



Waterharmonica Aqualân Grou

Evaluatie 2006-2013

14 augustus 2014
Definitief rapport
BD1606



rekel/water



Documenttitel Waterharmonica Aqualân Grou
Evaluatie 2006-2013
Verkorte documenttitel Waterharmonica Aqualân Grou
Status Definitief rapport
Datum 14 augustus 2014
Projectnaam Evaluatie Aqualân Grou
Projectnummer BD1606
Opdrachtgever Wetterskip Fryslân
Referentie BD1606-101/R0003/419090/Eind

Auteur(s) Frank van Herpen en Ton Schomaker
(Royal HaskoningDHV)
Ruud Kampf (rekel/water)
Collegiale toets Hans Verhoogt
Datum/paraaf 14 augustus 2014
Vrijgegeven door Hans Verhoogt
Datum/paraaf 14 augustus 2014




INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1 INLEIDING	2
1.1 Achtergrond	2
1.2 Doel	3
1.3 Leeswijzer	3
2 SYSTEEMBESCHRIJVING	4
2.1 Ontwerp	4
2.2 Verandering werking systeem in 2012-2013	6
3 MONITORINGSRESULTATEN 2006-2013	11
3.1 Monitoring	11
3.2 Fysisch-chemisch	11
3.2.1 Temperatuur en pH	11
3.2.2 Zwevend stof	12
3.2.3 Nutriënten	13
3.2.4 Zuurstof	15
3.3 Biologie	16
3.3.1 Fytoplankton	16
3.3.2 Zoöplankton	17
3.3.3 Vegetatie	19
3.3.4 Vissen	20
3.3.5 Macrofauna	21
3.3.6 Overige fauna	23
3.3.7 Pathogenen	24
3.4 Ecologische sleutelfactoren	25
4 VERDIEPEND ONDERZOEK & EDUCATIE	31
4.1 Onderzoek beheer en verblijftijd	31
4.2 Mesocom onderzoek	32
4.3 Piekbelastingen	32
4.4 Landelijk onderzoek WIPE	33
4.5 Radiëstetisch onderzoek	35
4.6 Educatie, voorlichting en communicatie	35
5 STERKE EN ZWAKKE PUNTEN	37
5.1 Sterke punten	37
5.2 Zwakke punten	38
6 CONCLUSIES	40
6.1 Werking	40
6.2 Functioneren	40
6.3 Lessen	41
6.4 Flankerend beleid	43

7	AANBEVELINGEN	47
7.1	Aqualân Grou	47
7.2	Waterharmonica's in Friesland	48
8	LEESLIJST WATERHARMONICA AQUALÂN GROU	50
9	LITERATUUR	52

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond

Medio 2006 is bij de RWZI van Grou Aqualân Grou in gebruik genomen. De Waterharmonica Aqualân Grou wordt gevoed met een kwart van het effluent van de RWZI Grou. Het systeem bestaat uit een combinatie van vijvers voor watervlooiën, rietsloten en een paaibiotop voor vis. Nut en noodzaak van Aqualân Grou zijn in (Claassen *et al* 2006) als volgt omschreven: *“op deze wijze draagt hergebruik van effluent via zuiveringsmoerassen bij aan een schoner effluent met een deels opgebouwde aquatische levensgemeenschap, een vergrote biodiversiteit in het zuiveringsmoeras, natuurontwikkeling, verdrogings- of verziltingsbestrijding, het beter bereikbaar maken van KRW doelen voor oppervlaktewater én vergroting van het bewustzijn van (afval in) water”*.



Figuur 1.1 : RWZI Grou voorafgaand (2004) en tijdens aanleg Aqualân (2006)

Vanaf medio 2006 is er uitgebreide monitoring uitgevoerd aan het zuiveringsmoeras. Deze monitoring betreft zowel fysisch-chemische monitoring ook biologische monitoring aan bacteriën, fytoplankton, zoöplankton, waterplanten en vissen. De afgelopen jaren is een groot aantal rapportages verschenen met de monitoringsresultaten voor Aqualân Grou (zie leeslijst in hoofdstuk 8). In 2012 is er een uitgebreide rapportage verschenen waarin de monitoringsresultaten over de periode 2006-2011 zijn beschreven (Van der Boomen *et al* 2012a). In deze rapportage werd geconcludeerd dat Aqualân goed werkt met een verwijderingsrendement van 25% voor de voedingsstoffen stikstof en fosfor en 98% afdoding van pathogenen. Door diverse oorzaken is de belasting van Aqualân bij het debiet van 1.200 m³/dag in de periode 2006-2011 niet uitgekomen op de ontwerpbelasting van 0,08 m/dag maar 0,15 m/dag. Hiermee was Aqualân geen 'laag belaste' Waterharmonica, gericht op biodiversiteit en natuurwaarden, maar veel meer een 'middel belaste' en daardoor meer gelijkend op het merendeel van de andere Waterharmonica's in Nederland (Kampf en Van der Boomen 2013b).

In 2012 en 2013 is de belasting van Aqualân verlaagd naar 0,06 m/dag. Hiervoor werd het toevoerdebiet verlaagd van 1.200 naar 480 m³/dag, naar circa tien procent van het gemiddelde effluent debiet. De resultaten van de monitoring in 2012-2013 zijn beschreven in Van Herpen *et al* (2014).

1.2 Doel

In 2012 is de basisrapportage voor Aqualân Grou uitgebracht over de periode 2006 – 2011 (Van der Boomen *et al* 2012a). In de rapportage uit 2014 (Van Herpen *et al* 2014) wordt aandacht besteed aan de monitoringsresultaten uit 2012 en 2013 (inclusief macrofauna) en de effecten van de debietverandering vanaf 2012 en de waterstand in de vlooienvijvers en verdeelsloot vanaf 2013.

Doel van dit evaluatierapport is om de volgende hoofdvragen zo goed mogelijk te beantwoorden:

- Hoe goed heeft Aqualân gefunctioneerd (vergeleken met de gestelde doelen, zoals rendementen, ecologische sleutelfactoren en verwachtingen)?
- Welke lessen zijn uit het functioneren van Aqualân te trekken voor het ontwerp en bedrijfsvoering van toekomstige vergelijkbare Waterharmonica systemen?
- Welke flankerend beleid wordt met Aqualân (en andere Waterharmonica's) bediend naast verbetering van fysisch-chemische en ecologische waterkwaliteit. Te denken valt hierbij bijvoorbeeld aan waterhergebruik, verdrogingsbestrijding, Natura2000 doelen en recreatieve en educatieve wensen.
- Daarbij heeft dit rapport verder als doel Afronding van de monitoring in de periode 2006-2013 en het vastleggen van alle resultaten daarvan en
- De beschikbare literatuur en rapportages over Aqualân die zijn verschenen samen te voegen tot één overzichtsrapportage waarin ook aandacht wordt besteed aan de biologische aspecten (flora en fauna).

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de het systeem van Aqualân Grou beschreven. Hoofdstuk 3 schetst de resultaten van de reguliere monitoring 2006-2013. Hoofdstuk 4 geeft een samenvatting van de uitgevoerde onderzoeken in Aqualân. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de kosten en opbrengsten van Aqualân. In hoofdstuk 6 worden de onderzoeksvragen beantwoord. Hoofdstuk 7 geeft aanbevelingen voor de toekomst van Aqualân Grou en in hoofdstuk 8 is een leeslijst opgenomen met literatuur over Waterharmonica's in Nederland en Aqualân Grou in het bijzonder.



figuur 1.1 : Aqualân Grou tijdens aanleg verdeelsloot tussen rietsloten en paaihabitat (juni 2006) en vlak na aanplant van het rietfilter (juni 2006)

2 SYSTEEMBESCHRIJVING

2.1 Ontwerp

Aqualân Grou bestaat uit achtereenvolgens drie in serie geschakelde vlooienvijvers en vier parallel geschakelde rietsloten (helofytenfilters) en tot slot een paaibiotop die in open verbinding staat met de Kromme Grouw. Ongeveer een kwart van het RWZI effluent (circa 1.200 m³/d) doorloopt Aqualân. Het oppervlak van Aqualân Grou is 1,1 ha bruto (waarvan netto 0,8 ha in gebruik als Waterharmonica). Voor de aanleg van deze Waterharmonica is de grond gebruikt die nog beschikbaar was na de uitbreiding van de RWZI met een tweede nabezinktank. Deze grond was al in eigendom van het Wetterskip. Aqualân is daarmee de kleinste Waterharmonica's in Nederland (Van der Boomen en Kampf, 2013), maar de beschikbare grond is wel maximaal benut. Een schematisch overzicht met stroomschema en een bovenaanzicht worden weergegeven in figuur 2.1.



figuur 2.1: Overzicht Aqualân Grou. A: nabezinktank RWZI; B: Vlooienvijvers; C: Rietsloten; D: Paaibiotop; E: Kromme Grouw. De pijlen geven de route van het effluent aan door Aqualân

De zuiverende werking van de vlooienvijvers wordt vooral veroorzaakt door bezinking en door het aanwezige zoöplankton, zoals watervlooien. Deze watervlooien kunnen naast algen ook zwevend stof opnemen zoals uitgespoeld zuiveringsslib. Het voornaamste doel van de vlooienvijvers is daarmee het verwijderen van uitgespoeld zuiveringsslib, ander zwevend stof en ook pathogenen zoals *E. Coli*.

Via een continue inlaat wordt RWZI-effluent uit de nabezinktank naar de vlooienvijvers geleid. Vanuit de vlooienvijvers stroomt het water naar de verdeelsloot van waaruit het over kleine stuwjes (evenredig/gelijkmatig) verdeeld wordt naar de vier horizontaal doorstroomde rietsloten. In deze sloten vinden verschillende processen plaats waardoor het water verder in kwaliteit verbeterd (Van der Boomen *et al* 2012a).



figuur 2.2: Aanleg van de Waterharmonica, vlak na aanplant van het rietfilter (juni 2006)

Vanaf de parallel geschakelde rietsloten wordt het water via een verzamelsloot naar de paaibiotop verpompt. Dit verpompen verloopt discontinue en is nodig omdat Aqualân in een polder is aangelegd waardoor het water omhoog gepompt moet worden voordat het in de boezem wordt geloosd. Een paaibiotop is een vijver met beplanting waar vissen in kunnen leven en voortplanten. Het water in de paaibiotop wordt door twee open verbindingen uitgewisseld met oppervlaktewater van de Kromme Grouw. Doordat het water in de paaibiotop hoger (op boezemniveau) staat dan in de rest van het vloeiveld, moet het water uit de verzamelsloot omhoog worden gepompt. Dit vindt plaats met behulp van een windmolen en/of een elektrische pomp. Het overige effluent uit de RWZI (75%) stroomt wel onder vrij verval naar de boezem.



Figuur 2.3: Het water uit de rietsloten komt uit in een verzamelvijver. Vanuit de verzamelvijver wordt het water via een windmolen of pomp om naar te paaibiotop gepompt (april 2014)

2.2 Verandering werking systeem in 2012-2013

De werking van het systeem van Aqualân is uitgebreid beschreven in (Van der Boomen *et al* 2012a). Begin 2012 is het debiet van 1.200 m³ per dag verlaagd naar 480 m³ per dag en is de waterstand in de vlooienvijvers en de verdeelsloot verhoogd. Reden hiervoor was dat uit tracer onderzoek duidelijk werd dat het natte volume en de gemeten hydraulische belasting afweek van de ontwerpwaarden. Door een 2,5 keer langere hydraulische verblijftijd toe te passen is het effect ervan op de zuiveringsrendementen en de verbetering van de biologische karakteristieken van het effluent vast te stellen. Daarnaast was de verwachting dat een lager debiet een positief effect zou hebben op de dichtheid van de watervlooiën in de drie vlooienvijvers.

Andere veranderingen in 2012 waren het aanbrengen van houten beschoeiingen vanwege afkalving van de oevers rondom de vlooienvijvers en verdeelsloot. Begin 2013 is de waterstand in de vlooienvijvers en verdeelsloot met 15 cm verhoogd, om mogelijke uitstroom van watervlooiën en intrek van de tiendoornige stekelbaars uit de rietsloten te remmen door het peilverschil tussen vlooienvijvers en rietfilter te vergroten.



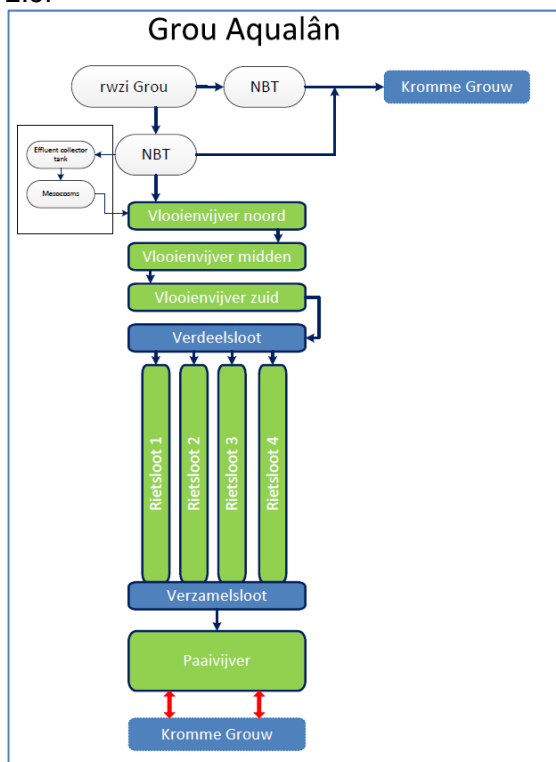
Figuur 2.4: Oeverafslag (maart 2010) en beschoeiing in de vlooienvijvers (juli 2012)

Daarnaast zijn er diverse aanpassingen geweest aan het beheer en onderhoud:

- verwijderen tiendoornige stekelbaars uit de vlooienvijvers (jaarlijks);
- regelmatig verwijderen waterplanten uit de vlooienvijvers (ca 3x per jaar);
- riet maaien en afvoeren (1x per jaar, in de winter);
- zeven snoekjes uitgezet in de vlooienvijvers (2012);
- drie eenden uitgezet om kroos in de opvangsloot te verwijderen (2012).

In de zomers van 2012 en 2013 is geconstateerd dat door het lage debiet nauwelijks meer water vanuit het helofytenfilter naar het paaibiotop vloeide. Dit kwam waarschijnlijk doordat het riet in de zomer vrijwel net zoveel water verdampt als dat wordt aangevoerd vanuit de RWZI. Door het afnemende debiet vanuit de helofytenfilters neemt ook de invloed van de Kromme Grouw op de paaihabitat toe. Daarbij ontstonden er bij het lage debiet in het vroege voorjaar in de rietsloten ook vliezen van bacteriën. Dat gebeurde (alleen) op het moment dat het riet nog heel kort was. Later in het groeiseizoen verdwenen deze bacterievliezen weer.

Het debiet is na afloop van het monitoringsonderzoek weer verhoogd. Vanaf begin 2014 is het debiet 720 m³ per dag. Het stroomschema van Aqualân is weergegeven in figuur 2.5.



Figuur 2.5: Schematisch overzicht Aqualân Grou

In tabel 2.1 staan de systeemgegevens voor Aqualân Grou opgenomen zoals oorspronkelijk ontworpen, de praktijksituatie in 2007-2011 (debiet 25% van de RWZI) en de praktijksituatie 2012-2013 (debiet 10% RWZI). De verblijftijd is de tijd die het effluent nodig heeft om door een systeemonderdeel van Aqualân te stromen. De verblijftijd is theoretisch bepaald aan de hand van het debiet en inhoud, maar is ook bepaald met behulp van een traceronderzoek. Bij dit onderzoek wordt een tracer (bijvoorbeeld een kleurstof) ingelaten en wordt gevolgd hoe lang de tracer er over doet om de verschillende systeemonderdelen te doorlopen. De daadwerkelijke verblijftijd in Aqualân is een stuk korter dan de theoretisch bepaalde verblijftijd. Bij een gelijkblijvend debiet betekent dit dat er sprake is van kortsluitstromen of 'dode ruimtes'. Oftewel: niet al het effluent verdeelt zich evenredig/gelijkmatig door de waterharmonicasyteem. Aan de hand van de belasting wordt bepaald of er sprake is van een laag of hoog belaste Waterharmonica. Aqualân is een middel belaste Waterharmonica: zie figuur 2.6. Bij een aanvoer van 10% van het RWZI-effluentdebiet functioneert Aqualân als een laag belaste Waterharmonica.

Belasting	Netto belasting (m/dag)	Specifiek oppervlakte (m ² /i.e.)	Waterharmonica's per belasting klasse als voorbeeld, zie ook tabel 1
Zeer laag	< 0,05	> 2,5	Klaterwater
Laag	0,05 - 0,1	1,25 - 2,5	Elburg
Middel	0,1 - 0,20	0,75 - 1,25	Waterpark Groote Beerze Hapert, Aqualân Grou, Kristalbad Ootmarsum, Sint Oedenrode, Soerendonk, Vollenhove
Hoog	0,2 - 0,3	0,5 - 0,75	Eversteekoog, Sint Maartensdijk, Land van Cuijk
Zeer hoog	> 0,3	< 0,5	Tilburg-Noord

Figuur 2.6: Globale richtlijnen voor ontwerp van Waterharmonica's opgesplitst in belastingklassen "zeer laag" tot "zeer hoog" met bijbehorende benodigde specifieke netto oppervlakte in m²/i.e. (bij 125 – 150 l/i.e. dag) (Van der Boomen en Kampf 2013b)



Figuur 2.7: De eerste jaren na aanleg was Aqualân nog een onstabiel systeem op zoek naar een natuurlijk evenwicht. Toen kwam er regelmatig groei van flab voor in het rietfilter. Deze flab komt de laatste jaren niet meer voor. Wel zijn in het voorjaar van 2014 voor het eerst bacterievliezen gezien in het rietfilter.

