

Kwaliteitsbeheersing door bereiding

1. Inleiding

Het doel van deze les is na te gaan, in welke mate wij in staat zijn uit ruw water van de kwaliteiten waarmee wij thans moeten werken leidingwater te bereiden, dat aan de eisen voldoet. Daartoe wil ik het effect van de verschillende zuiveringsmethoden projecteren tegen deze eisen om vervolgens daaraan enkele concluderende beschouwingen te verbinden.

Hierbij zal ik geen nieuws brengen. Slechts hoop ik de bekende feiten in vogelvlucht nog eens onder uw aandacht te brengen aan de hand van het overzicht in tabel I. Deze feiten ontleende ik voornamelijk aan vorige vakantiecursussen, aan literatuurrecherches van het KIWA en aan enkele overzichtsartikelen. Dit materiaal is in de literatuuropgave verantwoord. Daarnaast hebben verscheidene collega's mij op royale wijze van informatie voorzien, waarvoor ik hun veel dank verschuldigd ben.

2. Kwaliteitseisen

Het is gebruikelijk de kwaliteitseisen voor leidingwater te onderscheiden in:

- strikte gezondheidseisen, de minimumvoorwaarden waaraan voldaan moet zijn om te voorkomen dat consumptie van het water een schadelijke invloed op de gezondheid heeft;
- esthetische eisen, voorwaarden waaraan het water moet voldoen wanneer het behalve onschadelijk ook aangenaam om te gebruiken moet zijn;
- technische eisen, voorwaarden die vervuld moeten zijn opdat er geen problemen ontstaan bij de bedrijfsvoering van de waterleidingbedrijven of bij het gebruik van het water voor andere doeleinden dan consumptie.

2.1 Strikte gezondheidseisen

Deze houden in beperkingen met betrekking tot de aanwezigheid van ziekteverwekkende organismen en van toxische stoffen. Wanneer ik in het volgende kortweg zal spreken over „afwezig” versta ik daaronder: aanwezig in concentraties kleiner dan de norm.

Onder de ziekteverwekkende organismen zijn voor de Nederlandse omstandigheden van betekenis de veroor-

zakers van tyfus, paratyfus en verwante ziekten, dysenterie, geelzucht, kinderverlamming en zomergriep. Het verwekkende agens van de drie laatstgenoemde ziekten is een virus. Tot de afwezigheid van pathogenen wordt in de waterleidingpraktijk niet geconcludeerd uit direct onderzoek naar deze organismen zelf, maar uit de afwezigheid van coliachtige bacteriën, die daarbij fungeren als indicator voor faecale verontreiniging van het water. Voor de bacteriën is deze conclusie gerechtvaardigd omdat gebleken is, dat zij onder de meeste omstandigheden sneller afsterven dan de begeleidende coliachtigen, maar voor virussen geldt dit niet. Uitspraken over de verwijdering van virus tijdens de zuivering van water kunnen dus slechts gebaseerd worden op directe bepalingen van de virusconcentraties. Er bestaat echter geen laboratoriummethode, waarmee het geelzuchtvirus aangetoond kan worden, zodat systematisch onderzoek naar de verwijdering van dit virus niet mogelijk is. Wanneer ik in deze les dus mededelingen doe over virussen, hebben deze betrekking op onderzoek aan andere soorten. Er mag niet zonder meer aangenomen worden, dat het geelzuchtvirus zich evenzo gedraagt. Om dit te signaleren is in tabel I een vraagteken geplaatst in de kop van de virus-kolom.

De vergiften van anorganische aard zijn voornamelijk de ionen van de metalen lood, arseen, chroom, kwik, cadmium, seleen, barium en de anionen cyanide en nitriet en nitraat (methaemoglobinaemie, „blauwe baby's”). De radioactieve verontreinigingen moeten eveneens hieronder gerangschikt worden, zij zullen in deze les niet verder ter sprake komen.

