log (=99%) is een verblijftijd van circa 3 dagen noodzakelijk. Om de waarden voor E.Coli van circa 50.000 E.Coli/100ml uit de afloop van de nabezinktank naar circa 900 E.Coli/100ml voor de zwemwaternormering voor oppervlaktewater te brengen, is een 1,75log verwijdering noodzakelijk, overeenkomend met een minimale verblijftijd van 2,5 dag. Daarbij zijn zowel de vijvers als de rietsloten van belang.
- Een vertikaal zandfilter, met chemicaliëndosering voor fosfaatverwijdering, zoals bij de RWZI Kaatsheuvel laat door vlokvorming en filtratie al een hoge verwijdering van pathogenen zien (tot circa 800 E.Coli/100ml bij Kaatsheuvel), vergelijkbaar met de verwijdering bij Everstekoog bij een verblijftijd van meer dan 3 dagen. Het verticale helofytenfilter bij Klaterwater zorgt voor een verdere afname. Nadelen van een vertikaal zand en/of helofytenfilter zijn de hogere kosten van aanleg en het regelmatig terug moeten spoelen om verstopping te voorkomen.
- De verblijftijd is gecorreleerd aan de hydraulische belasting. Daarbij speelt naast de verblijftijd (volume/debiet) ook de oppervlaktebelasting (oppervlak/debiet). De meeste Waterharmonica's in Nederland hebben een oppervlaktebelasting van circa 0,2 m/d (=0,2 m^3/m^2.d). Meer dan 0,25 m/d is (te) hoog belast. Door de grote vennen bij Kaatsheuvel is die Waterharmonica zeer laag belast (0,02 m/d) en worden hoge rendementen gemeten voor nutriënten en pathogenen verwijdering.
- Bij een normale hydraulische belasting van een Waterharmonica zal de hoeveelheid zwevend stof niet sterk afnemen. Indien dit wel gewenst is, moet met name het eerste deel van een Waterharmonica voldoende groot worden ontworpen. Hier kan het zwevend stof bezinken en eventueel opsplitsen. Mogelijk door de aanwezigheid van zooplankton vindt er maar beperkte productie van nieuw "biologisch" zwevend stof plaats. Voor de verwijdering van pathogenen lijken ook de rietsloten nog een sterke bijdrage te leveren.
- Met name de samenstelling van het zwevend stof verandert in een Waterharmonica.
- Om een piekbelasting zoals een slibuitspoeling op te vangen in een Waterharmonica zijn de eerste bezink- of Daphnia-vijvers zeer effectief. Bij het ontwerp en beheer van een waterharmonica systeem kan daarbij rekening worden gehouden door deze voldoende groot te maken, voldoende diep te houden (minimaal 1,0 meter om opwerveling te beperken) en goed toegankelijk te maken voor onderhoud.
- Er is niet goed bekend wat er met (de samenstelling van) het slib gebeurt als dat eenmaal op de bodem van de Waterharmonica is terecht gekomen. Stabiliseert dit, vindt mineralisatie plaats, ontstaat methaan gas?
- De afbraakprocessen in de Daphnia-vijvers zijn deels zuurstof gestuurd, deels UV-gestuurd. Beide processen hebben baat bij ondiep water met een maximale waterdiepte van circa 0,5m. Vijvers van 0,5m vraagt echter veel meer oppervlak om dezelfde verblijftijd, reactietijd en buffering te bewerkstelligen. Aangezien de meeste buffering (in ieder geval van een piek) plaatsvindt in de eerste basins, is het advies dit eerste basin 1,5 à 2m diep te maken. De volgende Daphnia-vijvers zouden ondieper kunnen waarbij wel meer waterplanten zullen moeten worden verwijderd.
- Zowel bij bestaande RWZI's als bij nieuw aan te leggen installaties is het aan te bevelen de aanleg van een Waterharmonica te overwegen. Dit systeem zorgt namelijk voor een structurele verbetering van de waterkwaliteit en kan bufferend optreden. Daarbij hebben dan zowel de bezink/watervlooienvijvers een belangrijke rol als de rietsloten in de vermindering van de hoeveelheden nutriënten en de pathogenen. Incidentele pieken zoals een slibuitspoeling worden goed gebufferd in een Waterharmonica. Afgewogen moet wel worden of in plaats van een bezink/Daphnia-vijver een zandfilter moet worden geplaatst.

