



BTO 2014.206(s) | Maart 2014

BTO rapport

Inventarisatie nagroeiproblematiek Oasen
en oorzaak lagere biologische stabiliteit
zs De Laak

BTO

Inventarisatie nagroeiproblematiek Oasen en oorzaak lagere biologische stabiliteit zs De Laak

BTO 2014.206(s) | Maart 2014

Opdrachtnummer

C222036

Projectmanager

Luc Hornstra

Opdrachtgever

BTO - Speerpuntonderzoek

Kwaliteitsborger(s)

Paul W. J. J. van der Wielen

Auteur(s)

Ludmila A. Bereschenko

Verzonden aan

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgever van het speerpuntproject. Eventuele verspreiding daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.

Jaar van publicatie
2014

Meer informatie

T 0306069563
E Ludmila.Bereschenko@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



BTO 2014.206(s) | Maart 2014 © KWR

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand,
of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze,
hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën,
opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande
schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorwoord

Het voorliggend rapport beschrijft de resultaten van het BTO-speerpontonderzoek 'Verbetering zuivering tegen nagroei'. Dit speerpontonderzoek is in januari 2013 door het waterleidingbedrijf Oasen opgedragen aan KWR Watercycle Research Institute (KWR) en in de periode van maart tot november uitgevoerd door de Microbiologische Waterkwaliteit & Gezondheid (MWG) kennisgroep. De doelstellingen van het onderzoek zijn gerealiseerd in samenwerking met Maarten Lut, Harrie Timmer en Willem Jan Knibbe (de projectbegeleidingsgroep vanuit Oasen), Marcel de Zeeuw (procesoperator op zuiveringsstation [zs] De Laak, Oasen), Jos Dusseldorp (procestechnoloog, Oasen) en de medewerkers van het Laboratorium voor Microbiologie (KWR, teamleider Ronald Italiaander) en het Laboratorium voor Materialenonderzoek en Chemische analyse (KWR, coördinator Nanda Berg). Dank is verschuldigd aan alle betrokkenen.

Samenvatting

KWR Watercycle Research Institute heeft in samenwerking met Oasen in de periode maart-november van 2013 een BTO-speerpuntonderzoek uitgevoerd met een tweeledige opzet. In het eerste deel zijn de zuiveringsstations van Oasen gerangschikt naar de wettelijke parameters voor nagroei in het distributiesysteem en de voorzieningsgebieden van Oasen. Deze rangschikking is vervolgens toegevoegd aan de in 2010 opgestelde landelijke rangschikking van de Nederlandse voorzieningsgebieden. De rangschikking is daarna gebruikt om de probleemlocaties ten aanzien van nagroei in het voorzieningsgebied van Oasen te achterhalen. In het tweede deel zijn de zuiveringsstations van Oasen gegroepeerd naar ruwwaterkwaliteit en toegevoegd aan de groepering van andere grondwaterpompstations in Nederland. Door vervolgens bij elkaar gegroepeerde pompstations onderling te vergelijken in hun zuiveringstrein zijn mogelijkheden voor optimalisatie van de zuivering op deze probleemlocaties geïdentificeerd.

Uit de rangschikking van de zuiveringsstations van Oasen naar de parameters *Aeromonas* en KG22 in het distributiesysteem blijkt dat de voorzieningsgebieden Lekkerkerk, De Put, Reijerwaard en De Steeg relatief goed scoren (de totale score voor microbiologie < 5), terwijl De Laak, De Hooge Boom en C. Rodenhuis een score van acht of hoger hebben t.o.v. deze nagroeiparameters. Uit de toepassing van een hiërarchische clusteranalyse en een analyse van de verkregen clusters volgt dat de eindstandige actiefkoolfiltratie met UV-desinfectie en/of ontharding processen zijn die mogelijk een hoge mate van nagroei veroorzaken in het distributiesysteem van zs De Laak, De Hooge Boom en C. Rodenhuis. Op basis van deze bevindingen wordt aanbevolen om het vervolgonderzoek naar mogelijkheden voor verbetering van de biologische stabiliteit bij Oasen in de eerste instantie te richten op de zuiveringsstations De Laak, De Hooge Boom en C. Rodenhuis. Door de biologische stabiliteit van het (drink)water in diverse stadia van de zuivering op deze zuiveringsstations nader te bestuderen, kunnen aanbevelingen worden gedaan voor een doelgerichte en efficiënte zuiveringsoptimalisatie.

In juli – november 2013 is aanvullend onderzoek uitgevoerd op zs De Laak om te achterhalen of de AKF met UV verantwoordelijk zijn voor productie van minder biologisch stabiel water. De nieuwe meetmethoden voor biologische stabiliteit zijn toegepast om deze vraag te beantwoorden. De resultaten laten zien dat door de behandeling met beluchting, voorfiltratie, ontharding en nafiltratie de TOC-concentratie wordt gehalveerd. De daaropvolgende AK-filtratie en behandeling met middendrukklampen UV-licht (desinfectie) leidt niet tot verdere verlaging van het TOC-gehalte. De AOC-concentratie in het snelfiltraat en reinwater op zs De Laak bestaat voornamelijk uit AOC-NOX-fractie en deze fractie wordt dus afgebroken door de biologische activiteit in het actief koolfilter. Na UV neemt deze AOC-Nox-fractie toe omdat UV-licht waarschijnlijk van hoogmoleculaire organische moleculen kleinere carbonzuren maakt. De ATP, biomassaaccumulatiesnelheid (BAS) en (cumulatieve) biomassaproductie (BP) gedurende eerste 7 (BP7) en 14 dagen (BPC14) worden beduidend lager ná AKF, wat resulteert in een verbetering van de biologische stabiliteit van het geproduceerde water na AKF. De eindstandige toepassing van de middendrukklampen UV-licht leidt echter weer tot een verhoogd ATP -gehalte en hogere BPC14, BP7 en BAS, dat aangeeft dat de biologische stabiliteit van het water verslechterd door toepassing van UV. De concentratie niet-opgeloste deeltjesgebonden koolstof (POC) en niet-opgeloste deeltjesgebonden koolhydraten (PCHC), in het AK-filtraat van zs De Laak is laag in

vergelijking met waarden die worden gevonden in het water na AKF bij de oppervlaktewaterpompstations in Nederland. Daarom wordt niet verwacht dat POC en PCHC een rol spelen bij de verminderde biologische stabiliteit op zs De Laak. De toename van deeltjesgebonden ijzer (PFe) en mangaan (PMn) na actieve-koolfiltratie op zs De Laak wordt waarschijnlijk veroorzaakt door binding van ijzer en mangaan aan de biomassa en/of deeltjes actief kool die deels weer uitspoelen naar het filtraat. Op basis van de resultaten wordt geconcludeerd dat de eindstandige UV de oorzaak is van de verminderde biologische stabiliteit van het UV-behandelde water en dat daardoor de mate van nagroei in het distributiesysteem van zs De Laak relatief hoog is.

Naar aanleiding van de resultaten van het onderzoek op zs De Laak wordt aanbevolen om te onderzoeken of de plaatsing van UV-installatie vóór actief koolfiltratie leidt tot een verbetering van de biologische stabiliteit van het reinwater en, als gevolg, tot een vermindering van de kans op een (overmatige) nagroei van *Aeromonas* in het distributiesysteem van zs De Laak. Een herhaling van het meetprogramma De Laak op zs De Hoge Boom en C. Rodenhuis verdient eveneens aanbeveling, ter vaststelling van de oorzaak van de hogere score op aantallen *Aeromonas* en/of KG22 in het voorzieningsgebied van beide zuiveringsstations.

Lijst van afkortingen

AC	Asbestcement (leidingmateriaal)
AKF	Actief koolfiltratie
AOC	Assimileerbare organische koolstof
ATP	Adenosinetrifosfaat
BAS	Biomassaaccumulatiesnelheid
BP	Biomassa productie
BPC	Cumulatieve biomassaproductie
BPP	Biomassaproductiepotentie
CBM	Continue biofilmmonitor
Fe	Ijzer
FeAS	Ijzeraccumulatiesnelheid
GG	Geometrisch gemiddelde
GJJ	Gietijzer
KG22	Koloniegetal op R2A-medium na 10 dagen incubatie bij 22°C
kve	Kolonievormende eenheden
MD-UV	Middendruk ultraviolet-lampen-installatie
Mn	Mangaan
MnAS	Mangaanaccumulatiesnelheid
PCHC	Niet-opgeloste (deeltjesgebonden) koolhydraatkoolstof
PE	Polyethyleen
PFe	Niet-opgeloste (deeltjesgebonden) ijzer (mg/liter)
PMn	Niet-opgeloste (deeltjesgebonden) mangaan (mg/liter)
PO	Percentage <i>Aeromonas</i> -overschrijdingen
POC	Niet-opgeloste (deeltjesgebonden) organische koolstof (mg/liter)
PVC	Polyvinylchloride (leidingmateriaal)
ps	Pompstation
RG	Rekenkundig gemiddelde (van <i>Aeromonas</i> bij 30°C)
TOC	Totaal organische stof
UV	Ultraviolet (onderdeel van het elektromagnetisch spectrum met golflengten van 100-400 nm)
zs	Zuiveringsstation

Inhoud

Voorwoord	2
Samenvatting	4
Lijst van afkortingen	6
Inhoud	8
1 Introductie	10
1.1 Aanleiding en probleemstelling	10
1.2 Onderzoeksdoelen	11
1.3 Opzet van het onderzoek	11
2 Inventarisatie nagroeiproblematiek Oasen	12
2.1 Inleiding	12
2.2 Materialen en methoden	12
2.3 Resultaten	14
2.4 Discussie	24
2.5 Conclusies	26
2.6 Aanbevelingen	27
3 Biologische stabiliteit op zs De Laak	28
3.1 Inleiding	28
3.2 Materialen en methoden	28
3.3 Resultaten	30
3.4 Discussie	39
3.5 Conclusies	43
3.6 Aanbevelingen	44
4 Samenvatting conclusies en aanbevelingen	45
4.1 Conclusies	45
4.2 Aanbevelingen	46
Referenties	48
Bijlage I Tabellen	50
Bijlage II Figuren	64

1 Introductie

1.1 Aanleiding en probleemstelling

Drinkwaterbedrijf Oasen beschikt in totaal over zeven zuiveringsstations (Tab. I.1 in de *Bijlage*). De kwaliteit van het ruwe water dat gebruikt wordt voor de drinkwaterbereiding verschilt per zuiveringsstation (Tab. I.2). Daarnaast verschillen de zuiveringsstations in de waterbehandelingsprocessen die worden toegepast (Tab. I.3). De verschillen in grondstofkwaliteit en zuivering hebben tot gevolg dat de mate van nagroei van micro-organismen en dierlijke organismen in het leidingnet ook verschilt in de distributiesystemen van de zuiveringsstations. In het Drinkwaterbesluit (*Drinkwaterregeling*, 2011) zijn kolonietal bij 22°C (KG22) en *Aeromonas* bij 30°C (*Aeromonas*) opgenomen als indicatorparameters voor nagroei in het distributiesysteem. De Nederlandse drinkwaterbedrijven meten daarom periodiek KG22 en *Aeromonas* in reinwater en in het distributiesysteem. In de voorzieningsgebieden van Oasen worden incidenteel overschrijdingen waargenomen van de wettelijke norm voor *Aeromonas* (< 1000 kve 100 mL⁻¹) (Lut en Timmer, 2010). Tevens zijn de aantallen dierlijke organismen in het voorzieningsgebied van (sommige) zuiveringsstations (zs) van Oasen relatief hoog (Lut en Timmer, 2010). Oasen heeft daarom in de afgelopen jaren aanleiding gezien voor het initiëren van onderzoek naar nieuwe zuiveringsconcepten en optimalisatie van bestaande zuiveringsconcepten (Timmer *et al.*, 2013) om de nagroei in het distributiesysteem te beperken. De gegevens van de wettelijke indicatororganismen voor nagroei zijn echter nog niet op een structurele wijze geanalyseerd, om te achterhalen welke zuiveringsstations en distributiesystemen de meeste problemen hebben met nagroei. Een dergelijke structurele analyse kan worden gebruikt om te bepalen bij welke zuiveringsstations van Oasen de zuivering het beste kan worden geoptimaliseerd in relatie tot de beperking van nagroei in het distributiesysteem.

In het kader van het BTO-onderzoek zijn door KWR in 2010 de pompstations (ps) van de Nederlandse en Vlaamse drinkwaterbedrijven, die destijds deel uitmaakten van het BTO, gerangschikt naar de mate van nagroei in het distributiesysteem (Van der Wielen en Van der Kooij, 2011). Daarnaast is onderzocht of de groei van micro-organismen in het distributiesysteem correleert met fysisch-chemische parameters in het ruwwater, reinwater en gedistribueerde water. Tevens zijn de grondwaterpompstations gegroepeerd naar ruwwaterkwaliteit en is achterhaald of sommige pompstations op basis van de ruwwaterkwaliteit beter in staat zouden moeten zijn om de vermeerdering van KG22 en *Aeromonas* in het distributiesysteem te beperken. Op deze wijze is een landelijk overzicht verkregen van de nagroeiproblematiek ten aanzien van de wettelijke parameters. Aan de hand hiervan zijn conclusies getrokken over de omvang van de problematiek en over de mogelijkheden voor optimalisatie van de zuiveringsstations waar relatief veel nagroei optreedt. Ten tijde van dit onderzoek maakte Oasen geen deel uit van het BTO, waardoor de zuiveringsstations van Oasen destijds niet zijn meegenomen.

Het is echter mogelijk om deze zuiveringsstations alsnog toe te voegen aan het landelijk overzicht. Op deze wijze worden de probleemlocaties van Oasen ten aanzien van nagroei inzichtelijker gemaakt, ook ten opzichte van de prestaties van de pompstations/distributiesystemen van de andere Nederlandse drinkwaterbedrijven. De

resultaten van deze inventarisatie kunnen worden gebruikt om de biologische stabiliteit van het drinkwater op de achterhaalde probleemlocaties in diverse stadia van de bereiding en/of in (problematische locaties van) het distributiesysteem nader te bestuderen, zodat aanbevelingen ten aanzien van de zuivering, distributie en/of aanvullend onderzoek kunnen worden gedaan.

1.2 Onderzoeksdoelen

De doelstellingen van het onderhavige speerpuntonderzoek waren als volgt:

- Rangschikken van de zuiveringsstations van Oasen naar nagroei (KG22 en *Aeromonas*) in het distributiesysteem, ook in relatie tot de pompstations van de overige Nederlandse drinkwaterbedrijven;
- Achterhalen van de omvang van de nagroeiproblematiek in het distributiesysteem van de verschillende zuiveringsstations van Oasen;
- Achterhalen of op basis van de ruwwaterkwaliteit kan worden verwacht dat (bepaalde) zuiveringsstations van Oasen beter zouden kunnen presteren in relatie tot nagroei;
- Met behulp van een beperkt meetprogramma de biologische stabiliteit van (drink)water bepalen op één van de achterhaalde probleemlocaties;
- Aanbevelingen formuleren voor (verdere) optimalisatie van de zuivering van deze probleemlocatie en/of aanbevelingen voor aanvullend onderzoek naar de oorzaken van verminderde biologische stabiliteit van het (drink)water op deze locatie.

1.3 Opzet van het onderzoek

Met het oog op de voorgestelde doelen is het onderhavige speerpuntonderzoek in twee opeenvolgende fasen uitgevoerd. In de eerste onderzoeksfase (maart-mei 2013) is een inventarisatie uitgevoerd, waarbij de zeven zuiveringsstations van Oasen zijn gerangschikt naar de wettelijke parameters voor nagroei in het distributiesysteem en deze zijn toegevoegd aan de in 2010 opgestelde landelijke rangschikking van de Nederlandse voorzieningsgebieden (Van der Wielen en Van der Kooij, 2011). Deze aanpak is gebruikt om de probleemlocaties ten aanzien van nagroei in de voorzieningsgebieden van Oasen te achterhalen. Daarnaast zijn de zuiveringsstations van Oasen gegroepeerd naar ruwwaterkwaliteit om de mogelijkheden voor optimalisatie van eventuele probleemlocaties te onderzoeken. Een belangrijke hypothese die de inventarisatie heeft opgeleverd, is dat de eindstandige actief koelfiltratie met UV-desinfectie en/of ontharding de verhoogde nagroei in het distributiesysteem van de drie zuiveringsstations (De Laak, De Hooze Boom en C. Rodenhuis) veroorzaken. Het vervolgonderzoek (juli-november 2013) op het zuiveringsstation De Laak is daarom gericht op de effecten van de eindstandige actief koelfiltratie en UV-desinfectie op de biologische stabiliteit van het (drink)water. De resultaten van het onderhavige speerpuntonderzoek worden per onderzoeksfase – “*Inventarisatie nagroeiproblematiek Oasen*” (hoofdstuk 2) en “*Biologische stabiliteit op zs De Laak*” (hoofdstuk 3) – gerapporteerd.

2 Inventarisatie nagroeiproblematiek Oasen

2.1 Inleiding

In dit deelonderzoek zijn de zuiveringsstations van Oasen gerangschikt naar de wettelijke parameters voor nagroei in het distributiesysteem, en zijn de voorzieningsgebieden van Oasen toegevoegd aan de landelijke rangschikking van de Nederlandse voorzieningsgebieden die in 2010 is gemaakt. Deze rangschikking is vervolgens gebruikt om probleemlocaties ten aanzien van nagroei in het voorzieningsgebied van Oasen te achterhalen. Daarnaast zijn de zuiveringsstations van Oasen gegroepeerd naar ruwwaterkwaliteit om de mogelijkheden voor optimalisatie van deze probleemlocaties te achterhalen.

2.2 Materialen en methoden

2.2.1 Gegevens

De meetwaarden van een aantal microbiologische (KG22 en *Aeromonas*) en/of chemische (methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan) parameters voor het ruwwater, reinwater en gedistribueerd drinkwater zijn door medewerkers van Oasen in de periode van 2010 - 2012 per productielocatie/voorzieningsgebied verzameld en beschikbaar gesteld aan KWR. Deze gegevens zijn geanalyseerd door per parameter het geometrisch (KG22) of rekenkundig (methaan, ammonium, ijzer, mangaan, TOC en *Aeromonas*) gemiddelde uit te rekenen (Tab. I.2, I.4 en I.5). Tevens zijn het aantal *Aeromonas*-overschrijdingen en het percentage *Aeromonas*-overschrijdingen bepaald voor elk voorzieningsgebied. De verkregen resultaten zijn vervolgens gebruikt voor de rangschikking van de zuiveringsstations van Oasen naar de wettelijke parameters voor nagroei in het distributiesysteem (paragraaf 2.2.2.) en groepering naar de ruwwatersamenstelling (par. 2.2.3). Tevens zijn van de productielocaties gegevens gebruikt over de behandelingsprocessen in de zuivering, het aantal uren dat de zuivering per dag in bedrijf is, de jaarproductie en het percentage gietijzer- (GIJ), polyvinylchloride-/polyethyleen- (PVC/PE) en asbestcement-/betonleidingen (AC/BV) in het leidingnet (Tab. I.3 en Fig. II.1).

Voor de toevoeging van de Oasen-gegevens aan het landelijk overzicht van nagroei (Van der Wielen en Van der Kooij, 2011), zijn in beide onderzoeken ook de vergelijkbare gegevens van de rest van Nederlandse (grondwater)pompstations gebruikt (Tab. I.2 - I.4).

2.2.2 Rangschikking voorzieningsgebieden naar microbiologische parameters

De rangschikking van zuiveringsstations van Oasen naar de wettelijke parameters voor nagroei in het distributiesysteem is bereikt door klassen voor het geometrisch gemiddelde van KG22, het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* en het percentage overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* in het voorzieningsgebied van Oasen te definiëren (Tab. 2.1). Deze klassen zijn gebaseerd op het 50-, 75-, 90- en 95-percentiel, welke zijn berekend op basis van de REWAB-gegevens van 176 Nederlandse drinkwatervoorzieningsgebieden (Van der Wielen en Van der Kooij, 2011).

Aan de klassen werd een score (0, 1, 2, 3 of 4) voor KG22, *Aeromonas* en de wettelijke overschrijdingen van *Aeromonas* toegekend. Met deze benadering zijn de onderzochte voorzieningsgebieden gerangschikt naar een totaalscore voor de microbiologie, berekend als de som van de drie scores: 'KG22', '*Aeromonas* bij 30°C' en '*Aeromonas*-overschrijdingen'. Resultaten van deze rangschikking zijn beschreven in paragraaf 2.3 (*Resultaten*).

Tabel 2.1 De klassenindeling en toekenning van bijbehorende scores voor het geometrisch gemiddelde van KG22, het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* en het percentage overschrijdingen wettelijke eis van *Aeromonas*, gebaseerd op de gegevens van 176 Nederlandse voorzieningsgebieden over de periode 2004 t/m 2007.

Klasse	Percentielrange	KG22	<i>Aeromonas</i>		Score
		(kve mL ⁻¹)	(kve 100 mL ⁻¹)	(procent overschrijdingen)	
1	X < 50	X < 3,0	X < 4,8	X = 0	0
2	50 < X < 75	3,0 < X < 5,1	4,8 < X < 23,0	NVT	1
3	75 < X < 90	5,1 < X < 8,6	23,0 < X < 89,5	NVT	2
4	90 < X < 95	8,6 < X < 11,3	89,5 < X < 125	0 < X < 0,49	3
5	X > 95	X > 11,3	X > 125	X > 0,49	4

* NVT: deze waarde bestaat niet omdat de 90-percentielwaarde hier nog steeds nul is.

2.2.3 Groepering zuiveringsstations naar ruwwaterkwaliteit

De groepering van zuiveringsstations naar ruwwaterkwaliteit is verkregen door het toepassen van een hiërarchische clusteranalyse op de gemiddelden van het methaan-, ammonium-, TOC-, ijzer- en mangaangehalte in het ruwwater van de zuiveringsstations van Oasen en 38 andere Nederlandse grondwaterpompstations.