Toxische organische verbindingen kunnen in een grote verscheidenheid voorkomen. Enkele belangrijke groepen zijn: de giftige afscheidingsproducten van algen en andere micro-organismen, bestrijdingsmiddelen en hun afbraakproducten, koolwaterstoffen met kankerverwekkende eigenschappen. Daarnaast allerlei andere, merendeels onbekende verbindingen, afkomstig uit industriële lozingen.

2.2 Esthetische eisen

Deze betreffen vooral helderheid, kleur, reuk en smaak van het water,

alsook het voorkomen van zichtbare organismen.

Troebeling van het water kan worden veroorzaakt door slib en door colloïdaal materiaal. Ook ijzer en mangaan kunnen hier genoemd worden, omdat zij in zuurstofhoudend water troebeling of zelfs een neerslag vormen. Veelal echter worden de eisen voor ijzer en mangaan onder de technische eisen gerangschikt omdat, zeker bij hogere concentraties, deze neerslagvorming reeds in het leidingnet problemen geeft.

Kleur in het water kan van verschillende herkomst zijn. Vele afvalproducten uit lozingen zijn gekleurd, echter ook natuurproducten van humuskarakter kunnen water sterk kleuren. Reuk en smaak worden nadelig beïnvloed door velerlei industriële producten, waaronder phenolen en koolwaterstoffen, maar ook door afscheidingsproducten van algen en schimmels. Voor de reuk zijn vooral de vluchtige verbindingen van betekenis. Een belangrijke factor voor het ontstaan van smaak tijdens het transport in het leidingnet is de aanwezigheid van assimileerbaar organisch materiaal en van ammoniumionen in het water. Zij maken bacterie- en schimmelgroei mogelijk, waardoor smaakstoffen geproduceerd kunnen worden terwijl zuurstof wordt verbruikt, hetgeen eveneens de smaak doet achteruitgaan.

Deze bacteriegroei begunstigt op zijn beurt de ontwikkeling van hogere organismen, die in de bacteriemassa het noodzakelijke voedsel vinden. Hieronder zijn dieren die gemakkelijk met het blote oog waarneembaar zijn.

2.3 Technische eisen

Deze betreffen de agressiviteit van het water, de hardheid en het totaal gehalte aan opgeloste zouten (TOZ).

De agressiviteit wordt bepaald door de aanwezigheid van zuren als humuszuren, sterke minerale zuren en kooldioxyde. Vooral het kooldioxyde is van betekenis als component van het systeem kalk-koolzuur. Wanneer dit systeem in evenwicht verkeert, is het water niet agressief. Wijkt het van de evenwichtstoestand af naar de richting van een teveel aan kooldioxyde, dan werkt deze overmaat kooldioxyde wel agressief. Is het evenwicht ver-

TABEL I - *Overzicht van zuiveringsmethoden en -effecten (kwalitatief)*

Methoden	Strikte gezondheidseisen							Esthetische eisen				Technische eisen			
	path. bact.	virus	Vergiften				troebelings	ijzer en mangaan	kleur	reuk en smaak	assimileerbaar organ. mat.	ammonium	agressiviteit	hardheid	totaal opgeloste zouten
			metalen	cyanide	nitriet	organisch									
<i>Biologische</i>		??													
kunstmatige infiltratie	!	++	!		++	++?		+	++	++	++				
langzame filtratie	!	++			++			+	+	++	++				
opslag in een bekken	++	++			++			+	+						
snelfiltratie					!			++	!			!			
<i>Overige</i>															
aëratie										+			!		
coagulatie + flocculatie enz.	++	++	!					!	++	+					
adsorptie, kool						++				++					
oxidatie, ozon	!	!			!	++			!	++					
oxidatie, chloor	!	!			!	+			+	++					
desinfectie	!	!										!			
ontzuring															
ontharding, neerslagvorming enz.	++	++	++					++	!				!	!	
ontharding, ionenwisseling			++												
ontzouting, destillatie	!	!	!			++?		!	!	!	++	++?			!
ontzouting, electrodialyse															++
ontzouting, omgekeerde osmose	!?	!?				++				!?	+	++?			++

