

Mogelijkheden van AOC-bepalingen bij het vaststellen van de concentratie van gemakkelijk afbreekbare organische verbindingen in water

Voordracht gepresenteerd op het vijfde KIWA/VWN-colloquium, Methodenontwikkeling II

1. Inleiding

Bij de bereiding van drinkwater dienen organische en anorganische verbindingen die door micro-organismen als energiebron kunnen worden benut zoveel mogelijk uit het water te worden verwijderd. Deze verwijdering is noodzakelijk omdat de aanwezigheid van dergelijke verbindingen in drinkwater leidt tot een intensivering van biologische processen in het leidingnet. Kwaliteitsverslechtering van het drinkwater kan, eventueel in samenhang met een aantasting van leidingmaterialen, hiervan



D. VAN DER KOOIJ
KIWA NV



W. A. M. HIJNEN
KIWA NV

het gevolg zijn. Enkele jaren geleden is, in het kader van het door de VEWIN aan het KIWA opgedragen speurwerk, een methode ontwikkeld voor de bepaling van de concentratie aan gemakkelijk assimileerbare (afbreekbare) organische verbindingen (AOC) in het water. Van deze zogenaamde AOC-bepaling is melding gemaakt op het tweede KIWA/VWN colloquium in 1978 [Van der Kooij, 1979b]. Met deze bepaling kan de kwaliteit van drinkwater met betrekking tot het gehalte aan gemakkelijk afbreekbare organische verbindingen worden gemeten. Tevens kunnen hiermee de effecten van waterbehandelingsprocessen op het AOC-gehalte kwantitatief worden vastgesteld. Ook problemen die een gevolg zijn van een zich in sterke mate manifesteren van biologische processen bij de waterbehandeling kunnen hierdoor worden bestudeerd. Men denke hierbij aan het optreden van een sterke bacteriegroei en ontwikkeling van hogere organismen in filters die worden belast met water dat een hoog AOC-gehalte bevat. Een punt van onderzoek is tevens in hoeverre het AOC-gehalte van water een rol speelt bij het optreden van verstopping bij persputten. Tenslotte kan de bepaling worden gebruikt bij het onderzoek van de AOC-afgifte door materialen die in distributiesystemen worden toegepast [Van der Kooij et al, 1982b]. In deze voordracht zal nader worden ingegaan op hetgeen onder het AOC-gehalte van drinkwater moet worden verstaan. Tevens zal worden vermeld op welke wijze door gebruikmaking van bacterietypen die

zijn gespecialiseerd in het benutten van bepaalde typen organische verbindingen, nadere informatie kan worden verkregen over de aanwezigheid van gemakkelijk afbreekbare verbindingen in water bij winning, zuivering en distributie.

2. De AOC-bepaling met behulp van *Pseudomonas fluorescens* stam P17

Bij de AOC-bepaling wordt gebruik gemaakt van een bacteriestam (stam P17) van de soort *Pseudomonas fluorescens*. Vertegenwoordigers van deze soort komen sterk verbreid voor in water, inclusief drinkwater [Van der Kooij, 1978; 1980] en bodem en zijn in staat om een zeer grote verscheidenheid aan organische verbindingen te benutten als koolstof- en energiebron [Stanier et al, 1966]. Ook stam P17 bleek in staat te groeien op een groot aantal verschillende verbindingen [Van der Kooij et al, 1982a]. Vastgesteld werd bovendien dat dit organisme in staat is veel verbindingen ook bij zeer lage concentraties te benutten. Bij substraatconcentraties variërende van enkele tot enkele tientallen microgrammen koolstof per liter heeft het organisme nog een groeisnelheid die de helft is van de maximale groeisnelheid (tabel I). Dat stam P17 in staat is zich te vermeerderen bij lage concentraties aan afbreekbare verbindingen bleek ook duidelijk uit groeiproeven in drinkwater waaraan verschillende mengsels van gemakkelijk afbreekbare verbindingen waren toegevoegd. In aanwezigheid van 45 verschillende verbindingen, ieder aanwezig

TABEL I – Groeiconstanten van *Pseudomonas fluorescens* stam P17 voor enkele gemakkelijk afbreekbare verbindingen (bij 15°C).

