

Technologie kan ons helpen

*ir. A.W.C. van der Helm, ir. Th.G.J. Bosklopper,
ir. P.W.M.H. Smeets, ir. L.C. Rietveld*

1. Inleiding

Waterkwaliteit is van oudsher de belangrijkste drijvende kracht van de waterleidingsector. De ambitie van de gezamenlijke waterleidingbedrijven is te komen tot water van onberispelijke kwaliteit, op een duurzame wijze geproduceerd. Dit betekent dat waterleidingbedrijven continu bezig moeten zijn met het verbeteren van de huidige installaties en het anticiperen op toekomstige ontwikkelingen in de kwaliteit van de bronnen, de watervraag, de zuiveringstechnologie en aanscherping van de normen.

Bij het ontwerpen van een drinkwaterzuivering leidt het anticiperen op toekomstige ontwikkelingen over het algemeen tot robuuste en overgedimensioneerde zuiveringen. Dit geldt ook voor de drinkwaterzuiveringen van Waterleidingbedrijf Amsterdam (WLB Amsterdam). Door het beter benutten van de aanwezige overcapaciteit in de huidige zuivering kan de drinkwaterkwaliteit worden verbeterd en kunnen investeringen worden uitgesteld.

Het beter benutten van de overcapaciteit in de zuivering werd in het verleden door WLB Amsterdam gedaan door optimalisatie van de individuele deelprocessen. De grenzen aan het optimaliseren van de deelprocessen zijn echter bereikt. De verwachting is dat een verdere verbetering alleen mogelijk is door het zuiveringsproces als geheel te benaderen. Dit wordt de integrale benadering genoemd.

Om aan deze uitdaging invulling te geven is in januari 2003 het project PROMICIT¹ gestart. PROMICIT is een samenwerkingsverband tussen Waterleidingbedrijf Amsterdam, Technische Universiteit Delft, DHV Water BV en ABB BV en wordt mede gefinancierd door SenterNovem. Het doel is een doorbraak te realiseren in de beheersing van de drinkwaterkwaliteit door het ontwikkelen van een inte-



*ir. A.W.C. van der Helm
TU Delft / DHV Water*

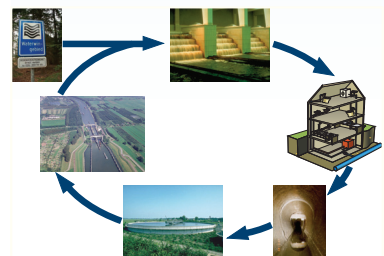


*ir. P.W.M.H. Smeets
TU Delft*



*ir. Th.G.J. Bosklopper
WLBA*

door water verbonden



¹ PROcess Modelling and Intelligent Control of Integral water Treatment

de biologisch actieve koolfilters, door vorming van AOC uit DOC en het afbreken van organische microverontreinigingen en is een belangrijke stap in de eliminatie van pathogene micro-organismen.

3. Ozonisatie

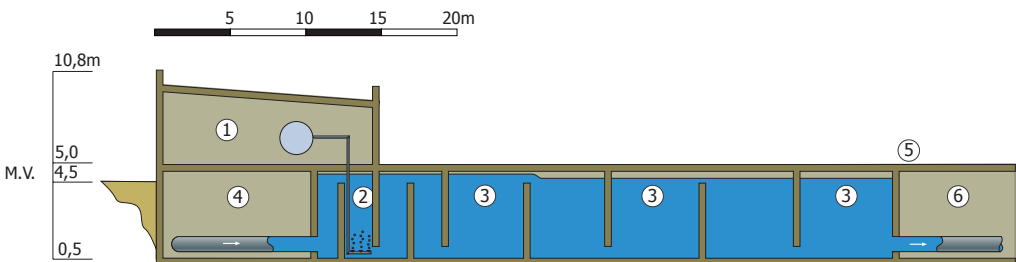
Ozon wordt toegepast op zowel productielocatie Weesperkarspel als Leiduin³. De ozon wordt gedoseerd in bellenkolommen, waarbij gasbellen met zuurstof of lucht en ozon door het water worden geleid en overdracht van ozon plaatsvindt tussen de gasfase en de waterfase. Daarna stroomt het water door contactkelders om het opgeloste ozon te laten reageren met de in het water aanwezige pathogene micro-organismen, zie figuur 3.

