

BTO 2015.038 | Juni 2015

BTO rapport

Effect van LD-/MD-UV op
de biologische stabiliteit
van drinkwater

BTO

Effect van LD-/MD-UV op de biologische stabiliteit van drinkwater

BTO 2015.038 | Juni 2015

Opdrachtnummer

400366 - 400385 - 400747 - 400748

Projectmanager

Luc Hornstra

Opdrachtgever

BTO – Speerpuntonderzoek Oasen, Waterbedrijf Groningen en Vitens

Kwaliteitsborger

Gertjan Medema

Auteurs

Michiel Hootsmans, Ludmila Bereschenko, Roberta Hofman-Caris en Paul van der Wielen

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten. Een jaar na publicatie is het openbaar.

Jaar van publicatie
2015

Meer informatie

dr. Paul van der Wielen

T +31 (0)30 6069642

E Paul.van.der.Wielen@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

Keywords

LD-UV MD-UV desinfectie
biologische stabiliteit

The logo for KWR (Watercycle Research Institute) features the letters 'KWR' in a bold, blue, sans-serif font. The 'K' and 'W' are connected, and the 'R' is slightly separated.

Watercycle
Research
Institute

BTO 2015.038 | Juni 2015 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

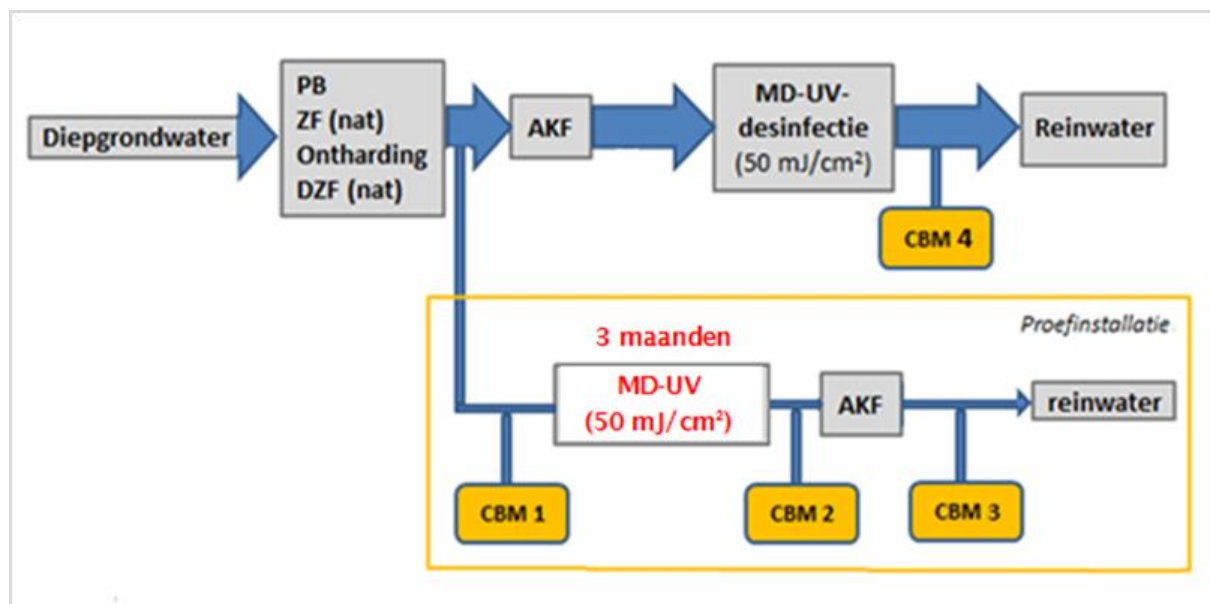
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

BTO Managementsamenvatting

Biologische stabiliteit van drinkwater na eindstandige LD-/MD-UV-behandeling hangt af van locatie

Auteurs dr.ir. Michiel Hootsmans; dr. Ludmila Bereschenko; dr.ir. Roberta Hofman-Caris; dr. Paul van der Wielen

Het effect van UV-behandeling op de biologische stabiliteit van drinkwater is gerelateerd aan de locatie, waarschijnlijk omdat de specifieke waterkwaliteit hierop van invloed is. Dit blijkt uit een BTO-Speerpuntonderzoek dat in opdracht van Oasen, Vitens en Waterbedrijf Groningen is uitgevoerd. Op zuiveringsstations van deze drinkwaterbedrijven zijn of worden eindstandige UV-behandelingen toegepast om koloniegetallen na actief koolfiltratie (AKF) te verlagen en/of fecale ziekteverwekkers af te doden. Vanwege mogelijke negatieve gevolgen van eindstandige UV op de biologische stabiliteit, zijn in dit Speerpuntonderzoek de effecten van eindstandige lage druk (LD)-UV en midden druk (MD)-UV in kaart gebracht. Hiertoe is het effect van beide behandelingen op diverse indicatoren voor biologische stabiliteit bepaald op drie schaalniveaus: full-scale installaties, pilots en laboratoriumexperimenten. Vanwege het ontbreken van een eenduidig verband tussen toepassing van eindstandige LD-UV of MD-UV en het effect hiervan op de biologische stabiliteit van het behandelde water, dienen optimalisatiemogelijkheden steeds per zuiveringsstation te worden geverifieerd. Pilotonderzoek op zuiveringsstation De Laak duidt op mogelijke verbetering van de biologische stabiliteit van het reinwater door een andere UV-configuratie.



Schematische weergave van pilotonderzoek naar effecten van een alternatieve configuratie van een middendruk (MD)-UV-behandeling op zuiveringsstation De Laak (Oasen).

Belang: ophelderen waarom effect van eindstandige UV op biologische stabiliteit niet altijd positief is
 Veel drinkwaterbedrijven passen een eindstandige UV-behandeling toe voor verlaging van de koloniegetallen uit AKF of als extra desinfectie van fecale ziekteverwekkers. In de praktijk blijkt echter dat UV in sommige gevallen een negatief effect heeft op de biologische stabiliteit van het reinwater. Met dit Speerpuntonderzoek is achterhaald of deze stabiliteit op verschillende locaties door eindstandige LD-UV of MD-UV wordt verslechterd en in hoeverre gunstige effecten op de stabiliteit zijn te bereiken met aanpassingen in de UV-configuratie.

Aanpak: onderzoek op drie schaalniveaus: full-scale installaties, pilots en laboratoriumexperimenten
 Metingen aan watermonsters afkomstig van full-scale installaties van diverse zuiveringsstations (zs) uit de deelnemende bedrijven zijn gebruikt om de effecten te bepalen van de locatie en van een mogelijk verschil tussen LD- en MD-UV-behandeling op de biologische stabiliteit. De volgende indicatoren zijn gebruikt voor biologische stabiliteit: biomassa-accumulatiesnelheid (BAS), biomassa-productiepotentie (BP7 en BPC14) en particulier en opgelost organisch koolstof (POC en DOC). Daarnaast is met pilot installaties op zs De Laak (Oasen) onderzocht of er verschillen waren in de biologische stabiliteit van het eindproduct tussen een UV-behandeling vóór of na de AKF, en tussen een eindstandige toepassing van LD-UV of MD-UV. Ten slotte is in het laboratorium aan watermonsters van zs De Punt (Waterbedrijf Groningen) bepaald wat het effect is van verschillende UV-behandelingen op de biologische stabiliteit direct na AKF en na langzame zandfiltratie (LZF).

Resultaten: optimale UV-behandeling moet per zuiveringsstation worden geverifieerd
 Voor de onderzochte full-scale installaties bestaat geen eenduidig verband tussen het toepassen van eindstandige LD-UV of MD-UV en het al dan niet optreden van een verhoging van de gemeten

indicatoren voor biologische stabiliteit. Hieruit wordt afgeleid dat de specifieke waterkwaliteit van invloed is op het effect van UV. Dit locatie gerelateerde verband leidt tot de conclusie dat per zuiveringsstation moet worden gekeken wat de omstandigheden zijn voor een optimale UV-behandeling.

Implementatie: geen algemeen geldende adviezen, maar locatiespecifieke verbeteropties

Op grond van het huidige Speerpuntonderzoek gelden de volgende aanbevelingen

- (1) Handhaving van de huidige UV-configuratie voor zs De Punt, De Steeg en C. Rodenhuis.
- (2) Heroverweging van eindstandige MD-UV-behandeling voor zs De Laak. Een plaatsing van MD-UV vóór de AKF geeft waarschijnlijk een duidelijke verbetering van de biologische stabiliteit van het reinwater. Ook een vervanging van de eindstandige MD-UV door een eindstandige LD-UV leidt tot vergelijkbare positieve resultaten. Voordeel van deze laatste opstelling is dat hiermee eventuele koloniegetallen uit de AKF kunnen worden verlaagd. Het valt te overwegen om te testen of toepassing van gedoteerde kwartsbuizen in de eindstandige MD-UV de biologische stabiliteit vergroot. In dat geval is slechts gedeeltelijke vervanging van de installatie nodig.
- (3) Uitzetten van de eindstandige UV-behandeling voor zs Groenekan en Hammerflie (beide van Vitens). Monitoring moet uitwijzen of daardoor de koloniegetallen bij 22°C en koloniegetallen van *Aeromonas* in het reinwater binnen de geaccepteerde waarden blijven.

Rapport

Dit onderzoek betreft Speerpuntonderzoek voor Oasen, Waterbedrijf Groningen en Vitens en is beschreven in rapport *Effect van LD-/MD-UV op de biologische stabiliteit van drinkwater* (BTO-2015.38).

Jaar van publicatie
2015

Meer informatie

dr. Paul van der Wielen
T +31 (0)30 6069642

E Paul.van.der.Wielen@kwrwater.nl

Keywords

LD-UV MD-UV desinfectie
biologische stabiliteit

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 2015.038 | Juni 2015 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, 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.

Inhoud

Inhoud	2
1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Doelstellingen	4
2 Methoden	5
2.1 Gebruikte bepalingen voor de biologische stabiliteit van water	5
2.2 Meetprogramma subdoelstelling 1	6
2.3 Meetprogramma subdoelstelling 2	7
2.4 Meetprogramma subdoelstelling 3	8
3 Resultaten	10
3.1 Invloed van eindstandige (LD-MD-)UV op de biologische stabiliteit van het geproduceerde drinkwater onder praktijkcondities	10
3.2 Invloed van UV-dosis op de AOC en BPP van actief koolfiltraat en langzame zandfiltraat van zs De Punt	15
3.3 Effect van de locatie van MD-UV op indicatoren voor de biologische stabiliteit op zs De Laak	19
3.4 Vergelijking van het effect van MD-UV en LD-UV op indicatoren voor de biologische stabiliteit op zs De Laak	22
4 Discussie	26
4.1 Invloed van eindstandige LD-MD UV in de onderzochte full-scale installaties op indicatoren voor biologische stabiliteit	26
4.2 Invloed van experimentele UV behandeling op indicatoren voor biologische stabiliteit van AK- en LZ-filtraat van zs De Punt	27
4.3 Effect van plaatsing en type UV behandeling op indicatoren voor biologische stabiliteit bij zs De Laak	28
5 Conclusies en aanbevelingen	29
5.1 Conclusies	29
5.2 Aanbevelingen	29
6 Referenties	31

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Bij Waterbedrijf Groningen, Oasen en Vitens wordt ultraviolette straling (UV) toegepast in de zuivering, om de eventuele hoge koloniegetallen na een zuiveringsstap als actief koolfiltratie te verlagen, en vaak ook als desinfectie tegen fecale ziekteverwekkers. Om uiteenlopende redenen is bij deze bedrijven de vraag opgekomen in hoeverre UV met middendruk (MD) of lage druk (LD) lampen de biologische stabiliteit van het water verlaagd. De aanleiding tot deze onderzoeksvraag bij de verschillende bedrijven wordt hieronder kort weergegeven.

In het kader van het BTO-speerpuntonderzoek heeft KWR in 2013 zeven zuiveringsstations van Oasen gerangschikt naar de wettelijke parameters voor nagroei in het distributiesysteem en de voorzieningsgebieden van Oasen toegevoegd aan de in 2010 opgestelde landelijke rangschikking van de Nederlandse voorzieningsgebieden. Deze rangschikking is gebruikt om de probleemlocaties ten aanzien van nagroei in het voorzieningsgebied van Oasen te achterhalen (Bereschenko, 2014). Daarnaast zijn de zuiveringsstations van Oasen gegroepeerd naar ruwwaterkwaliteit om de mogelijkheden voor optimalisatie van deze probleemlocaties op het spoor te komen. Een belangrijke hypothese die dit onderzoek opleverde, was dat de actief koolfiltratie (AKF) met eindstandige UV mogelijk leidt tot verhoogde nagroei in het distributiesysteem van de drie zuiveringsstations De Laak, de Hooge Boom en C. Rodenhuis. Het aanvullende onderzoek op zs De Laak (juli-november 2013) liet zien dat de eindstandige UV met middendruklampen (MD) voor significant verhoogde waarden van ATP en gemakkelijk afbreekbare organische stof (AOC) zorgde, evenals voor verhoging van bacteriegroeiwaarden zoals bepaald met de continue biofilmmonitor (CBM) en biomassaproductiepotentie (BPP) metingen in het UV-behandelde AK-filtraat (reinwater). Daarmee is deze eindstandige UV-desinfectie een waarschijnlijke oorzaak van de verhoogde nagroei in het distributiesysteem (Bereschenko, 2014). Daarom heeft Oasen aan KWR gevraagd om in 2014 speerpuntonderzoek uit te voeren naar het effect van UV-desinfectie op de biologische stabiliteit van het drinkwater geproduceerd op de zuiveringsstations De Steeg (MD-UV vóór ontharding en eindfiltratie) en C. Rodenhuis (eindstandige MD-UV). Daarnaast wilde Oasen dat ook onderzoek werd verricht naar de meest geschikte oplossing voor dit probleem op zs De Laak. Hierbij worden twee alternatieven onderzocht: (i) plaatsing van de MD-UV-installatie vóór de actieve koolfiltratie en (ii) gebruik van lage druk (LD) lampen.

Op productiebedrijf De Punt van Waterbedrijf Groningen is in 2012 een LD-UV-installatie vóór de laatste zuiveringsstap (langzame zandfiltratie, LZF) geplaatst, omdat de eindstandige plaatsing van deze LD-UV-installatie in 2005 bleek te resulteren in verhoogde concentratie van (gemakkelijk) assimileerbaar organisch koolstof (AOC) en een verhoogde biofilmvormingssnelheid (BVS) in het gezuiverde oppervlaktewater (Van der Maas *et al.*, 2009). Dit effect is echter in het verleden door KWR niet waargenomen op een andere locatie (zuiveringsstation Berenplaat, Evides). Hier werd vastgesteld dat bij de toepassing van een LD-UV lamp en een UV dosis tot $90 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ geen significante verhoging plaatsvond van de AOC-concentratie (Ijpelaar & Beerendonk, 2001; Ijpelaar *et al.*, 2005). Het is onduidelijk wat de reden is voor dit verschil, maar mogelijk speelt verschil in waterkwaliteit een rol. Recent uitgevoerde BVS-metingen op zs De Punt laten zien dat de positionering van de LD-UV-reactoren vóór de langzame zandfiltratie in de oppervlaktewaterzuivering resulteert in een verlaagde BVS van het reinwater (Bruins, 2014). Naar aanleiding van deze resultaten voor zs De Punt, zag Waterbedrijf Groningen aanleiding om in 2014 een BTO-speerpuntonderzoek te laten uitvoeren naar de factoren die verantwoordelijk zijn voor de verhoogde AOC-concentratie en BVS na LD-UV-behandeling van het daar gezuiverde oppervlaktewater.