Verbinding	G _{min} * (uren)	K _s **	
		(µg C/l)	µM
acetaat	5,5	4,0	0,17
DL-lactaat	3,6	12,4	0,59
malonaat	12,9	7,5	0,16
succinaat	3,1	22,8	0,48
p-hydroxybenzooat	4,4	64,4	0,76
L-arginine	3,8	2,8	0,04
L-aspartaat	3,2	16,4	0,34
L-glutamaat	3,3	29,5	0,49
D-glucose	4,9	57,4	0,79

* = minimale verdubbelingstijd.

** = substraatconcentratie (S) waarbij de verdubbelingstijd (G) gelijk is aan tweemaal G_{min} op basis van de relatie $G = G_{min} + G_{min} \cdot K_s/S$.

TABEL II – Groei van *Pseudomonas fluorescens* stam P17 in drinkwater bij 15°C na toevoeging van mengsels van afbreekbare verbindingen.

Mengsel	Toevoeging		Groei**	
	Conc.* (µg C/l)	Generatietijd (uren)	Max. kolonieggetallen (N _{max} in 10 ⁴ CFU/ml)	
Geen	—	50 ; 52	2,3 ; 2,3	
Aminozuren	19	7,1 ; 7,0	15 ; 16	
Carbonzuren	14	25,0 ; 24,0	4,6 ; 5,8	
Koolhydraten	6	37,9 ; 46,5	4,1 ; 4,8	
Aromatische zuren	7	43,6 ; 36,0	3,5 ; 4,2	
Totale mengsel	46	6,7 ; 7,0	22 ; 23	

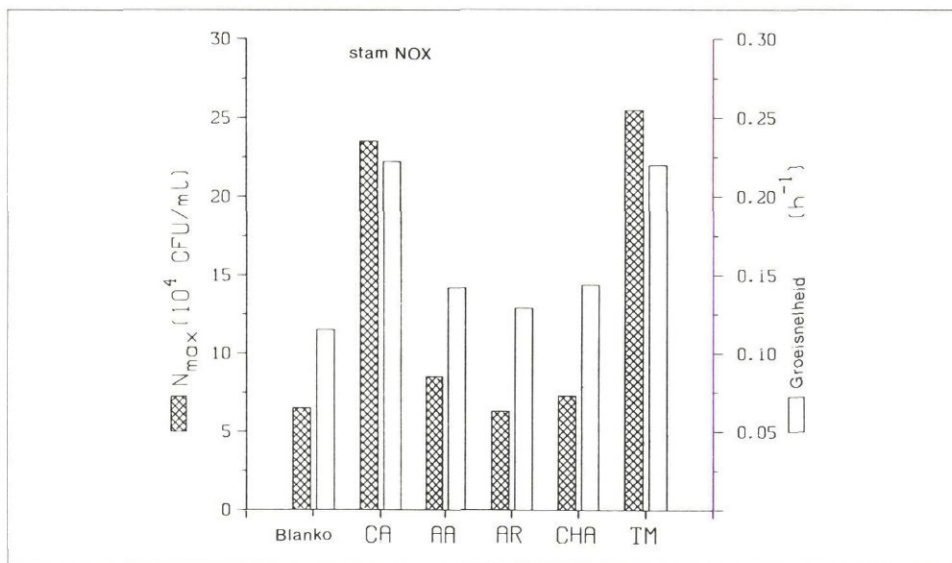
* Concentratie per verbinding: 1 µg C per liter.

** Experimenten in tweevoud.

in een concentratie van 1 µg C per liter (met uitzondering van glutamaat waarvan 2 µg C per liter aanwezig was) werd een generatietijd van 7 uur waargenomen (tabel II). Tevens kon worden berekend dat zeer waarschijnlijk alle in dit mengsel aanwezige verbindingen, die als koolstof bij hoge concentraties dienst kunnen doen, ook bij deze zeer lage concentratie werden opgenomen [Van der Kooij et al, 1982a]. Op grond van deze gegevens kan worden geconcludeerd dat groeiproeven met *P. fluorescens* stam P17 uitsluitel geven over het gehalte aan gemakkelijk afbreekbare verbindingen waaronder aminozuren, een groot aantal carbonzuren, koolhydraten en alcoholen. Daar deze verbindingen door een grote verscheidenheid aan micro-organismen kunnen worden benut is het aan te bevelen drinkwater met een zeer laag AOC-gehalte te distribueren.