Gedurende ozonisatie van bromide-houdend water wordt bromaat gevormd (Von Gunten 2003). Op Weesperkarspel is de bromaatvorming minder dan 0,5 µg/l bij een ozondosering van 1,75-2,25 mg/l en op Leiduin is de bromaatvorming 3 - 5 µg/l bij een ozondosering van 0,7 - 0,9 mg/l. Voor de huidige situatie voldoet WLB Amsterdam aan de Nederlandse drinkwaternorm voor bromaat van 5 µg/l (90-percentiel waarde). Desondanks is

vorming van bromaat een ongewenst neveneffect van het ozonproces en, daar waar het mogelijk is, moeten maatregelen getroffen worden om de bromaatvorming verder te reduceren. Om deze reden is bij het proefonderzoek ten behoeve van de modelvorming van ozonisatie de nadruk gelegd op de bromaatvorming, waarbij als randvoorwaarde is gesteld dat voldoende desinfectie gerealiseerd wordt.

3.1 Bromaatreducerende maatregelen uit de literatuur

In het verleden is veel onderzoek verricht naar bromaatreductie benaderd vanuit de chemie en hydrodynamica. Effectieve chemische maatregelen voor bromaatreductie zijn pH verlaging, toevoegen van ammonium, toevoegen van ammonium voorafgegaan door chloring, afvangen van hydroxylradicalen en afvangen van hypobroomzuur (Kruithof 1993, Galey 2000, Pinkernell 2001, Buffle 2003). Hydraulische maatregelen die zijn onderzocht voor bromaatreductie zijn de toepassing van getrapte versus ééntraps bellenkolommen, tegenstroom versus meestroom bellenkolommen en het injecteren van ozon in gasvorm in een leiding gevolgd door menging in statische mixers versus het gebruik van bellenkolommen (Gilligly



- 1 Ozon productie ruimte
- 2 Bellenkolom
- 3 Contactkelders
- 4 Influent toevoer ruimte
- 5 Ozon gas vernietiging
- 6 Pompkelder

Figuur 3: Ozondoseersectie van productielocatie Leiduin

³ Leiduin is één van de twee productielocaties van WLB Amsterdam en produceert jaarlijks 70 miljoen m³ drinkwater. Op zuiveringsstation ir. Cornelis Biemond van WRK vindt voorzuivering plaats, het voorgezuiverde water ondervindt een duinpassage en de hoofduivering is op de vestiging Leiduin.

2001, Agutter 2001). Voor alle hydrodynamische maatregelen is geconcludeerd dat er slechts een klein verschil optreedt in bromaatvorming tussen de verschillende methoden en dat bromaatvorming hoofdzakelijk wordt bepaald door de chemische condities en niet door de hydraulische condities. Het veranderen van de chemische condities is voor productielocatie Leiduin echter niet wenselijk, waardoor er weinig mogelijkheden voor de reductie van bromaat overblijven.

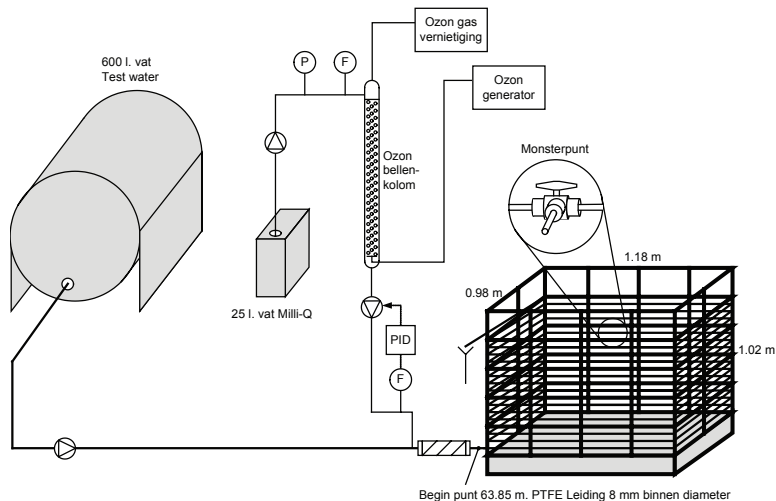
Bij alle hydraulische onderzoeken naar bromaatreductie is gebruik gemaakt van doseringsmethoden waarbij ozon in gasvorm in de te behandelen stroom wordt gebracht. Echter, bij de stofoverdracht van de gasfase naar de waterfase door middel van bellen ontstaan rond de bellen lokaal hoge pieken in de ozonconcentratie. Daarnaast is de menging van ozon in het water slecht door geringe menging van het water in de bellenkolom. Het eerst genoemde fenomeen is ongunstig voor de bromaatvorming en het tweede fenomeen is ongunstig voor de desinfectie.

Om toch tot bromaatreductie te komen is een nieuwe methode ontwikkeld. Hierbij is de hypothese dat door het doseren van ozon in opgeloste vorm in de hoofdstroom, de lokale ozonconcentratie tot een minimum kan worden beperkt, wat een lagere bromaatvorming tot gevolg heeft.

