

Berging van oppervlaktewater in de ondergrond

Voordracht uit de 31e vakantie cursus 'Drinkwaterwinning in breder verband', die op 11 en 12 januari 1979 aan de TH Delft werd gehouden.

1. Inleiding

De kenmerken van een oppervlaktewaterwinning leiden tot de noodzaak van voorraadvorming van het betreffende oppervlaktewater. Technisch gezien is er geen alternatief voor voorraadvorming, waarbij een vergelijkbare bedrijfszekerheid is te verkrijgen. De grootte van de voorraad en de wijze van vorming is een punt van nadere studie en onderzoek. Het kenmerkende van bekkens is het open aaneengesloten wateroppervlak met alle voor- en nadelen daaraan verbonden. Het kenmerkende van de berging



Ir. J. van PUFFELEN
Duinwaterleiding van
's-Gravenhage

in de ondergrond is het ontbreken van een wateroppervlak, omdat het water in de poriën en spleten van een watervoerend pakket wordt gebracht. Watervoerende pakketten bevatten grondwater, dat door sterke onttrekking of om andere redenen in hoeveelheid kan zijn verminderd. Kunstmatige aanvulling van deze verminderde hoeveelheid vindt dan plaats door oppervlaktewater. Daarom gaat berging in de ondergrond veelal samen met kunstmatige aanvulling van grondwater. Een aantal waterleidingbedrijven in Nederland passen berging door middel van kunstmatige infiltratie toe. Het betreft de bedrijven, die oppervlaktewater na een voorzuivering in de duinen langs de Nederlandse kust brengen.

2. Historische betekenis en toekomst

Beschouwingen en studies over de betekenis van de duininfiltratie gaan soms mank aan een gebrek aan begrip voor de historisch gegroeide situatie van de openbare watervoorziening in het westen van Nederland. Men leze voor een beter begrip bijvoorbeeld het bijzonder leeswaardige boek van Leeflang 'Ons drinkwater in de stroom van de tijd' [7] en het jubileumboek 'Een cent per emmer' van Groen [8].

Vanaf het midden van de vorige eeuw ging men gebruik maken van de aanwezigheid van hygiënisch betrouwbaar grondwater vlakbij grote bevolkingscentra. Vanwege enkele grote epidemieën in Nederland werd vooral van medische zijde sterk aangedrongen op een dergelijke centrale openbare watervoorziening.

De duinwaterleidingen van Amsterdam (1853) en Den Helder werden als eerste waterleidingbedrijven in het land opgericht.

Den Haag en Leiden volgden ongeveer twintig jaar later.

Kort na de eeuwwisseling kwam men tot het inzicht, dat verdere voortgang van de stijging van de waterbehoefte tot grote problemen zou leiden bij de onttrekking van duinwater. Deze problemen waren eerst van kwantitatieve aard vanwege water tekorten in het ondiepe duinpakket en later ook van hydrologische aard. Men was namelijk overgegaan tot winning door middel van putten van het diepe duinwater onder de min of meer afsluitende lagen in de zone van circa 0 tot 20 m beneden NAP. Bij deze winning werden brak- en zoutwaterkegels' opgetrokken, die sterk limiterend werden voor de kwantiteit diep duinwater (afb. 1). Deze problemen leidden tot één oplossing namelijk aanvulling van de hoeveelheid duinwater met water van elders.

De voordelen van deze oplossing waren en zijn nog evident.

- De verdroging van het duin, waardoor men steeds verder afkwam van het karakter van het natte duin van rond 1850 kon worden gekeerd.
- Het bestaande systeem van winning, transport en nazuivering van het duinwater kon blijvend worden gebruikt.
- De opgetrokken brak- en zoutwaterkegels' konden worden teruggedrongen via lekken in de afsluitende lagen.
- Het belangrijkste was wel, dat het karakter van het drinkwater voor grote bevolkingsgroepen niet behoefde te veranderen. De weerzin van de bevolking tegen een direct gebruik van meer of minder gezuiverd oppervlaktewater was nog niet overwonnen. Gebruik van oppervlaktewater was echter onvermijdelijk, zodat een grondpassage in de duinen deze psychologische

barrière kon overwinnen. Oppervlaktewater werd min of meer grondwater, duinwater.

e. Een ander belangrijk voordeel was dat het duingebied blijvend kon worden gevrijwaard tegen stedelijke en industriële bebouwing en de aanleg van verkeerswegen e.d.

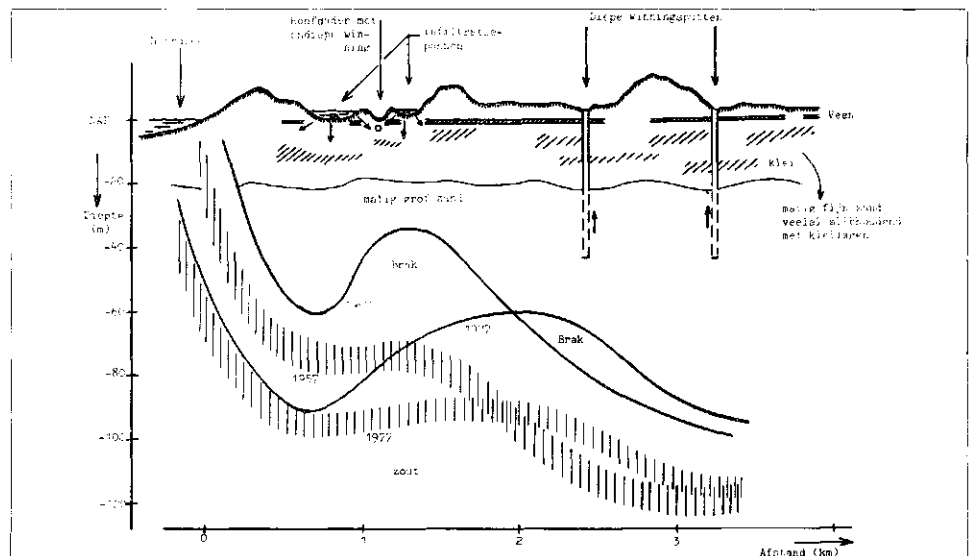
Natuurlijk waren er naast deze voordelen ook nadelen verbonden aan de infiltratie van oppervlaktewater. In het volgende zullen de genoemde en ook andere voordelen tesamen met enkele nadelen wat nader worden uitgewerkt. De nadelen vanuit het oogpunt van de belangen van natuurbehoud, recreatie en landbouw zullen in de voordrachten morgen aan de orde komen.

De betekenis van de Hollandse duinen voor de openbare watervoorziening nu en in de toekomst moet steeds tegen deze historische achtergrond worden gezien. De winningscapaciteit van acht bestaande infiltratie- en winningsplaatsen in de Hollandse en Zeeuwse duinen bedroeg in 1977 ongeveer 175 miljoen m³/jaar.

Volgens het VEWIN Tienjarenplan [2] is tot 1990 nog een uitbreiding met ongeveer 95 miljoen m³/jaar gepland. In tabel I wordt een overzicht gegeven van de huidige en voor 1990 geraamde infiltratiewerken. Aan de overige in het Structuurschema [1] opgenomen infiltratiewerken op de Veluwe, de infiltratie Groote Heide (Eindhoven) en de infiltratie in de Maaskant blijkt voorlopig nog geen behoefte te zijn. Dit geldt ook voor de infiltratie via de oevers van rivieren en kanalen, de oeverinfiltratie, die op een aantal plaatsen in Nederland wordt toegepast zoals bij Zwijndrecht en bij Bergambacht voor de Goudse Waterleiding Maatschappij NV.

Dit overzicht maakt duidelijk dat de waterleidingbedrijven grote waarde hechten aan kunstmatige infiltratie van voorgezuiverd

Afb. 1 - Dwarsprofiel van het noordelijk deel van het Haagse duingebied (DWL, 's-Gravenhage).



