

Desinfectie van drinkwater met behulp van UV-C: een veilige methode

Roberta Hofman-Caris, Kirsten Baken, Danny Harmsen, Erwin Beerendonk (KWR), Sander Nugteren (Evides), Leo Keltjens (Aqualab)

UV-C-straling wordt in drinkwaterzuivering steeds meer toegepast voor desinfectie. In combinatie met waterstofperoxide treedt een 'geavanceerd oxidatieproces' op, waarmee ook organische stoffen worden omgezet. Bij onderzoek naar de mogelijkheden van geavanceerde oxidatieprocessen bleek dat onder bepaalde omstandigheden fotolyse door UV-straling kan leiden tot de vorming van mogelijk mutagene bijproducten. Deze bijproducten kunnen overigens goed verwijderd worden door filtratie over actieve kool (vrijwel altijd toegepast na UV-behandeling). Aangezien UV-desinfectie geheel berust op fotolyse is onderzocht of dergelijke bijproducten ook kunnen ontstaan in *full scale* drinkwaterzuivering. Dit blijkt niet het geval te zijn.

Honderd jaar geleden was al bekend dat UV-straling zeer geschikt is voor desinfectie, bijvoorbeeld van drinkwater. De laatste jaren is daar nog een toepassing bijgekomen, toen bleek dat fotolyse van waterstofperoxide leidt tot de vorming van hydroxylradicalen. Deze radicalen zijn bijzonder effectief voor de oxidatie van veel organische verbindingen. Door UV en waterstofperoxide te combineren treedt een proces op waarin organische microverontreinigingen zowel via fotolyse als via oxidatie worden omgezet, een zogenaamd 'geavanceerd oxidatieproces'. De benodigde doses (ca. 500 mJ/cm²) zijn hoger dan voor desinfectie (20 – 70 mJ/cm²). Voor geavanceerde oxidatie kunnen zowel lagedruk(LD)- als middendruk(MD)-UV-lampen worden gebruikt [1]. Bij het gebruik van MD-lampen bleek echter dat er bijproducten gevormd werden die mogelijk mutageen zijn [2]. Er zijn aanwijzingen dat dit vooral het gevolg is van het fotolyseproces – en in mindere mate van de oxidatie – omdat de respons in Ames-fluctuatietesten bij toepassing van dezelfde UV-dosis lager was in aanwezigheid van waterstofperoxide. Dit riep de vraag op of dergelijke bijproducten ook kunnen worden gevormd bij UV-desinfectie van drinkwater zonder waterstofperoxide. Overigens bleek wel dat nageschakelde actievekoolfiltratie, die oorspronkelijk bedoeld was om de overmaat waterstofperoxide te verwijderen, ook bijzonder effectief was voor het verwijderen van de gevormde bijproducten [2]. In het reine water werden dus geen mutagene bijproducten meer aangetoond.

Onderzoek in praktijkinstallaties voor desinfectie

Om uit te zoeken of bij *full scale* UV-desinfectie potentieel mutagene bijproducten worden gevormd, zijn - in opdracht van de bedrijfstak - watermonsters van diverse praktijkinstallaties getest met een zogenaamde Ames-fluctuatietest. Dit is een bio-assay die veranderingen in het DNA van bacteriën waarneemt. Een positieve respons in de Ames-fluctuatietest zegt overigens niets over eventuele mutageniteit voor mensen; om vast te stellen of een signaal gevolgen heeft voor de volksgezondheid is altijd meer onderzoek nodig, specifiek gericht op de stof die

het effect veroorzaakt en op de reactie van het menselijk lichaam op die stof. Maar een significant verhoogde Ames-respons is wel een indicatie dat er stoffen aanwezig zijn die een gezondheidseffect kunnen hebben.

