

Het effect van desinfectie van afvalwater; een vooronderzoek

Inleiding

Met de desinfectie van biologisch gezuiverd afvalwater wordt beoogd de hygiënische betrouwbaarheid van het ontvangende oppervlaktewater zeker te stellen door inactivering van pathogene (= ziekte-verwekkende) micro-organismen [zie ook: Onstwedder, 1970]. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de verschillende functies van het ontvangende water, zoals zwem-, vis- en schelpdierwater. Op een aantal zuiveringsinstallaties in ons land wordt reeds gewerkt met chloorbleek-
land wordt reeds gewerkt met chloorbleek-
land wordt reeds gewerkt met chloorbleek-



DRS. H. VAN DER MARK
Rijksinstituut voor Zuivering
van Afvalwater Lelystad



IR. A. H. HAVELAAR
Rijksinstituut voor de
Volksgezondheid Bilthoven



ING. H. J. VAN KRANEN
Rijksinstituut voor Drink-
watervoorziening Voorburg

Dit desinfecteren roept enkele vragen op:
a. hoe staat het met de effectiviteit van de chlorering ten opzichte van micro-organismen;
b. welke nevenprodukten worden bij deze chlorering gevormd en in welke concentraties;
c. in welke mate zijn de gevormde nevenprodukten schadelijk.
Voor het bepalen van de effectiviteit van de chlorering zou men moeten onderzoeken, welke pathogene organismen nog aanwezig zijn in het effluent na chlorering. In de praktijk beperkt men zich echter tot representatieve groepen van niet-pathogene organismen, die als indicatoren worden gebruikt voor het vaststellen van de mate van besmetting van afvalwater met faecaal materiaal. Uitgangspunt daarbij is, dat de resistentie van de indicatororganismen ongeveer gelijk is aan die van de pathogene micro-organismen.
Als indicatoren worden veelal gebruikt:
a. de thermotolerante bacteriën van de coligroep;
b. de bacteriën van de coligroep;
c. de faecale streptococci.
Van deze indicatororganismen is aangetoond, dat hun resistentie ten opzichte van chloor onderling ongeveer gelijk is, en ook

ongeveer gelijk aan die van bacteriële pathogenen als Salmonella [Kampelmacher et al., 1974; 1977]. Het is echter nog onvoldoende bekend in hoeverre deze indicatororganismen representatief zijn voor meer resistente, pathogene micro-organismen als virussen. Daarom werd in dit vooronderzoek nagegaan, welke inactivering in de praktijk wordt bereikt van een aantal meer resistente groepen micro-organismen, die potentieel als aanvullende indicatoren geschikt zijn: enterovirussen, colifagen, sulfietreducerende clostridia en aerobe sporenvormers. Gezien de grote hoeveelheid werk, die bleek vast te zitten aan de bepaling van enterovirussen, werd later besloten het virologisch onderzoek te beperken tot de colifagen.
Bovendien werd nagegaan in welke mate haloïden zouden worden gevormd bij de in gebruik zijnde wijze van desinfecteren. Bekend is namelijk, dat dit type ge-chloreerde verbindingen gevormd worden tijdens het chloreringsproces bij de drinkwaterbereiding [Rook, 1974].
Het hier beschreven vooronderzoek vond plaats in het kader van het RIZA-project 'Desinfectie van effluënten van afvalwater-zuiveringsinstallaties'.

Uitvoering van het onderzoek

Het vooronderzoek werd verricht in de periode 1979-1980 bij de zuiveringsinstallaties van Amersfoort en van Soest-Baarn. De keuze is op deze installaties gevallen, omdat men hier de beschikking had over goed werkende doseringsapparatuur voor het gebruikte desinfectiemiddel chloorbleekloog.
Zowel de installatie van Amersfoort als die van Soest-Baarn zijn uitgevoerd met oxydatiebedden.

