

Veranderingen van de bacteriologische en chemische samenstelling van drinkwater tijdens distributie

Inleiding

Zoals is beschreven door Van Driel en Vlot (1978) bleef de waterafname door een zinker in het Rotterdamse voorzieningsgebied (Beerkanaal - Maasvlakte) sterk achter bij de verwachting. Daardoor kon de gemiddelde verblijftijd van het water in het distributienet ter plaatse oplopen tot ca. 40 dagen. Bij routine-onderzoekingen bleek vooral in de zomer een snelle daling van het zuurstofgehalte van het water op te treden. Daarom werd besloten een permanente spui aan het einde van de zinker aan te brengen,



I.R. A. H. HAVELAAR
Gemeente Drinkwaterleiding
Rotterdam - Scheikundige en
Bacteriologische Dienst
huidig adres: Rijks Instituut voor
de Volksgezondheid, Bilthoven



I.R. A. D. HULSMANN
Gemeente Drinkwaterleiding
Rotterdam - Scheikundige en
Bacteriologische Dienst
huidig adres: Vakgroep Aquatische
Oecologie, Universiteit v. A'dam

waardoor de gemiddelde verblijftijd werd verkort tot ca. 4 dagen.

De grote hoeveelheid water die met het spuien verloren ging (700 m³/dag) was de aanleiding tot het besluit de zinkerdiameter te verkleinen (zie verder Van Driel en Vlot 1978). Alvorens deze verkleining te realiseren werd een onderzoek uitgevoerd naar de gevolgen van de lange verblijftijd voor de kwaliteit van het gedistribueerde water.

Opzet van het onderzoek

Het onderzoek werd uitgevoerd in 1977 en valt uiteen in twee gedeeltes. In het eerste gedeelte werd aandacht besteed aan de kwaliteitsverslechtering bij lange standtijden in de zinker en de invloed van spuien daarop. Er waren vijf perioden te onderscheiden:

- periode 1: 14 maart - 30 maart (geen spui); tussen de periode 1 en 2 werd gespuid
- periode 2: 7 april - 26 april (geen spui);
- periode 3: 26 april - 13 juni (wel spui);
- periode 4: 13 juni - 28 juni (geen spui);
- periode 5: 28 juni - 21 juli (wel spui).

Teneinde de metingen mogelijk te maken, werden voor en na de zinker monsterkastjes aangebracht zoals die standaard bij ons bedrijf in gebruik zijn. De berekende gemiddelde verblijftijden vanaf het productiebedrijf Berenplaat waren op de monsterpunten in periode waarin niet gespuid werd ca. 250 uur (voor zinker) en ca. 1.000 uur

(na zinker) en in perioden waarin wel gespuid werd ca. 70 en 90 uur.

In het tweede gedeelte van het onderzoek werd aandacht besteed aan de kwaliteitsveranderingen in het water gedurende het transport naar de Maasvlakte. Het doel was na te gaan bij welke verblijftijd nog juist geen kwaliteitsverandering merkbaar was. Op 31 mei, 22 juni en 17 juli werd een aantal monsters genomen in diverse gebouwen op het traject Berenplaat - Maasvlakte.

Methoden

Voor zover hieronder niet besproken werden alle parameters bepaald volgens standaardmethodieken.

Koloniegetalbepalingen

a. bij 37 °C. Van een watermonster werd 1 ml (of een verdunning in gesteriliseerd demiwater) overgoten met 15 ml Plate Count Agar (PCA, Merck art. no. 5463) van 45 °C. Na stollen werd 48 uur geïncubeerd bij 37 °C, waarna kolonies geteld werden.

b. bij 22 °C. De ervaring op ons laboratorium heeft geleerd dat bij overgieten van een watermonster met gesmolten agar van 45 °C, het koloniegetal bij 22 °C vaak sterk gereduceerd wordt. Daarom werden alle bepalingen uitgevoerd door 0,1 ml monster (of verdunning) uit te strijken op een laag PCA. Teneinde het spreiden van kolonies tegen te gaan, werden de platen voor het beënten gedurende 1 uur bij 60 °C gedroogd (geopend in omgekeerde toestand). Kolonies werden geteld na incubatie bij 22 °C gedurende 72 uur (KG 22, 3d) en eveneens na 168 uur (KG 22, 7d). Bij een verlenging van de incubatieperiode van 3 naar 7 dagen zullen ook langzaam groeiende bacteriën een kolonie kunnen vormen.