TABEL 1 - *Overzicht capaciteit huidige en toekomstige infiltratiewerken.*

	Huidige capaciteit 1977 10 ⁶ m ³ /jaar	Geraamde uitbrei- ding tot 1990 10 ⁶ m ³ /jaar
PWN, Noordhollandse Duinreservaat	34,0	15,0
BDZK-PWN, Zuid-Kennemerland	2,0	26,0
GW, Duinen Zandvoort-Noordwijk	70,0	—
LDM, Duinen Katwijk-Wassenaar	17,0	23,0*
DWL, Duinen Wassenaar-Scheveningen	45,0	15,0
WDM, Duinen Kijkduin-Monster	3,2	9,8
WMZ, Gosree	1,6	1,8
WMZ, Schouwen	—	3,4
WMZ, St. Jansteen	1,0	—
Enschede, Weerseloseweg	5,5	—

* Uitbreiding betreft uitsluitend winningsmiddelen.

oppervlaktewater met daaraan gekoppeld het in stand houden van een ondergrondse berging. Dit gebeurt op grond van meer dan honderd jaar ervaring met het gebruik van de duinen voor dit doel en enkele tientallen jaren goede ervaring met het infiltreren zelf.

3. De wijze van infiltratie en berging

Een uitvoerige beschouwing over de bestaande technieken voor infiltratie (en berging) in de ondergrond past niet in het kader van deze vakantiecursus. Daarvoor zij verwezen naar de literatuur onder andere naar de tekst van de 17e vakantiecursus, die uitsluitend over „Kunstmatige infiltratie” handelde [9]. Van aanvang af zijn er belangrijke verschillen geweest tussen de toegepaste technieken voor infiltratie en winning bij de verschillende waterleidingbedrijven. Deze verschillen worden niet alleen veroorzaakt door verschillen in de opbouw van de ondergrond, maar ook door verschillen in reliëf van de terreinen. De terreinsituatie bij de Haags Duinwaterleiding was bijvoorbeeld zodanig dat de aanleg van rechte infiltratie-kanalen enorme vergravingen met zich mee zou brengen. De huidige min of meer natuurlijke vormgeving was dus een uitgangspunt. De terreinen van de Amsterdamse en Noordhollandse bedrijven lieten daarentegen in minder geaccidenteerde terreingedeelten gemakkelijk rechte infiltratie-kanalen toe.

Ook de wijze van winning is van belang voor verschillende aspecten van een berging in de ondergrond. De situering van de winningsmiddelen bepaalt de verblijftijd en de spreiding in de verblijftijd van het oppervlaktewater in de bodem. De minimale verblijftijd is een ontwerp criterium, dat gebaseerd moet zijn onder andere op de afbraaksnelheid van bacteriën en virussen in de ondergrond. De spreiding in de verblijftijd is belangrijk voor de afvlakking van de gehalten aan zouten en de temperatuur. De eigenlijke berging is ook verschillend en hangt sterk af van de hydrologische gesteld-

heid van de ondergrond. De berging in het ondiepe duingedeelte wordt sterk bepaald door de ligging van de terugwinningsmiddelen. Als bij een calamiteit de toevoer moet worden gestopt dan kan en moet veelal de terugwinning doorgaan totdat de infiltratiepannen en -kanalen droogvallen. De hoeveelheid water die zo kan worden gewonnen vormt een onderdeel van de berging, die wel via de ondergrond verloopt, maar niet geheel ondergronds is. In de Amsterdamse waterleidingduinen wordt nog extra gebruik gemaakt van de inhoud van grote open kanalen voor de berging van water, doordat het waternivo in deze kanalen ongeveer 5 m kan worden verlaagd. In het diepe duingedeelte is eeuwenlang reeds een grote voorraad zoet water aanwezig als een bel drijvend op het zoute water. Onttrekking uit deze voorraad geschiedt al tientallen jaren via diepe putten en aanvulling via lekken en open stukken in de zogenaamde afsluitende lagen. Het probleem is echter dat deze wijze van ondergrondse berging hydrologisch moeilijk beheersbaar is onder andere vanwege het dynamische karakter van de waterbewegingen en het optreden van een disperse, brakke zone tussen het zoete en zoute water. Voor het juiste gebruik van het diepe duinwater als voorraad is het tevens nodig te beschikken over een techniek voor een bewuste diepinfiltratie op te kiezen plaatsen en op te kiezen wijze. De techniek van diepinfiltreren door middel van putten is echter nog niet operationeel. Hiervoor zijn twee redenen. Het vraagstuk van een te snelle verstopping van de infiltratieput is nog niet volledig opgelost en de hydrologische aspecten van diepinfiltreren zijn nog onvoldoende uitgewerkt.

Het verstoppingsvraagstuk is sinds 1970 een punt van onderzoek en studie in KIWA/RID verband. Daartoe is onder andere in 1973 een studiereis naar de U.S.A. gemaakt. Een konklusie van die reis was dat de beschikbare know-how in de USA niet voldoende relevant was om putinfiltratie in Nederland op grote schaal te gaan toepas-

sen [10]. Dit geldt ook voor andere landen zoals Israël.

Met verschillende proefputten in Nederland is er met vijf verschillende waterkwaliteiten infiltratie uitgevoerd met wisselende resultaten. De put te Scheveningen, die wordt gevoed met Haags drinkwater is de enige tot nu toe, die na bijna zes jaar continue bedrijf geen weerstandstoename van betekenis vertoont [5]. De andere putten verstopten meer of minder snel. Regeneratie is dan door bijvoorbeeld versneld terugpompen wel mogelijk, maar veelal trad een blijvende vervuiling op. Een chemische behandeling met zoutzuur is wel afdoende, maar maakt de toepassing van deze techniek in een natuurgebied nagenoeg onmogelijk.

Een stand van zaken van het lopende onderzoek is, dat verstopping van infiltratieputten alleen te voorkomen is door de zeer kleine vaste deeltjes in het te infiltreren water vergaand te verwijderen. Als maat hiervoor is sinds kort de zogenaamde M.F.I.-waarde geïntroduceerd (Modified Fouling Index). Deze nieuwe meettechniek is afkomstig van het KIWA-onderzoek naar de membraanvervuilende eigenschappen van water bij hyperfiltratie [6].

Het onderzoek gaat over twee wegen verder namelijk:

- is het mogelijk om met alleen een coagulatie-proces en een snelfiltratie als voorzuivering van oppervlaktewater een voldoende lage MFI-waarde te verkrijgen om geen verstopping te geven en
- indien een langzame weerstandstoename wordt toegelaten welk regiem van infiltreren en terugpompen is dan optimaal om een blijvende verstopping te vermijden.

Een tweede reden voor het nog niet operationeel zijn van de diepe putinfiltratie is het feit dat relevante hydrologische ontwerp-factoren nog onvoldoende uitgewerkt zijn. Vragen over de juiste bedrijfsvoering en het haalbare terugwinningspercentage kunnen nog niet worden beantwoord. Evenmin is het duidelijk of en hoe een verzilting kan worden voorkomen bij het bergen van zoet water in het zoute deel van het watervoerend pakket en of er een ver-grote zoute kwel ten oosten van de duinstrook op kan treden. Deze vragen moeten en zullen waarschijnlijk in de komende jaren door middel van modelstudies en rekenwerk worden beantwoord.