De onderzoeksdoelen van beide drinkwaterbedrijven sluiten goed aan bij de onderzoeksvragen die drinkwaterbedrijf Vitens heeft over de invloed op de biologische stabiliteit van LD-UV-behandeling van AK-filtraat op zs Hammerflief en MD-UV-behandeling van AK-filtraat op zs Groenekan. Door de biologische stabiliteit van het gezuiverde grondwater vóór en na de eindstandige UV-desinfectie op de zuiveringsstations Hammerflief en Groenekan nader te bestuderen, kan duidelijkheid worden verkregen of eindstandige toepassing van LD-/MD-UV de biologische stabiliteit van het reinwater verlaagt op deze onderzochte locaties.

1.2 Doelstellingen

Het overkoepelende doel voor dit onderzoek betreft het bestuderen van het effect van LD- en MD-UV-desinfectie op de biologische stabiliteit van drinkwater door de biologische stabiliteit te bepalen van het water voor en na toepassing van het UV-proces in de zuivering en door de invloed te bepalen van een behandeling met UV op de biologische stabiliteit van water in een collimated beamopstelling op het laboratorium van KWR.

De volgende drie subdoelstellingen zijn hiervoor geformuleerd:

1. Stel vast in welke mate de behandeling van gezuiverd (oppervlakte-/grond)water met eindstandige LD-/MD-UV invloed heeft op de biologische stabiliteit van het drinkwater geproduceerd op zuiveringsstations De Steeg, C. Rodenhuis en De Laak (Oasen), op zuiveringsstations Hammerflief en Groenekan (Vitens) en op zuiveringsstation De Punt (Waterbedrijf Groningen);
2. Stel vast in hoeverre de waterkwaliteit en toegepaste UV-dosis invloed hebben op de (hoogte van) AOC-formatie en POC/BVS-verhoging tijdens behandeling met LD-/MD-UV op water van zs De Punt;
3. Stel vast in hoeverre aanpassing van het UV-proces in het zuiveringsproces van zs De Laak de biologische stabiliteit van het (drink)water kan verbeteren. Hierbij is onderzocht in hoeverre de locatie van UV in het zuiveringsschema (eindstandig versus niet-eindstandig) en het gebruik van LD-UV versus MD-UV lampen de biologische stabiliteit van het water beïnvloedt.

2 Methodes

2.1 Gebruikte bepalingen voor de biologische stabiliteit van water

2.1.1 Gemakkelijk assimileerbaar organisch koolstof (AOC)

De concentratie gemakkelijk assimileerbaar organisch koolstof (AOC) wordt bepaald door twee specifieke bacteriestammen (P17 en Nox) toe te voegen aan een gepasteuriseerd watermonster (Van der Kooij, 1992). *Pseudomonas fluorescens* stam P17 groeit op een groot aantal aminozuren, enkele koolhydraten, aromatische verbindingen en carbonzuren, terwijl *Spirillum* sp. stam Nox alleen groeit op carbonzuren inclusief oxaal- en mierenzuur, verbindingen die door stam P17 niet worden gemetaboliseerd. Het AOC-gehalte van (drink)water wordt berekend uit de maximum koloniegetallen van beide bacteriestammen, waarbij de groei van P17 en Nox op acetaat wordt gebruikt als referentie. Het AOC-gehalte wordt uiteindelijk uitgedrukt in acetaat-C equivalenten per liter water.

Onderzoek naar nagroei van heterotrofe bacteriën in drinkwater heeft aangetoond dat bij AOC-concentraties onder de $10 \mu\text{g ac-C l}^{-1}$ de vermeerdering van micro-organismen over het algemeen zeer beperkt is (Van der Kooij, 1992). Grondwater heeft vrijwel altijd een AOC-concentratie onder deze $10 \mu\text{g ac-C l}^{-1}$. Toch is vermeerdering van *Aeromonas* waargenomen in drinkwater met een AOC-concentratie lager dan $10 \mu\text{g C l}^{-1}$ (Van der Kooij, 1992). De groei van *Aeromonas* in deze watertypen lijkt gerelateerd aan de vorming van biofilm op oppervlakken die in contact staan met drinkwater.

2.1.2 Biomassa-accumulatiesnelheid (BAS)

Door Van der Kooij & Veenendaal (2012) is een snelle continue biofoulingmonitor (CBM) ontwikkeld, waarbij vier parallelle, met glaspereels gevulde cuvetten worden gebruikt voor biofilmvorming. Door de filterwerking van de glaspereels treedt naast biofilmvorming ook accumulatie van biomassa op, waardoor de toename aan ATP in de tijd wordt gedefinieerd als biomassa-accumulatiesnelheid (BAS). Het gebruik van glaspereels leidt tot betere stofoverdracht waardoor binnen een maand tijd de BAS van het water kan worden bepaald. Daarnaast worden tweewekelijk alternerend twee cuvetten vervangen waardoor elke twee weken een dublo BAS-waarde wordt verkregen na vier weken incubatie (semi-continue metingen). De uitgehaalde cuvetten met glaspereels werden in glazen buizen met 10 ml steriel drinkwater geplaatst en vervolgens op het laboratorium gedurende 2 minuten ultrasoon behandeld. Deze ultrasone behandeling werd vervolgens nog twee keer herhaald met 10 ml vers steriel drinkwater. De drie keer 10 ml per glaspereelcuvet werden bij elkaar gevoegd en daarna werd van de gepoolde suspensie het ATP-gehalte bepaald (Van der Wielen & Van der Kooij, 2010). Met behulp van deze gegevens werden de BAS-waarden in dublo berekend, uitgedrukt in $\text{pg ATP cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$.

2.1.3 Biomassaproductiepotentie (BPP)

De biomassaproductiepotentie (BPP) werd bepaald door een erlenmeyer in dublo te vullen met 600 ml van het te onderzoeken water, waarna fosfaat, nitraat en rivierent werd toegevoegd. De kolven werden vervolgens 14 dagen geïncubeerd bij 25°C . Tijdens de incubatieperiode werd op dag 0, 1, 2, 4, 7, 9, 11 en 14 monsters genomen van de kolven en werd het ATP-gehalte gemeten als maat voor actieve biomassa. De maximale groeiopbrengst gedurende de eerste zeven dagen (BP7, als maat voor makkelijk biologisch afbreekbare organische stof; ng ATP l^{-1}) en de cumulatieve groeiopbrengst in 14 dagen (BPC14, als maat voor de in totaal aanwezige hoeveelheid biologisch afbreekbare organische stof; d.ng ATP l^{-1})

werden vervolgens met de gegevens berekend. Zie voor een nadere toelichting Van der Kooij & Veenendaal (2012, 2014).

Tijdens collectief BTO-onderzoek naar validatie en optimalisatie van de BPP-methode is eind 2014 duidelijk geworden dat de tot dan toe gehanteerde BPP-methode bij de analyse van watermonsters die met UV, ozon, peroxide of membraanfiltratie zijn behandeld onbetrouwbare resultaten oplevert (Van der Wielen, 2015).

Bij de BPP-bepaling werden watermonsters voorzien van een inoculatie met rivierent. De oorspronkelijke, in het watermonster aanwezige bacteriepopulatie is echter na een UV-behandeling in belangrijke mate afgedood. De bacteriepopulatie die met rivierent wordt toegediend, bleek echter onvoldoende aangepast aan de lage concentratie van afbreekbare stoffen in drinkwater. Daarom is besloten om vanaf januari 2015 ook een ent van bacteriën uit AK-filtraat toe te dienen aan het water dat is behandeld met UV, ozon, peroxide of membraanfiltratie. Dit inzicht kwam echter te laat voor het merendeel van de bepalingen die zijn uitgevoerd in het nu voorliggende onderzoek. Alleen voor zs Groenekan is in de BPP-test van de laatste monsters (begin 2015) een ent van AK-filtraat toegevoegd. De bijbehorende waarden laten overigens geen opvallend ander beeld zien dan de eerdere monsters voor deze locatie.

Er moet dus rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat de hier gerapporteerde BP7- en BPC14-waarden lager zijn uitgevallen dan wanneer de bepalingen zouden zijn uitgevoerd volgens de per januari 2015 aangepaste BPP-methode. De collimated beam experimenten met AK-filtraat van De Punt (hierna beschreven onder 2.3) laten zien dat de controle monsters meestal een hogere BP7 en BPC14 hadden dan de met UV behandelde watermonsters. Dat past bij de verwachting dat de UV-behandeling de van nature aanwezige bacteriepopulatie in het water (deels) heeft afgedood, terwijl dit niet is gebeurd in de niet met UV behandelde controles.

2.1.4 Deeltjesgebonden en opgelost organisch koolstof (POC en DOC)

De hoeveelheid deeltjesgebonden organisch koolstof (POC; $\mu\text{g C l}^{-1}$) werd in enkelvoud bepaald door circa 100 liter water te concentreren tot ongeveer 300 tot 500 ml met behulp van de hemoflow (ultrafiltratiemembraan van polysulfon; cut-off 30 kDa). Aan het concentraat werd de concentratie totaal organisch koolstof (TOC), koolhydraten en ijzer bepaald. Daarnaast werd de concentratie opgelost organisch koolstof (DOC; $\mu\text{g C l}^{-1}$) van het water bepaald. Met behulp van deze concentraties en de concentratiefactor werd vervolgens POC berekend. Zie voor een nadere beschrijving Van der Kooij & Veenendaal (2013).

2.2 Meetprogramma subdoelstelling 1

BAS, BP7, BPC14, POC en DOC metingen werden gedaan met influent en effluent monsters van de bestaande MD-UV-installaties na AKF op de zuiveringsstations De Steeg (vóór ontharding en filtratie; Berson, lamptype B3535, $20\text{-}70 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$), C. Rodenhuis (Berson, lamptype B2000, $10\text{-}20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$) en De Laak (Berson, lamptype B5050, $50 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$), alle drie bij Oasen, zonder berging tussen AKF en UV; van de eindstandige LD-UV-installatie na AKF op pompstation Hammerfliet (Vitens; Berson Steriliser HGSW 2/4 met 4 lage druk lampen B2000, dosis niet af te lezen, alleen transmissie is instelbaar; geen berging tussen AKF en UV) en van de eindstandige MD-UV-installatie na AKF op pompstation Groenekan (Vitens; Berson Inline 3000, 8 midden druk lampen B2035H, dosis niet af te lezen; geen berging tussen AKF en UV). Zie Tabel 2.1 voor het aantal monsterdata per parameter.

TABEL 2.1. OVERZICHT VAN AANTAL MONSTERDATA VÓÓR EN NA DE UV-INSTALLATIE OP ZUIVERINGSSTATIONS DE STEEG, C. RODENHUIS EN DE LAAK (OASEN) EN GROENEKAN EN HAMMERFLIER (VITENS)

bepaling	Oasen			Vitens	
	De Steeg	C. Rodenhuis	De Laak	Groenekan	Hammerflier
BAS	6	6	5	4(8)*	6
BP7	3	3	2	3	3
BPC14	3	3	2	3	3
POC	3	3	2	3	3
DOC	3	3	2	3	3

*: Op de positie vóór UV ontbreken de eerste 4 van de in totaal 8 monsterdata omdat de CBM op een verkeerd punt bleek te zijn aangesloten.

Op zuiveringsstation De Punt (Waterbedrijf Groningen) werden door WLN op drie monsterdata monsters genomen vóór en na de momenteel in gebruik zijnde $2 \times 20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV-installatie (Trojan UV Swift D12 lamptype Heraeus longlive 794447-OGN lamp, GA64T6HE Step Base GREEN) die in de full-scale zuivering ná de AKF staat, vóór de LZF. Hieraan werden AOC, BP7, BPC14, POC en DOC bepaald door KWR. Voor dezelfde parameters werden ook driemaal monsters genomen vóór en na de oude LD-UV (Trojan UV Swift D12 lamptype 794447-ORD lamp, GA64T6HE Angle Base; RED, $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$), die eindstandig ná de LZF is geplaatst, en die voor het doel van dit onderzoek weer tijdelijk in gebruik werd genomen. Voorafgaand aan dit onderzoek waren deze lampen sinds de inbedrijfstelling van de nieuwe UV-installatie (begin 2013) uitgeschakeld. De aan- en afvoerleidingen zijn gereinigd. De waterstroom bleef sinds die tijd wel lopen via de oude UV-installatie, die dus kon worden beschouwd als een leiding. Het is niet waarschijnlijk dat in deze periode aangroei zoals door algen heeft plaatsgevonden (mond. med. J. Bruins). De monsternamen voor de AOC-analyse gebeurde met door KWR aangeleverde AOC-vrije kolven. WLN heeft van monsters van dezelfde vier plaatsen in de fullscale zuivering van De Punt de waarden bepaald voor DOC, pH, HCO_3^- en NO_3^- .

2.3 Meetprogramma subdoelstelling 2

Op zuiveringsstation De Punt zijn door WLN watermonsters genomen van actief koolfiltraat vóór de $2 \times 20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV en van LZ-filtraat vóór de $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV. Deze watermonsters werden bij KWR gebruikt voor experimentele blootstelling aan UV in een zogenaamde collimated beaminstallatie (zie Hofman-Caris & Harmsen, 2012, voor een nadere beschrijving). Voor dit onderzoek werden de watermonsters in triplo in een petrischaal zonder deksel belicht met drie verschillende LD-UV doses ($40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$, een korte $20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ en een langere $20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ behandeling) en met een MD-UV behandeling van $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ (zie Tabel 2.2 voor details). Van alle bij KWR experimenteel belichte watermonsters werden vóór en na de verschillende behandelingen de waarden bepaald van AOC, BP7, en BPC14. Daarnaast werden dezelfde analyses ook direct uitgevoerd met de aangeleverde watermonsters uit de full-scale installatie (AK filtraat en LZ filtraat).

Omdat de UV-behandelingen plaats moeten vinden in een open petrischaal, bestaat de kans dat er tijdens de behandeling afbreekbaar organisch materiaal invalt. Ter correctie wordt daarom bij iedere UV-behandeling ook een blanco controle meegenomen die niet aan UV wordt blootgesteld. Om het aantal te analyseren monsters te beperken, is er voor gekozen om deze controle alleen uit te voeren bij de UV-behandelingen van AKF-monsters. Indien de blootstelling in een open petrischaal geen effect heeft op de hoeveelheid afbreekbaar

organisch materiaal, is de verwachting dat de waarden van de controles niet afwijken van de resultaten voor de directe analyse van AKF-monsters.