Tabel 2.1 Systeemgegevens Aqualân Grou (ontwerp 2006)

Systeem-onderdeel	Diepte (m)	Oppervlak (m ²)	Inhoud (m ³)	Debiet (m ³ .dag ⁻¹)	Verblijftijd (dag)	Belasting (m/dag)
vlooienvijvers (3 stuks)	2	1.485	3.000	1.000	3	
rietsloten (4 stuks)	0.3	5.000	1.500	1.000	1.5	
paaibiotop	0.3-1.1	2.200	1.100	1.000	1.1	
systeem totaal		8.685	5.600	1.000	5.6	0.12

Tabel 2.2 Systeemgegevens Aqualân Grou (praktijksituatie 2007 - 2011)

Systeem-onderdeel	Diepte (m)	Oppervlak (m ²)	Inhoud (m ³)	Debiet (m ³ /d)	Verblijftijd (dag)	Tracer-verblijftijd (dag)	Belasting (m/dag)
vlooienvijvers (3 stuks)	1	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	
paaibiotop	0.5	2.575	1.288	1.200	1.07	0.72	
systeem totaal		8.025	3.953	1.200	3.29	2.45	0.15

Tabel 2.3 Systeemgegevens Aqualân Grou (praktijksituatie 2012-2013)

Systeem- onderdeel	Diepte	Oppervlak	Inhoud	Debiet	Verblijftijd	Belasting
	(m)	(m ²)	(m ³)	(m ³ /d)	(dag)	(m/dag)
vlooienvijvers (3 stuks)	1.5	1.143	1.715	480	3.57	
rietsloten (4 stuks)	0.35	4.082	1.429	480	2.98	
Paaibiotoop	0.5	1.613	807	480	1.68	
systeem totaal		8.025	3.953	480	8.23	0.06



Figuur 2.7: Luchtfoto Aqualân Grou in 2013, met oppervlakte van de verschillende compartimenten

3 MONITORINGSRESULTATEN 2006-2013

3.1 Monitoring

Vanaf de start in 2006 is Aqualân Grou intensief gemonitord. De Waterharmonica is de schakel tussen de techniek en natuur. De routinematige monitoring is daarom gericht op parameters uit beide werkvelden. Belangrijke parameters zijn de pathogenen en zwevend stof, zuurstof, nutriënten en biologische groepen zoals macrofauna en vissen. De monitoring is uitgevoerd door het laboratorium van het Wetterskip. De visstand-bemonsteringen zijn uitgevoerd door Altenburg & Wymenga.

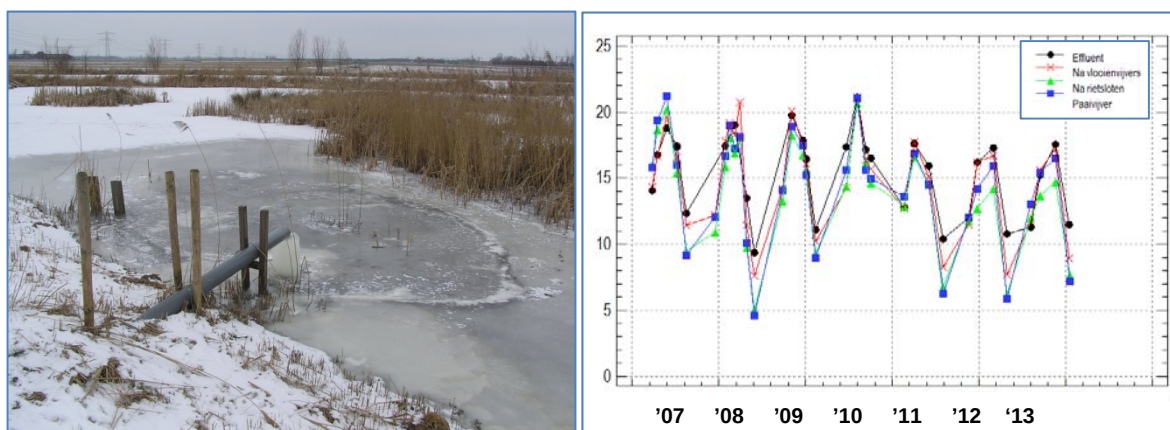
Tabel 3.1: Overzicht routinematige monitoring Aqualân 2006-2013

parameter	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Fysisch-chemisch	x	x	x	x	x	x	x	x
Pathogenen	x	x	x	x	x	x	x	x
Fytoplankton	x	x	x	x	x	x		
Zoöplankton	x	x	x	x	x	x	x	x
Vegetatie		x	x	x	x	x	x	x
Macrofauna							x	
Vissen				x	x	x	x	x

3.2 Fysisch-chemisch

3.2.1 Temperatuur en pH

De temperatuur vertoont een stabiel jaarritme (warm in de zomer, koud in de winter). De verlaging van het debiet en de verhoging van het waterpeil in 2012 en 2013 hebben nauwelijks invloed gehad op de temperatuur van het water. Daarnaast blijkt uit de metingen duidelijk dat vooral in de winters de temperatuur gedurende het verblijf in Aqualân steeds verder daalt, waardoor er geen sprake is van een lozing van warm effluent op het koude oppervlaktewater in de winter en er daar ijsvorming plaats kan vinden. Aqualân Grou is één keer stil gelegd vanwege teveel ijsvorming (februari 2012).

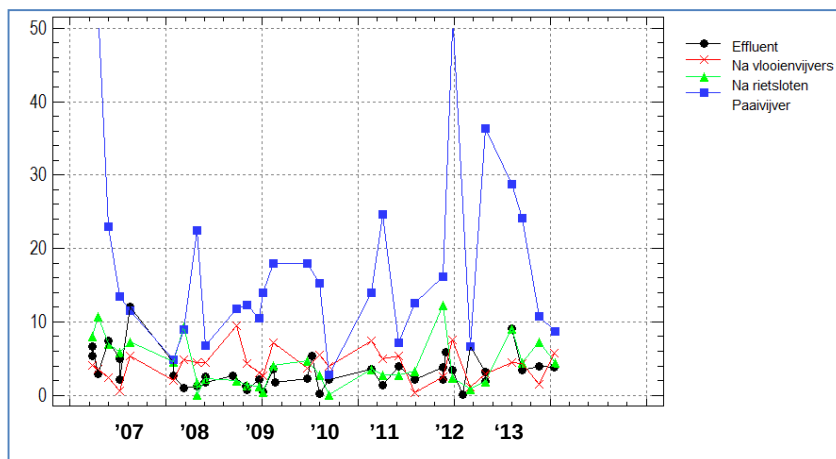


Figuur 3.1: Links: ijsvorming in de paaibiotop (februari 2012). Duidelijk te zien is het wak nabij de lozing van het effluent dat moeizaam dichtvriest. Bij de effluentlozing van de RWZI is er ook zo'n wak, maar dan in de Kromme Grouw zelf en niet in de paaibiotop. Rechts: verloop temperatuur in de verschillende compartimenten in Aqualân Grou in de periode 2007-2013). Te zien is dat de temperatuur van het effluent (zwart) in de winter steeds lager wordt in de compartimenten (van circa 10 °C naar circa 6 °C)

De pH in het systeem is vrijwel constant. De verlaging van het debiet en de verhoging van het waterpeil in 2012 en 2013 hebben geen invloed gehad op het algemene pH verloop van het water.

3.2.2 Zwevend stof

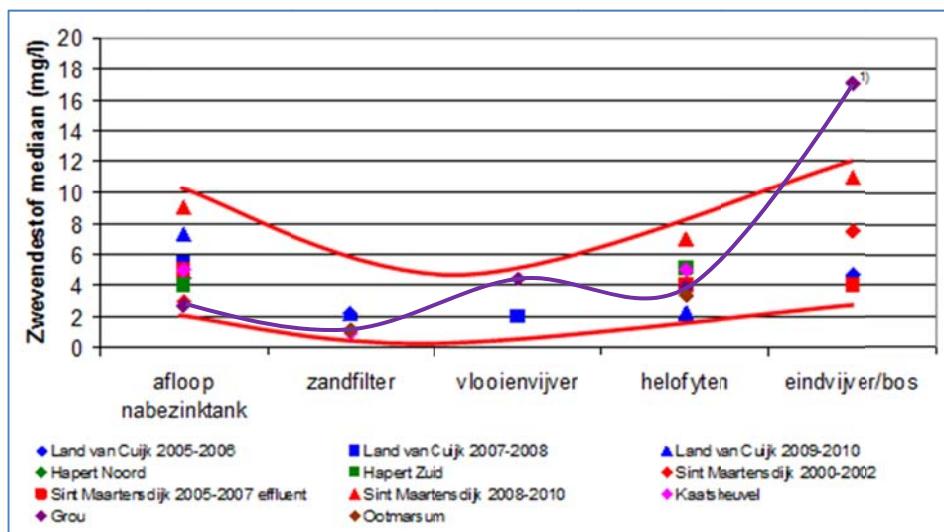
In Aqualân Grou wordt eerst een daling en dan een stijging van zwevend stof gemeten in het verloop van het proces. In het begin van de Waterharmonica neemt het zwevend stof uit de RWZI ook af door bezinking, consumptie en afbraak. Gelijktijdig wordt er echter zwevend stof gevormd door (het afsterven van) algen en waterplanten. Dit resulteert erin dat er aan het einde van de Waterharmonica weer een toename van zwevend stof wordt gesignaleerd. Deze afname en toename van zwevend stof zijn onderwerp van een promotieonderzoek geweest (Mulling 2013). Dit onderzoek laat zien dat de samenstelling van het zwevend stof wel verandert in de loop van de Waterharmonica. In de vlooienvijvers werd de fractie organische deeltjes in het zwevend stof minder en nam de gemiddelde deeltjesgrootte af. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door sedimentatie van grote organische deeltjes en gelijktijdige toevoeging van kleinere anorganische deeltjes als gevolg van oevererosie (onderzoek is uitgevoerd voorafgaand aan het aanbrengen van de beschoeiing). Het aantal ziektekiemen uit de rioolwaterzuiveringsinstallatie daalde sterk (>90%) in de rietsloten maar het totale aantal bacteriën steeg geleidelijk. Dit geeft aan dat de zwevende slib in het gezuiverde afvalwater wordt vervangen door andere, meer natuurlijke, geen voor de mens schadelijke bacteriën tijdens het verblijf in het zuiveringsmoeras. Deze waarnemingen geven aan dat zuiveringsmoerassen grote invloed hebben op de aard van de zwevende stofdeeltjes (Mulling 2013).



Figuur 3.2: Verloop zwevend stof in de verschillende compartimenten in Aqualân Grou in de periode 2007-2013

Wel is duidelijk dat Aqualân netto zwevend stof produceert ten opzichte van het RWZI effluent. Ook na aanpassing van het debiet en waterpeil blijft de Waterharmonica een netto zwevend stof producent. Het aandeel zwevend stof aan het einde van de rietsloten (meetpunt 2) blijft wel laag (jaargemiddeld 2012-2013: 5.4 mg/l) ten opzichte van het zwevend stof gehalte van het ontvangende water van de Kromme Grouw (jaargemiddeld in 2012-2013: 16 mg/l). Aqualân Grou vervult wat betreft zwevend stof wel een belangrijke bufferende functie voor piekbelastingen met zwevend stof bij regenwaterafvoer (RWA) of calamiteiten, zie paragraaf 4.1.

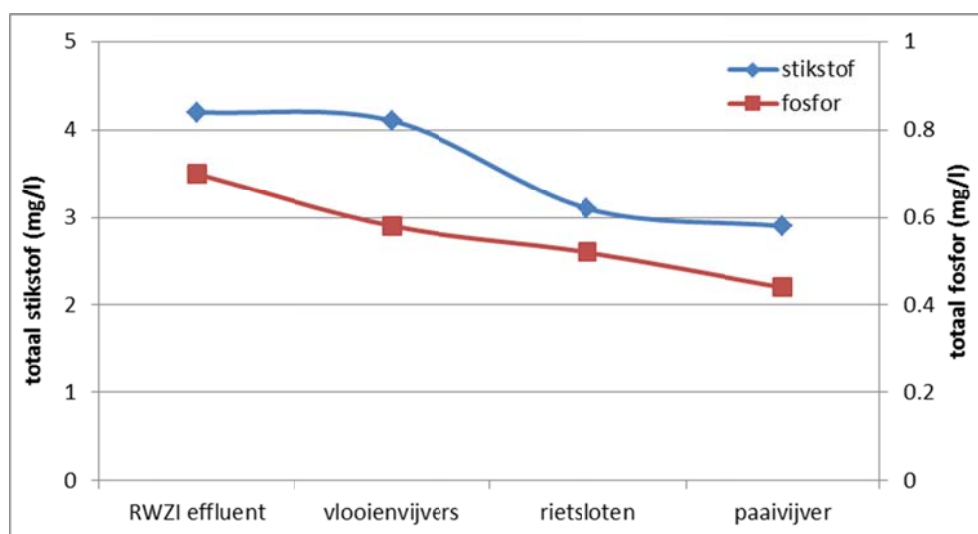
Overigens geldt voor bijna alle waterharmonica's in Nederland dat deze netto zwevend stof produceren, zie figuur 3.3.



Figuur 3.3 Zwevend stof gemeten in 11 systemen in Nederland (mediaanwaarden) (Van der Boomen *et al* 2012a). Paarse lijn: Aqualân. Ad 1) = meting in de paaibiotop bij Aqualân te Grou. Deze komt sterk overeen met het zwevend stof gehalte van de Kromme Grouw.

3.2.3 Nutriënten

RWZI Grou voldoet aan de wettelijke lozingsseisen (10 mg/l voor N en 1 mg/l voor P). Vanuit KRW-oogpunt gezien heeft de Kromme Grouw als onderdeel van het KRW-waterlichaam "Friese boezem – grote ondiepe kanalen" (NL02L9a) geen problemen met stikstof (doelstelling 3,8 mg/l wordt gehaald) maar wel met fosfor (doelstelling 0,25 mg/l wordt niet gehaald). De Kromme Grouw komt uit op het Pikmeer, dat behoort tot het KRW-waterlichaam "Friese boezem – overige meren" (NL02V1). Dit waterlichaam voldoet niet aan de doelstellingen voor zowel stikstof (1,1 mg/l) als fosfor (0,09 mg/l).



Figuur 3.4: Verloop concentratie totaal stikstof en fosfor in de compartimenten van Aqualân (jaargemiddelde 2006-2011)

Aqualân Grou zorgt voor een extra verwijdering van stikstof en fosfaat voordat het effluent wordt geloosd op de Kromme Grouw. Bij passage door Aqualân nemen de stikstof- en fosfaatgehalten van het effluent met ca. 25 % (jaargemiddeld) af (Van der Boomen *et al* 2012a) zodat er minder nutriënten op de Kromme Grouw worden geloosd. Stikstofverwijdering vindt vooral plaats in de rietsloten, verwijdering van fosfor treedt vooral op in de vlooienvijvers.

In 2012 en 2013 is onderzoek verricht aan het functioneren van Aqualân bij een lager debiet (10% totaal debiet RWZI). Voor stikstof ligt het verwijderingsrendement hoger bij het lage debiet (en dus langere verblijftijden). Ook in absolute stikstofverwijdering in kg/jaar presteert Aqualân iets beter bij het lage debiet. Ook voor fosfor ligt het verwijderingsrendement voor Aqualân hoger bij het lage debiet. Echter: als wordt gekeken naar de totale kg P-verwijdering dan functioneert Aqualân beter bij het hoge debiet. Een opmerking hierbij is dat het effluent in 2012-2013 45% meer nutriënten bevatte dan het effluent in de periode 2006-2011.

Tabel 3.2: Mediane waarden voor stikstof en fosfor in RWZI effluent

	2006 - 2011	2012 - 2013
Stikstof (mg/l)	2.6	3.7
Fosfor (mg/l)	0.45	0.65

Eerder zijn voor Aqualân zuiveringsrendementen van 26% en 20% voor stikstof en van 26% en 38% voor fosfor gerapporteerd (Van der Boomen *et al* 2012a). Een stage-onderzoek aan de verdubbeling van de belasting van de rietsloten (waardoor de verblijftijd werd verkort tot één dag) liet zien dat dit geen groot effect heeft op de zuiveringsrendementen voor N/P. Ook bij een verhoging van de belasting is er dus nog sprake van verwijdering van N en P (Limareva 2009).