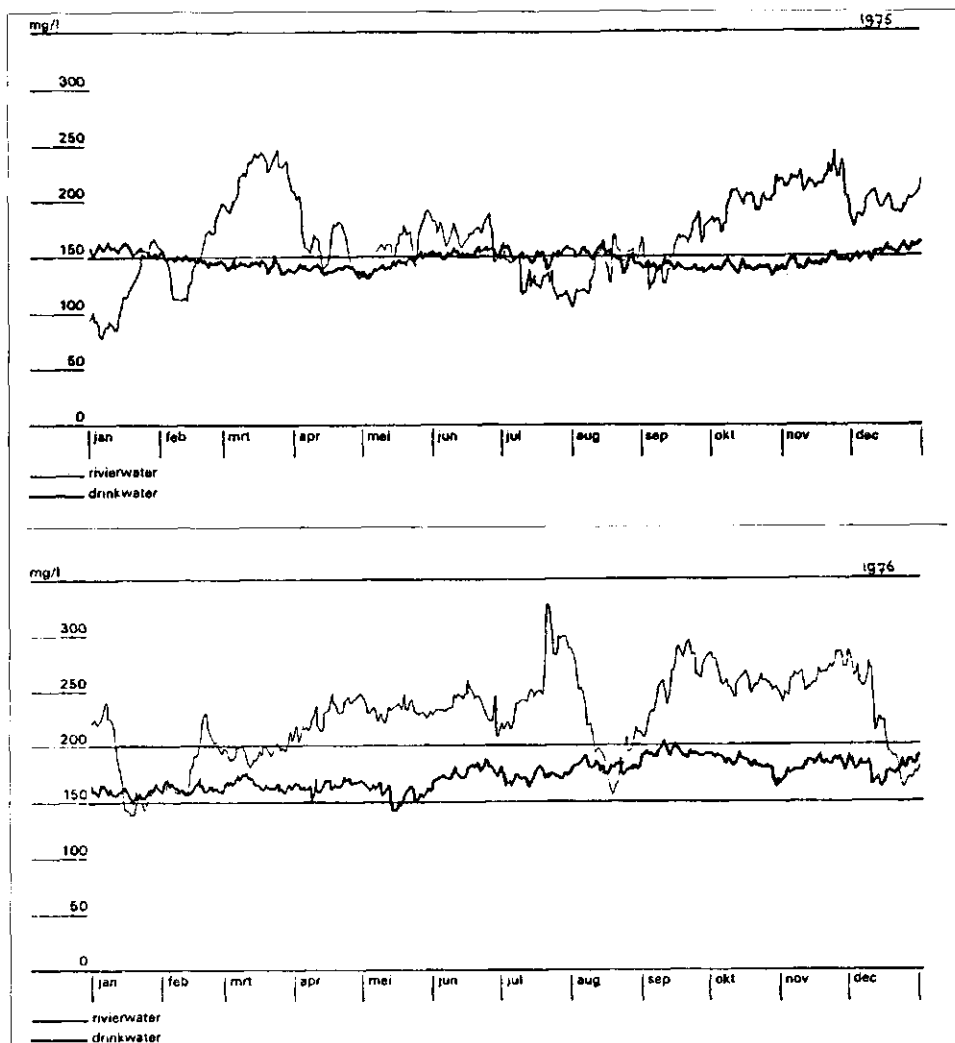
De verwachting is dan ook dat over enkele jaren infiltratie van gezuiverd oppervlaktewater door middel van putten min of meer voldoende operationeel kan zijn om in een eerste project te worden toegepast. De berging in de ondergrond kan dan nog meer gericht worden toegepast.

4. Afvlakking van de waterkwaliteit en de temperatuur

De kwaliteit van oppervlaktewater variëert in het algemeen sterk, soms zelfs binnen een etmaal. De temperatuur van oppervlaktewater variëert met de seizoenen van ruwweg 0 °C tot 24 °C. Grondwater is daarentegen redelijk konstant van kwaliteit en temperatuur. Voor diverse gebruikers van drink- en industriewater is een redelijk konstante temperatuur en kwaliteit met name wat betreft het zoutgehalte en de hardheid niet alleen prettig maar ook van economisch belang. Enkele redenen zijn:

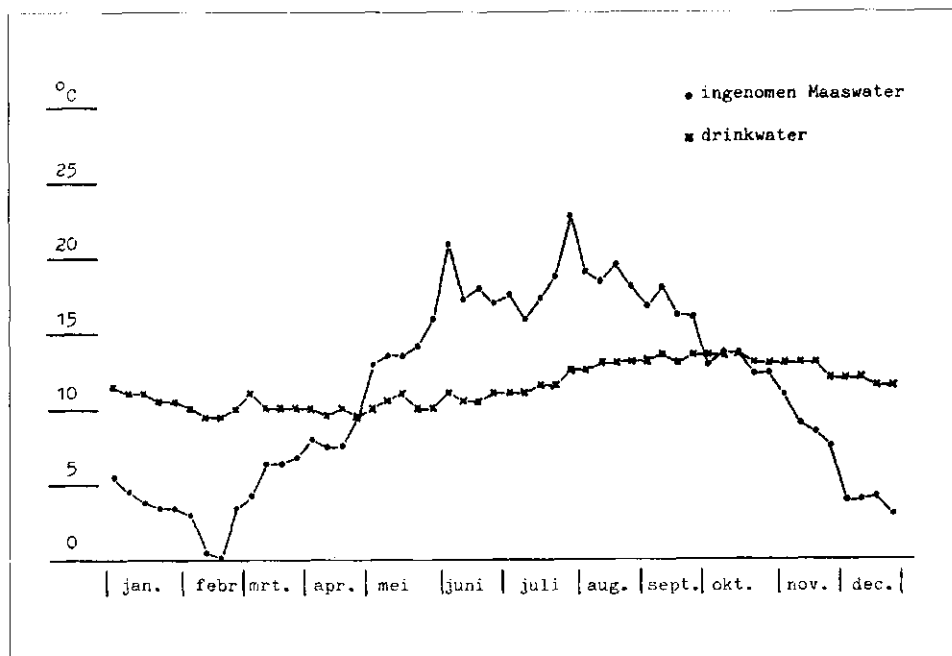
- a. De drinkwaterverbruiker ervaart een konstante temperatuur als prettig, omdat het water in de zomer betrekkelijk koel blijft en in de winter niet al te koud wordt.
- b. De industrie preferereert een konstante hardheid en zoutgehalte voor onthardings- en ontzoutingsinstallaties ten behoeve van de proceswaterproductie. Dit beperkt de maximale capaciteit van de installaties en maakt het ontharden en het ontzouten goedkoper en bedrijfszekerder.
- c. Doordat de maximale temperatuur en zoutgehalte minder hoog zijn bij afvlakking wordt de korrosiesnelheid van de materialen, die bij de distributie van drinkwater worden gebruikt, beperkt.

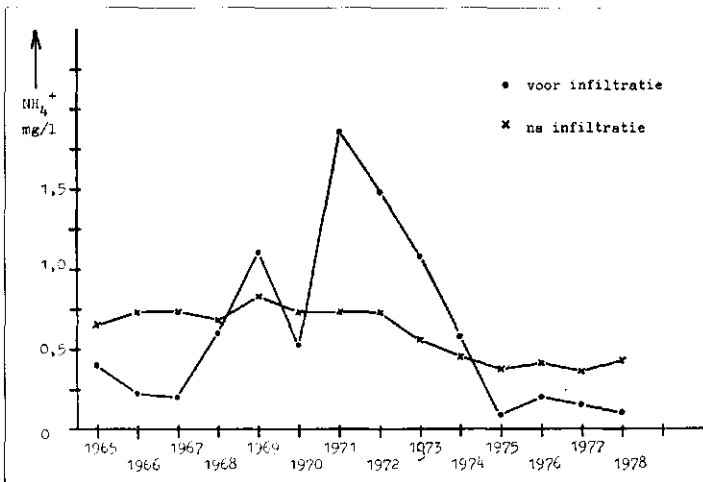
Hoewel deze redenen niet als harde eisen voor goed drinkwater kunnen worden gegeven, passen ze goed binnen het kader van de doelstelling voor de openbare drink- en industriewatervoorziening zoals onder andere ook voor de temperatuur verwoord is in de 'International Standards for Drinking-Water' [11] van de WHO. Door voorraadvorming vindt in het algemeen een afvlakking van de waterkwaliteit plaats afhankelijk van de wijze van uitvoering. Bij berging in de ondergrond gekoppeld aan een infiltratie vindt bovendien een afvlakking van de watertemperatuur plaats. Dit feit is een duidelijk pluspunt van de ondergrondse berging, omdat er voor een dergelijk effect geen economisch haalbare alternatieven beschikbaar zijn. Hoe groot is nu de afvlakking in de praktijk? Daarvoor enkele voorbeelden. In afb. 2 is het chloridegehalte weergegeven van het drinkwater afkomstig uit de Amsterdamse Waterleidingduinen en van het ingenomen Lekwater [12]. De afvlakking is evident. Tevens valt op dat de gemiddelde waarden in 1975 en vooral in 1976 van het drinkwater lager liggen dan van het Lekwater. De reden hiervoor is dat er naast de afvlakking door spreiding in de verblijftijd ook andere effecten een positieve rol spelen. In afb. 3 is de temperatuur van het ingenomen Maaswater en van het drinkwater van