Chemische bepalingen

Het totaal-chloorgehalte werd gemeten met de ortho-tolidinemethode (NEN-1056 nr. 66). Als standaard werd een Lovibond-comparator gebruikt.

Het totaal organisch koolstofgehalte (TOC) werd bepaald op een TOC-sin II.

De troebelings werd gemeten op een Hach 2100 A.

De Langelier-index werd berekend volgens NEM (1972).

De verblijftijden op de monsterpunten werden geschat op basis van onderzoek in juni-juli 1976. Bij beëindigen van de fluoridering werd toen in het gehele Rotterdamse distributienet de tijd bepaald waarop ongefloreerde water arriveerde (v. d. Berg en v. d. Hoek, 1976).

Resultaten

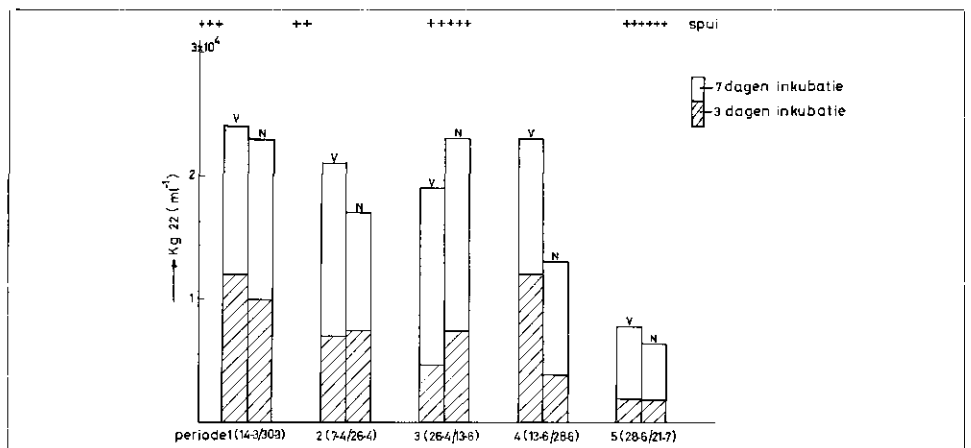
Bacteriologische metingen

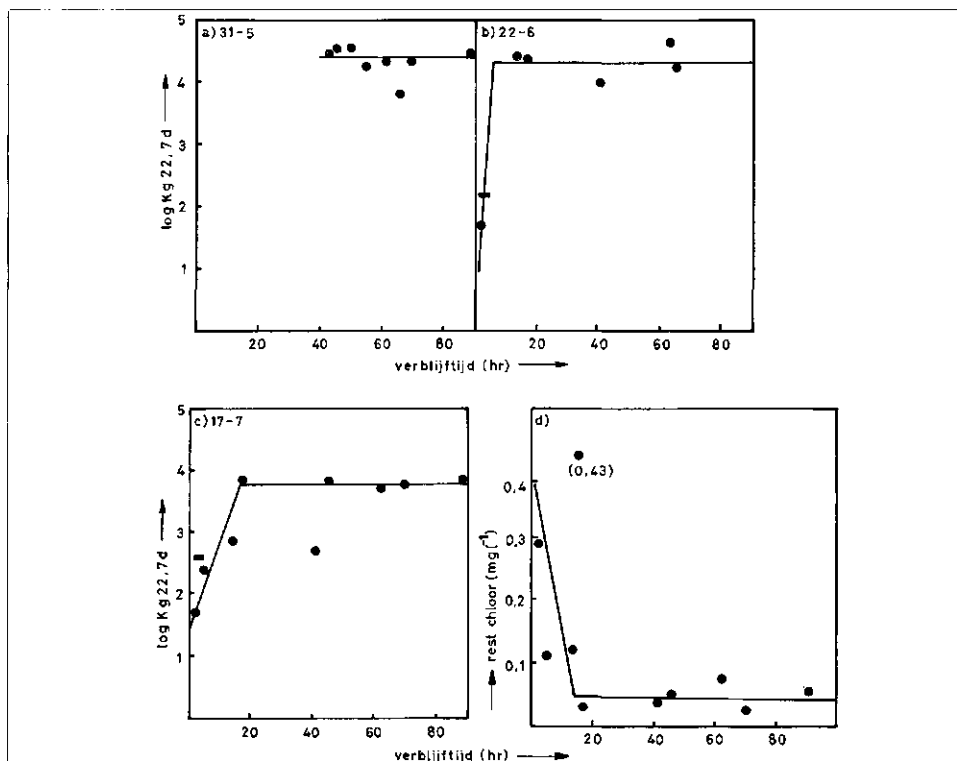
Tijdens het onderzoek op de Maasvlakte bleek het koloniegetal bij 37 °C (KG 37) slechts een geringe verhoging te vertonen. In het uitgaande water van de Berenplaat werden altijd waarden gevonden, kleiner dan 10/ml; op de Maasvlakte werden schommelingen tot maximaal 100/ml waargenomen. Gezien de beperkte informatie die KG 37 geeft, zal deze parameter verder buiten beschouwing blijven.