TABEL 2.2. OVERZICHT VAN DE VERSCHILLENDE EXPERIMENTELE UV-BEHANDELINGEN IN DE COLLIMATED BEAMINSTALLATIE VAN KWR.

type lamp	dosis mj · cm ²	afstand cm	tijd dosering sec	watertype	code
Direct uit full-scale				AKF	AKF
Blanco	Blanco			AKF	MD40 Blanco
Midden druk	40	80	84,5	AKF	MD40
Blanco	Blanco			AKF	LD40 Blanco
Lage druk	40	30	204,8	AKF	LD40
Blanco	Blanco			AKF	LD20 kort BI
Lage druk	20	30	102,4	AKF	LD20 kort
Blanco	Blanco			AKF	LD20 lang BI
Lage druk	20	40	175,1	AKF	LD20 lang
Direct uit full-scale				LZF	LZF
Midden druk	40	80	77,5	LZF	MD40
Lage druk	40	30	184	LZF	LD40
Lage druk	20	30	92	LZF	LD20 kort
Lage druk	20	40	156	LZF	LD20 lang

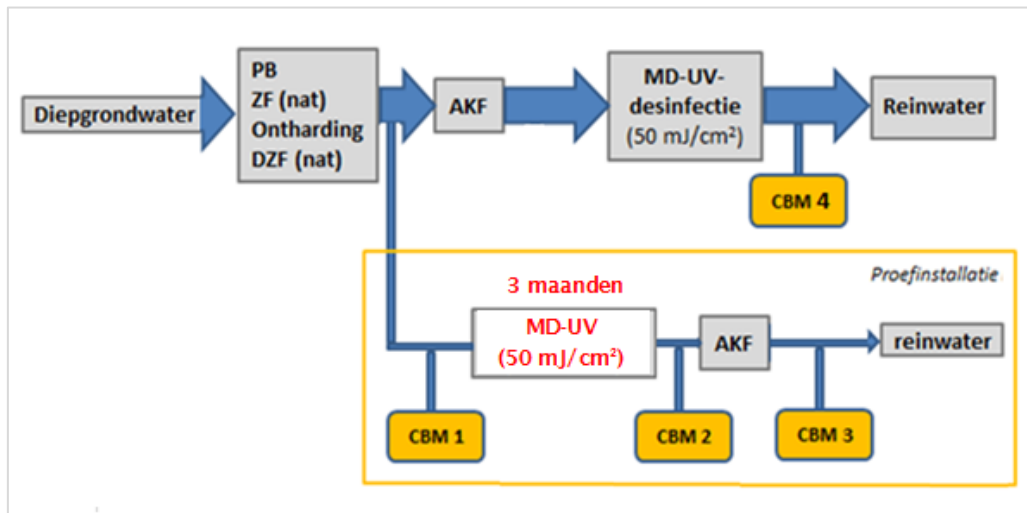
2.4 Meetprogramma subdoelstelling 3

2.4.1 Locatie MD-UV-installatie in de zuivering

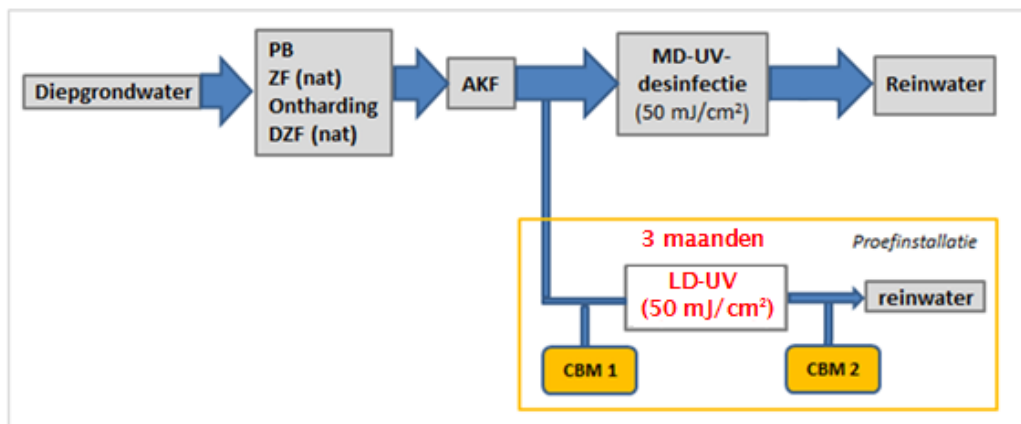
Voor zuiveringsstation De Laak (Oasen) is onderzocht in hoeverre plaatsing van de MD-UV-installatie vóór de actieve koolfiltratie leidt tot een verbetering van de biologische stabiliteit van het reinwater. Dit is gebeurd met een 50 mj · cm² MD-UV-installatie (afkomstig van BestUV, debiet 4 m³/h) en een 20 min AKF-pilotinstallatie van KWR, gepositioneerd vóór de AK-filtratie in de full-scale zuiveringsinstallatie (Fig. 2.1). Aan de vier monsterpunten, aangegeven in Fig. 2.1, werden gedurende vier maanden metingen gedaan voor BPC14, BP7, BAS, POC en DOC.

2.4.2 LD-UV versus MD-UV

Eveneens op zuiveringsstation De Laak is onderzocht in hoeverre de vervanging van de huidige MD-UV-lamp door een LD-UV-lamp leidt tot een verbetering van de biologische stabiliteit van het reinwater. Dit is gebeurd met een 50 mj · cm² LD-UV-pilotinstallatie (van BestUV), gepositioneerd na de AK-filtratie in de full-scale zuivering (Fig. 2.2). Aan de twee monsterpunten, aangegeven in Fig. 2.2, werden gedurende twee maanden metingen gedaan voor BPC14, BP7, BAS, POC en DOC.



Figuur 2.1. Schematische weergave van de plaatsing van de MD-UV/AKF-proefinstallatie op zuiveringsstation De Laak. Boven: (PB) – plaatbeluchting, (ZF) – eerste filtratiestap (zand, nat), (DZF) – tweede filtratiestap (dubbellaags zand/antraciet, nat), (AKF) – actief koolfiltratie en (MD-UV) – UV-installatie met middendruklamp van het full-scale zuiveringsstation. Beneden: (MD-UV) – een proefinstallatie van BestUV, en (AKF) – een RVS-kolom (met pomp en breakervat) van KWR, gevuld met ca. 100 liter actief kool (van Oasen). De locaties van de CBM's (monsterpunten) zijn aangegeven met cijfers.



Figuur 2.2. Schematische weergave van de plaatsing van de LD-UV pilot op zuiveringsstation De Laak. Boven: (PB) – plaatbeluchting, (ZF) – eerste filtratiestap (zand, nat), (DZF) – tweede filtratiestap (dubbellaags zand/antraciet, nat), (AKF) – actief koolfiltratie en (MD-UV) – UV-installatie met middendruklamp van het full-scale zuiveringsstation. Beneden: (LD-UV) – een proefinstallatie van BestUV. De locaties van de CBM's (monsterpunten) zijn aangegeven met cijfers.

3 Resultaten

3.1 Invloed van eindstandige (LD-MD-)UV op de biologische stabiliteit van het geproduceerde drinkwater onder praktijkcondities

3.1.1 Biomassa accumulatiesnelheid (BAS)

Fig. 3.1 geeft de BAS waarden gemeten bij de vijf full-scale zuiveringen bij Oasen en Vitens. Alleen bij De Laak (Fig. 3.1.c) en Hammerfliet (Fig. 3.1.e) lijkt de UV-behandeling gedurende de gehele periode een verhoging te veroorzaken van de BAS. De andere vier locaties laten geen duidelijk stimulerend effect van UV op de BAS zien, behalve op de laatste datum voor De Steeg. De relatief hoge BAS-waarden op de eerste meetdatum voor De Steeg (Fig. 3.1.a) werden veroorzaakt doordat de CBMs hier nog waren aangesloten op de onderzijde van de verzamelleiding, met veel aanvoer van sediment tot gevolg. Na deze datum werd de locatie

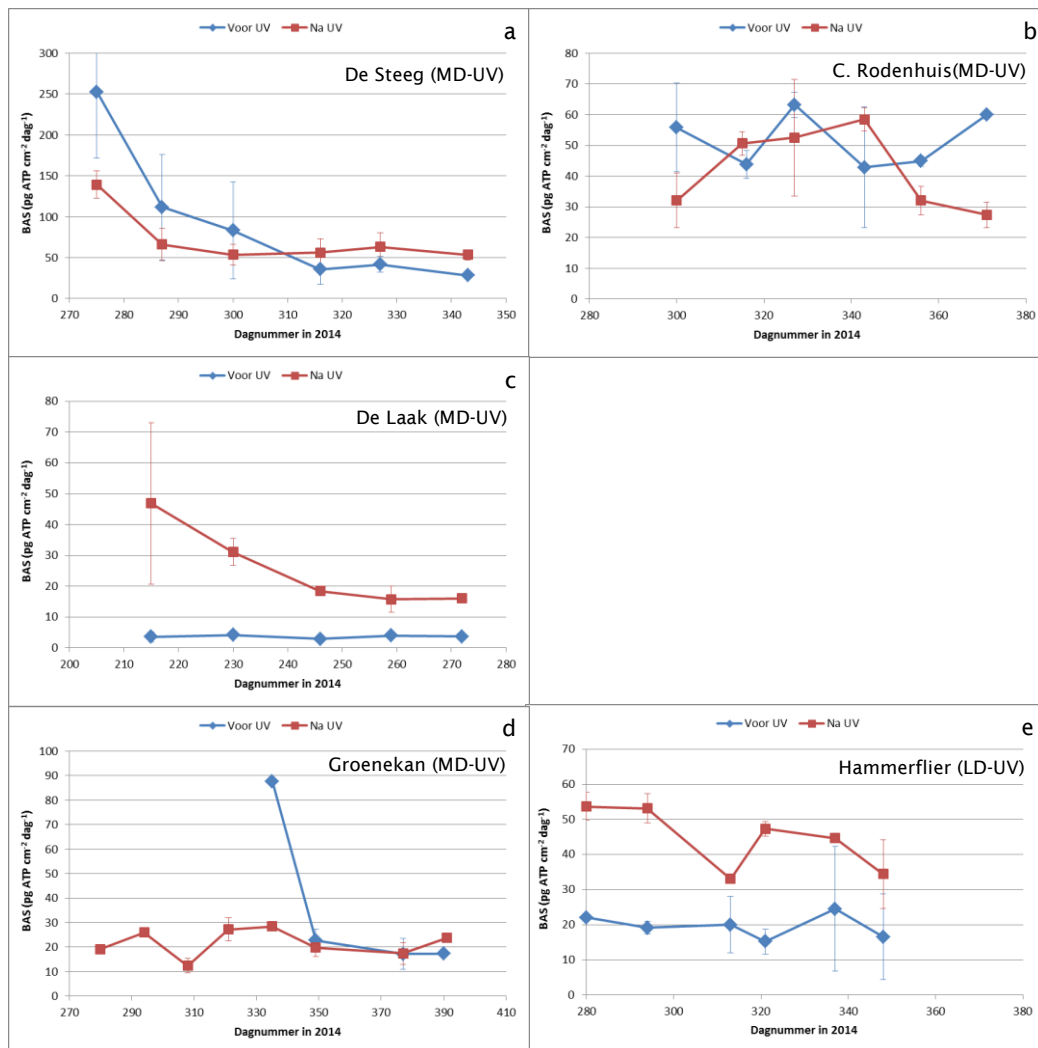


Fig. 3.1. Biomassa accumulatiesnelheden (BAS; met standaardafwijkingen) bepaald vóór en na UV dosering in vijf full-scale installaties. A: De Steeg (MD-UV; eerste meting nog op foutieve locatie); B: C. Rodenhuis (MD-UV); C: De Laak (MD-UV); D: Groenekan (MD-UV) en E: Hammerfliet (LD-UV).

van de CBMs aangepast. Het sterk afwijkende eerste monster voor het influent van de UV-installatie van Groenekan (Fig. 3.1d) kan niet worden verklaard.

3.1.2 Biomassaproductiepotentie (BP7 en BPC14)

De resultaten van de BPP bepalingen van het water voor en na UV in de zes full-scale zuiveringen staan in Fig. 3.2 en 3.3. De resultaten zijn mogelijk onderschattingen omdat er behalve voor de laatste datum bij Groenekan geen AKF-ent is toegevoegd (zie 2.1.3).

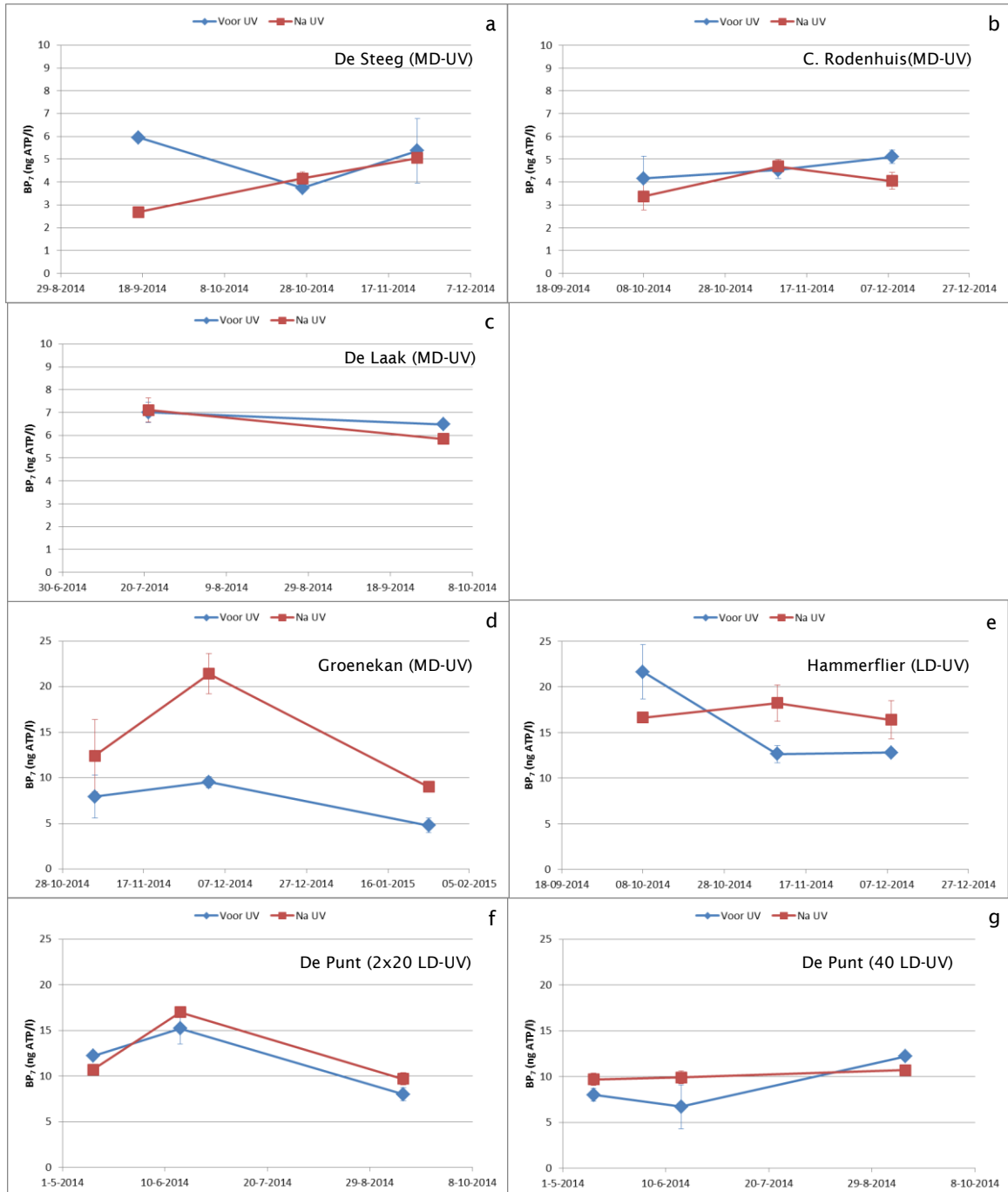


Fig. 3.2. BP7-waarden (met standaardafwijkingen) bepaald vóór en na UV dosering in zes full-scale installaties. A: De Steeg (MD-UV; eerste meting nog op foute locatie); B: C. Rodenhuis (MD-UV); C: De Laak (MD-UV); D: Groenekan (MD-UV); E: Hammerfliet (LD-UV); F: De Punt (2x20 LD-UV op AK-filtraat) en G: De Punt (40 LD-UV op LZ-filtraat).