Aangetoond is dat het AOC-gehalte van drinkwater meestal slechts een zeer gering gedeelte (< 1%) omvat van het totale gehalte aan opgeloste organische koolstof verbindingen (DOC) in water [Van der Kooij et al, 1982b]. Dit als gevolg van het feit dat gemakkelijk afbreekbare verbindingen door biologische processen grotendeels uit het water worden verwijderd. Verbindingen die zelfs onder natuurlijke omstandigheden (bijvoorbeeld in water, bodem en filters) uiterst traag worden afgebroken, men denke hierbij met name aan humus- en fulvine zuren, zijn vermoedelijk in veel mindere mate verantwoordelijk voor het optreden van nagroei in drinkwater tijdens distributie dan verbindingen die ook bij lage concentraties nog snel door bacteriën kunnen worden benut.

Stam P17 kan enkele gemakkelijk afbreekbare verbindingen en met name oxaalzuur/mierezuur/glyoxylzuur en zetmeel respectievelijk zetmeelachtige verbindingen, die een rol kunnen spelen bij de bereiding van drinkwater niet benutten. Voor de bepaling van zeer lage concentraties van deze verbindingen zijn geen eenvoudige chemische methoden voorhanden. Daarom zijn bacteriën geselecteerd met behulp waarvan kwantitatieve informatie over de aanwezigheid van deze verbindingen in water kan worden verkregen.



Afb. 1 - De invloed van mengsels van verbindingen op de groei van stam NOX in drinkwater bij 15 °C. Per verbinding is 1 μ g C per liter aanwezig. CA = mengsel van 14 carbonzuren; AA = mengsel van 18 aminozuren; AR = mengsel van 7 aromatische zuren; CHA = mengsel van 6 koolhydraten en alcoholen; TM = totale mengsel (45 verschillende verbindingen).

3. De bepaling van oxaalzuur

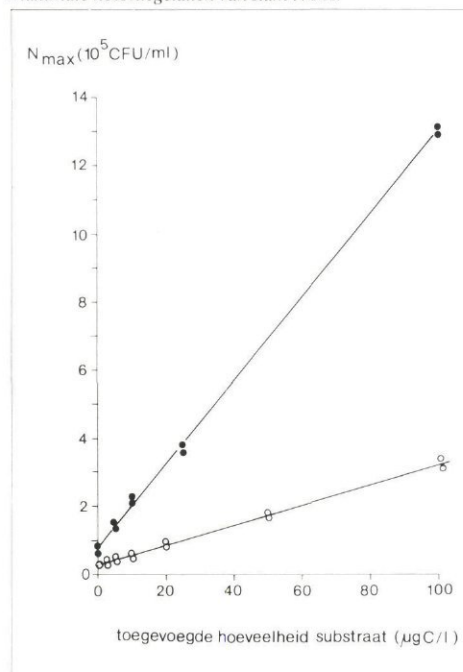
Toepassing van ozon bij de bereiding van drinkwater leidt door gedeeltelijke oxidatie van met name humus- en fulvinezuren tot de vorming van gemakkelijk afbreekbare verbindingen zoals mierzuur, azijnzuur, glyoxylzuur en oxaalzuur [Ahmed and Kinney, 1950; Kuo et al, 1977]. Ook malonzuur, barnsteenzuur, en benzoëzuur kunnen worden gevormd [Noordsij, pers. meded.]. Met de AOC-bepaling kan deze nevenwerking van ozon duidelijk worden aangetoond [Van der Kooij, 1979] daar *P.fluorescens* stam P17 een deel van de gevormde verbindingen (azijnzuur, malonzuur, barnsteenzuur, benzoëzuur) en eventueel ook andere, nog niet geanalyseerde verbindingen die worden gevormd, kan benutten. Mierzuur, glyoxylzuur en oxaalzuur, waarvan oxaalzuur in kwantitatief opzicht het belangrijkste is, maken echter geen deel uit van het met P17 vastgestelde AOC-gehalte. Voor de bepaling van laatstgenoemde verbindingen is daarom een bacteriestam geïsoleerd uit drinkwater waaraan een kleine hoeveelheid oxaalzuur (25 μ g C/l) was toegevoegd en dat bij 15 °C werd bebroed. Het geïsoleerde organisme, stam NOX, werd geïdentificeerd als een vertegenwoordiger van een *Spirillum*-soort [Van der Kooij et al in prep.].

