

Desinfectie met behulp van ozon op productiebedrijf Berenplaat

Inleiding

In een eerdere publikatie [1] in dit blad werd het laboratoriumonderzoek beschreven dat in samenwerking door het Waterbedrijf Europort (WBE) en Kiwa werd uitgevoerd. In dit laboratoriumonderzoek is de invloed van ozonisatie op de desinfectie en vooral de oxydatieve afbraak van bestrijdingsmiddelen onderzocht.



IR. A. J. VAN DER VEER
Waterbedrijf
Europort



IR. G. J. SCHERS
Witteveen+Bos
Raadgevende ingenieurs

In het eerste gedeelte van het onderliggende artikel wordt het onderzoek beschreven dat uitgevoerd is aan de proefinstallatie op de Berenplaat, waarbij vooral is gekeken naar de desinfectie met ozon. In het tweede gedeelte wordt het voorontwerp toegelicht dat mede op basis van dit proefonderzoek is opgesteld. Momenteel wordt chloorbleekloog voor de hoofd- en nadesinfectie gebruikt. Er kleven echter enkele bezwaren aan het gebruik van chloorbleekloog:

- verhoging van de mutageniteit van het drinkwater door de vorming van gechloreerde verbindingen zoals trihalomethanen en AOX;
- chloor is niet effectief tegen zoöplankton wat tot verdere groei in het distributiesysteem kan leiden (met name de Nauplii larve);
- chloor leidt periodiek tot reuk- en smaakklachten van het drinkwater.

Om deze bezwaren op te heffen is door WBE besloten tot een aanpassing van het zuiveringsproces waarbij in het geheel wordt afgezien van het gebruik van chloor. Het ruwwater is Maaswater dat gedurende 5 maanden wordt opgeslagen in spaarbekken van de Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch (WBB) en daarna wordt verpompt naar de Berenplaat. De toekomstige zuivering zal worden gebaseerd op de volgende processen (afb. 1):

Bestaande onderdelen

- microzeving (ruwwater)
- coagulatie
- vlokkendekenfiltratie
- snelfiltratie over actieve kool

Nieuwe onderdelen

- ozonisatie, in de toekomst mogelijk

Samenvatting

Het Waterbedrijf Europort (WBE) heeft het voornemen het productiebedrijf Berenplaat uit te breiden met ozonisatie, actieve-koolfiltratie, microzeving en UV desinfectie. Ter onderbouwing van de ontwerpuitgangspunten van de ozonisatie is onderzoek uitgevoerd aan een proefinstallatie. Verschillende parameters die het desinfectieproces met ozon beïnvloeden zijn onderzocht. De ozonvraag en het ozonverbruik zijn in kaart gebracht als functie van de watertemperatuur en de pH. De effectiviteit van het desinfectieproces wordt gerelateerd aan de vereiste C^*t waarde (ozonconcentratie x contacttijd), die naast ruwwaterkwaliteit en drinkwatereisen afhangt van de watertemperatuur. Ozondosering versus contacttijd is geëvalueerd om het optimale ozonsysteem te ontwerpen. Het onderzoek heeft geresulteerd in een ontwerp van de contactkelder met een contacttijd van 10 minuten, onderverdeeld in 6 compartimenten per contactkelder en alle ozon gedoseerd in het eerste compartiment. De maximale ozondosering is vastgesteld op 1,6 mg/l.

uitgebreid met geavanceerde oxydatie

- actieve-koolfiltratie, ontworpen als een twee-traps filtratie met een tussenbeluchting
- microzeving (reinwater)
- UV (ultra violet) desinfectie

De netto productiecapaciteit van Berenplaat is 18.000 m³/h.

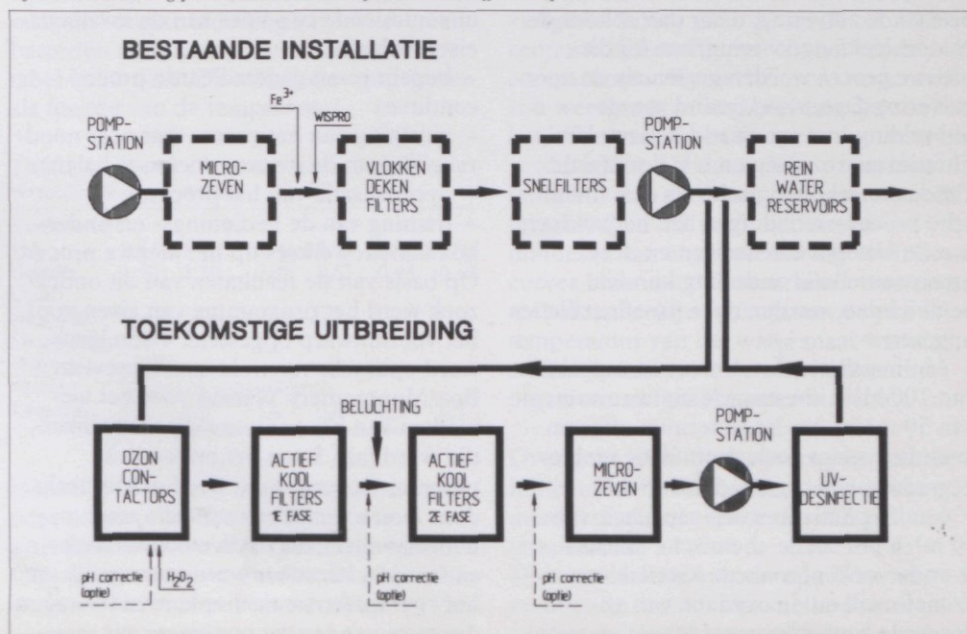
Desinfectie De belangrijkste functie van ozonisatie is de hoofdesinfectie waarbij ziekteverwekkende bacteriën en virussen worden afgedood. Ozon is een sterker desinfectiemiddel dan chloor, waarmee zelfs organismen (zoals Giardia cysten) worden geïnactiveerd die niet of nauwelijks met chloor kunnen worden afgedood. UV straling dient als nadesinfectie en als tweede desinfectiebarrière en zal de koloniegatallen terugbrengen tot onder de norm.

Microverontreinigingen Voor verwijdering van organische microverontreinigingen geeft WBE de voorkeur aan afvanging

boven oxydatie. De verwijdering van microverontreinigingen vindt in principe plaats door adsorptie door actieve-koolfiltratie. Bestrijdingsmiddelen en reuk- en smaakstoffen zullen echter al gedeeltelijk worden afgebroken door oxydatie met ozon gedurende het desinfectieproces. Als in de toekomst microverontreinigingen worden aangetoond in het ruwwater die moeilijk met actieve-koolfiltratie worden verwijderd, kan worden gekozen voor oxydatieve afbraak met de extra ozoncapaciteit die in het ontwerp beschikbaar is boven de desinfectiebehoefte. Ook bestaat de mogelijkheid om waterstofperoxyde te doseren voor geavanceerde oxydatie (AOP). De combinatie ozon en actieve kool heeft derhalve een hoge mate van veiligheid voor de verwijdering van microverontreinigingen en is een flexibel systeem dat kan worden aangepast aan toekomstige ontwikkelingen.

Biologische stabiliteit De bij ozonisatie

Afb. 1 - Toekomstig processchema van het productiebedrijf Berenplaat.



geproduceerde biologisch afbreekbare, organische stoffen worden afgebroken en verwijderd tijdens de actieve-koolfiltratie. Dit is van belang om biologische activiteit in het distributienet zoveel mogelijk te voorkomen.

Uit het voorgaande blijkt dat het nieuwe proces in vergelijking met het oude proces, naast het niet gebruiken van chloor, in potentie betere desinfectie-eigenschappen heeft (ozon is een sterker desinfectiemiddel dan chloor) en effectiever organische microverontreinigingen verwijdert door de combinatie ozon en actieve kool. Bijkomend voordeel van ozonisatie is de effectiviteit tegen zoöplankton en reuk- en smaakstoffen. Het project Aanpassing en Uitbreiding Berenplaat (AUB) is gestart met het benoemen van waterkwaliteitsdoelen waaraan het nieuwe proces moet voldoen [2]. Een in dit kader relevant doel is de afwezigheid van virussen, bacteriën van de coligroep, faecale streptococci en Giardia in het water na ozonisatie. WBE heeft ernaar gestreefd om geen volledige nieuwbouw te plegen, maar optimaal gebruik te maken van de al aanwezige procesonderdelen. De uitgangspunten leiden tot een proces (afb. 1), waarmee in principe de gewenste drinkwaterkwaliteit kan worden bereikt, doch waarmee ook extern nog slechts beperkte ervaring is opgedaan. Vooral de combinatie desinfectie met ozon en het verkrijgen van biologisch stabiel water vormde een nieuw element.