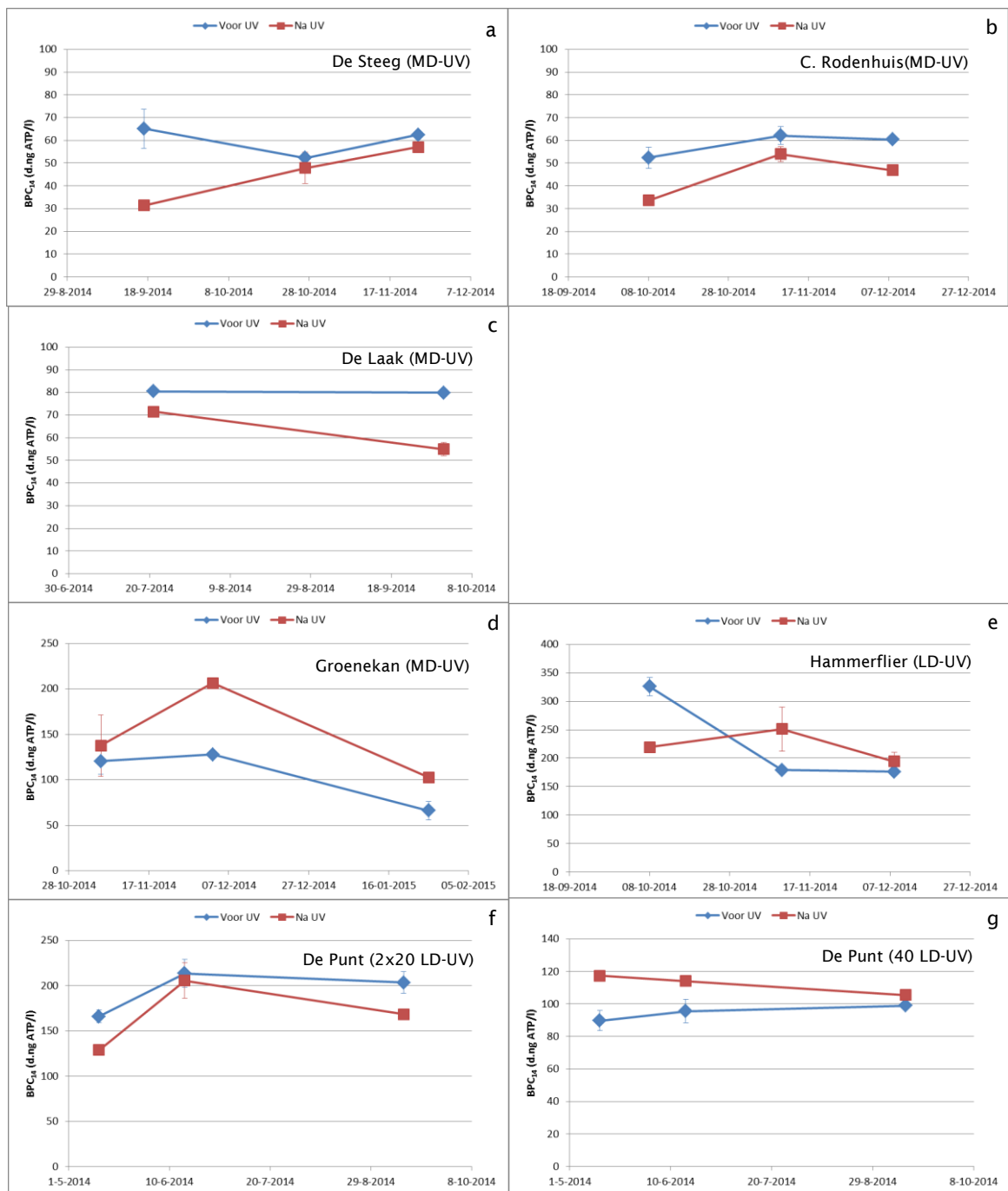


Fig. 3.3. BPC₁₄-waarden (met standaardafwijkingen) bepaald vóór en na UV dosering in zes full-scale installaties. A: De Steeg (MD-UV; eerste meting nog op foutieve locatie); B: C. Rodenhuis (MD-UV); C: De Laak (MD-UV); D: Groenekan (MD-UV); E: Hammerfliet (LD-UV); F: De Punt (2x20 LD-UV op AK-filtraat) en G: De Punt (40 LD-UV op LZ-filtraat).

De BP7-waarden lijken alleen bij zs Groenekan (Fig. 3.2d) verhoogd te zijn na de UV-behandeling. Bij de andere locaties is geen duidelijke invloed van de UV-behandeling op de BP7 waargenomen.

De laatste twee BPC₁₄-monsters van het water na UV-behandeling bij zs Groenekan (Fig. 3.3d) laten verhoogde waarden zien. De BPC₁₄-waarden van het LZ-filtraat op De Punt (Fig.

3.3g) zijn na UV-behandeling in het begin van de meetperiode wat verhoogd, maar dit verschil verdwijnt aan het einde van de meetperiode. Bij de andere locaties wordt een verlagend of geen effect van de UV-behandeling op de BPC14 waargenomen

3.1.3 Deeltjesgebonden en opgelost organisch koolstof (POC en DOC)

De resultaten van de POC- en DOC-bepalingen van het water voor en na UV in de vijf onderzochte full-scale zuiveringen bij Oasen en Vitens staan in Fig. 3.4 en 3.5.

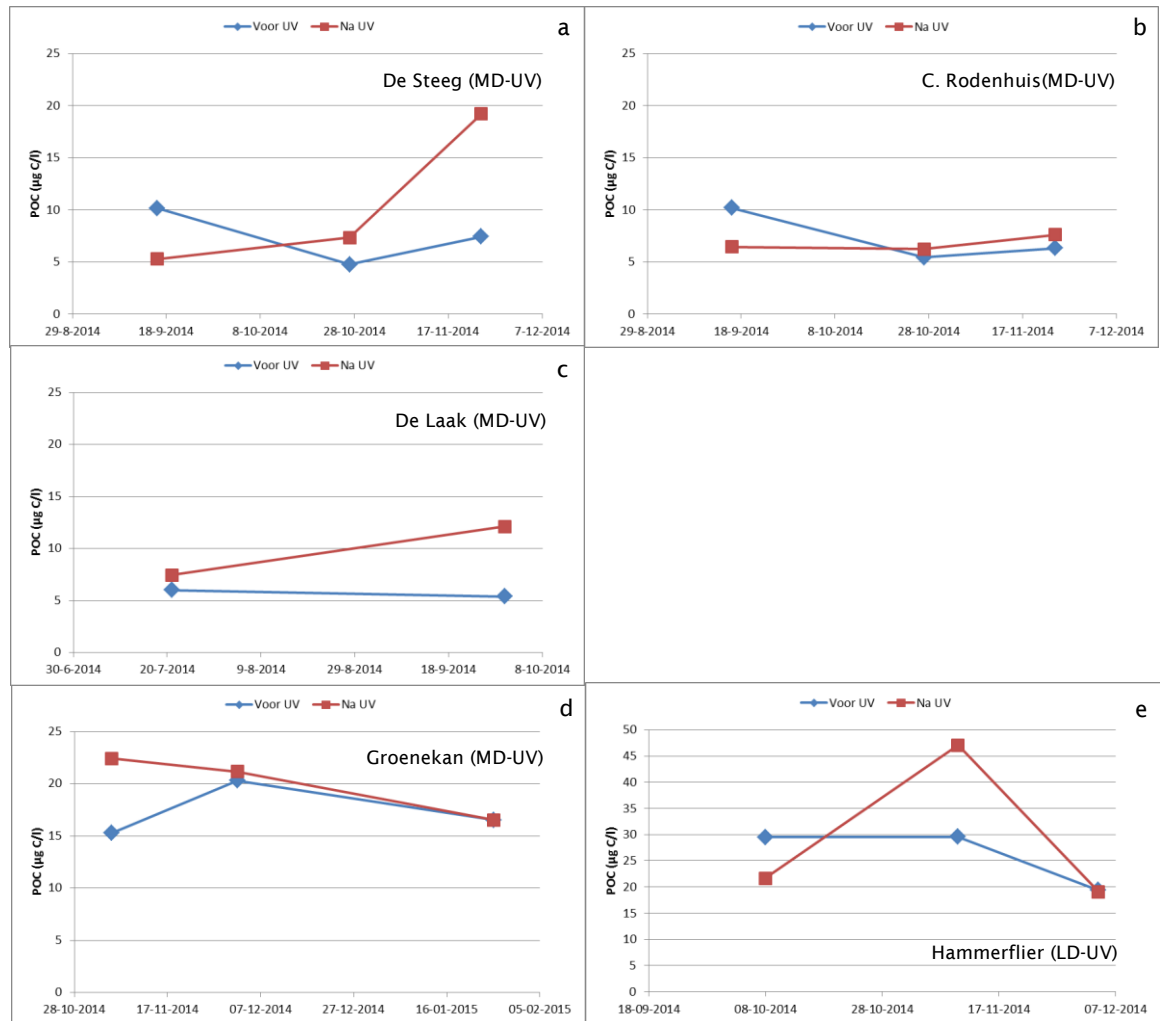


Fig. 3.4. POC-waarden bepaald vóór en na UV dosering in vijf full-scale installaties. A: De Steeg (MD-UV; eerste meting nog op foutieve locatie); B: C. Rodenhuis (MD-UV); C: De Laak (MD-UV); D: Groenekan (MD-UV) en E: Hammerflier (LD-UV).

De absolute POC-gehalten in het reinwater zijn steeds laag te noemen. Bij zs De Steeg, Groenekan en Hammerflier is de POC-waarde op één van de drie momenten gedurende de meetperiode verhoogd na de UV behandeling. Voor zs De Laak geldt dit voor de laatste van de twee metingen. Het zs C. Rodenhuis laat geen sterke effecten van de UV-behandeling zien.

Het DOC-gehalte laat voor zs De Laak (Fig. 3.5c) een verlaging zien na UV. Voor zs Hammerflier (Fig. 3.5e) is er een lichte verhoging van de DOC-waarde voor de eerste twee meetmomenten. De overige zuiveringsstations tonen weinig of geen effect van de UV-behandeling.

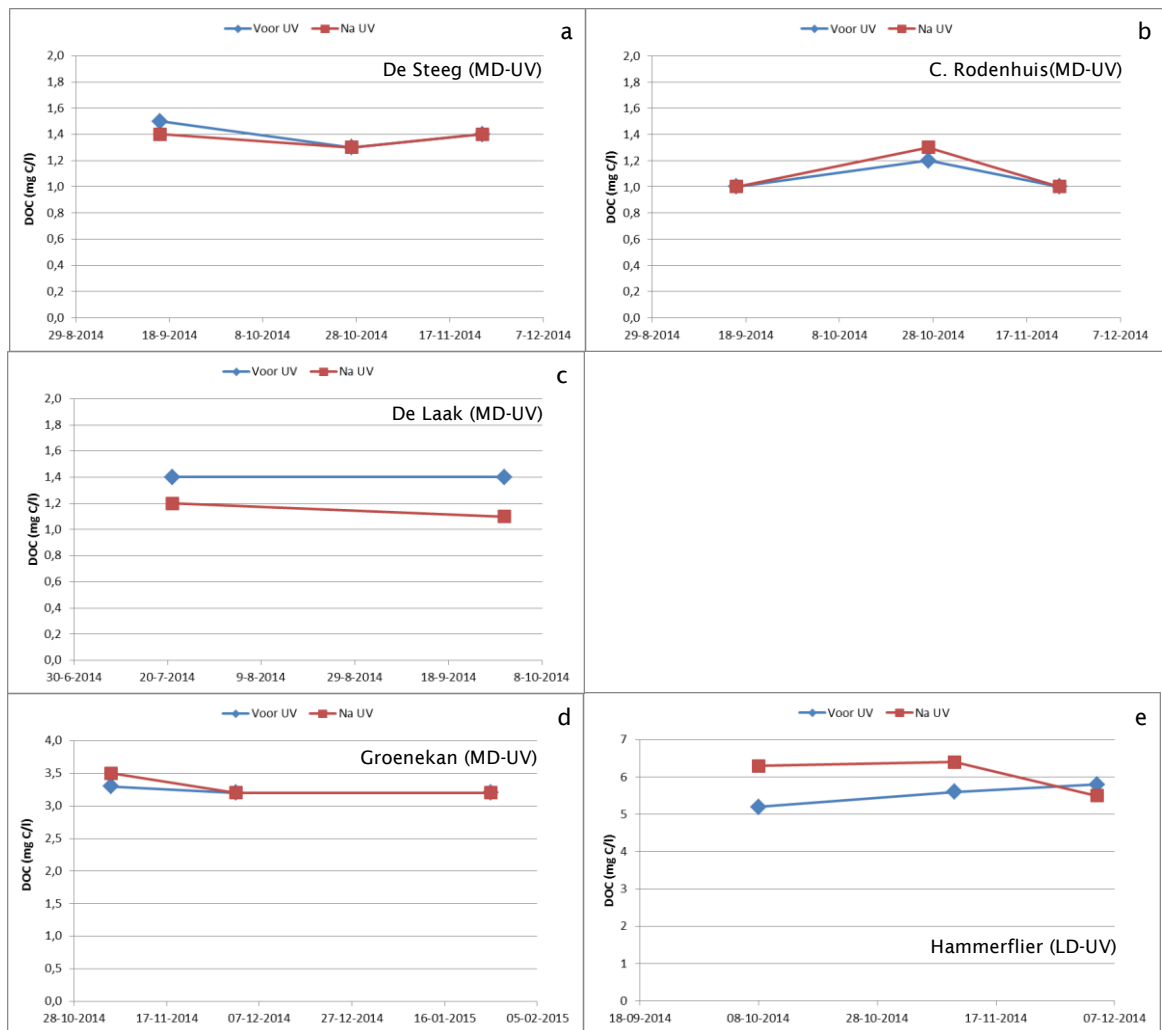


Fig. 3.5. DOC-waarden bepaald vóór en na UV dosering in vijf full-scale installaties. A: De Steeg (MD-UV); eerste meting nog op foutieve locatie; B: C. Rodenhuis (MD-UV); C: De Laak (MD-UV); D: Groenekan (MD-UV) en E: Hammerflier (LD-UV).

3.1.4 Gemakkelijk assimileerbaar organisch koolstof (AOC) op zs De Punt

De resultaten voor zuiveringsstation De Punt van de $2 \times 20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV-behandeling van AK filtraat en van de $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV-behandeling van LZ-filtraat op de AOC-concentratie

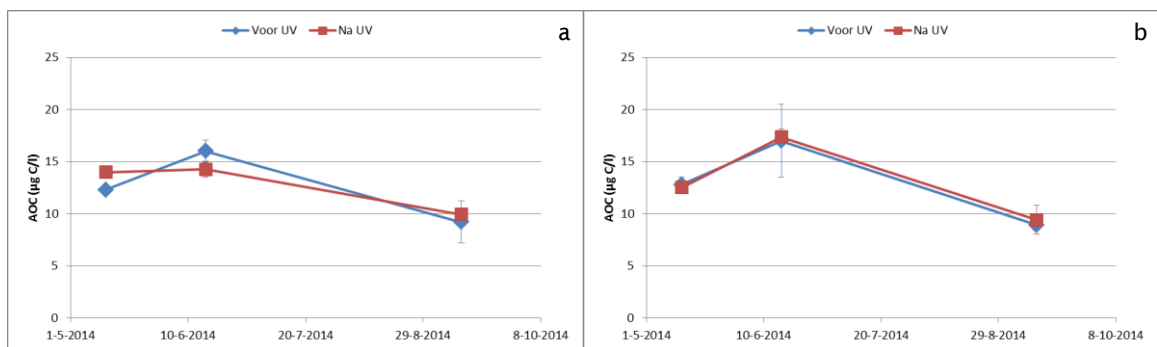


Fig. 3.6. AOC-concentraties (met standaardafwijkingen) zoals bepaald voor De Punt vóór en na UV dosering. A: voor AK-filtraat ($2 \times 20 \text{ LD-UV}$); B: voor LZ-filtraat (40 LD-UV).

staan in Fig. 3.6. De AOC-concentratie bleek vergelijkbaar in het water voor en na de 2 x 20 $\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV-behandeling van AK-filtraat en in het water voor en na de 40 $\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV-behandeling van LZF.