+ duidelijk effect
 ++ vergaande verwijdering
 ! volledige verwijdering
 ? onvoldoende of niet met zekerheid bekend

broken in de richting van een teveel aan kalk, dan heeft het water de neiging kalkafzettingen te vormen. De hardheid bepaalt de ernst van deze kalkafzetting. Hierbij speelt overigens ook de aanwezigheid van organisch materiaal een rol. Bij verhitting kan deze kalkafzetting (ketelsteen) belangrijk zijn als het water hard is.

Zowel de agressiviteit als ook de aard van eventueel afgezette ketelsteen worden beïnvloed door de aanwezigheid van andere opgeloste zouten. Ook in diverse industriële toepassingen van leidingwater is het totaalgehalte aan opgeloste zouten van belang. Een gebruikelijke parameter voor het TOZ is het gehalte aan chloride-ionen.

3. Zuiveringseffecten

Bij het bespreken van de effecten van de verschillende zuiveringsmethoden zal ik mij beperken tot de kwalitatieve aanduidingen in tabel I. Onder „volledige verwijdering” wil ik in dit verband verstaan: reductie van de concentratie van de verontreiniging tot een waarde die kleiner is dan de norm, respectievelijk tot een waarde waarbij de aanwezigheid van de verontreiniging niet meer merkbaar c.q. aantoonbaar is.

Het is gebruikelijk, de zuiveringsmethoden in te delen in biologische of natuurlijke en chemische of kunst-

matige methoden. Eigenlijk zouden wij scherper moeten onderscheiden, want aëratie en de verschillende ontzoutingsmethoden zijn fysische processen. De begrippen natuurlijk en kunstmatig bieden nog minder mogelijkheden tot scherpe definitie. Daarom geef ik er de voorkeur aan slechts de biologische methoden te onderscheiden van de overige.

3.1 Biologische methoden

Kenmerkend voor deze methoden is de biochemische oxidatie. Dit zijn processen waarbij organisch materiaal of ammonium-ionen met zuurstof uit de lucht geoxideerd worden door de activiteit van micro-organismen, vooral bacteriën. Om merkbare zuiveringseffecten te verkrijgen moet voldaan zijn aan de voorwaarden van een dichte en actieve bacterieflora, voldoende zuurstof, voldoende tijd en niet te extreme temperaturen. Op een vast substraat zoals in de bodem en in filters kan zich een veel dichtere flora ontwikkelen dan in water, hetgeen tot belangrijke verschillen in de grootte van de zuiveringseffecten leidt. Zuurstofaanvoer vindt plaats door aëratie van het water, van de bodem en eventueel van het filterbed zoals bij droogfilters. Dikwijls is de beschikbaarheid van zuurstof de beperkende factor in de biochemische oxidatie. De verblijftijden bedragen in de bo-

dem en in bekkens zes weken tot twee à drie maanden, in langzame zandfilters enkele uren en in snelfilters enkele minuten tot ongeveer een half uur. De temperatuur is slechts in bekkens gedurende de wintermaanden beperkend voor bacteriële activiteit.

Door de bacterieflora wordt het ammonium geoxideerd via nitriet tot nitraat. Organisch materiaal wordt verbruikt in twee verschillende levensprocessen van de bacteriecel, namelijk de dissimilatie en de assimilatie. Dissimilatie is de oxidatie van organisch materiaal tot kooldioxyde en water.