Tabel 3.3: Zuiveringsrendement en verwijdering stikstof door Aqualân; gebaseerd op mediane waarden voor de meetperiode april – november

Debiet m3/dag	N-toevoer (nabezink- tank) mediaan mg/l	N-afvoer (in paaibiotop) mediaan mg/l	N-verwijdering		N-vracht		N-Verwijdering	
			Mediaan (mg/l)	Rende- ment (%)	Mediaan g/dag	Mediaan Kg/ha.jaar	(g/dag)	(kg N/ ha.jaar)
2007-2011: 1200	2.60	2.20	0.40	15%	3120	1419	480	218
2012-2013: 480	2.90	1.80	1.10	38%	1392	633	528	240

Tabel 3.4 Zuiveringsrendement en verwijdering fosfor door Aqualân; gebaseerd op mediane waarden voor de meetperiode april – november

Debiet m3/dag	P-toevoer (nabezink- tank) mediaan mg/l	P-afvoer (in paaibiotop) mediaan mg/l	P-verwijdering		P-vracht		P-Verwijdering	
			Mediaan (mg/l)	Rende- ment (%)	Mediaan g/dag	Mediaan Kg/ha.jaar	(g/dag)	(kg N/ ha.jaar)
2007-2011: 1200	0.44	0.30	0.14	31%	522	237	162	74
2012-2013: 480	0.65	0.38	0.28	42%	312	142	132	60

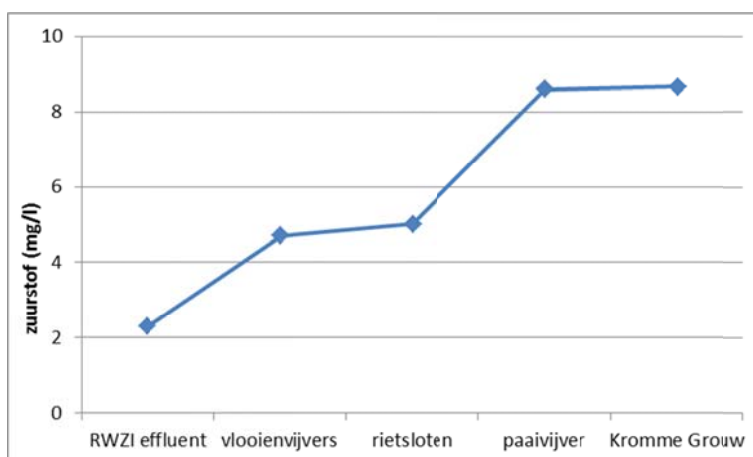
3.2.4 Zuurstof

De zuurstofhuishouding van het oppervlaktewater wordt door vele componenten en processen bepaald. Door de lozing van stoffen die bij een omzetting zuurstof vragen (zoals BZV en NH_4) neemt het zuurstofgehalte af, bij lagere watertemperaturen kan er juist weer meer zuurstof oplossen in het water. Daarnaast wordt er zuurstof geproduceerd door waterplanten en algen (fotosynthese), maar is het zuurstofgehalte wel sterk afhankelijk van het tijdstip (in verband met de dag-nacht cyclus van de fotosynthese).

Duidelijk is wel het zuurstof in de paaibiotop met een jaargemiddelde waarde van meer dan 8,6 mg/l een stuk beter is dan in de vlooienvijvers en rietsloten (jaargemiddelde waarden van respectievelijk 4,7 en 5 mg/l). Met het verlagen van het debiet in 2012 zijn ook de zuurstofdips in de paaibiotop verdwenen. Waar in 2006-2011 nog wel eens zuurstofconcentraties van circa 2 mg/l in de paaibiotop zijn gemeten, komen deze in 2012-2013 niet meer voor. Ook zijn de zuurstofgehalten in de vlooienvijvers en de rietsloten na de aanpassingen in debiet en waterstand hoger dan bij het hoge debiet. Door de langere verblijftijd (zie tabel 2.4) krijgt de diffusie en lokale zuurstofproductie door de waterplanten meer tijd om zuurstof toe te voegen aan het water.

Een aandachtspunt is wel het slib uit de RWZI dat in het Aqualân, en dan vooral de vlooienvijvers wordt afgezet. De gemiddelde dikte van de sliblaag aanwezig in de vlooienvijvers is 20 tot 30 cm (Limareva 2009). Als dit slib anaeroob wordt, kan fosfor uit dit slib vrijkomen. Dit wordt versterkt doordat de fosforverwijdering op de RWZI plaats vindt met ijzerzouten (FeSO_4). Dit is in de Waterharmonica Land van Cuijk uitgebreid beschouwd (Uiterlinde 2012).

Over de gehele Waterharmonica Aqualân neemt het zuurstofgehalte toe van ca. 2,3 mg/l in het effluent van de RWZI, naar ca. 8,6 mg/l in de paaibiotop. Voor een gezond functionerend watersysteem geldt een ondergrens van 5-6 mg/l. De grootste toename doet zich voor in de vlooienvijvers waar wind, instraling en waterplanten een positief effect op het zuurstofgehalte hebben. Het voordeel van het verblijf van het effluent in het moerassysteem is dat het zuurstofgehalte van het effluent in delen van het moerassysteem toeneemt en er een langere verblijftijd is dan in de zuiveringsinstallatie. Hierdoor zijn de condities in zuiveringsmoerassen gunstig voor de afbraak van de oestrogene stoffen, waardoor de oestrogene activiteit van het effluent afneemt (Foekema et al 2012).



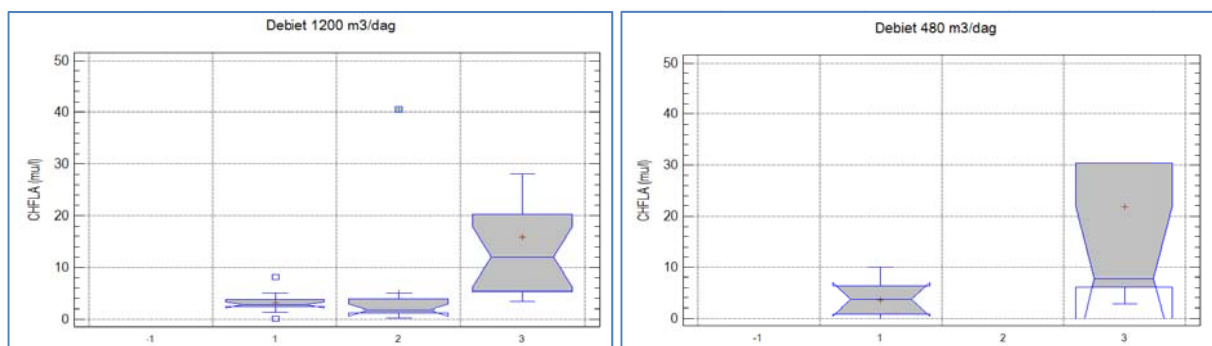
Figuur 3.5: Verloop zuurstofconcentratie in Aqualân (jaargemiddelde waarden 2006-2011) (Van der Boomen *et al* 2012a)

3.3 Biologie

3.3.1 Fytoplankton

Fytoplankton zijn algen die vrij in het water zweven. De algen zetten on invloed van zonlicht voedingsstoffen uit het water om in biomassa en zuurstof (fotosynthese). Algen maken deel uit van een gezond functionerend ecosysteem. Als er veel algen in een watersysteem aanwezig zijn (een zogenaamde algenbloei) is dat een indicatie dat het water erg voedselrijk is en er geen sprake is van een gezond ecosysteem.

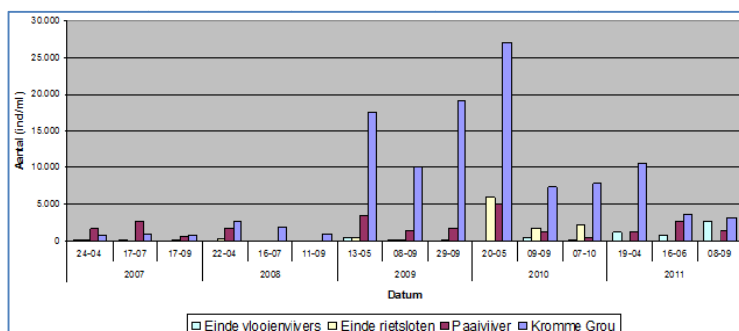
Onderzoek uit de periode 2006-2011 laat zien dat er veel minder algen in Aqualân zitten dan in de Kromme Grouw zelf. Het chlorofyl-gehalte in de vlooienijvers verschilt niet tussen het hoge (2006-2011) en lage debiet (2012-2013) voor de vlooienijvers. In de paaibiotop komen wel af en toe algenbloeien voor, vooral toen in 2012 en 2013 het debiet is verlaagd. Het chlorofyl-A gehalte in de paaibiotop wordt sterk beïnvloed door het ontbreken van verversing vanuit de rietsloten door de ontbrekende afvoer als gevolg van verdamping bij het lage debiet. In de vlooienijvers en in de rietsloten komen minder algen voor dan in de paaibiotop en Kromme Grouw (Van der Boomen *et al* 2012, Van Herpen *et al* 2014).



Figuur 3.6 Verandering van de hoeveelheid chlorofyl-a in de verschillende compartimenten in Aqualân Grouw bij een hoog debiet (links; 2006-2011) en bij een laag debiet (rechts, 2012-2013). -1 = RWZI; 1 = vlooienijver; 2 = rietfilter; 3 = paaihabitat

De verschillende soorten die zijn gevonden zijn in vier hoofdgroepen te verdelen: groenalgen, blauwalgen, kiezelwieren (diatomeeën) en overige soorten algen. De meest aangetroffen soorten in de vlooienvijver zijn de species/genera:

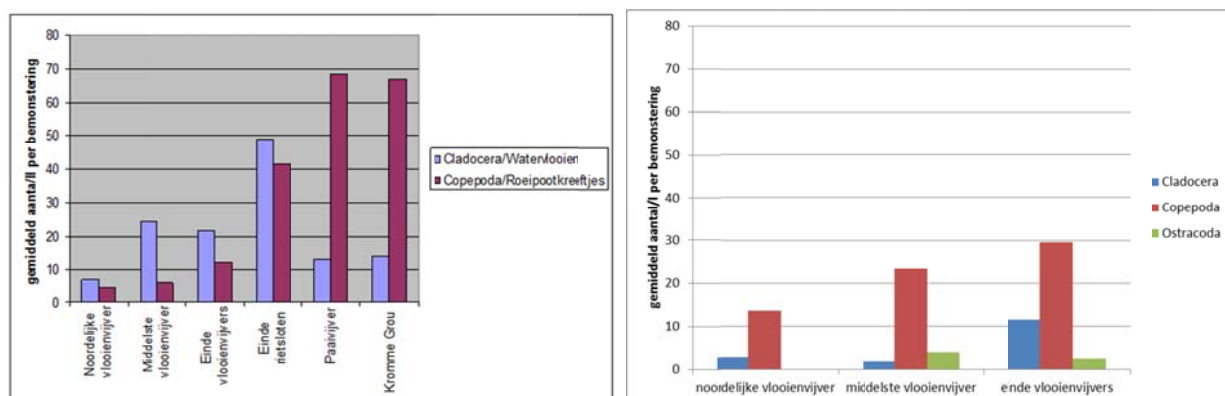
- *Chlorophyceae* (groenalg)
- *Chroococcales* (blauwalg)
- *Cryptomonas* (overig)
- *Nitzschia acicularis* (kiezelwier)
- *Plagioselmis nannoplantica* (overig)



Figuur 3.7: Verloop van de hoeveelheid groenalgen (individuen per ml) in de verschillende compartimenten van Aqualân Grou in de periode 2007-2011.

3.3.2 Zoöplankton

Voor zoöplankton is in de periode 2006-2013 regelmatig bemonsterd in de vlooienvijvers. Het oorspronkelijke idee is dat de watervlooien de *E. coli*'s uit het RWZI-effluent uit het water filteren en daarmee de lozing van pathogenen op het oppervlaktewater verminderen. Het aantal watervlooien in de vlooienvijvers is te vergelijken met de hoeveelheden watervlooien in het oppervlaktewater van de Kromme Grou. In vlooienvijvers bij andere Waterharmonica's worden gewoonlijk grotere aantallen watervlooien gevonden. Uit de proeven met mesocosms bleek dat het onder gecontroleerde omstandigheden ook in de winter wel mogelijk is om tot hogere aantallen watervlooien te komen (Van Der Boomen en Kampf 2012). In de praktijkomstandigheden van Aqualân Grou waren die aantallen lager dan bij de mesocosms behaald konden worden.



Figuur 3.8 Gemiddeld aantal zoöplankton (per liter) in de verschillende compartimenten van Aqualân Grou in de periode 2007-2011 (links) en 2012-2013 (rechts). In 2012 en 2013 zijn alleen de vlooienvijvers bemonsterd op zoöplankton.

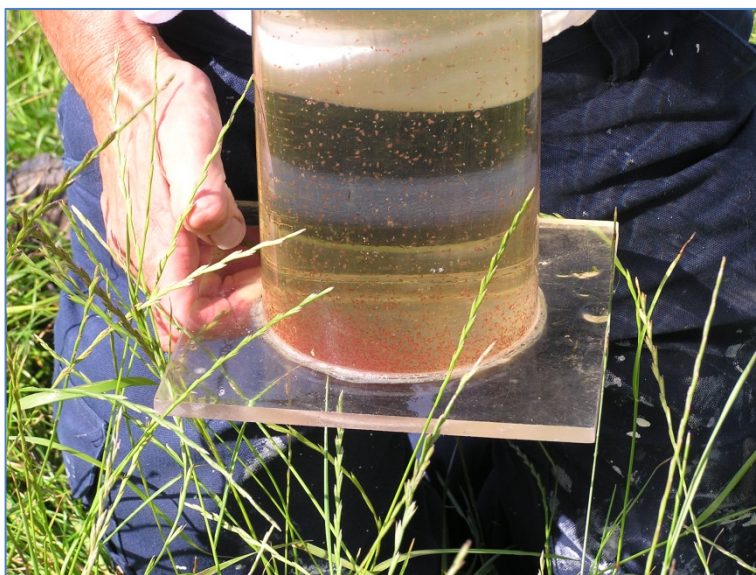
Vanaf 2009 worden gelijktijdig met de visstandbemonstering ook de tiendoornige stekelbaarsjes weggevangen uit de vlooienvijvers. De tiendoornige stekelbaars foerageert namelijk op de aanwezige watervlooien. De wegvangacties hebben in de afgelopen jaren er niet toe geleid dat de aantallen van de tiendoornige stekelbaars voldoende zijn afgenomen (Koopmans, 2013). Ook hebben de wegvangacties niet geleid tot blijvende verhoging van de dichtheden zoöplankton (zie figuur 3.8).

In 2012 en 2013 zijn maatregelen genomen met het idee om de aantallen watervlooien te vergroten. De maatregelen waren:

- uitzetten snoeken die stekelbaarsjes opeten (verminderen predatiedruk)
- aanpassen waterstand (vergroten verblijftijd, verminderen uitspoeling watervlooien naar rietfilter)
- verminderen debiet (grotere verblijftijd)

Geen van deze maatregelen bleek voldoende effectief om de aantallen zoöplankton te verhogen.

Nieuw ten opzichte van 2006-2011 is in 2012 en 2013 de vondst van *Ostracoda*, mosselkreeftjes in het zoöplankton. Opvallend is dat in de periode 2006-2011 de watervlooien in de vlooienvijvers dominant waren in de monsters en dat in de periode 2012-2013 de roeipootkreeftjes die rol hebben overgenomen. Deze maatregelen hebben niet geleid tot de gewenste toename van watervlooien in de vlooienvijvers. Wel is er een verschuiving van de soortensamenstelling opgetreden van watervlooien (*Daphnia*) naar roeipootkreeftjes (*Copepoda*). Onderzoek in mesocosms in Duitsland laat zien dat *Copepoda* vooral grazen op de grote soorten fytoplankton en *Daphnia* op kleinere soorten fytoplankton en dat beide soortgroepen elkaar niet in de weg zitten (Sommer en Sommer 2006). Overigens bleek uit het WIPE-onderzoek dat vooral kleine zoöplanktonsoorten zoals de eencellige trilhaardiertjes en amoeben van belang zijn bij het verwijderen van E coli (zie hoofdstuk 4.2).



Figuur 3.9: Watervlooien uit de vlooienvijvers (juni 2007)

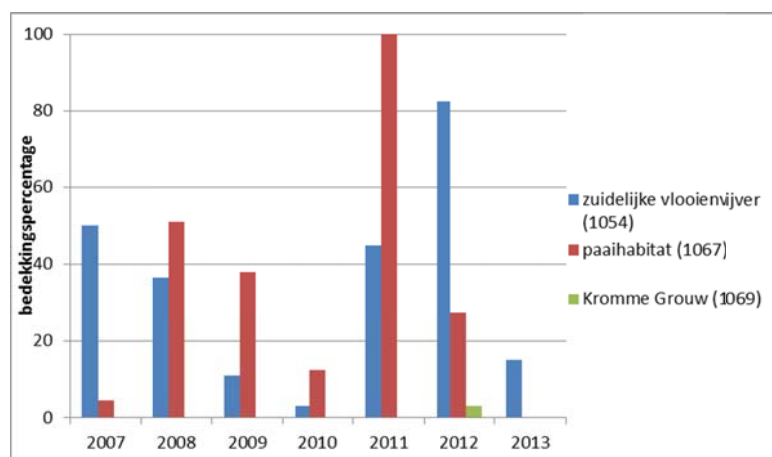
3.3.3 Vegetatie

In de jaren 2007 t/m 2013 zijn vegetatieopnamen gemaakt van Aqualân. Bij deze opnamen zijn in Aqualân in totaal 84 plantensoorten onderscheiden, verdeeld over de groepenemers, drijvend, submers en oever. (Van der Boomen *et al* 2012a; Van Herpen *et al* 2014). In de vlooienvijver komen weinig emerse soorten voor. De meest voorkomende drijvende soorten planten zijn bultkroos (*Lemna gibba*), klein kroos (*Lemna minor*) en van de submerse soorten vooral smalle waterpest (*Elodea nuttallii*) en sterrenkroos (*Callitriche* sp.).

In 2006 is in de rietsloten riet (*Phragmites australis*) aangeplant en heeft zich zo goed ontwikkeld dat er andere soorten die er ook zijn gaan groeien (zoals grote lisdodde *Typha latifolia*) zijn weggeconcentreerd. Ook hier komt *Lemna gibba* en *Lemna minor* van de drijvende waterplanten en *Enteromorpha* sp. (darmwier) van de submerse vegetatie voor. De groei van de submerse vegetatie wordt sterk beperkt zodra er sinds 2007 een goed rietbestand was.

In de paaibiotop is de begroeiing meer gevarieerd doordat er naast de aanplant van riet ook soorten voorkomen zoals gele waterkers (*Rorippa amphibia*) en grote lisdodde (*Typha latifolia*). Dit geldt ook voor bijvoorbeeld de drijvende waterplant wortelloos kroos (*Wolffia arrhiza*) en gele plomp (*Nuphar lutea*). Van de submerse soorten wordt vooral smalle waterpest (*Elodea nuttallii*) gevonden.