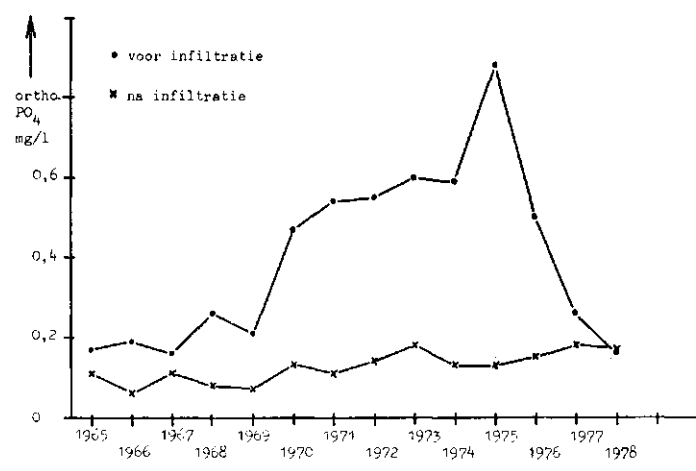
Afb. 2 - Verloop van de chloridegehalten van het rivierwater en het drinkwater in de jaren 1975 en 1976 bij de GWA, pompstation Leiduin).

Afb. 3 - Verloop van de temperatuur van het ingenomen Maaswater en het drinkwater, in 1978, bij de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage.

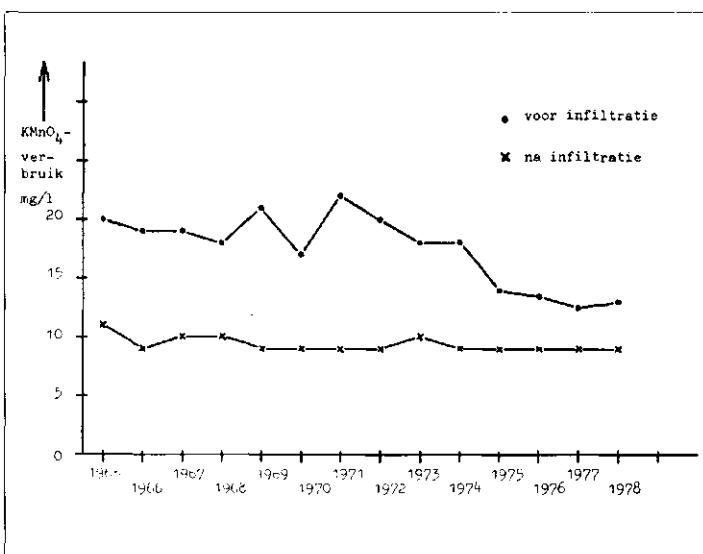




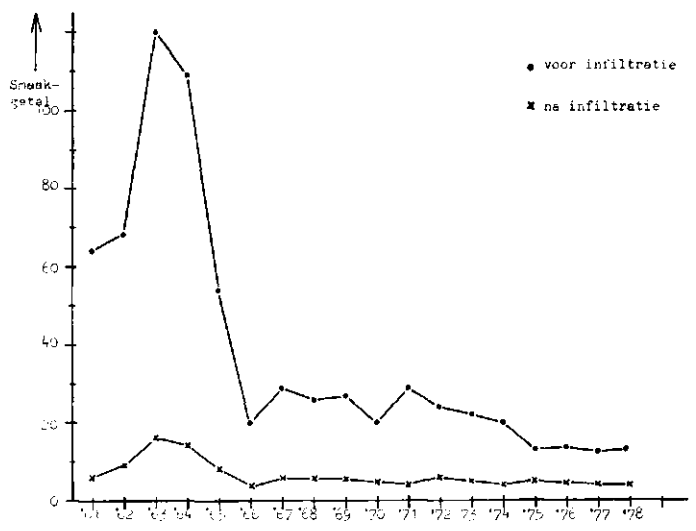
Afb. 4 - Ammoniumgehalte (jaargemiddelden) van het water vóór en na de infiltratie in de duinen bij Scheveningen (DWL).



Afb. 5 - Ortho-fosfaatgehalte (jaargemiddelden) van water vóór en na de infiltratie in de duinen bij Scheveningen (DWL).



Afb. 6 - Kaliumpermanganaatverbruik (jaargemiddelden) van water vóór en na infiltratie in de duinen bij Scheveningen (DWL).



Afb. 7 - Smaakgetal (jaargemiddelden) van water vóór en na infiltratie in de duinen bij Scheveningen (DWL).

de Duinwaterleiding weergegeven. Ook hier is de afvlakking duidelijk zichtbaar.

5. Chemische kwaliteitsveranderingen en accumulatie van stoffen

Allereerst wil ik het al lang lopende conventionele onderzoek betreffende de makro-samenstelling van het water aan de orde stellen. Tot en met 1968 zijn deze gegevens verzameld en verwerkt in het zogenaamde WIRDU rapport [13]. Als algemene leidraad kan worden gesteld, dat water bij bodempassage er wat samenstelling betreft naar zal streven in evenwicht te komen met de bodemsamenstelling. Het oorspronkelijke duinwater is daar min of meer mee in evenwicht, zodat mag worden gesteld dat het geïnfiltreerde water kwalitatief zal veranderen in de richting van het

originele duinwater voor een aantal componenten, die samenhangen met het humusrijke, kalkrijke duinzandpakket.

Aangezien het originele duinwater chemisch verre van zuiver is en van aanvang af een duidelijke nazuivering vergde ter verwijdering van ijzer, mangaan, ammonium en eventuele kleur mag van het water na infiltratie op deze punten geen betere kwaliteit worden verwacht dan die van het duinwater. In de afbeeldingen 4 tot en met 7 zijn een viertal voorbeelden voor de chemische kwaliteitsverandering bij de Haagse Duinwaterleiding gegeven. Alleen het totale effect van het gehele proces is als jaargemiddelde weergegeven.

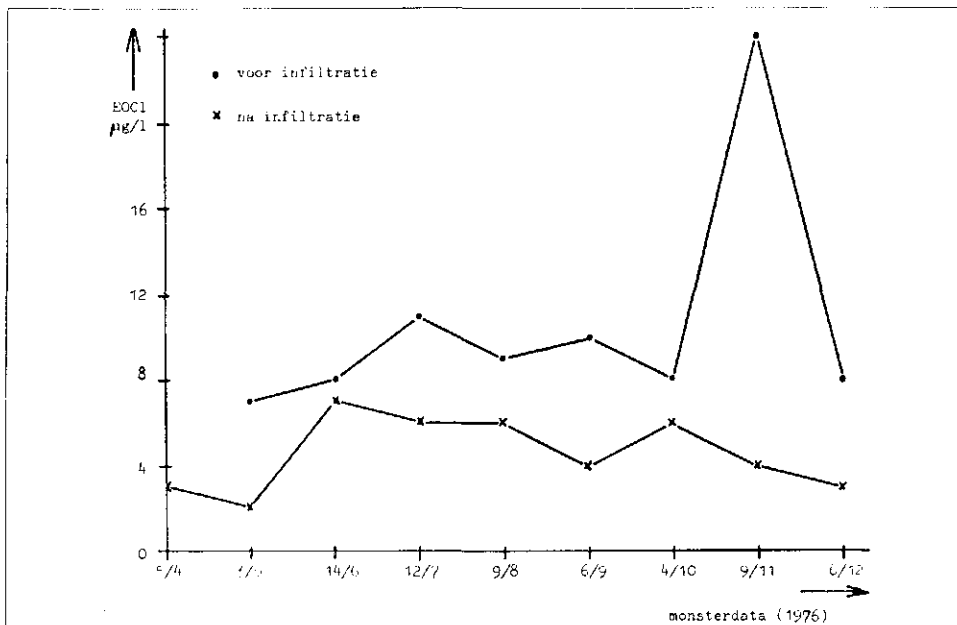
De belangrijkste konklusie uit deze afbeeldingen is, dat de kwaliteit van het water na de infiltratie over de laatste 10-15 jaren redelijk konstant van samenstelling is gebleven.