3.2 Proefonderzoek bromaatreductie

Om te onderzoeken in hoeverre de bromaatvorming kan worden gereduceerd door het doseren van ozon in opgeloste vorm aan een te behandelen hoofd-

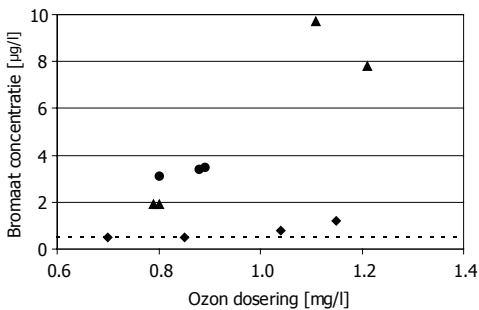
stroom is een proefinstallatie gebouwd op laboratoriumschaal (100 l/h). Voor de ozonmodellering is ervoor gekozen om niet alleen de totale bromaatvorming te kunnen bepalen, maar ook de snelheid van de bromaatvorming en de snelheid van de ozonafbraak, afdoding van micro-organismen en AOC vorming. Dit is gerealiseerd door het water na menging door een teflon slang te leiden met een lengte van 63,85 m, een binnendiameter van 8 mm en met de hydraulische eigenschappen van een propstroomreactor. Op de slang zijn drieweg T-monsterkranen aangebracht zodat het mogelijk is het totale debiet tijdelijk af te tappen. Doordat de monsterkranen op verschillende afstanden van het doseerpunt zijn gesitueerd kunnen monsters worden genomen na verschillende contacttijden zodat bijvoorbeeld de ozonafbraak snelheid kan worden bepaald. De opstelling, de DOPFR (Dissolved Ozone Plug Flow Reactor), is schematisch weergegeven in figuur 4.



Figuur 4: Proefopstelling DOPFR

In de doseerstream (5% tot 10% van de totale stroom) is een hoge concentratie ozon opgelost met behulp van een bellenkolom. Om te voorkomen dat tijdens de ozoninbreng in de doseerstream bromaat werd gevormd is gebruik gemaakt van (bromide vrij) Milli-Q® water.

De resultaten van de bromaatanalyses van het effluent van de DOPFR zijn weergegeven in figuur 5. Om het effect van het doseren van opgelost ozon te kunnen evalueren zijn in figuur 5 tevens resultaten weergegeven van bromaatvormingsexperimenten die zijn uitgevoerd in de proefinstallatie van Leiduin (5 m³/h) en in de praktijkinstallatie van Leiduin (1500 m³/h), die beide gebruik maken van conventionele bellenkolommen. Uit figuur 5 kan worden afgelezen dat bij een netto ozondosering van ongeveer 0,8 mg/l de bromaatconcentraties in de DOPFR 75% lager waren dan in de proefinstallatie en 85% lager dan in de praktijkinstallatie. Voor een netto ozondosering van 1,2 mg/l waren de gemeten bromaatconcentraties in de DOPFR 85% lager dan in de proefinstallatie. In de DOPFR zijn ook experimenten uitgevoerd met voor de praktijkinstallatie extreem hoge ozondoseringen van 1,7 en 2,1 mg/l. Bij een dosering van 1,7 mg/l was de bromaatconcentratie 4,1 µg/l en bij een dosering van 2,1 mg/l was de bromaatconcentratie 3,9 µg/l. De gemeten bromaatconcentraties overschrijden dus zelfs onder deze condities de norm van 5 µg/l voor de 90-percentiel waarde niet.



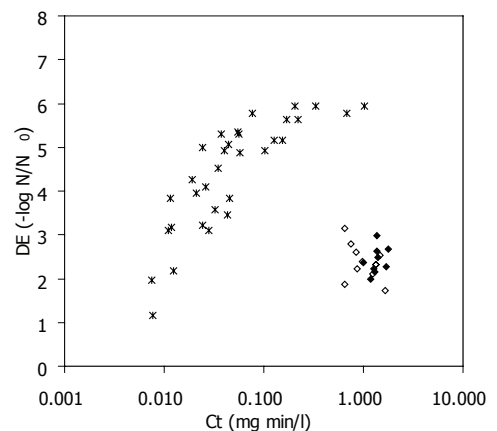
- ◆ DOPFR
- ▲ Proefinstallatie Leiduin
- Praktijkinstallatie Leiduin
- - - Detectie limiet

Figuur 5: Bromaatvorming in de DOPFR, proefinstallatie Leiding en praktijkinstallatie Leiduin

Om te onderzoeken of de desinfectiecapaciteit bij dosering van opgelost ozon voldoende is, werd tijdens de experimenten in de DOPFR *E. coli* WR1 gedoseerd. Hieruit volgde dat de inactivatie voor *E. coli* WR1 in de DOPFR 4,5 log eenheden of meer bedroeg bij Ct-waardes van 0,05 mg·min/l. Uit vergelijking met hoge volume monsters van *E. coli* in de praktijkinstallatie bleek dat in de DOPFR een veel hogere desinfectie werd gerealiseerd dan met conventionele bellenkolommen, zie figuur 6. Uit de desinfectieproeven in de DOPFR en de praktijkinstallatie kon worden geconcludeerd dat voor verbetering van de desinfectie van de praktijkinstallatie verbetering van de hydraulische omstandigheden in de contactkelders van essentieel belang is.