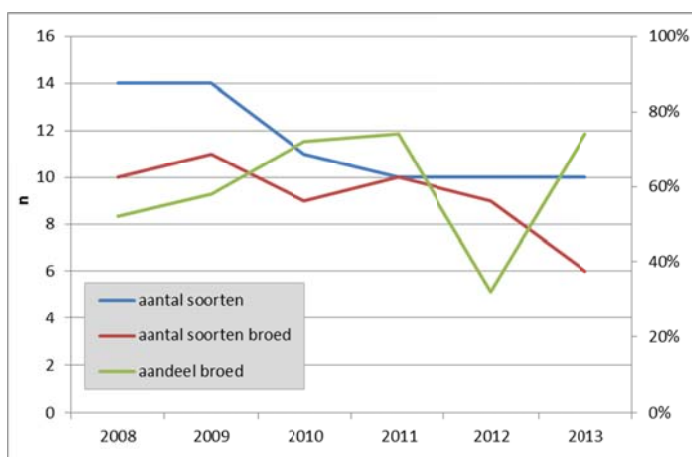
De bedekking van de rietsloten met vegetatie is 80-100%. De bedekking van de vlooienvijver en het paaibiotop is variabel. De vlooienvijvers worden regelmatig geschoond. De bedekking van de paaibiotop (2007-2013 gemiddeld 33%) is een stuk hoger dan van de Kromme Grouw ter hoogte van de RWZI (in 2012 gemiddeld 3%).



Figuur 3.10: Totale bedekking (%) met vegetatie. Rietsloten vanwege hoge bedekking (80-100%) niet in figuur opgenomen

3.3.4 Vissen

Vanaf 2008 is er elke jaar onderzoek uitgevoerd aan de visstand in Aqualân. In de rietsloten en de vlooienvijvers zijn alleen tiendoornige stekelbaarzen en de uitgezette snoeken aangetroffen. In de paaibiotop zijn in totaal sinds 2008 16 verschillende soorten aangetroffen: baars, bittervoorn, blankvoorn, brasem, driedoornige stekelbaars, gibel, kleine modderkruiper, kolblei, paling, pos, riviergrondel, ruisvoorn, snoek, tiendoornige stekelbaars, vetje en zeelt. Opvallend is dat in de paaibiotop bijna nooit tiendoornige stekelbaars worden aangetroffen. Wel zit er veel baars, blankvoorn, kolblei en riviergrondel. In de paaibiotop is in augustus 2013 een bemonstering uitgevoerd waarbij in totaal 10 soorten zijn aangetroffen. Hierbij zijn 198 exemplaren waarvan 74% tot de jaarklasse 0+ (broed) behoort (Koopmans 2013). Het onderzoek aan de visstand laat zien dat de paaibiotop een belangrijke bijdrage levert als paai- en opgroeibiotop voor vissen in de Kromme Grouw (Claassen en Koopmans 2012). Het soortenaantal in de paaihabitat daalt vanaf 2009 wel geleidelijk. Gelet op de soortensamenstelling heeft de paaihabitat een visgemeenschap die past bij een ruisvoorn-snoek visgemeenschap. De visgemeenschap in de Kromme Grouw is van het viswatertype brasem-snoekbaars of het blankvoorn-brasem.



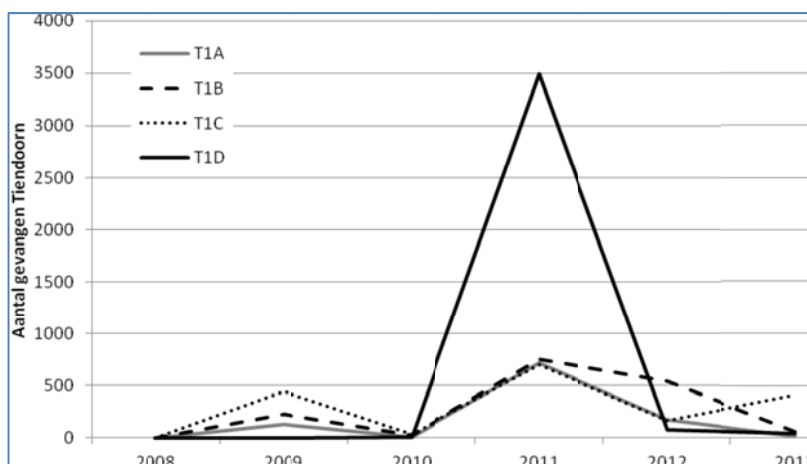
Figuur 3.11: Verloop aantal soorten, aantal soorten broed en het aandeel broed zoals gevonden bij de vistandsbemonsteringen

De paaibiotop fungeert in de loop der tijd steeds beter, want tussen 2008 en 2011 is het aantal gevangen jonge vissen (broed) toegenomen. In 2012 is een korte terugval geconstateerd; in 2013 was het percentage broed weer op het niveau van 2011, aantallen liggen wel lager als in voorgaande jaren. Mogelijk hangt dit verloop samen met een aanzienlijke predatiedruk door snoek (in 2012 acht exemplaren). Daarnaast kunnen ook andere factoren van invloed zijn op de ontwikkeling van het broed. Het gaat hierbij om watertemperatuur tijdens paaiperiode, kannibalisme en predatie van eieren. Daarnaast is in 2012 en 2013 het debiet teruggebracht waardoor het water een langere verblijftijd heeft in de paaibiotop (Koopmans 2013).



Figuur 3.12: Visstandbemonstering (juli 2008)

Sinds de visstandbemonstering in 2009 worden de tiendoornige stekelbaarzen weggevangen in de vlooienvijvers om de predatiedruk op de watervlooien te verminderen. In 2013 is een wegvangactie georganiseerd waarbij opnieuw grote aantallen (bijna 600) tiendoornige stekelbaarzen uit de watervlooienvijvers zijn verwijderd. Door de wegvangacties van de afgelopen jaren is het aantal tiendoornige stekelbaars in de watervlooienvijvers wel beperkt gebleven (met uitzondering van de piek in 2011), maar is het niet gelukt om de vijvers geheel vrij te houden van deze soort (Koopmans 2013).

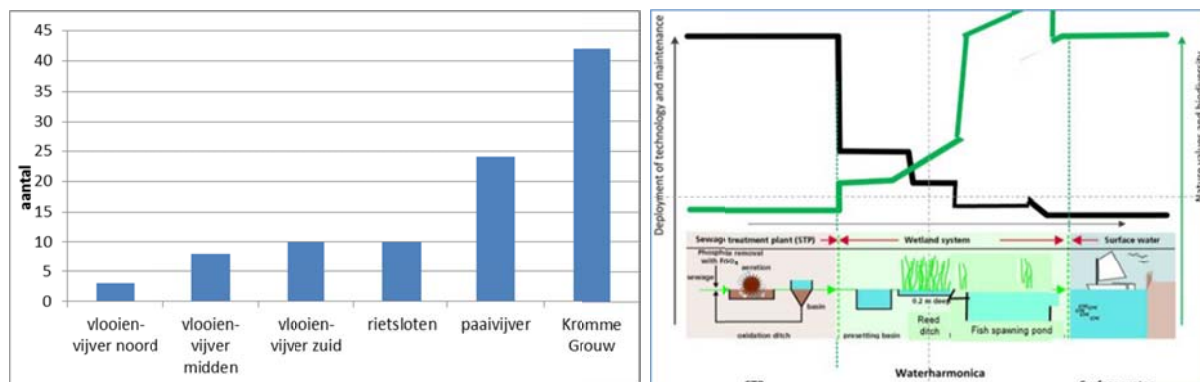


figuur 3.13: Verloop van het totale aantal weggevangen Tiendoornige stekelbaarzen per jaar in de watervlooienvijvers T1A t/m T1D. T1A: noordelijke vlooienvijver, T1B: middelste vlooienvijver; T1C: zuidelijke vlooienvijver; T1D: verzamelsloot voor rietfilter. (Koopmans 2013)

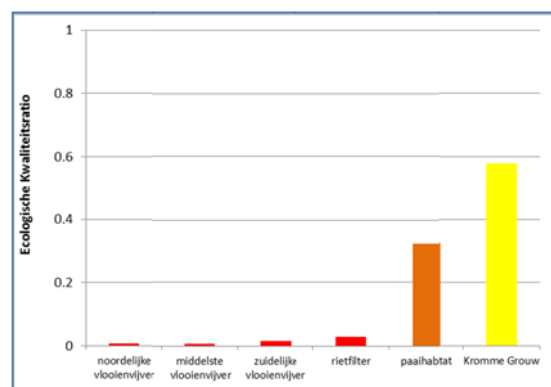
3.3.5 Macrofauna

In het voorjaar van 2012 is op zes meetpunten een bemonstering van de macrofauna uitgevoerd. Het aandeel van de negatief dominante taxa macrofauna (dit zijn soorten die goed tegen verontreiniging kunnen en in de KRW-systematiek worden gebruikt om de kwaliteit vast te stellen) is hoog in de vlooienloten en neemt langzaam af in Aqualân bij een steeds verder toenemend zuurstofgehalte. Bij de uitlaat van de rietsloten is de macrofauna gemeenschap niet veel beter dan in de vlooienloten. Het aandeel (als %) negatief dominante soorten is hier zelfs weer licht toegenomen. Een duidelijke verbetering van de macrofauna gemeenschap treedt op in de paaibiotops.

Dit heeft mede te maken aan de inrichting, maar zal ook te danken zijn aan een verbetering van de waterkwaliteit en het afvlakken van de piekbelasting door het Waterharmonica systeem. De macrofaunagemeenschap op het meetpunt in de Kromme Grouw zelf is vervolgens nog een stuk beter dan in de paaibiotops. Het aantal positieve taxa is groter, het aandeel negatief dominante soorten is een stuk lager. De bemonstering aan de macrofauna laat zien dat Aqualân een grote bijdrage levert aan het ecologiseren van het RWZI effluent voordat het wordt geloosd op de Kromme Grouw, waardoor het effluent meer op oppervlaktewater is gaan lijken. Dit wordt uitgelegd in de figuur 3.14 (rechts). Het effluent komt als ecologisch “dood” water uit de technische omgeving van een RWZI in de vlooienvijvers. Gedurende het doorlopen van het systeem wordt het ecologisch aandeel steeds groter en spelen de technische processen een steeds kleinere rol (zwarte lijn). De ecologische waarde van het systeem, bijvoorbeeld uitgedrukt in het aantal taxa macrofauna (3.14 links) neemt gedurende passage van de waterharmonica steeds verder toe (groene lijn).



Figuur 3.14: Aantal taxa macrofauna per meetpunt (links) (Van Herpen et al 2014) en het gedachtegoed over toenemende biodiversiteit in een waterharmonica (rechts, Van der Boomen en Kampf 2013b)



Figuur 3.15: KRW-beoordeling macrofauna 2012

Negatief dominante soorten

Negatief dominante soorten zijn voor de KRW-maatlat soorten die bij dominant voorkomen een slechte ecologische toestand indiceren. Hieronder staan de negatief dominante soorten kort beschreven die in Aqualân zijn aangetroffen:

- Tubificidae komen op alle meetpunten voor. Dit zijn zogenaamde slingerwormen die in de modder leven. Net als de *Chironomus* bezitten de Tubificidae hemoglobine waardoor ze in staat zijn om in zuurstofarme omstandigheden te overleven. De zuurstofarme omstandigheden worden veroorzaakt door de afbraak van het slib uit de RWZI.

- *Chironomus* is een verzamelnaam voor diverse soorten dansmuggen. De larven daarvan zijn de rode muggenlarven. Die naam danken ze aan de grote hoeveelheid hemoglobine, wat ze hun kenmerkende rode kleur geeft en wat er ook voor zorgt dat de dieren goed kunnen overleven in een sliblaag onder zuurstofarme omstandigheden. De rode muggenlarven zijn een typische groep die wordt gebruikt als indicator voor waterverontreinigingen en zijn een belangrijke schakel in de trofische keten. De soort is niet gevonden in de Kromme Grouw. Na de Tubificidae is de *Chironomus* het meest aangetroffen taxon en komen ze voor op alle bemonsterde meetpunten.
- *Sigara striata* is een duikerwants die alleen is gevonden in de laatste vlooienvijver. Deze soort is tolerant ten opzichte van met name lage zuurstofgehalten, omdat ze in staat zijn om zuurstof uit de lucht in te ademen en niet van opgelost zuurstof in water afhankelijk zijn.
- *Radix balthica* is de ovale poelslak en is alleen in de laatste vlooienvijver gevonden. Deze soort heeft een hele brede ecologische range voor waterkwaliteit en substraat.
- *Erpobdella octoculata* is de achtogige bloedzuiger. Deze soort is een predator die leeft van kleine ongewervelden (zoals rode muggenlarven). Deze soort is alleen gevonden in de verzamelsloot van het rietfilter en in de paaibiotop (in hele lage dichtheden).
- *Asellus aquaticus* is de waterpissebed en leeft organisch materiaal op de bodem van het water en is een typische afvaleter die in grote hoeveelheden kan voorkomen. De waterpissebed behoort tot de functionele groep van de “knippers” en heeft dus bijvoorbeeld afgestorven plantendelen nodig om te eten. De waterpissebed is alleen gevonden in de paaibiotop en Kromme Grouw.

Positieve soorten

Positieve soorten komen voornamelijk onder goede omstandigheden veel voor en de soortenrijkdom is dan hoog. Positieve soorten zijn niet als kenmerkend voor een bepaald type te beschouwen (een soort die positief is voor type M1A is ook positief voor type M6B).

Positieve soorten die in Aqualân Grou zijn aangetroffen zijn:

- *Stylaria lacustris* (waterdraakje, plantminnende soort. Gevonden in de noordelijke vlooienvijver en de paaibiotop)
- *Musculium lacustre* (moerashoornschaal, schelpdier, in de laatste twee vlooienvijvers en in de paaibiotop)
- *Hippeutis complanatus* (soort schijfhoorn slakje, na de rietsloten en in de paaibiotop)
- *Dugesia lugubris* (soort platworm, na de rietsloten en in de paaibiotop)
- *Caenis robusta* (een haft, na de rietsloten)

3.3.6 Overige fauna

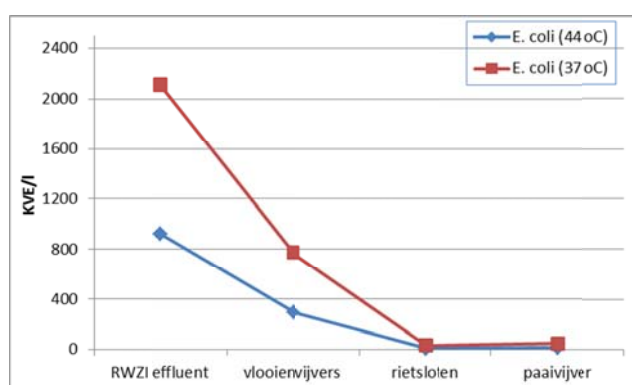
Zoals elke Waterharmonica is ook Aqualân Grou aantrekkelijk voor vogels. Waargenomen broedvogels zijn bijvoorbeeld kuifeend, slobbeend, wilde eend, krakeend, knobbelzwaan, stormmeeuw, scholekster, tureluur, meerkoet, waterhoen, gele kwikstaart en kleine karekiet. Daarnaast zijn ook lepelaars en ijsvogels en is een roerdomp gesignaleerd (Van der Boomen *et al* 2012a). In 2012 zijn drie tamme eenden ingezet om met name het eendenkroos in de opvangvijver na het rietfilter onder controle te houden. Daarnaast worden er regelmatig andere diersoorten gezien op het terrein van Aqualân, zoals kikkers en hazen.



Figuur 3.16: Nest van een scholekster op het wandelpad tussen de vlooienvijvers (april 2014) en overwinterende vogels op Aqualân (februari 2012).

3.3.7 Pathogenen

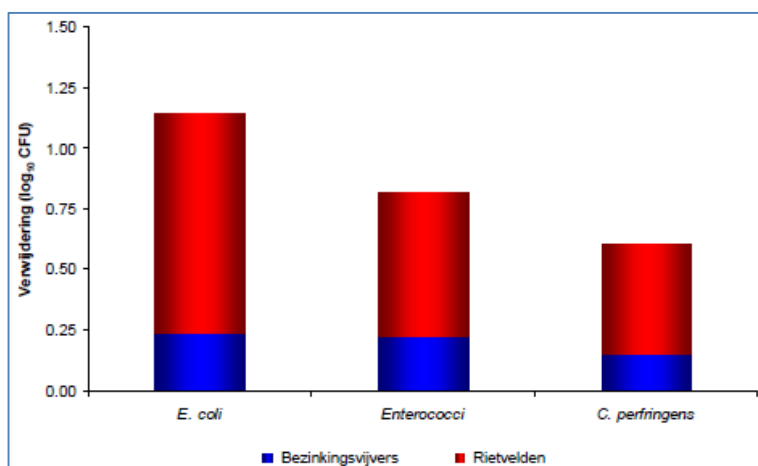
Ziekmakende bacteriën zoals *E. Coli* vormen één van de bestanddelen die in het effluent van de RWZI aanwezig zijn. Passage door Waterharmonica Aqualân Grou resulteert in een afname van ca. 98 % van *E. coli*. *E. coli* is een parameter waarvoor in de Zwemwaterrichtlijn normen zijn vastgesteld. Door de verwijdering van de *E. coli*'s in Aqualân bereikt het effluent bijna de goede kwaliteit van deze EU-zwemwaterrichtlijn (Van der Boomen et al 2012a). Het mesocosm onderzoek toonde aan dat met optimalisatie een nog hogere reductie van nutriënten en pathogenen mogelijk is. Een stageonderzoek aan de verdubbeling van de belasting van het rietfilter (en daarmee verkorting van de verblijftijd) liet zien dat dit wel leidt tot een toename van de *E. coli*'s in het effluent na het rietfilter (Limareva 2009).