Bemonstering

a. Onderzoek in 1979

In 1979 is de installatie van Amersfoort bemonsterd op 1 en 2 augustus, die van Soest-Baarn op 7 en 8 augustus. Bemonsterd is gedurende twee uur het niet-gedesinfecteerde effluent (= afloop nabezinkt-

	Amersfoort a.w.z.i.	Soest-Baarn a.w.z.i.
ontwerp- capaciteit	180.000 i.e.	102.500 i.e.
gem. belas- ting 1979	111.700 i.e.	72.500 i.e.
gem. belas- ting 1980	115.900 i.e.	
ontwerpbelasting oxydatiebedden	10 i.e./m ³ /dag	10 i.e./m ³ /dag
gem. belasting 1979	6,2 i.e./m ³ /dag	7,1 i.e./m ³ /dag
gem. belasting 1980	6,4 i.e./m ³ /dag (= laag belast)	(= redelijk laag belast)

tank) en het gedesinfecteerde effluent, aan het einde van het contactbassin. Uit het op de bemonsteringsdagen gemeten debiet (zie tabel I en III) kan men berekenen, dat de verblijftijd in het contactbassin in Amersfoort ongeveer 1 uur bedroeg, in Soest-Baarn ruim 2 uur. Het totaal werkzaam chloorgehalte aan het einde van het contactbassin was bij beide installaties kleiner dan 0,1 mg/l. Er is in 1979 gewerkt met mengmonsters.

b. Onderzoek in 1980

In 1980 is het onderzoek beperkt gebleven tot de installatie van Amersfoort. Uit praktische overwegingen is in 1980 overgegaan op steekmonsters. Naast monsters uit de afloop van de nabezinkt tank en van het contactbassin zijn nu ook monsters genomen van het gechloreerde effluent, direct na het mengcompartiment. Deze monsters zijn genomen in een periode, waarin het gehalte aan totaal werkzaam chloor in het effluent (aan het einde van het contactbassin) zoveel mogelijk 0,2 tot 0,3 mg/l bedroeg. Dit werd ter plaatse gemeten. Per dag zijn op elk bemonsteringspunt vier steekmonsters genomen met een tijdsverschil van telkens 1 uur. Direct na de monsterneming is in de gedesinfecteerde monsters ter plaatse in duplo het gehalte aan vrij werkzaam chloor en aan totaal werkzaam chloor bepaald. Er is gemonsterd op 9 en op 17 juni.

Onderzoeksmethoden chemie

Voor het chemisch onderzoek zijn de volgende bepalingen verricht:

Bepaling	Methode	Detectiegrens
vrij werkzaam chloor	amperometrisch	0,1 mg/l
totaal werkzaam chloor	amperometrisch [Van Dalen, 1976]	0,1 mg/l
c.z.v.	N.E.N. 3235.5.3	
b.z.v.	N.E.N. 3235.5.4	
Kjeldahl-N	N.E.N. 3235.6.5	
nitraat	N.E.N. 3235.6.4	
totaal P	N.E.N. 3235.8.2	
EOCl	petroleum-ether-extractie, daarna microcoulometrie	0,1 mg/l
chloroform	pentaanextractie, daarna gaschromatografie (kolom: materiaal chromosorb 101, lengte 1,8 m, inwendige diameter 2,0 mm) + e.c.d.	0,02 µg/l
broomdichloormethaan	" " " "	0,02 µg/l
dibroomchloormethaan	" " " "	0,02 µg/l
tribroommethaan	" " " "	0,04 µg/l

Aan dit chemische onderzoek hebben meegewerkt de Provinciale Waterstaat Utrecht en het RIZA.

Onderzoeksmethoden bacteriologie/virologie

Voor het bacteriologische/virologische onderzoek zijn de volgende bepalingen uitgevoerd:

Bepaling	Methode
thermotolerante bacteriën van de coligroep	N.E.N. 6570 (ontwerp) en N.E.N. 6572 (ontwerp)
bacteriën van de coligroep	N.E.N. 6571 (ontwerp) en N.E.N. 6572 (ontwerp)
faecale streptococcen	N.E.N. 6562 (ontwerp)
sulfiet-reducerende clostridia	sulfietagar, na pasteurisatie van het monster; membraan-filtratie
aerobe sporen-koloniegeetal	plate count agar, na pasteurisatie van het monster
colifagen	incubatie met suspensie van Escherichia coli C
entero-virussen	filtratie bij pH 3,5 over Balston grade C filter; daarna elueren m.b.v. 3% beefextractoplossing pH 9. Eluaat aanzuren tot pH 3,5; gevormde vlok af-centrifuger en opnemen in fosfaatbuffer pH 9. Na neutralisatie en antibioticatoevoeging titreren middels CPE op BGM-cellen.

Aan dit bacteriologische/virologische onderzoek hebben meegewerkt het RID, het RIV en het RIZA.

