



Karin Lekkerkerker-Teunissen, Dunea

Ton Knol, Dunea

Peter van 't Hart, Dunea

Gregory van Willigen, Dunea

# Ozon- én UV-AOP voor effectieve en synergetische omzetting van organische microverontreinigingen

**Dunea heeft de achterliggende jaren veel onderzoek uitgevoerd naar mogelijkheden om het gehalte aan organische microverontreinigingen te verlagen. Zo verrichtte het drinkwaterbedrijf onderzoek naar lamptechnologieën voor toepassing van UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Hieruit kwam naar voren dat de lagedruk lamp voor Dunea het meest efficiënt is op het gebied van energieverbruik en bijproductvorming. Een onderzoek naar O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> leerde dat bij een lage ozondosering al veel stoffen goed worden omgezet en de bromaatvorming beperkt kan blijven. De combinatie van deze twee onderzoeksresultaten zette Dunea aan het denken. Waarom de twee technieken niet combineren? Op basis van eerste onderzoeken naar deze combinatie bouwde Dunea de proefinstallatie in de voorzuivering te Bergambacht om. Het bedrijf test nu een jaar lang de combinatie H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>/UV. Eind dit jaar neemt Dunea een besluit of, en zo ja hoe, de zuivering uit te breiden is met een extra barrière tegen organische microverontreinigingen.**

Ondanks flinke inspanningen om de bron te beschermen, worden (nieuwe) microverontreinigingen in oppervlaktewateren gedetecteerd. Deze zijn moeilijk te verwijderen met de huidige barrières, bij Dunea duinfiltratie en poederkool. Van de tot nu toe aangetroffen stoffen in drinkwater zijn de concentraties nog dusdanig laag dat geen gezondheidskundige effecten te verwachten zijn<sup>1)</sup>. Omdat de aanwezigheid van microverontreinigingen in oppervlaktewater in de toekomst naar verwachting toeneemt, en omdat Dunea preventief maatregelen wilt nemen, verricht het drinkwaterbedrijf onderzoek naar nieuwe onderzoekstechnieken.

In 2006 begon Dunea een samenwerkingsproject met KWR Waterycycle Research Institute, Philips, Greater Cincinnati Water Works en de AwwaRF, waarbinnen lamptechnologieën voor het UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-proces met elkaar zijn vergeleken<sup>2)</sup>. Voor Dunea leverden de werkzaamheden als resultaat op dat als de zuivering uitgebreid gaat worden met een

UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-installatie, deze geplaatst wordt in de voorzuivering, dus voor de duinfiltratie. Daarnaast kwam de lagedruk UV-lamp als meest efficiënt naar voren op het gebied van energieverbruik en werden de minste bijproducten gevormd<sup>3)</sup>.

Gedurende het onderzoek zijn ook testen uitgevoerd met ozon/peroxide. Dit proces bleek in staat veel organische microverontreinigingen effectief om te zetten, terwijl de bromaatvorming lager bleek dan verwacht<sup>4),5)</sup>. Dit alles zette Dunea aan het denken: zijn de twee processen niet te combineren?

## UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

In het UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-onderzoek zijn drie verschillende lamptechnologieën met elkaar vergeleken: de middendruk lamp die een spectrum aan golflengtes uitstraalt waarvan die tussen de 200 en 300 nm van belang zijn, de lagedruk lamp die een golflengte uitstraalt van 254 nm en de *dielectrical barrier discharge*-lamp die Philips momenteel

ontwikkelt en die een beperkt aantal golflengtes uitstraalt rond de 240 nm. Alle lampen worden gecombineerd met een waterstofperoxidedosering, om onder invloed van UV-licht OH-radicalen te vormen, die een a-selectieve reactie aangaan met de organische microverontreinigingen.

Om de prestatie van de lampen te vergelijken wordt de in de proefinstallatie gemeten omzetting omgerekend naar de hoeveelheid energie die nodig is om de stof atrazine voor 80 procent om te zetten. Atrazine is als modelstof gekozen, omdat het een lastige stof is om om te zetten en daarnaast reageert met zowel UV-straling als OH-radicalen. Het 80 procent omzettingscriterium volgt uit een innamestop wanneer een organische microverontreiniging in het Maaswater wordt aangetroffen in een concentratie van 0,5 µg/l. De maximale concentratie die in het duin geïnfiltreerd mag worden, bedraagt 0,1 µg/l. Voor de drie lampen leverde dit de volgende energieverbruiken op: 0,85 kWu per kubieke meter voor de middendruk lamp, 0,45 kWu

voor de lagedruklamp en ongeveer 1 kWu voor de *dielectrical barrier discharge*-lamp. De laatste met grotere onzekerheid, omdat de geteste lamp en *driver* nog prototype waren. Naar verwachting zullen alle getallen in een full scale installatie lager uitvallen.