3.1.5 Metingen van DOC, pH, HCO_3^- en NO_3^- op zs De Punt

In Tabel 3.1 staan de resultaten van metingen uitgevoerd door WLN aan DOC, pH, HCO_3^- en NO_3^- in AK-filtraat vóór en na de 2x20 $\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV behandeling. Dezelfde parameters zijn ook gemeten aan LZ-filtraat vóór en na de 40 $\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV behandeling (Tabel 3.2). Er zijn geen betekenisvolle effecten waarneembaar als gevolg van de UV behandelingen.

TABEL 3.1. OVERZICHT VAN DE WAARDEN VAN DOC, ZUURGRAAD, BICARBONAAT EN NITRAAT IN AK-FILTRAAT VAN ZUIVERINGSINSTALLATIE DE PUNT VÓÓR EN NA DE 2X20 $\text{mJ} \cdot \text{CM}^{-2}$ LD-UV-BEHANDELING.

AKF datum	DOC mg l^{-1}		pH		HCO_3^- mg l^{-1}		NO_3^- mg l^{-1}	
	Voor UV	Na UV	Voor UV	Na UV	Voor UV	Na UV	Voor UV	Na UV
13-5	5,7	5,7	7,0	7,0	89,9	89,6	6,1	6,1
16-6	6,2	6,0	7,0	7,0	89,4	87,2	6,3	6,3
11-9	5,2	5,0	7,0	7,0	105,5	104,5	2,0	1,8

TABEL 3.2. OVERZICHT VAN DE WAARDEN VAN DOC, ZUURGRAAD, BICARBONAAT EN NITRAAT IN LZ-FILTRAAT VAN ZUIVERINGSINSTALLATIE DE PUNT VÓÓR EN NA DE 40 $\text{mJ} \cdot \text{CM}^{-2}$ LD-UV-BEHANDELING.

LZF datum	DOC mg l^{-1}		pH		HCO_3^- mg l^{-1}		NO_3^- mg l^{-1}	
	Voor UV	Na UV	Voor UV	Na UV	Voor UV	Na UV	Voor UV	Na UV
13-5	5,5	5,2	7,0	7,0	92,3	90,3	6,2	6,2
16-6	5,3	5,1	6,9	6,9	87,2	87,2	6,5	6,4
11-9	4,2	4,3	7,0	7,0	104,9	104,6	2,2	2,2

3.2 Invloed van UV-dosis op de AOC en BPP van actief koolfiltraat en langzame zandfiltraat van zs De Punt

3.2.1 Actief koolfiltraat (BP7, BPC14 en AOC)

In Fig. 3.7 staan de resultaten voor de BP7-waarden van AKF na blootstelling aan de verschillende experimentele UV-behandelingen. In Fig. 3.8 staan de resultaten voor de BPC14-metingen na dezelfde behandelingen. Ter vergelijking zijn ook de BP7- en BPC14-waarden weergegeven van AKF uit de full-scale zuivering, dat dus geen UV-behandeling heeft ondergaan. Daarnaast zijn controles meegenomen die niet met UV zijn behandeld, maar die wel even lang aan de lucht zijn blootgesteld als de met UV-behandelde monsters. De resultaten van de UV-behandelingen zijn mogelijk onderschattingen omdat er geen AKF-ent is toegevoegd (zie 2.1.3).

Zowel voor de BP7 als voor de BPC14 lijkt er geen duidelijk verschil te zijn tussen de vier experimentele behandelingen, en ook niet tussen de behandelingen en de direct geanalyseerde monsters uit de full-scale installatie. De diverse controles zijn iets verhoogd of vergelijkbaar met de direct bepaalde waarde aan het AK-filtraat, hetgeen aangeeft dat er tijdens de UV-behandelingen weinig tot geen extra afbreekbaar materiaal in het watermonster terecht komt. Wel valt op dat de controles meestal wat hoger uitvallen dan de

behandelingen waar ze bij horen, met uitzondering van de BP7 controle voor de langere LD20 behandeling.

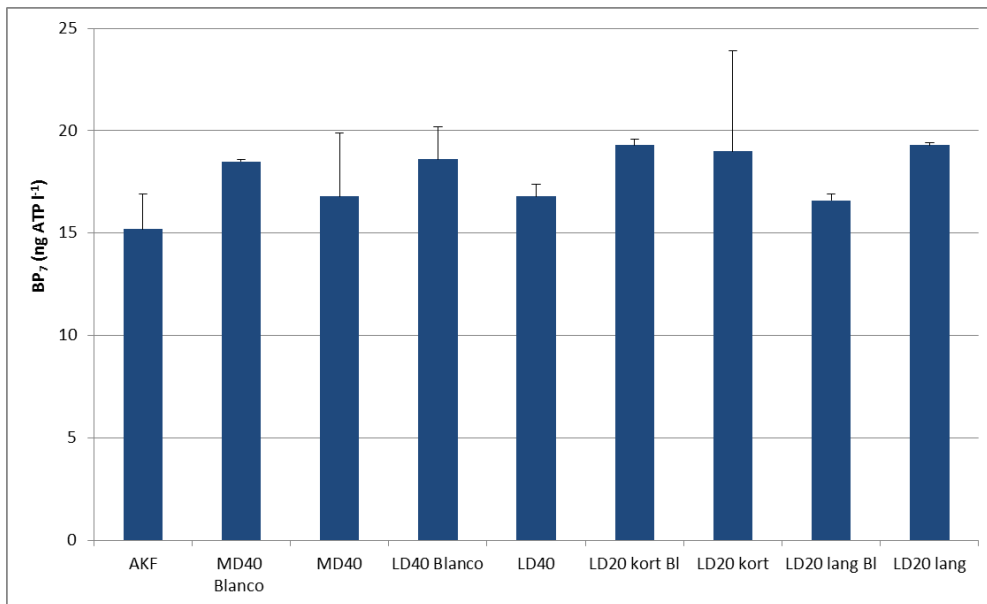


Fig. 3.7. BP₇-waarden (met standaardafwijkingen) van actief koolfiltraat van De Punt zonder UV-behandeling (AKF) en na diverse blootstellingen in het laboratorium (MD40 = 40 mJ·cm⁻² MD-UV, LD40= 40 mJ·cm⁻² LD-UV, LD20 kort = 20 mJ·cm⁻² LD-UV gedurende 102 seconden, LD20 lang = 20 mJ·cm⁻² LD-UV gedurende 175 seconden). Blanco metingen (monsters wel blootgesteld aan de lucht, maar niet UV-behandeld) gedurende de vier behandelingen zijn aangegeven met de toevoeging 'Blanco' of 'BI'. Zie ook Tabel 2.2.

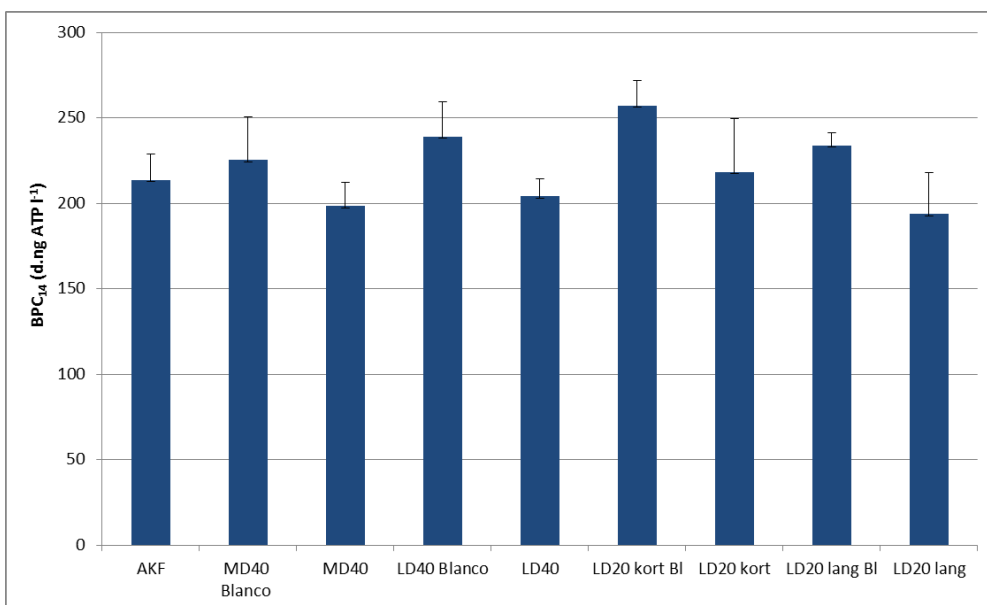


Fig. 3.8. BPC₁₄-waarden (met standaardafwijkingen) van actief koolfiltraat van De Punt zonder UV-behandeling (AKF) en na diverse blootstellingen in het laboratorium (MD40 = 40 mJ·cm⁻² MD-UV, LD40= 40 mJ·cm⁻² LD-UV, LD20 kort = 20 mJ·cm⁻² LD-UV gedurende 102 seconden, LD20 lang = 20 mJ·cm⁻² LD-UV gedurende 175 seconden). Blanco metingen (monsters wel blootgesteld aan de lucht, maar niet UV-behandeld) gedurende de vier behandelingen zijn aangegeven met de toevoeging 'Blanco' of 'BI'. Zie ook Tabel 2.2.

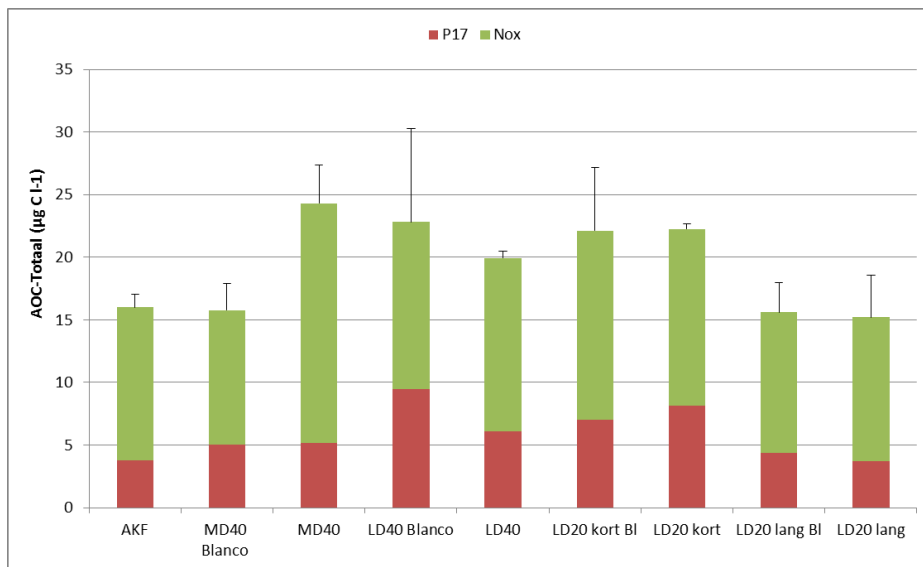


Fig. 3.9. AOC-waarden (verdeeld over AOC-P17 en AOC-Nox; met standaardafwijkingen) van actief kool filtraat van De Punt zonder UV behandeling (AKF) en na diverse blootstellingen in het laboratorium (MD40 = $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ MD-UV, LD40 = $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV, LD20 kort = $20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV gedurende 102 seconden, LD20 lang = $20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV gedurende 175 seconden). Blanco metingen (monsters wel blootgesteld aan de lucht, maar niet UV-behandeld) gedurende de vier behandelingen zijn aangegeven met de toevoeging 'Blanco' of 'BI'. Zie ook Tabel 2.2.

In Fig. 3.9 staan de AOC-resultaten van het AKF na blootstelling aan de verschillende experimentele UV-behandelingen. De blanco waarden van de $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV en de korte $20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV-behandeling zijn wat hoger dan voor het direct bepaalde AKF monster, maar de bijbehorende variatie is groot. De beide andere blanco's zijn goed vergelijkbaar met het direct bepaalde AKF monster. Net als bij de BP7- en BPC14-metingen kan geconcludeerd worden dat er tijdens de experimenten weinig of geen AOC in het watermonster terecht komt door de open opstelling. Alleen bij de $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ MD-UV-behandeling was de AOC-waarde van het behandelde water duidelijk hoger dan van de blanco. Deze verhoogde AOC-waarde werd veroorzaakt door een toename in de AOC-Nox fractie. Bij de overige behandelingen werd geen verschil waargenomen met de blanco.

3.2.2 Langzame zandfiltraat (BP7, BPC14 en AOC)

In Fig. 3.10 staan de resultaten voor de metingen van de BP7 van LZF na blootstelling aan de verschillende experimentele UV-behandelingen. In Fig. 3.11 staan de resultaten voor de BPC14-metingen na dezelfde behandelingen. Ter vergelijking is steeds ook de BP7- respectievelijk BPC14-waarde weergegeven van LZF uit de full-scale zuiveringsinstallatie van De Punt. De resultaten van de UV-behandelingen zijn mogelijk onderschattingen omdat er geen AKF-ent is toegevoegd (zie 2.1.3).

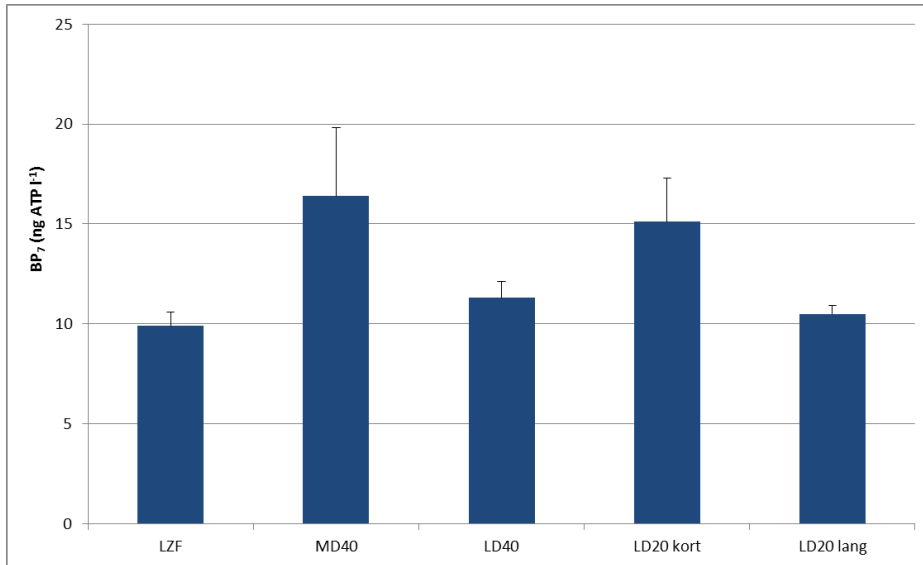


Fig. 3.10. BP7-waarden (met standaardafwijkingen) van langzame zandfiltraat van De Punt zonder UV-behandeling (LZF) en na diverse blootstellingen in het laboratorium (MD40 = $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ MD-UV, LD40 = $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV, LD20 kort = $20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV gedurende 92 seconden, LD20 lang = $20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV gedurende 156 seconden). Zie ook Tabel 2.2.