Hierdoor wordt energie gewonnen, die gebruikt wordt om het assimilatieproces op gang te houden. Dit is de opbouw van celmateriaal uit organische stoffen waardoor groei en vermeerdering van de bacteriën mogelijk wordt. De hoeveelheden organisch materiaal die omgezet worden bij de dissimilatie zijn vele malen groter dan de hoeveelheden betrokken bij het assimilatieproces. Niet alle organische verbindingen echter zijn voor de bacteriën bruikbaar. Er ontstaat een voedselconcurrentie, waarbij die bacteriën die het minst aan de omstandigheden aangepast zijn, het eerst sterven. Dit zijn de in het water aanwezige pathogene bacteriën, die immers juist aangepast zijn aan een leven in een warmbloedige gastheer. Afhankelijk van de dichtheid van de flora en van de tijd zal

het afsterven van pathogenen meer of minder volledig zijn.

De beschikbaarheid van zuurstof en de tijd bepalen de mate waarin het dissimileerbare en assimileerbare materiaal verwijderd wordt. Zo verdwijnen voor een deel reuk-, smaak- en kleurstoffen. Er zijn experimenten waaruit blijkt, dat althans sommige bestrijdingsmiddelen ook afgebroken worden, maar er zijn te weinig gegevens om conclusies voor de gehele groep van deze stoffen te trekken.

Naast de biochemische oxidatie vindt ook adsorptie aan het vaste materiaal plaats. Dit geschiedt ook aan zwevend materiaal dat uit bekkens door bezinking verdwijnt. Dit is van betekenis voor de verwijdering van virussen en van niet-aantastbaar organisch materiaal (reuk- en smaakstoffen, toxische stoffen). In de bodem komen hier nog ionenwisselingsprocessen bij, waardoor zware metalen worden vastgehouden.

Tenslotte is er ook nog een zuivere filtratie in geringe mate in de bodem, in sterkere mate in de langzame filters en in zeer grote mate in snelfilters, waardoor slib en ijzerhydroxide neerslag worden verwijderd. Voor het snelfilter is dit zelfs het belangrijkste proces naast de oxidatie van ammonium en de adsorptie en oxidatie van mangaanionen. De verblijftijd in deze filters is te kort voor een belangrijke oxidatie van organisch materiaal met de daarmee gepaard gaande afsterving van pathogenen.

3.2 Overige methoden

Aeratie is niet alleen een belangrijke methode om zuurstof toe te voeren ten behoeve van de biochemische oxidatie. Het is ook een methode om de gasvormige en vluchtige stoffen uit het water te verwijderen. Dit heeft een gunstig effect op reuk en smaak, terwijl door het ontwijken van kooldioxyde de agressiviteit van het water belangrijk kleiner wordt. Vooral bij grondwater kan dit van betekenis zijn.

Bij coagulatie en flocculatie is wezenlijk de vorming van ijzer- of aluminium-neerslagen, waarin insluiting van slib en waaraan adsorptie van organisch materiaal, pathogene bacteriën en virus plaats vindt. Tegelijkertijd slaan ook colloïdaal opgeloste stoffen en zware metalen neer. Bezinking en filtratie dienen voor verwijdering van de gevormde vlok. Het proces kan worden vervolmaakt door het gebruik van coagulatie- en filtratie-

hulpmiddelen. Zo is het mogelijk volledige verwijdering van troebelheid en zware metalen te bereiken terwijl pathogene bacteriën en virussen sterk gereduceerd worden. Onder goed gekozen omstandigheden kan ook de kleursverbetering belangrijk zijn.

Voor adsorptie gebruikt men vrijwel uitsluitend actieve kool, die als poeder aan het water wordt toegevoegd of in korrelvorm toegepast wordt in koolfilters. De laatste methode is het meest efficiënt. Aan het zeer grote inwendig oppervlak van de actieve kool vindt in belangrijke mate adsorptie van organische stof plaats. Niet alle typen verbindingen worden even sterk geadsorbeerd, er bestaat een grote voorkeur voor lipophile verbindingen, vooral stoffen van aromatisch en alifatisch karakter. Hieronder komen veel smaakstoffen voor. Op dit moment is adsorptie aan kool duidelijk de beste methode voor de verwijdering van smaakstoffen, bestrijdingsmiddelen en aardolieproducten.