Proefinstallatie Berenplaat

Door gebrek aan ervaring was het derhalve noodzakelijk dit proces eerst op semitechnische schaal te toetsen alvorens de ontwerpfasen te kunnen starten. De bestaande zuivering, maar dan zonder de chloorbleekloogdosering, kan bij dit nieuwe proces worden gezien als de voor-zuiveringsfase, voorafgaand aan de uitbreiding met ozonisatie, actieve-koolfiltratie, microzeving en UV desinfectie. Omdat zowel biologische als ook chemische processen bijdragen aan het voldoen aan de waterkwaliteitseisen en deze processen elkaar onderling kunnen beïnvloeden, werden twee proefinstallaties opgezet:

- één installatie (foto) met een capaciteit van 100 m³/h (bestaande uit twee straten van 50 m³/h) om lange termijn effecten te onderzoeken zoals desinfectie en biodegradatie van organische stoffen.
- één installatie met een capaciteit van 10 m³/h om snelle chemische reacties te onderzoeken, zoals de kinetiek van ozonafbraak en de oxydatie van ge-doseerde bestrijdingsmiddelen met ozon.

Proefinstallatie op Berenplaat



De eerste fase met een doorlooptijd van circa 2 maanden bestond uit een grove verkenning van de haalbaarheid van de diverse gestelde eisen. Hierdoor ontstond snel inzicht in de onderzoekaspecten die extra aandacht vergden. De tweede fase van het onderzoekprogramma met een doorlooptijd van circa 13 maanden kende de volgende doelen:

- verificatie of het water geproduceerd met het geselecteerde proces onder uiteenlopende condities aan de kwaliteits-eisen voldoet;
 - bepaling van gedetailleerde procescondities;
 - wijziging van het proces wanneer noodzakelijk (om de diverse doelen te halen);
 - optimalisatie van het proces;
 - training van de bedienings- en onderhoudsmedewerkers op het nieuwe proces.
- Op basis van de resultaten van dit onderzoek werd het programma van eisen voor het voorontwerp opgesteld. Vervolgens werd opdracht verstrekt aan Witteveen+Bos/Montgomery Watson voor het uitwerken van het voorontwerp. Tegelijkertijd werd fase 3 van het onderzoekprogramma gestart die werd gekenmerkt door interactiviteit tussen het voorontwerptraject enerzijds en onderzoek anderzijds. Hierdoor was het mogelijk uit het voorontwerptraject opkomende vragen direct vanuit gericht onderzoek op semi-

technische schaal te beantwoorden. Het geplande proefprogramma is inmiddels afgerond. Begin '94 is gestart met het bereiden van drinkwater met de (ex)-proefinstallatie. Dit drinkwater wordt binnen het bedrijfsterrein in een bestaand leidingnet gedistribueerd voor lokaal gebruik en aldus beoordeeld op behoud van de waterkwaliteit (biologische stabiliteit) in dit net. Qua werkwijze en controle kan dit (uit de proefinstallatie ontwikkelde) bedrijfje voor 100% worden vergelijken met een normaal drinkwaterbedrijf, maar dan op een schaal van 50 m³/h.

Desinfectiestrategie

Bij de onderbouwing van de desinfectiestrategie voor Berenplaat heeft WBE gebruik gemaakt van de 'Surface Water Treatment Rule' die ontwikkeld is door het United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) [3]. Deze wet schrijft voor wat de vereiste afdoening van verschillende typen organismen over het gehele zuiveringsproces moet zijn. Deze vereiste afdoening is afhankelijk van concentraties van de organismen in het ruwwater en de drinkwatereisen. De afdoening wordt uitgedrukt in logreducties (1 logreductie komt overeen met 90% verwijdering; 2 logreductie met 99%). Behalve aan de desinfectieprocessen mogen ook logreducties worden toe-

Achtergronden desinfectiestrategie

Logverwijderingen

Om de vereiste logreductie over het zuiveringsproces te kunnen vaststellen is uitgegaan van de maximale aantallen organismen in het ruwwater en de uit de normen (Waterleidingbesluit + interne WBE strengere norm) afgeleide aantallen organismen voor drinkwater.

(1) Ruwwaterzijdig is destijds (medio 1991) voor *Cryptosporidium* en *Giardia* uitgegaan van afwezigheid in de toenmalige monsteromvang, zijnde 20 liter per keer (gehalte < 0,05/l). Voor bacteriën en virussen is uitgegaan van de in de praktijk gevonden maximum aantallen.

(2) Drinkwaterzijdig zijn de aantallen voor *Cryptosporidium*, *Giardia* en virussen gebaseerd op het in de USA gehanteerde besmettingsrisico van 10⁻⁴ (< 1 maal per 10.000 personen per jaar), wat voor deze organismen overeenkomt met een drinkwaternorm van 6,75·10⁻⁶/l. Voor bacteriën van de coligroep en de faecale streptococci is uitgegaan van het huidige eenmalig voorkomen per 2 jaar, wat voor colibacteriën overeenkomt met een totale monsteromvang van 1000 liter (norm 10⁻³/l).

Behalve aan desinfectieprocessen mogen ook logreducties worden toegekend aan een aantal andere zuiveringsprocessen. Zo mag aan de conventionele (voor)zuivering van Berenplaat een logreductie van 2,0 voor *Cryptosporidium* en *Giardia* worden toegekend, 1,0 voor coli bacteriën en 0,0 voor virussen. Door de haalbare logreducties van de zuiveringsstappen voorafgaande aan de ozonisatie af te trekken van de logreductie-eis voor de totale zuivering wordt de vereiste logreductie over de ozonisatie verkregen. Uitgangspunt bij onderstaande tabel is dat al na ozonisatie aan de normen wordt voldaan.

	Ruwwater (1)	Gezuiverd water (2)	Logreductie (totale zuivering)	Logreductie (ozonisatie)
<i>Cryptosporidium</i>	< 0,05/l	6,75·10 ⁻⁶ /l	3,9	1,9
<i>Giardia</i>	< 0,05/l	6,75·10 ⁻⁶ /l	3,9	1,9
Coli bacteriën	max. 910/l	10 ⁻³ /l	5,95	4,95
Faecale streptococci	max. 250/l	10 ⁻¹ /l	5,4	4,4
Virussen	0,011 pfu/l	2,22·10 ⁻⁷ pfu/l	4,7	4,7

Cryptosporidium en *Giardia*

Na het vaststellen van de vereiste logverwijdering is met toenemende monsteromvang het ruwwater diverse malen bemonsterd op *Giardia* en *Cryptosporidium*. Uit dit onderzoek is gebleken dat het in het ruwwater van de Berenplaat (Biesboschwater) het maximaal aantal *Giardia* 1 per 100 liter bedraagt en het maximaal aantal *Cryptosporidium* 1 per 1.000 liter. De eerste aannames voor *Giardia*, waarbij de desinfectie werd uitgelegd op maximaal 1 per 20 liter (het toenmalige monstervolume), blijkt dus voldoende veiligheid te bieden. Voor *Cryptosporidium* is gesteld dat met de nieuwe beschikbare analyses van ruwwater de vereiste logreductie over ozonisatie minimaal is, terwijl daarnaast verwacht wordt dat *Cryptosporidium* vrijwel volledig wordt verwijderd in de voorzuivering. Deze conclusie is gebaseerd op analyses van *Clostridia* (in proeftraject telkens volledige verwijdering in voorzuivering) die in afmetingen gelijk zijn aan *Cryptosporidium* cysten en derhalve eenzelfde verwijderingsgedrag zouden moeten vertonen. De aanzienlijke verhoging van de investeringen van het ozonsysteem (ongeveer een verdubbeling) om te kunnen voldoen aan de destijds gestelde *Cryptosporidium*-eis kan niet worden gerechtvaardigd. Bij het verdere ontwerp van het ozonsysteem is derhalve geen rekening gehouden met *Cryptosporidium* cysten.

Kader 1.

gekend aan een aantal andere zuiveringsonderdelen. Als de totale vereiste logaf-doding bekend is, kan de logreductie door ozonisatie worden berekend (zie kader 1). Uitgangspunt bij Berenplaat is dat al na ozonisatie aan de wettelijke normen wordt voldaan. Het kader laat zien dat UV desinfectie geen actieve rol heeft in de desinfectie-strategie van de totale zuivering. Echter door herinfectie als gevolg van biologische activiteit op de actieve-kool-filters kunnen bij hogere temperaturen koloniegatellen in het filtraat voorkomen die hoger zijn dan de norm. UV desinfectie zal deze koloniegatellen reduceren tot onder de norm en ook fungeren als een extra veiligheidsbarrière. De effectiviteit van een desinfectieproces is gerelateerd aan een concentratie (C) van een desinfectiemiddel in het water en een contacttijd (t) van het desinfectiemiddel met het water. Dit C*t concept (zie kader 2) is gebruikt voor Berenplaat waarbij de

bijbehorende C*t waarden zijn vastgesteld voor de vereiste afdoding van virussen en bacteriën met behulp van ozonisatie. In tabel I zijn deze C*t waarden weergegeven als functie van de temperatuur.

