

# Hergebruik van stedelijk afvalwater voor drinkwatervoorziening, in Nederland alleen in specifiek plaatselijke omstandigheden van betekenis

## Inleiding

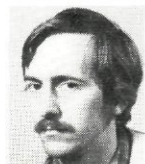
In het Structuurschema voor Drink- en Industrierwatervoorziening van 1972 was, in verband met de toen verwachte aanzienlijke verhoging van het waterverbruik in Nederland tegen het eind van deze eeuw, het hergebruik van afvalwater opgenomen als een alternatief voor de conventionele methodes van de watervoorziening. Ten behoeve van de beoordeling van dit alternatief werd door het RID in 1975 een onderzoeksprogramma opgesteld, waarmee beoogd werd de technologische, economische en gezondheidsaspecten van het hergebruik te bestuderen.



IR. J. HRUBEC  
RIVM Leidschendam



P. MARSMAN  
RIVM Leidschendam



P. VAN DORDRECHT  
RIVM Leidschendam

Door het zich stabiliserende waterverbruik heeft het onderzoek naar alternatieven voor de conventionele watervoorziening een lagere prioriteit gekregen en werd het onderzoek naar het hergebruik beperkt tot de bestudering van de verwijdering van potentieel schadelijke verontreinigingen met beschikbare zuiveringstechnieken en tot enkele toxicologische aspecten van het hergebruik van stedelijk afvalwater voor de drinkwatervoorziening. Het onderzoek, dat in de proefinstallatie van het Rijksinstituut voor Drinkwater-voorziening op het terrein van de rioolwater-zuiveringsinstallatie van de GEVUDO te Dordrecht werd uitgevoerd, werd begeleid door de Projectgroep Technologie onder voorzitterschap van ir. L. van der Burg van de Technische Milieudienst Drechtsteden, door de Werkgroep Biologische Stikstofeliminatie met dr. ir. A. Klapwijk van de Landbouwhogeschool Wageningen, Vakgroep Water-zuivering als voorzitter en door de Werkgroep Fysisch-Chemische zuivering onder voorzitterschap van ir. J. G. ten Wolde van het Waterschap West-Brabant. In dit artikel worden de resultaten van de proeven samengevat en wordt een korte algemene beschouwing over de problematiek

van het hergebruik gegeven. Gedetailleerde beschrijving van de resultaten van het onderzoek is elders te vinden [Hrubec e.a., 1983a en 1983b].

## Proefinstallatie

Twee zuiveringssystemen werden toegepast:  
a. Een systeem met hyperfiltratie (afb. 1) bestaande uit:

- een voorzuivering met behulp van contactfiltratie in een up flow filter na dosering van ferrichloride en kationactief polyelectrolyt gevolgd door snelfiltratie in een downflow filter. Om de pH van het water te verlagen werd zoutzuur gedoseerd;
  - een hyperfiltratie installatie, opgebouwd uit een unit met buisvormige cellulose-acetaatmembranen met een zoutretentie van ca. 97%;
  - een nazuivering met behulp van actief-koolfiltratie voor de verwijdering van de organische microverontreinigingen met een laag molecuulgewicht gevolgd door marmerdroogfiltratie voor de nitrificatie van de restgehalten aan ammonia en voor de neutralisatie van het hyperfiltraat.
- Dit systeem werd door het KIWA ontwikkeld en ingewerkt.

- b. Een systeem met een combinatie van fysisch-chemische processen, waarin geen ontzouting gebruikt wordt. Dit systeem (afb. 2) bestond uit de volgende zuiverings-trappen:
- kalkproces bij pH 11,2 voor defosfatering,

verwijdering van colloïdale stoffen, zware metalen en pathogene organismen;

- recarbonatie door middel van  $\text{CO}_2$ -dosering om de hoge pH van het water na het kalkproces te verlagen;
- snelfiltratie voor de verwijdering van de restgehalten van zwevende stoffen en geprecipiteerd calciumcarbonaat en calciumfosfaat;
- ozonisatie ten behoeve van de desinfectie en voor gedeeltelijke oxidatie van organische stoffen;
- droogfiltratie voor de nitrificatie van ammonium;
- selectieve verwijdering van de restgehalten van ammonia na de droogfiltratie door ionwisseling met behulp van clinoptiliet;
- actieve-koolfiltratie voor de verwijdering van de organische stoffen.

De motivering voor de keuze van de gebruikte systemen en de gegevens over de dimensionering van de proefinstallatie zijn elders weergegeven [Hrubec en Hofman, 1979a; Hrubec e.a., 1979b; Schippers en Hofman, 1979].

Als grondstof voor de proefinstallatie werd het effluent van de biologische rioolwater-zuiveringsinstallatie te Dordrecht gebruikt.