### O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

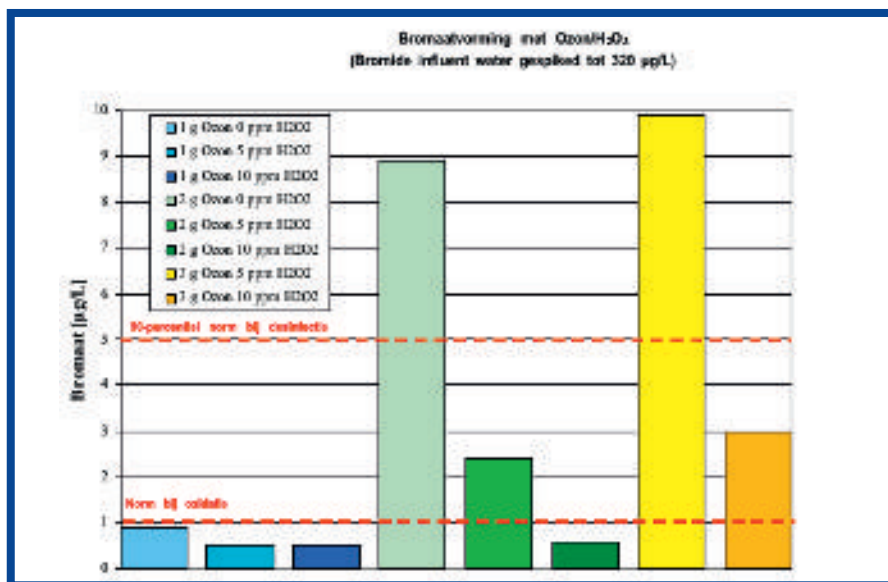
In de tussentijd is ook een aantal experimenten met ozon/peroxide uitgevoerd, onder andere samen met ITT Wedeco (nu Xylem) met vijf kubieke meter per uur in een loopreactor. Deze techniek gebruikt veel minder energie dan UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, maar een nadeel is de vorming van bromaat uit bromide. Nieuwe inzichten gaven aan dat dit te beperken is door een inventieve ozon-dosering. De gehele ozondosis werd steeds in kleine stapjes gedoseerd, waardoor op elk doseerpunt een grote overmaat aan peroxide aanwezig was. Hierdoor reageert meer ozon met de peroxide tot OH-radicalen en minder met het in het water aanwezige bromide. De omzetting van de meeste modelstoffen was goed tot zeer goed. Enkele stoffen zijn niet met ozon/peroxide om te zetten: de fotolytisch gevoelige stoffen als NDMA. Belangrijk was ook de bromaatvorming tijdens de experimenten, gezien de lage drinkwaternorm van 1,0 µg/l bij oxidatie. Het bromidegehalte van de Maas varieert door het jaar tussen de 70 en 150 µg/l. Om de robuustheid van deze techniek naar de toekomst toe te testen, is een experiment uitgevoerd waarbij we het bromidegehalte hebben laten opvoeren tot 320 µg/l. De bromaatvorming tijdens deze experimenten is weergegeven in afbeelding 1. Bij een ozondosering van één gram per kubieke meter blijft de bromaat onder de 1 µg/l. Bij een ozondosering van twee gram zie je duidelijk de afhankelijkheid van de peroxidosedosering. Zonder peroxide bedraagt de bromaatvorming 9 µg/l, bij een peroxide-dosering van 5 ppm 3 µg/l en bij 10 ppm peroxide 0,5 µg/l. Bij hogere ozondoseringen is de bromaatvorming voor Dunea onacceptabel hoog.

### Peroxide én ozon én UV?

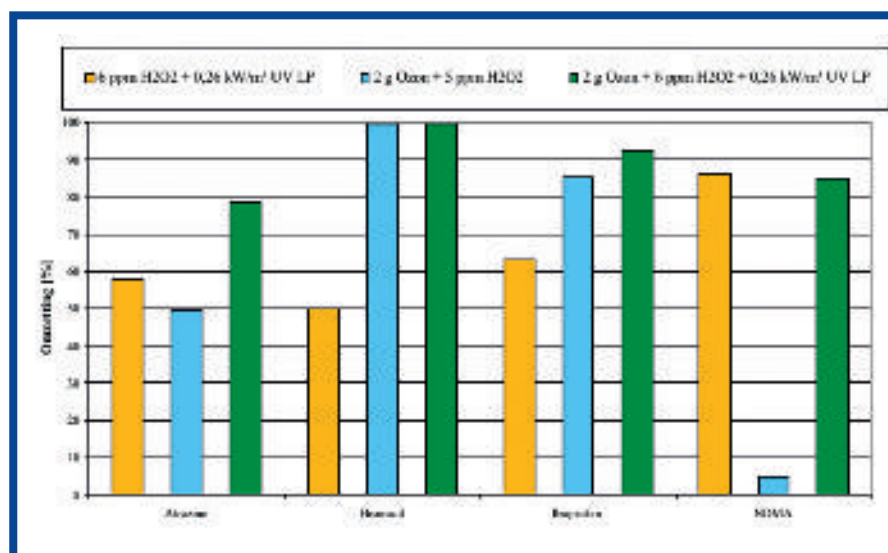
De twee onderzoeken leverden dus de volgende twee constatering op:

- UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kan ingezet worden om onze doelstoffen te verwijderen. De lagedruklamp is dan het meest efficiënt qua energie en bijproducten. Toch zou verdere energiebesparing wenselijk zijn;
- O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> zet veel maar niet alle stoffen efficiënt om. Bij een dosering tot 2 mg/l is de bromaatvorming te beperken, maar wordt nog niet de gewenste 80 procent omzetting van atrazine gehaald.

Deze twee constatering riep de gedachte op om beide processen te combineren. De stoffen die niet worden omgezet met ozon/peroxide zijn vaak de fotolytisch gevoelige stoffen die met de UV-installatie goed worden omgezet (zie afbeelding 2). Een ander voordeel is dat de ozon ook reageert met de watermatrix (met name NOM). Dit verhoogt de UV-transmissie van het water, zodat het nageschakelde UV-proces efficiënter en daarmee de installatie kleiner wordt. Dit zorgt zowel voor



Afb. 1: Bromaatvorming met ozon/peroxide voor verschillende instellingen.



Afb. 2: Omzetting van organische microverontreinigingen met UV-AOP, ozon-AOP en gecombineerde AOP.

aanzienlijk lagere investeringskosten (aantal reactoren) als operationele kosten (energieverbruik, lamponderhoud). Eerste berekeningen laten zien dat voor de combinatie van ozon/peroxide + UV-lagedruklampen een energieverbruik nodig is van 0,30 kWu per kubieke meter om 80 procent atrazine om te zetten (zie afbeelding 3).

### Meervoudige barrière tegen organische microverontreinigingen

Met deze complete zuiveringsopzet zou Dunea in de toekomst kunnen beschikken over een meervoudige barrière tegen organische microverontreinigingen. De combinatie van zowel ozon-AOP als UV-AOP zorgt voor een drietal omzettingsmechanismen (ozonoxidatie, OH-radicalenoxidatie en UV-fotolyse), waardoor een breed scala aan stoffen omgezet kan worden. Daarnaast zijn er meer knoppen om aan te draaien om de zuivering af te stemmen op het aanbod van organische microverontreinigingen en zo bijproductvorming zoveel mogelijk te voorkomen. Door deze installatie voor de duinen te plaatsen, wordt niet alleen uitstekend drinkwater naar de consument gewaarborgd maar ook voorkomen dat

deze milieuvriendelijke stoffen in de duinen accumuleren.

Bij een omzettingsproces worden de moederstoffen niet verwijderd, maar omgezet in over het algemeen kleinere en minder schadelijke transformatieproducten. Deze kunnen in nageschakelde biologische en adsorptieve processen verder worden verwijderd. Duinfiltratie en actief kool kunnen bij Dunea deze rol vervullen. AOP reageert ook met de watermatrix. Zo kan DOC worden omgezet in assimileerbaar organisch koolstof (AOC). Het AOC-gehalte van het drinkwater van Dunea is momenteel zeer laag; dat moet in de toekomst zo blijven. Het plaatsen van de AOP-installatie in de voorzuivering heeft als extra voordeel dat duinfiltratie én de langzame zandfilters in de nazuivering het gevormde AOC weer zullen verwijderen.