TABEL I - Vereiste C*t waarde voor ozonisatie bij verschillende temperaturen.

Vereiste C*t	van	0,5 °C	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C
<i>Giardia</i>		1,90	1,30	0,95	0,63	0,48	0,32
Coli bacteriën	kleiner dan van <i>Giardia</i>						
Faecale streptococci	kleiner dan van <i>Giardia</i>						
Virussen		1,8	1,2	1,0	0,6	0,5	0,3

Hieruit blijkt dat bij hogere temperaturen organismen effectiever worden geïnactiveerd. De vereiste logreductie van *Giardia* en virussen vormen de maatgevende parameter in de bepaling van de vereiste C*t waarde.

Natuurlijke ozonvraag en ozonverbruik

Bij de dosering van ozon in water zal het overgrote deel van de ozon (90-95%) van de gasfase overgaan in de waterfase [4]. Het restant van de gedoseerde ozon (5-10%) wordt niet opgenomen in het water en wordt met het afgas afgevoerd en door een ozonvernietiging geleid. Als ozon eenmaal is gedoseerd in water, vinden er (snelle) oxydatieprocessen plaats waardoor in het eerste compartiment een gedeelte van de ozon snel wegreageert. Deze natuurlijke ozonvraag is afhankelijk van de waterkwaliteit en wordt vooral bepaald door het organische stofgehalte. Daarna vindt er een langzaam en geleidelijk ozonverbruik plaats waarbij de ozon reageert met microverontreinigingen en micro-organismen en waarbij ook natuurlijk ozonverval plaatsvindt.

De afbraaksnelheid kan worden beschreven met de exponentiële vergelijking $C/C_0 = e^{-kt}$, waarin C (mg/l) de rest-ozonconcentratie is na een tijd t (min), C₀ (mg/l) de begin-ozonconcentratie en k (min⁻¹) de afbraakconstante voor ozon. Voor de tijd t moet in dit geval de hydraulische verblijftijd worden gebruikt in plaats van de t₁₀ waarde, aangezien deze aanname de realiteit beter weergeeft. De waarde van de afbraakconstante (k) is vooral afhankelijk van temperatuur en pH. In het vervolg van dit artikel wordt onderscheid gemaakt in de snelle natuurlijke ozonvraag in het 1e compartiment en het langzame ozonverbruik in de daaropvolgende compartimenten.

Bepaling natuurlijke ozonvraag In de proefinstallatie is bij verschillende pH-waarden en temperaturen de natuurlijke ozonvraag vastgesteld door meting van de ozonconcentratie in het effluent van het eerste compartiment. Typische ozonvraagcurves zijn weergegeven in afbeelding 2, waarin het effect van pH en temperatuur wordt verduidelijkt. De natuurlijke ozonvraag (snijpunt met x-as) van het water varieert tussen 0,2 en 0,7 mg/l met een gemiddelde van ongeveer 0,5 mg/l. Uit de curves blijkt dat de natuurlijke ozonvraag niet of nauwelijks afhangt van de pH of temperatuur van het water maar waarschijnlijk varieert door een variërend organisch stofgehalte van het water.

Overigens blijkt de rest-ozonconcentratie in het effluent van het vierde compartiment wel afhankelijk te zijn van pH en temperatuur.

Dit wordt vooral veroorzaakt door veranderende ozonafbraaksnelheden, zoals verderop zal worden toegelicht.

C*t concept

De oude methodiek van het berekenen van de desinfectie was gebaseerd op de behoefte voor handhaving van een minimale ozonconcentratie gedurende een zekere tijd (0,4 mg/l x 4 min onder laboratoriumcondities). Praktijkinstallaties werden vaak ontworpen op een constante ozonconcentratie gedurende een contacttijd van 10 tot 12 min (ozoninjectie over gehele vloeroppervlak), wat als een veiligheid werd gezien bovenop de laboratoriumwaarden om negatieve effecten van hydraulische kortsluitstromen in de contactkelders te compenseren [4]. Bij het ontwerp van het ozonsysteem voor Berenplaat is gebruik gemaakt van een nieuwe methodiek, het zogenaamde C*t concept zoals dat ontwikkeld is in de Verenigde Staten. Hierbij is de totale C*t waarde de som van de C*t waarden van elk compartiment. Door compartimentering van een contactkelder kunnen kortsluitstromen worden beperkt en zal de verblijftijd effectiever worden gebruikt. Hierdoor kan de vereiste ozondosering worden beperkt wat tot aanzienlijke besparingen van het ozonsysteem leidt. Daarnaast moet vermeld worden dat bij de nieuwe methodiek, die leidt tot een aanzienlijk lagere ozondosering, de vorming van desinfectiebijproducten (b.v. bromaat) wordt beperkt.

Het C*t concept is onderdeel van een meer omvattend plan, de 'Surface Water Treatment Rule', die eisen en voorwaarden formuleert waaraan drinkwaterinstallaties in de VS moeten voldoen. Een achtergrond van de invoering van deze wet is vooral het in toenemende mate voorkomen van cysten van Giardia en Cryptosporidium in het ruwwater. Een belangrijk onderdeel van het plan is vaststelling van de vereiste logreducties van organismen in een waterzuivering. Vooral filtratie en ozonisatie worden hierin als effectieve procesonderdelen genoemd voor de verwijdering van Giardia en Cryptosporidium. De effectiviteit van ozonisatie is gebaseerd op het C*t concept waarbij een ozonconcentratie in het water (C) een bepaalde tijd (t) inwerkt op organismen. Uitgangspunt bij dit principe is de vereenvoudigde vorm van de Wet van Chick and Watson [4]: $\ln(N_t/N_0) = -kC^*t$, waarin N_t het aantal organismen op tijdstip $t=t$, N_0 aantal organismen op tijdstip $t=0$, k de reactieconstante (l/mg/min), C de ozonconcentratie (mg/l) en t de contacttijd (min). Deze Wet laat zien dat er een direct verband bestaat tussen C*t en logverwijdering.

Bepaling van C

De concentratie die voor elk compartiment moet worden gebruikt is afhankelijk van het type stroming en het type compartiment.

	Stromingscondities		
	Meestroom(1)	Tegenstroom	Reactiestroom
Eerste compartiment	Gedeeltelijke bijdrage (2)	Gedeeltelijke bijdrage	n.v.t.
Daaropvolgende compartimenten	$C = C_{uit}$ of (3) $C = (C_{uit} + C_{in})/2$	$C = C_{uit}/2$	$C = C_{uit}$ of (3) $C = (C_{uit} + C_{in})/2$

1. Definities:

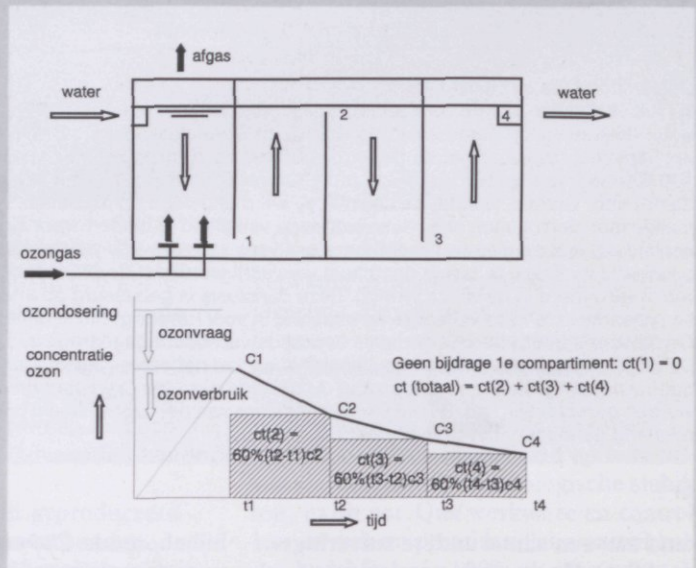
- C = karakteristieke ozonconcentratie (mg/l)
 C_{uit} = ozonconcentratie (mg/l) in effluent van compartiment
 C_{in} = ozonconcentratie (mg/l) in influent van compartiment
 Meestroom = ozogas en water stromen in dezelfde richting
 Tegenstroom = ozogas en water stromen in tegengestelde richting
 Reactiestroom = geen ozontoevoeging in het compartiment
2. Gedeeltelijke bijdrage: 1,0 log virus reductie indien C_{uit} 0,1 mg/l, 0,5 log Giardia cysten reductie indien C_{uit} 0,3 mg/l.
3. Als alternatief mag voor C de gemiddelde concentratie worden genomen indien de ozonconcentratie direct gemeten wordt in het compartiment.