Deze gemiddelden bleken verschillende concentratieranges te hebben (Tab. 1.2). Zo liep de concentratie van mangaan van 0 tot 0,7 mg/L, ammonium van 0 naar 7,7 mg/L, ijzer van 0 naar 12,8 mg/L, TOC van 0,2 naar 13,3 mg/L en methaan van 0 tot 42 mg/L, waardoor de samenvoeging tot één cluster (groepering) voor het overgrote deel zou worden bepaald door methaan (de parameter met de grootste range). Teneinde de groepering uit te kunnen

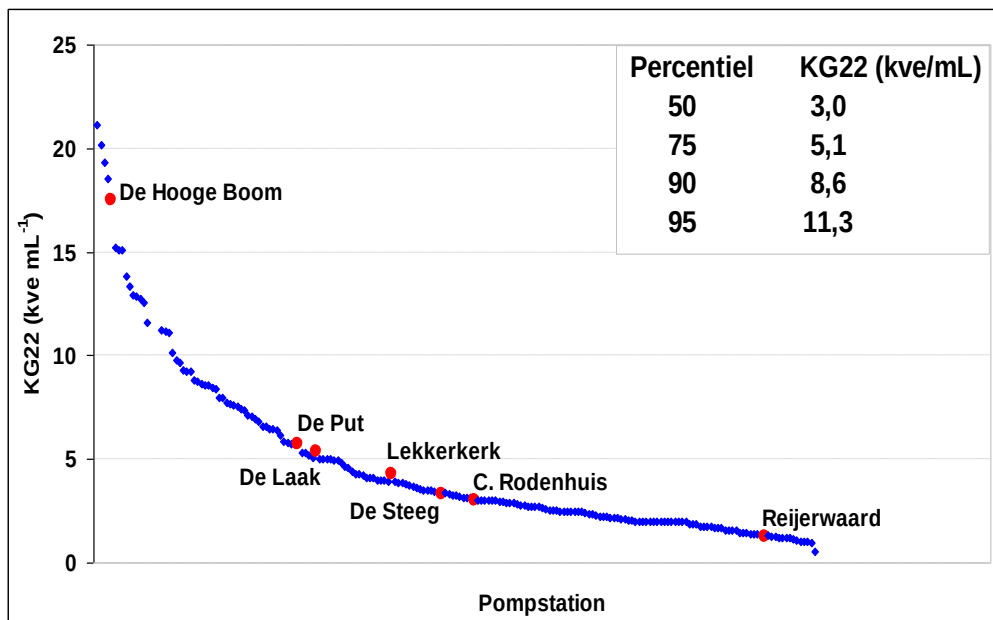
voeren zijn deze concentratieverschillen genormaliseerd door de gemiddelde concentraties per parameter te transformeren naar Z-genormaliseerde waarden. Door een dergelijke transformatie is de range van iedere ruwwaterparameter gelijkgetrokken, zodat elke parameter evenveel invloed heeft in de groepering. Vervolgens zijn met SPSS 20.0 de *Euclidische* afstanden tussen de waarden uitgerekend door middel van de 'Between groups'-methode.

Op basis van de verkregen dendrogram (diagram met boomstructuur) zijn clusters (groepen) aan de zuiveringsstations toegewezen. Deze groepering is vervolgens gebruikt om te achterhalen of pompstations die grondwater van een vergelijkbare ruwwatersamenstelling gebruiken (clusters in de dendrogram) ook dezelfde rangschikking hebben voor het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* en KG22 en het percentage *Aeromonas*-overschrijdingen. Wanneer bleek dat pompstations binnen een groep een afwijkende hoge rangschikking hebben voor de wettelijke nagroeiparameters, is onderzocht of bepaalde processen en/of factoren in de zuivering, bedrijfsvoering en/of leidingnet kunnen verklaren waarom pompstations die tot dezelfde groep behoren verschillen in de aantallen KG22 en *Aeromonas* in het leidingnet.

2.3 Resultaten

2.3.1 Rangschikking voorzieningsgebieden naar microbiologische parameters

2.3.1.1 Geometrisch gemiddelde van KG22



Figuur 2.1. Het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater van de zuiveringsstations van Oasen (periode 2010–2012) en van overige Nederlandse drinkwatervoorzieningsgebieden (periode 2004–2007). De voorzieningsgebieden van Oasen zijn weergegeven met een rode punt en de naam van het bijhorende zuiveringsstation. Rechts boven: het 50-, 75-, 90- en 95-percentiel, van de geometrisch gemiddelden voor KG22 van 176 Nederlandse voorzieningsgebieden over de periode 2004 t/m 2007 (Van der Wielen en Van der Kooij, 2011).

Het geometrische gemiddelde van KG22 geeft informatie over de voorzieningsgebieden waar de KG22-aantallen gedurende de onderzochte periode hoog waren (Fig. 2.1). Uit de analyse van de Oasen-gegevens blijkt dat de wettelijke eis voor KG22 (geometrisch gemiddelde < 100 kve mL⁻¹) in het distributiesysteem van de onderzochte zuiveringsstations niet is overschreden in de periode 2010 t/m 2012 (Tab. 2.2).

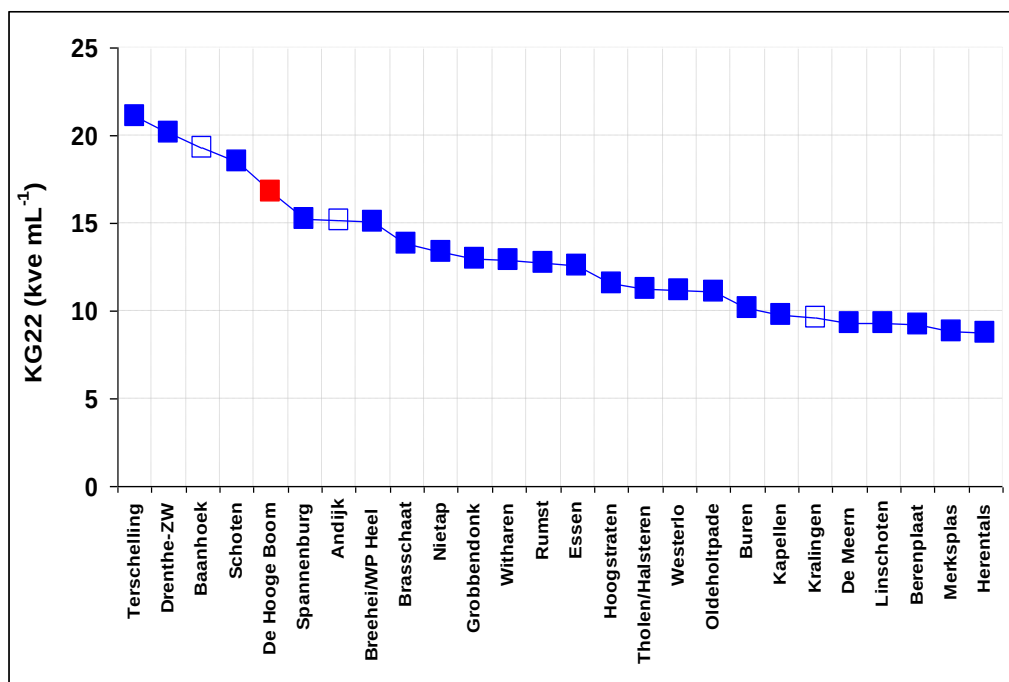
Tabel 2.2. De scores voor het geometrisch gemiddelde (GG) van KG22, het rekenkundig gemiddelde (RG) van *Aeromonas* en het percentage *Aeromonas*-overschrijdingen (PO), gebaseerd op de gegevens* van Oasen voorzieningsgebieden over de periode 2010 t/m 2012.

<i>Distributiesysteem</i>	<i>KG22 (kve mL⁻¹)</i>		<i>Aeromonas (kve 100 mL⁻¹)</i>				<i>Microbiologie</i>
	GG	score	RG	score	PO	score	<i>totaal score**</i>
De Laak	5,4	2	166,7	4	1,7	4	10
C. Rodenhuis	3,0	0	152,0	4	2,8	4	8
De Hooge Boom	17,5	4	127,5	4	0,0	0	8
De Put	5,7	2	76,9	2	0,0	0	4
Lekkerkerk	4,3	1	54,4	2	0,0	0	3
De Steeg	3,3	1	47,1	2	0,0	0	3
Reijerwaard	1,2	0	30,8	2	0,0	0	2

* Periodieke metingen van het koloniegetal op glucose-gist-extract-agar na drie dagen incuberen bij 22°C (KG22) en periodieke metingen van het koloniegetal van *Aeromonas* op ampicilline-dextrine-agar na 20 tot 24 uur incuberen bij 30°C (*Aeromonas*); **microbiologie totaal score is berekend als de som van de drie scores: (KG22) + (*Aeromonas* bij 30°C) + (*Aeromonas*-overschrijdingen).

Het voorzieningsgebied van zs De Hooge Boom heeft het hoogste geometrisch gemiddelde (17,5 kve mL⁻¹), maar deze ligt nog steeds ver onder de wettelijke norm. In vergelijking met de andere voorzieningsgebieden in Nederland is het geometrisch gemiddelde van KG22 in het voorzieningsgebied van zs De Hooge Boom wel hoog (Fig. 2.2), waardoor het de maximale score 4 krijgt voor deze parameter. De andere zuiveringsstations van Oasen scoren lager voor KG22.

Zs De Laak en De Put krijgen een score 2 (geometrisch gemiddelde tussen 5,1 en 8,6 kve mL⁻¹), zs Lekkerkerk en De Steeg een score 1 (geometrisch gemiddelde tussen 3,0 en 5,1 kve mL⁻¹) en zs C. Rodenhuis en Reijerwaard een score 0 (geometrisch gemiddelde < 3,0 kve mL⁻¹). De rangschikking van de zeven Oasen en 176 andere Nederlandse drinkwatervoorzieningsgebieden naar het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerd drinkwater is weergegeven in Tabel I.4.



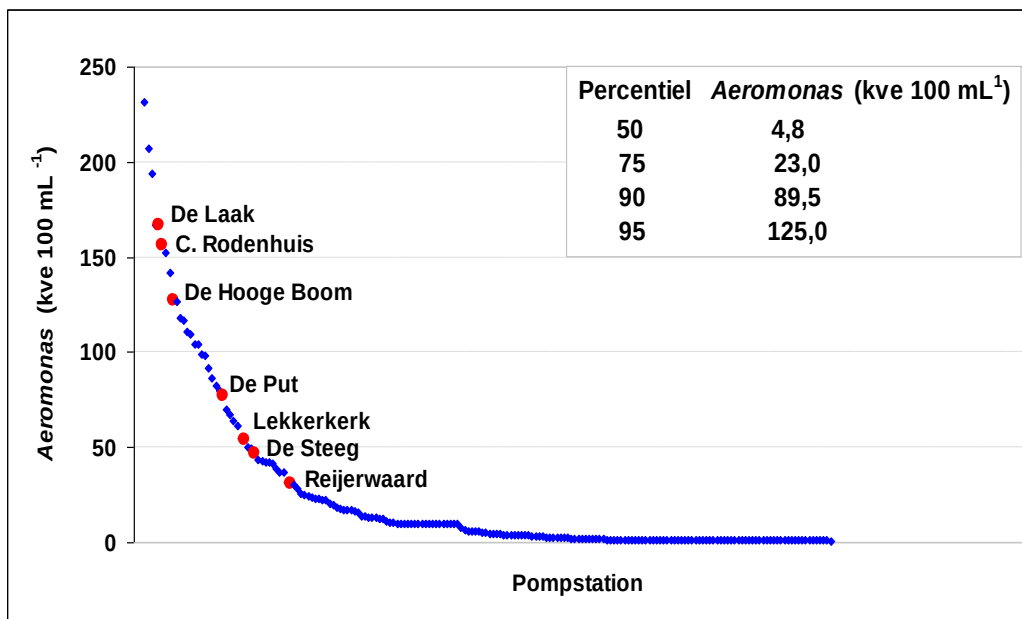
Figuur 2.2. Voorzieningsgebieden waar het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerd drinkwater hoger was dan het 90-percentiel (8,6 kve mL⁻¹). Dichte symbolen in de grafiek representeren grondwaterlocaties en open symbolen representeren oppervlaktewaterlocaties. Voorzieningsgebieden van Oasen zijn in het rood gemarkeerd.

2.3.1.2 Rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* bij 30°C

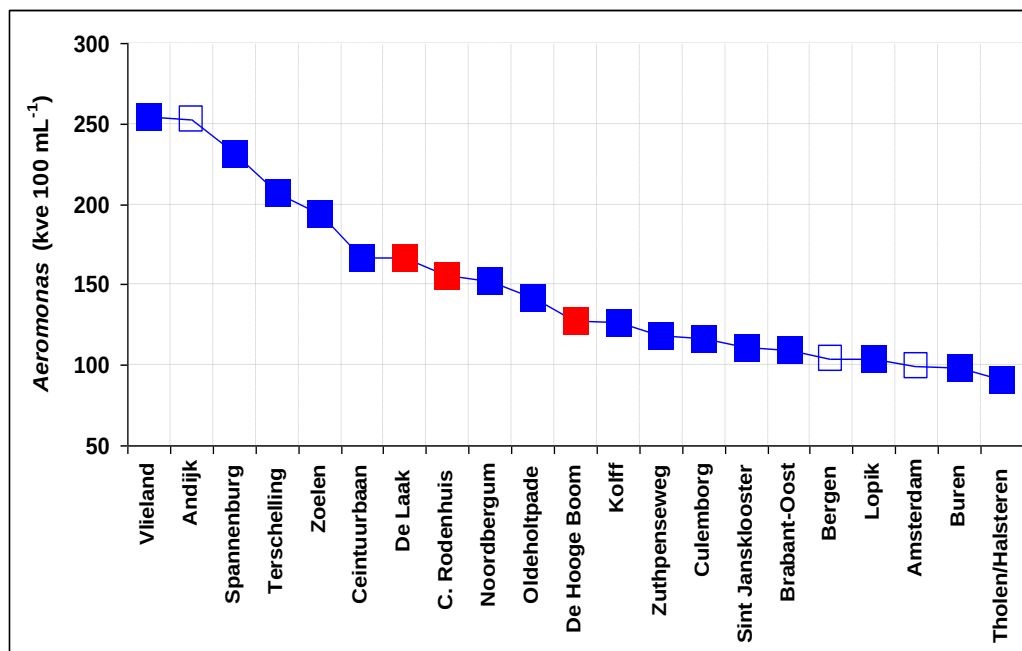
De rangschikking van de zeven en 176 andere Nederlandse drinkwatervoorzieningsgebieden naar het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerd drinkwater is weergegeven in Tabel 2.2 en I.4. Uit de berekeningen van het 50-, 75-, 90- en 95-percentiel (Van der Wielen en Van der Kooij, 2011) volgde dat het 95-percentiel van het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* 125 kve 100 mL⁻¹ is. Bij drie van de zeven onderzochte voorzieningsgebieden is het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater in de periode 2010-2012 hoger dan het landelijke 95-percentiel: De Laak (166,7 kve 100 mL⁻¹), C. Rodenhuis (152 kve 100 mL⁻¹) en De Hooie Boom (127,5 kve 100 mL⁻¹) (Fig. 2.3 en 2.4). Deze voorzieningsgebieden krijgen daarom de maximale score 4 (Tab. 2.2).

In het voorzieningsgebied van de overige vier zuiveringsstations van Oasen lag het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater onder het landelijke 90-percentiel (89,5 kve 100 mL⁻¹), maar boven het landelijke 75-percentiel (23,0 kve 100 mL⁻¹) (De Put: 76,9 kve 100 mL⁻¹, Lekkerkerk: 54,4 kve 100 mL⁻¹, De Steeg: 47,1 kve 100 mL⁻¹ en Reijerwaard: 30,8 kve 100 mL⁻¹) (Fig. 2.3). Deze voorzieningsgebieden krijgen daarom een score 2 (Tab. 2.2).

Landelijk gezien scoren de voorzieningsgebieden van zs De Laak, C. Rodenhuis en De Hooie Boom voor de aantallen *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater ook hoog, maar vallen de overige voorzieningsgebieden van Oasen landelijk gezien in de middenmoot (Tab. I.4, Fig. 2.3 en 2.4).



Figuur 2.3. Het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* (bij 30°C) in drinkwater in het distributiesysteem van Oasen (periode 2010–2012) en de overige Nederlandse drinkwatervoorzieningsgebieden (periode 2004–2007). De voorzieningsgebieden van Oasen zijn weergegeven met een rode punt en de naam van het bijhorende zuiveringsstation. Rechts boven: het 50-, 75-, 90- en 95-percentiel van de rekenkundige gemiddelden van *Aeromonas* van 176 Nederlandse voorzieningsgebieden over de periode 2004 t/m 2007 (Van der Wielen en Van der Kooij, 2011).

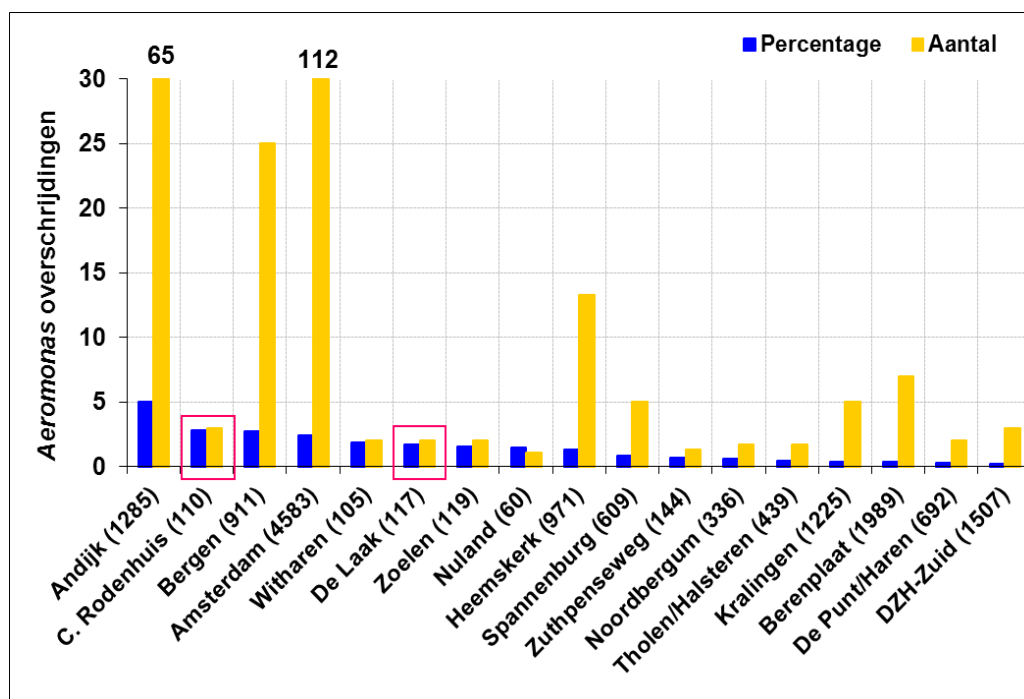


Figuur 2.4 Voorzieningsgebieden waar het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerd drinkwater hoger was dan het 90-percentiel (89,5 kve 100 mL⁻¹). Dichte symbolen in de grafiek representeren grondwaterlocaties en open symbolen representeren oppervlaktewaterlocaties. De voorzieningsgebieden van Oasen (De Laak, C. Rodenhuis en De Hooze Boom) zijn in het rood gemarkeerd.

2.3.1.3 Percentage *Aeromonas*-overschrijdingen

Uit de analyse van Oasen-gegevens, verkregen in de periode 2010-2012, blijkt dat de wettelijke eis voor *Aeromonas* (< 1000 kve 100 mL^{-1}) in het distributiesysteem van de meeste zuiveringsstations (De Hooge Boom, De Put, Lekkerkerk, De Steeg en Reijerwaard) niet wordt overschreden (Tab. 2.2). Percentueel gezien zijn de meeste *Aeromonas*-overschrijdingen waargenomen in het voorzieningsgebied van zs C. Rodenhuis (2,8%), hoewel landelijk gezien het voorzieningsgebied van zs De Laak ook een relatief hoog percentage heeft (1,7%) (Fig. 2.5). Deze twee voorzieningsgebieden krijgen daarom de maximale score 4 voor het percentage *Aeromonas*-overschrijdingen (Tab. 2.2).

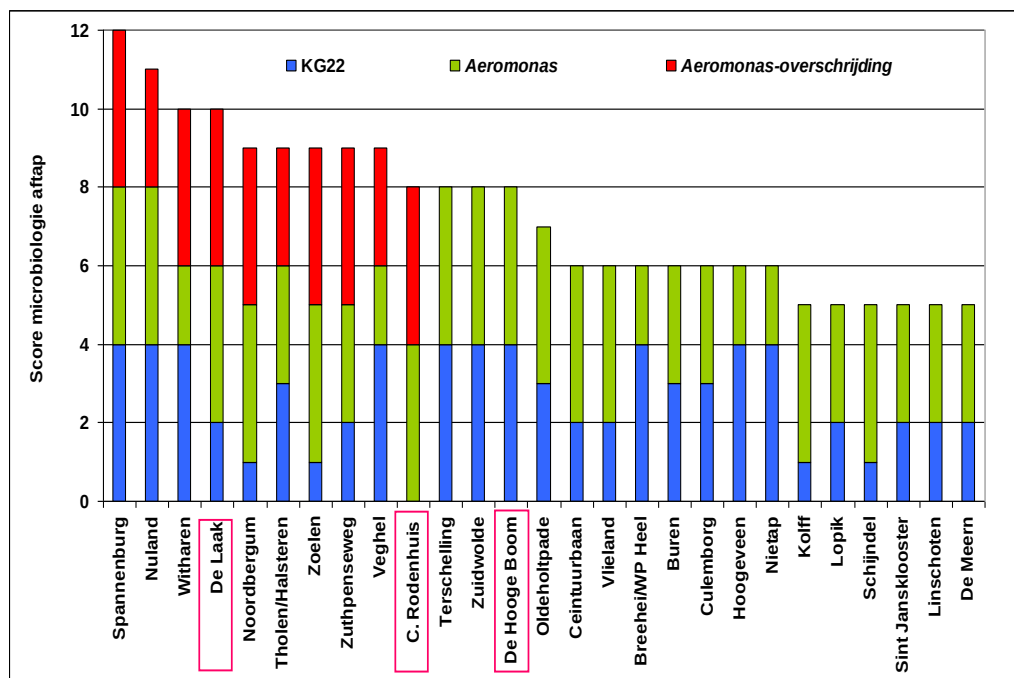
Uit figuur 2.5 blijkt tevens dat de voorzieningsgebieden met de meeste overschrijdingen, niet altijd de voorzieningsgebieden zijn met het hoogste rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas*. Het aantal overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* is het hoogst in de voorzieningsgebieden Amsterdam, Andijk, Bergen en Heemskerk, die worden gevoed met drinkwater bereid met oppervlaktewater. Percentueel gezien zijn de meeste *Aeromonas*-overschrijdingen waargenomen in Andijk, Bergen en Amsterdam. Ook sommige voorzieningsgebieden die worden gevoed met drinkwater bereid met grondwater (C. Rodenhuis, Witharen, De Laak, Zoelen en Nuland) laten een relatief hoog percentage van *Aeromonas*-overschrijdingen zien.