Resultaten vooronderzoek chemie

De resultaten van het chemisch onderzoek bij de installatie van Amersfoort zijn vermeld in de tabellen I en II, die bij de installatie van Soest-Baarn in de tabel III. In 1979 kon noch totaal, noch vrij werkzaam chloor worden aangetoond in het gechloreerde effluent. In 1980 kon wel totaal werkzaam chloor worden aange-toond, echter geen vrij werkzaam chloor. Blijkbaar is direct na menging van het chloorbleekloog met het effluent het chloor al aanwezig in gebonden vorm. In het gechloreerde effluent bleek bij 1 waarneming een geringe stijging van het chloroformgehalte te zijn opgetreden. De gehalten aan de overige onderzochte ge-chloreerde verbindingen lagen vrijwel steeds onder de hiervoor genoemde detec-tiegrenzen. In de chromatogrammen van het gechloreerde effluent zijn echter pieken gevonden, die niet voorkwamen in die van het niet-gechloreerde effluent. Deze ver-bindingen zijn echter niet nader geïdentifi-ceerd. Voorts bleek de EOCl-bepaling niet voldoende informatie te geven voor het

TABEL I - Resultaten chemisch onderzoek effluent installatie Amersfoort.

Tijdstip	EOCl (mg/l)			Chloroform (µg/l)			Totaal werkzaam chloor (mg/l)			Debiet (m³/h)	Temp. effluent (°C)
	A	B	C	A	B	C	A	B	C		
1-8-1979	0,3	n.b.	0,2	n.b.	n.b.	0,55	n.b.	n.b.	n.m.	1300	18
2-8-1979	0,3	n.b.	0,3	n.b.	n.b.	0,51	n.b.	n.b.	n.m.	1700	18
9-6-1980	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,04	0,95	0,20	n.b.	0,37	0,2	1900	
17-6-1980	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,46	0,25	1700	

inhoud desinfectiecircuit: 1700 m³
dosering chloorbleekloog 1979: 1,5 mg/l effluent; 1980: 2,8 mg/l effluent
bepalingsmethode totaal werkzaam chloor: amperometrisch.
Monsterpunten: A = niet-gechloreerd effluent
B = gechloreerd effluent, direct na mengcompartiment
C = gechloreerd effluent, aan het einde van het contactbassin.
Gezien de geringe fluctuaties konden de gemiddelden genomen worden van de per bemonsteringsdag verzamelde metingen.
n.b. = niet bepaald
n.m. = niet meetbaar/onder detectiegrens.

TABEL II - Resultaten chemisch onderzoek effluent installatie Amersfoort omstreeks de periode van het vooronderzoek in 1980.

Tijdstip	CZV mg/l	BZV mg/l	Kjeld.N mg/l	NO ₃ mg/l	tot. P mg/l
3/4-6	88	9	14	18	15
11/12-6	70	9	13	17	9,5
18/19-6	89	12	14	10	4,8
26/27-6	59	5	10	17	6,9
3/4-7	65	7	12	17	6,5

trekken van conclusies. Overwogen wordt om bij het voortgezette onderzoek de parameter AOCl (= adsorbeerbaar orga-nisch chloor) op te nemen.

Resultaten vooronderzoek bacteriologie/virologie

In tabel IV zijn de onderzoeksresultaten van de installatie van Amersfoort, in tabel V die van Soest-Baarn vermeld. Zij geven wat betreft Amersfoort een duidelijke inactivering te zien van de traditionele parameters bacteriën van de coligroep en faecale streptococcen, met een decimale reductiefactor tussen 1,3 en 2,6 in 1979 en tussen 2,7 en 5,0 in 1980. De hoge reductie in 1980 hangt wellicht samen met het hogere chloorgehalte aan het einde

van het contactbassin. Tussen de drie indicatorgroepen onderling werden geen significante verschillen geconstateerd. Voor Soest-Baarn geldt in 1979 eveneens het bovenstaande (uitgezonderd de thermo-tolerante bacteriën van de coligroep), althans op de eerste bemonsteringsdag (7-8-1979). Op de tweede dag (8-8-1979) is om niet bekende redenen hier in het geheel geen inactivering opgetreden, met uitzonde-ring van de colifagen en de enterovirussen. Wat betreft de meer resistente parameters kon qua inactivering onderscheid worden gemaakt tussen sporenvormers enerzijds en virussen anderzijds. Kon bij de coli-fagen en enterovirussen nog een reductie-factor waargenomen worden liggend tussen 0 en 1, bij de clostridia en aerobe sporen-vormers was de reductie praktisch nul. Om het effect van de chloorbleekloog-dosering beter te kunnen volgen, werd in 1980 de installatie in Amersfoort op drie punten bemonsterd. Direct na de dosering blijkt bij de coli's en de streptococcen weliswaar inactivering op te treden, de grootste inactivering vindt men aan het einde van het contactbassin (reductiefactor tussen 2,7 en 5,0). Bij de meer resistente organismen was de reductie beduidend minder, te weten 0,5 tot 0,7 van de coli-fagen en 0 van de sporenvormers.