Bepaling van t

In het model moet voor de contacttijd de zogenaamde t_{10} worden genomen. Deze kan worden gedefinieerd als de tijd die 90% van het water, dat het compartiment binnenstroomt, minimaal verblijft in dat compartiment. De tijd t_{10} moet worden gebaseerd op tracertesten. In de Verenigde Staten is een aantal tracertesten uitgevoerd met het type contactkelder zoals dat ook op Berenplaat is gekozen. Hieruit bleek dat voor elk compartiment van een ozoncontactkelder, zowel met als zonder ozontoevoeging, de waarde van t_{10} ligt tussen 60 en 70% van de hydraulische verblijftijd (t_{hydr}) in dat compartiment. Deze waarde werd ook gehaald met tracertesten aan de proefinstallatie van Berenplaat. Het dient opgemerkt te worden dat een contactkelder met meer compartimenten resulteert in een geringere verblijftijdsspreiding, waardoor de over-all t_{10} van de gehele contactkelder hoogstwaarschijnlijk groter is dan 60%. Echter voor Berenplaat is uitgegaan van een veilige waarde van $t_{10} = 0,6 \times t_{hydr}$ voor ieder compartiment.

Bepaling van C*t

De totale C*t van een contactkelder is de sommatie van de C*t waarden van elk compartiment afzonderlijk. Berenplaat heeft gekozen voor een conservatieve benadering, waarbij aan het eerste compartiment geen bijdrage aan de logreductie is toegekend. Voor Berenplaat, met een enkelvoudige ozondosering in het eerste compartiment wordt derhalve de totale berekende C*t gebaseerd op de som van de C*t waarden van het tweede en de daarop volgende compartimenten. De bijgevoegde afbeelding geeft een voorbeeld van een C*t bepaling van de contactkelder bestaande uit 4 compartimenten met alle ozon toegevoegd in het eerste compartiment.



Het blijkt dat in de berekening van de C*t waarde een aantal veiligheidsfactoren is verwerkt waaronder:

- geen bijdrage eerste compartiment;
- bepaling t_{10} per compartiment i.p.v. t_{10} over gehele kelder;
- gebruik C_{uit} i.p.v. gemiddelde C.

Ondanks deze veiligheidsfactoren in de nieuwe C*t methodiek zijn toch aanzienlijke besparingen mogelijk in vergelijking met de oude methodiek.

Kader 2.

Een overzicht van enkele ozonvraagrelaties is weergegeven in tabel II.

TABEL II - Ozonvraagvergelijkingen.

pH	Temperatuur (°C)	Ozonvraagrelaties (1)
7,5	6	$y=0,73x-0,22$
7,5	12	$y=0,48x-0,28$
8,4	12	$y=0,37x-0,26$
8,4	21	$y=0,23x-0,04$

(1) y is de rest-ozonconcentratie (mg/l) na dosering en x is ozondosering (mg/l)

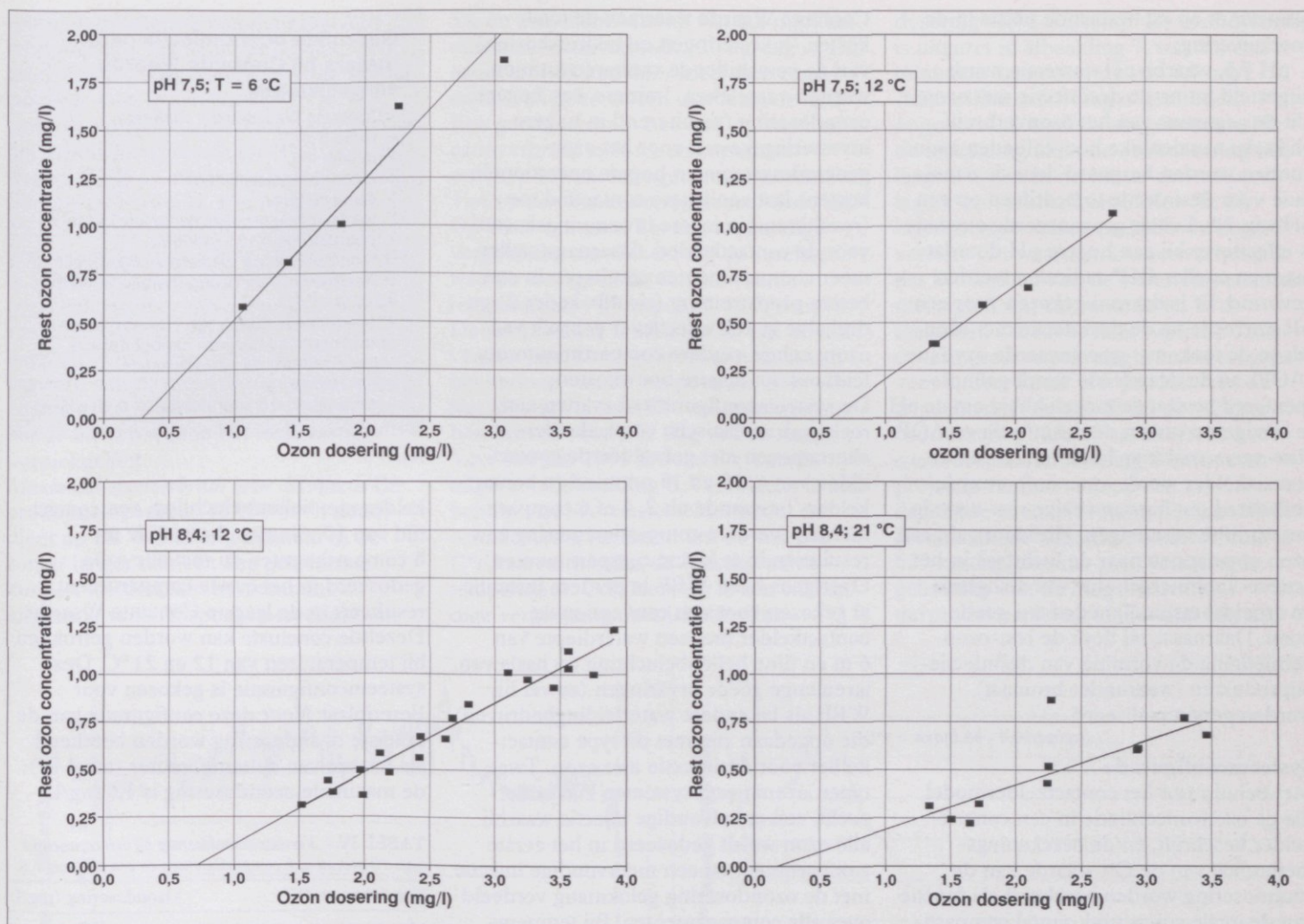
Bepaling ozonafbraakconstante De afbraak-

constante (k) is bepaald door de afname van de ozonconcentratie te beschrijven tussen het effluent van het eerste en het vierde compartiment van de ozoncontactkelder als functie van de contacttijd. Bij verschillende temperaturen en pH-waarden is deze afbraakconstante bepaald. Door interpolatie kan deze afbraakconstante worden weergegeven als functie van temperatuur en pH (afb. 3). Een selectie van enkele afbraakconstanten is gemaakt in tabel III. De resultaten laten

zien dat zowel pH als temperatuur een belangrijk effect hebben op de afbraakconstante.

TABEL III - Ozonafbraakconstanten

pH	Temperatuur (°C)	Afbraakconstante k (min ⁻¹)
7,5	6	-0,07
7,5	12	-0,17
7,5	21	-0,31
8,4	6	-0,23
8,4	12	-0,26
8,4	21	-0,32



Afb. 2 - Ozoneraag bij verschillende temperaturen en pH-waarden

Een hogere pH resulteert in een hoge afbraaksnelheid en dus in een lagere rest-ozonconcentratie. Bij hogere pH zal meer ozon wegreageren doordat de vorming van hydroxylradicalen (OH[•]) wordt versneld. Een hogere temperatuur leidt eveneens tot een hogere afbraaksnelheid en in een lagere rest-ozonconcentratie aangezien bij hogere temperaturen ozon sneller reageert met organisch materiaal en het natuurlijk verval hoger is.