Figuur 2.5. Voorzieningsgebieden waar in de periode 2010 t/m 2012 (Oasen) en 2004 t/m 2007 (overige Nederlandse waterbedrijven) overschrijdingen van de wettelijke eis ($1000 \text{ kve } 100 \text{ mL}^{-1}$) van *Aeromonas* zijn waargenomen. Het getal tussen de haakjes achter de naam van elk voorzieningsgebied geeft het aantal *Aeromonas*-metingen weer dat in de betreffende periode is uitgevoerd. In het rode kader: de voorzieningsgebieden van Oasen (C. Rodenhuis en De Laak).

2.3.1.4 Totale score voor microbiologie

De totale score voor microbiologie in de voorzieningsgebieden van Oasen is weergegeven in Tabel 2.2. Volgens de tabel heeft voorzieningsgebied De Laak een score van 10, dat twee punten onder het maximum van 12 is (Van der Wielen en Van der Kooij, 2011). Voorzieningsgebied C. Rodenhuis en De Hooge Boom hebben een score van 8, terwijl de andere zuiveringsstations een score lager dan vijf hebben. Het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* en het percentage *Aeromonas*-overschrijdingen zijn voor het voorzieningsgebied van zs De Laak en C. Rodenhuis boven het landelijke 95-percentiel (Fig. 2.3 - 2.5). Het geometrisch gemiddelde van KG22 in het distributiesysteem van deze zuiveringsstations ligt onder het landelijke 90- (De Laak) en 75- (C. Rodenhuis) percentiel (Fig. 2.1). Voor De Hooge Boom ligt het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* en het geometrisch gemiddelde van KG22 in het distributiesysteem hoger dan het landelijke 95-percentiel (Fig. 2.3 en 2.1), maar in het voorzieningsgebied van zs De Hooge Boom zijn geen *Aeromonas*-overschrijdingen waargenomen (Tab. 2.2). Het voorzieningsgebied van zs Reijerwaard scoort een 2, dat de laagste microbiologische score is voor de voorzieningsgebieden van Oasen. Het geometrisch gemiddelde van KG22 in het distributiesysteem van dit zuiveringsstation ligt ver onder het landelijke 50-percentiel (3,0 kve mL⁻¹), terwijl het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* tussen het landelijke 75- en 90-percentiel ligt (30,8 kve mL⁻¹) (Fig. 2.1 en 2.3). De totale score voor de voorzieningsgebieden van de overige drie zuiveringsstations van Oasen is 3 (Lekkerkerk en De Steeg) of 4 (De Put). Deze voorzieningsgebieden blijken een vergelijkbare waarde voor de KG22- en *Aeromonas*-gemiddelden te hebben (tussen 75- en 90-percentiel) (Fig. 2.1 en 2.3).



Figuur 2.6. Rangschikking van de Nederlandse grondwaterpompstations naar de scores van microbiologische parameters (KG22, *Aeromonas* en percentage *Aeromonas*-overschrijdingen) in het voorzieningsgebied. In het rode kader: de zuiveringsstations van Oasen (C. Rodenhuis, De Laak en De Hooge Boom). Alleen pompstations met scores 5 of hoger zijn weergegeven.

De scores van de voorzieningsgebieden van Oasen zijn ook opgenomen in de rangschikking van alle voorzieningsgebieden in Nederland (Tab. 1.4). De voorzieningsgebieden van de grondwaterpompstations met de hoogste microbiologische scores (≥ 5) zijn ook weergegeven in Figuur 2.6. Uit de landelijke rangschikking blijkt dat de scores voor de voorzieningsgebieden van Oasen ten aanzien van de wettelijke nagroeiparameters over het algemeen niet hoog zijn in vergelijking met enkele andere voorzieningsgebieden in Nederland. Er zijn voorzieningsgebieden die worden gevoed met drinkwater bereid uit oppervlaktewater en/of grondwater die beduidend hoger scoren.

2.3.2 Groepering zuiveringsstations naar ruwwatersamenstelling

2.3.2.1 Dendrogram en clusters

In Figuur 2.7 is de groepering van 45 grondwaterpompstations weergegeven naar de ruwwatersamenstelling. Uit het dendrogram volgt dat één van de zeven zuiveringsstations van Oasen (zs Reijerwaard) op basis van de ruwwatersamenstelling niet bij de andere 44 grondwaterlocaties groepeerd. Het ruwe water bij dit zs blijkt de hoogste ammoniumconcentratie ($7,7 \text{ mg L}^{-1}$) van alle 45 pompstations te hebben. Daarnaast heeft het ook een relatief hoge methaan- ($7,0 \text{ mg L}^{-1}$) en ijzerconcentratie ($5,2 \text{ mg L}^{-1}$), waardoor de ruwwatersamenstelling afwijkt van de overige pompstations die bij de clusteranalyse zijn betrokken.

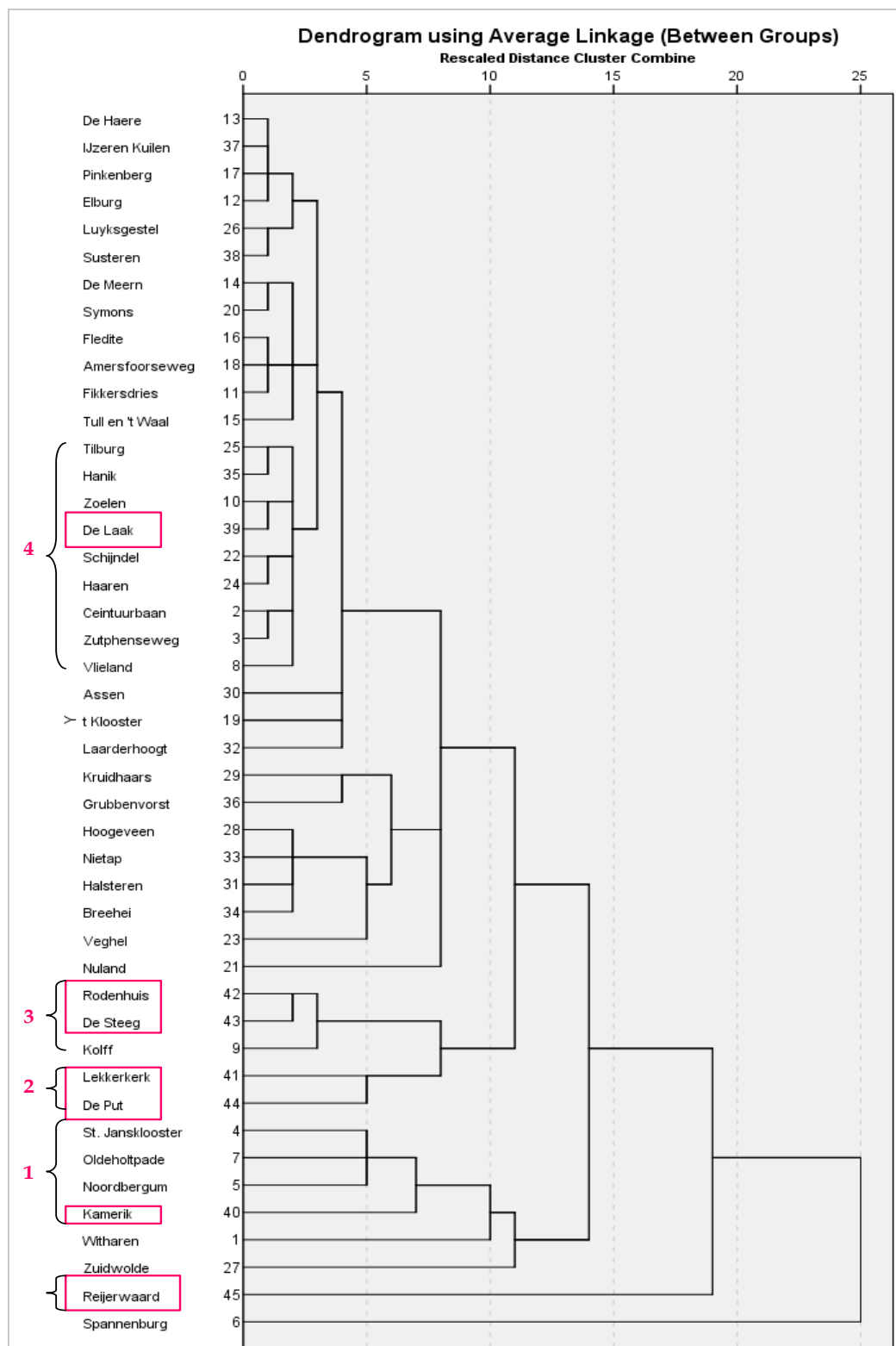
De andere zuiveringsstations van Oasen zijn verdeeld over vier groepen:

Groep 1: Sint Jansklooster, Oldeholtpade, Noordbergum en De Hooie Boom

Uit de clusteranalyse volgt dat ps St. Jansklooster, ps Oldeholtpade, ps Noordbergum en zs De Hooie Boom bij elkaar groeperen, omdat het grondwater van deze pompstations een vergelijkbare ruwwatersamenstelling heeft (Tab. 2.3). De totale score die deze pompstations volgens de systematiek van paragraaf 2.3.1 voor microbiologie hebben gekregen, is vergelijkbaar voor zs De Hooie Boom en ps Noordbergum en Oldeholtpade. Alleen ps St. Jansklooster heeft een duidelijk lagere score van 5.

Tabel 2.3. De scores volgens de rangschikking beschreven in paragraaf 2.3.1 en concentraties methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan van het ruwwater van de grondwaterpompstations van groep 1.

Pompstation	Score	Methaan	Ammonium	TOC	Ijzer	Mangaan
		(mg L^{-1})	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})
Noordbergum	9	6,6	1,6	5,2	10,2	0,3
De Hooie Boom	8	2,1	3,7	8	8,3	0,5
Oldeholtpade	7	3,8	2,1	8,2	12,5	0,3
St. Jansklooster	5	7,8	1,9	8,2	8,5	0,4



Figuur 2.7. Groepering van grondwaterpompstations naar de samenstelling van het ruwwater. Het dendrogram geeft het resultaat weer van hiërarchische clusteranalyse op de gemiddelde waarde van een aantal chemische parameters van het ruwwater bij 7 Oasen (in rode blokken) en 38 andere Nederlandse grondwaterpompstations. (Kamerik) - zs De Hooze Boom.

De relatief lage score van St. Jansklooster wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de monsternamen voor *Aeromonas* voornamelijk plaats heeft gevonden in de maand maart (Van der Wielen en Van der Kooij, 2011). De aantallen *Aeromonas* in het distributiesysteem zijn, conform het seizoenseffect, het laagst in de winterperiode (Baggelaar et al. 1992). Door het distributiesysteem voornamelijk in maart te bemonsteren, zal het rekenkundig gemiddelde over een jaar relatief (te) laag zijn (Van der Wielen en Van der Kooij, 2011).

Naast ps St. Jansklooster, heeft ook ps Oldeholtspade een lagere score (7) dan De Hooge Boom en Noordbergum. Uit Tabel 2.3 volgt dat de methaan-, ammonium-, TOC-, ijzer- en mangaanconcentratie van het ruwwater van ps Oldeholtspade niet lager zijn dan bij de andere drie pompstations. Aan de andere kant is de ammonium- en mangaanconcentratie van het ruwwater van zs De Hooge Boom hoger en de methaanconcentratie lager dan bij andere pompstations uit deze groep. De zuivering van ps Oldeholtspade wijkt wel af van de overige pompstations (Tab. I.3). De overige pompstations hebben een dubbele (St. Jansklooster en Noordbergum) of drievoudige (De Hooge Boom) beluchting en dubbele zandfiltratie met ontharding (St. Jansklooster, Noordbergum en De Hooge Boom). Op zs De Hooge Boom is ook actief koolfiltratie met UV-desinfectie als een extra stap in de zuivering opgenomen. Bij ps Oldeholtspade wordt naast de beluchting, dubbele snelfilters, ontzuring en ontharding, de ionenwisseling als een extra laatste stap in het zuiveringsproces toegepast. Tevens is onderzocht of afwijkingen bestaan in de jaarproductie en/of het percentage gietijzer in het distributiesysteem van ps Oldeholtspade. De waarden voor beide parameters liggen echter in dezelfde range als voor ps St. Jansklooster en Noordbergum (Tab. I.3 en Fig. II.1). Daarnaast is het gietijzergehalte in het leidingnet van ps Oldeholtspade tot vier keer hoger dan het gietijzergehalte in het distributieleidingnet van zs De Hooge Boom (2%, Fig. II.1).

Groep 2: Lekkerkerk en De Put

Zs Lekkerkerk en De Put groeperen bij elkaar en hebben vergelijkbare zuiveringsprocessen (Tab. I.3). Desondanks verschillen beide zuiveringsstations van elkaar qua ijzer- en mangaangehalte in ruwwater en samenstelling van het leidingnet in het voorzieningsgebied, jaarproductie, hoeveelheid KG22 en *Aeromonas* in het reine water en totale score voor microbiologie in het gedistribueerd drinkwater (Fig. 2.1 en 2.3, Tab. 2.2 en I.2 - I.5). De jaarproductie van het drinkwater en de mangaan- en ijzerconcentraties in het ruwwater zijn hoger bij zs Lekkerkerk. De totale score voor microbiologie zijn voor beide zuiveringsstations laag (3 of 4), waarbij zs De Put de hogere waarde heeft. Het drinkwaterdistributienet in het voorzieningsgebied van zs De Put vertoont minder PVC/PE, maar meer AC/BT en gietijzer, dan het distributiesysteem in het voorzieningsgebied van zs Lekkerkerk.

Groep 3: C. Rodenhuis, De Steeg en Kolf

Uit de clusteranalyse komt ook naar voren dat de ruwwatersamenstelling van de zs C. Rodenhuis, De Steeg en ps Kolf bij elkaar groeperen. In Tabel 2.4 is de score van de rangschikking volgens paragraaf 2.3.1 en de chemische ruwwatersamenstelling van deze drie locaties weergegeven. De score voor zs C. Rodenhuis is beduidend hoger dan de score voor ps Kolf en zs De Steeg. In het distributiesysteem van zs De Steeg zijn de aantallen KG22 en *Aeromonas* relatief laag. Bij de overige twee pompstations is waargenomen dat de aantallen KG22 relatief laag zijn, maar ook dat het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas*

in het gedistribueerde drinkwater relatief hoog is. Zuiveringsstation C. Rodenhuis heeft met een score van 8 de hoogste score in deze groep, omdat in het voorzieningsgebied van zs C. Rodenhuis overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* zijn waargenomen. De relatief lage score van Kolf wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de monsternamen voor *Aeromonas* voornamelijk plaats heeft gevonden in mei, buiten de warme periode (Van der Wielen en Van der Kooij, 2011).

Tabel 2.4. De scores volgens de rangschikking beschreven in paragraaf 2.3.1 en concentraties methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan van het ruwwater van de grondwaterpompstations van groep 3.

<i>Pompstation</i>	<i>Score</i>	<i>Methaan</i>	<i>Ammonium</i>	<i>TOC</i>	<i>Ijzer</i>	<i>Mangaan</i>
		(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)
C. Rodenhuis	8	0,2	0,9	1,9	1,8	0,6
Kolff	5	0	0,9	2,6	2,8	0,5
De Steeg	3	1,9	1	2,4	2,1	0,6

De ruwwatersamenstelling van zs De Steeg wijkt enigszins af van de andere pompstations, omdat het een hogere methaanconcentratie heeft. De zuiveringsprocessen van het ruwwater van deze drie pompstations zijn onderling verschillend (Tab. 1.3). Zo heeft zs De Steeg een uniek karakter, waar grondwater met twee verschillende ruwwatersamenstellingen (diep grondwater en oevergrondwater) wordt gewonnen. Deze twee ruwwaterstromen worden apart gezuiverd (met verschillende zuiveringsprocessen) en na zuivering gemengd, onthard en gefiltreerd door een nat zandfilter. Ondanks deze specifieke manier van winning en zuivering, lijkt de algemene zuiveringsopzet bij zs De Steeg veel op de zuiveringsprocedure bij zs C. Rodenhuis. In beide gevallen begint de zuivering met een enkele (C. Rodenhuis) of dubbele (De Steeg) beluchtingsstap en een dubbele zandfiltratiestap en breidt het zich vervolgens uit met een onthardings- en actief koolfiltratie met UV-desinfectiestap. Opvallend is echter dat de volgorde van deze laatste twee zuiveringsprocessen verschilt. Bij zs De Steeg wordt, in tegenstelling tot zs C. Rodenhuis, eerst de stap van actief koolfiltratie met UV-desinfectie toegepast en later de ontharding en additionele zandfiltratie (na beluchting en zandfiltratie). Op ps Kolf wordt het water alleen gezuiverd met een zandfiltratiestap. Zuiveringsstation De Steeg verschilt qua ruwwatersamenstelling en qua leidingmateriaalgebruik niet veel van zs C. Rodenhuis (Tab. 2.4 en Fig. II.1), maar onderscheidt zich qua jaarproductie van zs C. Rodenhuis. De jaarproductie van zs De Steeg is tot 1,5 keer lager dan de jaarproductie bij zs C. Rodenhuis (Tab. 1.3).

Groep 4: Tilburg, Hanik, Zoelen, De Laak, Schijndel en Haaren

In de laatste van de onderzochte clusters groepeerde zs De Laak met vijf andere grondwaterpompstations op basis van de ruwwatersamenstelling, waarbij zs De Laak het dichtst bij ps Zoelen staat. Opvallend is dat beide locaties een veel hogere score (De Laak score 10, Zoelen score 9) hebben dan de andere vier pompstations uit deze groep (Tab. 2.5).

Tabel 2.5. De scores volgens de rangschikking beschreven in paragraaf 2.3.1 en concentraties methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan van het ruwwater van de grondwaterpompstations van groep 4.

<i>Pompstation</i>	<i>Score</i>	<i>Methaan</i>	<i>Ammonium</i>	<i>TOC</i>	<i>Ijzer</i>	<i>Mangaan</i>
		(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)
Tilburg	0	1,20	0,41	2,52	1,43	0,06
De Laak	10	0,84	0,62	1,98	0,92	0,10
Hanik	0	0,80	0,33	2,42	2,10	0,06
Haaren	3	0,70	0,52	2,25	0,49	0,04
Schijndel	5	0,30	0,53	1,86	0,57	0,04
Zoelen	9	0,00	0,50	2,30	1,40	0,10

Deze hogere score wordt veroorzaakt door een hoger rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* in het distributiesysteem van zs De Laak en ps Zoelen door de overschrijdingen van de wettelijke norm van *Aeromonas* die in het distributiesysteem van deze twee pompstations zijn waargenomen (Tab. 2.2). Dit, in tegenstelling tot de distributiesystemen van de andere pompstations van deze groep (Tab. 1.4). De ammoniumconcentratie in het ruwe water dat zs De Laak wint, is gemiddeld 0,2 mg L⁻¹ hoger dan in het ruwwater van de andere vijf pompstations, maar dit verschil is klein (Tab. 2.5). De mangaanconcentratie in het ruwe water van zs De Laak is vergelijkbaar met de concentratie in het ruwe water van ps Zoelen (0,10 mg L⁻¹), en iets hoger (~ 0,05 mg L⁻¹) dan in het ruwe water van de overige pompstations uit deze groep. De drie andere parameters – methaan, ijzer en TOC – hebben een vergelijkbare of lagere concentratie in het ruwwater van zs De Laak vergeleken met het ruwwater van overige vijf pompstations uit deze groep. De jaarproductie bij zs De Laak wijkt niet af van de jaarproductie bij ps Tilburg, maar beide produceren aanzienlijk meer drinkwater per jaar, dan de overige vier pompstations uit de groep (Tab. 1.3). De zuivering van zs De Laak bestaat uit een beluchtingsstap, twee zandfiltratiestappen, een onthardingsstap en een actief koolfiltratiestap met UV-desinfectie (Tab. 1.3). Ook de andere vijf pompstations hanteren één (Zoelen) of twee (Haaren, Schijndel, Hanik en Tilburg) beluchtingstappen en één (Schijndel en Zoelen) of twee (Haaren, Hanik en Tilburg) zand- of grindfiltratiestappen in het zuiveringsproces (Tab. 1.3). Daarentegen gebruikt geen van de overige vijf pompstations ontharding of actief koolfiltratie met UV-desinfectie tijdens de zuivering. Het percentage gietijzeren leidingen dat in het distributiesysteem van zs De Laak aanwezig is, wijkt niet af van de distributiesystemen van de ps Zoelen en Schijndel, maar verschilt aanzienlijk met de distributiesystemen van ps Tilburg en Haaren (Fig. II.1).

2.4 Discussie

In de periode 2010 t/m 2012 is de wettelijke norm voor *Aeromonas* bij twee van de zeven onderzochte voorzieningsgebieden overschreden (zs De Laak en zs C. Rodenhuis), terwijl de wettelijke norm voor KG22 in geen van de onderzochte voorzieningsgebieden is overschreden (Fig. 2.1 – 2.5). De rangschikking van de voorzieningsgebieden naar KG22, *Aeromonas* en *Aeromonas*-overschrijdingen laat zien dat drie van de zeven voorzieningsgebieden van Oasen een score van acht of hoger hebben, de andere

voorzieningsgebieden van Oasen hebben een score lager dan 5 (Tab. 2.2). De scores voor de voorzieningsgebieden van Oasen zijn daarmee niet afwijkend ten opzichte van de scores van andere Nederlandse drinkwaterbedrijven (Tab. 1.4). De mate van nagroei in de voorzieningsgebieden van Oasen is op basis van de wettelijke parameters KG22 en *Aeromonas* dus niet verhoogd ten opzichte van de andere voorzieningsgebieden in Nederland. Bij de voorzieningsgebieden De Laak, C. Rodenhuis en De Hooge Boom zijn relatief hoge aantallen *Aeromonas* en/of KG22 waargenomen in het gedistribueerde drinkwater (Fig. 2.2, 2.4 en 2.5). Op deze locaties kan de mate van nagroei mogelijk worden verbeterd door de waterbehandeling en/of distributie te optimaliseren.