Figuur 3.17: Jaargemiddelde aantal *E. coli* in Aqualân Grou (2006-2011)

In het WIPE-onderzoek is de afname van pathogenen in Aqualân onderzocht (Foekema et al 2012). Op basis van de metingen bleek duidelijk dat zuiveringsmoerassen een sterke bijdrage kunnen leveren aan de vermindering van gezondheidsrisico's die effluent van waterzuiveringen kunnen vormen door de verwijdering van *Escherichia coli*, *Enterococci* en *Clostridium perfringens*. Deze verwijdering is in zowel de bezinkingsvijvers als de rietsloten waargenomen, maar is sterker in de rietsloten (zie figuur 3.17).

Sedimentatie in de bezinkingvijvers lijkt maar weinig bij te dragen aan deze verwijdering. De begrazing door ongewervelden lijkt een belangrijkere factor te spelen in de vlooienvijvers, en dan vooral de aanwezigheid van kleine (<30 µm) trilhaardiertjes en amoeben. Deze rol van klein zoöplankton bleek ook in laboratoriumexperimenten omdat de verwijdering van *E. coli* voornamelijk wordt veroorzaakt door de kleinere zoöplankton soorten (<25µm).



Figuur 3.16: Gemiddelde verwijdering van *E.coli*, *Enterococci* en *Clostridium perfringens* na verblijf in de vlooienvijvers (blauw) en de rietsloten (rood) van 12 maandelijkse bemonsteringen in 2010 (Foekema *et al* 2012)

3.4 Ecologische sleutelfactoren

De ecologische sleutelfactoren (ESF) zijn ontwikkeld om te helpen bij het uitvoeren van een systeemanalyse (Von Meijenfeld *et al* 2014). Kenmerkend voor de methodiek van de ecologische sleutelfactoren is dat uitgegaan wordt van een zekere hiërarchie in voorwaarden voor ecologisch herstel. De waterplanten staan hierin centraal, omdat ze een cruciale rol spelen in het ecologisch functioneren van watersystemen. Andere soorten (macrofauna, vis) zijn in belangrijke mate afhankelijk van waterplanten.

De sleutelfactoren kennen een logische volgorde. Ze zijn op te delen in vier groepen:

- voorwaarden voor herstel van ondergedoken waterplanten (ESF 1, 2 en 3);
- voorwaarden voor herstel van gewenste soorten/soortgroepen (ESF 4, 5 en 6);
- voorwaarden van belang in specifieke situaties (ESF 7 en 8);
- voorwaarden die de omgeving stelt; afweging tussen doelen en functies (ESF 9).

De vlooienvijvers en rietsloten zijn kunstmatig aangelegde systemen die geoptimaliseerd zijn voor de zuiveringsfunctie waarbij het natuurlijke, ecologische functioneren ondergeschikt is. Het toepassen van de ESF is gericht op watersystemen. De paaihabitat voldoet wel daaraan, met de aanwezigheid van een oeverzone, diepere delen, vrije groei van waterplanten, geen afwissing. De beoordeling met de ESF heeft zich daarom toegespitst op de paaibiotop. De vlooienvijvers en rietfilter zijn ook beoordeeld, maar omdat daar het accent op de zuiveringsfunctie ligt, is de methodiek van de ESF minder geschikt om een goede uitspraak te doen.

Aqualân komt uit op De Kromme Grouw maakt deel uit van het KRW-waterlichaam "Friese boezem – grote ondiepe kanalen" (NL02L9a). Dit waterlichaam heeft als KRW-type M6b (Grote ondiepe kanalen met scheepvaart).

Uit de KRW-factsheet over dit waterlichaam (informatiehuis water 2014):

De productiviteit van het water (ESF1) wordt door belasting vanuit de landbouw sterk verhoogd. Het strakke peilbeheer zorgt voor grote debieten in het waterlichaam. Het lichtklimaat (ESF2) vormt een beperking voor de ontwikkeling van waterplanten. Hierdoor ontbreken tevens geschikte habitats voor macrofauna en vis. Recreatievaart leidt in beperkte mate tot oeverafslag (ESF4) door golfbewegingen en een verslechtering van het lichtklimaat (ESF2) door opwerveling van bodemmateriaal. De oevers van de ondiepe kanalen hebben op dit moment veelal een steil talud en er zijn vrijwel geen overgangs- of plasdraszones aanwezig (ESF4). Zowel de productiviteit van het water (ESF1) als de habitatgeschiktheid (ESF4) worden sterk benadeeld door het huidige strakke peilbeheer. Het ontbreken van oeverzones en overstromingsvlakten vormt een belemmering voor de groei van waterplanten en paaiplaatsen voor vis. De maatregelen voor natuurvriendelijke oevers worden hierop ingezet. Het onderhoud en beheer (ESF6) worden ook afgestemd op stimulatie van natuurontwikkeling en het creëren van geschikte habitats (ESF4).

ESF 1: Productiviteit water

De productiviteit van een water wordt voor een groot deel bepaald door de beschikbaarheid van nutriënten. Deze bevorderen de groei van planten en algen (productiviteit). Bij een korte verblijftijd (er stroomt veel water door het watersysteem) is de kwaliteit van het toestromende water bepalend. Als de productiviteit van het water dusdanig laag is dat er geen dominantie van kroos of algen ontstaat, staat ESF 1 'op groen'. Onder deze omstandigheden zijn kroos en algen niet belemmerend voor de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten.

In tabel 3.3 staat de concentraties totaal-N en totaal-P in de paaibiotop (2006-2011 en 2012-2013) en de Kromme Grouw (KRW-oordeel toestandsbepaling 2014).

Tabel 3.3: oordeel nutriëntenconcentraties op KRW-maatlat M6b (grote ondiepe kanalen met scheepvaart)

	Paaibiotop 2006 -2011	Paaibiotop 2012 -2013	Kromme Grouw KRW-oordeel 2014
Zomergemiddelde N	2,1 mg/l (goed)	2.0 mg/l (goed)	goed
Zomergemiddelde P	0,44 mg/l (matig)	0,48 (matig)	ontoereikend

De paaibiotop is dus een productief systeem. Echter: uit de vegetatieopnamen blijkt dat naast kroos ook submerse, drijvende en emerse vegetatie voorkomen. De soorten die zijn aangetroffen zijn wel soorten die goed om kunnen gaan met voedselrijke omstandigheden (riet, waterpest). Kortom: het paa habitat Aqualân is een (hoog) productief systeem, maar dit is niet belemmerend voor de groei van waterplanten. Dit komt ook mede door de korte verblijftijd van het water. Bij een korte verblijftijd is de kritische belasting om tot een algengedomineerd systeem te komen hoger, waardoor ondanks het eutrofe water de productiviteit toch geen probleem is. Hetzelfde is eigenlijk van toepassing op de vlooienvijvers en het rietfilter: de nutriëntenbelasting is hoog, maar door de korte verblijftijd ontstaat er geen algenbloei en kunnen er water- en oeverplanten groeien. Deze ESF staat op groen voor Aqualân (productiviteit is niet berekend).

ESF 2: Licht

De belangrijkste voorwaarde voor het voorkomen van waterplanten is voldoende licht. Zwevende deeltjes in het water beperkt de diepte tot waarop licht in het water doordringt. Het zomergemiddelde doorzicht in de paaibiotop Aqualân is circa 100 cm (meestal bodemzicht). Het zomergemiddelde doorzicht in de Kromme Grouw is circa 40 cm. Veel van het zwevend stof wordt afgevangen in de vlooienvijvers. Omdat er in alle drie de compartimenten volop waterplanten groeien en er geen problemen zijn met doorzicht is het lichtklimaat (ESF) dus niet beperkend.

ESF 3: Productiviteit bodem

Deze ecologische sleutelfactor richt zich op de beschikbare hoeveelheid nutriënten in de waterbodem en de wijze waarop deze nutriënten bijdragen aan de ecologische toestand. Als er licht op de waterbodem valt (ESF 2 'op groen'), kunnen waterplanten groeien. Wanneer in zo'n geval de bodem vol zit met nutriënten (ESF 3 'op rood') domineren snelgroeiende, ondergedoken waterplanten. Deze snelgroeiende soorten zijn aangetroffen in de paaibiotop en de vlooienvijvers (*Ceratophyllum demersum* en *Elodea nuttallii*), waardoor deze ESF op rood staat. In de rietsloten zijn de submerse soorten niet aangetroffen. Dat komt doordat de geringe waterdiepte een groot voordeel geeft aan de emerse vegetatie zoals riet (dat ook nog eens is aangeplant en een sterk groeiende soort is). Het is sterk aannemelijk dat ook de bodem in de rietsloten hoogproductief is.

ESF 4: Habitatgeschiktheid

Ecologische sleutelfactor 4 is gericht op de belangrijkste habitateisen die organismen aan hun omgeving stellen. Het gaat hierbij onder meer om de samenstelling van het water, zoals de aanwezigheid, hydrologische omstandigheden, zoals waterpeilfluctuatie en waterbeweging en morfologische kenmerken, zoals diepteverdeling en substraat.

Doordat de paaibiotop goed beschut ligt ten opzichte van de Kromme Grouw ontbreekt waterbeweging door scheepvaart ontbreekt. De oevers zijn flauw aangelegd waardoor emerse vegetatie goed kan groeien. In de paaibiotop is met eilandjes ook voldoende diepte-variatie aanwezig. Het ontbreken van een natuurlijke peilfluctuatie door het hanteren van vaste peilen in Fryslân is wel nadelig. De zuurstofcondities in de paaibiotop zijn wel weer in orde.

Wanneer deze ecologische sleutelfactor 'op groen' staat, is een geschikt habitat voor planten, vissen en/of macrofauna aanwezig. Dat is voor de paaibiotop het geval.

De vlooienvijvers en rietsloten zijn geoptimaliseerd op zuiveringsrendement en niet op ecologisch functioneren. In de paaibiotop ontbreekt bijvoorbeeld de land-waterzone, in de rietsloten juist weer de diepere waterzone. Deze ESF staat voor deze beide compartimenten op rood.

ESF 5: Verspreiding

Deze ecologische sleutelfactor gaat over de mogelijkheden voor organismen om zich te verplaatsen van én naar watersystemen. De paaibiotop staat in open verbinding met de Kromme Grouw en is daarmee goed bereikbaar voor soorten. Voor de rietfilters en vlooienvijvers is dat niet het geval. Weliswaar zijn de tiendoornige stekelbaarsjes in staat geweest om het systeem te koloniseren, dat geldt niet voor andere soorten. Dat komt mede door het peilverschil tussen paaibiotop en rietfilter en vlooienvijvers. Deze sleutelfactor staat op rood. Dat is overigens geen probleem omdat de vlooienvijvers en rietsloten voor het functioneren ook niet bereikbaar hoeven te zijn voor soorten.

ESF 6: Verwijdering

Als de habitatdiversiteit en de verbinding van een watersysteem voldoen (ESF 4 en 5), kunnen specifieke soorten planten en dieren aanwezig zijn in het systeem. Als ze echter uit het systeem worden verwijderd, bijvoorbeeld door onderhoudswerkzaamheden of door vraat van ganzen, worden ze niet of weinig teruggevonden in het watersysteem.

Bij verwijdering door onderhoudswerkzaamheden worden de hoeveelheid planten en dieren, en de aanwezigheid van bepaalde soorten in belangrijke mate bepaald door de methode van onderhoud. Het hangt af van het gebruikte materieel, het tijdstip in het jaar waarop de werkzaamheden plaatsvinden en hoe frequent het onderhoud wordt uitgevoerd. Dit lijkt voor de paaibiotop geen probleem te zijn.

Het riet wordt jaarlijks gemaaid maar komt elk jaar weer terug in de rietsloten (doordat ondergrondse wortels wel achterblijven), dus ook daar is de verwijdering geen probleem. In de vlooienvijvers wordt elk jaar de vegetatie gemaaid en afgevoerd en de stekelbaarsjes weggevangen. Ook dat is niet belemmerend voor deze soorten.

ESF 7: Organische belasting

Een hoge organische belasting kan leiden tot zuurstofloosheid, doordat er zuurstof nodig is voor het afbreken van de organische stoffen in het watersysteem. Het effect van organische belasting is veelal tijdelijk en lokaal. Een hoge organische belasting kan leiden tot zuurstofloosheid, doordat er zuurstof nodig is voor het afbreken van de organische stoffen in het watersysteem. Dit kan resulteren in het sterven van organismen die afhankelijk zijn van zuurstof in het water, zoals vissen, maar ook in het groeien van bepaalde bacteriën die giftige stoffen produceren.

In principe zuivert Aqualân het effluent van de RWZI. Dit effluent voldoet aan de lozingsnormen, ook voor het biologisch zuurstofverbruik (BZV). Het BZV in Aqualân neemt iets toe met de passage door deze waterharmonica. Het zomergemiddelde BZV in de paaibiotop is 1.6 mg/l. Verder heeft onderzoek laten zien dat Aqualân goed in staat is om de pieken op te vangen. De organische belasting in de paaibiotop is dus hoger (mede ook door productie zwevend stof) dan in een gezond systeem, maar dit levert geen problemen op in de paaibiotop waardoor de organische belasting niet beperkend zal zijn.

De organische belasting die met de RWZI-effluent meekomt is hoog, maar wordt grotendeels afgevangen in de vlooienvijver (ESF rood). De organische belasting in de rietfilter en vervolgens de paaibiotop is daardoor een stuk lager (ESF groen).

ESF 8: Toxiciteit

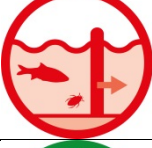
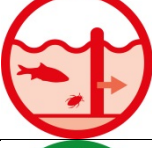
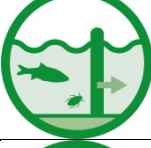
Bepaalde stoffen in het watersysteem kunnen een toxisch effect hebben op de aanwezige planten en dieren. Het gaat hierbij om zware metalen, pesticiden, medicijnresten en andere microverontreinigingen. Het effect van deze verontreinigingen hangt onder meer af van de plaats waar de stoffen zich in het systeem bevinden en van de vorm waarin ze voorkomen.

Het WIPE-onderzoek laat zien dat de totale concentratie aan microverontreinigingen daalt in de loop van het zuiveringsmoeras bij rwzi Grou, maar dat niet alle verontreinigingen verdwijnen. Incidentele pieken in de estrogene activiteit van het effluent zoals deze vooral werden aangetroffen bij rwzi Grou worden bij volledige passage van het zuiveringsmoeras sterk verlaagd maar ook niet helemaal verwijderd.

ESF 9: Context

Watersystemen in Nederland vervullen uiteenlopende functies. Denk aan de aan- en afvoer van water voor de landbouw, een positieve beleving van de omgeving door mensen, het mogelijk maken van recreatie, het zorgen voor veiligheid en het mogelijk maken van én bijdragen aan natuur. De negende sleutelfactor brengt in beeld wat de ruimte is voor verbetering van de ecologische kwaliteit in de bredere context van een watersysteem en of er geen conflicten met andere functies bestaan. Het combineren van functies is de kern voor Aqualân zodat deze sleutelfactor op groen staat.

Tabel 3.4: Samenvatting oordelen ecologische sleutelfactoren

Ecologische Sleutelfactor		vlooienvijvers	rietsloten	paaihabitat
1	Productiviteit water			
2	Licht			
3	Productiviteit bodem			
4	Habitatgeschiktheid			
5	Verspreiding			
6	Verwijdering			
7	Organische belasting			
8	Toxiciteit			
9	context			

4 VERDIEPEND ONDERZOEK & EDUCATIE

Aangezien Aqualân is opgezet als een pilot is vanaf 2006 ook uitgebreid onderzoek uitgevoerd, door het Wetterskip zelf maar bijvoorbeeld ook door maar ook door de Universiteit van Amsterdam, Vrije Universiteit, Deltares en Wageningen UR.

De belangrijkste onderzoeken betreffen:

1. Basismonitoring aangevuld met onderzoek aan variatie in beheer van Aqualân en onderzoek aan het effect van variërend waterpeil en belastingen op het functioneren (Wetterskip, Van Hall Instituut) zie Van der Boomen *et al* 2012a, Van Herpen *et al* 2014, Limareva 2009)
2. Begeleidend mesocosms onderzoek naar processen in de vlooienvijvers: (Van der Boomen *et al* 2012a, Kampf *et al* 2014)
3. Stowa onderzoek naar verwijdering van zwevend stof en naar reductie van pathogenen: Stowa, Waternet (Van der Boomen *et al* 2012b/c, Mulling 2013)
4. KRW-innovatieonderzoek naar ecotoxiciteit (WIPE Waterharmonica Improving Purification Effectiveness): Imares. Delaters, Wageningen University
5. Onderzoek verricht aan de radiestetische eigenschappen van het nabehandelde effluent (vitaal water concept).

Naast onderzoek is Aqualân ook in gebruik voor onderwijs voor studenten van onder andere het Van Hall Instituut en de Vrije Universiteit. De VMBO opleiding Sevenwolden te Grou maakte van Aqualân voor twee jaren een scholenproject. Daarnaast zijn er door Nederlandse en internationale studenten in totaal acht stage-onderzoeken verricht op Aqualân. Verder zijn er diverse werkbezoeken gebracht door internationale en nationale delegaties (professoren, studenten, leden van de Tweede Kamer). Tot slot heeft Aqualân Grou ook een belangrijke verbindende functies gehad binnen het Wetterskip voor de afdelingen zuiveringsbeheer (waterketen) en plannen (watersystemen).