6

REFERENTIES

Boomen, van den R.M. (2004).
Praktijkonderzoek moerassysteem RWZI Land van Cuijk. Stowa rapport nr. 45.

Boomen, van den R.M., R. Kampf, B.T.M. Mulling en A. Dekker (2012a).
Waterharmonica, onderzoek naar zwevend stof en pathogenen, deelstudierapporten, Stowa rapport nr. 2012-11.

Boomen, van den R.M. en R. Kampf (2012b).
Waterharmonica's in Nederland, 1996-2011, van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater, Stowa rapport nr. 2012-12.

Butijn G.D. (1990).
Intern rapport: evaluatie nareinigingsveld rioolwaterzuiveringsinstallatie Elburg, 1990 nr. 20 ANW. Rijkswaterstaat, directie Flevoland.

Claassen, T.H.L. (1996).
Het 3D-schakelsysteem: van tweesporenbeleid naar driesporenbeleid: ecotechnologisch van randverschijnsel naar centrumpositie. 25 jaar toegepast onderzoek waterbeheer, jubileumsymposium STOWA, 13 september 1996 [8], 141-153.

Claassen, T.H.L. (2012).
Helofytenfilters en zuiveringsmoerassen. Artikel in Land+Water (in press).

DIRECTIVE 2006/7/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, of 15 February 2006, concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC, (Official Journal of the European Union, 4.3.2006)

Hoek. S. (2004).
Afstudeerrapport "Functioneren moerassysteem bij RWZI Hapert", 5 augustus 2004, Royal Haskoning

Kampf, R. (1997).
NVA-symposium "Biologisch gereinigd effluent; grondstof of eindproduct, 16 oktober 1997:
Van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater.

Kampf, R. L. Sala (2009a).
AIGUA A LA CART, Processos i tecnologies: L'adequació de la qualitat de les aigües als diferents usos, Barcelona. 19 Novembre 2009

Kampf R., Theo Claassen, Johan Blom, Rob van den Boomen en Ton Schomaker (2009b).
'Waterharmonica' in een stroomversnelling: nieuw inzichten in het nabehandelen van gereinigd afvalwater. H2O, 2009 [9], 8-9.

Leusden, M. van en Jans Kruit (2009).
Voorkomen van slibuitspoeling op RWZI's, STOWA 2009-23

Mulling B.T.M., R. van den Boomen, J. Kappelhof, H.G. van der Geest and W. Admiraal (2011). Physical, chemical and biological changes of suspended particles during retention in constructed wetlands. WETPOL, poster presentation (June 2011).

Sala, L i R. Kampf (2011)
The Costa Brava approach to the Dutch concept of Waterharmonica.
http://ccbgi.org/docs/smallwat_2011/l_sala_smallwatt_2011.pdf

Schreijer, Kampf, Verhoeven en Toet (2000)
Nabehandeling van RWZI-effluent tot bruikbaar oppervlaktewater in een moerassysteem, Resultaten van een 4-jarig demonstratieproject op praktijkschaal op RWZI Everstekoog, Texel 1995-1999, maart 2000, ISBN 9036953014

Toet, S. (2003)
A treatment wetland used for polishing tertiary effluent from a sewage treatment plant: performance and processes. Sept. 2003 ISBN 90-393-3414-5

Wipe (2012)
De invloed van moerassystemen op de milieukwaliteit van RWZI effluent en aanbevelingen tot optimalisering. WIPE Waterharmonica Improving Purification Effectiveness. IMARES.
rapport C005/12. 2012, Editor: E.M. Foekema.