De toepassing van hiërarchische clusteranalyse en analyse van de verkregen clusters heeft bruikbare informatie opgeleverd voor de mogelijkheden van deze optimalisaties. De resultaten van deze clusteranalyse laten zien dat de pompstations St. Jansklooster, Oldeholtgade en Noordbergum en zuiveringsstation De Hooge Boom bij elkaar groeperen (Fig. 2.7). Pompstation St. Jansklooster eindigt van deze productielocatieslager in de rangschikking naar *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater dan de andere drie pompstations (Tab. 1.4), maar dat wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat destijds de monsters in het distributiesysteem van ps St. Jansklooster aan het einde van de winter werden genomen. Sinds 2011 heeft Vitens daarom de meetcampagne aangepast. Ook scoort ps Oldeholtgade lager in de rangschikking naar *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater dan de andere drie pompstations (Tab. 1.4). Aangezien het distributiesysteem van ps Oldeholtgade in de zomerperiode is bemonsterd, wordt deze score bij ps Oldeholtgade waarschijnlijk veroorzaakt door de lagere aantallen *Aeromonas* en/of KG22 in het distributienet. Mogelijk heeft de behandeling met ionenwisseling (Tab. 1.3) een deel van de afbreekbare stoffen in het water verwijderd, waardoor de score lager uitvalt. Wel moet worden opgemerkt dat het verschil in score klein is en het toepassen van ionenwisseling dus (nog) niet voor grote verbetering heeft gezorgd.

Bij de gegroepeerde zuiveringsstations C. Rodenhuis, De Steeg en Kolf (groep 3 in Fig. 2.7) zijn de aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater van zs C. Rodenhuis hoger dan bij de twee andere pompstations. Doordat de ruwwatersamenstelling van zs C. Rodenhuis het meest lijkt op de ruwwatersamenstelling van zs De Steeg, zou het mogelijk moeten zijn om de aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater van zs C. Rodenhuis te verlagen. De zuiveringsopzet van zuiveringsstation De Steeg zou hierbij als een voorbeeld kunnen dienen, omdat de toepassing van de actief koolfiltratie (met een UV-desinfectie) niet *na* maar *voor* de zandfiltratie (en ontharding) staat. Waarschijnlijk wordt de gevormde biomassa in de actief koolfiltratie en de mogelijke productie van AOC door het UV-proces door de eindstandige zandfilter weer verwijderd, waardoor er minder afbreekbare stoffen in het reinwater aanwezig zijn en de mate van nagroei (KG22 en *Aeromonas*) lager is in het voorzieningsgebied van zs De Steeg.

De clusteranalyse groepeerde ook zs De Laak en de pompstations Tilburg, Hanik, Zoelen, Schijndel en Haaren bij elkaar (groep 4 in Fig. 2.7). De aantallen KG22 en *Aeromonas* in het distributiesysteem van zs De Laak en ps Zoelen zijn echter hoger dan in de distributiesystemen van de vier andere pompstations (Tab. 1.4). De zuivering van ps Zoelen en Haaren bestaat uit een enkele beluchting/filtratiestap (Tab. 1.3). De andere pompstations passen dubbele beluchting/filtratie toe. Dit verschil veroorzaakt mogelijk hogere aantallen *Aeromonas* en KG22 in het distributiesysteem van Zoelen, maar verklaart niet de hogere scores voor microbiologie in het gedistribueerde drinkwater van zs De Laak. Bij de zuivering van zs De Laak wordt als laatste stap ontharding en actief koolfiltratie met UV-desinfectie toegepast, terwijl op de andere pompstations deze zuiveringsstappen niet worden toepassen. Het is mogelijk dat de verplaatsing van de onthardingsstap en actief koolfiltratie met UV-

desinfectie naar een andere plek in de zuivering kan leiden tot verminderde nagroei in het distributiesysteem, omdat bekend is dat actief kool filtratie kan leiden tot uitspoeling van biomassa en UV tot vorming van AOC. Met behulp van extra metingen (ATP, biomassa, BPP, BAS en AOC) is te achterhalen of de biologische stabiliteit van het water door de eindstandige actief koolfiltratie en UV-desinfectie wordt verslechterd. Het blijkt dus dat bij zowel zs C. Rodenhuis als zs De Laak er aanwijzingen zijn dat de eindstandige actiefkoolfiltratie met UV een mogelijke oorzaak is voor de verhoogde nagroei in het distributiesysteem.

Vier van de onderzochte zuiveringsstations bij Oasen (Lekkerkerk, De Put, Reijerwaard en De Steeg) scoren laag (< 5) t.o.v. de nagroeiparameters (Tab. 2.2). Doordat het gedistribueerde drinkwater van deze zuiveringsstations geen hoge aantallen KG22 of *Aeromonas* bevat, lijkt het voornamelijk niet nodig om deze zuiveringen te optimaliseren.

Ten slotte is het onduidelijk of de locaties in het voorzieningsgebied die zijn bemonsterd in alle gevallen exclusief gekoppeld zijn geweest met het zuiveringsstations. Het is misschien mogelijk dat het drinkwater van het distributiesysteem bij sommige locaties afkomstig is geweest van meerdere zuiveringsstations. De verwachting is echter dat de meeste data uit het distributiesysteem wel is gekoppeld aan het juiste zuiveringsstation, zodat het overall verkregen beeld voldoende betrouwbaar is.

2.5 Conclusies

- In het distributiesysteem van de zeven onderzochte zuiveringsstations van Oasen treedt groei op van *Aeromonas* en heterotrofe bacteriën die worden bepaald met KG22.
- Overschrijdingen van de wettelijke norm voor *Aeromonas* zijn in de periode 2010 tot en met 2012 bij twee van de zeven voorzieningsgebieden waargenomen.
- Wettelijke overschrijdingen van de eis van KG22 zijn nergens waargenomen.
- De mate van nagroei in de voorzieningsgebieden van Oasen is op basis van de wettelijke parameters *Aeromonas* en KG22 niet verhoogd ten opzichte van de andere voorzieningsgebieden in Nederland.
- De locaties met de meeste nagroei in het distributiesysteem, gebaseerd op *Aeromonas*- en KG22-aantallen, zijn De Laak, De Hooge Boom en C. Rodenhuis; onderzoek naar verbetering van de biologische stabiliteit zou zich dus in eerste instantie moeten richten op deze zuiveringsstations.
- Het ruwwater van zs Reijerwaard heeft een unieke samenstelling op basis van de concentraties methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan, want de ruwwatersamenstelling groepeerd niet met de ruwwatersamenstelling van de overige grondwaterpompstations in Nederland.
- Optimalisatie van vier van de onderzochte zuiveringsstations van Oasen (De Put, Lekkerkerk, De Steeg en Reijerwaard) lijkt niet nodig, aangezien de totale score voor microbiologie bij deze zuiveringsstations relatief laag is (<5).
- De eindstandige actief koolfiltratie met UV-desinfectie en/of ontharding zijn mogelijke processen die de hoge mate van nagroei in het distributiesysteem van De Laak, De Hooge Boom en C. Rodenhuis veroorzaken.

2.6 Aanbevelingen

Op basis van de hierboven beschreven resultaten wordt aanbevolen om het onderzoek naar verbetering van de biologische stabiliteit bij Oasen in eerste instantie te richten op de zuiveringsstations De Laak, De Hooge Boom en C. Rodenhuis. Door de biologische stabiliteit van het (drink)water van deze zuiveringsstations in diverse stadia van de zuivering nader te bestuderen, kunnen aanbevelingen worden gedaan voor een doelgerichte en efficiënte zuiveringsoptimalisatie. Dit onderzoek zou zich in de eerste plaats moeten richten op de eindstandige actiefkoolfiltratie en UV, aangezien de inventarisatiestudie aanwijzingen heeft geleverd dat deze twee processen het meest kritisch zijn in relatie tot de biologische stabiliteit van het geproduceerde drinkwater.

3 Biologische stabiliteit op zs De Laak

3.1 Inleiding

Uit de eerste fase van het onderzoek is naar voren gekomen dat De Laak een van de drie zuiveringsstations van Oasen is waar beperking van nagroei in het distributiesysteem door optimalisatie van de zuivering wenselijk is. Ten opzichte van de andere zuiveringsstations van Oasen, heeft zs De Laak de hoogste score in de rangschikking naar *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater. Deze score is ook hoger dan de score van vijf grondwaterpompstations met een vergelijkbare ruwwatersamenstelling (Tilburg, Hanik, Zoelen, Schijndel en Haaren). Het zou daarom ook mogelijk moeten zijn om de nagroei in het distributiesysteem van zs De Laak te beperken.

Zs De Laak onderscheidt zich qua zuiveringsopzet van de andere grondwaterpompstations met een vergelijkbare ruwwatersamenstelling door de toepassing van extra zuiveringsstappen (ontharding en actief koolfiltratie met UV-desinfectie). Mogelijk dat deze extra zuiveringsstappen indirect verantwoordelijk zijn voor de zojuist omschreven verhoogde *Aeromonas*- en KG22-aantallen in het distributiesysteem van dit zuiveringsstation. Het is bekend dat actieve kool als laatste filtratiestap kan leiden tot een verminderde biologische stabiliteit van het geproduceerde (drink)water door uitspoeling van biomassa uit het actief kool (van der Kooij *et al.*, 2011). Daarnaast heeft onderzoek laten zien dat UV-desinfectie kan resulteren in AOC-vorming (Maas *et al.*, 2009), waardoor de biologische stabiliteit negatief wordt beïnvloed.

Om te achterhalen of actief koolfiltratie met eindstandige UV-desinfectie de biologische stabiliteit van het water op zs De Laak verslechtert, is in overleg met de projectgroep van Oasen besloten om op dit zuiveringsstation in juli-november 2013 een serie van (oriënterende) metingen met traditionele en nieuwe biologische stabiliteitsmethoden te verrichten.

3.2 Materialen en methoden

3.2.1 Monsterpunten en bedrijfsvoering

De kwantitatieve analyses van de relevante nagroei- en biologische stabiliteitsparameters zijn uitgevoerd in het water op een drietal monsterpunten op zs De Laak: (i) vóór actief koolfiltratie (locatiecode PLU du O1a), (ii) ná AK-filtratie (locatiecode PLAFK99A) en (iii) ná UV-desinfectie in de periode 10 juli t/m 13 november. Tijdens deze periode is de bedrijfsvoering van de UV-installatie veranderd: op 23 juli is de dosis van de toegepaste middendruklampen verlaagd van 120-130 mJ cm^{-2} naar ca. 50 mJ cm^{-2} .

3.2.2 Meetprogramma

De microbiële groeipotentie van het water is bepaald door (i) het gehalte gemakkelijk assimileerbaar organisch koolstof (AOC) te meten met de traditionele AOC-methode (*P. fluorescens* stam P17 en *Spirillum sp.* stam NOX) (Van der Kooij, 1992) en door (ii) de biomassaproductiepotentie (BPP) van het water te meten (Van der Kooij en Veenendaal, 2014). Tijdens de BPP-test is het water zonder voorbehandeling 14 dagen geïncubeerd bij 25°C, waarbij op regelmatige tijden de groei van bacteriën is gemonitord door het ATP-gehalte te bepalen. Deze ATP-waarden zijn vervolgens in een grafiek uitgezet tegen de tijd. De cumulatieve biomassaproductie gedurende 14 dagen (BPC14, d.ng ATP L⁻¹) (de oppervlakte onder de grafiek), vormt een maat voor de hoeveelheid biologisch (gemakkelijk en moeilijk) afbreekbaar organisch materiaal in het water. De maximum ATP-concentratie die binnen de eerste zeven dagen is waargenomen (BP7, ng ATP L⁻¹), vormt een maat voor de concentratie van gemakkelijk afbreekbaar organisch koolstof.

De hoeveelheid (levende en dode) biomassa in het te testen (drink)water is bepaald door het drinkwater te concentreren met de hemoflow, zodat het gehalte deeltjesgebonden organisch koolstof (POC), koolhydraten (PCHC), ijzer (PFe) en mangaan (PMn) kon worden uitgerekend (Van der Kooij en Veenendaal, 2013). De aanwezigheid en concentratie van actieve biomassa in de watermonsters is bepaald door het adenosinetrifosfaat (ATP)-gehalte (ng L⁻¹) te meten (Van der Wielen en Van der Kooij, 2010).

Met gebruikmaking van de continue biofilmmonitor (CBM) zijn de biomassaaccumulatiesnelheid (BAS, pg ATP cm⁻². d⁻¹), ijzeraccumulatiesnelheid (FeAS, mg Fe m⁻². d⁻¹) en de mangaanaccumulatiesnelheid (MnAS, µg Mn m⁻². d⁻¹) van het te testen water bepaald (Van der Kooij en Veenendaal, 2012).

Naast de microbiologische en chemische parameters, is in dit meetprogramma ook de temperatuur (°C) van het (drink)water gemonitord. Alle metingen en bemonsteringen van het (drink)water in de zuivering zijn verricht conform de in KWR-huisvoorschriften beschreven werkwijze (Tab. 3.1).

3.2.3 Bemonsteringsfrequentie

In het kader van het voorgestelde meetprogramma zijn de temperatuur, ATP-concentratie en BAS van het water elke twee weken bepaald in de periode van 10 juli t/m 13 november 2013 (Tab. 3.1). De FeAS en MnAS zijn gedurende deze periode maandelijks gemeten. Op dag 217 (6 augustus) en dag 301 (29 oktober) zijn watermonsters verzameld voor de bepaling van de BPP, AOC, POC, PCHC, PMn en PFe. Door een hydraulisch experiment hebben de CBM's op 16 oktober stilgestaan, maar de verwachting is dat een stilstand van een dag weinig invloed heeft op de BAS, FeAS en MnAS.

Tabel 3.1. De analyseschema en bemonsteringsfrequentie van het meetprogramma (per monsterlocatie) op zs De Laak (10 juli – 13 november 2013).

<i>Parameter</i>	<i>Bemonstering (datum)</i>	<i>Methode</i>	<i>Werkwijze*</i>
ATP (ng L ⁻¹)	10/07 – 13/11 (1x/2 weken)	ATP	LMB-002
AOC (µg ac-C eq L ⁻¹)	6/8 en 29/10	AOC (P17/NOX)	LMB-004
BPC14 (d. ng ATP L ⁻¹)	6/8 en 29/10	BPP	LMB-012
BP7 (ng ATP L ⁻¹)	6/8 en 29/10	BPP	LMB-012
BAS (pg ATP cm ⁻² dag ⁻¹)	10/07 – 13/11 (1x/2 weken)	CBM	LMB 072
FeAS (mg Fe m ⁻² dag ⁻¹)	25/7, 6/8, 3/9, 17/9 en 29/10	CBM	LMB 074
MnAS (µg Mn m ⁻² dag ⁻¹)	25/7, 6/8, 3/9, 17/9 en 29/10	CBM	LMB 074
TOC (mg L ⁻¹)	6/8 en 29/10	TOC	LAM 068
POC (µg C L ⁻¹)	6/8 en 29/10	Hemoflow	LMB 068
PCHC (µg C L ⁻¹)	6/8 en 29/10	Hemoflow	LMB 075
PFe (µg L ⁻¹)	6/8 en 29/10	Hemoflow	LMB 074
PMn (µg L ⁻¹)	6/8 en 29/10	Hemoflow	LMB 074
Temperatuur (°C)	10/07 – 13/11 (1x/2 weken)		

* Het nummer van toegepaste KWR-huisvoorschrift, per methode en bijhorende parameter(s).

3.3 Resultaten

3.3.1 Watertemperatuur

Uit de metingen op zs De Laak komt naar voren dat de gemiddelde temperatuur van het water voor en na AKF en na UV-desinfectie in de periode juli t/m november 2013 onderling niet veel verschilde (Tab. 3.2). Ook was de standaarddeviatie voor ieder watertype klein, wat erop wijst dat de watertemperatuur gedurende de onderzoeksperiode relatief constant was.

Tabel 3.2. De gemiddelde waarden van de watertemperatuur en van de concentratie totaal organisch koolstof (TOC) en actieve biomassa (ATP) in het water, verzameld in de periode van 10 juli (dagnummer 190) t/m 13 november (dagnummer 316) 2013 vóór en ná actief koelfiltratie (AKF) en ná UV-desinfectie op zs De Laak.

<i>Parameter</i>	<i>Temperatuur (°C)</i>		<i>TOC (mg L⁻¹)</i>		<i>ATP (ng L⁻¹)</i>	
Meetperiode (dagnr.)	(190 – 233*)	(245* - 316)	(217*)	(301*)	(190 – 233)	(245 – 316)
Voor AKF	12,5 ± 0,2	12,2 ± 0,4	1,2	1,1	6,2 ± 2,1	6,2 ± 4,9
Na AKF	13,1 ± 0,2	12,6 ± 0,4	1,4	1,4	2,1 ± 0,7	2,3 ± 2,2
Na UV	12,6 ± 0,2	12,1 ± 0,4	1,1	1,0	4,2 ± 1,2	3,8 ± 0,8

* Dag 233 (22 augustus), 245 (3 september), 217 (6 augustus) en 301 (29 oktober 2013).

3.3.2 TOC-concentratie

De TOC-concentratie van het influent van actief koolfilter (snelfiltraat) bedroeg op dag 217 (6 augustus 2013) circa 1,2 mg/L en op dag 301 (29 oktober 2013) ca. 1,1 mg/L. Dit duidt erop dat de toegepaste voorbehandeling (nl. beluchting, voorfiltratie, ontharding en nafiltratie, Tab. I.3) het TOC-gehalte van het diepgewonnen grondwater (Tab. I.2) ongeveer heeft gehalveerd. Na actief koolfiltratie was de concentratie van TOC in het water op beide dagen iets hoger dan in het snelfiltraat, terwijl het TOC-gehalte na UV-desinfectie weer licht daalde. Deze verschillen waren echter klein (Tab. 3.2).

3.3.3 Biologische stabiliteitsparameters

3.3.3.1 Gehalte actieve biomassa (ATP)

Uit de ATP-metingen op zs De Laak blijkt dat in de periode juli t/m november 2013 de gemiddelde ATP-concentratie van het snelfiltraat, AK-filtraat en reinwater minder dan 10 ng ATP/L bedroeg (Tab. 3.2). Verder komt naar voren dat het ATP-gehalte van het snelfiltraat over het algemeen gemiddeld 2,8 keer hoger lag dan van het AK-filtraat. Tegelijkertijd was het ATP-gehalte van het AK-filtraat gemiddeld 1,8 keer lager dan van het reinwater. Dit duidt erop dat AK-filtratie voor een afname zorgde en UV-desinfectie voor een toename van het gehalte actieve biomassa in het geproduceerde water.

3.3.3.2 AOC-concentratie

Uit de gegevens van de AOC-metingen op zs De Laak komt naar voren dat op dag 217 (6 augustus 2013) het AOC-gehalte niet veel verschilde tussen de drie onderzochte watertypen en gemiddeld rond $4,8 \mu\text{g ac-C eq L}^{-1}$ was (Tab. 3.3). Tijdens de metingen op dag 301 (29 oktober 2013) was het AOC-gehalte in het influent en effluent van AK-filtratie eveneens vergelijkbaar ($2,9 \pm 1,5$ en $2,6 \pm 0,7 \mu\text{g ac-C eq L}^{-1}$), terwijl het water na UV-desinfectie een relatief hoog AOC-gehalte had ($16,2 \pm 11,1 \mu\text{g ac-C eq L}^{-1}$). Voor deze hoge AOC-waarde is echter een hoge standaarddeviatie gemeten, wat erop wijst dat de duplowaarden onderling veel verschilden. De laagste van deze twee duplowaarden was $2,7 \mu\text{g ac-C eq L}^{-1}$, wat vergelijkbaar is met het AOC-gehalte in het water voor of na actief koolfiltratie. Waarschijnlijk is de andere AOC-kolf verontreinigd geraakt met AOC, waardoor de tweede waarde te hoog uitviel.

Uit de AOC-resultaten valt verder op te maken dat in alle drie de watertypen de AOC-fractie bepaald met stam NOX over het algemeen beduidend hoger was dan van stam P17 (Tab. 3.3 en Fig. II.2). Na AKF neemt het aandeel P17 toe, terwijl na UV-desinfectie het aandeel NOX weer toeneemt. Het relatief grote aandeel AOC-NOX in het (totale) AOC-gehalte lijkt te duiden op de aanwezigheid van laagmoleculaire (hydroxy)carbozuren, aangezien het bekend is dat *Spirillum sp.* stam NOX vooral kleinere carbonzuren consumeert (Van der Kooij en Hijnen, 1984). De afname van de NOX-fractie tijdens actief koolfiltratie duidt op afbraak van deze kleinere carbonzuren door micro-organismen in het actief koolfilter. De toename van de NOX-fractie na UV-desinfectie wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat UV-straling (dosis:

ca. 50 mJ/cm², bereik: 0-1400 m³/h) van hoogmoleculaire organische moleculen kleinere carbonzuren maakt.

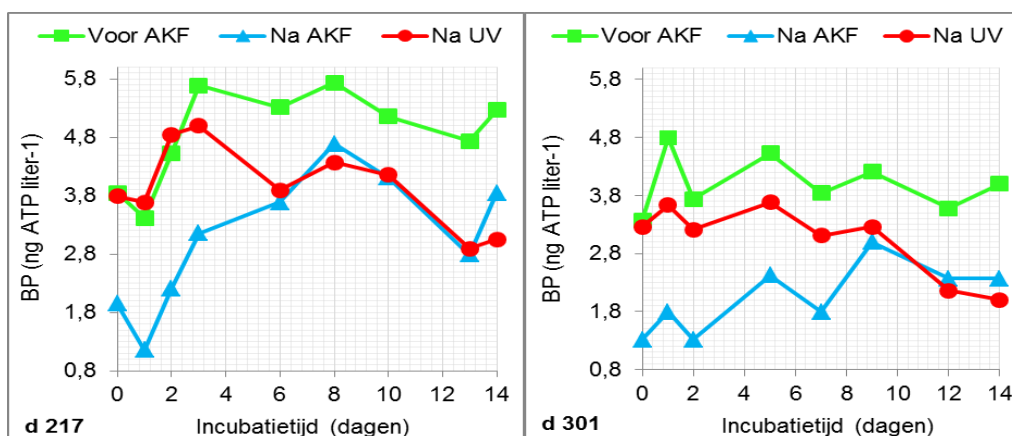
Tabel 3.3. Het AOC-gehalte van het water verzameld op dag 217 (6 augustus 2013) en dag 301 (29 oktober 2013) op een drietal monsterpunten op zs De Laak: vóór en ná actief koelfiltratie (AKF) en ná UV-desinfectie.