Als voornaamste parameter voor het beschrijven van de bacteriegroei is KG 22, 7d gehanteerd. Deze parameter was gemiddeld (na logaritmische transformatie) over de gehele proefperiode, ongeveer drie maal zo hoog als KG 22, 3d. De verhoudingen van de individuele waarnemingen varieerden echter sterk.

De waarden van KG 22, 7d schommelden meestal tussen 1 en 3 x 10⁴/ml. Het verloop binnen die grenzen was bijzonder grillig en moet toegeschreven worden aan de normale spreiding van de koloniegetalbepaling.

Afb. 1 - Het gemiddelde koloniegetal bij 22 °C gedurende een vijftal perioden.





Afb. 2 - Het koloniegetal bij 22 °C en het chloorgehalte als functie van de verbliftijd in het distributienet.

Voor de vijf eerder genoemde perioden is daarom door middel van een logaritmische transformatie het gemiddelde koloniegetal berekend (zie afb. 1).

In tegenstelling tot de verwachting bleek het koloniegetal na de zinker niet hoger, maar vaak juist iets lager te zijn dan dat voor de zinker. In de perioden 1, 2 en 4 — waarin niet gespuid werd — werd zowel voor als na de zinker steeds gemiddeld 2×10^4 /ml gevonden. Ook in periode 3 — wel spui — werd ongeveer 2×10^4 /ml gevonden, zodat in die periode geen verbetering van de bacteriologische kwaliteit optrad door spuien. In de periode 5 — wel spui — werden weliswaar lagere aantallen bacteriën gevonden, doch van een belangrijke verbetering kan niet worden gesproken. Vergeleken met de gemiddelde kwaliteit van het water bij verlaten van het productiebedrijf (KG 22, 3d < 5 /ml) werd ook in die periode een sterke nagroei geconstateerd. Uit het feit, dat spuien na de zinker geen verbetering veroorzaakte van de bacteriologische kwaliteit en uit het feit, dat ook voor de zinker al hoge koloniegetallen werden gevonden, volgt dat in het water, na verlaten van de Berenplaat in vrij korte tijd een bacteriegroei optrad, die leidde tot een constant koloniegetal dat gedurende langere tijd gehandhaafd bleef. Om na te gaan hoe de bacteriegroei tijdens transport naar de Maasvlakte verliep werd driemaal een serie monsters genomen op

punten met verschillende verbliftijden ten opzichte van de Berenplaat. Op 31 mei werd een aantal monsterpunten onderzocht met verbliftijden groter dan 40 uur (afb. 2a). In deze metingen werd het bestaan van een plateau in het koloniegetal bevestigd. Blijkbaar was de vermeerdering van het aantal bacteriën zo snel, dat het plateau al na minder dan 40 uur werd bereikt.