Bij de Ames-fluctuatietest worden twee bacteriestammen gebruikt, TA98 en TA100, die elk gevoelig zijn voor inductie van een ander type DNA-schade. TA98 is gevoelig voor *frame shift* mutaties en TA100 voor substitutie van baseparen. Het is mogelijk dat uit een stof die op zichzelf niet mutageen is, door omzettingsprocessen in het lichaam een verbinding ontstaat die wel mutagene activiteit vertoont. Daarom wordt de Ames-fluctuatietest uitgevoerd in aan- en afwezigheid van het leverextract S9, dat het effect van het metabolisme op deze verbindingen imiteert. Bij elke analyse wordt zowel een positieve als een negatieve controle meegenomen. Bovendien wordt een procedurecontrole uitgevoerd, zodat wordt uitgesloten dat tijdens de monstervoorbewerking effecten optreden die de resultaten beïnvloeden. Alle testen zijn twee keer in triplo uitgevoerd. Om de watermonsters te kunnen testen moeten ze eerst geconcentreerd worden. Uit onderzoek is gebleken dat extractie met behulp van Oasis®HLB hiervoor het beste geschikt is.

Bij het onderzoek naar de praktijkinstallaties is uitgegaan van gecertificeerde UV-installaties, omdat dan de ingestelde UV-dosis bekend is. Verder is geprobeerd een zo breed mogelijke doorsnede van de Nederlandse praktijk te maken, door installaties te nemen die werken met grondwater, oeverfiltraat of oppervlaktewater, uitgerust zijn met LD- of MD-lampen, en bij verschillende doses opereren. Een overzicht van de geteste installaties en hun kenmerken is gegeven in tabel 1.

Tabel 1: Overzicht van onderzochte praktijkinstallaties voor desinfectie van drinkwater UV

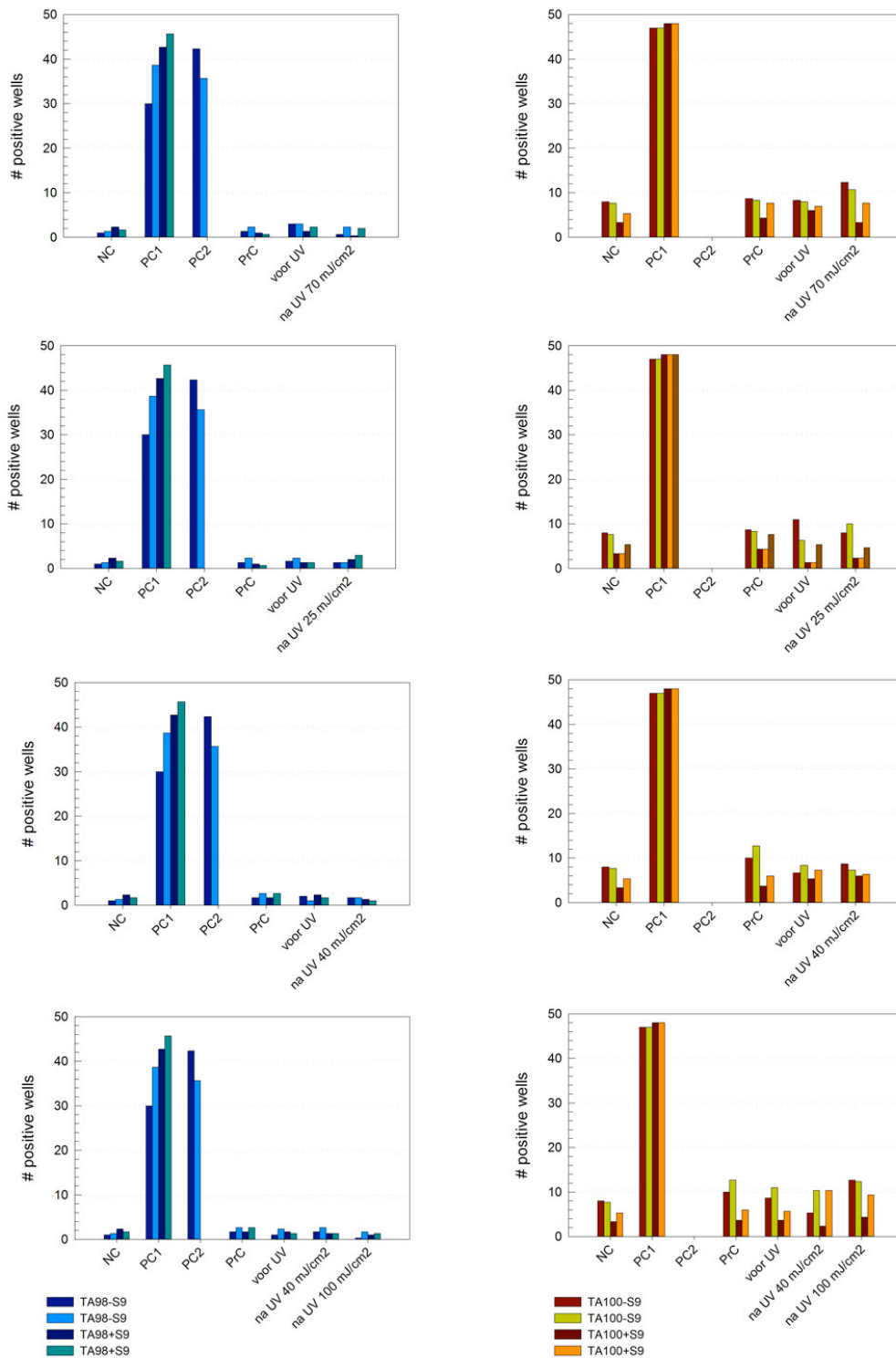
Monstername steeds zowel voor als na UV-behandeling.