Parameter	AOC-P17* (µg ac-C eq L ⁻¹)		AOC-NOX* (µg ac-C eq L ⁻¹)		AOC-totaal (µg ac-C eq L ⁻¹)	
	217	301	217	301	217	301
Voor AKF	0,9 ± 0,2	0,4 ± 0,02	3,7 ± 0,6	2,5 ± 0,1	4,6 ± 2,0	2,9 ± 1,5
Na AKF	3,3 ± 3,2	0,8 ± 0,04	2,4 ± 0,9	1,8 ± 0,2	5,7 ± 0,6	2,6 ± 0,7
Na UV	0,6 ± 0,2	0,2 ± 0,02	3,4 ± 0,02	16,0 ± 18,8	4,0 ± 2,0	16,2 ± 11,1

* De AOC-concentraties zijn berekend met de maximum koloniegetallen die *P. fluorescens* stam P17 en *Spirillum* sp. stam NOX in de batchtesten met het onderzochte water bereikten. Bij de berekeningen is rekening gehouden met de opbrengstfactoren van deze stammen op acetaat, nl. 4,10E+06 µg ac-C eq L⁻¹ (stam P17) en 1,20E+07 (µg ac-C eq L⁻¹ (stam NOX).

3.3.3.3 Biomassaproductiepotentie (BPP)

De microbiologische groeipotentie van de drie watertypen op zs De Laak is ook bepaald met de biomassaproductiepotentie (BPP) test. De toename van het ATP-gehalte van de watermonsters in deze test was aanzienlijk lager op dag 301 (29 oktober 2013) dan op dag 217 (6 augustus 2013) (Fig. 3.1).



Figuur 3.1. Het verloop van het ATP-gehalte tijdens de BPP-test met het influent en effluent van actief koelfiltratie en met het reinwater, verzameld op dag 217 (6 augustus 2013) en 301 (29 oktober 2013) op zs De Laak.

Desondanks was de tijd voor het bepalen van de maximale waarde van het ATP-gehalte van de drie watertypen vergelijkbaar (Tab. 3.4). De maximum ATP-concentratie afkomstig uit de BPP-test van het AKF-influent en van het reinwater van dag 217, is gemeten op dag 3. De maximum ATP-concentratie afkomstig uit de BPP-test van het AKF-influent van dag 301, is gemeten op dag 1 en van het reinwater van dag 301, op dag 5. De verhoogde ATP-gehalten na 1 á 5 dagen incubatie duiden op de aanwezigheid van gemakkelijk afbreekbare verbindingen in het snelfiltraat en reinwater. De piek in het ATP-gehalte van beide AK-filtraten is pas na 8-9 dagen van BPP-incubatie te zien (Fig. 3.1 en Tab. 3.4). Kennelijk waren in het actief koolfiltraat moeilijk afbreekbare verbindingen aanwezig en werden deze verbindingen door de toepassing van middendruk UV-lampen (met een cut-off van 240 nm en UV-dosis van ca. 50 mJ/cm²) afgebroken tot gemakkelijk afbreekbare verbindingen.

Tabel 3.4. De gemiddelde BP7- en BPC14-waarden afkomstig uit de BPP-testen van het water, verzameld op dag 217 (6 augustus 2013) en dag 301 (29 oktober 2013) op een drietal monsterpunten op zs De Laak: vóór en ná actief koolfiltratie (AKF) en ná UV-desinfectie.

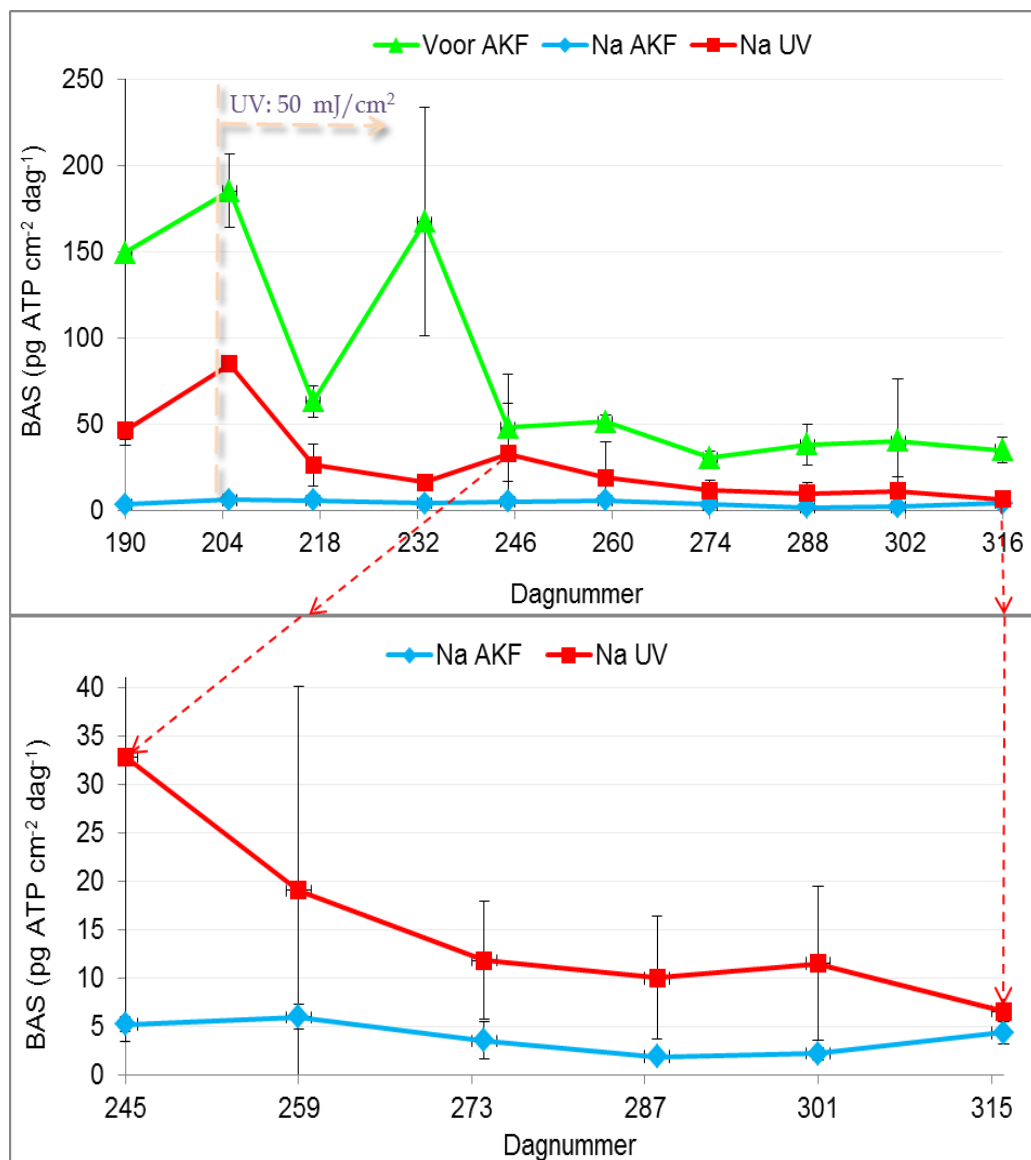
Monstername (<i>dagnummer</i>)	BP7 (ng ATP L ⁻¹)		BPC14 (d.ng ATP L ⁻¹)	
	217	301	217	301
Voor AKF	5,7 ± 0	4,8 ± 0,5	71,0 ± 3,6	56,4 ± 15,1
Na AKF	4,2 ± 0,7	1,8 ± 0,4	47,0 ± 1,4	30,5 ± 1,6
Na UV	5,0 ± 0,4	3,7 ± 0,1	56,6 ± 2,4	42,7 ± 1,0

De BP7- en BPC14-waarde van de watermonsters verzameld op dag 217 (6 augustus) waren hoger dan van de watermonsters verzameld op dag 301 (29 oktober) (Tab. 3.4). In beide gevallen zijn de hoogste BPC14- en BP7-waarde waargenomen in het influent van actief koolfilter en de laagste in het actief koolfiltraat, terwijl de BP7- en BPC14-waarde na UV-desinfectie over het algemeen tussen deze twee waarden in lagen.

3.3.3.4 CBM-monitoring

Biomassaaccumulatiesnelheid (BAS)

Uit de gegevens van de CBM-monitoring op zs De Laak blijkt dat in de periode juli t/m november 2013 de BAS-waarden van het snelfiltraat het hoogst waren (30,7 ± 4 tot 185,2 ± 21,2 pg ATP cm⁻² dag⁻¹). Na actieve-koolfiltratie is de BAS-waarde sterk gereduceerd (1,9 ± 0,1 tot 6,3 ± 0,2 pg ATP cm⁻² dag⁻¹), terwijl deze na UV-desinfectie weer hoger is geworden (6,5 ± 0,6 tot 84,9 ± 3,9 pg ATP cm⁻² dag⁻¹). Verder is opvallend dat van dag 190 (10 juli) t/m 233 (22 augustus 2013) de BAS-waarden van het snelfiltraat en van het reinwater hoog en niet stabiel waren, terwijl van dag 245 (3 september) t/m 316 (13 november) de BAS-waarden van beide watertypen significant lager en stabiel zijn geworden (Fig. 3.2).

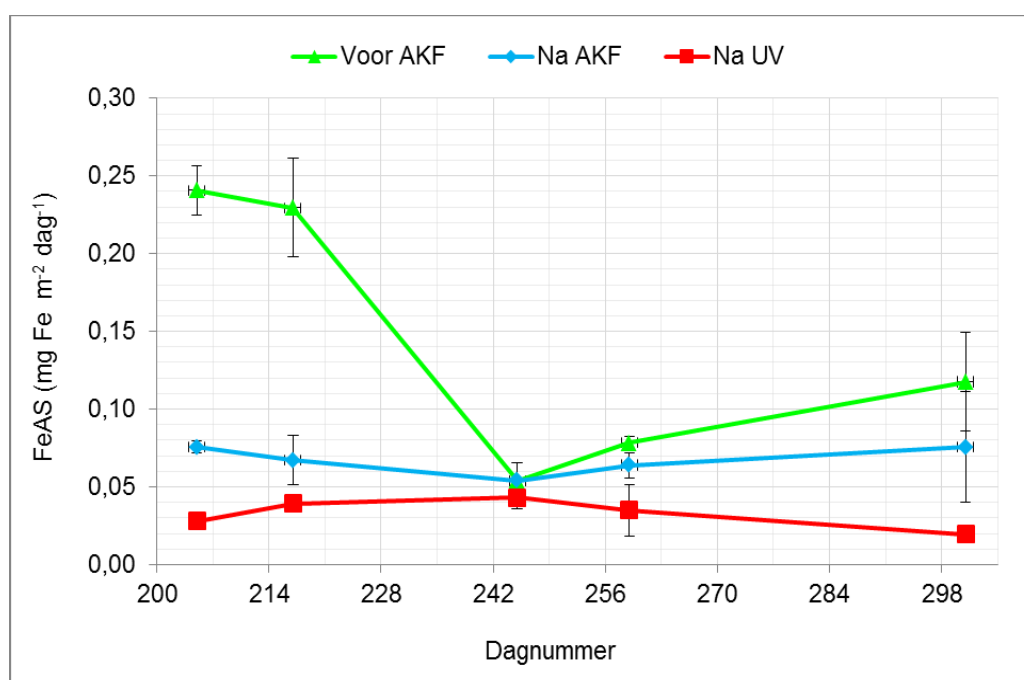


Figuur 3.2. Het verloop van de biomassaaccumulatiesnelheid (BAS) in het influent van actief koolfilter (Voor AKF), het AK-filtraat (Na AKF) en het reinwater (Na UV), geproduceerd op zs De Laak in de periode van 10 juli (dag 190) t/m 13 november 2013 (dag 316).

Dit betekent dat de factoren die de biomassaaccumulatie in de CBM's beïnvloeden (met name samenstelling en concentratie van biomassa en/of aard en concentratie van afbreekbare stoffen) bij deze watertypen in de periode van dag 233 tot 245 significant zijn veranderd. Op dag 203 (23 juli) was de UV-dosis van de middendrukklampen verlaagd (van 120-130 mJ cm^{-2} naar ca. 50 mJ cm^{-2}). Dit kan een effect hebben gehad op de samenstelling en concentratie van biomassa en/of aard en concentratie van afbreekbare stoffen in het reinwater, waardoor de BAS van het reinwater lager is geworden. Het verklaart echter niet de gelijktijdige verlaging en stabilisatie van de BAS-waarden in het snelfiltraat. Mogelijk heeft tussen dag 233 en 245 een verandering en/of storing in de bedrijfsvoering van nafiltraat plaats gevonden, die een effect heeft gehad op de BAS van het geproduceerd water.

Ijzeraccumulatiesnelheid (FeAS)

Uit de CBM-monitoring op zs De Laak blijkt dat de FeAS in de periode juli t/m oktober 2013 in het influent van de AK-filtratie het hoogst (gemiddeld $0,14 \pm 0,1 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) en in het water na de UV-desinfectie het laagst (gemiddeld $0,03 \pm 0,01 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) was. Verder komt naar voren dat in juli-augustus (dag 205 en 217) de FeAS in de CBM met het influent van actief koolfilter relatief hoog ($\sim 0,24 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) was. Vanaf september (dag 245) was de FeAS van het AK-influent een stuk lager (gemiddeld $0,08 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (Fig. 3.3).



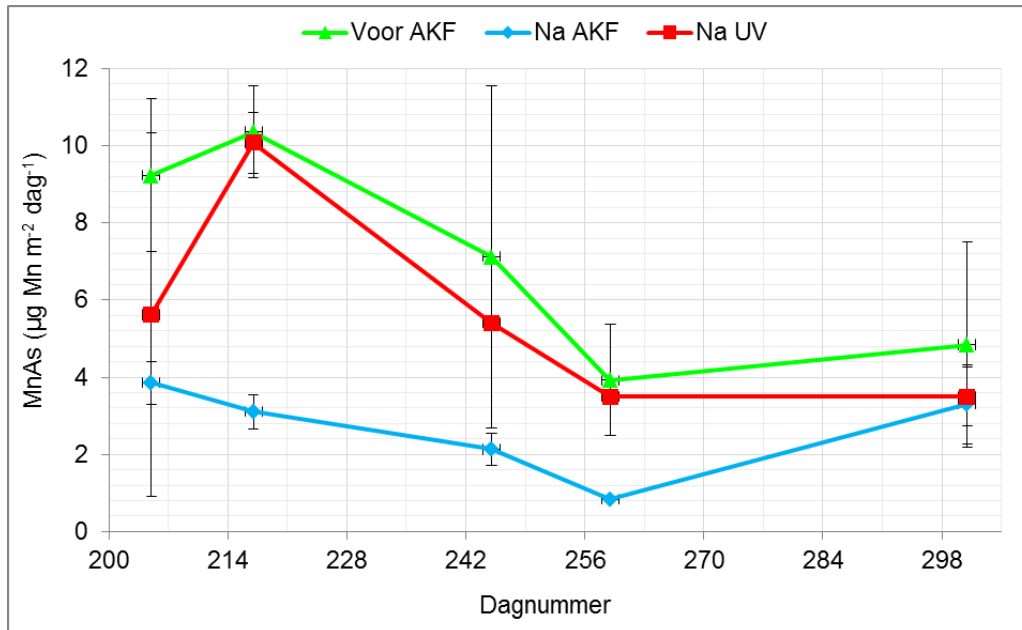
Figuur 3.3. Het verloop van de ijzerafzettingssnelheid (FeAS) in het influent van actief koolfilter, het AK-filtraat en het reinwater, geproduceerd op zs De Laak in de periode van 25 juli (dag 205) t/m 29 oktober 2013 (dag 301).

Deze opvallende daling van FeAS in het snelfiltraat is vergelijkbaar met de daling die is waargenomen voor de BAS-waarde van dit water (Fig. 3.2). Deze afname werd niet waargenomen in het water na AK-filtratie en UV-desinfectie (Fig. 3.3).

Mangaanaccumulatiesnelheid (MnAS)

De MnAS in het influent van de actief koolfiltratie was gemiddeld bijna driemaal hoger dan in het water na AK-filtratie (Fig. 3.4). Na UV-desinfectie daalde de MnAS echter weer naar een vergelijkbaar niveau met die van het influent van de AKF (gemiddeld $\sim 6,0 \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Evenals de BAS, was ook de MnAS voor de twee watertypen – het snelfiltraat en het reinwater – opvallend hoger in de periode van dag 205 t/m 245 (Fig. 3.4). Daarna stabiliseerde de MnAS

zich op een redelijk constante waarde (snelfiltraat: $\sim 4\text{--}5 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ en reinwater: $\sim 3,5 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$).



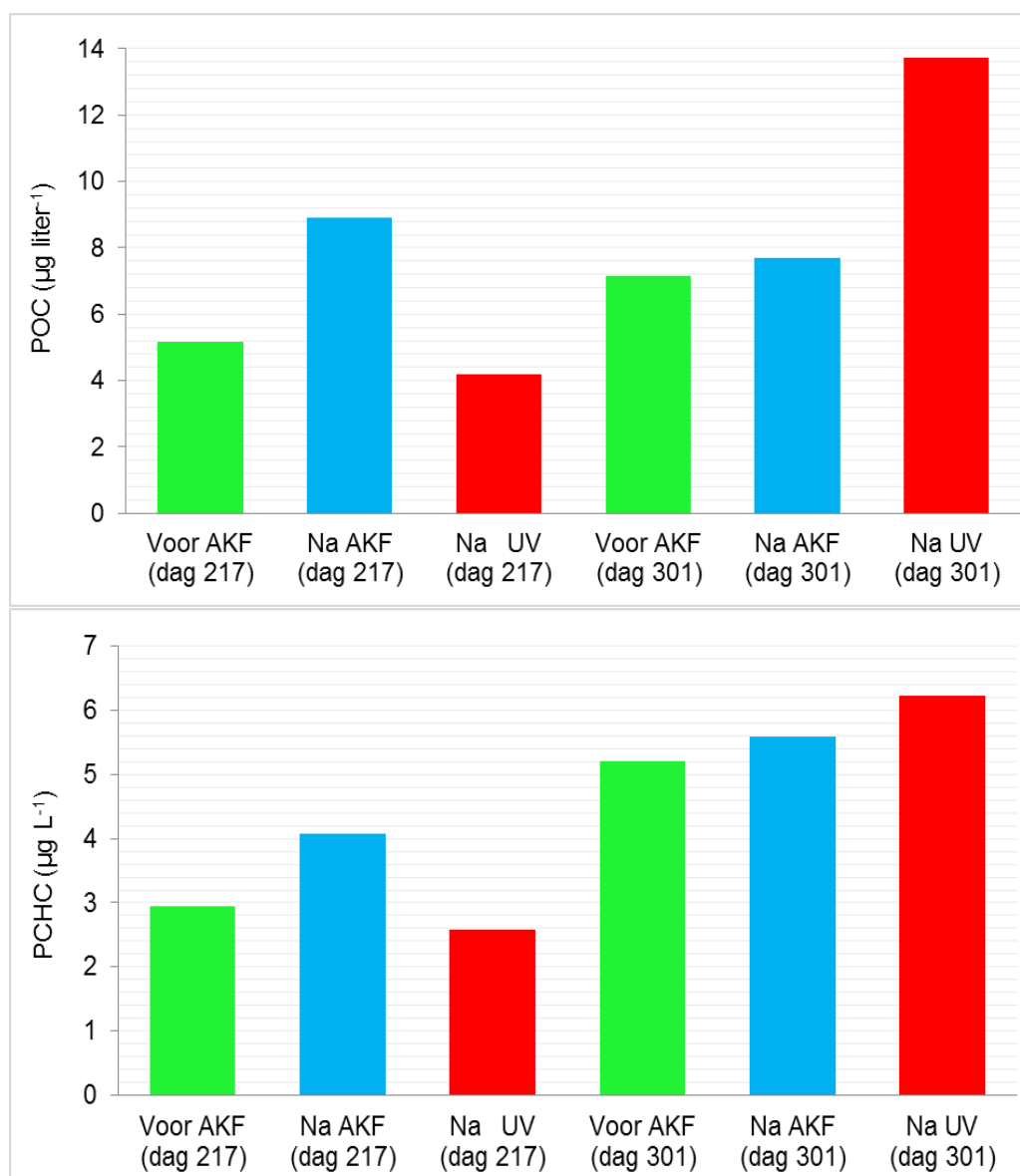
Figuur 3.4. Het verloop van de mangaanafzettingssnelheid (MnAs) van het influent van actief koolfilter, het AK-filtraat en het reinwater, geproduceerd op zs De Laak in de periode van 25 juli (dag 205) t/m 29 oktober 2013 (dag 301).

3.3.3.5 Hemoflow-analyses

Gehalte deeltjesgebonden biomassa (POC en PCHC)

Uit de gegevens van de hemoflow-analyse van het water verzameld op zs De Laak komt naar voren dat op dag 217 (6 augustus 2013) de POC- en PCHC-gehalte in het water na actief koolfiltratie hoger waren dan in het water vóór AKF (Fig. 3.5). In het water na UV-desinfectie waren de POC- en PCHC-concentraties lager. Op dag 301 (29 oktober) namen deze concentraties weer toe in het water na AKF en UV (Fig. 3.5).

Over het algemeen waren de POC- en PCHC-concentraties echter laag (POC: $< 14 \mu\text{g C L}^{-1}$, PCHC: $< 7 \mu\text{g C L}^{-1}$) ten opzichte van de concentraties in het drinkwater van oppervlaktewaterbedrijven met AKF (Van der Kooij en Veenendaal, 2014) en zijn de verschillen tussen de watertypen relatief klein.