Er is geen trendmatige verslechtering doordat bijvoorbeeld het duin minder goed zuivert, maar er is ook nog geen duidelijke verbetering waarneembaar toen de kwaliteit van het te infiltreren water verbeterde bij de overgang van Lek naar Maas in de loop van 1976.

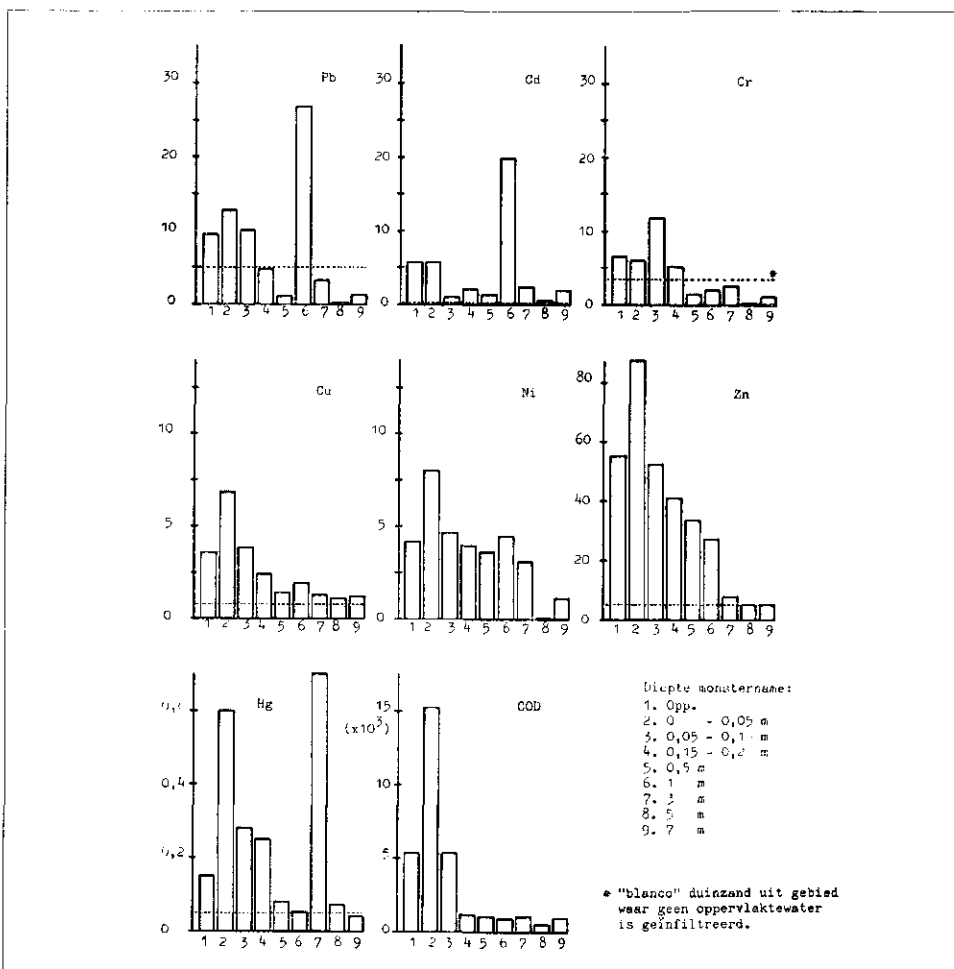
Duinpassage levert eenvoudig gezegd een 'standaard kwaliteit' water op, die de samenstelling van het originele duinwater vrij dicht benadert wat betreft die componenten die met de bodembestanddelen interacteren. De organische smaakstoffen vallen in principe hier niet onder, omdat het duinwater van origine bijsmaakvrij is en was. Toch is ook het smaakgetal sinds 1966 nagenoeg konstant. Mogelijk is er sprake van een zeker evenwicht tussen adsorptie/desorptie en microbiologische afbraak. Het verschil in kwaliteit voor en na infiltratie is bij het

verbeteren van de ruw water kwaliteit wel sterk gedaald en daarmee ook het verwijderingspercentage door de duininfiltratie. Bij een gelijkblijvende kwaliteit na infiltratie is het de vraag of dit positief of negatief moet worden beoordeeld. Wil men het duin niet zien als een zuiveringssysteem voor chemische stoffen met de kans op ophoping en doorslag dan is deze ontwikkeling zeker positief. Deze verbetering van de kwaliteit van het te infiltreren water heeft, niet alleen bij de Duinwaterleiding plaatsgevonden, maar ook bij de bedrijven, die door de NV Water Transport Maatschappij Rijn-Kennemerland (WRK) worden voorzien. Overigens moet ook worden opgemerkt, dat voor de hier genoemde nog maar geringe chemische kwaliteitsveranderingen door de duininfiltratie natuurlijk goede en zelfs betere alternatieven bestaan bijvoorbeeld een actieve kooladsorptie en andere. Dit geldt dan echter niet voor de wezenlijke verlagings van het nitraatgehalte als gevolg van optredende anaërobie en nitraatreduktie. Bij het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland te Castricum werd bij de infiltratie van het voorgezuiverde Lekwater het nitraatgehalte in de jaren 1959 tot en met 1973 verlaagd van 14,8 tot 2,7 mg/l. Een verlaging van 82 %. Deze nitraatreduktie, die overigens in de loop der jaren zoals bij het PWN het geval is kan afnemen, is typerend voor het duingebied met overwegend anaërobie in de ondergrond, maar ook met gebieden die geheel aëroob blijven. Op sommige plaatsen is de nitraatreduktie nagenoeg 100 % en op andere praktisch nul. Dergelijke grote lokale verschillen treden ook bij de andere reeds genoemde componenten op. De nitraatreduktie treedt ook bij de andere duinwaterbedrijven op. Het is een niet te verwaarlozen pluspunt voor de duininfiltratie ook omdat er behalve door hyperfiltratie nog geen andere bruikbare verwijderingstechnieken voor beschikbaar zijn. Hyperfiltratie is nog onvoldoende operationeel om op betrouwbare wijze op grote schaal te kunnen worden toegepast en bovendien nog steeds relatief duur.

In het Rijn- en Maaswater komen als gevolg van lozingen van de organisch chemische industrieën in de stroomgebieden duizenden en duizenden verschillende organische stoffen voor. Al meer dan tien jaar wordt door het KIWA systematisch onderzoek naar de aard en de hoeveelheid van deze organische micro-verontreinigingen gedaan. Het aantal massaspectrometrisch aangetoonde stoffen is ruim 300, waarvan sommige van toxische aard zijn. Een dergelijk onderzoek is ook bij een aantal bedrijven vóór en ná de infiltratie verricht. Bij de infiltratie van voorgezuiverd Lekwater in de Amsterdamse duinen bleken in



Afb. 8 - EOC1-gehalte van water vóór en ná infiltratie in de duinen bij Scheveningen (DWL).



Afb. 9 - Gehalte aan zware metalen en organische stoffen (COD) in bodem- en zandmonsters uit de stroomlijn bij pan 26 in mg per kg (1977, DWL, pan 26 is in bedrijf sinds 1955).

1975 de gehalten aan organochloorverbindingen, polycyclische aromaten, nitroverbindingen, alifatische zuurstofverbindingen en organofosfaten af te nemen. Tien-

tallen componenten, maar niet alle, waren na infiltratie niet meer aantoonbaar. Daarentegen waren de gehalten aan vrij onschuldige ftalaten en alkanen toegenomen. Dit

beeld is een aantal keren bevestigd. Bij de Duinwaterleiding is een dergelijk onderzoek in 1976 negen keer uitgevoerd. Het te infiltreren voorgezuiverde Maaswater bevatte zeer weinig van de betreffende organische mikro-verontreinigingen. Vóór en ná de infiltratie werden op dat zeer lage nivo geen significante verschillen aangetoond. Ook gemeten is het zogenaamde EOCI (extraheerbaar organisch chloor)gehalte. De resultaten staan weergegeven in afbeelding 8. Er vindt een duidelijke verlaging door de duininfiltratie plaats hetgeen ook geldt voor de zogenaamde trihalomethanen, die in het water worden gevormd als gevolg van de transportchloringen. Na de infiltratie zijn de betreffende stoffen echter nog wel in aantoonbare hoeveelheden aanwezig. Verdere verwijdering moet in de nazuivering plaatsvinden.