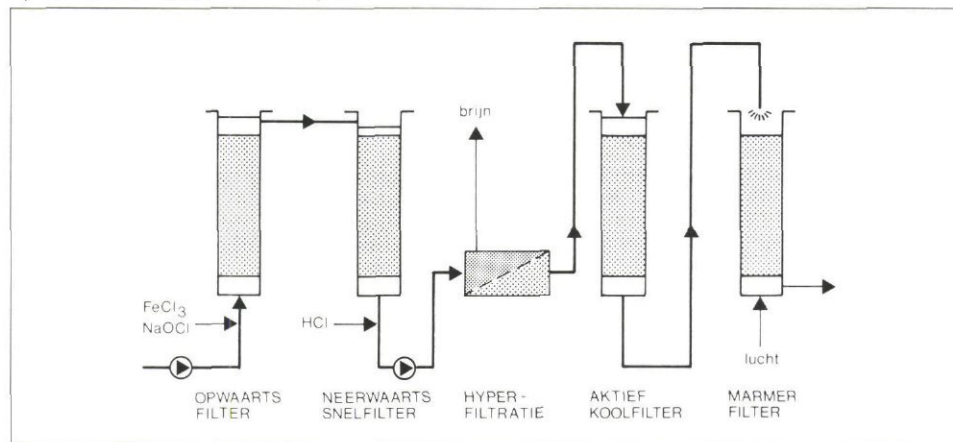
## Resultaten en discussie

### Bedrijfs- en kostenaspecten

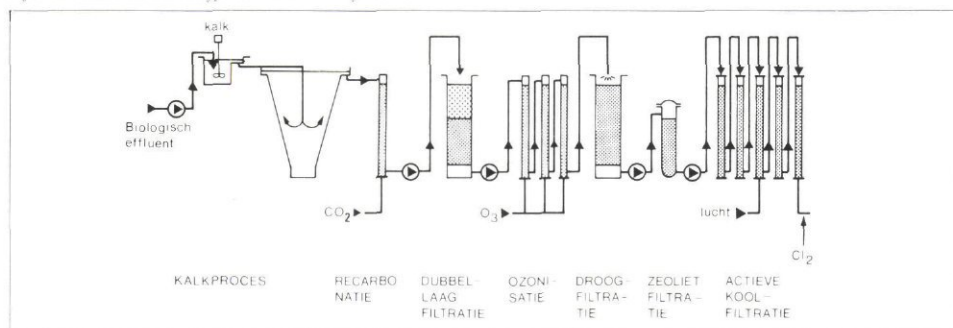
#### a. Hyperfiltratiesysteem

Het systeem was 23 maanden in continu bedrijf. Tijdens deze periode, bij een druk

Afb. 1 - Schema van het hyperfiltratiesysteem.



Afb. 2 - Schema van het fysisch-chemisch systeem.





TABEL I – Kwaliteit van het produkt water van de onderzochte zuiveringssystemen in vergelijking met EEG normen voor drinkwaterkwaliteit en kwaliteit van het Dordtse leidingwater.

| Parameter (mg/l)           | Fysisch-chemische systeem |            | Hyperfiltratiesysteem |            | EEG max. toelaatb. concentr. (MTC) | Richt-niveau (RN) | Dordts* leidingwater (1979) |
|----------------------------|---------------------------|------------|-----------------------|------------|------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
|                            | gemidd.                   | 10% waarde | gemidd.               | 10% waarde |                                    |                   |                             |
| Troebelheid (NTU)          | 0,17                      | 0,26       | 0,24                  | 0,33       | 4                                  | 0,4               | 0,24                        |
| Natrium                    | 140                       | 191        | 6,2                   | 7          | 175                                | 20                | 80                          |
| Kalium                     | 11                        | 19         | 1                     | 1,3        | 12                                 | 10                | 5,3                         |
| Calcium                    | 109                       | 146        | 44                    | 55         |                                    | 100               | 52                          |
| Magnesium                  | 3                         | 6          | 0,7                   | 1,2        | 30                                 | 50                | 10                          |
| Chloride                   | 187                       | 231        | 4                     | 9          |                                    | 25                | 116                         |
| Fluoride                   | 0,53                      | 0,82       | 0,05                  | 0,08       | 1,5 ( 8-12 °C)<br>(25-30 °C)       |                   |                             |
| O-fosfaat (mg P/l)         | 0,07                      | 0,14       | 0,02                  | 0,05       |                                    |                   | 0,01                        |
| Tot.fosfaat (mg P/l)       | 0,11                      | 0,15       | 0,07                  | 0,1        | 1,1                                | 0,089             | 0,03                        |
| Nitraat (mg N/l)           | 16                        | 25         | 1,9                   | 2,6        | 11,3                               | 5,6               | 2,5                         |
| Nitriet (mg N/l)           | 0,42                      | 0,90       | 0,01                  | 0,01       |                                    | 0,02              | 0                           |
| Ammonia                    | 0,34                      | 0,34       | 0,07                  | 0,14       | 0,5                                | 0,05              | 0,05                        |
| Sulfaat                    | 103                       | 115        | 2                     | 3          | 250                                | 25                | 77                          |
| DOC                        | 1,9                       | 3,1        | 1,1                   | 2          |                                    |                   |                             |
| COD                        | 7,8                       | 13         | 2                     | 4          |                                    |                   |                             |
| Zuurstof                   | 1,2                       | 3,1        | 6,4                   | 9,7        |                                    |                   | 11,3                        |
| pH                         | 7,73                      | 8,0        | 7,9                   | 8,2        |                                    | 6,5-8,5           | 8,2                         |
| Kleur                      | 5                         | 10         | 0                     | 0          | 20                                 | 1                 | 4                           |
| IJzer                      | 0,02                      | 0,023      | 0,02                  | 0,06       | 0,2                                | 0,05              | 0,04                        |
| Mangaan                    | 0,01                      | 0,01       | 0,01                  | 0,02       | 0,05                               | 0,02              | 0,01                        |
| Temperatuur (°C)           | 17                        | 22         |                       |            | 25                                 | 12                |                             |
| Arsen (µg/l)               | 0,9                       |            | 0,5                   |            | 50                                 |                   | 1                           |
| Cadmium (µg/l)             | 0,12                      |            | 0,1                   |            | 5                                  |                   |                             |
| Chroom (µg/l)              | 2,1                       |            | 0,45                  |            | 50                                 |                   | 1                           |
| Koper (µg/l)               | 1,2                       |            | 0,5                   |            | 3,000                              | 1                 |                             |
| Kwik (µg/l)                | 0,13                      |            | 0,1                   |            | 1                                  |                   |                             |
| Molybdeen (µg/l)           | 3,1                       |            | 2                     |            |                                    |                   |                             |
| Nikkel (µg/l)              | 2,8                       |            | 1                     |            | 50                                 |                   |                             |
| Lood (µg/l)                | 1,2                       |            | 0,5                   |            | 50                                 |                   | 1                           |
| Seleen (µg/l)              | 0,4                       |            | 2                     |            | 10                                 |                   | 2                           |
| Zink (µg/l)                | 10                        |            | 10                    |            | 5,000                              |                   |                             |
| kiemgetal 22 °C/ml         | 335                       |            | 239                   | 790        |                                    | 100               |                             |
| kiemgetal 37 °C/ml         | 308                       |            | 283                   | 795        |                                    | 10                |                             |
| Colibact. 44 °C/100 ml     | 19                        |            | 39                    | 120        | 0                                  |                   |                             |
| Colibact. 37 °C/MPN/100 ml | 84                        |            | 140                   | 310        | 1                                  |                   |                             |