Zuiveringslocatie	Type water	Type lamp	UV-dosis (mJ/cm ²)
Roosteren (WML)	Oeverfiltraat en grondwater	MD	25
De Beitel (WML)	grondwater	LD	70
De Punt (WBG)	oppervlaktewater	LD	40
Berenplaat (Evides)	oppervlaktewater	MD	40 100*) 200*)
Burg Haamstede (Evides)	Oppervlaktewater na voorzuivering en duininfiltratie	LD	40 100*)

*) Ten behoeve van dit onderzoek zijn de doses tijdelijk verhoogd, om het effect hiervan op het ontstaan van bijproducten te kunnen testen. Deze doses zijn aanmerkelijk hoger dan wat gebruikelijk is in het desinfectieproces.

Resultaten en discussie

In afbeelding 1 zijn de resultaten van de verschillende zuiveringslocaties weergegeven. Duidelijk is dat bij geen van deze zuiveringslocaties een significant verhoogde Ames-respons werd waargenomen, wat betekent dat er geen mutagene bijproducten werden gedetecteerd.



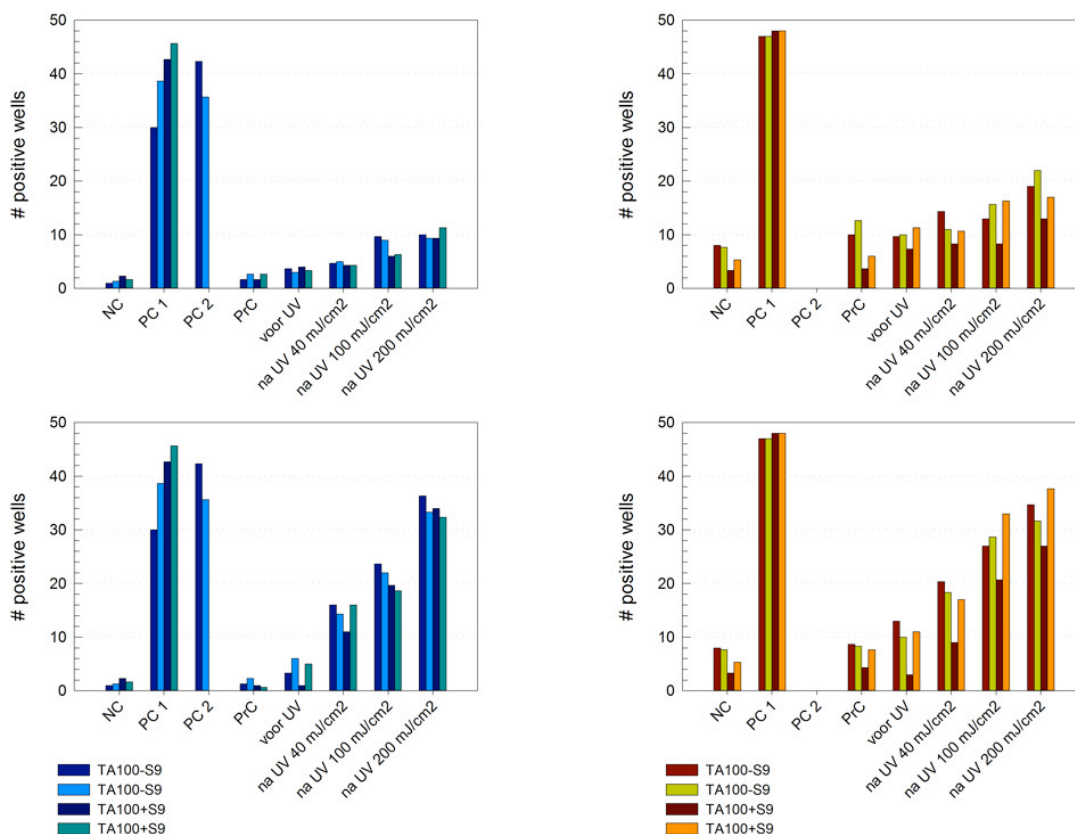
Afbeelding 1: Resultaten van Ames-fluctuatietesten op water van diverse pompstations.

NC = negatieve controle, PC = positieve controle, PrC = procedure controle, LZ = langzame zandfiltratie.

De waarden zijn gemiddelden van de triplo-testen, en duplo's hiervan zijn naast elkaar weergegeven.

TA98 - S9
TA98 - S9
TA98 + S9
TA98 + S9
TA100- S9
TA100 - S9
TA100 + S9
TA100 + S9

Bij zuiveringslocatie Berenplaat (afbeelding 2) werd bij de reguliere desinfectiedosis van 40 mJ/cm² ook geen significant hogere Ames-respons gevonden. Dit betekent dat ook dan geen sprake is van vorming van mutagene bijproducten. Bij verhoging van de UV-dosis tot 100 en 200 mJ/cm² bleek de respons in de Ames-fluctuatietest toe te nemen met de dosis (afbeelding 2). Dergelijke hoge doses worden in de praktijk nooit toegepast en zijn alleen ten behoeve van dit onderzoek ingesteld.