Met behulp van mengselproeven werd vastgesteld dat stam NOX vrijwel uitsluitend carbonzuren kan benutten voor de groei (afb. 1). Door groeiproeven in water waaraan de in het mengsel aanwezige carbonzuren afzonderlijk werden toegevoegd, werd vastgesteld welke carbonzuren wel en welke niet bij een lage concentratie de groei van stam NOX beïnvloeden (tabel III). Tevens

TABEL III - De invloed van een aantal carbonzuren bij een concentratie van 10 μ g C per liter op de groei van stam NOX in drinkwater bij 15 °C.

Groeiversterkend	Geen invloed op de groei
Mierzuur	β -Hydroxyboterzuur
Azijnzuur	Wijnsteenzuur (L)
Oxaalzuur	Maleïnezuur
Glyoxylzuur	α -Ketoglutaarzuur
Glycolzuur	Valeriaanzuur
Propionzuur	Adipinezuur
Pyrodruivezuur	Citroenzuur
Melkzuur (DL)	
Malonzuur	
Fumaarzuur	
Barnsteenzuur	
Appelzuur	

Afb. 2 - De relatie tussen de aan drinkwater toegevoegde hoeveelheid acetaat (●) respectievelijk oxalaat (○) en de maximale koloniegroei van stam NOX.



TABEL IV - Enkele opbrengstfactoren van stam NOX.

Verbinding	Opbrengstfactor (CFU/ μ g C)
Acetaat	$1,2 \times 10^7$
Oxalaat	$2,9 \times 10^6$

werden de maximale koloniegroei van stam NOX bij verschillende lage acetaat- en oxalaatconcentraties, toegevoegd aan het drinkwater, gemeten (afb. 2). Met deze gegevens werden de groei-opbrengstfactoren (Y) op oxalaat en acetaat berekend (tabel IV). Analooq aan de werkwijze met stam P17, kunnen de maximale koloniegroei van stam NOX in water met behulp van deze groei-opbrengstfactoren worden omgerekend in hoeveelheid acetaat koolstof equivalenten of oxalaat koolstof equivalenten per liter.

Uit tabel V blijkt dat door ozonisatie het AOC-gehalte (gemeten met stam P17) circa zesmaal hoger wordt en enkele procenten van het TOC-gehalte vormt. Het gehalte aan carbonzuren gemeten met stam NOX was na ozonisatie 14 x hoger dan ervoor en indien veel oxaalzuur wordt gevormd dan is deze toename berekend op koolstofbasis maximaal een factor $724/12,5 = 60$ x. De beste benadering van de werkelijke bij ozonisatie gevormde hoeveelheid gemakkelijk afbreekbare organische koolstof wordt verkregen door de uitvoering van een combinatie van groeiproeven met stam P17 en stam NOX. Aangenomen wordt hierbij dat het maximale koloniegroei van stam NOX gegroeid in water waarin stam P17 reeds het maximum koloniegroei had bereikt, een maat is voor het gehalte aan oxaalzuur. In deze situatie (tabel V) bedraagt het totale AOC-gehalte na ozon 95 μ g acetaat C equivalenten + 220 μ g oxalaat C equivalenten = circa 315 μ g C per liter. De AOC-verhoging door ozonisatie bedraagt dus een factor van circa $315/15,2 = 21$ x. Het is mogelijk dat onder andere omstandigheden (afhankelijk van onder andere ozongehalte, TOC-gehalte

TABEL V - Bepaling van de invloed van ozonisatie op het AOC-gehalte van water met behulp van de bacterietypen *P.fluorescens* stam P17 en stam NOX.

	Voor ozonisatie	Na ozonisatie
TOC (mg C/l)	2,9	2,5
Stam P17		
N_{max} (CFU/ml)	$6,4 \times 10^4$	$4,0 \times 10^5$
AOC (μ g acetaat C/l)	15,2	95
AOC/TOC x 100%	0,52	3,8
Stam NOX		
N_{max} (CFU/ml)	$1,5 \times 10^5$	$2,1 \times 10^6$
AOC (μ g acetaat C/l)	12,5	175
AOC/TOC x 100%	0,43	7
Stam NOX na stam P17*		
N_{max}	—**	$6,4 \times 10^5$
AOC (μ g acetaat C/l)	—	53
AOC (μ g oxalaat C/l)	—	220

* Stam NOX is geënt in het water waarin stam P17 N_{max} had bereikt.