4.1 Onderzoek beheer en verblijftijd

In 2012 en 2013 is onderzoek verricht aan het functioneren van Aqualân bij een lager debiet (10% totaal debiet RWZI). Voor stikstof ligt het verwijderingsrendement hoger bij het lage debiet (en dus grotere verblijftijden). Ook in absolute stikstofverwijdering in kg/jaar presteert Aqualân iets beter bij het lage debiet. Ook voor fosfor ligt het verwijderingsrendement voor Aqualân hoger bij het lage debiet. Echter: als wordt gekeken naar de totale kg P-verwijdering dan functioneert Aqualân beter bij het hoge debiet (Van Herpen *et al* 2014)

Tabel 4.1: Zuiveringsrendement en verwijdering stikstof en fosfor door Aqualân; gebaseerd op mediane waarden voor de meetperiode april – november

Debiet m3/dag	Rendement (%)		Verwijdering (kg / ha / jaar)	
	fosfor	stikstof	fosfor	stikstof
1200 (2007-2011)	31%	15%	74	218
480 (2012-2013)	42%	38%	60	240

In 2009 is een onderzoek uitgevoerd aan de effecten van een dubbele belasting van beide buitenste rietsloten en nul-belasting van de twee binnenste rietsloten (gedurende periode van drie weken). Dit onderzoek liet zien dat een dubbele belasting qua zuiveringsrendement goed mogelijk is, maar dat dat wel ten koste gaat van de verwijdering van pathogenen (Limareva 2009).

4.2 Mesocom onderzoek

In de periode medio 2007 t/m 2010 is Aqualân aangevuld met een proefopstelling in acht 1 m³ mesocosm bakken om de populatiedynamica en graasgedrag van watervlooien nader te bestuderen.



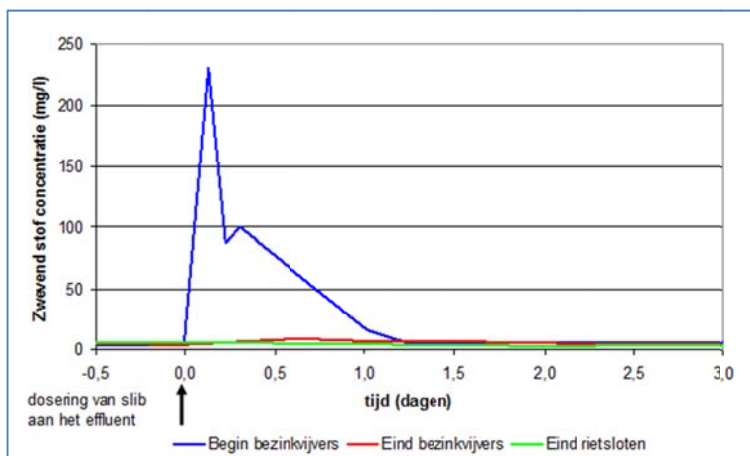
Figuur 4.1: De mesocosm opstelling, aangelegd naast de vlooienvijvers

Uit het onderzoek kwam naar voren dat de aantallen watervlooien in “optimale” vlooienvijvers aanzienlijk hoger kunnen zijn, zeker in afwezigheid van vis stekelbaarsjes. De mesocosm waren ook effectiever omdat ze in vergelijking met de vlooienvijvers veel minder kortsluitstromen vertoonden. De NH₄ reductie was met 70-80 % veel hoger dan in de vlooienvijvers (ongeveer 1.000 kg N/ha.jaar. Denitrificatie van NO₃ treedt vrijwel niet op door het nog steeds beschikbare zuurstof in de laatste mesocosm bakken. De P-verwijdering bleef beperkt. 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 circa 1 dag verblijftijd en 96, 99,7 en 99,4% bij 2 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%.

Het mesocosm onderzoek gaf concreet aanwijzingen voor ontwerp, beheer en onderhoud van vlooienvijvers (Kampf *et al* 2014).

4.3 Piekbelastingen

Het onderzoek van Van der Boomen *et al* (2012b/c) laat zien dat het vermogen van Waterharmonica Aqualân om piekbelastingen (zoals slibuitspoeling) op te vangen zeer effectief is. Bij een gecontroleerde slibuitspoeling bleef 97% daarvan achter in de Waterharmonica, het overgrote deel al in de vlooienvijvers. Ook pieken van nutriënten en pathogenen in het effluent worden sterk afgevlakt en zijn aan het einde van dit aquatisch systeem verdwenen.

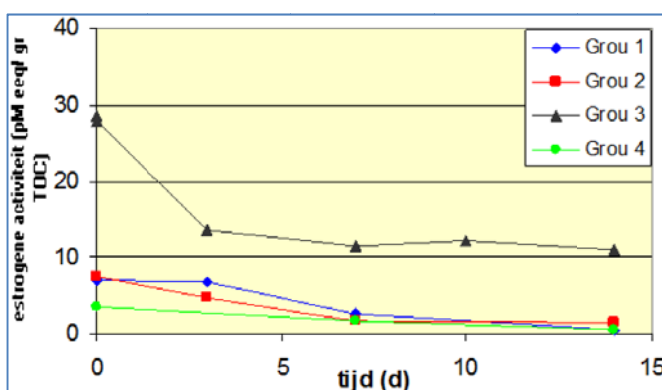


Figuur 4.1. Verloop concentratie zwevend stof in de achtereenvolgende Waterharmonica componenten van Aqualân Grou tijdens een kunstmatig opgewekte sluibuitspoeling (november/december 2009). (Van der Boomen et al 2012b).

4.4 Landelijk onderzoek WIPE

Landelijk onderzoek aan het RWZI-effluent heeft laten zien dat het effluent veel stoffen bevat die de hormoonhuishouding van dieren kunnen beïnvloeden (hormoonontregelaars). Deze stoffen kunnen bijvoorbeeld zorgen voor vervrouwelijking van vissen (RIZA 2002 Hormoonontregeling boven water, LOES-onderzoek). In RWZI's worden veel van deze stoffen al grotendeels verwijderd, maar een deel ervan komt via het effluent in het oppervlaktewater. Het WIPE onderzoek voor Aqualân laat zien dat incidentele pieken in de oestrogene activiteit van het effluent bij volledige passage van het zuiveringsmoeras sterk worden verlaagd.

De resultaten van in vitro (op driedoornige stekelbaarsjes) onderzoek laten een grote variatie in toxiciteit in de tijd zien. Vrijwel alle analyses laten zien dat de toxische potentie van microverontreinigingen in de loop van het moeras afneemt.

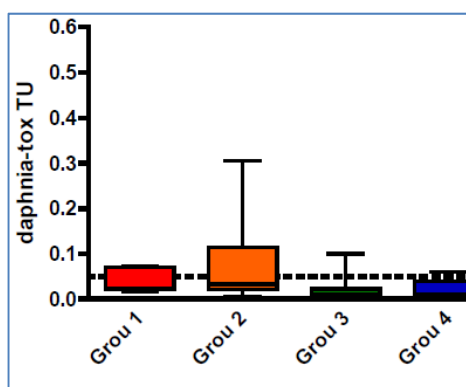


figuur 4.2: Afname van de oestrogene activiteit in Aqualân Grou. 1: vlooienvijvers; 2: rietfilter; 3: verzamelsloot einde rietsloten; 4: paaibiotop. (Foekema et al 2012)

Laboratoriumonderzoek met water en bodemmateriaal uit Aqualân laat zien dat het verblijf in een zuiveringsmoeras een positieve invloed op de afname van de oestrogene activiteit, want de gemeten activiteit is in punt 1 (RWZI effluent) hoger dan in punt 4 (paaibiotop). Dit geeft aan dat het zuiveringsmoeras bijdraagt aan een afname van de oestrogene activiteit van het moeras. Dit kan een combinatie zijn van microbiële omzetting en adsorptie aan het sediment.

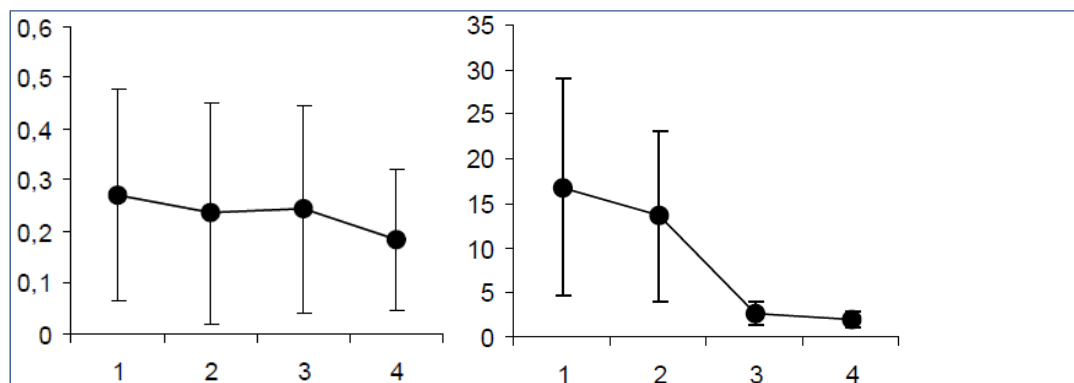
Daarnaast is een onderzoek uitgevoerd met driedoornige stekelbaarzen in mesocosms die bloot werden gesteld een continue aanvoer van effluent uit het zuiveringsmoeras. Hormoonverstoring van vissen als gevolg van stoffen uit RWZI-effluenten is ook in Nederland aangetoond. Met de proefopzet wordt de situatie gesimuleerd waarbij volwassen stekelbaarzen de zuiveringsmoerassen binnen trekken en zich daar op verschillende plaatsen voortplanten. De resultaten laten zien dat uitgezette stekelbaarzen op alle posities bij RWZI Grou goed kunnen overleven en tot voortplanting komen, en dus dat de hormoonverstoring beperkt is.

De in-vivo testen met de daphnia's bevestigen het beeld dat de toxiciteit van het effluent tijdens de passage van het zuiveringsmoeras afneemt (zie figuur 4.3).



Figuur 4.3: De gemiddelde toxiciteit per locatie van het effluent extract gemeten met de daphnia test uitgedrukt als toxic units (TU). De horizontale stippellijn geeft de grens aan waarboven milieurisico niet uitgesloten kan worden. 1: vlooienvijvers; 2: rietfilter; 3: verzamelsloot einde rietsloten; 4: paaibiotop. (Foekema et al 2012)

Het WIPE-onderzoek laat ook zien dat de concentraties van organische microverontreinigingen in het effluent weinig veranderen tijdens het doorlopen van Aqualân (Figuur 4.4 links). Het verwijderingsrendement van de RWZI's is al zo hoog, dat het zuiveringsmoeras hier niet veel meer aan kan bijdragen. Op basis van de stoffen kan ook een theoretisch gesommeerd milieurisico (risico-coëfficiënt) worden berekend. Dit gesommeerde milieurisico neemt wel af in Aqualân (Figuur 4.4 rechts onder). Deze daling wordt vooral veroorzaakt door afname van de gehalten aan insecticiden, de groep die van de gemeten stoffen de grootste bijdrage levert aan het milieurisico (risicocoëfficiënt) (Foekema et al 2012).



Figuur 4.4: Gemiddelde vracht (links) en berekende risico-coëfficiënt (rechts) van de groep van insecticiden, inclusief standaarddeviaties. 1: vlooienvijvers; 2: rietfilter; 3: verzamelsloot einde rietsloten; 4: paaibiotop. (Foekema et al 2012)

4.5 Radiëstetisch onderzoek

In 2013 is een onderzoek verricht aan de radiëstetische eigenschappen van het nabehandelde effluent (vitaal water concept) (Silvis 2013). Volgens het radiëstetisch onderzoek neemt de biofysische energie-inhoud van het effluent bij nabehandeling in Aqualân toe. Oftewel: Aqualân heeft een overduidelijk positief effect op de kwaliteit van het effluent waar het gaat om de intrinsieke (energetische) kwaliteit van het water. Daarentegen blijkt uit de radiëstetische metingen dat er vrijwel geen verbetering in het moerassysteem plaats vindt voor de energetische belasting van het water met hormoonachtige stoffen en medicijnresten. Dit werd ook geconcludeerd in het WIPE-onderzoek. Eenzelfde onderzoek is ook uitgevoerd aan Soerendonk. Daar bleek dat deze Waterharmonica wat beter functioneerde dan Aqualân Grou, waarschijnlijk door de aanwezigheid van flowforms in de Waterharmonica.

4.6 Educatie, voorlichting en communicatie

Aqualân heeft als proefproject veel betekend voor de educatie van scholieren (Van Hall, de UvA, VMBO) en waterbeheerders in Nederland. Toelichting van de klaarmeester en uitleg op vier informatieborden heeft deze voorlichting mogelijk gemaakt. Doordat Aqualân buiten de hekken van de RWZI is aangelegd, er parkeerplaatsen zijn en er een wandelroute door is aangelegd, is het systeem vrij en goed toegankelijk voor bezoekers. Er is zelfs sinds 2013 een geocache (speurtocht met GPS) aanwezig op het terrein van Aqualân.

In augustus 2008 heeft een groep studenten van de UvA een biodiversiteitscheck gedaan. Hiervan is echter geen rapportage beschikbaar. Ook komt er jaarlijks een groep studenten van Van Hall Larenstein om naar het functioneren van het systeem te kijken. Hiervan wordt geen rapportage opgeleverd. Tevens zijn in de periode 2007-2011 verschillende stageonderzoeken verricht, zowel op Aqualân als aan de mesocosms bakken, waarvan eveneens rapportages beschikbaar zijn. Deze stages zijn verricht vanuit het Wetterskip.

Tabel 4.1: Overzicht stageverslagen Aqualân Grou.

jaartal	naam	auteur	referentie
2007	Waterzuivering Grou	Tineke Dijkstra	(Dijkstra, 2007)
2008	Van effluent naar natuurlijk oppervlaktewater	Linde van den Burgh	(Burgh, 2008)
2009	Constructed wetland Aqualân	Anastasia Limareva	(Limareva, 2009)
2009	Removal of SS and pathogens	Thipsuda Jitprasarn	(Jitprasarn, 2009)
2009	Waterharmonica Grou, efficiency	Jessy Rietdijk	(Rietdijk, 2009)
2010	Water fleas in the Waterharmonica	Niels Moed	(Moed, 2010)
2010	Waterharmonica evaluation 3 years monitoring	Piyanuch Rattip	(Rattip, 2010)
2011	Werking van Waterharmonica Aqualân	Richtje Willemsma	(Willemsma, 2011)

In juli 2007 heeft een delegatie van de Tweede Kamer een bezoek gebracht aan Aqualân.



Figuur 4.4: Bezoek leden Tweede Kamer aan Aqualân (19 juli 2007)

5 STERKE EN ZWAKKE PUNTEN

5.1 Sterke punten

Waterharmonica's in het algemeen en Aqualân in het bijzonder hebben een aantal sterke punten. Deze zijn in de hiervoor beschreven hoofdstukken aan bod gekomen.

Afdoden pathogenen

Zo'n 98% van alle pathogenen die in het effluent van de nabezinktank zitten worden in de waterharmonica afgedood en komen dus niet in het oppervlaktewater terecht. De kwaliteit van het water dat wordt geloosd voldoet bijna aan de zwemwaternormen.

Zuivering nutriënten

De RWZI's hebben een zuiveringsrendement van zo'n 85% voor stikstof en fosfor. Aqualân Grou zorgt voor extra verwijdering van stikstof en fosfor in het RWZI effluent van zo'n 25% via de zuiverende werking van de vlooienvijvers en de rietsloten.

Verbeteren zuurstofhuishouding

Het zuurstofgehalte in het RWZI-effluent is laag. Gedurende het verblijf in Aqualân wordt dit steeds beter, zodat het water dat op de Kromme Grouw wordt geloosd voldoende zuurstof bevat.

Opvangen piekbelasting

De waterharmonica is bij piekbelasting van de RWZI goed in staat om pieken in zwevend stof en zuurstoftekorten af te vangen waardoor deze niet uitkomen op het oppervlaktewater.

Paai- en opgroeihabitat vis

In totaal zijn 16 verschillende soorten vis aangetroffen in het paaihabitat en van 11 soorten is ook broed gevonden. De paaibiotop is daarmee een broedkamer voor de Kromme Grouw.

Educatie

Aqualân is voor diverse onderwijsprojecten gebruikt. Er zijn acht stagerapporten geschreven over Aqualân, er is een promotie-traject afgerond en nog een promotietraject gaande over Aqualân.

Verminderen wakvorming

Doordat het lozingspunt voor het warme RWZI-effluent op Aqualân uitkomt heeft het water nog tijd om af te koelen voordat het in de Kromme Grouw uitkomt. Dat zorgt voor minder wakvorming in de winter.

Public Relations

Aqualân is publiek toegankelijk. informatieborden geven uitleg over de werking van de RWZI en Aqualân. Daarmee is Aqualân een goede ambassadeur voor de waterschapstaken naar het brede publiek.

Vermeden kosten

Landelijk is in een aantal publicaties een inschatting gemaakt voor de “vermeden kosten”. Vermeden kosten zijn kosten die niet gemaakt hoeven te worden doordat de activiteiten al in een ander project zijn opgenomen. Dit criterium kan geschat worden, redenerend vanuit de RWZI, maar ook vanuit het beheer van oppervlaktewater of natuurbeheer (Van der Boomen en Kampf 2013).

Twee voorbeelden:

- als er geen aanvullende technische pathogenen verwijdering (bijv. UV-desinfectie) nodig is, bedragen de vermeden kosten 0,20 €/m³;
- voor een waterberging worden landelijk vermeden kosten genoemd van € 3,50/m³. Dit houdt in dat voor de retentie van 100.000 m³ in Waterharmonica het gaat om een bedrag van € 350.000 aan “vermeden kosten”.

Geen wegzijging

Onder Aqualân is een kleilaag aanwezig waardoor er geen sprake is van wegzijging

Eigen grond

Aqualân Grou is aangelegd op eigen grond van het Wetterskip.

5.2 Zwakke punten

Kosten

De investeringskosten voor Aqualân Grou waren € 215.000 (prijsspeil 2006, exclusief BTW). De grond was al in eigendom van het Wetterskip. De jaarlijkse exploitatie kosten bestaan vooral uit onderhoud, energie, monitoring en een jaarlijkse reservering voor groot onderhoud. De jaarlijkse kosten bedragen in de periode 2006-2013 € 35.500,- (onderhoud, monitoring en reservering voor groot onderhoud). Met het stilleggen van de monitoring na 2013 zijn deze kosten gedaald tot € 18.500,-. Het betreft hier wel extra exploitatiekosten bovenop de exploitatiekosten voor de RWZI.