Oxidatie geschiedt met behulp van chloor, chloordioxyde of ozon. Een belangrijk verschil met de biochemische oxidatie is, dat het organische materiaal niet tot kooldioxyde en water geoxideerd wordt maar tot tussenproducten. Dit is een nadeel omdat niet-assimileerbaar materiaal veelvuldig wel-assimileerbare oxidatieproducten oplevert met alle gevolgen van versterkte bacterienagroe. Soms ook ontstaan uit onschadelijke of weinig giftige verbindingen sterk giftige producten. Een voordeel boven de biochemische oxidatie is, dat een veel groter scala van organische stoffen geoxideerd kan worden, hetgeen bepaald wordt door de sterkte van het oxidatiemiddel. Het krachtigste maar ook het duurste is ozon. Hiermede kan een volledige verwijdering van kleur worden bereikt en vergaande afbraak van smaakstoffen, bestrijdingsmiddelen en carcinogenen. Ook nitrieten en cyaniden worden volledig geoxideerd, bij de gebruikelijke concentraties echter niet ammonium. Chloor is een minder krachtig oxidatiemiddel, dat bovendien tot achteruitgang in de smaak aanleiding kan geven. Bij breekpuntschloring wordt echter wel een volledige ammoniumoxidatie bereikt. Chloordioxyde wordt weinig toegepast, het is het minst krachtig maar geeft geen smaakproblemen zoals chloor.

Voor de verwijdering van organische smaakstoffen en bestrijdingsmiddelen blijkt combinatie van oxidatie door

ozon met adsorptie aan actieve kool een zeer effectieve methode.

Desinfectie geschiedt in de praktijk met dezelfde oxidatiemiddelen chloor, chloordioxyde en ozon. Voorwaarde voor een afdoende desinfectie is een zeer intensieve oxidatie (hoge redoxpotentiaal). Dit vereist dat het water helder is, zodat de pathogene organismen niet omhuld worden door vast materiaal, terwijl opgelost oxideerbaar materiaal evenmin aanwezig mag zijn. De samenhang van de aanwezigheid van pathogene bacteriën en van virussen met de troebelheid is gedemonstreerd door Robeck c.s. De eis van afwezigheid van oxideerbaar materiaal en van troebelheid heeft zijn weerslag gevonden in de vereisten voor een goede virusverwijdering: bij een troebelheid van 0,1 mg/l SiO_2 moet een rest vrij chloor van 1 mg/l gedurende 30 min. gehandhaafd blijven of 4,5 mg/l ozon gedurende 15 à 20 minuten. Een andere mogelijkheid is gegeven in de toepassing van desinfectiemiddelen waarbij de oxidatie van organisch materiaal geen rol speelt als jodium, dat organisch materiaal in veel mindere mate aantast dan chloor of als de chemische desinfectantia, waarvan de desinfecterende werking niet op een oxidatieproces berust.

Voor ontzuring beschikken wij over verschillende methoden: aeratie, neutraliseren met behulp van een base als kalk of natronloog, en filtratie over producten als marmer en dolomiet. Met alle methoden is het mogelijk de agressiviteit volledig te verwijderen.

Ontharding kan uitgevoerd worden door middel van het vormen van neerslagen van calciumcarbonaat met behulp van een base al dan niet in combinatie met soda, gevolgd door bezinking en/of filtratie. De agressiviteit van het water wordt hierbij weggenomen. IJzer, mangaan en zware metalen slaan hierbij mede neer. De praktisch bereikbare eindhardheid ligt bij ongeveer 1 meq/l. Een andere methode is de ionenwisseling, waarmee de hardheid vrijwel volledig kan worden verwijderd, evenals weer de zware metalen. De agressiviteit van het water neemt hierbij toe, dit kan overigens gemakkelijk weer gecorrigeerd worden.