3.3 Ozon modellering

De datasets die zijn verkregen tijdens de experimenten in de DOPFR, de proefinstallatie en de praktijkinstallatie worden gebruikt voor het calibreren en valideren van een ozonmodel. Door het bepalen van de kinetiekparameters in de DOPFR voor de ozonafbraak, de bromaatvorming, de desinfectie en de AOC vorming, middels de afgeleide parameter UV254, is het mogelijk het ozonconcentratieprofiel tijdens ozonisatie te voorspellen. Dit wordt vervolgens gebruikt in de besturing voor



- * DOPFR
- ◆ Leiduin praktijkinstallatie
- ◇ Leiduin praktijkinstallatie DE>

Figuur 6: Desinfectiecapaciteit in de DOPFR en in de Leiduin praktijkinstallatie

het vaststellen van de benodigde ozon dosering op productielocaties Leiduin en Weesperkarspel.

4. Eureka

Het streven moet altijd zijn de bronnen voor de drinkwatervoorziening zo goed mogelijk te beschermen en vervuiling zo veel mogelijk tegen te gaan. Desalniettemin is het belangrijk om waar mogelijk innovaties en verbeteringen in de zuiveringstechnologie toe te passen om te komen tot de best mogelijke kwaliteit. Zo is het ozonisatieproces in de laatste jaren ter discussie komen te staan vanwege verscherping van de bromaatnorm. Gedreven door het vergroten van kennis van ozonisatie ten behoeve van de modellering blijkt het echter mogelijk tot nieuwe inzichten te komen en is een nieuw doseringsprincipe ontwikkeld waardoor de bromaatvorming sterk gereduceerd kan worden zonder toevoeging van chemicaliën. De dosering van opgelost ozon middels een voorbehandelde doseerstream in combinatie met een ozoncontactruimte met propstroomkarakteristiek, is een veelbelovende werkwijze die mogelijkheden biedt voor toepassing in bestaande ozoninstallaties. Doordat een hogere desinfectie gerealiseerd kan worden bij een lagere bromaatconcentratie wordt het spanningsveld tussen beide parameters aanzienlijk verruimd.

Naast het verkrijgen van inzicht en het vergroten van kennis is het werken aan de toepassing van modellen in de besturing van drinkwaterzuiveringen een belangrijke doelstelling. Intensievere samenwerking tussen technologen, besturingstechnici, automatiseerders en ICT'ers zal noodzakelijk zijn om in de toekomst verbeteringen te kunnen blijven realiseren. Het onderzoek zal moeten verschuiven van praktijkonderzoek naar een combinatie van praktijk met fundamentele model studies. De prioriteiten en doelstellingen zouden moeten worden

verschoven naar een meer integrale aanpak. Dit zal leiden tot efficiënte, stabiele en betrouwbare drinkwaterzuiveringen, die zullen voldoen aan de strengere eisen voor de toekomst.

5. Literatuur

Agutter, P, R. Lake, T. Burke and M. Chandrakanth (2001) Full-scale comparison of the use of static mixers and diffusers for ozone injection. Proceedings of 15th world ozone congress of the IOA, London 2001

Buffle, M. and U. von Gunten (2003) The chlorine-ammonia process for enhanced bromate minimization. Proceedings of AWWA WQTC, Philadelphia 2003

Galey, C., D. Gatel, G. Amy and J. Cavard (2000) Comparative assessment of bromate control options. *Ozone: Sci. Eng.* **22** 267-278

Gillogly, T., R. Minear, G. Amy, R. Andrews and J.P. Croué (2001) Bromate formation and control during ozonation of low bromide waters. AWWA Research Foundation ISBN 1-58321-155-1

Gunten, U von (2003) Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine. *Water Res.* **37** 1469-1487

Kruihof, J.C., R.T. Meijers and J.C. Schippers (1993) Formation, restriction of formation and removal of bromate. *Water Supply* **11** 331-342

Pinkernell, U. and U. von Gunten (2001) Bromate minimization during ozonation: mechanistic considerations. *Environ. Sci. Technol.* **35** 2525-2531