Afbeelding 2: Resultaten van Ames fluctuatietesten op water van pompstation Berenplaat full scale (boven) en in de CB-opstelling (onder) bij verschillende UV-doses

TA98 – S9,
 TA98 - S9,
 TA98 + S9,
 TA98 + S9,
 TA100– S9,
 TA100 – S9,
 TA100 + S9,
 TA100 + S9

Dit experiment is met hetzelfde water herhaald in een *collimated beam* opstelling. Dit is een laboratoriumopstelling waarin onder goed gedefinieerde omstandigheden UV-experimenten kunnen worden uitgevoerd, omdat stromingscondities hier geen rol spelen (wat bij praktijkinstallaties altijd wel het geval is). De resultaten van deze testen zijn ook weergegeven in afbeelding 2. Het blijkt dat de trend van een toenemende respons bij toenemende UV-dosis, die in de praktijkinstallatie al enigszins zichtbaar werd, in de laboratoriumopstelling nog duidelijker tevoorschijn komt. Dit verschil tussen laboratoriumopstelling en praktijkinstallatie kan diverse oorzaken hebben, zoals de stromingscondities of verschillen in lichtspectrum of samenstelling van de kwartsbuizen om de lamp. Ook veroudering van de lamp en/of de

kwartsbuizen zou kunnen leiden tot een verandering in het uitgezonden spectrum. De resultaten laten zien dat de laboratoriumopstelling goed gebruikt kan worden om een dergelijke trend vast te stellen, maar dat bij de interpretatie moet worden meegenomen dat de meetgegevens niet één op één vertaald kunnen worden naar een praktijkinstallatie. Bovendien vertonen ook de ontwerp- en bedrijfsvoeringscondities in praktijkinstallaties onderling grote verschillen. De verkregen resultaten zijn in overeenstemming met ander recent onderzoek op dit gebied [3].