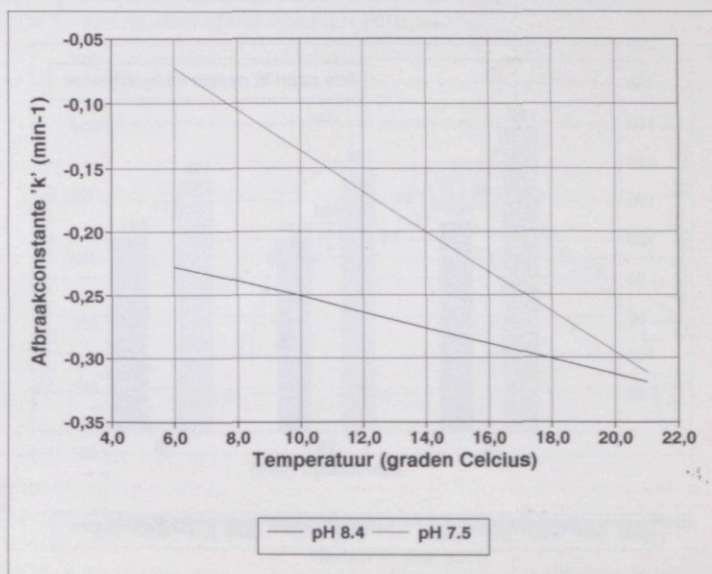
Terugkoppeling model met proefinstallatie

Met behulp van de beschreven ozonvraagvergelijkingen en afbraakconstanten kan de ozonconcentratie in een contactkelder worden gemodelleerd. De resultaten van dit contactkeldermodel zijn vervolgens vergeleken met de gemeten ozonconcentraties in de proefinstallatie. Uit deze vergelijking bleek dat bij uiteenlopende omstandigheden (temperatuur en pH) het model de praktijksituatie goed beschrijft. Dit contactkeldermodel is vervolgens gebruikt om bij uiteenlopende omstandigheden (pH en temperatuur) de ozon-

concentratie te voorspellen bij verschillende contactkelderconfiguraties. *pH tijdens ozonisatie* In de bestaande zuivering vindt pH correctie plaats na de coagulatie met het (zure) ijzersulfaat. Gelijk na de coagulatie, maar voor de pH

correctie, is de pH 7,5. Na de pH-correctie ligt de pH tussen 8,2 en 8,4, wat ook de gewenste waarde is voor drinkwater. De toekomstige ozonisatie kan derhalve op twee pH-waarden worden bedreven:

- pH 8,4, waarbij de enige pH-correctie



Afb. 3 - Afbraakconstante (k) als functie van de temperatuur en pH

plaatsvindt op de bestaande plaats in de voorzuivering;

- pH 7,5, waarbij pH-correctie wordt uitgesteld tot na de desinfectie met ozon.

Uit de gegevens van het ozonverbruik blijkt dat aanzienlijke hoeveelheden ozon kunnen worden bespaard door de ozonisatie voor desinfectie te bedrijven op een pH van 7,5. Echter geavanceerde oxydatie is effectiever bij een hogere pH doordat meer en sneller OH^{\bullet} radicalen worden gevormd. Er is daarom gekozen voor een pH-correctie na de desinfectie met ozon. Als in de toekomst geavanceerde oxydatie (AOP) na de desinfectie wordt geïmplementeerd bestaat de mogelijkheid om de pH te corrigeren tussen de desinfectie en AOP.

Rest-ozonvernietiging In de uitlaat van de contactkelder wordt waterstofperoxyde gedoseerd om het aanwezige rest-ozon in het water te vernietigen. Hierdoor zal geen ozon ontsnappen naar de luchtfase in het actieve-koolfiltergebouw wat veiligheid en arbeidsomstandigheden ten goede komt. Daarnaast zal door de rest-ozonvernietiging de vorming van desinfectie-bijproducten (waaronder bromaat) worden geminimaliseerd.

Systemconfiguratie

Met behulp van het contactkeldermodel, die de ozonconcentratie in een contactkelder beschrijft, én de berekeningsmethodiek van de C^*t waarde kan de ozondosering worden berekend als functie van de totale contacttijd, aantal compartimenten waaruit een contactkelder bestaat en aantal plaatsen waar ozon aan het water wordt toegevoegd. De berekening is uitgevoerd bij enkele pH waarden en temperaturen. Deze informatie is gebruikt om de ideale combinatie van ozondosering en contacttijd te bepalen met behulp van

Contante Waarde waarmee de totale kosten (investeringen en bedrijfskosten) van de verschillende varianten kunnen worden vergeleken. Immers, een hogere ozondosering (resultierend in hogere investeringskosten voor het ozongeneratiesysteem en hogere operationele kosten) laat een lagere contacttijd toe (resultierend in lagere investeringskosten voor de contactkelder). Daarnaast zullen meer compartimenten resulteren in een betere propstroming (zie afb. kader 2) en derhalve in een effectiever gebruik van ozon; echter verdere compartimentering leidt ook tot hogere bouwkosten. De systeemconfiguraties bevatten een reeks van realistische contactkelder-alternatieven met geëvalueerde contacttijden van 6, 10 en 15 minuten en contactkelders bestaande uit 2, 4 of 6 compartimenten (verdere compartimentering zou resulteren in te kleine compartimenten). Overigens heeft WBE in eerdere instantie al gekozen voor een conventionele contactkelder met een waterdiepte van 6 m en fijne bellenbeluchting op basis van jarenlange goede ervaringen (zowel bij WBE als bij andere waterleidingbedrijven) die opgedaan zijn met dit type contactkelder voor desinfectie met ozon. Twee typen ozoninjectiesystemen zijn onderzocht, een enkelvoudige injectie waarbij alle ozon wordt gedoseerd in het eerste compartiment en een meervoudige injectie met de ozondosering gelijkmatig verdeeld over alle compartimenten. Bij temperaturen van 6, 12 en 21 °C zijn de vergelijkende Contante Waarden bepaald (een voorbeeld is gegeven in afb. 4 bij een temperatuur van 6 °C). Kader 3 geeft de gehanteerde economische parameters. De afbeelding laat zien dat bij deze temperatuur een conventionele contact-

Gebruikte economische parameters bij Contante Waarde vergelijkingen

- Contante Waarde over 40 jaren
- rente 8%
- inflatie 4%
- afschrijvingstermijnen:
 - * civiel 40 jaren
 - * werktuigbouw/elektrotechniek 15 jaren
- energieprijis 0,135 gld/kWh (Alleen gebruikt bij systeemconfiguratie)
- energieverbruik ozongeneratie 20 kWh/kg ozon
- elektriciteitskosten zijn 70% van totale operationele kosten van ozongeneratie (Alleen gebruikt bij systeemkeuze generatoren)
- prijs vloeibare zuurstof (LOX) 0,18 gld/kg

Kader 3.

kelder met bellenbeluchting, een contacttijd van 10 minuten, bestaande uit 6 compartimenten en met alle ozon gedoseerd in het eerste compartiment resulteert in de laagste Contante Waarde. Dezelfde conclusie kan worden getrokken bij temperaturen van 12 en 21 °C. Deze systeemconfiguratie is gekozen voor Berenplaat. Voor deze configuratie kan de vereiste ozondosering worden berekend als functie van de temperatuur (tabel IV); de maximale ozondosering is 1,6 mg/l.