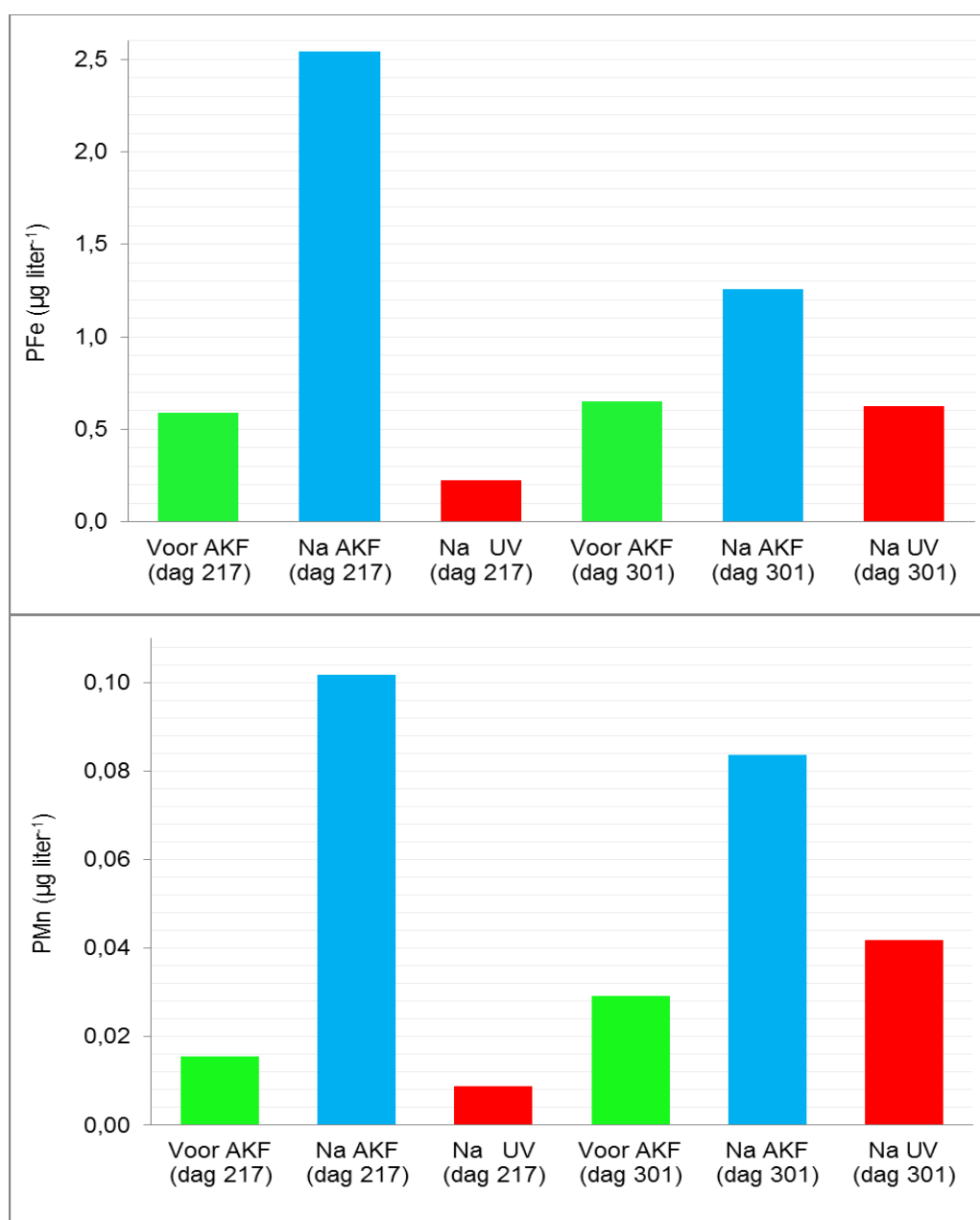
Figuur 3.5. De POC- (boven) en PCHC-concentraties (beneden) van het water verzameld op dag 217 (6 augustus 2013) en 301 (29 oktober 2013) op een drietal monsterpunten op zs De Laak: vóór actief koolfiltratie (AKF), ná AKF en ná UV-desinfectie.

Gehalte deeltjesgebonden ijzer en mangaan (PFe en PMn)

Tijdens de eerste meetcampagne (dag 217, 6 augustus 2013) was het PFe- en PMn-gehalte het hoogst in het actief koolfiltraat (PFe: $2,5 \mu\text{g C L}^{-1}$, PMn: $0,1 \mu\text{g C L}^{-1}$) en het laagst in het reinwater (PFe: $0,2 \mu\text{g C L}^{-1}$, PMn: $0,01 \mu\text{g C L}^{-1}$) (Fig. 3.6). Deze waarnemingen zijn niet verrassend. Het is al langer bekend dat tijdens de verschillende zuiveringsprocessen, zoals de snelfiltratie, (ijzer- en mangaangebonden)deeltjes kunnen worden gevormd en (doorgaans) minder goed kunnen worden verwijderd (Cornelissen *et al.*, 2012). De toename van ijzer- en mangaandeeltjes na actief koolfiltratie wordt waarschijnlijk veroorzaakt door binding van ijzer en mangaan aan de biomassa en/of deeltjes actief kool die deels weer

uitspoelen naar het filtraat. De lagere concentratie PFe en PMn na UV-desinfectie is opvallend, omdat het bekend is dat UV niet reageert met PFe en PMn.

Verder valt op dat tijdens de tweede meetcampagne (dag 301, 29 oktober 2013) de verschillen in de PFe- en PMn-concentraties tussen de onderzochte watersoorten kleiner waren dan tijdens de eerste meetcampagne (Fig. 3.6). Mogelijk is dit verschil in de PFe- en PMn-concentraties tussen de twee meetmomenten (dag 217 en dag 301) veroorzaakt door een stabielere draaiende zuivering in oktober, zoals ook is waargenomen voor de BAS.



Figuur 3.6. De PFe- (boven) en PMn-concentraties (beneden) van het water verzameld op dag 217 (6 augustus 2013) en 301 (29 oktober 2013) op een drietal monsterpunten op zs De Laak: vóór actief koelfiltratie (AKF), ná AKF en ná UV-desinfectie.

3.4 Discussie

De doelstelling van het onderhavige deelproject was om te achterhalen of de biologische stabiliteit van drinkwater op zs De Laak negatief wordt beïnvloedt (d.w.z. verslechterd) door de toepassing van actief koolfiltratie en middendruklampen UV-desinfectie (dosis: ca. 50 mJ/cm²) als eindstandige processen in de zuivering van diep gewonnen grondwater. In het kader van deze doelstelling is primair aandacht besteed aan de totale concentratie van (dode en levende) biomassa en groeibevorderende (biologisch afbreekbare) stoffen *in het water* en de microbiologische groeipotentie *van het water*, verzameld en/of gemonitord op een drietal monsterpuntlocaties op zs De Laak: vóór en ná actief koolfiltratie en ná UV-desinfectie. De betekenis van de verkregen resultaten in relatie tot de biologische stabiliteit van het AKF-influent (*snelfiltraat* van nafiltraat), het AKF-effluent (*AK-filtraat*) en het effluent UV-installatie (*reine water*), wordt al gedeeltelijk beschreven in paragraaf 3.3 (*Resultaten*). In de onderhavige paragraaf worden de factoren die de biologische stabiliteit van de onderzochte watersoorten negatief beïnvloeden nader onder de loep genomen.

3.4.1 Biologische stabiliteit van snelfiltraat (*effect voorzuivering*)

In Tabel 3.5 worden de gemiddelde waarden van de in paragraaf 3.3 (*Resultaten*) geanalyseerde (biologische stabiliteits)parameters samengevat.

Tabel 3.5. De gemiddelde waarden van de biologische stabiliteitsparameters van het water, verzameld in de periode juli – november 2013 op een drietal monsterpunten op zs De Laak: vóór actief koolfiltratie (AKF), ná AKF en ná UV-desinfectie.

<i>Parameter</i>	<i>Vóór AKF</i>		<i>Ná AKF</i>		<i>Ná UV</i>	
<i>Periode (dagnr.)</i>	(190 – 233)	(245 – 316)	(190 – 233)	(245 – 316)	(190 – 233)	(245 – 316)
ATP (ng L ⁻¹)	6,2 ± 2,1	6,2 ± 4,9	2,1 ± 0,7	2,3 ± 2,2	4,2 ± 1,2	3,8 ± 0,8
AOC-totaal (µg ac-C eq L ⁻¹)	4,6 ± 2,0	2,9 ± 1,5	5,7 ± 0,7	2,6 ± 0,7	4,0 ± 2,0	16,2 ± 11,1
BP7 (ng ATP L ⁻¹)	5,5 ± 0,3	3,8 ± 1,0	4,2 ± 0,7	1,8 ± 0,4	4,1 ± 0,3	3,1 ± 0,1
BPC14 (d. ng ATP L ⁻¹)	71 ± 3,6	56,4 ± 15,1	47,0 ± 1,4	30,5 ± 1,6	56,6 ± 2,4	42,7 ± 1,0
BAS (pg ATP cm ⁻² dag ⁻¹)	141,3 ± 54	40,7 ± 7,9	5,1 ± 1,2	3,8 ± 1,5	43,5 ± 30,3	15,3 ± 9,5
FeAS (mg Fe m ⁻² dag ⁻¹)	0,2 ± 0,01	0,08 ± 0,09	0,07 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01
MnAS (µg Mn m ⁻² dag ⁻¹)	9,8 ± 0,8	5,3 ± 2,7	3,5 ± 0,5	2,1 ± 1,2	6,5 ± 3,3	3,0 ± 2,7
POC (µg C L ⁻¹)	5,2	7,2	8,9	7,7	4,2	13,7
PCHC (µg C L ⁻¹)	2,9	5,2	4,1	5,6	2,6	6,2
PFe (µg L ⁻¹)	0,6	0,7	2,5	1,3	0,2	0,6
PMn (µg L ⁻¹)	0,02	0,03	0,10	0,08	0,01	0,04

Uit de resultaten blijkt dat er een verschil aanwezig was in de kwaliteit van het snelfiltraat geproduceerd op zs De Laak tussen de periode van dag 190 (10 juli) t/m 233 (22 augustus) en de periode van dag 245 (3 september) t/m dag 316 (13 november). Ondanks dit verschil kan de kwaliteit van het snelfiltraat volgens de recent voorgestelde indeling naar biologische stabiliteitsklassen (Tab. 1.6), op basis van de meeste biologische stabiliteitsparameters (Tab. 3.5) in beide periodes worden ingedeeld in de BSK-IIB/IIIA (Tab. 3.6). Uit eerder onderzoek is gebleken dat op pompstations die tot klasse IIIA behoren, *Aeromonas*-overschrijdingen voorkomen en dit op pompstations van klasse IIB deels wel en deels niet het geval is (Van der Kooij en van der Wielen, 2014 en persoonlijke communicatie met Dick van der Kooij, 2014). Deze bevindingen impliceren dus dat in de onderzoeksperiode (10 juli – 13 november 2013) het snelfiltraat op zs De Laak de potentie had om nagroei van micro-organismen (o.a. KG22 en *Aeromonas*) in het distributiesysteem van zs De Laak dermate te stimuleren, dat ook *Aeromonas*-overschrijdingen daarin niet kunnen worden uitgesloten. Het is daarom goed dat het snelfiltraat nog verder wordt gezuiverd door AKF en UV, mits dit tot verbetering van de biologische stabiliteitsparameters leidt.

Tabel 3.6. De toekenning van biologische stabiliteitsklassen (BSK) aan de gemiddelde waarden van de biologische stabiliteitsparameters van het water, verzameld in de periode juli – november 2013 op een drietal monsterpunten op zs De Laak: vóór actief koolfiltratie (AKF), ná AKF en ná UV-desinfectie (Tab. 3.5).

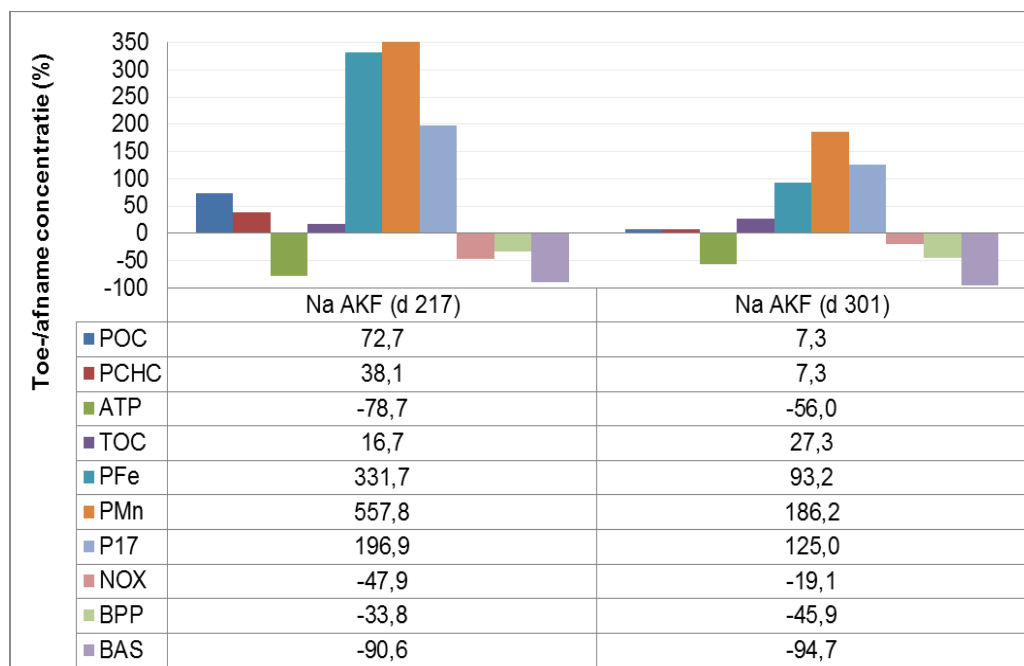
<i>Parameter</i>	<i>Vóór AKF</i>		<i>Ná AKF</i>		<i>Ná UV</i>	
	(190 – 233)	(245 – 316)	(190 – 233)	(245 – 316)	(190 – 233)	(245 – 316)
Onderzoeksperiode (<i>dagnr.</i>)						
ATP (ng L ⁻¹)	IIIA	IIIA	IIA/B	IIA/B	IIA/B	IIA/B
AOC-totaal (µg ac-C eq L ⁻¹)	IIA/B	IIA/B	IIIA	IIA/B	IIA/B	IIIB
BP7 (ng ATP L ⁻¹)	IIB/IIIA	IIA/B	IIA/B	I	IIA/B	IIA/B
BPC14 (d. ng ATP L ⁻¹)	IIB	IIB	IIA	IIA	IIB	IIA
BAS (pg ATP cm ⁻² dag ⁻¹)	IIIA	IIIA	IIB	IIB	IIIA	IIIA
POC (µg C L ⁻¹)	IIB	IIB	IIB	IIB	IIB	IIB/IIIB

3.4.2 Biologische stabiliteit van actief koolfiltraat (*effect AKF*)

Uit de analyse van de meetgegevens (Tab. 3.5 en par. 3.3, *Resultaten*) blijkt dat de actief koolfiltratie op zs De Laak in de periode 10 juli t/m 22 augustus 2013 een toename heeft veroorzaakt van POC, PCHC en AOC, maar deze verschillen zijn klein. Het gehalte PFe en PMn in het effluent van actief koolfiltratie was wel beduidend hoger dan voor actief koolfiltratie (Tab. 3.5 en Fig. 3.7). Tegelijkertijd is de ATP-concentratie, BP7, BPC14, BAS, FeAS en MnAS in het AK-filtraat, gereduceerd, waarbij het ATP-gehalte, BPC14 en de BAS beduidend lager waren (Tab. 3.5 en Fig. 3.7).

Dit effect vertaalde zich naar de productie van water dat behoorde tot de biologische stabiliteitsklassen IIA/IIB (Tab. 3.6). Ten opzichte van het snelfiltraat is de biologische stabiliteit van het water dus verbeterd. De indeling in klasse IIA/IIB duidt erop dat de AKF in

de periode van 10 juli t/m 22 augustus zorgde voor productie van water met een relatief lage potentie voor nagroei (KG22 en/of *Aeromonas*) in het distributiesysteem. Wanneer dit water wordt gedistribueerd is daarom de verwachting dat het aantal overschrijdingen van de wettelijke norm voor *Aeromonas* niet of zeer beperkt optreden.



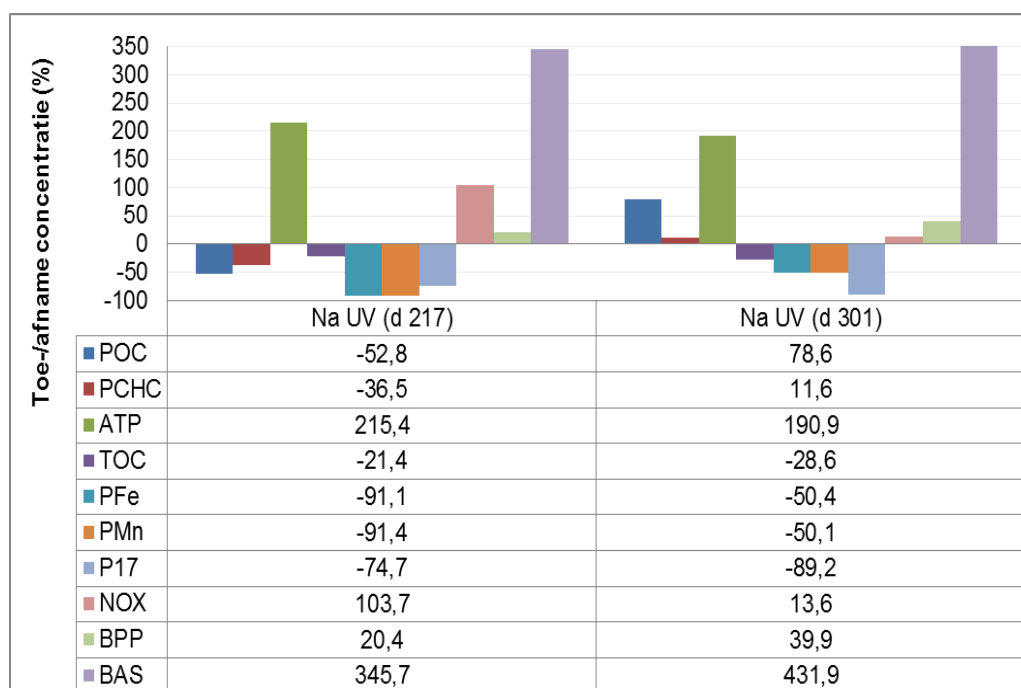
Figuur 3.7. Het percentage van toe- en afname van het aandeel van biologische stabiliteitsparameters in het (diep gewonnen) grondwater na de behandeling met beluchting, voorfiltratie, ontharding, nafiltratatie en actief koolfiltratie (case studie: zs De Laak, 10 juli – 13 november 2013).

De efficiëntie van AK-filtratie in de verwijdering van actieve biomassa (ATP) en laagmoleculaire carbonzuren (AOC-NOX) in het geproduceerde water was in oktober (op dag 301) vergelijkbaar met die in augustus (op dag 217). Ook de BAS en de BPP-waarden zijn vergelijkbaar tussen deze twee perioden. De toename in POC, PCHC, PFe en PMn in het effluent ten opzichte van het influent van de actief koolfiltratie was in oktober echter beduidend lager (Tabel 3.5 en Fig. 3.7).

Hieruit blijkt dan dat in de periode van dag 245 (3 september) t/m 316 (13 november) een aantal biologische stabiliteitsparameters in het water na AKF gelijk zijn gebleven of verbeterd, waardoor de kwaliteit van het AK-filtraat voor de meeste biologische stabiliteitsparameters in de klasse IIA/B blijft (Tab. 3.6). Met het water van (voornamelijk) deze biologische stabiliteitsklasse valt is niet te verwachten dat er overschrijdingen van de *Aeromonas*-norm in het distributiesysteem kunnen plaatsvinden. Op basis van biologische stabiliteit als enige stuurparameter is het dus aan te bevelen om dit water te distribueren.

3.4.3 Biologische stabiliteit van het reine water (*effect MD-UV-desinfectie*)

Uit de analyse van de meetgegevens (Tab. 3.5 en par. 3.3, *Resultaten*) is gebleken dat de toepassing van de middendruk UV-lampen (dosis ca. 50 mJ/cm²) op zs De Laak een toename veroorzaakt van het aandeel *Spirillum sp.* stam NOX in het AOC-gehalte (en, daarmee, van de laagmoleculaire [hydroxy]carbonzuren), de ATP-concentratie en de BAS in de periode van 10 juli t/m 22 augustus 2013 (Tab. 3.5 en Fig. 3.8). Tegelijkertijd is het POC-, PCHC-, PFe-, en PMn-gehalte en de AOC-P17 concentratie lager in het UV-behandelde water dan in het AK-filtraat (Tab. 3.5 en Fig. 3.8).



Figuur 3.8. Het percentage van toe- en afname van het aandeel van biologische stabiliteitsparameters in het (diep gewonnen) grondwater na de behandeling met beluchting, voorfiltratie, ontharding, nafiltratie, actief koolfiltratie en middendrukklampen UV-desinfectie (dosis ca. 50 mJ/cm²) (case studie: zs De Laak, 10 juli – 13 november 2013).

Dit betekent dat de toepassing van UV-desinfectie op zs De Laak deels resulteert in de omzetting van moeilijk naar gemakkelijk afbreekbaar organisch koolstof (carbonzuren). De aanwezigheid (in verhoogde concentraties) van deze microbiologisch gemakkelijk afbreekbare stoffen en van de metabolisch actieve biomassa (ATP) na de UV-behandeling, verklaart de verhoogde BAS van dit reinwater (Fig. 3.8). Op basis van de meetgegevens van de gemiddelde biologische stabiliteitsparameters (Tab. 3.5) wordt de kwaliteit van het reinwater op zs De Laak in de onderzoeksperiode van 10 juli t/m 22 augustus ingedeeld in de BSK-IIIa voor de BAS, BSK-IIb voor de BPC14 en POC en BSK-IIa/B voor de rest van de biologische stabiliteitsparameters (Tab. 3.6). De indeling in deze klassen is een aanwijzing dat dit reinwater onder bepaalde condities ongewenste overschrijdingen van de *Aeromonas*-norm in het distributiesysteem van zs De Laak kan veroorzaken.

In oktober (dag 301) werd ook een toename waargenomen van ATP, BPC14 en BAS in het water na UV vergeleken met het water voor UV. De toename voor de BAS was echter beduidend minder groot in oktober dan in augustus (Tab. 3.5 en Fig. 3.8). In oktober namen ook de BP7 en de POC- concentratie toe door het UV-proces. Het effect van UV op de AOC-concentratie is in oktober onduidelijk, door de hoge standaarddeviatie voor de AOC-concentratie. Gelet op de meetgegevens van de biologische stabiliteitsparameters (Tab. 3.5 en par. 3.3) en de indeling naar de biologische stabiliteitsklassen (Tab. I.6), kan de kwaliteit van dit reinwater worden gerangschikt in klasse BSK-IIIa voor de POC en BAS; klasse BSK-IIa/B voor de ATP/BP7 en klasse BSK-IIa voor de BPC14. Dit betekent dat het drinkwater vanaf 3 september 2013 nog steeds minder biologisch stabiel was dan het water na actief koelfiltratie en bovendien een verhoogde potentie had om verhoogde groei van *Aeromonas* (met de verwachting op overschrijding van de wettelijke norm) in het distributiesysteem van zs De Laak te veroorzaken.