\* Naerssen, E. A., "Rapport waterkwaliteit 1979", GEB Dordrecht (1980).

van 4.000 kPa in het systeem en een opbrengst van 60%, nam de flux van de membranen, als gevolg van de irreversibele membranen-verstopping af, van 0,56 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d tot 0,46 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d. De zoutretentie (ca. 96%) vertoonde tijdens de gehele proefperiode nagenoeg geen verandering.

Deze vrij langzame fluxafname werd bereikt ondanks het feit dat het voorgezuiverd biologisch effluent een relatief slechte kwaliteit had ten aanzien van de troebelheid (gemiddelde waarde van het voedingwater 1,2 NTU) en ijzergehalte (gemiddelde 0,38 mg Fe/l).

Uit deze gegevens blijkt dat irreversibele verstopping van de buisvormige, mechanisch schoon te maken membranen door effluenten van de rioolwaterzuiveringsinstallatie minder ernstig is dan oorspronkelijk werd verwacht en dat bij hyperfiltratie met deze typen membranen geen uitgebreide voorzuivering van het voedingwater noodzakelijk is.

Het systeem blijkt voldoende bedrijfszeker, is operationeel eenvoudig, vereist relatief weinig toezicht en is gemakkelijk te automatiseren. Daarom lijkt dit systeem met name geschikt te zijn voor de zuivering van rioolwater ten behoeve van het hergebruik

op kleine schaal, waarbij water van een zeer hoge kwaliteit wordt geëist en waarvoor andere zuiveringssystemen te ingewikkeld zijn.

Een belangrijk bezwaarlijk bedrijfsaspect is echter dat er geen bevredigende oplossing voor de liquidatie van de brijn bestaat, die naast hoge concentraties van organische zouten, een hoog gehalte aan organische stoffen bevat.

De kosten van de toepassing van een hyperfiltratiesysteem bij de zuivering van biologisch gezuiverd stedelijk afvalwater met behulp van buisvormige membranen en beperkte voorzuivering (snelfiltratie) en een nazuivering met behulp van actieve-koolfiltratie en droog-marmerfiltratie met een capaciteit van 10.000 m<sup>3</sup>/d en zonder rekening te houden met brijnliquidatie worden op f 1,70 per m<sup>3</sup> geschat (prijsspeil 1981). Deze hoge kosten bestaan voor een belangrijk deel uit de energiekosten (ca. f 0,50/m<sup>3</sup>), de investeringskosten van de hyperfiltratie unit (ca. f 0,40/m<sup>3</sup>) en de vervangingskosten van de membranen (ca. f 0,20/m<sup>3</sup>).

Opgemerkt dient te worden dat deze kosten alleen gelden voor de toepassing van

buisvormige membranen. Zo is het gebruik van een systeem met spiraalgewonden membranen wat betreft de investeringskosten goedkoper. Daarentegen zijn de kosten van de voorzuivering en de membraanvervanging weer hoger. Niettemin zou, bij gebruik van een systeem met een grote capaciteit, het economisch voordeliger zijn om spiraalgewonden membranen toe te passen.

#### b. Fysisch-chemische systeem

Door de relatief korte duur van de proefnemingen met het gehele zuiveringssysteem (9 maanden) en door het feit dat het systeem zuiveringstrappen bevatte die tot nu toe in de drink- resp. afvalwaterzuiveringspraktijk vrij zelden worden gebruikt, ontbraken tijdens het ontwerpen van de proefinstallatie en tijdens de uitvoering van de proeven de nodige gegevens over belangrijke ontwerp- en bedrijfsparameters van deze trappen. Daarom kunnen er geen definitieve uitspraken over het functioneren van het systeem ten aanzien van de betrouwbaarheid gedaan worden. Niettemin lijkt het mogelijk te concluderen dat dit systeem uit het oogpunt van bedrijfsvoering, zelfs onder optimale omstandigheden, in vergelijking met het hyperfiltratiesysteem, te ingewikkeld en te arbeidsintensief is. Verder blijkt het systeem veel meer gevoelig te zijn voor plotselinge verslechtering van de kwaliteit van het toevoerwater dan het hyperfiltratiesysteem.