### Wel of niet bouwen?

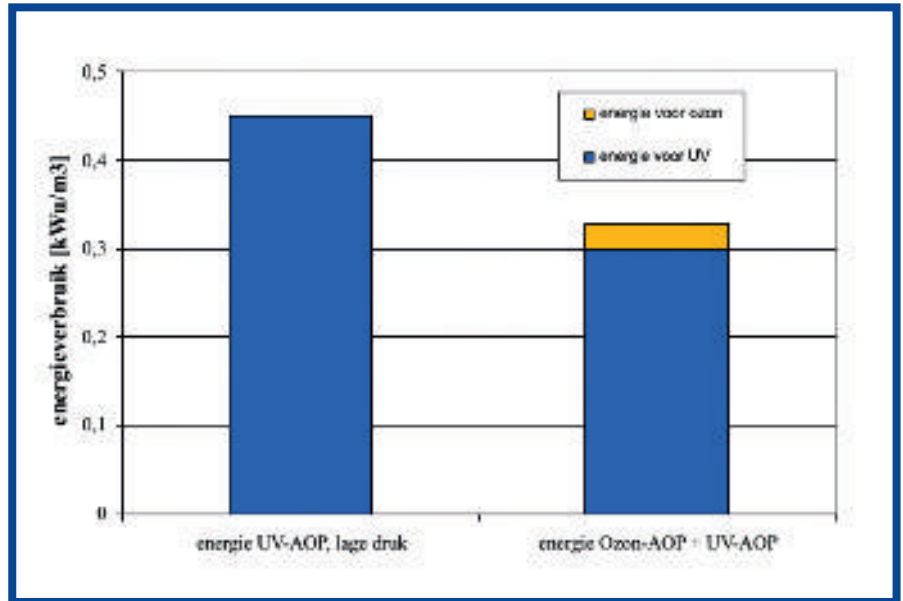
Op basis van de eerste resultaten naar de gecombineerde techniek van peroxide, ozon en UV, heeft Dunea besloten om te proefinstallatie in Bergambacht om te bouwen en nog een vol jaar onderzoek te doen.

Hoofdvragen zijn vooral een verdere beperking van de bromaatvorming, het afstemmen van de gewenste ozon- en UV-doseringen en de prestatie van de combinatie over het jaar, afhankelijk van de seizoensvariatie in de waterkwaliteit van het voorgezuiverde rivierwater.

Dit jaar wordt gebruikt om een afgewogen standpunt in te nemen over de noodzakelijkheid en de wenselijkheid om de zuivering daadwerkelijk uit te breiden met een extra zuiveringstap tegen organische microverontreinigingen. Eind dit jaar neemt Dunea hierover een besluit.

LITERATUUR

- 1) Schriks M. *et al.* (2012). Toxicological relevance of emerging contaminants for drinking water quality. *Water Research* nr. 2, pag. 461-476.
- 2) Hofman-Caris R., D. Harmsen, E. Beerendonk, M. Heringa, T. Knol, K. Lekkerkerker-Teunissen, J. Geboers, M. Meyer en D. Metz (2011). International project on new concepts for UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidation. IUVA.
- 3) Lekkerkerker-Teunissen K., T. Knol, J. Derks, M. Heringa, C. Houtman, R. Hofman-Caris, E. Beerendonk, A. Reus, J. Verberk en H. van Dijk (2012). Pilot plant results with three types of UV lamps for advanced oxidation. Geaccepteerd door *Ozone science and engineering*.
- 4) Lekkerkerker-Teunissen K., J. Scheideler, T. Knol, A. Ried, J. Verberk, G. Amy en H. van Dijk (2009). Advanced oxidation and artificial recharge: a synergistic hybrid system for removal of organic micropollutants. *Water Science and Technology - Water supply* nr. 9, pag. 643-651.
- 5) Scheideler J., K. Lekkerkerker-Teunissen, T. Knol, A. Ried, J. Verberk en H. van Dijk (2011). Combination of O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV for multiple barrier micropollutant treatment and bromate formation control - an economic attractive option. *Water Practise and Technology* nr. 6, pag. 1-8.



Afb. 3: Energie in kWh per kubieke meter die nodig zou zijn voor 80 procent omzetting van atrazine.

advertentie

Dit is de toekomst van watertechnologie

# Watercampus Leeuwarden

**KIJK**  
dat is 't mooie van LEEUWARDEN

**Zuiver water binnen handbereik.** Het lijkt zo vanzelfsprekend, maar het is dé uitdaging voor de toekomst. De beschikbaarheid van zoet water staat wereldwijd onder druk terwijl de waterbehoefte explosief groeit. Dit vraagt in de hele watersector om innovatieve oplossingen en nieuwe technieken.

De Watercampus Leeuwarden neemt hierin het voortouw. Wetenschappers uit alle delen van de wereld doen op de Watercampus onderzoek naar oplossingen op het gebied van o.a. drinkwaterproductie en afvalwaterzuivering.

De Watercampus biedt bedrijven, kennisinstellingen en onderwijsinstellingen alle voorwaarden om kennis te bundelen en innovatie mogelijk te maken. Hiermee is Leeuwarden hard op weg om de Europese hoofdstad van watertechnologie te worden.

**Meer informatie?**  
Kijk op [www.wetsus.nl](http://www.wetsus.nl) of [www.wateralliance.nl](http://www.wateralliance.nl)

## GIET UW WERVENG VOOR OPLEIDING & PERSONEEL IN HET JUISTE VAT

Reserveer ook uw personeelsadvertentie in H<sub>2</sub>O, hét tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer.

**010 - 4274180**