De RWZI loost onder vrij verval op de boezem. Het water stroomt onder vrij verval door Aqualân. Dat betekent wel dat aan het einde van Aqualân het water weer omhoog gepompt moet worden naar de boezem. Dit kost energie. Deels gebeurt het oppompen met een windmolen, maar bij windstille periodes wordt een elektrische pomp gebruikt.

Met een bedrag van € 39.000 per hectare (Aqualân is 1,1 ha groot) liggen de kosten voor beheer en onderhoud van Aqualân boven in de range van kosten van Waterharmonica's in Nederland. Dit komt mede door de beperkte omvang van Aqualân met toch de vaste basiskosten en forse monitoringskosten (die onafhankelijk zijn van de grootte van een systeem). Na het stoppen van de monitoring in 2013 komen de kosten bij het huidige debiet van 720 m³/dag uit op € 0,11 / m³. Dit komt overeen met de kosten zoals deze in de Stowa rapportage over waterharmonica's in Nederland zijn opgegeven:

Hergebruik water

Het water van Aqualân wordt momenteel niet hergebruikt maar rechtstreeks geloosd op de Kromme Grouw

Waterberging

Het terrein van Aqualân is momenteel niet ingericht voor waterberging. Aqualân ligt in een polder ten opzichte van de boezem en heeft dus wel potentie om te functioneren als waterberging. Hiervoor zijn dan nog wel investeringen in de vorm van kades nodig.

Vlooienvijvers

De vlooienvijvers functioneren maar handhaven van de populatie watervlooien vraagt veel beheer. Zo lukt het bijvoorbeeld niet om de vlooienvijvers visvrij te houden.

Ruimtebeslag

Aqualân is aangelegd op de bij de RWZI beschikbare grond van het Wetterskip. De hoeveelheid grond liet een waterharmonica toe die 25% van het effluent kan verwerken. Bij verwerken van 100% van het RWZI effluent is een terrein nodig dat 3 à 4 keer zo groot is.

6 CONCLUSIES

6.1 Werking

Aqualân Grou bestaat uit drie compartimenten: vlooienvijvers, rietfilter en een paaibiotop. Door Aqualân is een duidelijke gradiënt zichtbaar in de waterkwaliteit: nutriënten gehalten en pathogenen nemen af, zuurstof neemt toe.

De afdoding van pathogenen die wordt bereikt is circa 98% waarmee het water dat wordt geloosd uit Aqualân bijna voldoet aan de zwemwaterkwaliteit. Qua zuiveringsrendementen worden verwijderingspercentages van gemiddeld 25% bereikt. Onderzoek aan dubbele belasting van de rietsloten en het verlagen van het totale debiet laten zien dat Aqualân qua verwijdering van nutriënten ook goed kan functioneren bij een hogere belasting (debiet van 1.200 m³/dag oftewel 25%).

Daarnaast laat Aqualân een toename zien van het biologisch leven gedurende het verloop door het moeras: de visstand, aantal soorten waterplanten en macrofauna zijn allen een stuk beter in het paaibiotop dan in de vlooienvijvers die het RWZI-effluent als eerste moeten verwerken. De paaibiotop is een waardevolle aanvulling voor de Kromme Grouw gelet op het paaisucces dat daar is vastgesteld bij de visstand-onderzoeken.

In vergelijking met de andere Waterharmonica's in Nederland is Grou een van de kleinste. Hierdoor zijn de kosten per verwerkt i.e. relatief hoog. Wat betreft verwijderingsrendement is Aqualân wel een van de beter presterende Waterharmonica's.

6.2 Functioneren

Hoe goed heeft Aqualân gefunctioneerd vergeleken met de gestelde doelen (rendementen, ecologische sleutelfactoren) en verwachtingen?

Het Waterharmonica Aqualân is opgezet als pilot met als doel om de haalbaarheid en doelmatigheid van een Water-harmonica's in Fryslân te onderzoeken. Aqualân Grou heeft naar verwachting gefunctioneerd. Er is sprake van afdoding van pathogenen, aanvullende verwijdering van nutriënten, het opvangen van piekbelastingen die anders rechtstreeks in het oppervlaktewater zouden zijn gekomen en het verbeteren van de zuurstofhuishouding van het geloosde water. Tenslotte vervult de paaibiotop een erg belangrijke rol als paai- en opgroei-habitat voor vissen.

Onderzoek heeft laten zien dat qua totale verwijdering voor fosfor (kg/jaar) Aqualân effectiever is bij een hoog debiet (25% van RWZI) dan laag debiet (10% van RWZI). Dit is weer van belang met het ook op de KRW-doelen voor het ontvangende waterlichaam. Voor de verwijdering van stikstof is een laag debiet en lange verblijftijd beter. Echter vanuit KRW-optiek is stikstof voor het ontvangende oppervlaktewaterlichaam geen probleem.

De ecologische sleutelfactoren zijn ontwikkeld om te helpen bij het uitvoeren van een systeemanalyse (Von Meijenfeld *et al* 2014). Kenmerkend voor de methodiek van de ecologische sleutelfactoren is dat uitgegaan wordt van een zekere hiërarchie in voorwaarden voor ecologisch herstel. De waterplanten staan hierin centraal, omdat ze een cruciale rol spelen in het ecologisch functioneren van watersystemen. Andere soorten (macrofauna, vis) zijn in belangrijke mate afhankelijk van waterplanten. Wat betreft de ecologische sleutelfactoren voor Aqualân vormen eigenlijk alleen de waterbodem en de toxiciteit van het effluent een aandachtspunt.

Tabel 6.1: samenvatting oordelen ecologische sleutelfactoren voor paaihabitat

Ecologische Sleutelfactor	Oordeel paaihabitat
1 Productiviteit water	
2 Licht	
3 Productiviteit bodem	
4 Habitatgeschiktheid	
5 Verspreiding	
6 Verwijdering	
7 Organische belasting	
8 Toxiciteit	
9 context	

6.3 Lessen

Welke lessen zijn uit het functioneren van Aqualân te trekken voor het ontwerp en bedrijfsvoering van toekomstige vergelijkbare Waterharmonica systemen?

De sterke kanten van Aqualân zijn:

- Afdoden pathogenen
- Opvangen piekbelasting
- Extra zuivering nutriënten
- Paai- en opgroeihabitat vis
- Educatie & recreatie
- Ecologiseren effluent
- Verbinden waterketen en watersysteem binnen het Wetterskip
- Public relations, aandacht en een goede beeldvorming
- Verminderen wakvorming bij lozingspunt door afkoeling voor lozing
- Dikke kleilaag onder Aqualân aanwezig waardoor er geen sprake is van wegzijging

De zwaktes van Aqualân zijn:

- Extra exploitatiekosten ten opzichte van alleen een RWZI
- 25% van totaal effluent wordt behandeld
- Geen hergebruik water
- Ruimtebeslag bij RWZI
- Energiekosten voor omhoog pompen water van rietfilter naar paaibiotop
- Vlooienvijvers functioneren maar handhaven populatie watervlooiën vraagt veel micromanagement
- Afkalving oevers vlooienvijvers
- Het lukt niet om vlooienvijvers visvrij te houden
- Ruimtebeslag (bij nabehandeling van alle effluent vier keer zo veel oppervlak)

Kansen voor Aqualân zijn:

- Vermindering zuiverings-inspanning RWZI door benutten capaciteit Aquâlan
- Bijdrage aan bereiken van KRW-doelen van Kromme Grouw
- Bijdrage aan de NBW-opgave door mogelijke waterberging
- Beperken kosten onderhoud door opbrengsten van riet,
- Samenwerking met agrariërs, “waterboeren” (groen-blauwe diensten)

In vergelijking met de andere Waterharmonica's in Nederland is Grou de kleinste. Hierdoor zijn de kosten per verwerkt i.e. relatief hoog. Wat betreft verwijderingsrendement is Aqualân wel een van de beter presterende Waterharmonica's.

Tabel 6.2: Aqualân Grou in vergelijking met andere waterharmonica's, € geïndexeerd naar 2012 (Van der Boomen en Kampf 2013)

Waterharmonica	waterschap	Oppervlakte (ha) netto	Debiet m ³ /s (max)	Verwijderingsrendement		Investeringskosten €/i.e.
				N-verwijdering	P-verwijdering	
Aqualân	Fryslân	0,8	1.200	20%	38%	23,55
Elburg	Vallei & Veluwe	15	10.000	n.b.	n.b.	2,20
Eversteekoo Texel	Noorderkwartier	1.3	3.500	25%	8%	11,65
Klaterwater Kaatsheuvel	Brabantse Delta	7.1	1.380	66%	99%	125,45
Kristalbad	Vechtstromen	21.5	35.750	n.b.	n.b.	18,38
Land van Cuijk Haps	Aa en Maas	3.6	8.650	17%	2%	10,30
Ootmarsum	Vechtstromen	2.3	3.030	24%	9%	11,10
Sint Maartensdijk	Schelde-stromen	1	2.4000	17%	- 38%	3,20
Sint-Oedenrode	De Dommel	4.7	16.000	n.b.	n.b.	-
Soerendonk	De Dommel	2.8	5.000	n.b.	n.b.	41,45
Tilburg – Moerenburg	De Dommel	5	54.500	n.b.	n.b.	-
Tilburg Noord	Brabantse Delta	19.5	275.000	n.b.	n.b.	1,42
Vollenhove	Reest en Wieden	1	1.500	n.b.	n.b.	6,30
Groote Beerze Hapert	De Dommel	3.8	7.200	11%	- 8%	11,65

6.4 Flankerend beleid

Welke flankerend beleid wordt met Aqualân bediend naast verbetering van fysisch-chemische en ecologische waterkwaliteit.

Ruimte:

Bij de RWZI Grou was voldoende ruimte beschikbaar in eigen beheer om een waterharmonica aan te leggen die goed is voor de nazuivering van 25% van het debiet van de RWZI. In de omgeving van Aqualân is nog ruimte beschikbaar voor uitbreiding, maar deze grond is niet in eigendom van het Wetterskip.

Lozingsnorm

RWZI Grou voldoet ook zonder de nazuivering in Aqualân al aan de lozingsnormen.

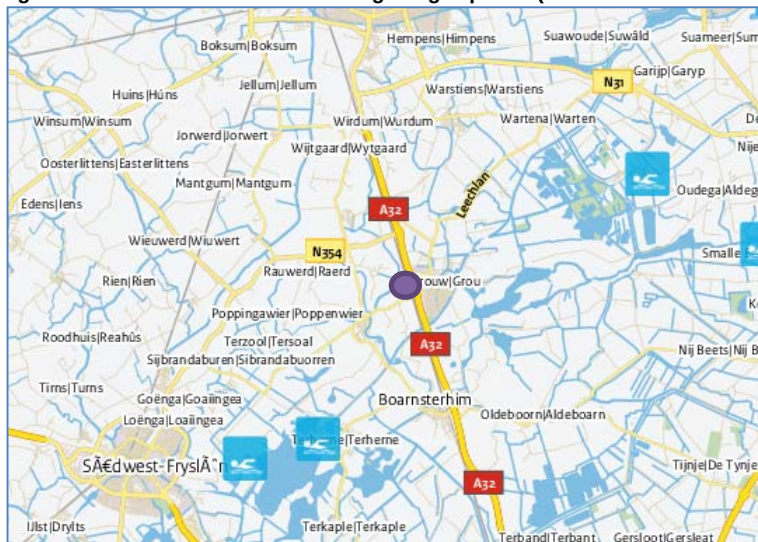
KRW-doelen

Aqualân Grou draagt bij aan de KRW-doelen voor het verminderen van de nutriëntenbelasting (met name relevant voor fosfor) en het creëren van paaihabitat voor vis. Daarnaast draagt Aqualân bij door het afvlakken van pieken van BZV/nutriënten/zwevend stof en het verminderen van de toxiciteit van het effluent (insecticiden).

Zwemwater (gezond water)

Aqualân Grou zorgt voor 98% afdoding van *E.coli* dat uit het RWZI-effluent anders in de de Kromme Grouw zou komen. De Kromme Grouw is niet aangewezen als zwemwaterlocatie. In de omgeving is ook geen officieel zwemwater aanwezig.

figuur: 6.1 Zwemwaterlocaties in omgeving Aqualân (bron: www.zwemwater.nl)



Versterking natuur

Aqualân draagt bij aan de visstand in de Kromme Grouw. Verder zitten er opvallend veel kikkers (Van der Boomen et al, 2012a) en biedt het broed- en foegareergebied voor zeer veel vogelsoorten.

Vispaaiplaats

Uit de vistandbemonsteringen blijkt dat Aqualân Grou goed werkt als vispaaiplaats.

Waterberging

Er is geen waterberging in Aqualân. Hier is wel ruimte voor beschikbaar. Aqualân ligt lager dan de boezem en kan met aanpassingen (kades rondom Aqualân) ook geschikt worden gemaakt als waterberging.

Recreatie

Aqualân Grou is toegankelijk voor het publiek. Via een schelpenpad kunnen bezoekers tussen de vlooienvijvers naar het rietfilter lopen. Een pad tussen het riet leidt vervolgens naar een brug over de verzamelvijver naar het paaihabitat. Onderweg komen wandelaars informatieborden tegen met uitleg over de werking van de RWZI en van Aqualân.

Tot slot is er sinds 2013 zelfs een geocache speurtocht aanwezig in het Aqualân, welke sinds uitgave 52 keer is gevonden (en geregistreerd) (www.geocaching.com).

Sportvisserij is niet toegestaan in Aqualân. Op de Kromme Grouw is vissen wel toegestaan. Daarnaast is er een beroepsvisser (op paling) actief die zijn fuiken regelmatig vlakbij de effluentlozing en het paaihabitat uitzet.

Waterhergebruik

Het water uit Aqualân wordt niet hergebruikt maar, net als het RWZI-effluent, rechtstreeks geloosd op de Kromme Grouw.

Wakken

Aqualân ligt niet aan de Elfstedenroute, dus wakken zijn in dat opzicht een minder groot probleem. Wel ligt Aqualân aan doorgaande schaatsroutes.

Biomassa productie

Doordat het riet door het voedselrijke water erg snel groeit, is dit riet van onvoldoende kwaliteit om te gebruiken als bijvoorbeeld dakbedekking en levert het geoogste riet geen opbrengsten op.

Verdrogingsbestrijding

Het water uit Aqualân wordt, net als het RWZI-effluent, rechtstreeks geloosd op de Kromme Grouw en draagt niet bij aan de verdrogingsbestrijding.

Educatie

Aqualân is in gebruik voor onderwijs voor studenten van onder andere het Van Hall Instituut en de Vrije Universiteit. De VMBO opleiding Sevenwolden te Grou maakte van Aqualân voor twee jaren een scholenproject. Daarnaast zijn er in totaal acht stage-onderzoeken verricht op Aqualân door nationale en internationale studenten.



Figuur 6.2: Informatiebord in Aqualân

Van der Boomen en Kampf (2013a) hebben een verkenning uitgevoerd voor de mogelijkheden van Waterharmonica's bij de RWZI's in Friesland. Hierbij zijn de kansen, risico's, rendementen, effectiviteit, duurzaamheid, multifunctionaliteit en kosten globaal in beeld gebracht. Deze verkenning is uitgevoerd met een horizon van 15 jaar. De beoordeling op kansrijkheid is gebaseerd op een set criteria. Vertrekpunt daarbij is dat altijd een Waterharmonica kan worden aangelegd 'tenzij'.

Tabel 6.3: Beoordeling aanpalend beleid waterharmonica Grou (beoordeling uit Van der Boomen en Kampf 2013a)

Voldoende ruimte RWZI	Voldoende ruimte omgeving	Afname lozing tot lozingsnorm	Bijdrage aan bereiken KBW-doel	Verminderen risico voor zwemmen	Versterking natuur	vispaaiplaats	Waterberging / KRW-inrichting	Recreatieve waarden	hergebruik	Wak lozings-punt Elf-stedentocht
vijvers	++	0	0	+	++	++	+	++	0	0

Groen-blauwe diensten

Wetterskip Fryslân staat in de komende jaren voor een aantal grote opgaven in het watersysteem. Inspelen op de klimaatverandering, verbeteren van de waterkwaliteit en optimalisatie van de bediening van de gebiedsfuncties vergen maatregelen, zowel in de sfeer van inrichting als beheer. Het Wetterskip heeft daarom samen met gebiedspartners een notitie opgesteld getiteld: 'Werken met Groen Blauwe Diensten' (Wetterskip Fryslân, 2013). Deze notitie gaat in op de kansen die samenwerking biedt om deze maatregelen op een kosteneffectieve manier en met draagvlak te realiseren. Samenwerking met de betrokken grondeigenaren en- gebruikers; met hun belangenorganisaties; maar ook met de mede overheden gemeenten en provincie.

Onderstaande tabel komt uit deze notitie van het Wetterskip en geeft een niet beperkend overzicht van kansrijke waterdiensten. Voor elk van deze diensten is aangegeven welke rol Aqualân Grou daarin zou kunnen vervullen.