TABEL III - Resultaten chemisch onderzoek effluent installatie Soest-Baarn.

Tijdstip	EOCl (mg/l)			Chloroform (µg/l)			Totaal werkzaam chloor (mg/l)			Debiet (m³/h)	Temp. effluent (°C)
	A	B	C	A	B	C	A	B	C		
7-8-1979	nb.	n.b.	0,1	n.b.	n.b.	0,27	n.b.	n.b.	n.m.	450	19
8-8-1979	0,2	n.b.	0,1	n.b.	n.b.	0,93	n.b.	n.b.	n.m.	460	19

inhoud desinfectiecircuit: 1035 m³
dosering chloorbleekloog 1979: 1,8 mg/l effluent
bepalingsmethode totaal werkzaam chloor: amperometrisch.
Monsterpunten: A = niet-gechloreerd effluent
B = gechloreerd effluent, direct na mengcompartiment
C = gechloreerd effluent, aan het einde van het contactbassin.
Gezien de geringe fluctuaties konden de gemiddelden genomen worden van de per bemonsteringsdag verzamelde metingen.
In geen van de monsters effluent kon met de amperometrische methode totaal-chloor en vrij-chloor worden aangetoond.
n.b. = niet bepaald
n.m. = niet meetbaar/onder detectiegrens.

Conclusies chemisch onderzoek

Chlorering bleek een, zij het vrij geringe, toename van het chloroformgehalte in het effluent op te leveren. Er zijn geen aanwijzingen verkregen, dat bij de gebruikte chloorbleekloogdosering hoge concentraties aan onderzochte halogeenverbindingen en in petroleum-ether oplosbare verbindingen gevormd werden.

Conclusies bacteriologisch/virologisch onderzoek

Bij de hier toegepaste dosering treden duidelijke verschillen op in de mate van inactivering van de onderzochte parameters. De traditionele, weinig resistente bacteriën (coli's en streptococci) werden, zoals te verwachten was, vrijwel geheel geïnactiveerd (reductie variërend van 1,3

tot 5,0). Op grond hiervan zou men tot de conclusie kunnen komen een effluent verkregen te hebben van een 'goede' hygiënische kwaliteit. De inactivering van de meer resistente organismen (waaronder de van hygiënisch belang zijnde enterovirussen) was echter beduidend minder (reductie tussen 0 en 1). De sporenvormers bleken daarbij nog iets resistenter dan de enterovirussen. Op grond van deze gegevens kan men niet anders concluderen dan dat met de huidige chloorbleekloogdosering geen effluent verkregen kan worden, dat hygiënisch betrouwbaar genoemd kan worden.

TABEL IV - Resultaten bacteriologisch/virologisch onderzoek effluent installatie Amersfoort.

Monsterpunten: A = niet-gechloreerd effluent,

B = gechloreerd effluent, direct na mengcompartiment.

C = gechloreerd effluent, aan het einde van het contactbassin.

In 1980 zijn op elke bemonsteringsdag vier steekmonsters genomen (om het uur). Omdat de schommelingen in de resultaten klein waren, is het gemiddelde van de vier waarnemingen op de desbetreffende dag in deze tabel weergegeven. Alle waarden zijn vermeld in $10\log$ -eenheden.

De reductie is weergegeven als $10\log \frac{N_0}{N}$, waarbij N_0 het aantal bacteriën per ml is in niet-gechloreerd effluent en N het aantal in gechloreerd effluent.