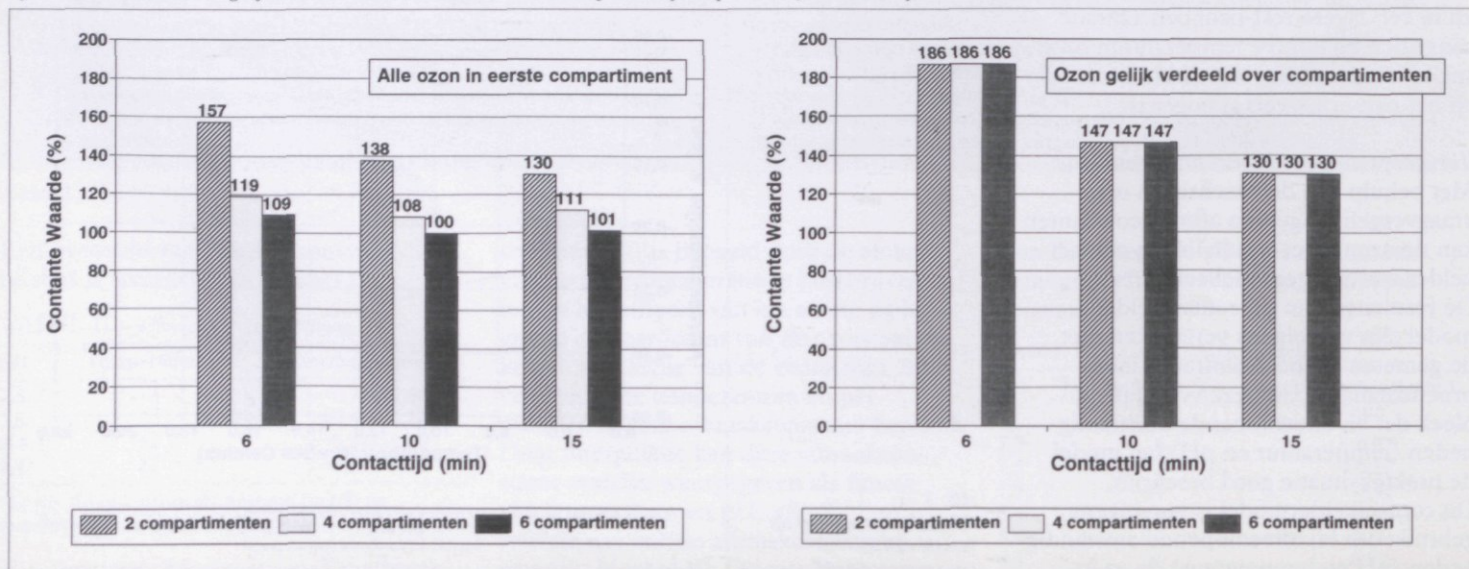
TABEL IV - Vereiste ozondosering bij een contacttijd van 10 minuten, 6 compartimenten en een pH van 7,5.

Temperatuur (°C)	Ozondosering (mg/l)
6	0,8
12	1,4
21	1,6

Ozongeneratiesysteem

Toekomstig drinkwaterverbruik De eerste stap in de ontwikkeling van het ozongeneratiesysteem is de vaststelling van het

Afb. 4 - Overzicht van vergelijkende Contante Waarden van het ozonsysteem bij een pH van 7,5 en een temperatuur van 6 °C.

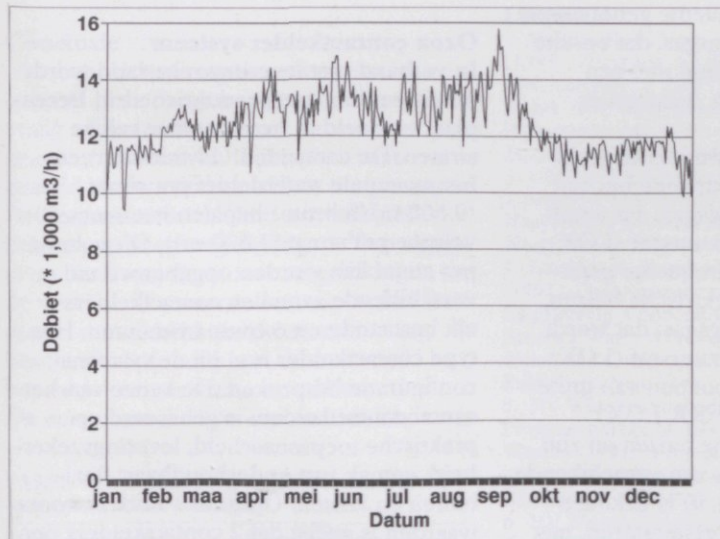


(patroon van het) debiet dat gezuiverd moet worden. Dit debiet is bepaald door productiegegevens van iedere dag van de laatste 6 jaren te verzamelen en te corrigeren met de verwachte toename van het drinkwaterverbruik tot 2010, het jaar waarin WBE de maximale productie van Berenplaat verwacht. Het resultaat is een grafiek dat het dagdebiet weergeeft over een jaar (afb. 5). Het maximale dagdebiet is 386.000 m³/dag (of 16.100 m³/h), wat overeenkomt met een maximaal uurdebiet van 17.700 m³/h (uurpiek is 1,1 maal dagpiek). Overigens heeft WBE het ontwerp van de nazuivering gebaseerd op 18.000 m³/h, wat een kleine veiligheids-marge biedt bovenop het toekomstige uurpiekdebiet.

Maximaal ozonverbruik voor desinfectie De productiecapaciteit (18.000 m³/h netto) dient op elk willekeurig moment in de zomer langer dan één dag geleverd te kunnen worden, wat betekent dat uitgaande van een spoelwaterverlies van

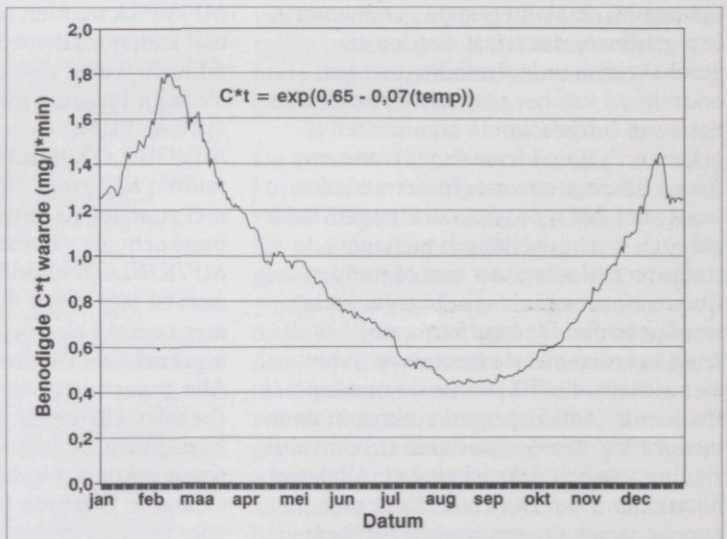
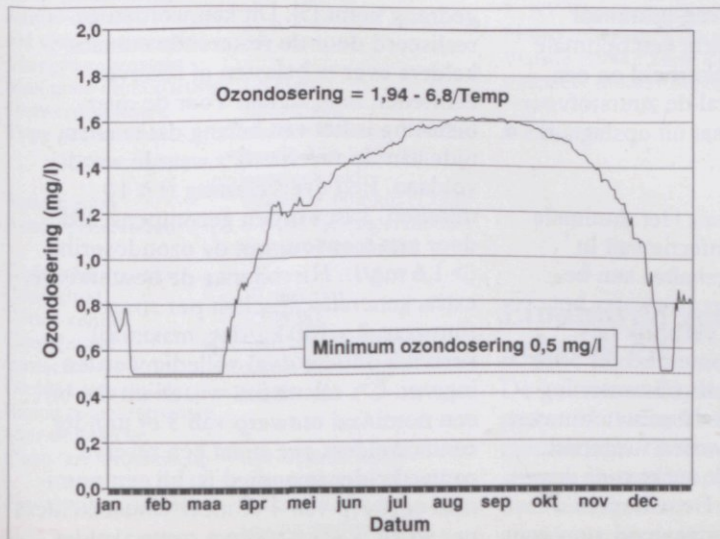
5% en een ozondosering van 1,6 mg/l het maximale ozonverbruik 720 kg/dag is. Dit ozonverbruik kan door meerdere combinaties van generatoren worden geleverd. Een goed inzicht in het verloop van het ozonverbruik leidt tot een optimaal ontwerp van dit ozongeneratiesysteem. **Verloop van het ozonverbruik voor desinfectie** Op basis van tabel I is een wiskundige vergelijking ontwikkeld die de vereiste C*t waarde weergeeft als functie van de temperatuur: $CT = \exp(0,65 - 0,07(\text{temp}))$. De temperatuur is afhankelijk van de tijd van het jaar. Door gebruik te maken van het verloop van de temperatuur over een jaar kan de vereiste C*t waarden worden beschreven voor elke dag van dat jaar. Voor het jaar 1991 is deze C*t waarde uitgezet in afbeelding 6. Vervolgens is met behulp van het contactkeldermodel de ozondosering berekend om de vereiste C*t waarde te halen als functie van de temperatuur. Ook hiervoor is een wiskundige vergelijking ontwikkeld: ozon-

dosering = $1,94 - 6,8/\text{temp}$. De ozondosering is uitgezet in afbeelding 7, waarbij een minimale ozondosering van 0,5 mg/l (natuurlijke ozonvraag is gemiddeld ongeveer 0,5 mg/l) is aangehouden. Uit de afbeelding blijkt de ozondosering het laagste te zijn in de winter door de veel lagere ozonafbraakconstanten (k) bij lagere temperaturen ondanks de hogere vereiste C*t waarden. De verwachting is dat het verloop van de watertemperaturen niet significant zal veranderen in de toekomst, waardoor deze typische ozondoseringscurve ook mag worden toegepast voor andere jaren. Het produkt van de dagdebieten (zie afb. 5) en de vereiste ozondosering (afb. 7) resulteert in het ozonverbruik. Afbeelding 8 bevat een projectie van het verloop van het dagelijkse ozonverbruik in het jaar 2010. Het maximale dagelijkse ozonverbruik is 625 kg/dag, doordat geen rekening is gehouden met de mogelijkheid dat uurproductiepieken langer dan één dag