Het zou mogelijk kunnen zijn dat bij toepassing van vergaande automatisering van de zuivering en van de monitoring van de waterkwaliteit een continue levering van water met hoge en constante kwaliteit te garanderen is.

De kosten van de zuivering met behulp van dit systeem zonder droogfiltratie worden geschat op ca. f 0,85/m<sup>3</sup> water voor een installatie met een capaciteit van 50.000 m<sup>3</sup>/d en ca. f 1,25/m<sup>3</sup> bij een capaciteit van 10.000 m<sup>3</sup>/d. Bij de berekening van deze kosten zijn geen slibverwerkingskosten, resp. herwinningskosten van kalk en kooldioxide opgenomen.

#### Kwaliteitsaspecten

##### Macroparameters en spoorelementen

Het zuiveringseffect van de beide systemen ten opzichte van de macroparameters en spoorelementen wordt in tabel I weer-gegeven. In de tabel worden de gemiddelde waarden van het produktwater tijdens de gehele proefperiode en de 10% overschrijdingswaarden vergeleken met de EEG normen voor de drinkwaterkwaliteit en met de gemiddelde waarde van de kwaliteit van het Dordtse leidingwater in 1979.

De gegevens in deze tabel bevestigen dat met behulp van het hyperfiltratiesysteem een substantiële kwaliteitsverbetering ten



aanzien van vrijwel alle gevolgde macroparameters en spoorelementen verkregen wordt. Wegens het zeer hoge zuiveringseffect van de hyperfiltratie was de kwaliteit van het produktwater van het gehele systeem voorzover dit ten aanzien van de overschrijding van de normen werd beoordeeld, vrij onafhankelijk van de schommelingen van de kwaliteit van het toevoerwater (het biologische effluent). Een uitzondering hierbij waren ammonia en nitraat, die minder effectief door de hyperfiltratie werden verwijderd (ammonia 92% en nitraat ca 80%). De concentraties van deze stoffen in het hyperfiltraat waren tamelijk sterk afhankelijk van de gehalten in het biologische effluent en het gehalte aan ammonia was vrijwel altijd hoger dan voor drinkwater toegestaan is. Door de nitrificatie in het marmer droogfilter werd echter een zeer effectieve verwijdering van ammonia bereikt.

De retentie van de hyperfiltratie ten opzichte van organische parameters (COD, DOC) was hoog en de waarde van deze parameters in het eindprodukt water lag niet hoger dan die van het uit oppervlakte- resp. grondwater bereide drinkwater.

De concentraties van alle gevolgde spoorelementen in het produktwater lagen onder of vlakbij de detectiegrenzen van de toegepaste analytische methodes. Hierbij dient echter vermeld te worden dat de gehalten aan spoorelementen in het biologische effluent vrij laag waren.

Met behulp van het fysisch-chemische zuiveringssysteem was het mogelijk bij een optimaal functioneren van het systeem water met hoge kwaliteit te bereiden. Deze kwaliteit voldeed echter vaak niet aan de eisen die aan drinkwater gesteld zijn. Bij een vergelijking van het produktwater van dit systeem met de normen voor drinkwaterkwaliteit (tabel I) wordt duidelijk dat de kwaliteit van het produktwater, wat de gemiddelde waarden betreft, de maximaal toegestane concentraties volgens de EEG-normen met name ten opzichte van nitriet en nitraat overschrijdt. Ten opzichte van het richtniveau zijn de waarden van  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , kleur en temperatuur hoger dan de gestelde eisen.

De hogere concentraties van de stikstofverbindingen ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) worden veroorzaakt door het niet naar behoren functioneren van de stikstofverwijderingsprocessen. Het is niet te verwachten dat men bij toepassing van een effectievere zuiveringsmethode, welke de huidige zuiveringstechniek ter beschikking heeft, in staat is de drinkwaterkwaliteitsnormen voor deze verbindingen te bereiken.

Enkele macroparameters –  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  en temperatuur – kunnen niet door de toegepaste zuiveringsprocessen zonder een ontzoutingstrap beïnvloed worden en zijn

TABEL II – Concentraties van trihalomethanen na diverse trappen van het hyperfiltratiesysteem tijdens chloring van het voedingwater (dosering 40 mg Cl/l).

| Verbinding ( $\mu\text{g/l}$ ) | Biologisch effluent | Voeding water | Effluent hyperfiltratie | Effluent marmer filter |
|--------------------------------|---------------------|---------------|-------------------------|------------------------|
| Chloroform                     | 1,8                 | 4,1           | 3,9                     | 5,4                    |
| Bromoform                      | 3,1                 | 8,0           | 7,0                     | 0                      |
| Dibroomchloormethaan           | 0                   | 0,3           | 0                       | 0                      |
| Broomdichloormethaan           | 0,3                 | 3,6           | 3,4                     | 2,3                    |
| Totaal THM's                   | 5,2                 | 16,0          | 14,3                    | 7,7                    |