De ontzoutingstechnieken die thans of binnen afzienbare tijd in aanmerking komen zijn:

— destillatie, uitgevoerd als een meertraps flashverdamping. Het destil-

laat kan totaal gehalten aan opgeloste zouten (TOZ) bereiken van 1-10 mg/l. Het is vrij van bacteriën en virussen, slechts vluchtige verbindingen gaan over in het destillaat. Daardoor is de reuk- en smaakverbetering niet volledig, terwijl het niet zeker is in hoeverre onder deze vluchtige verbindingen nog toxische en assimileerbare stoffen zijn.

— elektrolyse, waarvan het eindprodukt TOZ gehalten van 200-500 mg/l kan hebben. Alleen de kleinere ionen worden uit het water verwijderd, de grotere (met name humuszuren) worden door de membranen niet doorgelaten.

— omgekeerde osmose of hyperfiltratie. TOZ gehalten van het eindprodukt variëren van 100-500 mg/l.

Organisch materiaal wordt in belangrijke mate verwijderd, de kleinere moleculen echter het slechtst. Phenolen en alcoholen worden niet tegengehouden, zodat de smaakreductie minder goed is dan de reductie in het organisch materiaal.

Het hyperfiltraat zal hoogstwaarschijnlijk geen pathogene bacteriën en virussen bevatten.

4. Conclusies

4.1 Kwaliteitseisen

Wij hebben gezien, dat voorwaarden voor een betrouwbare desinfectie zijn de afwezigheid van troebeling en van oxideerbaar organisch materiaal. Ook, dat verwijdering van organische stoffen naast verbetering van de smaak steeds meer betekenis heeft gekregen als eliminering van toxische stoffen. Bij de huidige beperkingen van onze analysemethoden is het een gelukkige omstandigheid, dat voor zover bekend de meeste toxische stoffen ook slecht smaken. Hierdoor kan een slechte smaak van het water een eerste indicatie zijn voor de aanwezigheid van organische vergiften.

Dit betekent echter, dat de eisen voor troebeling en smaak eigenlijk beschouwd moeten worden als strikte gezondheidseisen en niet langer als esthetische eisen. Nu is vanouds helderheid van het drinkwater een zo elementaire eis geweest, dat wij die als vanzelfsprekend hebben aanvaard en onze zuivering erop hebben ingericht. Ten aanzien van de eisen aan de smaak leven wij, vrees ik, nog sterk in het besef dat het goed en alleszins prijzenswaardig is wanneer wij hieraan kunnen voldoen, en niet in het besef dat het strikt noodzakelijk is

hieraan te voldoen. Ik vind dit op een merkwaardige wijze weerspiegeld in ons spraakgebruik als wij spreken over polijsten van de waterkwaliteit in verband met de toepassing van de combinatie van ozon en kool. Dit suggereert dat dit procédé een extraatje is, en niet een noodzakelijke standaardprocedure.

4.2 Mate van beheersing

Grondwater, waarin als voornaamste verontreinigingen voorkomen kooldioxyde, ijzer, mangaan en ammonium, wordt in den regel onderworpen aan een zuiveringsproces waarin voorkomen aeratie, snelfiltratie en eventueel verdere ontzuring. Desinfectie wordt doorgaans niet toegepast, de mogelijkheid daartoe behoort voor noodgevallen wel aanwezig te zijn. In het algemeen mag geconcludeerd worden, dat de kwaliteit van het eindprodukt hiermede in redelijke mate beheerst wordt. De ontzuring zou waarschijnlijk wel meer aandacht kunnen krijgen. Het is mijn indruk, dat de grenzen van de mogelijkheden van deze zuiveringsystemen toch wel zo ongeveer zichtbaar worden bij ruwwaterkwaliteiten als die, welke de IWGL te Spannenburg verwerkt: 10-15 mg/l ijzer, meer dan 0,5 mg/l mangaan, 2 tot 2,5 mg/l ammonium-ion en daarbij dan ook nog een totale hardheid van 6,5 meq/l. Het is ons echter gebleken dat aeratie en ontharding van het ruwe water gevolgd door bezinking en droogfiltratie betere beheersing geven ook van de ijzer-, man-