In de volgende series werd daarom geheel naar de Berenplaat teruggewerkt (afb. 2b en 2c). Ook in deze twee series werd het bestaan van een plateau in de bacteriegroei bevestigd. Het plateau werd al bereikt na een verbliftijd van slechts 10 - 15 uur. Ook op punten waar het water een verbliftijd had van 2 - 5 uur werd al een verhoging van het aantal bacteriën geconstateerd. Op de Berenplaat was KG 22, 3d ≤ 5 /ml; op de meetpunten met een verbliftijd van het water van 2 - 5 uur werd 50 - 100/ml gevonden.

Tijdens het onderzoek aan de Beerzinker is naast de koloniegetallen regelmatig aandacht besteed aan voorkomen van de bacteriën van de coligroep. In alle gevallen bleken deze afwezig te zijn in 100 ml. Schimmels en actinomyceten kwamen regelmatig voor, echter nooit in zeer grote aantallen. Er werd geen verband gevonden tussen het voorkomen van deze micro-organismen en de verbliftijd in het distributienet.

Het verband tussen bacteriegroei en restchloorgehalten

Het restchloorgehalte op de monsterpunten varieerde sterk over de monsterdata. In afb. 2d is het gemiddelde van de waarnemingen over drie monsterdata gegeven. Daaruit valt af te lezen, dat na verlaten van de Berenplaat een snelle daling van het chloorgehalte intrad, die na ca. 15 uur in een plateau overging van 0,05 - 0,10 mg/l. Een combinatie van de in afb. 2 weergegeven metingen leidt tot de conclusie, dat bacteriegroei en chlooruitputting beide in ca. 15 uur een stabiel niveau bereiken.

Chemische metingen (zie afb. 3a en 3b)

De temperatuur van het water steeg gedurende de gehele proefperiode regelmatig (zie tabel). Afwijkingen van de temperatuur van het Berenplaatwater, groter dan 1 °C, werden op de Maasvlakte niet geconstateerd.

maand	t (°C)
maart	7,5
april	8,5
mei	11,5
juni	14,5
juli	18,5

Alle gemeten somparameters voor het organische stofgehalte (KMnO₄-getal, TOC en UV-extinctie bij 240 nm) bleken nauwelijks aan veranderingen onderhevig. De waarden lagen op hetzelfde niveau als op de Berenplaat.

Gedurende de gehele proefperiode werd op de Maasvlakte een troebeling van 0,4 - 0,6 JTU gemeten. Vergeleken met de waarden op de Berenplaat (0,1 - 0,2 JTU) trad dus een lichte stijging op, die voor water in een distributienet gebruikelijk is (C. H. J. Elzen-ga, pers. mededeling). Een invloed van al of niet spuien was niet aanwezig. In de perioden waarin niet werd gespuid, daalde het zuurstofgehalte zowel voor als na de zinker vrij snel, in ongeveer twee weken werd een verzadigingspercentage van minder dan 20 % bereikt. Direct na het openen van de spuikraan trad een sterke stijging op tot ca. 100 % verzadiging. Tijdens periode 3 — spui — werd dit hoge percentage in eerste instantie gehandhaafd, doch na 10 mei trad een langzame daling in. In periode 5 was het verloop van het zuurstofgehalte vooral voor de zinker grillig, doch 100 % verzadigd werd ook toen niet meer bereikt. Het chloorgehalte op de Berenplaat schommelde rond 0,40 mg/l. In het stroomtraject naar de zinker daalde het gehalte naar ongeveer 0,05 mg/l. In spuiperioden was geen merkbare toename van het chloorgehalte te constateren. In het nagenoeg stilstaande water bleek de

pH snel te dalen. De maximale pH-daling was ongeveer één eenheid, wat beduidend hoger is dan de door de Commissie Methodieken Centrale Ontharding verwachte daling van 0,2 - 0,4 eenheden (Oskam, 1978). Ook de pH werd na aanvangen van het spuien snel hersteld.

In de perioden 1, 2 en 4 — geen spui — was het bicarbonaatgehalte nagenoeg constant, onafhankelijk van de veranderingen in het water van de Berenplaat. Na aanvang van het spuien trad direkt een verandering in, die leidde tot het gehalte dat op dat moment in het Berenplaatwater voorkwam. In de spui-perioden werd het patroon van de Berenplaat gevolgd, zij het met enige vertraging.