TABEL III – Concentraties van gechloreerde  $\text{C}_1$ - $\text{C}_2$  koolwaterstoffen (zonder THM's) na diverse trappen van het hyperfiltratie proces ( $N=5$ ).

| Verbinding ( $\mu\text{g/l}$ )                                                                          | Biologisch effluent | Voeding water | Effluent hyperfiltratie | Effluent marmer filter |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------|-------------------------|------------------------|
| – Dichloormethaan gemiddelde concentr.                                                                  | 12                  | 10            | 12                      | 7                      |
| min.-max. concentr.                                                                                     | 0–24                | 0–18          | 0–22                    | 0–14                   |
| – Gechloreerde $\text{C}_1$ $\text{C}_2$ koolwaterstoffen gemiddelde concentr. (zonder dichloormethaan) | 5                   | 4,8           | 5,6                     | 1,1                    |
| min.-max. concentr.                                                                                     | 0,4–11,9            | 0,4–18        | 0,4–16,1                | 0,02–5,1               |

afhankelijk van de kwaliteit van het biologisch effluent resp. van de kwaliteit van het Dordtse drinkwater. Omdat het Dordtse drinkwater voor een groot deel bestond uit Rijnwater dat hoge concentraties aan zouten bevat, liggen de concentraties van  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  en  $\text{SO}_4^{2-}$  in het biologische effluent en in het produktwater van het fysisch-chemisch systeem hoog. Bij hergebruik in andere gebieden, waar drinkwater uit water met lager zoutgehalte bereid wordt, kunnen de concentraties van de genoemde parameters in het gezuiverde afvalwater gunstiger uitvallen. Gezien echter de zoutconcentratie toename, voornamelijk bij een hoge graad van hergebruik [Van Dijk en Hofman, 1977], zal het onmogelijk zijn zonder toepassing van ontzoutingstechnieken de drinkwaterkwaliteitsnormen van de EEG te halen. De gehalten aan ijzer, mangaan en de spoorelementen in het produktwater van het fysisch-chemische systeem voldeden ruimschoots aan de drinkwaternormen.

#### Micro-organismen

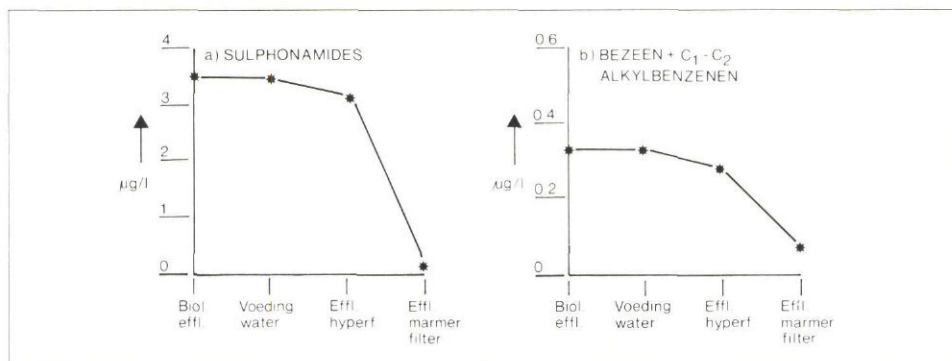
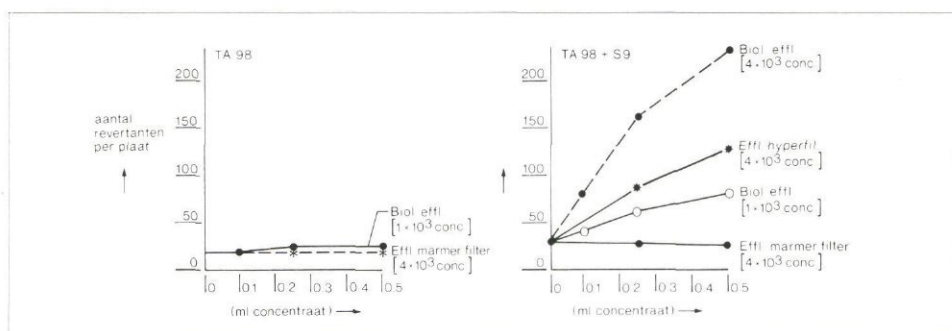
De microbiologische analyses tijdens de proeven beperkten zich tot de bepaling van bacteriën. Vanwege het feit dat tijdens de voorbereidende periode van het onderzoek zeer lage concentraties van virussen in het biologische effluent werden gevonden, werd geen onderzoek naar hun gedrag tijdens de zuivering verricht. De verwijdering van bacteriën met behulp van de hyperfiltratie was hoog, maar als gevolg van onvolkomenheden van de membranen niet compleet. Het blijkt dat een veiligheidsdesinfectie van het produktwater onontbeerlijk is. De desinfectie werd in de proefinstallatie niet toegepast wegens gebrek aan ruimte. Gezien de kwaliteit van het produktwater van dit systeem kan men echter aannemen, dat met een of andere conventionele desinfectie-

methode een bacteriologisch volkomen betrouwbaar water te bereiden zou zijn. Ook met het fysisch-chemische systeem werd geen volledige verwijdering bereikt (tabel I) en dat ondanks het feit dat in het zuiverings-schema een zogenaamd 'multiple safety barrier' werd toegepast. Deze werd gerealiseerd door het gecombineerd gebruik van het kalkproces bij hoge pH, ozonisatie en veiligheidsdesinfectie van het produktwater. Een van de belangrijkste oorzaken van het onbevredigende desinfectie-effect is hoogstwaarschijnlijk de slechte hydraulische omstandigheden in het chloorreactievat, die een grote spreiding van de verblijftijd van het water tot gevolg had.