** —, niet bepaald.

respectievelijk samenstelling en water-temperatuur) andere hoeveelheden oxaalzuur worden gevormd. Dit is een punt van nader onderzoek.

4. De bepaling van zetmeelachtige verbindingen

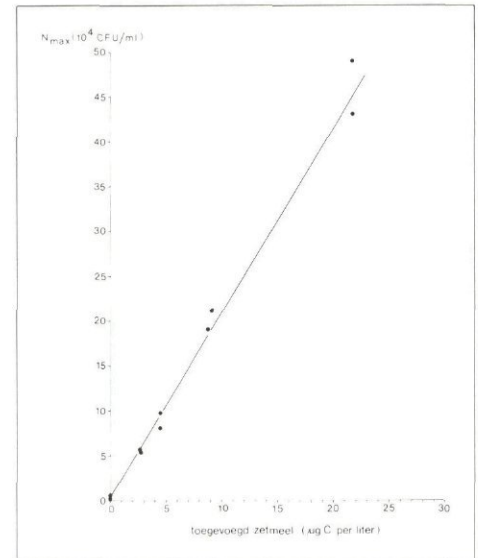
Zetmeelderivaten en met name Wisprofloc en Perfectamyl worden bij verschillende waterleidingbedrijven als vlokhelpmiddel bij het coagulatieproces toegepast. Toepassing als filtratiehulpmiddel is eveneens mogelijk. Deze vlokhelpmiddelen worden voornamelijk gebruikt in jaargetijden waarin de watertemperatuur lager dan 10 °C is. De gedoseerde hoeveelheden bedragen maximaal enkele milligrammen per liter. Onbekend is in hoeverre restanten van deze vlokhelpmiddelen aanwezig zijn in water na de vlokverwijdering en of ze indien aanwezig in zodanige mate in het drinkwater geraken dat ze de vermeerdering van bacteriën in het leidingnet kunnen stimuleren. *P. fluorescens* stam P17 is niet in staat te groeien op zetmeel en zetmeelderivaten daar het geen enzymen bezit die deze hoogmoleculaire verbindingen extracellulair kunnen splitsen. Hiertoe zijn onder meer bacteriën behorende tot de geslachten *Flavobacterium* en *Aeromonas* wel in staat [Van der Kooij and Hijnen, 1981; Van der Kooij et al, 1980]. Aangetoond is dat een bacterietype behorende tot het geslacht *Flavobacterium* nog kan groeien op zetmeel bij concentraties beneden 10 µg C per liter. Van een andere bacteriestam (stam S12) die eveneens tot het geslacht *Flavobacterium* behoort en die werd geïsoleerd uit het langzame zandfilteraat van de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage na toevoeging van 100 µg zetmeel C per liter en incubatie bij 15 °C werd nagegaan welke verbindingen als koolstofbron konden dienen bij zeer lage concentraties [Van der Kooij and Hijnen, 1983]. Bij experimenten met een substraatconcentratie van 1 g per liter bleek dat van 64 verschillende verbindingen alleen groei optrad met 12 koolhydraten en glycerol. Uit proeven met mengsels van carbonzuren, aromatische zuren, aminozuren en koolhydraten en alcoholen bleek dat ook bij lage substraatconcentraties alleen koolhydraten werden benut. Alle koolhydraten die bij een concentratie van 1 g per liter werden benut door stam S12 werden vervolgens getest bij 10 µg per liter. Alleen in aanwezigheid van saccharose, maltose, raffinose, zetmeel en glycerol trad vermeerdering van stam S12 op.

Bovendien bleek dat de maltodextrinen, maltotriose, maltotetraose, maltopentaose en maltohexaose bij een concentratie van 10 µg C per liter snel werden benut door stam S12. Ook in aanwezigheid van de zetmeelderivaten Perfectamyl en Wisprofloc bleek versterkte groei van stam S12 op te

treden, zowel bij hoge als bij lage (10 µg/l) concentraties.

Op grond van de verkregen resultaten kan worden geconcludeerd dat *Flavobacterium* stam S12 een voorkeur heeft voor maltose en zetmeelachtige verbindingen. Door uitvoering van groeiproeven met verschillende zetmeelconcentraties werd de groei-opbrengstfactor op zetmeel vastgesteld op 2×10^{10} CFU/mg zetmeel C (afb. 3). Met behulp van deze groei-opbrengstfactor kunnen de maximale kolonietallen van stam S12 worden omgerekend in hoeveelheid zetmeel C equivalenten per liter.