Het duin is geen universeel filter zoals minister Ginjaar terecht opmerkte in zijn rede bij het 125-jarig bestaan van de Gemeentewaterleidingen [4]. Er is reden om met het onderzoek naar organische mikro-verontreinigingen door te gaan en het uit te breiden met een onderzoek naar de integrale

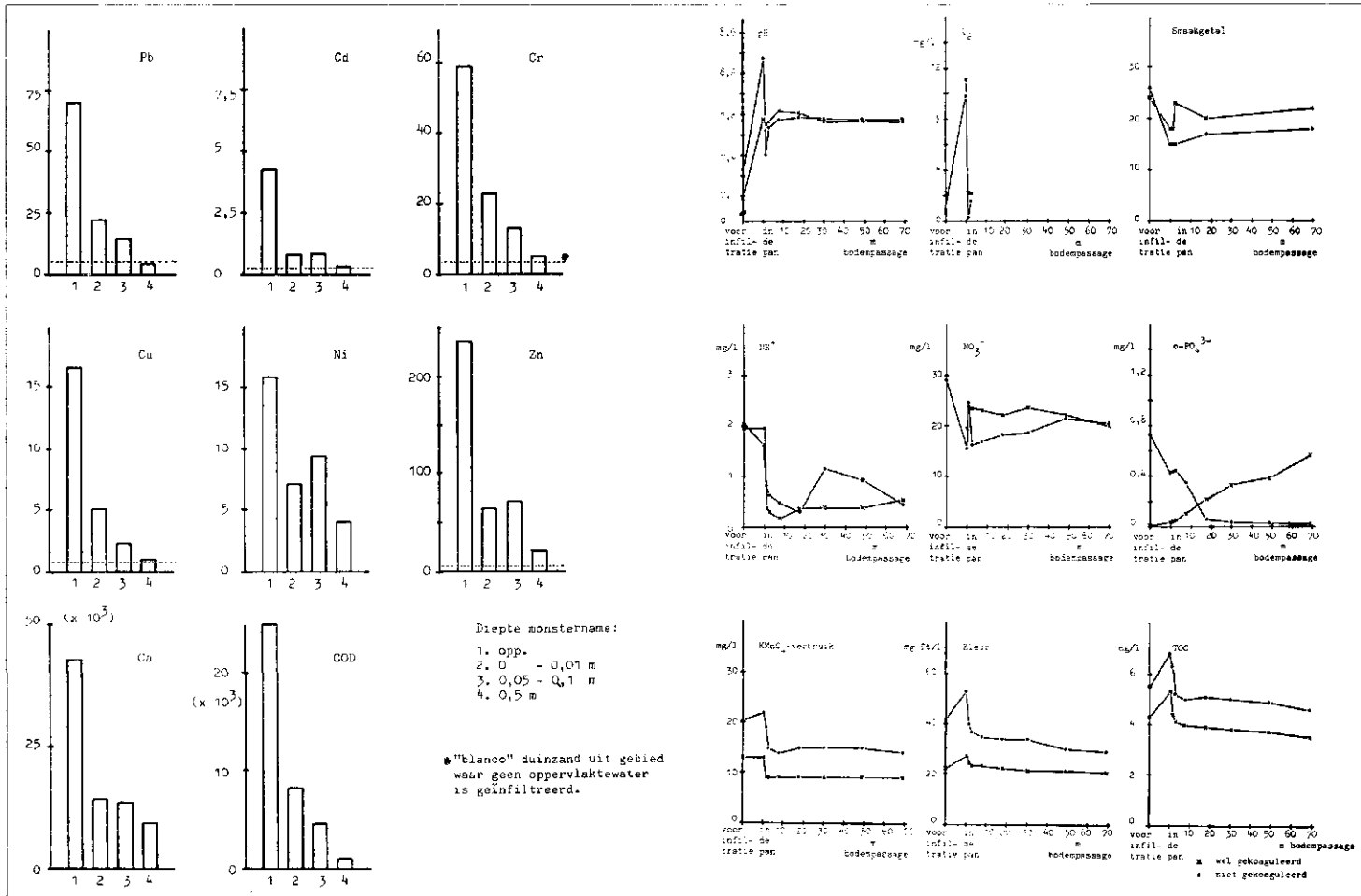
chronische toxiciteit van het water vóór en ná de infiltratie. Dit laatste onderzoek zal in de komende jaren worden uitgevoerd door de toxicologische afdeling van het KIWA. De methodes, waarmee recent is aangetoond dat het Lekwater chronisch toxisch is, zullen daarbij naast andere worden gehanteerd [14].

Een belangrijk vraagpunt voor de chemische kwaliteitsverandering van oppervlaktewater bij infiltratie is, wat het uiteindelijke lot van de verwijderde stoffen is. Vindt er een accumulatie en desorptie na verzadiging van het watervoerende pakket plaats? In de loop van de jaren is hieraan door verschillende bedrijven onderzoek verricht door zand- en slibmonsters uit de infiltratiezone te onderzoeken op de aanwezigheid van organische stoffen en zware metalen. Wat betreft de organische stoffen worden soms verhoogde concentraties in bodemslib en algen aangetroffen bijvoorbeeld van gechlorde koolwaterstoffen. In het zand van het eigenlijke infiltratiepakket worden deze stoffen niet of nauwelijks aangetroffen. Verwijdering door adsorptie gevolgd door afbraak op de lange duur vindt kennelijk

vooral plaats in het bodemslib en eventueel in veen- en humusrijke gebieden van het watervoerende pakket. Verschijnselen van verzadiging en doorslag zijn niet of zeer moeilijk te constateren door de sterk wisselende bodemsamenstellingen en de wisselende kwaliteit van het te infiltreren water. Als er sprake kan zijn van een ongewenste accumulatie dan met name bij de zware metalen, die na verwijdering uit het water moeten achterblijven in het duin. In de afbeeldingen 9 en 10 is een voorbeeld gegeven van een onderzoek in 1977 naar de aanwezigheid van een zevental zware metalen in bodem- en zandmonsters uit de stroomlijn van het water bij infiltratie in een relatief lang respectievelijk kort in bedrijf zijnde pan bij de Duinwaterleiding. Deze afbeeldingen laten een accumulatie zien, die in de meeste gevallen binnen 1 meter daalt tot een min of meer natuurlijk nivo. Dit natuurlijk 'blanko' nivo is arbitrair vastgesteld op basis van metingen met duinzand van een meter diepte uit een gebied waar geen oppervlaktewater is gebracht. Een vergelijking met andere 'natuurlijke' nivo's van zanden in Nederland [15] leert, dat het

Afb. 10 - Gehalte aan zware metalen en organische stoffen (COD) in bodem- en zandmonsters uit de stroomlijn bij pan 8.4.3 in mg per kg (1977, DWL, pan 8.4.3 is in bedrijf sinds 1970).

Afb. 11 - Invloed van een extra voorzuivering door een koagulatieproces op de kwaliteitsverandering van rivierwater vóór en in twee infiltratiepannen en tijdens de bodempassage (DWL, 2e kwartaal 1972).



TABEL II - Verwijdering van micro-organismen uit voorgezuiverd oppervlaktewater bij infiltratie in de duinen bij Scheveringen (1977, 16 monsters water).