#### Organische microverontreinigingen

De retentie bij de hyperfiltratie ten aanzien van het totale gehalte van organische stoffen was hoog zoals reeds is aangegeven. De verwijdering van laag moleculaire organische stoffen was sterk afhankelijk van de aard van deze stoffen. Tot de stoffen die bij de hyperfiltratie niet tegengehouden werden, behoren gehalogeneerde laag-moleculaire koolwaterstoffen, inclusief trihalomethanen (zie tabel II en III), alkylfenolen, benzeen en  $\text{C}_1$ - $\text{C}_2$  alkylbenzenen en sulfonamides. De organische microverontreinigingen die in onvoldoende mate door de hyperfiltratie werden tegengehouden werden meestal bij de zuivering met behulp van actieve-koolfiltratie verwijderd. Een illustratie hiervan is in afb. 3 te zien. Enkele van de organische microverontreinigingen (bijv. alkylfenolen en trihalomethanen) werden echter niet met actieve-koolfiltratie verwijderd. Het polishing effect van de actieve-koolfiltratie ten aanzien van organische microverontreinigingen blijkt positief beïnvloed te worden door de verwijdering



Afb. 3 - Het verloop van de concentraties van de sulphonamides, benzeen en C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub> alkylbenzenen in het hyperfiltratiesysteem.

Afb. 4 - Mutagene activiteit van het water ten opzichte van TA-98 na diverse trappen van het hyperfiltratiesysteem.

van organische stoffen met een hoger molecuulair gewicht door de hyperfiltratie, die anders tot een snelle uitputting van de adsorptiecapaciteit van de kool zouden bijdragen.

Een gedetailleerde beschrijving van het gedrag van organische microverontreinigingen tijdens de zuivering met behulp van het hyperfiltratie-systeem is te vinden in de publikatie van Hrubec e.a. [1983]. Het zuiveringseffect van het fysisch-chemisch systeem ten opzichte van de organische microverontreinigingen was moeilijk te evalueren wegens het kleine aantal analyses. Niettemin lijkt het mogelijk te concluderen dat de gehalten aan geïdentificeerde microverontreinigingen in het algemeen in het produktwater niet hoger waren, dan de gehalten die in het uit verontreinigd oppervlaktewater bereide drinkwater in Nederland, worden aangetroffen, [Zoeteman, 1981] en vrijwel in alle gevallen lager waren dan 1 µg/l. Gezien het geringe aantal analyses zijn hierover echter geen vergaande conclusies te trekken.

### Mutagene activiteit

De mutagene activiteit van het water werd met behulp van Amestesten bepaald na concentrering met behulp van XAD 4/8 en elutie met DMSO [Van Kreijl et al, 1980]. Bij afwezigheid van metabole activering (S-9 mix) werd geen significante mutagene activiteit waargenomen met de Salmonella strain TA-98 in zowel het biologisch effluent als het produktwater.

De resultaten, wat betreft het hyperfiltratie-systeem (zie afb. 4) laten zien dat de mutagene activiteit van het biologisch effluent door hyperfiltratie slechts ten dele afnam. Pas na filtratie door actieve kool en marmer bleken de mutagene stoffen volledig verwijderd te zijn.

Uit de gegevens van de mutagene activiteit (afb. 5) van het water na de diverse zuiveringstrappen van het fysisch-chemisch systeem bleek een stapsgewijze afname bereikt te worden waarbij het produktwater na een concentratiefactor 4.000 geen mutagene activiteit meer vertoonde.

### Toxiciteit

Ter beoordeling van de toxiciteit van het eindprodukt water van beide systemen werd een langdurig toxiciteitsonderzoek (100 dagen met water na het hyperfiltratie-systeem en 60 dagen na het fysisch-chemisch

systeem) met behulp van klauwpadden (*Xenopus laevis*) uitgevoerd. Als referentiemediën werden het Dordtse leidingwater en het leidingwater na actieve-koolfiltratie gebruikt.

Er werden geen significante verschillen waargenomen betreffende het gedrag, de morfologische kenmerken, de groei en de somatische leverindex van de blootgestelde proefdieren in het produkt van beide systemen en de vergelijkende media.

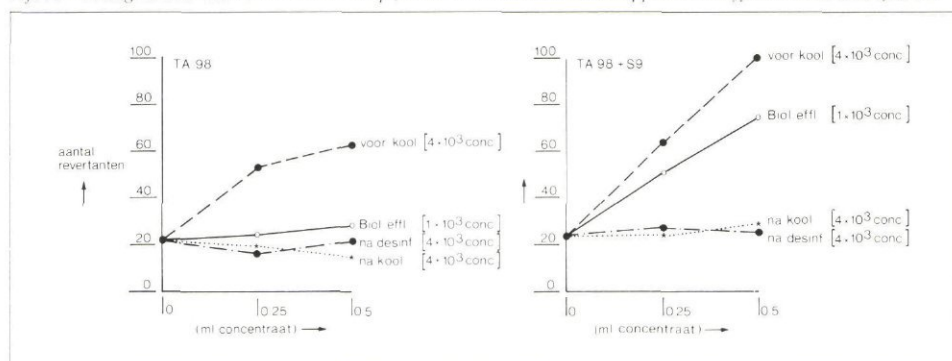
De slotconclusie van de toxiciteitstesten was dat het produktwater van beide systemen een constante kwaliteit had en toxicologisch, ten opzichte van de getoetste organismen, niet als slechter beschouwd kan worden dan de kwaliteit van het leidingwater.