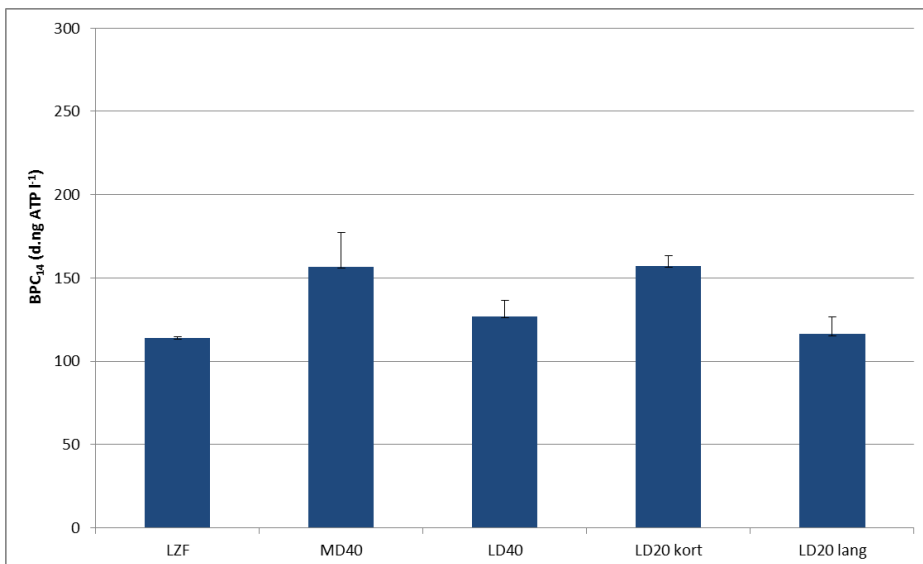


Fig. 3.11. BPC14-waarden (met standaardafwijkingen) van langzame zandfiltraat van De Punt zonder UV-behandeling (LZF) en na diverse blootstellingen in het laboratorium (MD40 = $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ MD-UV, LD40 = $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV, LD20 kort = $20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV gedurende 92 seconden, LD20 lang = $20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV gedurende 156 seconden). Zie ook Tabel 2.2.

De BP7- en BPC14-waarden van de $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ MD-UV en de kortdurende $20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV zijn wat verhoogd ten opzichte van de andere behandelingen, die op hun beurt nauwelijks afwijken van de waarden gemeten in de full-scale installatie. Gezien de standaardafwijkingen kunnen de verhoogde waarden ook op toeval berusten. Er lijken dan ook geen grote verschillen te bestaan tussen de diverse behandelingen met middendruk of lage druk UV.

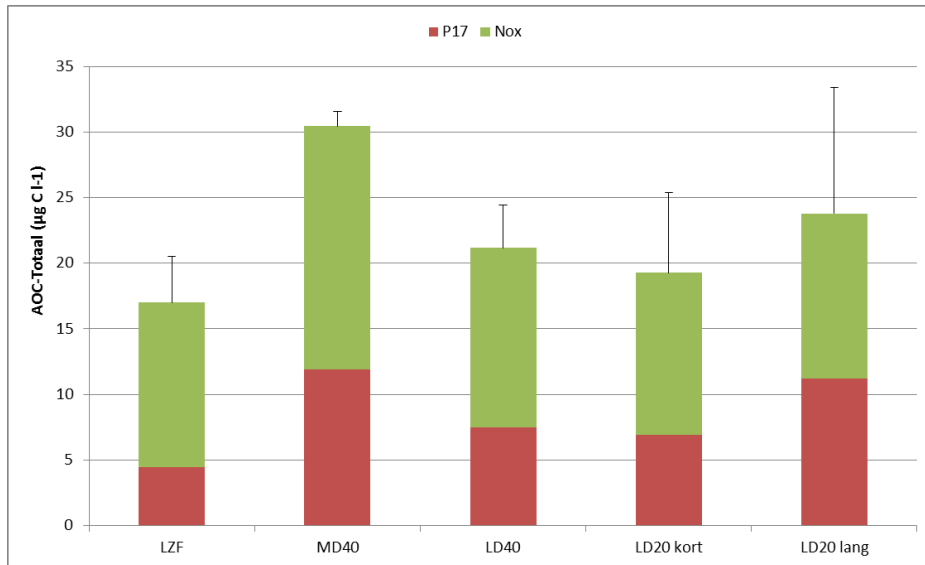


Fig. 3.12. AOC-waarden (verdeeld over AOC-P17 en AOC-Nox; met standaardafwijkingen) van langzaam zand filtraat van De Punt zonder UV-behandeling (LZF) en na diverse blootstellingen in het laboratorium (MD40 = 40 mJ·cm⁻² MD-UV, LD40= 40 mJ·cm⁻² LD-UV, LD20 kort = 20 mJ·cm⁻² LD-UV gedurende 92 seconden, LD20 lang = 20 mJ·cm⁻² LD-UV gedurende 156 seconden). Zie ook Tabel 2.2.

In Fig. 3.12 staan de AOC-resultaten voor metingen aan LZF na dezelfde behandelingen. Ten opzichte van de AOC-concentratie van LZF in de full-scale installatie is alleen de behandeling met 40 mJ·cm⁻² MD-UV duidelijk verhoogd. De langere 20 mJ·cm⁻² LD-UV behandeling lijkt ook verhoogd, maar heeft een behoorlijke variatie.

3.3 Effect van de locatie van MD-UV op indicatoren voor de biologische stabiliteit op zs De Laak

3.3.1 Biomassa-accumulatiesnelheid (BAS)

De resultaten van de metingen op zuiveringsstation De Laak aan de pilot MD-UV-installatie en de full-scale MD-UV-installatie staan in Fig. 3.13. Er is een groot verschil in de BAS tussen de huidige situatie waarin de MD-UV volgt op de AKF (meetpunt 'na AKF na MD-UV') en de in de pilot gebouwde situatie waar de AKF volgt op de MD-UV behandeling (meetpunt 'na MD-UV na AKF'). De CBM in de full-scale zuivering meet een hogere BAS waarde van het reinwater dan de CBM in het reinwater van de pilot. De resultaten uit de pilotinstallatie suggereren een licht verlagend effect op de BAS als gevolg van de plaatsing van de AKF ná de MD-UV, maar de bijbehorende variatie is ook groot. Daarnaast is opvallend dat in de pilot de MD-UV behandeling van het water voor AKF niet tot verhoogde BAS-waarden leidt, terwijl dit in de full-scale situatie ná AKF wel het geval is.

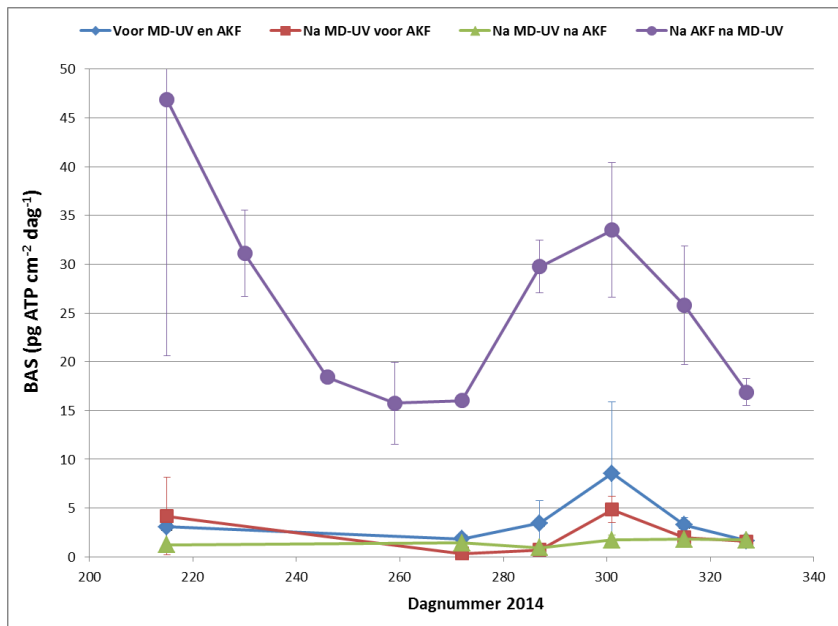


Fig. 3.13. Biomassa-accumulatiesnelheid (BAS; met standaardafwijkingen) bepaald op vier locaties in de zuivering van *zs De Laak* of de pilotinstallatie (zie ook Fig. 2.1 voor het zuiveringsschema). Pilotinstallatie meetpunt 1: vóór MD-UV en AKF; meetpunt 2: na MD-UV maar vóór AKF; meetpunt 3: na MD-UV en na AKF. Full-scale installatie meetpunt 4: na AKF en na de daaropvolgende MD-UV.

3.3.2 Biomassaproductiepotentie (BP7 en BPC14)

De BP7- en BPC14-waarden zijn op twee momenten bepaald op de vier bemonsteringslocaties zoals omschreven in Fig. 2.1. De resultaten staan in Fig. 3.14 en 3.15. De resultaten van de monsters na UV-behandeling zijn mogelijk onderschattingen omdat er geen AKF-ent is toegevoegd (zie 2.1.3). Op dagnummer 201 is er een sterk verhoogde waarde voor de BP7 en BPC14 in de pilotinstallatie ('na MD-UV vóór AKF'), maar deze piek is niet meer zichtbaar in het daaropvolgende meetpunt in het reinwater (na de AKF). De BP7- en BPC14-metingen in het reinwater van de full-scale installatie ('na AKF na MD-UV') zijn niet afwijkend van de BP7- en BPC14-waarden van het reinwater dat uit de pilot installatie komt. Op dagnummer 271 zijn er geen grote uitschieters; de BP7-waarde van het reinwater dat uit de full-scale installatie komt is nu wat hoger dan het reinwater dat de pilot installatie verlaat, de BPC14-waarde is voor beide installaties echter niet verschillend.

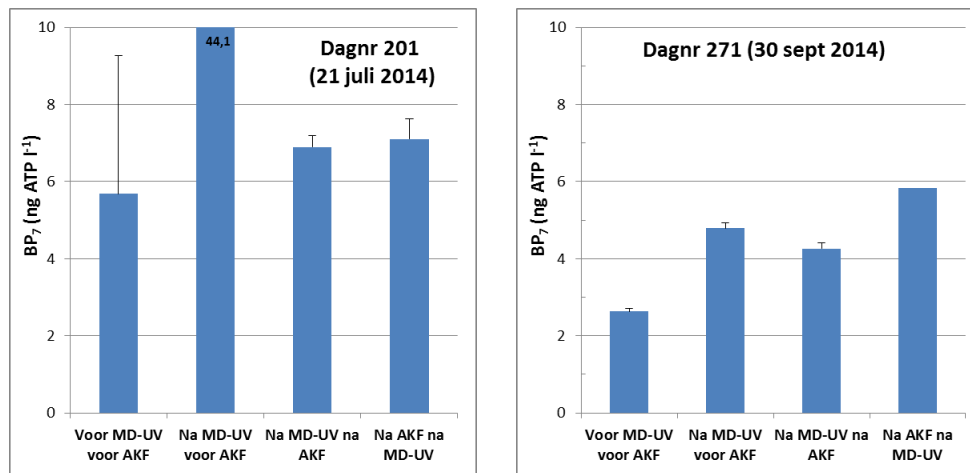


Fig.3.14. BP7-waarden (met standaardafwijkingen) bepaald op vier locaties in de zuivering van zs De Laak (zie ook Fig. 2.1 voor het zuiveringsschema). Pilotinstallatie meetpunt 1: vóór MD-UV en AKF; meetpunt 2: na MD-UV maar vóór AKF; meetpunt 3: na MD-UV en na AKF. Full-scale installatie meetpunt 4: na AKF en na de daaropvolgende MD-UV.

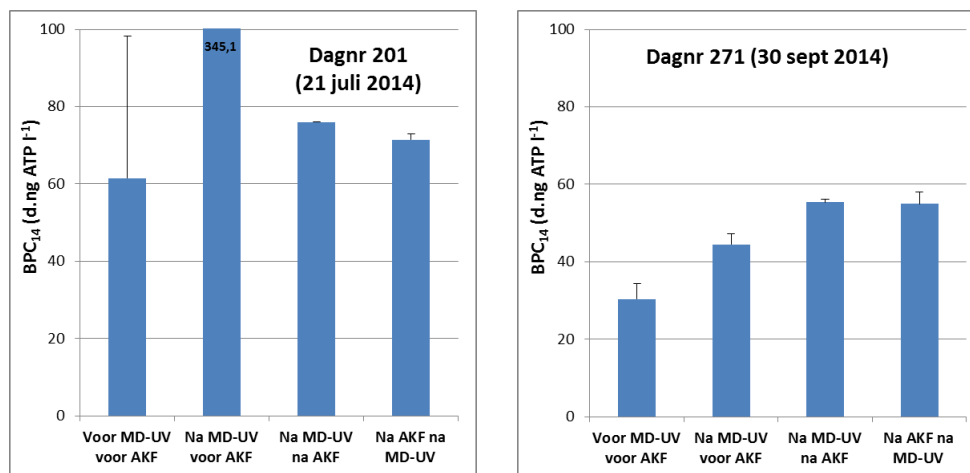


Fig.3.15. BPC14-waarden (met standaardafwijkingen) bepaald op vier locaties in de zuivering van zs De Laak (zie ook Fig. 2.1 voor het zuiveringsschema). Pilotinstallatie meetpunt 1: vóór MD-UV en AKF; meetpunt 2: na MD-UV maar vóór AKF; meetpunt 3: na MD-UV en na AKF. Full-scale installatie meetpunt 4: na AKF en na de daaropvolgende MD-UV.

3.3.3 Deeltjesgebonden en opgelost organisch koolstof (POC en DOC)

De waarden voor deeltjesgebonden organisch koolstof (POC) staan in Fig. 3.16. Op dag 201 zijn er slechts geringe verschillen in POC tussen het reinwater van de pilot installatie en de full-scale zuivering. Op dag 271 is de POC-waarde van het reinwater uit de full-scale zuivering verhoogd ten opzichte van het resultaat van de pilotinstallatie. De absolute waarden zijn echter laag. Fig. 3.17 geeft de waarden voor opgelost organisch koolstof (DOC). Op zowel dag 201 als dag 271 blijkt het DOC van het reinwater van de pilot installatie iets hoger uit te vallen dan in het reinwater van de full-scale installatie, maar de verschillen zijn klein en vallen binnen de meetfout van de gebruikte analyse.

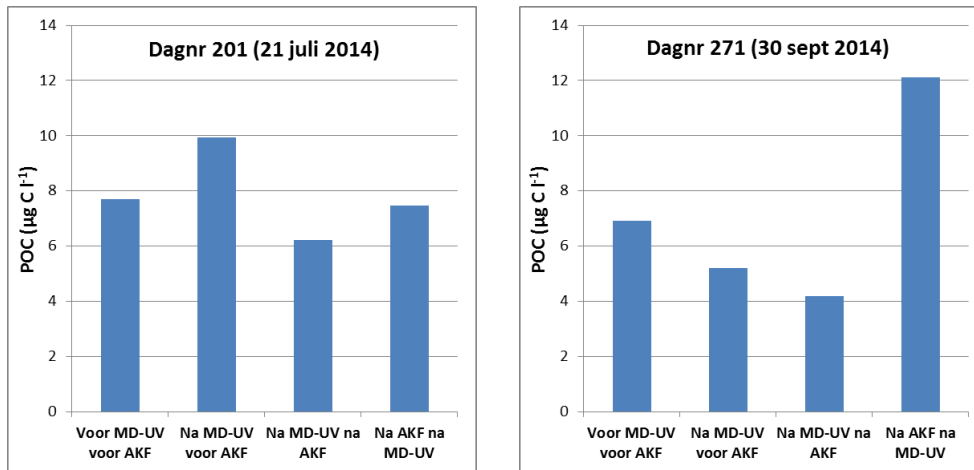


Fig. 3.16. Deeltjesgebonden organisch koolstof (POC) bepaald op vier locaties in de zuivering van zs De Laak (zie ook Fig. 2.1 voor het zuiveringsschema). Pilotinstallatie meetpunt 1: vóór MD-UV en AKF; meetpunt 2: na MD-UV maar vóór AKF; meetpunt 3: na MD-UV en na AKF. Full-scale installatie meetpunt 4: na AKF en na de daaropvolgende MD-UV.