Na het sluiten van de spuikraan begon het kooldioxydegehalte te stijgen, maximaal werd 9 mg/l gemeten. In spui-perioden werden geen afwijkingen ten opzichte van het Berenplaatwater geconstateerd. Vanzelfsprekend had de besproken pH-daling een duidelijke invloed op de Langelier-index (SI). Was het water op de Berenplaat vrijwel altijd licht kalkafzettend, in niet-spui-perioden werd het water op de Maasvlakte duidelijk kalkagressief. De laagst gevonden waarde voor SI was — 0,8. Evenals de pH verbeterde de SI snel onder invloed van spuien.

Discussie

Een combinatie van het bovenbesproken

gedrag van een aantal parameters doet vermoeden dat er in niet-spui-perioden sprake is geweest van een oxydatie van organische stof tot onder andere kooldioxyde. Het gevormde kooldioxyde zou dan de pH-daling veroorzaakt hebben. Een tweede mogelijke uitleg voor de stijging van het kooldioxydegehalte, is een pH-daling door een andere oorzaak en een daarmee samenhangende verschuiving in het koolzuurevenwicht, waardoor het CO₂-gehalte stijgt. Deze verklaring wordt echter weerlegd door het feit dat in niet-spui-perioden het bicarbonaatgehalte nagenoeg constant was, zodat in totaal een stijging van het anorganisch koolstofgehalte van 7 - 8 mg/l (als CO₂) optrad.

Het ligt voor de hand te veronderstellen dat de genoemde oxydatie van organische stof door de grote aantallen bacteriën in het water is veroorzaakt. Bij nadere beschouwing blijkt deze uitleg echter tot een aantal tegenstrijdigheden te leiden. Om namelijk de genoemde CO₂-stijging te bereiken moet 8 x 12/44, dus ongeveer 2 mg/l organische koolstof geoxydeerd worden. Van deze afname was echter niets terug te vinden in de organische stofparameters (TOC, KMnO₄-getal, UV-extinctie). Bovendien is volgens v. d. Kooij (1978) het gehalte aan assimileerbare organische koolstof in drinkwater slechts enkele tot enkele tientallen microgrammen per liter, dus minstens een faktor honderd lager dan als geproduceerd

CO₂ werd gevonden.

Hoewel weinig exacte gegevens bekend zijn, blijken de aantallen bacteriën in het water ook te laag om de gevonden verschijnselen kwantitatief te verklaren. Toch wijzen alle metingen in de richting van een biologische oxydatie van organische stof. Aangezien het onwaarschijnlijk is dat de geschetste processen in de waterfase optreden, moeten zij voornamelijk aan de buiswand geconcentreerd zijn. De zinker is inwendig bekleed met asfaltbitumen, waarop zich in de loop der jaren een flora ontwikkeld kan hebben die daarin voorkomende verbindingen als koolstofbron kan gebruiken.