In een aantal watertypen waaraan geen zetmeelderivaten waren toegevoegd werden groeiproeven uitgevoerd met stam S12 met als doel vast te stellen in welke mate hierin zetmeelachtige verbindingen van nature aanwezig zijn. Bij dit onderzoek werden ook enkele pompstations betrokken waarbij in de winterperiode vlokhelpmiddel wordt gedoseerd. Uit de in tabel VI weergegeven resultaten blijkt dat stam S12 zich in enkele watertypen weliswaar vermeerderde maar dat de hoeveelheden zetmeelachtige verbindingen hierin uitermate laag zijn (steeds kleiner dan 1 µg C/l en meestal kleiner dan 0,1 µg C/l). Dit geldt ook voor het drinkwater bereid bij enkele pompstations waarbij in de winterperiode zetmeelderivaten worden gedoseerd. Resultaten van metingen uitgevoerd in een winterperiode zijn in tabel VII weergegeven. Uit deze tabel blijkt dat de Wisprofloc



Afb. 3 - De maximale kolonietallen van *Flavobacterium* stam S12 in drinkwater na toevoeging van verschillende hoeveelheden zetmeel. De opbrengstfactor van stam S12 op zetmeel bedraagt 2×10^{10} CFU/mg zetmeel C.

dosering te Weesperkarspel duidelijk leidde tot een verhoging van het gehalte aan zetmeelachtige verbindingen. Na de coagulatie/sedimentatiefase was hiervan nog een duidelijk deel aantoonbaar. Snelfiltratie en langzame zandfiltratie leidden echter tot een zodanig sterke reductie dat in het nafiltraat geen zetmeelachtige verbindingen konden worden aangetoond. Uit metingen in water uit diverse

TABEL VI - Aanwezigheid van zetmeelachtige verbindingen in water (geen dosering).

Locatie	Watertype	N _{max} (CFU/ml) van stam S12	µg zetmeel C eq./l
Scheveningen	nafilteraat	180 - 230	< 0,01
Leiduin	nafilteraat	geen groei	< 0,01
Weesperkarspel	na lamellenseparatie	8.300 - 8.500	0,4
Weesperkarspel	nafilteraat	170 - 190	< 0,01
Kralingen	na lamellenseparatie	5.200 - 6.900	0,3
Kralingen	na AK-filtratie	420 - 720	0,03
Kralingen	idem	290 - 380	0,02
Epe	rein water	geen groei	< 0,01
Harderwijk	rein water	geen groei	< 0,01

TABEL VII - De concentratie van zetmeelachtige verbindingen in water bij een tweetal pompstations tijdens een winterperiode bepaald door middel van groeiproeven met *Flavobacterium* stam S12.

	N _{max} (CFU/ml) van stam S12	µg zetmeel C eq./l
Zuiveringsstadium*		
Voor ozonisatie	2,1 - 2,3 x 10 ⁴	1,1
Na ozonisatie	2,0 x 10 ⁴	1,0
Na wisproflocdosering (3 mg/l)	8,3 - 16 x 10 ⁵	60 (5%)
Na coagulatie/sedimentatie	4,1 - 4,8 x 10 ⁵	22
Na snelfiltratie	2,8 - 8,0 x 10 ³	0,5
Na langzame zandfiltratie	310	0,01
Zuiveringsstadium**		
Ruw water	3,0 - 3,3 x 10 ⁴	1,6
Na detentiekelder	geen groei	-
Na perfectamyldosering (2 mg/l)	1,7 - 1,9 x 10 ⁴	9,0
Na vlokkenfilters	7,9 - 8,2 x 10 ⁴	4,0
Na snelfiltratie	1,8 - 1,9 x 10 ⁴	0,9
Hoge druk	1,9 - 2,0 x 10 ⁴	1,0

* Pompstation Weesperkarspel

** Pompstation Berenplaat.

TABEL VIII – Invloed van actieve kool en ijzervlok op de bepaling van het gehalte aan zetmeelachtige verbindingen in water door middel van groeiproeven met *Flavobacterium stam S12*.