gaan-, ammonium- en nitrietgehalten. Voor oppervlaktewater, waarin alle in paragraaf 2 genoemde verontreinigingen kunnen voorkomen, zijn m.i. in ieder zuiveringssysteem noodzakelijk: coagulatie, oxidatie met ozon, adsorptie aan kool, verwijdering van ammonium met behulp van chloor of in een snelfilter, verwijdering van assimileerbaar materiaal in een langzaam filter, ontzuring en desinfectie. Eventueel te completeren met ontharding of zelfs ontzouting. Alternatief voor ontzouting kan zijn verdunning met water met een laag TOZ-gehalte dat in voorraad genomen is hetzij door infiltratie in de bodem hetzij in een bekken. Kunstmatige infiltratie zou een langzaam zandfilter ter verwijdering van assimileerbaar materiaal overbodig kunnen maken.

Of hierbij nu van werkelijke beheersing van de kwaliteit sprake is, lijkt mij voorshands niet vast te stellen. Daartoe mankeert ons het inzicht in aard en omvang van een groot aantal verontreinigingen, waarvoor wij thans nog geen analysemethoden hebben. Bovendien is in de kwaliteitsbeheersing een belangrijke factor de bedrijfszekerheid en de betrouwbaarheid van de zuivering bij storing aan onderdelen en bij grote en plotselinge variaties in de ruwwater kwaliteit.

Overigens mag met een voorzichtig optimisme worden verwacht, dat een methode als de omgekeerde osmose onze mogelijkheden tot het bereiden van betere kwaliteiten drinkwater belangrijk zal uitbreiden.

Literatuur

1. Vakantiecursussen in drinkwatervoorziening. Technische Hogeschool Delft. 1 (1948), 4 (1952), 14 (1962), 17 (1965), 19 (1967), 20 (1968), 21 (1969), 22 (1970).
2. Zoeteman, B. C. J. *Zuiveringsmethoden van zoet grondwater voor de drinkwatervoorziening in Nederland*. H₂O 3 (1970) 44-53.
3. Zoeteman, B. C. J. *De zuivering van zoet oppervlaktewater voor de drinkwatervoorziening in Nederland*. H₂O 3 (1970) 664-672.
4. Woodward, R. L. *Relation of raw-water quality to treatment plant design*. J. Amer. Water Works Ass. 56 (1964) 432-440.
5. Committee on Environmental Quality Management of the Sanitary Engineering Division. *Engineering evaluation of virus hazard in water*. J. San. Engng. Div., Proc. Amer. Soc. Civil Engrs. 96 (1970) 111-161.
6. Poynter, S. F. B. *The problem of viruses in water*. Proc. Soc. Water Treatment and Examination 17 (1968) 187-204.
7. Robeck, G. G., Clarke, N. A. and Dostal, K. A. *Effectiveness of water treatment processes in virus removal*. J. Amer. Water Works Ass. 54 (1962) 1275-1290.
8. Coutris, R. and Gomella, C. *Micropollution and treatment of water with special reference to the prevention of undesirable tastes and odours*. General report no. 2, Int. Water Supply Ass. Congress Vienna 1969.
9. Pieper, J. W. en Meyers, A. P. *De verwijdering van pesticiden in de waterzuivering*. Rapport SW-108, KIWA, 1970.
10. Meyers, A. P. en Pieper, J. W. *De toepassing van actieve kool bij de waterzuivering*. Rapport SW-100, KIWA, 1970.
11. Pieper, J. W. *Ozonisatie*. Rapport SW-102, KIWA, 1970.