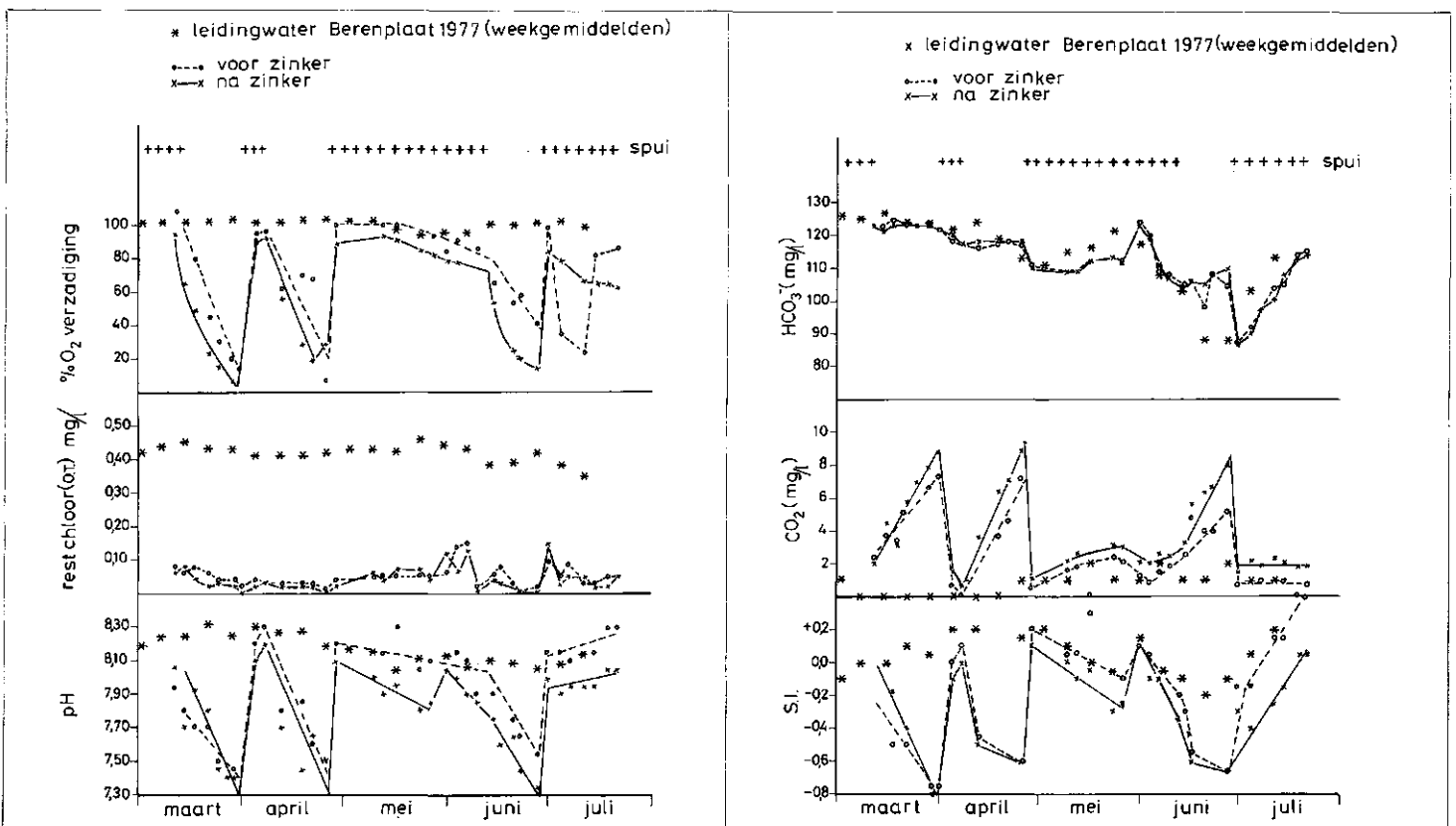
Een verdere ondersteuning van de belangrijke rol die processen aan de buiswand kunnen spelen, is te vinden in afb. 2. In ongeveer 10 uur stijgt het aantal bacteriën in het water van < 10/ml naar ca. 10⁴/ml. Indien deze stijging door groei bereikt zou worden, moet de generatietijd 1 uur bedragen. Een dergelijk snelle groei is voor waterbacteriën ondenkbaar; in flessenproeven worden minimale generatietijden van 10 uur gevonden. De stijging van het koloniegetal in het water moet o.i. grotendeels worden toegeschreven aan het loslaten van bacteriën van de buiswand.

Conclusie

Uit de in dit artikel beschreven metingen

● *vervolg op pagina 519*

Afb. 3 - Verloop van een aantal chemische parameters gedurende de onderzoeksperiode.



aan de hand van de belasting het maximum toelaatbaar gehalte aan CHCl₃ in drinkwater berekend worden. Neemt men aan dat een volwassen persoon, 70 kg wegende, 2 liter drinkwater per dag consumeert dan bekomt men de grenswaarde van 350 µg haloformen/liter. Stelt men zich, zoals Tardiff [32], scherper op en gaat men ervan uit dat de belasting begint in utero en dat bij jonge kinderen het waterverbruik relatief groter is (1 liter voor een gewicht van 7 - 10 kg) dan kan een norm van 70 µg haloformen/liter gerechtvaardigd worden. Bij dit alles wordt ervan uitgegaan dat de gebromeerde haloformen dezelfde biologische effecten hebben als chloroform.