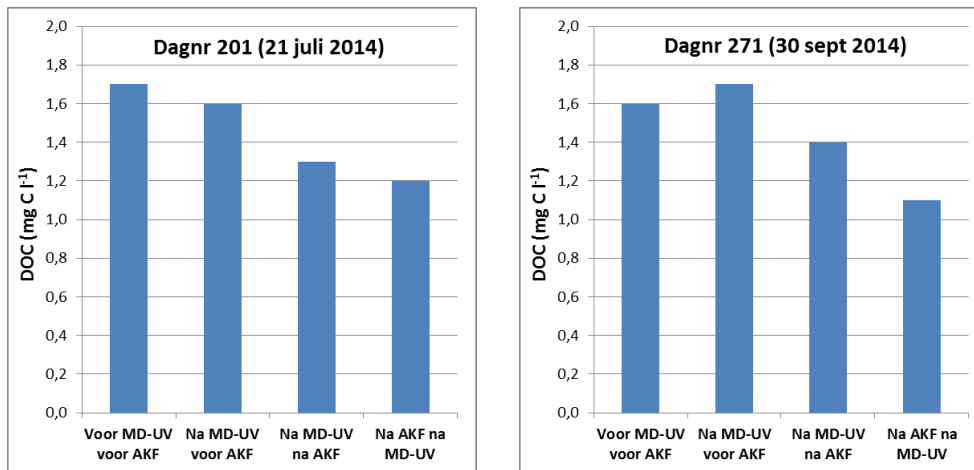


Fig. 3.17. Opgelost organisch koolstof (DOC) bepaald op vier locaties in de zuivering van zs De Laak (zie ook Fig. 2.1 voor het zuiveringsschema). Pilotinstallatie meetpunt 1: vóór MD-UV en AKF; meetpunt 2: na MD-UV maar vóór AKF; meetpunt 3: na MD-UV en na AKF. Full-scale installatie meetpunt 4: na AKF en na de daaropvolgende MD-UV.

3.4 Vergelijking van het effect van MD-UV en LD-UV op indicatoren voor de biologische stabiliteit op zs De Laak

3.4.1 Biomassa-accumulatiesnelheid (BAS)

De resultaten van de metingen op zuiveringsstation De Laak aan de pilot LD-UV- installatie en de full-scale MD-UV-installatie staan in Fig. 3.18. Er is een groot verschil in de BAS van het reinwater tussen de huidige situatie waarin de MD-UV volgt op de AKF (meetpunt 'na MD-UV') en de in de pilot gebouwde situatie waarin de LD-UV volgt op de AKF-behandeling (meetpunt 'na LD-UV'). Het gebruik van de MD-UV-installatie in de full-scale zuivering leidt tot een veel hogere BAS waarde in het reinwater. De LD-UV-behandeling heeft geen effect op de BAS-waarden van het water dat uit de AKF komt.

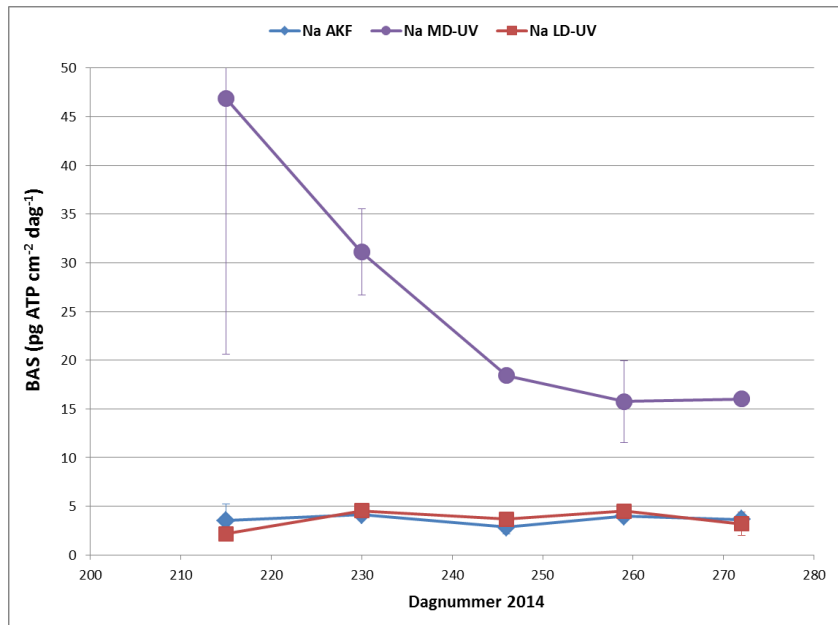


Fig. 3.18. Biomassa-accumulatiesnelheid (BAS; met standaardafwijkingen) bepaald op drie locaties in de zuivering van zs De Laak (zie ook Fig. 2.2 voor het zuiveringsschema). Pilotinstallatie meetpunten: na AKF; na LD-UV. Full-scale installatie meetpunt: na MD-UV.

3.4.2 Biomassaproductiepotentie (BP7 en BPC14)

De BP7- en BPC14-waarden zijn op twee momenten bepaald op de drie bemonsteringslocaties zoals omschreven in Fig. 2.2. De resultaten staan in Fig. 3.19 en 3.20. De resultaten van de monsters na UV-behandeling zijn mogelijk onderschattingen omdat er geen AKF-ent is toegevoegd (zie 2.1.3). Op dagnummer 201 zijn de waarden voor de BP7 en BPC14 van het reinwater uit de pilotinstallatie ('na LD-UV') lager dan die voor het reinwater uit de full-scale installatie ('na MD-UV'), maar op dagnummer 271 is dit precies omgekeerd. De verschillen zijn klein, zeker gezien de bijbehorende variatie.

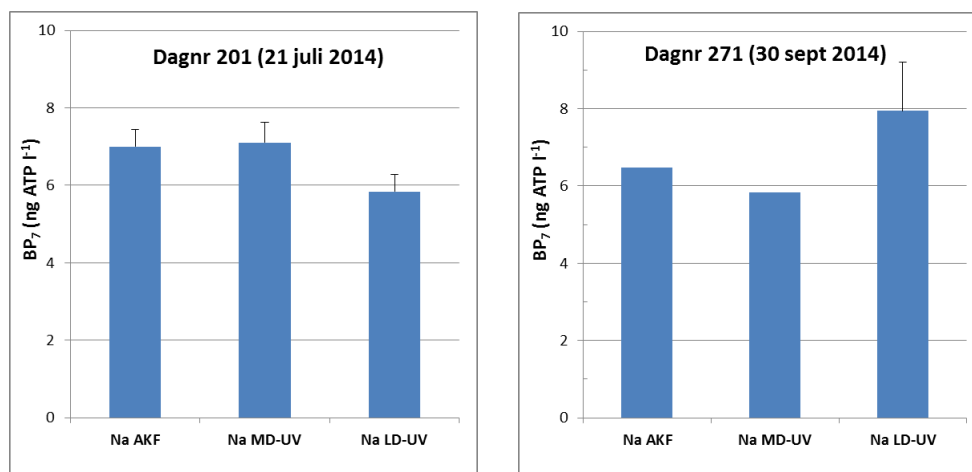


Fig.3.19. BP7-waarden (met standaardafwijkingen) bepaald op drie locaties in de zuivering van zs De Laak (zie ook Fig. 2.2 voor het zuiveringsschema). Pilotinstallatie meetpunten: na AKF; na LD-UV. Full-scale installatie meetpunt: na MD-UV.

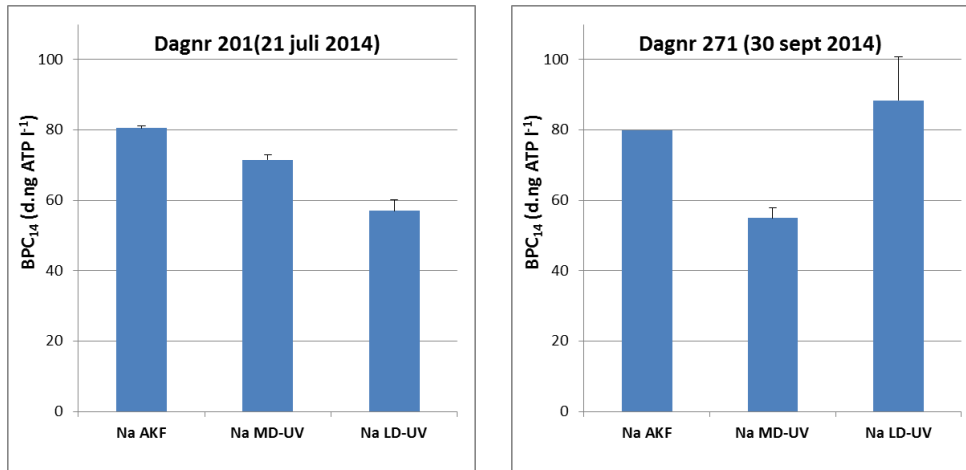


Fig.3.20. BPC₁₄-waarden (met standaardafwijkingen) bepaald op drie locaties in de zuivering van zs De Laak (zie ook Fig. 2.2 voor het zuiveringsschema). Pilotinstallatie meetpunten: na AKF; na LD-UV. Full-scale installatie meetpunt: na MD-UV.

3.4.3 Deeltjesgebonden en opgelost organisch koolstof (POC en DOC)

De waarden voor deeltjesgebonden organisch koolstof (POC) staan in Fig. 3.21. Op dagnummer 201 is de POC-waarde in het reinwater van de pilot installatie duidelijk hoger dan het reinwater uit de full-scale zuivering, maar op dagnummer 271 is dit precies omgekeerd. In absolute zin zijn de gemeten POC-concentraties laag.

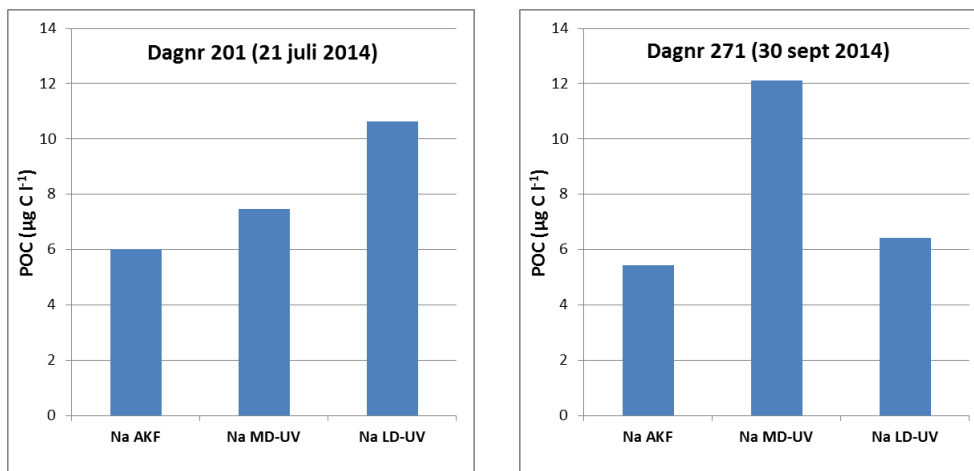


Fig. 3.21. Deeltjesgebonden organisch koolstof (POC) bepaald op drie locaties in de zuivering van zs De Laak (zie ook Fig. 2.2 voor het zuiveringsschema). Pilotinstallatie meetpunten: na AKF; na LD-UV. Full-scale installatie meetpunt: na MD-UV.

Fig. 3.22 geeft de resultaten van de DOC-bepalingen. Op beide meetdata zijn de DOC-gehalten van het reinwater van de full-scale installatie iets lager dan in het reinwater van de pilot installatie met LD-UV, maar de verschillen zijn klein en vallen binnen de meetfout van de gebruikte analyse.

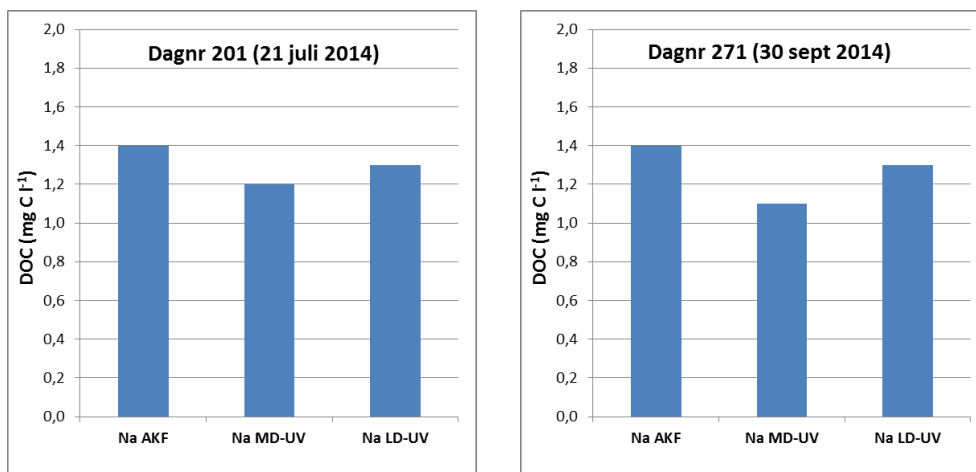


Fig. 3.22. Opgelost organisch koolstof (DOC) bepaald op drie locaties in de zuivering van zs De Laak (zie ook Fig. 2.2 voor het zuiveringsschema). Pilotinstallatie meetpunten: na AKF; na LD-UV. Full-scale installatie meetpunt: na MD-UV.

4 Discussie

4.1 Invloed van eindstandige LD-MD UV in de onderzochte full-scale installaties op indicatoren voor biologische stabiliteit

De resultaten laten zien dat op de onderzochte locaties meestal geen effect is waargenomen van de eindstandige UV-behandeling op de BAS-waarde; alleen bij zs De Laak (MD-UV) en zs Hammerflieer (LD-UV) is gedurende de hele meetperiode een verhoging te zien, op zs De Steeg alleen op de laatste meetdatum. Voor BP7 en BPC14 geldt eveneens dat meestal geen verhoging optreedt. Op twee locaties (Groenekan (LD-UV) en De Punt (LD-UV)) alleen op de eerste meetdatum voor BPC14 van het LZ-filtraat) was de BP7 en/of de BPC14 wel verhoogd. Voor De Punt vonden Van der Maas *et al.* (2009) dat de AOC waarden van het reinwater na de $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV-behandeling met een factor 1,5 werd verhoogd. Deze LD-UV-behandeling had in het hier voorliggende onderzoek echter geen effect op de AOC waarden van het LZ-filtraat. Tijdens het onderzoek in 2009 werd het water echter slechts één keer behandeld met UV (na LZF), terwijl in het onderzoek van 2014 het water na AKF ook met UV is behandeld. Mogelijk dat deze extra UV-behandeling in 2014 heeft geresulteerd in een andere waterkwaliteit na LZF, waardoor de LD-UV-behandeling na LZF in 2014 geen effect had op AOC-vorming. Een andere verklaring kan liggen in het feit dat de zuivering op De Punt sinds 2009 is gerenoveerd waarbij filtratiestappen (zand- en AKF) zijn gewijzigd in configuratie en procesvoering (mond. med. J. Bruins). Volgens Kruithof *et al.* (2009) treedt AOC-vorming bij $70\text{-}90 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV nauwelijks op, maar wordt bij een vergelijkbare dosis met MD-UV zo'n $5\text{-}10 \mu\text{g l}^{-1}$ AOC gevormd. De waarnemingen van Kruithof *et al.* (2009) zijn echter gebaseerd op UV-behandeling van een watertype met een andere waterkwaliteit. Van der Maas *et al.* (2009) vond voor De Punt ook een verhoging van de biofilmvormingssnelheid na de $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV behandeling (met een factor tien). Ook Bruins (2014) vond een verhoging van de biofilmvormingssnelheid na de $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV-behandeling met een factor vijf, maar slechts een beperkte verhoging (factor 1,3) na passage van de $2 \times 20 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV-behandeling. In het hier gerapporteerde onderzoek is voor De Punt geen BAS bepaling gedaan. Bij de wel bepaalde BP7 en BPC14 laat alleen de eerste meetdatum voor LZ-filtraat een licht verhoogde BPC14 waarde zien na de $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV behandeling. Mogelijk is het ontbreken van een duidelijk effect op de BPP-parameters mede het gevolg van de tot 2015 gebruikte BPP methode (geen toediening van AKF-ent).