Bakteriologische parameters	Na 10 m	
	Voor infiltratie max. aantal/ 100 ml	duinzand verwijdering in log-eenheden
Coliformen	120	> 2+
Faecale coliformen	100	> 2+
Kiemgetal (22 °C)	24.10 ⁶	4
Kiemgetal (37 °C)	9.10 ⁶	4
Colifagen	10	> 2*

+ niet aantoonbaar in 100 ml

* niet aantoonbaar in 1000 ml

gehanteerde natuurlijk nivo voor het gehalte aan zware metalen in zand relatief laag is. Ook de geakkumuleerde hoeveelheden zijn in vergelijking met het voorkomen op andere plaatsen in het biologische milieu in Nederland niet bijzonder hoog. De belasting van het duinzand met zware metalen is de laatste jaren sterk verminderd. De gehalten van het voorgezuiverde water zijn veelal lager dan die van regenwater. Problemen met accumulatie en doorslag van zware metalen zijn in de toekomst dan ook nauwelijks te verwachten.

6. Bakteriologische en virologische kwaliteitsveranderingen

De bakteriologische en later ook de virologische kwaliteitsverbetering van het oppervlaktewater bij de bodempassage in de duinen is steeds een belangrijk overweging geweest ten gunste van de duinfiltratie. Bij het ontwerpen van de infiltratie- en winningsmiddelen is als criterium voor de minimale verblijftijd de verwijdering van bacteriën uit het water aangehouden. Gekozen is voor 2 maanden op basis van een tweetal artikelen van Knorr uit 1951 [16]. De praktische ervaringen zijn ook onverdeeld gunstig [9], zoals uit vele gegevens betreffende bakteriologische onderzoeken in het verleden en ook recent is gebleken (zie tabel II). Een vergaande bakteriologische zuivering is al verkregen op korte afstand van de infiltratiemiddelen dat wil zeggen na een verblijftijd van ongeveer een week of korter. De 2 maanden verblijftijd lijkt dan ook aan de veilige kant voor wat betreft de onderzochte bakteriologische parameters zoals de kiemgetallen bij 22 en 37 °C en het aantal coli-achtigen. Of dit voor humane virussen ook geldt is nog een open vraag en onderzoek hiernaar is gaande onder andere in samenwerking tussen de Duinwaterleiding en het RID. Er zijn aanwijzingen, zoals bijvoorbeeld de colifagen (een bacterie-virus) verwijdering volgens tabel II, dat ook de verwijdering van virussen door de infiltratie in de duinen sterk is. Robeck [17] toonde in 1962 al aan dat de

reduktie van poliovirus bij een infiltratie in onverzadigd zand met 4 log-eenheden geschiedde. Door andere onderzoekers is dit in een aantal gevallen bevestigd.

Kool [18] geeft als verwijderingspercentage bij infiltratie in duinzand voor poliovirus 1, 2, 3 en voor bakteriofagen 99,99 % op (dit is dus 4 log-eenheden).

In de praktijk van de duinwaterbedrijven is de uiteindelijke verkregen bakteriologische kwaliteit van het water na infiltratie niet altijd zo gunstig als in principe mogelijk is. De reden hiervoor is de technische uitvoeringswijze van de winningsmiddelen, die soms zodanig is dat een herbesmetting op kan treden. Dit gebeurt in sterke mate in de open Amsterdamse winningskanalen, maar niet bij het PWN te Castricum en Wijk aan Zee, met een volledig gesloten winning. Het gevaar van kortsluiting met regenwater of het aangevoerde water is ook niet denkbeeldig onder andere vanwege het feit dat de winning in het ondiepe duin niet onder een afsluitende en beschermende laag geschiedt. Toch mag worden gesteld dat door de infiltratie in de duinen sterk besmet oppervlaktewater wordt omgezet in bakteriologisch en waarschijnlijk ook virologisch betrouwbaar water. De betrouwbaarheid van grondwater wordt in dit opzicht benaderd.

Duinfiltratie geeft dus een betrouwbare desinfectie van oppervlaktewater. Een desinfectie met chemische middelen zoals chloor en ozon is in principe ook betrouwbaar, maar aan het gebruik van deze chemicaliën kleven diverse andere bezwaren. Vervult het belangrijkste desinfectiemiddel is chloor. Een belangrijk bezwaar van chloor is echter de recent door Rook ontdekte vorming van de toxisch verdachte trihalomethanen. Deze vorming blijkt in de praktijk nagenoeg onvermijdelijk te zijn. In de KIWA-mededeling [19] over deze problematiek wordt de aanbeveling gedaan alleen dan chloor te gebruiken indien dit strikt noodzakelijk is. Ook de internationale ontwikkeling gaat in die richting met name in de USA. Gezien de bezwaren verbonden aan het gebruik van chloor en alle andere chemische middelen wordt bij het EPA (Environmental Protection Agency) in recente publikaties [20] steeds meer het voordeel van een desinfectie zonder chemicaliën ingezien. De ontwikkelingen gaan dus in de richting van een voorkeur voor een bodempassage ten behoeve van de desinfectie van oppervlaktewater. Voor een recente literatuurstudie zie lit. [21].

7. Invloed van de vóór- en nazuivering

De belangrijkste verandering in de afgelopen

jaren bij de infiltratie van oppervlaktewater in de duinen is de grote kwaliteitsverbetering van het te infiltreren water. De oorzaken hiervan zijn:

- de niet te ontkennen kwaliteitsverbetering van het Rijn- en Maaswater sinds het begin van de zeventiger jaren,
- de uitbreiding van de voorzuivering te Nieuwegein in 1974 met een coagulatie, en voor de Duinwaterleiding:
- de overgang in 1976 van de Lek naar de Maas gepaard gaande met een uitbreiding van de voorzuivering door de zelfreinigingsprocessen en de ijzersulfaatdosering in het doorstroombekken van de Afgedamde Maas.

Sinds 1970 is er veel onderzoek gedaan bij de duinwaterbedrijven en de instituten naar de invloed van een verdergaande voorzuivering op het biologisch en chemisch gebeuren in infiltratieplannen en de kwaliteitsveranderingen bij de bodempassage. Van 1970 tot en met 1973 is bij de Duinwaterleiding de invloed van een coagulatieproces met als primair oogmerk een sterke fosfaatreduktie om algenbloei in de pannen te vermijden onderzocht [22]. Het wel respectievelijk niet extra gecoaguleerd rivierwater is ter vergelijking in twee naast elkaar gelegen infiltratiepannen gebracht. In afb.11 zijn de gegevens van het tweede kwartaal van 1972 weergegeven. Het coagulatieproces veroorzaakt een groot kwaliteitsverschil wat betreft het ortho-fosfaatgehalte, de organische stofparameters en het zwvende stofgehalte tussen de twee watersoorten vóór infiltratie. In de infiltratiepannen wordt het verschil zelfs groter door sterke algenbloei in de pan met het niet gecoaguleerde water. Deze sterke algenbloei had verstopping van de panbodem tot gevolg terwijl de pan met het gecoaguleerde water dit in het geheel niet vertoonde, zelfs niet bij verhoogde infiltratiesnelheid. Kwaliteitsverandering in de bodem vindt vooral over de eerste meters plaats en leidt in dit betreffende kwartaal tot nog duidelijke verschillen na de infiltratie.

Ook bij het PWN is in 1972 en 1973 een dergelijk onderzoek naar de invloed van een meer uitgebreide voorzuivering uitgevoerd. Naast een coagulatieproces met behulp van opwaartse vlokkingfiltratie was een ozonisatie in de voorzuivering opgenomen [23]. De reeds vermelde conclusies zijn nagenoeg bevestigd. Een ozonisatie geeft een extra verbetering aan de kwaliteit van het te infiltreren water, die na de infiltratie nog wel waarneembaar is, maar in beperkte mate. Opvallend was de sterke opname van ijzer uit de bodem als gevolg van de optredende anaërobie en de sterke nitraat-reduktie vooral bij het geozoniseerde water. In dit verband moet ook het zeer uitvoerige

onderzoek worden vermeld, dat in RID/KIWA verband van 1972 tot en met 1976 is uitgevoerd met behulp van een proefinstallatie onder andere bestaande uit zes ketels gevuld met duin- en Veluwezand te Leiduin. De grootste invloed van de voorzuivering ligt in het vermijden van verstopping en het schoon houden van het zandpakket van akkumulerende stoffen en wat voor de Veluwe van belang is het handhaven van de aërobie. De meest verstaande voorzuivering geeft de meeste zekerheid ten aanzien van deze punten.