Literatuur

1. Goodman, L. S., Gilman, A. ed., *The Pharmacological Basis of Therapeutics*, 83-84, 1971.
2. Dijke, R. A. van, Chenoweth, M. B. Poznak, A. van, *Biochem. Pharmacol.*, 13, 1239, 1964.
3. Paul, B. B. Rubinstein, D., *J. Pharmacol.*, 141, 1963.
4. Cohen, E. N., Hood, N. *Anesthesiology*, 30, 306, 1969.
5. Fry, B. J., Taylor, T., Hathway, D. E., *Arch. Int. Pharmacodyn.*, 196, III, 1972.
6. Casarett, L. J., Doull, J., ed., *Toxicology - The basic science of poisons*, 170-185, 1975.
7. Hathway, D. E., *Arzneimittelforschung*, 24, 2, 173-176, 1974.
8. Judah, J. D., McLean, A. E. M., Mac Lean, E. K., *The American Journal of Medicine*, 49, 609-616, 1970.
9. Klaasen, C. D., Plaa, G. L., *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 9, 139-151, 1966.
10. Klaasen, C. D., Plaa, G. L., *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 10, 119-131, 1967.
11. Ghering, P. J., *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 13, 287, 298, 1968.
12. Klaasen, C. D. Plaa, G. L., *Biochem. Pharmacol.*, 18, 2019-2027, 1969.
13. Watrous, W. M., Plaa, G. L., *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 22, 528-543, 1972.
14. Hill, R. N., Clemens, T. H., Lia, D. K., Vesell, E. S., Johnson, W. D., *Science*, 190, 159-161, 1975.
15. Thompson, D. J., Warner, S. D., Robinson, V. B., *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 29, 348-357, 1974.
16. Schwetz, B. A., Leong, B. K. J., Gehring, P. I., *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 28, 442-451, 1974.
17. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to man, 1, 61-64, 1972.
18. Roe, F. J. C., Palmer, A. K., Worden, A. N., Abbé, N. J. van, *First Int. Congress on Toxicology*, Toronto 1977.
19. Palmer, A. K., Street, A. E., Roe, F. J. C., Worden, A. N., Abbé, N. J. van, *ibidem*.
20. Heywood, R. et al., *ibidem*.
21. Powers, M. B., Voelker, R. W., *Society of Toxicology, 15th annual meeting*, paper nr. 210A, Atlanta, 1976.
22. Renne, R. A., Ferrel, J. F., Voelker, R. E., Powers, M. B., *Society of Toxicology, 15th annual meeting*, paper nr. 201B, Atlanta, 1976.
23. Mantel, N., Schneiderman, M. A., *Cancer Research* 35, 1379-1386, 1975.
24. Weeks, J. L., *First Int. Congress on Toxicology*, Toronto, 1977.
25. Hueper, W. C., *Health Physics*, 21, 689-707, 1971.
26. Kotin, P., *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 271, 22-28, 1976.
27. Coulston, F., *Chem. and Eng. News*, June 27, 34-37, 1977.
28. Weil, C., *Tox. Appl. Pharmacol.* 21, 454-463, 1972.
29. Mantel, N., Bryan, W. R., *J. Natl. Cancer Inst.*, 27, 455-470, 1961.
30. Mantel, N. et al., *Cancer Research* 35, 865-872, 1975.
31. Min. van Volksgezondheid en van het Gezin, *Belgisch Werk tegen Kanker; Statistische gegevens over kankergevallen in België 1969-1973*.
32. Tardiff, R. G., 96th Annual Conference of the AWWA June 20-25, 1976.
33. Stokinger, H. E., *JAWWA*, 69, 7, 399-403, 1977.
34. McCage, H. E., *Health effects of organics in drinking water*, EPA, 1977.
35. Alavanja, M., Goldstein, I., Susser, M., EPA, 1977.