Tijdstip	Monster	Thermot. coli	Tot. coli	Streptoc.	Sulf. red. clostr.	Aer. sporenv.	Colif.	Enterov.
1-8-1979	A	3,7	4,3	2,2	1,2	2,4	1,4	-0,14
	B	niet bepaald	niet bepaald					
	red. t.o.v. A	2,2	2,7	-0,4	1,4	2,2	1,4	-0,55
	C	1,5	1,6	2,6	-	-	-	0,4
2-8-1979	A	3,9	4,7	2,5	1,6	2,4	1,5	-0,57
	B	niet bepaald	niet bepaald					
	red. t.o.v. A	2,6	2,2	0,4	1,6	2,5	1,4	-1,20
	C	1,3	2,5	2,1	-	-	-	0,63
9-6-1980	A	2,9	3,5	1,7		2,3	2,3	
	B	2,6	3,3	1,5		2,2	1,9	
	red. t.o.v. A	0,3	-	-		-	0,4	
	C	-0,15	0,56	-0,96		2	1,6	
17-6-1980	A	3,1	2,9	2,7		0,3	0,7	
	B	4,3	4,6	2,5		2,1	2,1	
	C	3,6	3,8	1,9		2,2	1,8	
	red. t.o.v. A	0,7	0,8	0,6		-	0,3	
	C	-0,52	-0,40	-0,70		2,2	1,6	
	red. t.o.v. A	4,8	5,0	3,2		-	0,5	

Het teken - wil zeggen, dat de reductie een waarde had lager dan 0,30 (= 50% reductie).

Gebruikte afkortingen: thermot. coli = thermotolerante bacteriën van de coligroep; tot. coli = bacteriën van de coligroep; streptoc. = faecale streptococci; sulf. red. clostr. = sulfietreducerende clostridia; aer. sporenv. = aerobe sporenvormers; colif. = colifagen; enterov. = enterovirussen.

TABEL V - Resultaten bacteriologisch/virologisch onderzoek effluent installatie Soest-Baarn.

Monsterpunten: A = niet-gechloreerd effluent,

C = gechloreerd effluent, aan het einde van het contactbassin.

Er zijn geen monsters genomen van gechloreerd effluent direct na het mengcompartiment.

Alle waarden zijn vermeld in $10\log$ -eenheden. De reductie is weergegeven als $10\log \frac{N_0}{N}$, waarbij

N_0 het aantal bacteriën per ml is in niet-gechloreerd effluent en N het aantal in gechloreerd effluent.

Tijdstip	Monster	Thermot. coli	Tot. coli	Streptoc.	Sulf. red. clostr.	Aer. sporenv.	Colif.	Enterov.
7-8-1979	A	3,1	4,4	4,4	1,9	2,4	2,4	-0,17
	C	3,0	3,1	2,4	2,1	2,3	1,7	-0,25
	red. t.o.v. A	-	1,3	2,0	-	-	0,7	-
8-8-1979	A	2,6	4,4	2,4	2,3	1,9	1,7	-0,34
	C	3,1	5	2,9	2,8	2,1	0,7	-0,77
	red. t.o.v. A	-	-	-	-	-	1,0	0,43

Het teken - wil zeggen, dat de reductie een waarde had lager dan 0,30 (= 50% reductie).

Gebruikte afkortingen: zie bij TABEL IV.

Voortzetting van het onderzoek

Bij de voortzetting van het desinfectie-onderzoek zal aan de volgende punten aandacht besteed worden:

- optimalisering van de desinfectie door snellere menging van de chloorbleekloog met het effluent, of door toepassing van getrapte dosering;
- nagaan wat het effect is van een hogere chloorbleekloogdosering, eventueel gecombineerd met ontchloring van het effluent;
- onderzoek naar de toepasbaarheid van andere desinfectiemiddelen.

Bij het bacteriologische/virologische onderzoek kan het aantal klassieke, weinig resistente parameters gereduceerd worden tot één: de thermotolerante bacteriën van de coligroep. De drie andere, resistente parameters zullen gehandhaafd worden.

Literatuur

- Dalen, R. van (1976). *Onderzoek naar de bepalingsmethodiek voor totaal werkzaam chloor in gechloreerde effluënten van rioolwaterzuiveringsinrichtingen, alsmede het testen van twee continue meetinstrumenten*. H₂O 9: 117-120.
- Kampelmacher, E. H., Fonds, A. W. en Noorle Jansen, L. M. van (1974). *Reductie van Salmonella, E. coli, coliformen en faecale streptococci door chloring van effluënten in rioolwaterzuiveringsinstallaties te Elburg en Harderwijk*. H₂O 7: 476-479.
- Kampelmacher, E. H., Fonds, A. W. and Noorle Jansen, L. M. van (1977). *Reduction of Salmonella, E. coli, coliforms and faecal streptococci by chlorination of sewage treatment plant effluents*. Water Research 11: 545-550.
- Onstwedder, H. (1970). *Desinfectie van effluent*. H₂O 3: 424-430.
- Rook, J. J. (1974). *Formation of haloforms during chlorination of natural waters*. Water Treatment and Examination 23: 234-243.