Toevoeging*	N _{max} (CFU/l) van stam S12	µg zetmeel C eq./l
2 mg Perfectamyl/l	1,9 x 10 ⁷	1.000
idem + actieve kool (poeder), Ca(OH) ₂ en FeCl ₃ **	1,2 x 10 ⁶	60 (6%)
0,2 mg Perfectamyl/l	2,0 x 10 ⁶	100

* Toevoeging aan drinkwater; na de toevoeging wordt gepasteuriseerd zoals gebruikelijk bij de AOC-bepaling.

** Toevoegingen bij benadering overeenkomend met toevoegingen tijdens de drinkwaterbereiding bij de Berenplaat (DWL Rotterdam).

behandelingsstadia bij pompstation Berenplaat kwam eveneens naar voren dat zetmeelachtige verbindingen in een zeer geringe concentratie in het drinkwater aanwezig kunnen zijn. Hier ontbreekt echter een vergelijking met de situatie in de zomerperiode. Samenattend kan worden geconcludeerd dat er enige aanwijzingen zijn dat zetmeelachtige verbindingen in lage concentraties aanwezig zijn na het coagulatie/flocculatie-proces en dat sporen van deze verbindingen inderdaad in het drinkwater kunnen geraken. Meerdere metingen zijn echter nodig om vast te stellen in hoeverre de verkregen resultaten een goed beeld van de werkelijke situatie geven.

Een verschijnsel dat nadere aandacht verdient is het feit dat na dosering van zetmeelderivaten hiervan in de meeste gevallen slechts een fractie (< 5%) werd teruggevonden bij de bepaling met behulp van stam S12. Daar onzeker is in hoeverre de dosering van deze verbindingen in de praktijk aan schommelingen en ongelijke verdeling in het water onderhevig zijn is een laboratoriumexperiment uitgevoerd, ter bepaling van de oorzaak van de in enkele gevallen waargenomen zeer geringe opbrengsten.

Uit tabel VIII kan worden geconcludeerd dat Perfectamyl in concentraties van 2 respectievelijk 0,2 mg/l goed kan worden gemeten indien gedoseerd aan drinkwater. In aanwezigheid van ijzerverbindingen en actieve poederkool in hoeveelheden zoals toegepast bij de Berenplaat werd echter ook hier slechts een zeer geringe fractie teruggevonden. Dit wijst er op dat zetmeelderivaten aan ijzervlok en actieve kool worden geadsorbeerd en in die situatie niet beschikbaar zijn voor stam S12. In hoeverre adsorptie aan ijzervlok dan wel aan actieve kool optreedt, zal nader worden onderzocht.

5. Discussie

Uit de gepresenteerde resultaten komt naar voren dat door middel van de AOC-bepaling met *P. fluorescens* stam P17 een indruk kan worden verkregen van de mate waarin een groot aantal gemakkelijk afbreekbare verbindingen (aminozuur, carbonzuren en koolhydraten), die een centrale plaats innemen bij biologische processen, in het water aanwezig zijn. Uiteraard is één enkel

bacterietype niet in staat om alle organische verbindingen, die door in het milieu aanwezige bacteriën snel of langzaam worden afgebroken te benutten. Over de aanwezigheid van enkele typen gemakkelijk afbreekbare verbindingen, die niet door stam P17 worden opgenomen en die een rol spelen bij de bereiding respectievelijk distributie van drinkwater, kan kwantitatieve informatie worden verkregen met behulp van reïncultures, die in het benutten van de betreffende verbindingen zijn gespecialiseerd. Een beperking van met groeicurven verkregen informatie is, dat het vermogen van de toegepaste organismen om te groeien in aanwezigheid van lage concentraties van bepaalde verbindingen onvolledig in kaart is gebracht. Als gevolg hiervan en de complexe samenstelling van organische verbindingen in water bij winning, zuivering en distributie is het niet uit te sluiten, dat een aantal niet-geïdentificeerde verbindingen eveneens wordt benut door het organisme dat wordt toegepast voor bepaling van een bepaald type verbindingen. De aangegeven concentraties van deze verbinding(en) moeten hierdoor dan ook steeds als maxima worden gezien. Niettemin kunnen echter door adsorptie te lage waarden worden gemeten. Tenslotte nog enkele opmerkingen over de toepassingsmogelijkheden van AOC-bepalingen:

- Allereerst kan worden gemeld dat AOC-bepalingen thans door medewerkers van diverse waterleidingbedrijven kunnen worden uitgevoerd. Uit enkele vergelijkende onderzoeken is naar voren gekomen dat onderling zeer goed overeenkomende resultaten worden verkregen.
- De AOC-bepaling is arbeidsintensief. Een bepaling (in tweevoud) neemt ruim een halve mandag in beslag. Hierbij is de tijd voor monstername niet meegerekend.
- AOC-bepalingen duren meestal minstens een week en bij zeer lage AOC-gehalten soms langer dan een maand. Voor een snelle controle op de werking van de zuivering is de bepaling niet bruikbaar. Bij systematische toepassing kan echter de nodige informatie worden verkregen.
- AOC-bepalingen kunnen inzicht verschaffen in de mate waarin microbiologische processen een rol spelen bij problemen die zich voordoen bij winning, zuivering en distributie van water.

– De voor de AOC-bepaling ontwikkelde werkwijze kan worden toegepast voor het vaststellen van de groeimogelijkheden in drinkwater van bepaalde ongewenste bacteriesoorten waaronder *Pseudomonas aeruginosa*, bacteriën van de coligroep, *Mycobacterium kansasii* en de thans actuele soort *Legionella pneumophila*, de veroorzaker van de legionnaires-ziekte. Hierbij kan worden vastgesteld welke relatie bestaat tussen het AOC-gehalte zoals gemeten met *P. fluorescens* stam P17 en de mate waarin de ongewenste bacterietypen zich in het water kunnen vermeerderen.

Verantwoording

Het beschreven onderzoek is uitgevoerd als onderdeel van het door de VEWIN aan het KIWA opgedragen speurwerkprogramma.

De auteurs zijn dank verschuldigd aan de betrokken waterleidingbedrijven voor het beschikbaar stellen van monsters afkomstig uit praktijksituaties.

Literatuur

- Ahmed, M. D. and Kinney, C. R. (1950). *Ozonisation of human acids prepared from oxidized bituminous coal*. J. Am. Chem. Soc. 72: 559-561.
- Kuo, P. P. K., Chian, E. S. K. and Chang, B. J. (1977). *Identification of end products resulting from ozonisation and chlorination of organic compounds commonly found in water*. Environ. Sci. Technol. 11: 1171-1181.
- Stanier, R. Y., Palleroni, N. J. and Doudoroff, M. (1966). *The aerobic pseudomonas: a taxonomic study*. J. Gen. Microbiol. 43: 159-271.
- Van der Kooij, D. (1977). *The occurrence of Pseudomonas species in surface water and in tap water as determined on citrate media*. Antonie van Leeuwenhoek, J. Microbiol. 43: 187-197.
- Van der Kooij, D. (1979). *Characterization and classification of fluorescent pseudomonas isolated from tap water and surface water*. Antonie van Leeuwenhoek, J. Microbiol. 45: 225-240.
- Van der Kooij, D. (1979). *Ontwikkeling van een methode om de nagroeimogelijkheid van bacteriën in drinkwater te bepalen*. H₂O 12: 164-167.
- Van der Kooij, D., Visser, A. and Hijnen, W. A. M. (1980). *Growth of Aeromonas hydrophila at low concentrations of substrates added to tap water*. Appl. Environ. Microbiol. 39: 1198-1204.
- Van der Kooij, D. and Hijnen, W. A. M. (1981). *Utilization of low concentrations of starch by a Flavobacterium species isolated from tap water*. Appl. Environ. Microbiol. 41: 216-221.
- Van der Kooij, D., Visser, A. and Oranje, J. P. (1982a). *Multiplication of fluorescent pseudomonads at low substrate concentrations in tap water*. Antonie van Leeuwenhoek, J. Microbiol. 48: 229-243.
- Van der Kooij, D., Visser, A. and Oranje, J. P. (1982b). *Determining the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water*. J. Am. Water Works Assoc. 74: 540-545.
- Van der Kooij, D., Oranje, J. P. and Hijnen, W. A. M. (1982c). *Growth of Pseudomonas aeruginosa in tap water in relation to utilization of substrate at concentrations of a few micrograms per liter*. Appl. Environ. Microbiol. 44: 1086-1095.
- Van der Kooij, D. and Hijnen, W. A. M. (1983). *Nutritional versatility of a starch-utilizing Flavobacterium at low substrate concentrations*. Appl. Environ. Microbiol. 45: 804-810.
- Van der Kooij, D. and Hijnen, W. A. M., in press. *Substrate utilization of oxalate-utilizing bacteria in relation to their growth in ozonated water*.