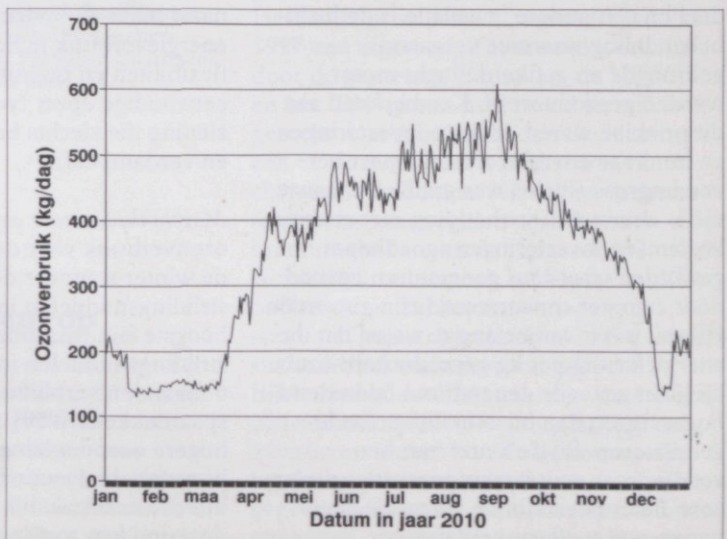
Afb. 5 - Dagproducties in 2010 uitgedrukt in m³/h

Afb. 7 - Vereiste ozondosering gedurende een jaar



Afb. 6 - Vereiste C*t waarde gedurende een jaar

Afb. 8 - Verloop ozonverbruik in het jaar 2010

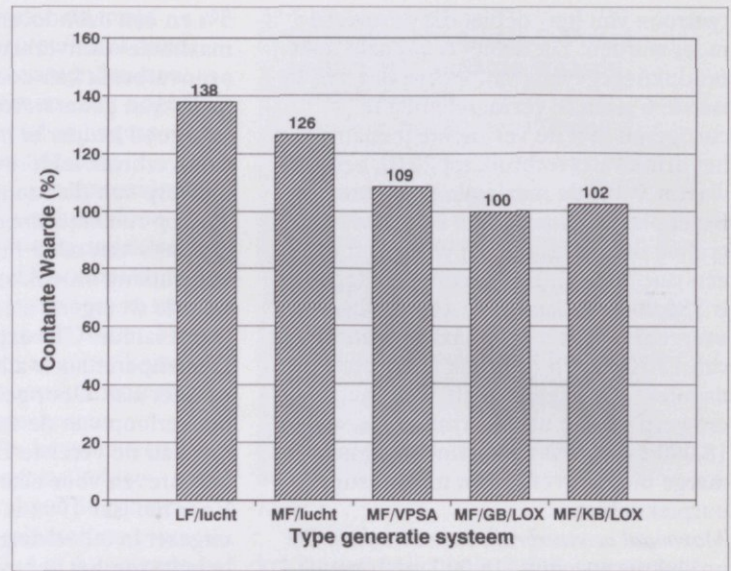


geleverd kunnen worden. Het minimale dagelijkse ozonverbruik is 150 kg/dag.

Keuze capaciteit generatoren De toekomstige ozongeneratie wordt verdeeld in twee onafhankelijke en gescheiden straten met elk een capaciteit van 360 kg/dag, exclusief reservecapaciteit. Generatoren met een capaciteit van 180 of 360 kg/dag kunnen worden gebruikt. De kosten voor beide systemen (te weten 3 x 180 kg/dag en 2 x 360 kg/dag, inclusief reservecapaciteit van één generator per straat) zijn vergelijkbaar. Als elke straat één generator bevat met een capaciteit van 360 kg/dag, resulteert dit in een benuttingsgraad van slechts 21% in de winter (het winterozonverbruik 150 kg/dag gedeeld door de ontwerp-capaciteit 720 kg/dag). Deze benuttingsgraad is te laag om een goede en nauwkeurige processturing te garanderen. Daarnaast blijkt dat gedurende 4 tot 5 maanden van een jaar het ozonverbruik lager is dan 360 kg/dag. Gedurende deze tijd kan bij de kleinere type generatoren, een generator per straat worden afgeschakeld, wat de flexibiliteit en het onderhoud van het systeem verbetert. Op basis van bovenstaande argumenten is gekozen voor de kleinere generatoren.

Systeemkeuze generatoren In het verleden werd voor het type generatiesysteem vaak gekozen voor generatoren met een stroomvoorziening van lage of midden frequentie terwijl als voedingsgas lucht werd gebruikt. De lage frequentie komt overeen met de frequentie in het elektriciteitsnet (50 Hz) en de midden frequentie (500 Hz) werd verkregen door omvorming van de standaard stroomvoorziening van het elektriciteitsnet. Alhoewel bij midden frequentie efficiënter met energie wordt omgesprongen betekent deze keuze wel een extra installatie (de frequentie-omvormer). Essentieel onderdeel bij een oudere installatie is de luchtbehandeling waarmee vergaand gedroogde en gefilterde lucht moest worden geproduceerd. Kenmerkend aan dit principe waren de hoge investeringen en het hoge energieverbruik, maar het voedingsgas (lucht) was gratis. De laatste tijd is zuurstof in verhouding met energiekosten (en investeringen) goedkoper geworden waardoor generatoren gevoed door zuurstof concurrerend zijn geworden. Hierbij is het van belang te weten dat de energiekosten per kg geproduceerd ozon bij lucht gevoede generatoren beduidend hoger liggen dan bij zuurstof gevoede generatoren. Bij de keuze van het voedingsgas en het type generatiesysteem voor Berenplaat zijn de volgende alternatieven met elkaar vergeleken:

Afb. 9 - Overzicht van vergelijkende Contante Waarden van ozongeneratie-alternatieven.



LF/lucht laag frequente generatoren met lucht als voedingsgas;
 MF/lucht midden frequente generatoren met lucht als voedingsgas;
 MF/VPSA midden frequente generatoren met zuurstof als voedingsgas, dat on-site uit lucht wordt vervaardigd met een Vacuüm Pressure Swing Adsorption (VPSA) Plant;
 MF/GB/LOX midden frequente generatoren met grote diëlektrische buizen, met zuurstof als voedingsgas, dat wordt ingekocht als vloeibaar zuurstof (LOX);
 MF/KB/LOX midden frequente generatoren met kleine diëlektrische buizen, met zuurstof als voedingsgas, dat wordt ingekocht als vloeibaar zuurstof (LOX).
 Alle generatoren zijn voorzien van grote (behalve alternatief MF/KB/LOX) horizontale, diëlektrische buizen en zijn water gekoeld. Op basis van vergelijkende Contante Waarden (afb. 9) is gekozen voor midden frequente generatoren, met grote of kleine diëlektrische buizen, en zuurstof (LOX) als voedingsgas. Daarnaast blijkt dit systeem een minimaal energieverbruik te hebben, een optimale flexibiliteit en bedrijfszekerheid en een eenvoudige opzet (vooral de zuurstofvoorziening die slechts bestaat uit opslagtanks en verdamper).

Mogelijkheden voor oxydatie Het minimale ozonverbruik voor desinfectie valt in de winter wanneer de gehalten aan bestrijdingsmiddelen in het ruwwater het hoogste zijn (maximaal verbruik bestrijdingsmiddelen in zomer, echter 5 tot 6 maanden verblijftijd van ruwwater in spaarbekkens WBB). In de winter kan een hogere ozondosering worden toegepast, bovenop de dosering die strikt voor desinfectie noodzakelijk is. Deze hogere dosering kan worden aangewend voor een

verdere oxydatie van bestrijdingsmiddelen, die moeilijk met behulp van actieve-koolfiltratie kunnen worden verwijderd.