3.4.4 Mogelijkheden voor optimalisatie zuivering op zs De Laak

Op grond van de hierboven beschreven bevindingen wordt geconcludeerd dat het water vóór de actief koelfiltratie nog niet voldoende biologisch stabiel was, maar dat na AKF dit wel het geval lijkt te zijn geweest. Door de eindstandige UV-desinfectie was de biologische stabiliteit van het geproduceerde water echter waarschijnlijk weer onvoldoende om nagroei van *Aeromonas* in het distributiesysteem van zs De Laak in voldoende mate te voorkómen, zodat er geen wettelijke overschrijdingen van de *Aeromonas*-norm optreden. Deze relatie tussen biologische stabiliteit van het water en eventuele overschrijding van de wettelijke norm voor *Aeromonas* is gebaseerd op waarnemingen bij andere pompstations in Nederland (van der Kooij en Veenendaal, 2014). Daarom wordt vermoed dat een verplaatsing van de UV-installatie naar een andere plek in de zuivering een beduidend verschil zal maken voor de biologische stabiliteit van het geproduceerde drinkwater en, daarmee, voor de mate van nagroei (KG22 en *Aeromonas*) in het distributiesysteem van zs De Laak. Deze aanpak is bijvoorbeeld al aangewend in het productiebedrijf De Punt (Waterbedrijf Groningen), waar de lagedrukklampen UV-installatie in 2012 vóór de langzame zandfiltratie is geplaatst, omdat de eindstandige plaatsing van deze installatie in 2005 bleek te resulteren in verhoogde concentratie AOC en biofilmvormingssnelheid (BVS) (Maas *et al.*, 2009). De Steeg (met een aanzienlijk lagere totale score microbiologie: 3, Tab. I.4) zou hierbij ook als een voorbeeld kunnen dienen. In het voorzieningsgebied van dit zuiveringsstation, waar actief koelfiltratie (met een UV-desinfectie) niet *na*, maar *voor* de zandfiltratie (en ontharding) wordt toegepast (Tab. I.3), zijn in het reinwater minder afbreekbare stoffen aanwezig en is sprake van minder nagroei (KG22 en *Aeromonas*) (Tab. I.4 en Fig. 2.1 en 2.3). Dit wordt waarschijnlijk bereikt doordat de gevormde biomassa in de actief koelfiltratie (en eventueel de ontharding) door de eindstandige zandfilter weer wordt verwijderd.

3.5 Conclusies

- De huidige zuiveringsopzet van zs De Laak resulteert in de productie van minder biologisch stabiel water vóór AKF (snelfiltraat: BSK IIB-IIIa), biologisch stabiel water ná AKF (AK-filtraat: BSK IIA-B) en minder biologisch stabiel water ná UV-desinfectie (reinwater: BSK IIB-IIIB).

- Door de behandeling met beluchting, voorfiltratie, ontharding en nafiltratie wordt de concentratie van het koolstofgehalte van opgelost en onopgelost organisch materiaal (het TOC-gehalte) in diepgewonnen grondwater op zs De Laak gehalveerd. De daaropvolgende AK-filtratie en behandeling met middendruklampen UV-licht (desinfectie) leidt niet tot een significante verlaging van het TOC-gehalte van het snelfiltraat.
- De AOC-concentratie in het snelfiltraat en reinwater op zs De Laak bestaat voornamelijk uit AOC-NOX-fractie. Een afname van deze fractie tijdens AKF duidt op afbraak van de kleinere carbonzuren door de micro-organismen in het actief koolfilter. Een toename van deze fractie na UV-desinfectie lijkt te worden veroorzaakt doordat UV-licht van hoogmoleculaire organische moleculen kleinere carbonzuren maakt.
- Het biomassagehalte, uitgedrukt als niet-opgeloste deeltjesgebonden koolstof (POC) en niet-opgeloste deeltjesgebonden koolhydraten (PCHC), in het AK-filtraat van zs De Laak is laag in vergelijking met het biomassagehalte in het water na AKF bij de oppervlaktewaterpompstations in Nederland. Daarom wordt niet verwacht dat biomassa als zodanig een rol speelt bij de verminderde biologische stabiliteit op zs De Laak.
- De toename van PFe- en PMn-concentratie na actieve-koolfiltratie op zs De Laak wordt waarschijnlijk veroorzaakt door binding van ijzer en mangaan aan de biomassa en/of deeltjes actief kool die deels weer uitspoelen naar het filtraat.
- De ATP, BP7, BPC14 en BAS worden beduidend lager ná AKF, wat resulteert in een verbetering van de biologische stabiliteit van het geproduceerde water na AKF.
- De eindstandige toepassing van de middendruklampen UV-licht leidt tot een verhoogd ATP- en AOC-gehalte en hogere BPC14, BP7 en BAS, waardoor de biologische stabiliteit van het drinkwater weer lager is.
- De eindstandige UV-desinfectie en de daarmee gepaard gaande verminderde biologische stabiliteit van het UV-behandelde water zijn de waarschijnlijke oorzaak van de hoge mate van nagroei in het distributiesysteem van zs De Laak.

3.6 Aanbevelingen

Naar aanleiding van de hiervoor besproken onderzoeksgegevens, wordt aanbevolen om te onderzoeken of de plaatsing van UV-installatie vóór actief koolfiltratie leidt tot een verbetering van de biologische stabiliteit van het reinwater en, als gevolg, tot een vermindering van de kans op een (overmatige) groei van *Aeromonas* in het distributiesysteem van zs De Laak.

4 Samenvatting conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

- In het distributiesysteem van de zeven onderzochte zuiveringsstations van Oasen treedt groei op van *Aeromonas* en heterotrofe bacteriën die worden bepaald met KG22.
- Overschrijdingen van de wettelijke norm voor *Aeromonas* zijn in de periode 2010 tot en met 2012 bij twee van de zeven voorzieningsgebieden waargenomen.
- Wettelijke overschrijdingen van de eis van KG22 zijn nergens waargenomen.
- De mate van nagroei in de voorzieningsgebieden van Oasen is op basis van de wettelijke parameters *Aeromonas* en KG22 niet verhoogd ten opzichte van de andere voorzieningsgebieden in Nederland.
- De locaties met de meeste nagroei in het distributiesysteem, gebaseerd op *Aeromonas*- en KG22-aantallen, zijn De Laak, De Hooge Boom en C. Rodenhuis; onderzoek naar verbetering van de biologische stabiliteit zou zich dus in eerste instantie moeten richten op deze zuiveringsstations.
- Het ruwwater van zs Reijerwaard heeft een unieke samenstelling op basis van de concentraties methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan, want de ruwwatersamenstelling groepeerd niet met de ruwwatersamenstelling van de overige grondwaterpompstations in Nederland.
- Optimalisatie van vier van de onderzochte zuiveringsstations van Oasen (De Put, Lekkerkerk, De Steeg en Reijerwaard) lijkt niet nodig, aangezien de totale score voor microbiologie bij deze zuiveringsstations relatief laag is (<5).
- De eindstandige actief koolfiltratie met UV-desinfectie en/of ontharding zijn mogelijke processen die de hoge mate van nagroei in het distributiesysteem van De Laak, De Hooge Boom en C. Rodenhuis veroorzaken.
- De huidige zuiveringsopzet van zs De Laak resulteert in de productie van minder biologisch stabiel water vóór AKF (snelfiltraat: BSK IIB-IIIA), biologisch stabiel water ná AKF (AK-filtraat: BSK IIA-B) en minder biologisch stabiel water ná UV-desinfectie (reinwater: BSK IIB-IIIB).
- Door de behandeling met beluchting, voorfiltratie, ontharding en nafiltratie wordt de concentratie van het koolstofgehalte van opgelost en onopgelost organisch materiaal (het TOC-gehalte) in diepgewonnen grondwater op zs De Laak gehalveerd. De daaropvolgende AK-filtratie en behandeling met middendruklampen UV-licht (desinfectie) leidt niet tot een significante verlaging van het TOC-gehalte van het snelfiltraat.
- De AOC-concentratie in het snelfiltraat en reinwater op zs De Laak bestaat voornamelijk uit AOC-NOX-fractie. Een afname van deze fractie tijdens AKF duidt op afbraak van de kleinere carbonzuren door de micro-organismen in het actief koolfilter. Een toename van deze fractie na UV-desinfectie lijkt te worden veroorzaakt doordat UV-licht van hoogmoleculaire organische moleculen kleinere carbonzuren maakt.
- Het biomassagehalte, uitgedrukt als niet-opgeloste deeltjesgebonden koolstof (POC) en niet-opgeloste deeltjesgebonden koolhydraten (PCHC), in het AK-filtraat van zs De Laak is laag in vergelijking met het biomassagehalte in het water na AKF bij de oppervlaktewaterpompstations in Nederland. Daarom wordt niet verwacht dat biomassa als zodanig een rol speelt bij de verminderde biologische stabiliteit op zs De Laak.

- De toename van PFe- en PMn-concentratie na actieve-koolfiltratie op zs De Laak wordt waarschijnlijk veroorzaakt door binding van ijzer en mangaan aan de biomassa en/of deeltjes actief kool die deels weer uitspoelen naar het filtraat.
- De ATP, BP7, BPC14 en BAS worden beduidend lager ná AKF, wat resulteert in een verbetering van de biologische stabiliteit van het geproduceerde water na AKF.
- De eindstandige toepassing van de middendruklampen UV-licht leidt tot een verhoogd ATP- en AOC-gehalte en hogere BPC14, BP7 en BAS, waardoor de biologische stabiliteit van het drinkwater weer lager is.
- De eindstandige UV-desinfectie en de daarmee gepaard gaande verminderde biologische stabiliteit van het UV-behandelde water zijn de waarschijnlijke oorzaak van de hoge mate van nagroei in het distributiesysteem van zs De Laak.

4.2 Aanbevelingen

Op basis van de hierboven geformuleerde conclusies wordt aanbevolen om aanvullend onderzoek naar verbetering van de biologische stabiliteit bij Oasen in de eerste instantie te richten op de zuiveringsstations De Laak, De Hooge Boom en C. Rodenhuis. Door de biologische stabiliteit van het (drink)water in diverse stadia van de zuivering op deze zuiveringsstations nader te bestuderen, kunnen aanbevelingen worden gedaan voor een doelgerichte en efficiënte zuiveringsoptimalisatie. Dit onderzoek zou in de eerste plaats moeten worden gericht op de eindstandige UV-desinfectie, omdat op grond van de inventarisatiestudie en het hierop aansluitende speerpuntonderzoek op zs De Laak aanwijzingen bestaan dat dit proces het meest kritisch is voor de biologische stabiliteit van het geproduceerde drinkwater. Naar aanleiding van de resultaten uit voornoemd speerpuntonderzoek, wordt meer specifiek aanbevolen om te onderzoeken of de plaatsing van UV-installatie vóór actief koolfiltratie leidt tot een verbetering van de biologische stabiliteit van het reinwater en, als gevolg, tot een vermindering van de kans op een (overmatige) nagroei van *Aeromonas* in het distributiesysteem van zs De Laak.

Referenties

Baggelaar, P. K., Y. C. Drost, G. Nauta en D. van der Kooij (1992). Landelijk overzicht van *Aeromonas* bacteriën in drinkwater. In: *Aeromonas* in drinkwater. Vóórkomen, bestrijding, betekenis, D. van der Kooij (eds.), 14-26.

Cornelissen, E., P. van der Wielen en J. Post (2012). Het effect van ultrafiltratie, actieve-koolfiltratie en ionenwisseling op de biologische stabiliteit van drinkwater. *BTO2012030*.

Drinkwaterregeling (2011). Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu van 14 juni 2011, nr. BJZ2011046947, houdende nadere regels met betrekking tot enige onderwerpen betreffende de voorziening van drinkwater, warm tapwater en huishoudwater. *Staatscourant*, 10842.

Maas, P., D. van der Woerdt, J. Bruins en D. van der Kooij (2009). Lagedruk UV verhoogt nagroeipotentie oppervlaktewaterzuivering De Punt. *H2O*, 18.

Lut, M., en H. Timmer (2010). Biologie in het Distributienet: problemen, ideeën, onderzoek en resultaten. *Presentatie*.

Timmer, H., M. Lut en P. Mense (2013). Microbiologische veiligheid & biologische stabiliteit: van inzicht naar acties & het succes van een lange adem. *H2O*.

Van der Kooij, D. en W. A. M. Hijnen (1984). Substrate utilization of an oxalate-consuming *Spirillum* species in relation to its growth in ozonated water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 47: 551-559.

Van der Kooij, D. (1992). Assimilable organic carbon as an indicator of bacterial regrowth. *JAWWA*, 84(2): 57-65.

Van der Kooij, D. en H. R. Veenendaal (2012). Bepaling van de biofilmvormende eigenschappen van drinkwater met een continue biofilmmonitor, *KWR Watercycle Research Institute*, Nieuwegein.

Van der Kooij, D. en H. R. Veenendaal (2013). Bepaling van de concentratie van biomassa in drinkwater met behulp van de hemoflow. *KWR Watercycle Research Institute*, Nieuwegein.

Van der Kooij, D. en H. R. Veenendaal (2014). Bepaling en beoordeling van de microbiologische groeipotentie van drinkwater. Een vergelijking van AOC, BPP en BVS. *KWR Watercycle Research Institute*, Nieuwegein.

Van der Kooij, D., en P. W. J. J. van der Wielen (2014). Microbial growth in drinking-water supplies. Problems, causes, control and research needs. *IWA Publishing*, UK.

Van der Wielen, P. W. J. J., en D. van der Kooij (2010). Effect of water composition, distance and season on the adenosine triphosphate concentration in unchlorinated drinking water in the Netherlands. *Water Research*, 44(17): 4860-4867.

Van der Wielen, P., en D. van der Kooij (2011). Inventarisatie van *Aeromonas* en kolonietal 22°C in drinkwater en relaties met fysisch/chemische parameters. *BTO 2011.001*.

Bijlage I Tabellen

Tabel I.1. Basisinformatie over zuiveringsstations van Oasen.

<i>Zs</i>	<i>Locatie</i>	<i>Voorzieningsgebied</i>	<i>Levert aan*</i>	<i>IPS*</i>
De Laak	Lexmond	Alblasserwaard en Vijfheerenlanden	zs De Put sp Gorinchem sp. Hardinxveld-Giessendam	1936
C. Rodenhuis**	Bergambacht	Gouda	sp Gouda	1968
De Hooge Boom	Kamerik	Nieuwkoop	Watertoren De Meije	1931
De Put	Nieuw-Lekkerland	Alblasserwaard en Vijfheerenlanden	dp Alblasserdam	1922
Lekkerkerk	Krimpen aan de Lek	Lekkerkerk		1910
De Steeg	Langerak	De slagader***		1987
Reijerwaard	Ridderkerk	Ridderkerk en deels Hendrik-Ido-Ambacht		1906

(IPS) in productie sinds; (zs) zuiveringsstation; (sp): suppletiestation; (dp) distributiestation; **het grootste zuiveringsstation van Oasen, levert ook drinkwater aan de slagader; *de grootste transportleiding van Oasen.*

Tabel I.2. Het rekenkundige gemiddelde van de chemische parameters (methaan, ammonium, ijzer, mangaan en TOC)*, periodiek gemeten in het ruwwater van Oasen (2010 – 2012) en andere Nederlandse grondwaterbedrijven (2004 – 2008).

Pompstation	Methaan (mg L-1)	Ammonium (mg L-1)	TOC (mg L-1)	Ijzer (mg L-1)	Mangaan (mg L-1)
Spannenburg	42,00	3,39	10,04	11,98	0,51
Zuidwolde	22,90	1,15	6,41	11,01	0,31
St. Jansklooster	7,80	1,92	8,18	8,51	0,38
Reijerwaard	7,00	7,65	3,60**	5,16	0,41
Witharen	6,60	1,11	13,34	12,77	0,61
Noordbergum	6,60	1,55	5,19	10,24	0,33
Halsteren	6,50	0,50	3,94	6,00	0,11
Veghel	5,90	1,28	3,87	2,34	0,09
Hoogeveen	5,70	0,44	5,08	7,09	0,20
Breehei	5,60	0,71	4,52	7,06	0,14
Nietap	5,50	0,20	4,29	7,06	0,23
Oldeholtpade	3,80	2,05	8,15	12,49	0,32
Tull en 't Waal	2,70	0,22	1,99	0,81	0,15
Kruidhaars	2,20	0,09	2,53	10,60	0,33
De Hooge Boom	2,13	3,70	7,97	8,31	0,52
Nuland	2,00	1,02	8,59	4,04	0,23
De Steeg	1,90	0,96	2,38	2,14	0,61
Tilburg	1,20	0,41	2,52	1,43	0,06
Lekkerkerk	0,91	4,06	2,20	4,02	0,66
De Meern	0,90	0,16	1,44	0,64	0,09
De Put	0,89	3,76	2,10	2,37	0,43
De Laak	0,84	0,62	1,98	0,92	0,10
Hanik	0,80	0,33	2,42	2,10	0,06
Ceintuurbaan	0,80	1,01	2,66	0,66	0,03
Haaren	0,70	0,52	2,25	0,49	0,04
Zutphenseweg	0,60	0,97	2,06	0,54	0,03
Assen	0,50	0,57	2,04	4,18	0,11
Schijndel	0,30	0,53	1,86	0,57	0,04
C. Rodenhuis	0,17	0,89	1,85	1,84	0,57
Fledite	0,10	0,23	0,55	0,76	0,09
Kolff	0,00	0,94	2,58	2,83	0,47
Grubbenvorst	0,00	0,39	2,48	6,19	0,34
t Klooster	0,00	0,31	3,50	0,21	0,18
Fikkersdries	0,00	0,00	0,73	0,61	0,16
Symons	0,00	0,47	1,27	0,94	0,13
Amersfoorseweg	0,00	0,00	0,17	0,50	0,12
Zoelen	0,00	0,47	2,28	1,44	0,10
Vlieland	0,00	0,73	2,99	0,21	0,06
Susteren	0,00	0,05	0,67	2,69	0,05
Luyksgestel	0,00	0,05	1,35	2,12	0,04

* Gegevens over deze metingen zijn gekregen van Oasen (april 2013) of geadopteerd van BTO-2011.001 (van der Wielen & van der Kooij, 2011); ** dit is het gemiddelde van de DOC-metingen (mg/L) over de periode van 2010 t/m 2012 in het voorzieningsgebied van zs Reijerwaard.

Tabel I.3. De waterbehandelingsprocessen in het voorzieningsgebied van Oasen en een aantal andere Nederlandse grondwaterpompstations.

Pompstation	Stap (nr.)	Zuiveringsproces
- <i>soort ruwwater</i> - <i>jaarproductie</i>		
De Laak - <i>diep grondwater</i> - <i>10,3 mln. m³/jaar</i>	1	Beluchting (plaatbeluchter)
	2	1 ^e Filtratiestap (zand nat)
	3	Ontharding
	4	2 ^e Filtratiestap (dubbellaags zand/antraciet nat)
	5	3 ^e Filtratiestap (aktief kool)
	6	UV-desinfectie (middendruk-lampen met een cut-off van 240 nm; dosis: 120 - 130 mJ/cm ² (tot 23 juli) en ca. 50 mJ/cm ² (vanaf 23 juli 2013))
De Hooge Boom - <i>geïnfiltreerd rivierwater (Oude Rijn)</i> - <i>geïnfiltreerd polderwater</i> - <i>2,5 mln. m³/jaar</i>	1	Beluchting (plaatbeluchter 2 van 5/versproeing 3 van 5)
	2	1 ^e Filtratiestap (zand droog)
	3	Beluchting (toren)
	4	Ontharding
	5	Beluchting (cascade)
	6	2 ^e Filtratie (zand nat)
	7	3 ^e Filtratie (aktief kool)
	8	UV-desinfectie
Lekkerkerk - <i>geïnfiltreerd rivierwater (De Lek)</i> - <i>geïnfiltreerd polderwater</i> - <i>2,3 mln. m³/jaar</i>	1	Beluchting (versproeing)
	2	1 ^e Filtratie (enkellaags en dubbellaags droog)
	3	2 ^e Filtratie (zand droog)
	4	3 ^e Filtratie (aktief kool)
	5	UV-desinfectie
C. Rodenhuis - <i>geïnfiltreerd rivierwater (De Lek)</i> - <i>11,9 mln. m³/jaar</i>	1	Beluchting (versproeing)
	2	1 ^e Filtratie, (zand, nat)
	3	Ontharding
	4	2 ^e Filtratie (zand, nat)
	5	3 ^e Filtratie (aktief kool)
	6	UV-desinfectie
De Steeg - <i>diep grondwater</i> - <i>(ondiep) oevergrondwater</i> - <i>8,4 mln. m³/jaar</i>	A	Voorzuivering diepgrondwater (DGW)
	1	Beluchting (toren)
	2	1 ^e Filtratiestap (zand nat)
	B	Voor- + Nazuivering oevergrondwater (OGW)

	1	Beluchting (plaat optioneel)
	2	Beluchting (sproeivloer)
	3	1 ^e Filtratiestap (zand droog)
	4	2 ^e Filtratiestap (zand nat)
	5	Beluchting (sproeinet)
	6	3 ^e Filtratiestap (aktief kool)
	7	UV-desinfectie (lampen-dosis: min 20 mJ/cm, max. 70 mJ/cm)
	C	<i>Nazuivering diepgrond- + oevergrondwater gezamenlijk</i>
	8	Ontharding (palletreactor)
	9	Filtratiestap (nat)
Reijerwaard	1	Membraanfiltratie (deelstroom RO 25 m ³ /h)
- <i>geïnfiltreerd rivierwater (Nieuwe Maas en Noord)</i>	2	Beluchting (cascade)
- <i>geïnfiltreerd polderwater</i>	3	1 ^e Filtratiestap (zand droog)
- <i>oud grondwater</i>	4	2 ^e Filtratiestap (zand droog)
- <i>2,6 mln. m³/jaar</i>	5	Ontharding (palletreactor)
	6	3 ^e Filtratiestap (zand nat)
	7	4 ^e Filtratiestap (aktief kool)
	8	Beluchting (toren)
	9	UV-desinfectie
De Put	1	Beluchting (versproeing)
- <i>geïnfiltreerd grondwater</i>	2	1 ^e Filtratiestap (zand droog)
- <i>1,9 mln. m³/jaar</i>	3	2 ^e Filtratiestap (zand nat)
	4	3 ^e Filtratiestap (aktief kool)
	5	UV-desinfectie
Haaren	1	Beluchting (BOT)
- <i>anaëroob grondwater</i>	2	Voorfiltratie
- <i>6,0 mln. m³/jaar</i>	3	Beluchting
	4	Nafiltratie
	5	Reinwaterkelder
Hanik	1	1 ^e Beluchting (plaatsproeiers)
- <i>anaëroob grondwater</i>	2	Voorfiltratie over grind
- <i>2,1 mln. m³/jaar</i>	3	2 ^e Beluchting (plaatsproeiers)
	4	Nafiltratie over grind
	5	Reinwaterkelder
Kolf	1	Snelfiltratie (zand; 0,8 – 1,6 mm: 4x)
- <i>anaëroob grondwater</i>	2	Filtraatkelder
- <i>3,6 mln. m³/jaar</i>	3	Reinwaterkelder

Noordbergum - anaëroob grondwater - 12,5 mln. m ³ /jaar	1	Voorfiltratie (zand 1,7 – 2,5 mm)
	2	Pelletreactor met kalkmelk
	3	CO2-dosering
	4	Nafiltratie (zand; 0,8 – 1,2 mm)
	5	Reinwaterkelder
Oldeholtspade - anaëroob grondwater - 6,0 mln. m ³ /jaar	1	Plaatbeluchting intensief (3x)
	2	Voorfiltratie (zand; 1,7 – 2,5 mm)
	3	Ontzuring
	4	Pelletontharding met natronloog (sinds 2005)
	5	Nafiltratie (zand; 0,8 – 1,2 mm)
	6	Ionenwisseling (voor ontkleuring, sinds maart 2006)
	7	Reinwaterkelder
Schijndel - grondwater - 6,9 mln. m ³ /jaar	1	Beluchting (versproeing)
	2	Gesloten zandfilters
	3	Beluchting (cascade voor de reinwaterkelders)
St. Jansklooster - anaëroob grondwater - 4,5 mln. m ³ /jaar	1	Plaatbeluchting (12x)
	2	Snelfilters (14x) met zand (0,8 – 1,25 mm) en antraciet (1,4 – 2,5 mm)
	3	Voorfiltraatkelder
	4	Beluchtingstorens (4x)
	5	Tussenfiltraatkelder
	6	Onthardingsreactor (4x)
	7	Snelfilters (8x) met zand (0,6 – 1,0 mm) en antraciet (12 – 2,0 mm)
	8	Nafiltraatkelder
	9	Reinwaterkelder
Tilburg - grondwater - 12,9 mln. m ³ /jaar	1	Beluchting (versproeing)
	2	Gesloten zand (voor-)filters
	3	Tussenkelder
	4	Beluchting (versproeing)
	5	Gesloten zand (na-) filter
Zoelen - anaëroob grondwater - 3,5 mln. m ³ /jaar	1	Infiltratie wingebied Kerk Abvezaath
	2	Cascadebeluchting
	3	Snelfiltratie (zand; 0,8 – 1,2 mm: 6x)
	4	Reinwaterkelder

Tabel I.4. Rangschikking van de Oasen voorzieningsgebieden t.o.v. van de voorzieningsgebieden uit REWAB-Database (van der Wielen & van der Kooij, 2011).