● *vervolg van pagina 515*

Veranderingen van de bacteriologische en chemische samenstelling van drinkwater tijdens distributie

blijkt, dat het koloniegetal van drinkwater al spoedig na het verlaten van het productiebedrijf een merkbare stijging ondervindt. Na ongeveer 15 uur wordt een plateau van ca. 10⁴/ml bereikt dat gedurende langere tijd gehandhaafd kan worden. Als gevolg van het voorkomen van een plateau heeft het verkorten van de verblijftijd door middel van spuien geen verbetering van de bacteriologische waterkwaliteit tot gevolg tenzij de verblijftijd wordt teruggebracht tot minder dan 15 uur.

De chemische kwaliteitsveranderingen in het water daarentegen voltrekken zich in een tijdschaal van enkele weken. Als gevolg daarvan kan de chemische kwaliteit door spuien vaak wel verbeterd worden. Naar onze mening kan een bacteriepopulatie die aanleiding geeft tot een koloniegetal van 10⁴/ml niet de oorzaak zijn van de gevonden kwaliteitsverandering. Veel belangrijker zijn in dit opzicht de aan de buiswand optredende processen. Het verdient daarom aanbeveling verder onderzoek uit te voeren naar de groeibevorderende eigenschappen van verschillende leidingmaterialen.

Literatuur

- Berg, P. v. d. en Hoek, M. v. d. (1976). *Onderzoek van het drinkwater in het transport- en hoofdleidingnet van de Gemeente Drinkwaterleiding Rotterdam*. Intern rapport.
- Driel, B. v. en Vlot, D. (1978). *Relining zinker Beerkanaal*. H₂O II: 491-493.
- Kooij, D. v. d. (1978). *Biologische kwaliteitsverandering van drinkwater tijdens het verblijf in het distributiesysteem*. Voordracht 30e Vakantiecursus in Drinkwatervoorziening.
- NEM (1972). *Technische handboek*, vijfde druk p. 114.
- Oskam, G. (1978). *Kwaliteitseisen in verband met de stabiliteit van het te distribueren drinkwater*. H₂O II: 19-20.



31e Vakantiecursus in Drinkwatervoorziening 'Drinkwater in breder verband'

Onder auspiciën van de Afdeling der Civiele Techniek aan de Technische Hogeschool Delft en met medewerking van de VEWIN en de VWN zal op 11 en 12 januari 1979 de 31e Vakantiekursus in Drinkwatervoorziening worden gegeven, waarvoor de Commissie van Voorbereiding als onderwerp 'Drinkwaterwinning in breder verband' heeft gekozen.

Programma

11 januari 1979

prof. ir. L. Huisman: Mogelijkheden voor drinkwaterwinning;

ir. H. Haverkate: Kenmerken van grondwaterwinning;

prof. ir. P. L. Knoppert: Kenmerken van oppervlaktewaterwinning;

drs. G. Oskam: Berging in open bekkens;

ir. J. van Puffelen: Berging in de ondergrond.

12 januari 1979

ir. G. A. Oosterbaan: Aspecten van de landbouw;

ir. D. Stiemer: Aspecten van de recreatie;

dr. H. A. Udo de Haes: Aspecten van natuurbehoud;

ir. B. J. H. Geertsema: Aspecten van de industrie;

ir. C. van der Veen: Hoe verder?

De cursus is bedoeld als post-akademiale scholing voor allen, die bij het waterleidingvak betrokken zijn. Hoewel het niveau van de cursussen daarmee aansluit op een academische opleiding, kunnen ook andere belangstellenden de cursus bijwonen. De cursus wordt gegeven in kollegezaal A van het gebouw voor Civiele Techniek, Stevinweg 1, Delft. Telefonisch te bereiken onder nummer 015 - 783347. Het lesgeld bedraagt f 85,—. Hierin zijn begrepen: de deelname aan de cursus; de deelname aan de koffietafels; één exemplaar van de voordrachtenbundel. Voor studenten van Technische Hogeschool is de deelname aan de cursus gratis. Inlichtingen worden verstrekt door het sekretariaat van Vakantiecursussen in Drinkwatervoorziening, kamer 3.75, Stevinweg 1, Delft. Telefoon 015 - 783347.