Net als bij Berenplaat is ook bij Haamstede is een hogere UV-dosis toegepast (100 mJ/cm^2), maar hier bleek dit geen effect te hebben op de respons in de Ames-fluctuatietest. Waarschijnlijk komt dit door het gebruik van een LD-lamp, terwijl bij Berenplaat een MD-lamp wordt gebruikt. Uit verder onderzoek door KWR is inmiddels gebleken dat de fotolyse van nitraat en natuurlijk organisch materiaal, die in het water aanwezig zijn, een belangrijke rol speelt in de vorming van mogelijk mutagene bijproducten. Aangezien de fotolyse van nitraat plaatsvindt bij golflengtes kleiner dan 240 nm , speelt dit effect bij het gebruik van LD-lampen nauwelijks een rol. Bij desinfectie met MD-lampen wordt in de praktijk vaak een kwartsbuis toegepast die golflengtes $<240 \text{ nm}$ tegenhoudt, maar dit gaat ten koste van de totale output van de lampen.

Conclusies

Uit het onderzoek blijkt dat bij de onderzochte praktijkinstallaties voor desinfectie met UV mogelijk mutagene bijproducten niet of slechts in verwaarloosbare concentraties worden gevormd.

Bij gebruik van LD-lampen worden dergelijke bijproducten niet gevormd. In theorie kunnen bij gebruik van MD-lampen en een relatief hoge UV-dosis – hoger dan 70 mJ/cm^2 , wat niet gebruikelijk is voor desinfectie – bijproducten ontstaan die mogelijk mutageen zijn. Aangezien dit samenhangt met de fotolyse van nitraat en Natuurlijk Organisch Materiaal, kan het effect worden voorkomen door deze fotolyse tegen te gaan. Hiervoor zijn in principe verschillende mogelijkheden: bepaalde kwartsbuizen om de lampen die golflengtes $< 240 \text{ nm}$ tegenhouden (wat in de praktijk veel voorkomt), of het NOM- of nitraatgehalte van het water laag houden of verlagen. Wanneer een veel hogere nitraatconcentratie in het water voorkomt en/of een veel hogere UV-dosis wordt toegepast (hoger dan de gebruikelijke $20\text{-}70 \text{ mJ/cm}^2$) bij gebruik van MD-lampen, kan het in principe echter wel gebeuren dat dergelijke bijproducten worden gevormd. Dat betekent nog niet dat het proces inderdaad gevaarlijke bijproducten oplevert, maar wel dat nader onderzoek gewenst is. Overigens heeft eerder onderzoek [2] aangetoond dat dergelijke mutagene bijproducten heel effectief verwijderd kunnen worden door filtratie over bijvoorbeeld actieve kool.

De conclusie is dat desinfectie met UV-straling een veilig proces is, en dat we in de Nederlandse situatie niet bang hoeven te zijn dat mogelijk mutagene bijproducten in ons drinkwater terechtkomen.

Literatuur

1. Hofman-Caris, C.H.M., Beerendonk, E.F. (2011). New concepts of UV/H₂O₂ oxidation. BTO 2011.046.

2. Heringa, M.B., Harmsen, D.J.H., Beerendonk, E.F., Reus, A.A., Krul, C.A.M., Metz, D.H., Ijpelaar, G.F., (2011). Formation and removal of genotoxic activity during UV/H₂O₂-GAC treatment of drinking water. *Water Research* 45, 366-374.
3. Hughes, R.A.M., Martijn, B.J., Malley, J.P., Kruithof, J.C. (2013). Formation of genotoxic compounds by MP UV treatment of pre-treated surface water and groundwater; Conference Proceedings IUVA World Congress 2013, Las Vegas.