Waterleidingbedrijf	Voorzieningsgebied	Gr*	KG22 (GG)*	Aeromonas (RG)*	TS*
Vitens Fryslan	Spannenburg	G	15,2	231,5	12
PWN	Andijk	O	15,1	252,2	12
Vitens Overijssel	Witharen	G	12,9	42,6	10
Oasen	De Laak	G	5,4	166,7	10
Oasen	C. Rodenhuis	G	3,0	156,0	8
Vitens Fryslan	Noordbergum	G	3,4	152,5	9
Vitens Overijssel	Zutphenseweg	G	6,6	118,2	9
Vitens Gelderland	Zoelen	G	5	194	9
Evides	Tholen/Halsteren	G	11,2	91,4	9
PWN	Bergen	O	7,4	104,2	9
Waternet	Amsterdam	O	6,4	99	9
Oasen	De Hooge Boom	G	17,5	127,5	8
Vitens Fryslan	Terschelling	G	21,1	207	8
Brabant Water N.V.	Distributiegebied Oost	G	5,7	109,6	8
N.V. Waterleidingbedrijf Groningen	De Punt/Haren	G,O	8,6	39	8
PWN	Heemskerk	O	5,3	54,9	8
Evides	Berenplaat	O	9,2	61,6	8
Evides	Kralingen	O	9,6	42	8
Vitens Fryslan	Oldeholtgade	G	11,1	142,1	7
Dunea	Dunea-Zuid	O	6,5	31,7	7
N.V. Waterleidingbedrijf Groningen	Nietap	G	13,4	24,8	6
N.V. Waterleidingmaatschappij Drenthe	Zuid-West	G	20,1	64	6
Vitens Fryslan	Vlieland	G	7,1	254	6
Vitens Fryslan	Buren	G	10,2	98,4	6
Vitens Overijssel	Ceintuurbaan	G	8,5	166,8	6
Vitens Gelderland	Culemborg	G	8,6	117	6
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Breehei/Heel	G	15,1	67,3	6
Evides	Baanhoek	O	19,3	23,9	6
Vitens Overijssel	Sint Jansklooster	G	7,7	110,9	5
Vitens Gelderland	Kolff	G	4,9	126,7	5
Vitens Midden-Nederland	Lopik	G	7,7	104	5
Vitens Midden-Nederland	Linschoten	G	9,3	82,4	5
Vitens Midden-Nederland	De Meern	G	9,3	30,5	5
Oasen	De Put	G	5,7	76,9	4
Vitens Fryslan	Hollum	G	7,1	86,6	4
Vitens Overijssel	Brucht	G	7,5	49,2	4
Vitens Gelderland	Gorssel	G	6,4	41,7	4
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Beegden/Heel	G	6,1	70,2	4
PWN	Laarderhoogt	G	8	42,5	4
Oasen	Lekkerkerk	G	4,3	54,4	3

Oasen	De Steeg	G	3,3	47,1	3
N.V. Waterleidingbedrijf Groningen	Onnen/De Groeve	G	8,6	4,8	3
N.V. Waterleidingbedrijf Groningen	Sellingen	G	8,4	13,3	3
Vitens Fryslan	Terwisscha	G	4,1	80	3
Vitens Fryslan	Schiermonnikoog	G	5,2	18,1	3
Vitens Overijssel	Diepenveen	G	3,7	43,3	3
Vitens Overijssel	Weerseloseweg	G	4,3	23,1	3
Vitens Gelderland	Harfsen	G	4,4	37,1	3
Vitens Gelderland	Twello	G	3,4	24,4	3
Vitens Gelderland	Velddriel	G	3,7	28,7	3
Vitens Midden-Nederland	Cothen	G	6,8	12,9	3
Vitens Midden-Nederland	Bunnik	G	5,8	12,9	3
Vitens Midden-Nederland	Baarn	G	5,9	10	3
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Californie/Heel	G	7,4	18,4	3
Oasen	Reijerwaard	G	1,2	30,8	2
Vitens Overijssel	Archemerberg	G	5	17,3	2
Vitens Overijssel	Engelse Werk	G	3,2	20,2	2
Vitens Overijssel	Hasselo	G	5,1	4	2
Vitens Gelderland	Zutphen	G	3,2	16,2	2
Vitens Gelderland	Uddel	G	8	1	2
Vitens Gelderland	Fikkersdries	G	2,4	36,8	2
Vitens Gelderland	Druten	G	3,9	22,5	2
Vitens Midden-Nederland	Veenendaal	G	4,9	10,3	2
Vitens Midden-Nederland	Tull en 't Waal	G	4,1	13,8	2
Vitens Midden-Nederland	Rhenen	G	3,8	10	2
Vitens Midden-Nederland	Amersfoort	G	3,3	10	2
Vitens Midden-Nederland	Nieuwegein	G	4,7	10	2
Vitens Midden-Nederland	(Stad) Utrecht	G	3,5	14,1	2
Brabant Water N.V.	Distributiegebied West	G	3,1	7,9	2
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Grubbenvorst	G	3,9	11,1	2
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Ospel/Heel	G	2,4	25,7	2
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Tegelen	G	6,9	2,8	2
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Hunsel	G	4,1	23	2
PWN	Hoofddorp	O	5	22,4	2
Dunea	Dunea-Noord	O	3,5	12,8	2
Evides	Schouwen-Duivenland	O	6,6	1	2
N.V. Waterleidingmaatschappij Drenthe	Noord	G	3,6	1	1
N.V. Waterleidingmaatschappij Drenthe	West	G	4,9	1,7	1
N.V. Waterleidingmaatschappij Drenthe	Zuid-Oost	G	3,5	1	1
N.V. Waterleidingmaatschappij Drenthe	Zuid	G	4	1	1
Vitens Overijssel	Espelo(sebroek)	G	2,5	6,6	1
Vitens Overijssel	Havelterberg	G	2,9	5,7	1
Vitens Overijssel	Herikerberg	G	2,9	6,1	1
Vitens Gelderland	Vorden	G	2,7	10	1
Vitens Gelderland	Hengelo/Harfsen/Gorssel	G	2	20	1
Vitens Gelderland	Eerbeek	G	3,5	3,1	1

Vitens Gelderland	Putten	G	3,4	1,3	1
Vitens Gelderland	Speuld	G	3,1	1	1
Vitens Gelderland	Fikkersdries/Bemmel/ Bijsterhuizen	G	2	17	1
Vitens Gelderland	Berg en Dal	G	4	4	1
Vitens Gelderland	Heilige Landstichting	G	5	1	1
Vitens Gelderland	Bospad	G	3	6	1
Vitens Gelderland	Symons	G	3,1	1	1
Vitens Midden-Nederland	Woudenberg	G	2,1	10,5	1
Vitens Midden-Nederland	Leersum	G	1,7	10	1
Vitens Midden-Nederland	Driebergen	G	1,5	10	1
Vitens Midden-Nederland	Zeist	G	1,5	10	1
Vitens Midden-Nederland	Bilthoven	G	2	10	1
Vitens Midden-Nederland	Groenekan	G	2,1	16,3	1
Vitens Midden-Nederland	Soestduinen	G	2,9	10	1
Vitens Midden-Nederland	Loosdrecht	G	2,8	10	1
Vitens Midden-Nederland	Laren	G	2,7	10	1
Vitens Flevoland	Aquaterp	G	1,1	10	1
Vitens Flevoland	Westerterp	G	1,3	10	1
Vitens Flevoland	Fledite	G	2,4	10	1
Vitens Flevoland	Almere	G	2	10	1
Vitens Flevoland	Oostelijk Flevoland	G	2,2	10	1
Vitens Flevoland	Buitenterp	G	1,2	10	1
N.V. Bronwaterleiding Doorn	Doorn	G	3,8	3,1	1
Evides	Midden-Zeeland	G	4	3,9	1
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Plasmolen	G	4,6	1,1	1
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Groote Heide/Heel	G	3,9	2	1
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Hoogveld/Susteren/ Roosteren	G	2,6	5,4	1
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Borgharen/Caberg/De Tombe	G	2,3	12,6	1
Evides	Goeree-Overflakkee	O	4,2	4,1	1
Evides	West-Zeeuwsch-Vlaanderen	O	4,3	4,1	1
Vitens Overijssel	Goor	G	2,5	1	0
Vitens Overijssel	Hoge Heksel	G	1,7	1	0
Vitens Overijssel	Manderveen	G	2,5	1,7	0
Vitens Overijssel	Nijverdal	G	2,2	1	0
Vitens Overijssel	Weerselo	G	2,6	2,1	0
Vitens Overijssel	Kampen	G	1,4	1,7	0
Vitens Overijssel	Wierden	G	2	1	0
Vitens Overijssel	Rodenmors	G	2,4	3,7	0
Vitens Gelderland	Corle	G	2,7	1,8	0
Vitens Gelderland	De Pol	G	2,2	1,6	0
Vitens Gelderland	Van Heek	G	2,2	1	0
Vitens Gelderland	Olden Eibergen	G	1,2	1	0
Vitens Gelderland	't Klooster	G	1,3	1	0
Vitens Gelderland	Aalten	G	2,1	1	0
Vitens Gelderland	Dinxperlo	G	2,5	1	0
Vitens Gelderland	Lochem	G	1,4	1,6	0

Vitens Gelderland	Noordijkerveld	G	1,4	4	0
Vitens Gelderland	Tolkamer	G	2	1	0
Vitens Gelderland	Varsseveld	G	1,9	1,2	0
Vitens Gelderland	Aalten/Corle	G	2	1	0
Vitens Gelderland	Vorden/Lochem	G	1	2	0
Vitens Gelderland	Eibergen/Noordijk	G	1	1	0
Vitens Gelderland	Dinxperlo/BEW	G	2	1	0
Vitens Gelderland	De Pol/Varsseveld	G	3	1	0
Vitens Gelderland	Bemmel	G	2,9	3,4	0
Vitens Gelderland	Boele	G	1,7	2,7	0
Vitens Gelderland	Elburg	G	1,2	1	0
Vitens Gelderland	Bijsterhuizen	G	2	1	0
Vitens Gelderland	De Haere	G	2,7	1	0
Vitens Gelderland	Harderwijk 2	G	2	2,2	0
Vitens Gelderland	Holk	G	2,8	1,6	0
Vitens Gelderland	De Muntberg	G	1,8	1	0
Vitens Gelderland	Putten/Uddel	G	2	1	0
Vitens Gelderland	Epe	G	1,7	2,4	0
Vitens Gelderland	Heumensoord	G	1,2	1,2	0
Vitens Gelderland	Nieuwe Marktstraat	G	1,2	1	0
Vitens Gelderland	Ubbergseweg	G	3	1	0
Vitens Gelderland	Heumensoord (2007)	G	1	1	0
Vitens Gelderland	Schalterberg	G	1,6	1	0
Vitens Gelderland	Hoenderloo	G	1,4	1	0
Vitens Gelderland	Pinkenberg	G	3	1	0
Vitens Gelderland	Wageningen	G	1,8	1,6	0
Vitens Gelderland	Oosterbeek	G	1,6	1	0
Vitens Gelderland	Amersfoortseweg	G	1,9	1	0
Vitens Gelderland	Edesebos	G	2	1	0
Vitens Gelderland	La Cabine	G	2,5	1	0
Vitens Gelderland	Veerweg	G	3	1	0
Vitens Gelderland	La Cabine + Veerweg	G	2	1	0
Evides	Oost-Zeeuwsch-Vlaanderen	G	2,4	1	0
Brabant Water N.V.	Tilburg	G	3	4,6	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Bergen/Hanik	G	2,9	1,1	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Helden (WPH)	G	2,2	2,4	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Pey-Echt	G	2	1,8	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Susteren/Roosteren	G	2	1	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Schinveld	G	1,3	2,8	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Asselt/Herkenbosch/ Herten/Heel	G	2,9	1,5	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	OPB de Beitel	G	2,5	4,6	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Ijzeren Kuilen	G	1,9	1	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Susteren/Hoogveld/ Ijzeren Kuilen	G	2,4	2	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Ijzeren Kuilen/Susteren/ Roosteren	G	2,2	3,6	0
Vitens Gelderland	Ellecom	G	1,4	2,9	0
Vitens Gelderland	Duiven/Zevenaar	G	1,6	1	0

Vitens Gelderland	Wehl	G	1,6	1	0
Vitens Gelderland	Ellecom, Duiven/ Zevenaar, Wehl	G	2	1	0

* (Gr) grondstof; (G) grondwater, (O) oppervlaktewater; (GG) geometrisch gemiddelde; (RG) rekenkundige gemiddelde en (TS) totale score. De totaalscore van het voorzieningsgebied in de rangschikking is per voorzieningsgebied berekend als de som van de drie scores: (KG22) + (Aeromonas) + (wettelijke Aeromonas-overschrijdingen).

Tabel I.5. Het geometrisch gemiddelde (GG) van KG22, het rekenkundig gemiddelde (RG) van *Aeromonas* en het percentage *Aeromonas*-overschrijdingen (PO), gebaseerd op de gegevens van reinwater over de periode 2010 t/m 2012.

	KG22 (kve mL ⁻¹)	Aeromonas (kve 100 mL ⁻¹)	
	GG	RG	PO
De Laak	0,2	0,5	0
C. Rodenhuis	0,8	1,1	0
De Hooge Boom	18,3	56,3	0
De Put	0,2	2,8	0
Lekkerkerk	0,2	0	0
De Steeg	0,3	0	0
Reijerwaard	1,1	7,7	0

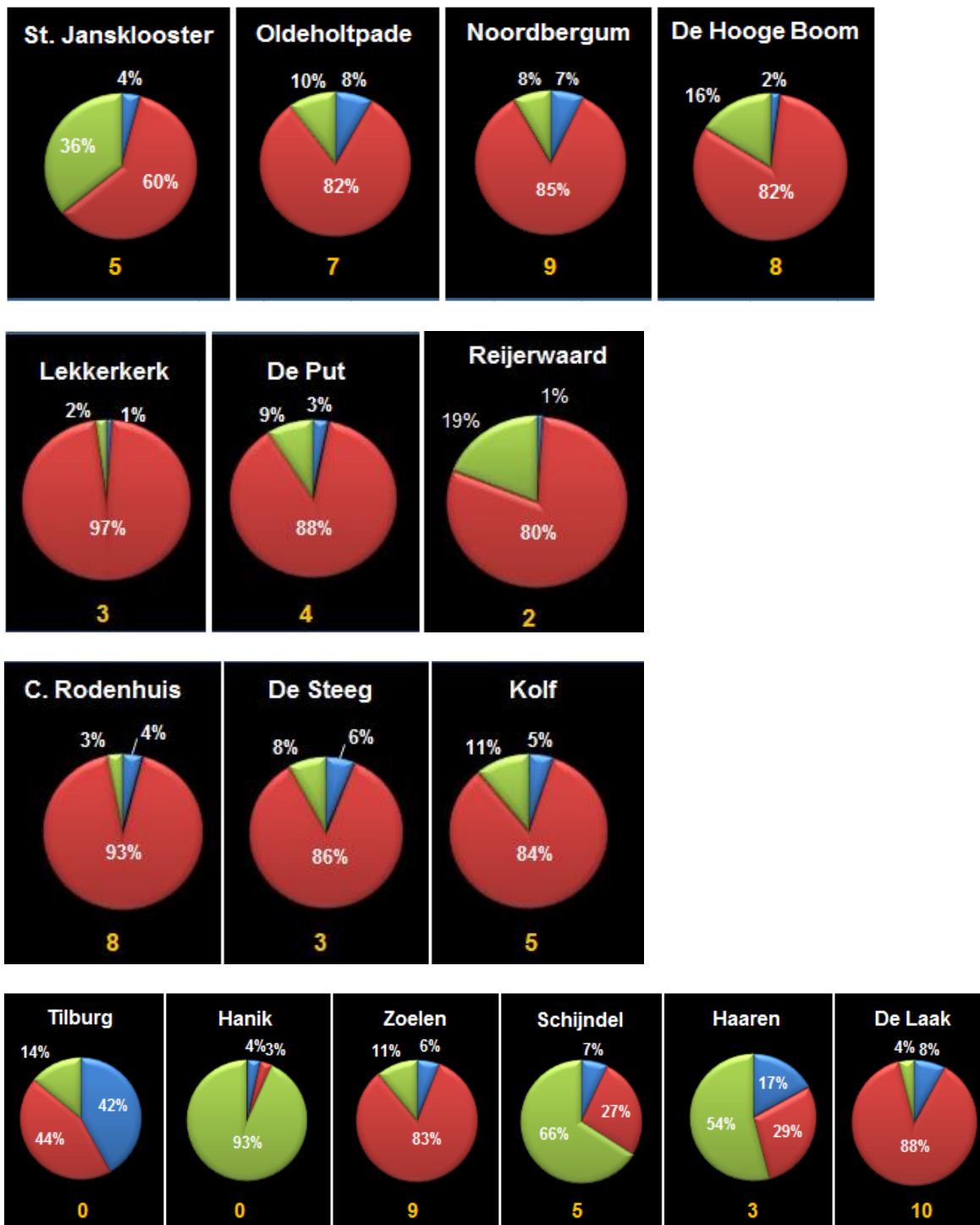
Tabel I.6. Indeling van biologische stabiliteitsklassen (BSK) op basis van een aantal parameters voor de microbiologische groei- en handavingspotentie (Van der Kooij en van der Wielen, 2014 en persoonlijke communicatie met Dick van der Kooij, 2014).

BSK	*ATP	*BP7	*PBC14	*AOC	*BVS/BAS	*POC	**Pompstation(s)
I	< 1	< 2	< 10	< 1	< 1	< 1	<i>Amersfoortseweg</i>
IIA	< 5	< 5	< 50	< 5	< 1	< 2	<i>Scheveningen Katwijk Leiduin</i>
IIB	< 5	< 5	< 100	< 5	1 < BVS < 10	< 10	<i>Tull en 't Waal Soestduinen Haaren Breehei Hanik Oldeholtpade Zuidwolde# Halsteren</i>
IIIA	> 5-10	> 10	> 100	> 5-10	> 10	<i>niet bepaald</i>	<i>St. Jansklooster Spannenbrug Nuland</i>
IIIB	> 5-10 \$\$	> 10	> 100	> 10	< 10 #	> 50	<i>Braakman Kralingen*** Berenplaat Andijk</i>
IIIC	> 5-10 \$\$	> 10	> 100	> 10 \$\$	> 10 \$\$	< 10	<i>Weesperkarspel</i>

*De waarden van de biologische stabiliteitsparameters worden uitgedrukt in de volgende eenheden: ng/L (ATP), ng ATP/L (BP7) (BP7 is gelijk aan AOC7 [$\mu\text{g ac-C eq/L}$]), d.ng ATP/L (BPC14), μg acetaat-C eq./L (AOC-P17/NOX), pg ATP/cm².d (BVS/BAS) en μg C/L (POC); **vetgedrukt zijn de voorbeelden van pompstations met normoverschrijding van *Aeromonas*-aantallen in het distributiesysteem; ***metingen van BPP bij ps Kralingen zijn niet afgerond; # AK-filtraat en \$\$ seizoenseffect.

Bijlage II Figuren

Figuur II.1. De samenstelling van het leidingnet in het voorzieningsgebied van Oasen en negen andere grondwaterpompstations. Blauw: gietijzer, groen: asbestcement/beton en rood: polyvinylchloride/polyethyleen.



Figuur II.2. Het aandeel (%) van de *P. fluorescens* stam P17 en *Spirillum sp.* stam NOX in de AOC-bepalingen met het water verzameld op dag 217 (6 augustus 2013) en 301 (29 oktober 2013) op een drietal monsterpuntlocaties (vóór AKF, ná AKF en ná UV) op zs De Laak.