De functie van de nazuivering is om van het na de infiltratie verkregen water drinkwater te maken. Duinwater vergde vanouds een nazuivering bestaande uit een snelfiltratie en in de meeste gevallen een langzame zandfiltratie. Na de start van de infiltratie bleek al snel, dat de smaakstoffen onvoldoende werden verwijderd en een actieve poederkoldosering vereist was. Op dit punt heeft het oppervlaktewater dus niet het karakter van grondwater gekregen, hetgeen dan in de nazuivering gecorrigeerd kan en moet worden.

Ook bij oeverinfiltratie moet men hierop bedacht zijn.

8. Slot

In het voorgaande ben ik nog onvoldoende ingegaan op een aantal andere aspecten van een ondergrondse berging gekoppeld aan een infiltratie van voorgezuiverd oppervlaktewater. Deze aspecten betreffen bijvoorbeeld de betrouwbaarheid van een duinpassage als zuiveringsstap in hygiënisch opzicht in vergelijking met wat meer fabrieksmatige zuiveringstechnieken en de veiligheid van een ondergrondse berging. Deze twee aspecten vergen beschermingsmaatregelen voor de betrokken waterwin-gebieden. Een voordeel van een ondergrondse berging is de kleinschaligheid, waardoor een fase-gewijze opzet zeer goed mogelijk is en in de praktijk ook wordt toegepast. Een betere aanpassing aan de ontwikkeling van de vraag naar drinkwater is dan mogelijk. Het ruimtebeslag van een ondergrondse berging is van geheel andere aard dan het ruimtebeslag van open bekens. Ondergrondse berging laat de mogelijkheid van andersoortig gebruik van het terrein toe zij het onder bepaalde voorwaarden bijvoorbeeld natuurstudie en beperkte recreatie.

De balans opmakend moge het duidelijk zijn, dat de betekenis van de Hollandse- en Zeeuwse duinen voor de openbare drink- en industriewatervoorziening groot is en behoort te blijven.

Ik hoop dan ook in navolging van wat minister Ginjaar in zijn rede op 30 novem-

ber 1978 heeft gezegd, dat het in de toekomst mogelijk blijft om de 'door sommigen als strijdig afgeschilderde belangen van waterwinning en natuurbehoud en recreatie', in een harmonieuze opzet te verenigen. Juist bij deze sektor blijkt een milieubeleid geïntegreerd te kunnen worden in een beleid ten aanzien van de drink- en industriewatervoorziening'.

Literatuur

1. Struktuurschema 'Drink- en Industriewatervoorziening' 1972. Deel c: regeringsbeslissing.
2. VEWIN Tienjarenplan 1978.
3. Voorraadvorming en Zuivering van Oppervlaktewater. Rapport van de Commissie Voorraadvorming en Zuivering van Oppervlaktewater. Uitgave: RID, C.B.A.-R 78/05.
4. Minister Ginjaar over waterwinning in de duinen in rede tot 125-jarige Gemeentewaterleidingen. Tijdschrift H₂O 11, (1978), 582, 583.
5. KIWA Mededeling nr. 41. Putinfiltratie met drinkwater te 's-Gravenhage, 1975.
6. De membraan filtratie index (M.F.I.) als kenmerk voor de filtreerbaarheid van water. J. C. Schippers, J. Verdouw, 1978. KIWA, SWJ-208.
7. Ons drinkwater in de stroom van de tijd. K. W. H. Leeflang, VEWIN 1974.
8. 'Een cent per emmer', Het Amsterdamse drinkwater door de eeuwen heen. J. A. Groen jr, Gemeentewaterleidingen 1978.
9. Zeventiende Vakantiecursus in drinkwatervoorziening, 1965. Kunstmatige Infiltratie. Moormans Periodieke Pers NV, Den Haag.
10. Verslag van bezoeken aan objecten voor kunstmatige infiltratie van water door middel van putten in de U.S.A., 1973. B. Bulten, C. Brandes en J. van Puffelen.
11. International Standards for Drinking-Water. Third Edition - WHO - Geneva 1971.
12. Jaarverslagen Gemeentewaterleidingen 1975, 1976.
13. Kwaliteitsverandering bij infiltratie in de duinen, Werkgroep Infiltratie Rivierwater in de Duinen (WIRDU), 1969. H. J. M. Lips, B. Bulten en J. van Puffelen.
14. Toxische aspecten van Rijnwater als bron voor de bereiding van drinkwater. C. L. M. Poels, 1978. Lezingen en bijeenkomsten in RIWA/KIWA verband.
15. Metingen van xenobiotische stoffen in het biologisch milieu in Nederland, 1976. Verslagen. Adviezen-Rapporten, nr. 46. Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne.
16. Zur hygienischen Beurteilung der Ergänzung und des Schutzes grosser Grundwasservorkommen, M. Knorr, Erlangen. G. W. F., 92 (1951), 104-110 en 151-155.
17. Effectiveness of water treatment processes in virus removal. J. A. W. W. A., 54 (1962), 1275-1292.
18. Treatment processes applied in public water supply for the removal of micro-organisms, 1978. H. J. Kool.
19. Problematiek haloformen, 1978. KIWA Mededeling nr. 57.
20. An assessment of ozone and chlorine dioxide technologies for treatment of municipal water supplies, oktober 1978. E.P.A.-600 18-78-018.
21. Eliminierung von Viren bei der Wasserauf-

bereitung unter besonderer Berücksichtigung von Langsandsandfiltration und Untergrundpassage. F. W. J. van Haaren, 1977. Veröffentlichungen des Instituts für Wasserforschung, Dortmund, nr. 25.

22. De invloed van een verlaging van het fosfaatgehalte van gefiltreerd Rijnwater op de algenontwikkeling in infiltratiebekkens en op de kwaliteitsveranderingen tijdens de infiltratie. Rapport Duinwaterleiding, 1971. J. van Puffelen, S. G. Bos, R. W. Janzen en R. Looijen.

23. Verslag van proeven te Wijk aan Zee betreffende voorbehandeling van W.R.K.-water. Rapport Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Holland, 1974. B. Kramer.

24. De infiltratie van voorgezuiverd Rijnwater in Veluwe-zand (resultaten van proeven met de RID-KIWA proefinstallatie te Leiduin), J. Hrubec. Rapport van de Commissie Proefinstallatie Infiltratie C.B.A.-R77/10, 1977. Samenvatting, RID mededeling 78-1.



Agenda

27 november 1979, Utrecht: Ontwikkeling van kwaliteitsverklaringen voor de bouw in Europa. KOMO-dag, Jaarbeurs Congresszaal, Utrecht.

4-8 februari 1980, Abidjan (Ivoorkust): regional conference IWSA. Inl.: IWSA, 1 Queen Anne's Gate, London SW1H 9 BT.

4 t/m 8 maart 1980, Bordeaux: 4e Océan-expo. Inl.: Technoexpo, 8 rue de la Michodière, 75002 Parijs.

14 t/m 17 april 1980, Manchester: Congres 'Biological fluidised bed treatment of water and waste water'. Inl.: Water Research Centre, Medmenham Laboratory, Henley Road, Medmenham, P.O. Box 16, Marlow, Bucks, SL7 2HD, England.

28 t/m 31 mei 1980, Cleveland, Ohio, USA: 'IFAC symposium on water and related land resource systems'. Inl.: IFAC-Water Systems 1980, c/o AGU Meetings, American Geophysical Union, 1909 K Street, NW, Washington, DC 20006.

3 t/m 7 juni 1980, RAI-gebouw, Amsterdam: Sanitair & Hygiëne. Inl.: Intradex, Hoogstraat 111, 3011 PL Rotterdam, tel. (010) 130311.

23 - 27 juni 1980: 10e Int. Conference van de IAWPR. Inl.: Chichester House, 278 High Holborn, London WC1.

23 t/m 27 juni 1980, Toronto: 10e IAWPR Congres. Inl.: Mr. Ken Carbonneau, Conference Services, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario M5S 1A4.

1-6 september 1980, Parijs: IWSA-congres.

23-25 september 1980, Amsterdam: Conferentie Fresh Water from the Sea.

22-27 september 1980, Amsterdam: Aquatech-tentoonstelling.