Tabel 6.3: kansen voor groen-blaue diensten

	Doel waterschap	Mogelijkheden Aqualân
	Waterberging	- Vergroten open water, - Gedogen water op land (wel kade rondom Aqualân nodig)
	Verbeteren ecologie (KRW)	- Aanleg NVO's & paaihabitat - voorkomen piekbelasting (zwevend stof/nutrieten/BZV) - kavelsloten opnemen in Aqualân - aankoppelen plas-dras weiland in de waterharmonica (goede ervaringen in Spanje)
	Verbeteren waterkwaliteit	- terug dringen nutriënten - extra zuivering insecticiden - verbetering zuurstofhuishouding - kavelsloten deels inrichten als rietfilter en betrekken bij Aqualân
	Water conserveren	- waterberging in tijden van droogte ook inrichten als waterreservoir - water Aqualân niet meer op boezem maar naar kavelsloten leiden
	Doelmatig waterbeheer	- water vasthouden
 	(Natuurvriendelijk) Onderhoud	- invang slib in makkelijk te baggeren vijvers Aqualân voorkomt uitspoeling zwevend stof naar boezemwater (vermindering baggerinspanning) - energie-opwekking door biomassa-kweek (biomassa-verbranding)

7 AANBEVELINGEN

7.1 Aqualân Grou

Verlagen zuiveringsinspanning RWZI

Onderzoek naar de werking van Aqualân laat zien dat een hoog debiet over dit aquatisch systeem het functioneren van de Waterharmonica niet beperkt. Dit biedt toekomstperspectieven om de zuiveringsinspanning op de RWZI mogelijk te verminderen door optimaal gebruik te maken van waterkwaliteitsverbetering van Aqualân Grou. Daarnaast kan met aanvullend onderzoek worden gekeken of het mogelijk is om in de toekomst te werken met kleinere nabezinktanks omdat een Waterharmonica ook een deel van het zwevend stof af kan vangen.

Minder monitoring

Aqualân Grou is sinds de opening in 2006 uitgebreid gemonitord, zowel biologisch als fysisch-chemisch. Daarnaast is er zeer veel onderzoek uitgevoerd. Het Wetterskip heeft de werking van Aqualân inmiddels goed in de vingers. 2013 is voorlopig het laatste jaar geweest met de uitgebreide monitoringscampagnes. Dit zorgt voor een jaarlijkse besparing op de monitoringskosten. Omdat de effectiviteit van een waterharmonica met de tijd kan veranderen (vlooienvijvers “vol” met bagger, rietfilter is na circa 10 jaar vaak toe aan vernieuwing) is het advies om wel om de drie jaar een beperkte monitoring uit te voeren om het functioneren van het systeem te bepalen. Hierbij volstaat het om in de zomerhalfjaar algemene parameters te bepalen (zuurstof, doorzicht, nutriënten, pH) en de parameters gericht op het functioneren van Aqualân (zwevend stof, *E coli*'s, BZV). Voor een inzicht in het ecologisch functioneren kan een opname van de vegetatie en zoöplankton worden gemaakt in de paaibiotop en de vlooienvijvers.

Beheer vlooienvijvers

De vlooienvijvers vervullen een belangrijke rol in het afvlakken van pieken zwevend stof en het afdoden van pathogenen. Daar staat tegenover dat de vlooienvijvers erg veel onderhoud vragen:

- maaien van waterplanten om stekelbaarsjes (=predatoren op watervlooien) geen paaihabitat te bieden
- snoeken uitzetten
- afvissen stekelbaarsjes
- beschoeien oevers tegen afkalving

Het is duidelijk geworden dat met afvangen van de stekelbaarsjes en het uitzetten van snoeken het niet lukt om de vlooienvijvers volledig vrij te houden van stekelbaars. Het verlagen van het debiet heeft ook niet geleid tot de gewenste verbetering van de zoöplankton-gemeenschap. Op basis van de mesocosm onderzoek is het wel mogelijk om in Grou een goede zoöplanktongemeenschap te verkrijgen.

Het ontbreken van waterplanten zorgt ervoor dat de stekelbaarsjes geen paaihabitat hebben. Het zorgt er ook voor dat de zoöplankton geen schuilplaatsen hebben in de vlooienvijvers om zicht te verstoppen voor predatie van de stekelbaarsjes. Een optie is om geleidelijk het maaibeheer van de vlooienvijvers van de vlooienvijvers en te volgen wat voor effect dit heeft op de visstand en zoöplanktongemeenschap.

Extensiveren maaibeheer

Rondom de compartimenten van Aqualân ligt gras. Dit grasveld wordt zeer frequent gemaaid. Dit strak gemaaid gazon doet afbreuk aan de ecologische en recreatieve functie van Aqualân. Extensiveren van het maaibeheer en het creëren van een bloemrijk grasland kan deze functies versterken. Hierbij kan ook worden gedacht aan een gradiënt in het maaibeheer om het verloop van het technische zuiveringsgedeelte (bij RWZI en vlooienvijvers, strak gazon) naar het paaihabitat (bloemrijk grasland) te benadrukken.

Toekomstig beheer rietsloten

Aqualân Grou is nu bijna 10 jaar oud. Op basis van ervaringen met ander waterharmonica's is bekend dat om de 10 jaar groot onderhoud nodig is voor het functioneren (baggeren vlooienvijvers, uitkrabben rietsloten).

7.2 Waterharmonica's in Friesland

In 2013 is een onderzoek uitgevoerd aan het toekomstperspectief voor waterharmonica's in Fryslân. Hierbij zijn nut, noodzaak en mogelijkheden van Waterharmonica's vanuit twee richtingen beschouwd: enerzijds vanuit de waterschapstaken van het Wetterskip (watersysteem en waterketen). Aan de andere kant is gekeken vanuit het beschikbare landschap, ruimtelijke ordening, natuur en landschap. Dit onderzoek laat zien dat op de langere termijn (2012-2027) de mogelijkheid bestaat om achter vrijwel elke RWZI een Waterharmonica aan te leggen. Dat geldt in het bijzonder op de Waddeneilanden. Vanuit de criteria beschikbare ruimte, natuurdoelen, hergebruik, recreatief medegebruik en Rijksheffing scoren de eilanden gunstig. Een extra argument voor de eilanden is de grondwater-waterwinning voor drinkwaterbereiding. Die zal op Ameland en Terschelling in de nabije toekomst mogelijk nog worden vergroot, zodra de nu bestaande waterleidingen door de Waddenzee (voor aanvoer van drinkwater) mogelijk worden opgeheven. Op Ameland kan een Waterharmonica gerealiseerd worden in het werk van de aanstaande dijkverbetering. De plannen daartoe zijn al uitgewerkt (Van der Boomen en Kampf 2013a).

Tabel: beschikbare oppervlakten bij RWZI voor aanleg Waterharmonica's (Van der Boomen en Kampf 2013a)

Waterharmonica	oppervlakte waterharmonica (ha)
Akkrum	5,50
Ameland	0,90
St. Annaparochie	0,30
Birdaard	0,31
Bolsward	1,03
Burgum	0
Damwoude	0,65
Dokkum	1,00
Drachten	0
Franeke	1,2
Gorredijk	1,0
Grou	1,3
Harlingen	0
Heerenveen	0

Waterharmonica	oppervlakte waterharmonica (ha)
Joure	2,2
Kloostertille	0
Leeuwarden	0
Lemmer	0,6
Oosterwolde	0
Schiermonnikoog	0,30
Sloten	0,40
Sneek	0,40
Terschelling	0,60
Vlieland	0
Warms	0
Wolvega	0
Workum	0,5
Wijnjewoude	0,8

Alleen paaibiotops

De paaibiotop is een succesvol onderdeel van Aqualân. Het is aan te bevelen om dit soort kleinschalige paaibiotopen ook elders aan (boezem)kanalen aan te leggen. Met de aanleg van dergelijke "longblaasjes" kan met een beperkte inzet een positieve bijdrage aan de visstand worden geleverd. Voorwaarde hierbij is dat er wel sprake is van voldoende doorstroming.

LEESLIJST WATERHARMONICA AQUALÂN GROU

Voor een algemeen beeld over de werking van Waterharmonica's in Nederland is er in 2013 een boekje uitgebracht door de STOWA (2013-07). Ook in 2005 is er een STOWA-rapport uitgebracht met achtergronden over de Waterharmonica's (STOWA 2005-18). Voor de techniek achter groene waterzuivering is er een studieboek uitgebracht door Van Hall Larenstein.



De monitoringsgegevens voor Aqualân Grou voor 2006-2012 zijn op overzichtelijke wijze samengevat in een H2O-online artikel. Een uitgebreide beschouwing van de monitoringsresultaten 2006-2011 staat in een rapport van Witteveen en Bos. De resultaten van de monitoring 2012-2013 worden beschreven in een rapportage van Royal HaskoningDHV en rekel/water.



Ook over de monitoringsresultaten van de visbemonsteringen zijn jaarlijks rapportages verschenen van Altenburg & Wymenga en is ook een samenvattend H2O-artikel verschenen. De uitkomsten van radiëstetisch onderzoek zijn beschreven in een rapport van Vortex Vitalis.



Om meer te weten te komen over de invloed van RWZI-effluent op de ecologische waterkwaliteit is het STOWA-rapport 2009-13 en de samenvatting van het WIPE-onderzoek een aanrader.



Tot slot is er in 2012 een verkenning uitgevoerd naar de mogelijkheden voor het inzetten van waterharmonica's in Fryslân.

Aqualân

Boomen van der R.M., Kampf R., Claassen T (2012a). Waterharmonica Aqualân Grou. Vijf jaar monitoring. Witteveen+Bos rapport LW288-9.

Claassen, T. H. L. (2012). Aqualân verdient navolging. Nieuwsbrief Waterketen, 10-11.

Claassen, T. H. L. & Kampf, R. (2006). Moeras verandert effluent in bruikbaar oppervlaktewater. Land+Water, 24.

Claassen, T. H. L., Gerbens, S., & Kampf, R. (2007). Texelse kennis toegepast bij zuiveringsmoeras en paaibiotop bij rwzi Grou. H2O, 39, 41-43.

Claassen T., Koopmans M. (2012). Vissen in het zuiveringsmoeras Aqualân Grou. H2O (25/26) pp 46-49

Herpen van, FCJ, Schomaker T, Kampf R (2014). Rapportage Aqualân Grou. Monitoringsresultaten 2012-2013. Royal HaskoningDHV.

Hut, R. M. G. v. d. (2008). Visstandbemonstering Aqualân Grou (Rep. No. A&W-notitie1135vis.07 v1). Veenwouden / Leeuwarden: Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek bv / Wetterskip Fryslân.

Koopmans, M. (2009). Vismonitoring Aqualân Grou (Rep. No. A&W-rapport 1345). Veenwouden / Leeuwarden: Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek / Wetterskip Fryslân.

Koopmans, M. (2010). Vismonotoring Aquâlan Grou, gegevens 2010 (Rep. No. A&W rapport 1559). Feanwâlden / Leeuwarden: Alteburg & Wymenga ecologisch onderzoek / Wetterskip Fryslân.

Koopmans, M. (2011). Vismonitoring Aqualân Grou 2011 (Rep. No. A&W-rapport 1715). Veenwouden / Leeuwarden: Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek / Wetterskip Fryslân.

Koopmans, M. (2012). Vismonitoring Aqualân Grou 2012. A&W-rapport 1828. Altenburg & Wymenga bv. Feanwâlden.

Koopmans, M. (2013). Vismonitoring Aqualân Grou 2013. A&W-rapport 1942. Altenburg & Wymenga bv. Feanwâlden.

NN. (2007a). Artikeltjes over Aqualân Grou juni 2007. Leeuwarden, Wetterskip Fryslân.

NN (2007b). Dossier : "Aqualân". De Grouster.

NN (2012). Province of Fryslân. www.urbanwatercycle.org/.../33_friesland.pdf

Provinsje Fryslân. (2007). Aankondiging feestelijke opening UWC project Aqualân Grou. Leeuwarden, Provinsje Fryslân.

Silvis (2013). Onderzoek aan Aqualân Grou. Vortex vitalis

Vries, A. de (2007). Politici op bezoek bij nazuivering Grou.

Stage-onderzoeken Aqualân

Burgh, L. v. d. (2008). Van effluent naar bruikbaar oppervlaktewater Leeuwarden: Wetterskip Fryslân / Van Hall Larenstein.

Dijkstra, T. (2007). Waterzuivering Grou: Een beschrijving van het zuiverings- en nazuiveringsproces Leeuwarden: Van Hall Larenstein / Wetterskip Fryslân.

Haijken, Y. (2004). Toepassing van ecotechnologische schakelsystemen in Noord-Nederland, mogelijkheden voor nazuivering van RWZI-effluent (Rep. No. 34 82 04). Leeuwarden / Groningen: Royal Haskoning / Van Hall Instituut.

Jitprasarn, T. (2009). Waterharmonica, Removal of suspended solids and pathogens by the Waterharmonica Leeuwarden: Van Hall Larenstein / Wetterskip Fryslân.

Limareva, A. (2009). The constructed wetland Aqualân and the pilot study on mesocosms at the wastewater treatment plant Grou, Friesland, The Netherlands. Leeuwarden: Van Hall Larenstein / Wetterskip Fryslân.

Moed, N. (2010). Water fleas (*Daphnia magna*) in the waterharmonica system Aqualân Grou Leeuwarden: Van Hall Larenstein / Wetterskip Fryslân.

Rattip, P. (2010). "Waterharmonica Aqualân Grou", Evaluation of 3 years monitoring. Leeuwarden: Van Hall Larenstein / Wetterskip Fryslân.

Rietdijk, J. (2009). Waterharmonica Grou, Efficiency van een nazuiveringssysteem Leeuwarden: Van Hall Larenstein / Wetterskip Fryslân.

Stowa (2012). Nabehandeling van RWZI-effluent? Ja, natuurlijk! Praktijkervaringen met de Waterharmonica. http://www.stowa.nl/nieuws_agenda/Agenda/index.aspx?rid=253

Toet, S. (2003). A treatment wetland used for polishing tertiary effluent from a sewage treatment plant: performances and processes. 779 Universiteit Utrecht, faculteit Biologie.

Willemsma, R. (2011). Aqualân Grou, De werking van de Waterharmonica Aqualân bij RWZI te Grou Leeuwarden: Van Hall Larenstein / Wetterskip Fryslân.

Waterharmonica's

Butijn, G. D. (1990). Evaluatie nareinigingsveld rioolwaterzuiveringsinstallatie Elburg (Rep. No. 1990 - 20 anw). Lelystad: Rijkswaterstaat, directie Flevoland.

Butijn, G. D. (1994). Nutriëntenverwijdering in het helofytenfilter te Elburg bij lage belasting (Rep. No. 1994 - 15 Anw). Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Flevoland.

Boomen, R. M. v. d. & Kampf, R. (2012). Waterharmonica's in Nederland (1996-2011), van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater (Rep. No. Stowa 2012_12). Amersfoort: Stowa.

Boomen van der R.M., Kampf R.(2013a) De toekomst van de Waterharmonica in Friesland Verkenning mogelijkheden 2012-2027. LW289-47. Leeuwarden, Deventer, Wetterskip Fryslân, Witteveen+Bos

Boomen van der, R. M., Kampf, R. (2013b) Waterharmonica's in Nederland 1996-2012: van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater, STOWZA rapport 2013-07

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

Kampf, R. (2005). Van effluent naar oppervlaktewater. In PAO-cursus Op weg naar een nieuw effluent (Delft: Stichting Postacademisch Onderwijs PAO).

Kampf, R. (2010). Daphnia experiments Grou (Friesland) 2007-2010 - Manual Amsterdam: Vrije Universiteit.

Kampf, R. & Sala, L. (2009). Natural processes to convert treated waste water into usable surface water. A Dutch-Catalan cooperation. In Barcelona: Asinca.

Kampf, R., Schreijer, M., Toet, S., & Verhoeven, J. T. A. (1997). Van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater. In: Biologisch gezuiverd effluent, grondstof of eindproduct? Lezing op NVA-symposium Biologisch gereinigd effluent: grondstof of eindproduct?, 16 oktober 1997. In (pp. Rijswijk).

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

Uijterlinde C., (2012). Nabehandeling van RWZI-effluent? Ja, natuurlijk! Praktijkervaringen met de Waterharmonica. Kaatsheuvel, 29 maart 2012. Amersfoort, Stowa

Mesocosm

Kampf R, Boomen van der R, Claassen Th. (2014). Waterharmonica Grou Onderzoek naar biologische filtratie van effluent van de RWZI Grou in mesocosm bakken ter optimalisatie van watervlooi-en vijvers: fysische chemie.

Wipe

Boomen van der R. M., Kampf, R., & Mulling, B. T. M. (2012b). Waterharmonica, onderzoek naar zwevend stof en pathogenen, hoofdrapport (Rep. No. Stowa 2012_10). Amersfoort: Stowa.

Boomen van der, R. M. v. d., Kampf, R., & Mulling, B. T. M. (2012c). Waterharmonica, onderzoek naar zwevend stof en pathogenen, deelstudierapporten (Rep. No. Stowa 2012_11). Amersfoort: Stowa.

Foekema, E. M., Roex, E., Sneekes, A., Koelemij, E., Atsoij, M. T., Hoornsman, G. et al. (2012). De invloed van moerassystemen op de milieukwaliteit van rwzi effluent en aanbevelingen tot optimalisering (Rep. No. rapport C005/12, Waterharmonica Improving Purification Effectiveness, WIPE). IJmuiden / Wageningen: IMARES / Deltares.

Mulling BTM (2013). Particles Matter: Transformation of Suspended Particles in Constructed Wetlands. Universiteit van Amsterdam

Overige literatuur

Meijenfeldt Von N, Moria L, Ouboter M, Schep S, Van der Wal B., Van der Wijngaart T (2014). Ecologische sleutelfactoren Begrip van het watersysteem als basis voor beslissingen STOWA -rapportnummer 2014-19

RIZA (2002). Hormoonontregeling boven water: het Landelijk Onderzoek oEstrogene Stoffen in beeld [LOES].

Sommer U, Sommer F. (2005). Cladocerans versus copepods: the cause of contrasting top-down controls on freshwater and marine phytoplankton. *Oecologia*. 2006 Mar;147(2):183-94. Epub 2005 Dec 10.

Wetterskip Fryslân (2013). Werken met groen blauwe diensten. Beleidskader Uitvoeringsprogramma 2014-2015.