Voor vier van de vijf zuiveringsstations is het POC-gehalte na UV af en toe verhoogd; de absolute POC-waarden zijn echter laag. DOC is alleen voor zs Hammerflieer soms wat verhoogd na UV.

De BAS-uitkomsten voor De Laak bevestigen de voor deze locatie al eerder vastgestelde negatieve effecten van de eindstandige MD-UV op de biologische stabiliteit van het reinwater. De resultaten voor Groenekan en Hammerflieer geven aan dat het toepassen van eindstandige UV leidt tot een verslechtering van de biologische stabiliteit. Op beide locaties is het doel van de eindstandige UV-behandeling om de koloniegetallen in het water na AKF te verlagen. Verplaatsing van UV is daarom geen optie op deze locaties. Het is daarom aan te bevelen om de UV-behandeling uit te zetten en te monitoren of daarmee het koloniegetal bij 22°C en koloniegetal van *Aeromonas* niet teveel verhoogd raakt. Wanneer het koloniegetal bij 22°C en koloniegetal van *Aeromonas* te hoog worden na uitzetten van UV, is het raadzaam om te achterhalen (in een pilot installatie) of het toepassen van een ander lamptype resulteert in een minder negatief effect op de biologische stabiliteit.

Er is op basis van de hier gerapporteerde resultaten geen eenduidig verband te leggen tussen het optreden van een verhoging in de gemeten indicatoren voor biologische stabiliteit, en het toepassen van eindstandige LD dan wel MD-UV. Blijkbaar is een effect van UV behandeling locatiespecifiek, en vermoedelijk ook gerelateerd aan de specifieke kwaliteit van het water dat met UV wordt behandeld. Het effect van waterkwaliteit op vorming van afbreekbare stoffen door UV is onderwerp van eerder onderzoek geweest. Uit dat onderzoek is gebleken dat sommige moleculen gevoelig zijn voor fotolyse: een reactie die optreedt door absorptie van straling. Het molecuul is dan in staat om fotonen met een bepaalde hoeveelheid energie te absorberen, wat resulteert in ontleding van het molecuul. Of fotolyse op kan treden hangt dan ook af van de toegepaste golflengte en de structuur van het betreffende molecuul. Bij organische verbindingen ontstaan door fotolyse kleinere moleculen, die vaak beter biologisch afbreekbaar zijn (Goslan et al., 2006; Vilhunen et al., 2010). Dit betekent dat UV-processen kunnen leiden tot de vorming van AOC, waardoor de biologische stabiliteit van het water kan verminderen.

De structuur van een molecuul speelt een belangrijke rol in de gevoeligheid voor fotolyse. Over het algemeen kan men stellen dat fotolyse leidt tot een verlaging van de gemiddelde molecuulmassa. Bovendien speelt ook de aanwezigheid van bepaalde functionele groepen, als aromaten, een rol. Afgezien van directe fotolyse, is het ook mogelijk dat fotolyse van bepaalde verbindingen in het water, zoals bijvoorbeeld nitraat, leidt tot de vorming van radicalen, die dan weer kunnen reageren met de organische verbindingen, wat ook tot de vorming van andere, kleinere organische moleculen leidt. Dit alles heeft dus tot gevolg dat de samenstelling van de watermatrix (de waterkwaliteit) een grote rol speelt in de eventuele vorming van AOC onder invloed van UV-straling.

In de drinkwaterpraktijk worden twee typen UV-lampen toegepast: LD- en MD-UV-lampen. LD-UV-lampen zenden in het UV-gebied alleen straling uit met een golflengte van 254 nm, terwijl MD-UV-lampen straling uitzenden over het gebied van 200-300 nm. Dit betekent dus ook dat MD-UV-lampen veel effectiever zijn in het veroorzaken van fotolyse dan LD-UV-lampen, omdat ze verschillende fotonen uitzenden. Hoeveel fotolyse optreedt hangt naast de waterkwaliteit en lamptype ook af van de toegepaste UV-dosis. Voor desinfectie worden doses toegepast van 20-70 $\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ (meestal ongeveer 40 $\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$).

Samenvattend is uit eerder onderzoek dus duidelijk geworden dat de waterkwaliteit, de concentratie en structuur van de organische verbindingen en de aanwezigheid van voor UV-gevoelige componenten als bijvoorbeeld nitraat bepalen of fotolyse reacties kunnen optreden en of dit leidt tot de vorming van AOC. Daarbij spelen ook het type UV-lamp en de toegepaste UV-dosis een cruciale rol.

De waarneming dat de waterkwaliteit een duidelijke invloed heeft op het effect van UV-behandeling op de biologische stabiliteit van het water betekent dat de optimalisatiemogelijkheden dus steeds per zuiveringsstation dienen te worden geverifieerd.

4.2 Invloed van experimentele UV behandeling op indicatoren voor biologische stabiliteit van AK- en LZ-filtraat van zs De Punt

De resultaten van de diverse experimentele UV behandelingen laten voor het AK-filtraat en LZ-filtraat van De Punt alleen een duidelijke verhoging in AOC-waarde zien na de 40 $\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ MD-UV dosis. De BP7- en BPC14-waarden vertonen weinig tot geen effect. Hierbij moet er echter weer op worden gewezen dat de BP7- en BPC14-waarden minder betrouwbaar zijn door het ontbreken van een AKF-ent. De door ons gemeten toename in AOC voor AK- en LZ-filtraat in het experiment met 40 $\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ MD-UV komt in orde van grootte overeen met wat Van der Maas *et al.* (2009) vonden voor de eindstandige 40 $\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV behandeling in de

full-scale installatie van De Punt. Onze experimentele $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ LD-UV behandeling liet echter geen effect op de AOC waarde van AK- en LZ-filtraat zien.

4.3 Effect van plaatsing en type UV behandeling op indicatoren voor biologische stabiliteit bij zs De Laak

Het pilot onderzoek op zuiveringsstation De Laak wijst uit dat een plaatsing van de MD-UV behandeling vóór de AKF leidt tot een zeer forse verlaging in de BAS-waarden ten opzichte van de huidige eindstandige plaatsing van de MD-UV in de full-scale installatie. De effecten op BP7 en BPC14 zijn heel gering tot afwezig, maar zoals eerder genoemd zijn deze waarden minder betrouwbaar. Voor POC zijn de resultaten wat wisselend: van de beide meetmomenten is een keer wel en een keer geen verschil waargenomen tussen de gehalten van reinwater uit de full-scale installatie en uit de pilot installatie. In absolute zin zijn de POC-waarden echter altijd laag (minder dan $15 \mu\text{g C l}^{-1}$). De DOC-concentraties van het reinwater zijn een keer niet verschillend, en een keer lager voor de full-scale installatie dan voor de pilotinstallatie. Ook de absolute DOC-concentraties zijn laag (minder dan $1,8 \text{ mg C l}^{-1}$), en de waargenomen verschillen vallen binnen de meetonnauwkeurigheid van de gebruikte methode.

De vergelijking op De Laak tussen een eindstandige MD-UV (full-scale installatie) en een eindstandige LD-UV (pilotinstallatie) valt voor de gemeten BAS waarde uit ten gunste van de LD-UV behandeling. Deze eindstandige LD-UV geeft een veel lagere BAS in het reinwater. De waargenomen verschillen in BP7 en BPC14 tussen beide configuraties zijn wisselend maar gezien de bijbehorende variatie niet noemenswaardig, waarschijnlijk door het ontbreken van een AKF-ent. Ook de POC-concentratie laat een wisselend beeld zien, maar de absolute waarden zijn laag (minder dan $15 \mu\text{g C l}^{-1}$). Op beide meetdata zijn de DOC-gehalten van het reinwater van de full-scale installatie iets lager dan in het reinwater van de pilot installatie met LD-UV, maar het verschil is klein en valt weer binnen de meetonnauwkeurigheid van de gebruikte methode. Ook de absolute DOC-waarden zijn laag (minder dan $1,5 \text{ mg C l}^{-1}$).

De grote fluctuatie die voor de BAS in de tijd is waargenomen, valt niet te relateren aan temperatuur (die is vrijwel constant $12\text{-}12,7 \text{ }^\circ\text{C}$), en weerspiegelt waarschijnlijk een variabele kwaliteit van de biomassa en/of afbreekbare verbindingen in het productiewater.

Bovenstaande bevindingen leiden tot de aanbeveling om de eindstandige MD-UV behandeling op zs De Laak te heroverwegen. Een plaatsing van de MD-UV vóór de AKF geeft waarschijnlijk een duidelijke verbetering van de biologische stabiliteit van het reinwater. Ook een vervanging van de eindstandige MD-UV door een eindstandige LD-UV behandeling leidt tot een vergelijkbare verbetering. Deze laatste opstelling heeft als voordeel dat hiermee eventueel koloniegetallen bij 22°C en koloniegetallen van *Aeromonas* worden verlaagd. Eventueel kan worden getest of gedoteerde kwartsbuizen in de eindstandige MD-UV resulteren in een verbeterde biologische stabiliteit, dan hoeft niet de hele installatie te worden vervangen (mond. med. Gertjan Medema; Ijpelaar *et al.*, 2007).

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

- Voor zuiveringsstations De Punt, De Steeg en C. Rodenhuis zijn geen of zeer geringe negatieve effecten vastgesteld van de verschillende UV-behandelingen op de voor de full-scale installaties gemeten indicatoren voor biologische stabiliteit. Op deze locaties heeft de huidige UV-configuratie dus geen invloed op de biologische stabiliteit van het reinwater.
- De uitkomsten voor zs De Laak bevestigen de voor deze locatie al eerder vastgestelde negatieve effecten van de eindstandige MD-UV op de biologische stabiliteit van het reinwater.
- De eindstandige UV-behandeling op zs Groenekan en Hammerflieer leidt tot een verslechtering van de biologische stabiliteit van het reinwater.
- Er is voor de onderzochte full-scale installaties geen eenduidig verband te leggen tussen het al of niet optreden van veranderingen in de BAS, BPP-parameters en/of AOC en het toepassen van eindstandige LD-UV dan wel MD-UV. Blijkbaar is een effect van UV-behandeling locatiespecifiek, vermoedelijk doordat de specifieke waterkwaliteit van invloed is op het effect van de UV-behandeling. Optimalisatiemogelijkheden van de UV-behandeling in relatie tot de biologische stabiliteit van het water dienen dus steeds per zuiveringsstation te worden geverifieerd.
- De resultaten voor De Punt van de diverse experimentele UV behandelingen met het AK-filtraat en LZ-filtraat laten alleen een verhoging in AOC waarde zien na de 40 mJ · cm⁻² MD-UV dosis. De BP7 en BPC14 waarden vertonen weinig tot geen effect. Dit is waarschijnlijk te verklaren doordat in de in 2014 gebruikte methode nog geen AK-ent werd toegevoegd, waardoor mogelijk een onderschatting van de BP7- en BPC14-waarden wordt verkregen.
- Het pilot onderzoek op zs De Laak wijst uit dat een plaatsing van de MD-UV-behandeling vóór de AKF leidt tot een duidelijke verlaging in de BAS-waarden ten opzichte van de huidige eindstandige plaatsing van de MD-UV in de full-scale installatie. De biologische stabiliteit van het water kan dus worden verbeterd door plaatsing van MD-UV voor AKF.
- De vergelijking tussen een eindstandige MD-UV en LD-UV op zs De Laak laat een sterk verlaagde BAS waarde zien voor de LD-UV pilotopstelling. De biologische stabiliteit van het water kan dus worden verbeterd door de eindstandige MD-UV te vervangen voor een eindstandige LD-UV.

5.2 Aanbevelingen

- Voor zuiveringsstations De Punt, De Steeg en C. Rodenhuis wordt aanbevolen om de huidige UV-configuratie te handhaven.
- Voor de zuiveringsstations Groenekan en Hammerflieer wordt aanbevolen om de UV-behandeling stop te zetten en te monitoren of daardoor de koloniegetallen bij 22°C en koloniegetallen van *Aeromonas* niet te hoog worden. Wanneer de aantallen na stopzetten te hoog worden, dan kan vervolgonderzoek worden uitgevoerd om te achterhalen of het vervangen van eindstandige LD-UV door MD-UV (Hammerflieer) of eindstandige MD-UV door LD-UV (Groenekan) een verbetering van de biologische stabiliteit geeft.

- Voor zuiveringsstation De Laak wordt aanbevolen om de eindstandige MD-UV-behandeling te heroverwegen. Een plaatsing van de MD-UV vóór de AKF geeft waarschijnlijk een duidelijke verbetering van de biologische stabiliteit van het reinwater. Ook een vervanging van de eindstandige MD-UV door een eindstandige LD-UV leidt tot een vergelijkbare verbetering. Deze laatste opstelling heeft als voordeel dat hiermee eventuele koloniegetallen afkomstig uit de AKF kunnen worden verlaagd. Hierbij wordt wel aangenomen dat de effecten die zijn waargenomen in de pilot installatie ook zullen optreden in de full-scale installatie. Eventueel kan worden getest of gedoteerde kwartsbuizen in de eindstandige MD-UV resulteren in een verbeterde biologische stabiliteit, dan hoeft niet de hele installatie te worden vervangen.

6 Referenties

- Bereschenko, L. A. (2014). Inventarisatie nagroeiproblematiek Oasen en oorzaak lagere biologische stabiliteit z.s. De Laak. BTO 2014.206(s).
- Bruins, J. (2014). Vaststellen BVS voor UV, na UV, na LZF, na 2e UV (K&I project). WLN Notitie.
- Goslan, E.H., Gurses, F., Banks, J., en Parsons, S.A. (2006). An investigation into reservoir NOM reduction by UV photolysis and advanced oxidation processes. *Chemosphere* 65 (7), 1113-1119.
- Hofman-Caris, C. H. M., en D. J. H. Harmsen (2012). Mogelijkheden voor de inzet van de collimated beam installatie met grotere volumes. BTO 2012.011.
- Ijpelaar, G., en E. Beerendonk (2001). Vorming van nevenproducten bij UV-desinfectie, vergelijking van diverse UV-stralers op laboratoriumschaal. BTO 2001.193.
- Ijpelaar, G., A. J. van der Veer, G. J. Medema en J. C. Kruithof (2005). By-product formation during ultraviolet disinfection of a pretreated surface water. *J Environ Eng Sci*, (4): 51-56.
- Ijpelaar, G., D.J.H. Harmsen en M. Heringa, 2007. UV disinfection and UV/H₂O₂ oxydation: by-product formation and control. Techneau report D2.4.1.1, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Kruithof, J., B. van der Veer en B. Martijn (2009). Schadelijke desinfectiebijproducten: feit of fictie? *H2O*, (3): 31- 34.
- 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 Maas, P., D. van der Woerd, J. Bruins en D. van der Kooij (2009). Lagedruk UV verhoogt nagroeipotentie oppervlaktewaterzuivering De Punt. *H2O*, (18): 47 – 49.
- Van der Wielen, P. W. J. J. (2015). Validatie en standaardisatie van de BPP-test voor drinkwater. BTO 2015.019 KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

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.

Vilhunen, S., Vilve, M., Vepsäläinen, M., en Sillanpää, M. (2010). Removal of organic matter from a variety of water matrices by UV photolysis and UV/H₂O₂ method. *J. Hazard. Mater.* 179 (1-3), 776-782.