Ozon contactkelder systeem

In verband met leveringszekerheid wordt de uitbreiding van productiebedrijf Berenplaat verdeeld in twee onafhankelijke straten. De contacttijd (10 minuten) en het maximale waterdebiet per straat (9.600 m³/h bruto) bepalen het contactvolume per straat (1.600 m³). Dit volume per straat kan worden opgebouwd uit verschillende aantallen contactkelders elk bestaande uit 6 compartimenten. Het type contactkelder is al bij de systeemconfiguratie besproken. De keuze van het aantal contactkelders is gebaseerd op praktische toepasbaarheid, leveringszekerheid, gemak van onderhoudbaar, flexibiliteit en kosten. Op basis van deze voorwaarden is geëist dat 2 contactkelders per straat uit bedrijf kunnen worden genomen, zonder dat de vereiste desinfectie in gedrang komt [5]. Dit kan worden gerealiseerd door de resterende contactkelders over te belasten of reserve-eenheden in te zetten. Voor de overbelasting is het van belang dat te allen tijde aan de vereiste C*t waarde wordt voldaan. Een overbelasting (t < 10 minuten) kan worden gecompenseerd door een toename van de ozondosering (> 1,6 mg/l). Hierbij mag de beschikbare, extra, generatiecapaciteit per straat (ontwerp 3 x 180 kg/dag, maximaal verbruik 360 kg/dag) volledig worden ingezet. C*t calculaties wijzen uit dat bij een nominaal ontwerp van 3 of minder contactkelders per straat één reserve contactkelder benodigd is; bij een nominaal ontwerp van 4 of meer contactkelders per straat is geen reserve contactkelder

TABEL V - *Vergelijkende Contante Waarden voor verschillende contactkelderconfiguraties.*

Aantal contactkelders per straat	Contante Waarden van bouwkosten voor contactkelders van beide straten
2 (+1)	122%
3 (+1)	122%
4	100%
5	106%

benodigd. Deze alternatieven zijn vervolgens geëvalueerd op basis van Contante Waarde. Tabel V laat zien dat een nominaal ontwerp van 4 contactkelders (4 x 400 m³) per straat de laagste Contante Waarde heeft. Deze opzet is gekozen voor Berenplaat.

Kosten

De kosten van de ozonisatie op Berenplaat zijn ingeschat op basis van een drinkwaterproductie van 109 Mm³ per jaar. De kosten van de totale ozonisatie zijn berekend op 2,7 cent per m³ geproduceerd drinkwater.

Conclusie

Met behulp van resultaten van een uitgebreid proefprogramma zijn de ozonvraag en het ozonverbruik van voor-gezuiverd water van Berenplaat vastgesteld als functie van pH en temperatuur. Beide parameters blijken een effect te hebben op ozonvergelijkingen. Vervolgens is op basis van deze ozonvergelijkingen en de vereiste C*t waarde een contactkeldermodel ontwikkeld die de ozondosering beschrijft als functie van de contacttijd bij bepaalde temperaturen en pH waarden. De eerste conclusie is dat aanzienlijke

TABEL VI - *Samenvatting ontwerpparameters ozonsysteem (alleen desinfectie).*

Ontwerpparameter	Waarde van parameter
<i>Algemeen</i>	
Netto productiecapaciteit	18.000 m ³ /h
Aantal straten	2
pH tijdens ozonisatie	7,5
<i>Ozongeneratiesysteem</i>	
Maximale ozondosering	1,6 mg/l
Ontwerpcapaciteit	720 kg/dag
Type generatoren	midden frequent (500 Hz, bereik 200-1.000 Hz), watergekoeld
Voedingsgas	vloeibaar zuurstof (LOX)
Aantal generatoren	6 x 180 kg/dag, waarvan 2 reserve-eenheden
<i>Contactkeldersysteem</i>	
Contacttijd	10 minuten
Totaal volume	3.200 m ³
Configuratie contactkelder	fijne bellenbeluchting, gas en water tegenstrooms
Diepte contactkelder	6,0 m
Aantal compartimenten voor desinfectie	6
Plaats(en) ozoninjectie	Alle ozon in eerste compartiment
Aantal contactkelders	8 in totaal, zonder reserve-eenheden

besparingen kunnen worden doorgevoerd door de pH tijdens ozonisatie op 7,5 te houden, doordat de pH-correctie wordt verschoven tot na de desinfectie met ozon. De tweede conclusie was dat het optimale ozonsysteem bestond uit een contactkelder met een hydraulische verblijftijd van minimaal 10 minuten en een ozongeneratiesysteem ontworpen op een maximale ozondosering van 1,6 mg/l. Verdere ontwerpdetails van het ozonsysteem zijn samengevat in tabel VI. De kosten van de ozonisatie gerelateerd aan het drinkwaterverbruik zijn berekend op 2,7 cent/m³.

Verantwoording

Onze dank gaat uit naar E. Roek (IWACO) die op zeer enthousiaste wijze heeft bijgedragen aan de opzet en uitvoering van het proeffabriekonderzoek en P. J. Nobel (WBE) voor zijn bijdragen aan de theoretische aspecten en onderzoek op laboratoriumschaal.

Literatuur

- Meijers, R. T., Veer, A.J. van der, Kruithof, J. C. (1993). *Desinfectie en afbraak van bestrijdingsmiddelen door ozonisatie en geavanceerde oxydatie*. H₂O 29/93
- NV Waterleidingbedrijf Zuid-Holland-Zuid, Projectenbureau (1991). *Onderzoekstraject Zuivering Berenplaat, Projectbeschrijving*.
- USEPA Washington, DC (1991). *Guidance for Compliance with the Filtration and Disinfection Requirements for Public Water Systems using Surface Water Sources*. Uitgave AWWA.
- Langlais B., Reckhow D. A., Brink, D. R. (1991). *Ozone in water treatment*. Application and Engineering. Cooperative Research Report America Water Works Association Research Foundation and Compagnie Général des Eaux. Lewis Publishers. New York.
- NV Waterleidingbedrijf Zuid-Holland-Zuid, Projectenbureau/Witteveen+Bos/Montgomery Watson (1993). Voorschrift voor de risico-analyse van de uitbreiding (nazuivering). Produktielokatie Berenplaat, Technische notitie taak 12a.
- NV Waterleidingbedrijf Zuid-Holland-Zuid, Projectenbureau/Witteveen+Bos/Montgomery Watson (1993). *Interactive Stage Reports*. Pre-design adjustment treatment process Berenplaat plant.
- NV Waterleidingbedrijf Zuid-Holland-Zuid, Projectenbureau/Witteveen+Bos/Montgomery Watson (1993). *Final Report*. Pre-design adjustment treatment process Berenplaat plant.



Eindhoven zet rem op gebruik gif

De gemeente Eindhoven is op 26 juni jl. gestart met uitgebreide proefnemingen met het niet-chemisch reinigen van straten en stoepen. Deze proeven maken deel uit van de overeenkomst die de gemeente eerder dit jaar sloot met de

Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN). Het gebruik van het chemische middel Diuron op verhardingen in 1995 met 90% te verminderen en er na 1996 zelfs geheel mee te stoppen. Dat is de resultaatverplichting die de gemeente Eindhoven is aangegaan met de VEWIN. Het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) is projectadviseur. Wethouder de heer A. F. P. M. Scherf (Milieu, Financiën, Personeel & Organisatie en Sport) en drs. G. J. Nuland, vertegenwoordiger namens de Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN) en tevens directeur NV Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant gaven het officiële startsein voor de proef door in de Palestinastraat het eerste proefvak met brander en borstel te reinigen. In totaal zijn er 72 proeflokaties aangewezen in Eindhoven. De eerste fase van de proef loopt tot 24 november. Verschillende niet-chemische methoden van onkruidbestrijding op verhardingen zullen worden getest. Zo zal er onder meer worden gebrand, geborsteld, gemaaid en geschoffeld.

De gemeente Eindhoven maakte tot voor kort voor het bestrijden van onkruid op verhardingen vooral gebruik van Diuron. Uit onderzoeken is gebleken dat gemeenten op deze wijze een behoorlijke - negatieve - bijdrage leveren aan de totale belasting van het oppervlaktewater dat - naast grondwater - in toenemende mate gebruikt wordt voor de bereiding van drinkwater. Aangezien zowel de gemeente Eindhoven als de VEWIN het wenselijk achten het gebruik van chemische middelen zoveel mogelijk te beperken, heeft de gemeente Eindhoven besloten deel te nemen aan het nu gestarte voorbeeldproject. Het totale proefproject moet op 1 januari 1997 zijn afgerond. Tot die tijd wordt er door de gemeente Eindhoven, de VEWIN en het IBN op een heel breed terrein gezocht naar mogelijkheden die leiden tot een verdere reductie van de inzet van chemische middelen. Niet alleen beheers-technische maatregelen zoals borstel- of brandmethoden worden ingezet, ook wordt de problematiek bekeken vanuit de ontwerp kant. Bij het ontwerpen van straten of wijken kan immers in preventief stadium veel winst worden geboekt. Bijvoorbeeld door het gebruik van steviger constructies en kleinere voegen. Ook de wensen en ideeën van de bewoners zijn van belang. In combinatie met de gegevens die op de proefterreinen worden gevonden, zal worden nagegaan hoe de