Ondanks het feit dat tijdens de proeven geen plotselinge verhoging van de concentraties van toxische stoffen in het produktwater met behulp van de toxiciteitstesten, resp. met behulp van de chemische analyses werden waargenomen is het niet uitgesloten dat incidenteel ongemerkt toxische stoffen in het produktwater kunnen doordringen. Het risico hiervan bij hergebruik van afvalwater lijkt aanzienlijk hoger te zijn dan bij de zuivering van oppervlakte- resp. grondwater.

### Slotbeschouwing over het onderzoek naar het hergebruik

De in de proefinstallatie te Dordrecht behaalde resultaten hebben, evenals de onderzoeken die in de VS [Engelhardt et al, 1977] en Zuid-Afrika [Van Vuuren, 1980] naar het hergebruik werden verricht, aangetoond dat het technisch mogelijk is water uit stedelijk afvalwater te bereiden, dat voor de meeste kwaliteitsparameters niet slechter is dan het uit andere bronnen bereide drinkwater. Wat het systeem met de hyperfiltratie betreft, werd bevestigd dat het produktwater van dit systeem aan de huidige normen voor drinkwater voldoet. Voordat het directe gebruik van dit water voor de drinkwatervoorziening op grotere schaal toegepast kan worden moet echter nog een hele rij problemen opgelost worden. Tot de belangrijkste hierbij behoren de normstelling van de kwaliteit van het

Afb. 5 - Mutagene activiteit van het water ten opzichte van TA-98 na diverse trappen van het fysisch-chemische systeem.





produktwater, met name in verband met de potentiële gezondheidsrisico's, verder de betrouwbaarheid van de zuiveringssystemen, de aanvaardbaarheid van dit soort hergebruik voor het publiek en de kostenaspecten. Als gevolg van nieuwe inzichten in de problematiek van de gezondheidsaspecten van de kwaliteit van het drinkwater, staat men steeds kritischer tegenover de kwaliteitsnormen voor drinkwater die voornamelijk op klassieke kwaliteitsparameters gebaseerd zijn. Gebruik van water dat aan de gestelde normen voldoet, zeker als het over het uit afvalwater bereide drinkwater gaat, zou toch gezondheidsrisico's kunnen inhouden.

In de loop van de jaren is tevens de oorspronkelijke opvatting onhoudbaar gebleven, dat de kwaliteitsnormen voor uit oppervlaktewater bereid drinkwater gebruikt zouden kunnen worden voor de beoordeling van uit afvalwater bereid drinkwater. Deze opvatting was gebaseerd op de veronderstelling dat deze normen voldoende veiligheidsmarges bevatten, omdat zij tevens bestemd zijn voor een feitelijk toegepast indirect hergebruik via sterk verontreinigd oppervlaktewater. Men is er tegenwoordig van overtuigd dat aan de kwaliteit van het uit afvalwater bereide drinkwater strengere eisen gesteld dienen te worden, voornamelijk wat de eisen ten aanzien van de potentieel schadelijke organische microverontreinigingen en micro-organismen betreft. Met de normstelling van de kwaliteit van het uit afvalwater bereide drinkwater is men met name in de VS al geruime tijd bezig, zij het met weinig succes. Een van de belangrijkste struikelblokken hierbij is de noodzaak van de invoering van steeds nieuwe parameters. Daar de identificatie van potentieel schadelijke stoffen en de vooruitgang in de isolatie en identificatie van micro-organismen veel sneller gaat dan de beoordeling van de gezondheidsgevolgen welke hieraan verbonden zijn, ontstaat er een permanente achterstand in de voorbereiding van de normstelling. Een ander aspect van het hergebruik is de onzekerheid over de veiligheid en betrouwbaarheid van de kwaliteitsmonitoring- en zuiveringstechnieken voornamelijk voor de situaties van doordringing van gevaarlijke stoffen in de zuiveringsinstallatie. Door deze onzekerheid werden er steeds strengere eisen ten aanzien van de omvang van de zuivering en de monitoring gesteld. Dit maakt het hergebruik economisch steeds onaantrekkelijker. Zelfs zonder overtrokken eisen ten aanzien van de waterkwaliteit en de veiligheid van de zuiveringssystemen zijn de kosten van de zuivering van afvalwater ten behoeve van de drinkwatervoorziening al substantieel hoger, dan die van de drink-

waterbereiding uit de conventionele waterbronnen.

Tenslotte blijkt uit sociologische onderzoeken dat het hergebruik voor de drinkwatervoorziening voor het publiek uit esthetische en emotionele redenen moeilijk aanvaardbaar kan zijn [Olson et al, 1979]. In het algemeen kan men concluderen dat er bij het hergebruik van stedelijk afvalwater voor drinkwatervoorziening nog lange tijd een conflict zal blijven tussen behoeften, resp. economie aan de ene kant en de risico's en publieke aanvaardbaarheid aan de andere kant.

Niettemin biedt het hergebruik gezien de schaarste aan conventionele bronnen in een groot deel van de wereld, waaronder de vele ontwikkelingslanden, een van de reële alternatieven voor de drinkwatervoorziening. Daarom lijkt een verder onderzoek hiernaar, voornamelijk ten behoeve van de ontwikkelingslanden wenselijk. In Nederland, waar naar verwachting geen nijpend gebrek aan conventionele bronnen in de naaste toekomst zal bestaan, komt het hergebruik voor de drinkwatervoorziening alleen in aanmerking in specifiek plaatselijke omstandigheden, zoals op de Waddeneilanden. Hier kan het hergebruik goedkoper zijn dan andere alternatieven.

Verder kan men in Nederland aan het hergebruik van het stedelijke afvalwater voor drinkwatervoorziening denken, als aangetoond zou worden dat de gezondheidsrisico's verbonden aan het indirecte hergebruik van verdund industrieel afvalwater via de grote rivieren groter zijn, dan het hergebruik van stedelijk afvalwater. Tenslotte kan de kennis van de geavanceerde zuiveringstechnieken, die in het kader van het onderzoek naar het hergebruik opgedaan wordt ten goede komen aan het Nederlandse bedrijfsleven met betrekking tot milieu-technologie.

Wat de andere vormen van het hergebruik betreft (industrieel, agrarisch) kan gesteld worden dat dit voornamelijk een economische afweging is. Er bestaat weinig twijfel over dat het technisch mogelijk is aan zelfs zeer hoge eisen ten aanzien van de kwaliteit van het hiervoor bestemde water te voldoen.

#### Literatuur

- Dijk, J. C. van en Hofman, H. (1977). *Een analyse van de accumulatie van verontreinigingen bij het hergebruik van water*. H<sub>2</sub>O (10), p. 434-438.
- Engelhardt Jr., A. J., Smith, J. K. and English, J. N. (1977). *Potable water quality of advanced waste water treatment plant effluents*. IAWPR Conference, Johannesburg, 1977.
- Hrubeč, J. en Hofman, H. (1979). *Bereiding van drinkwater uit stedelijk afvalwater zonder ontzouting*. H<sub>2</sub>O (12), p. 246-250.
- Hrubeč, J., Schippers, J. C. and Zoeteman, B. C. J. (1979). *Studies on water reuse in the Netherlands*. Proceedings AWWA Water Reuse Symposium, Washington, March 1979, Vol. 2, p. 785-807.
- Hrubeč, J., Marsman, P., Dordrecht, P. van, Koster, J. en Oers, J. A. M. van (1983). *'Bereiding van drinkwater uit*

*stedelijk afvalwater met behulp van een zuiveringssysteem met hyperfiltratie'*. Hergebruik van water - Deelrapport I. CBH 83-15, RID, Leidschendam.

Hrubeč, J., Marsman, P., Dordrecht, P. van en Oers, J. A. M. van (1983). *'Bereiding van drinkwater uit stedelijk afvalwater met behulp van een fysisch-chemisch zuiveringssysteem'*. Hergebruik van water - Deelrapport II, CBH 83-17, RID, Leidschendam.

Kreijl, C. F. van, Kool, H. J., Vries, M. de, Kranen, H. J. van and Greef, E. de (1980). *Mutagenic activity in the river Rhine and Meuse in the Netherlands*. Sci. Total Environ., 15, p. 137-147.

Olson, B. H., Henning, J. A., Marshack, R. A. and Rigby, M. G. (1979). *Educational and social factors affecting public acceptance of reclaimed water*. Proceedings AWWA Water Reuse Symposium, Washington, March, 1979, Vol. 2, p. 1219-1223.

Schippers, J. C. en Hofman, J. M. (1979). *Bereiding van drinkwater uit stedelijk afvalwater met hyperfiltratie*. H<sub>2</sub>O (12), p. 241-245.

Vuuren, L. R. J. van, Clayton, A. J. and Post, C. D. van der (1980). *Current status of water reclamation at Windhoek*. Jour. Water Poll. Contr. Fed., 52, p. 661-671.

Zoeteman, B. C. J. (1981). *Sensory assessment and chemical composition of drinking water*. Pergamon Press, Oxford.



### 'Milieubeleid en grenzen'

De Centrale Raad voor de Milieuhygiëne organiseert op *donderdag 11 oktober 1984* in de Ridderzaal te 's-Gravenhage een studiedag waarop tevens het tienjarig bestaan van de raad zal worden herdacht.

Het onderwerp 'Milieubeleid en grenzen' dat op de studiedag zal worden behandeld stelt de verhouding Nederlands/Europees milieubeleid aan de orde. Het dagprogramma zal in de loop van dit jaar bekend gemaakt worden.

### Wijziging rooster mondelinge tentamens HWT zomer 1984

In aanvulling op de eerder gedane mededeling (H<sub>2</sub>O nr. 1 1984, pagina 17) dat de mondelinge tentamens HWT zomer 1984 afgenomen zullen worden op 4, 6 en 7 september is besloten voor de genoemde tentamens bovendien te reserveren de data 18, 20 en 21 september 1984.

Van deze dagen zal gebruik gemaakt worden naarmate van het aantal kandidaten voor het mondeling.

