Het Rijn-Chemieverdrag; in het bijzonder reuk- en smaakstoffen

Voordracht uit de 14e vakantiecursus in behandeling van afvalwater, 'De Rijn', gehouden op 19 en 20 april 1979 te Delft.

1. Inleiding

Al lezende in de preambule van het verdrag van Bern van 29 april 1963, waarbij de Internationale commissie ter bescherming van de Rijn tegen verontreiniging werd opgericht, dringt de vraag zich op waarom het zo lang heeft moeten duren voor de aanpak van de chemische vervuiling van de Rijn daadwerkelijk op gang kwam. Deze preambule spreekt immers krachtige taal. De regeringen van de Rijnoeverstaten sluiten deze overeenkomst in 1963 (IRC, 1978):
– geleid door de wens het water van de

DR. IR. B. C. J. ZOETEMAN
RID

Rijn zuiver te houden,
– ernaar strevend de verdere verontreiniging van de Rijn te verhinderen en zijn huidige toestand te verbeteren, en
– in de overtuiging dat dit een dringende taak is.

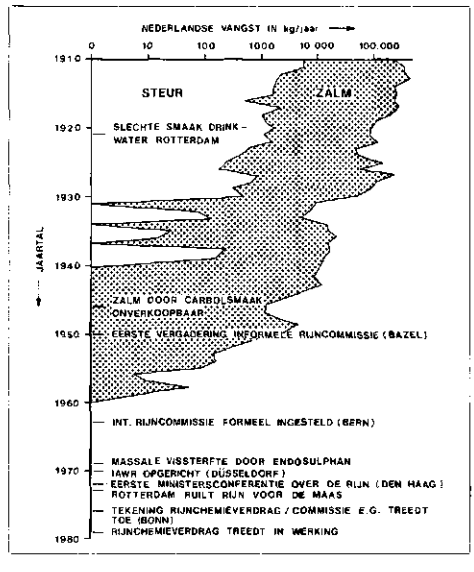
Zijn we in 1979 zoveel verder dan toen? Eigenlijk is de situatie zoals die in 1963 werd beschreven nog steeds actueel. Uit de inhoud van de vorige voordrachten valt af te leiden dat de trage uitvoering van de sanering van de Rijn mede wordt veroorzaakt doordat de problematiek zo ingewikkeld is, terwijl de financiële konsekwenties omvangrijk zijn. Geschat wordt dat voor Duitsland alleen al enkele miljarden guldens per jaar met de saneringsmaatregelen zijn gemoeid (Weber, 1979).
In deze voordracht wordt eerst stilgestaan bij het kaderverdrag dat een konkrete aanpak van de chemische verontreiniging regelt om vervolgens aandacht te besteden aan de stoffen die vooral uit een oogpunt van de bereiding van drinkwater sanering behoeven. Hierbij zullen in het bijzonder de reuk- en smaakbedervende stoffen aan de orde worden gesteld.

2. Het Rijn-Chemie verdrag

2.1. *Voorgeschiedenis*

Het probleem van het zout in de Rijn is niet het belangrijkste aspect van de Rijnvervuiling al doet de publiciteit rond het Rijn-zout verdrag en de lozingen van de Kalimijnen in de Elzas zulks vermoeden. Dit is eigenlijk het gevolg van de eisen die van Nederlandse kant al vanaf de vijftiger jaren voor de Rijnwaterkwaliteit zijn geformuleerd; steeds stond hierbij de beperking van de zoutbelasting voorop (Leeflang, 1974). In de praktijk is het van grote betekenis gebleken dat men niet gepoogd heeft de lozingen van alle chemicaliën in het zelfde kader als de zoutlozingen te regelen. Daardoor is het mogelijk om aan de sanering van de lozing van chemische afvalstoffen door te werken terwijl men elkaar ten aanzien van het zout nog voortdurend in de haren vliegt.
De totstandkoming van het Rijnchemieverdrag is lange tijd onzeker geweest. Zoals blijkt uit een lezenswaardig overzicht van de voorgeschiedenis van het verdrag van de hand van Schorer (1977). Achteraf gezien zijn er diverse factoren aan te wijzen die hierbij een essentiële rol hebben gespeeld. In het begin van deze eeuw hebben zich reeds vele dramatische veranderingen in de kwaliteit van het Rijnwater voorgedaan (zie afbeelding 1). Zo daalde de opbrengst van de binnenvisserij op de zalm van 850.000 kg in 1893 tot 4500 kg in 1933 en tot praktisch nul in 1960 (Zoeteman, 1974). De eerste smaakproblemen met drinkwater uit de Rijn deden zich omstreeks 1920 voor (Zoeteman, 1978). Sinds de vorige eeuw is een gestaag toenemende keukenzoutbelasting van 40 kg chloride/sec in 1885 tot 363 kg chloride/sec in 1977 opgetreden. Zo zijn er nog vele voorbeelden te noemen.
Toch moet de basis voor de mobilisatie van de publieke opinie op het punt van de chemische vervuiling van de Rijn worden gezocht in het 10 jaar geleden opgetreden endosulphan incident. Op 23 juni 1969 werd in de vorm van massale vissterfte voor ieder zichtbaar hoe ziek de Rijn was. De Minister-President gelastte de waterleidingbedrijven gedurende 14 dagen geen Rijnwater te onttrekken. Eindelijk komen nieuwe initiatieven tot stand.
Op 23 januari 1970 wordt te Düsseldorf

Afb. 1 - Historische gebeurtenissen rond de chemische vervuiling van de Rijn.



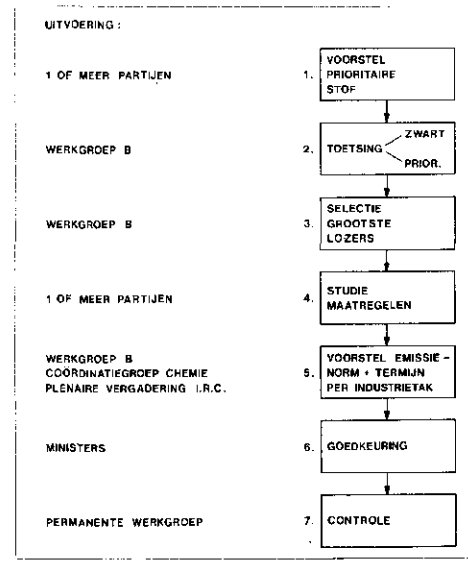
de Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke in Rheineinzugsgebiet (IAWR) opgericht. De IAWR heeft de publieke opinie sindsdien voortdurend weten te mobiliseren en zij heeft de regeringen van de Rijnoeverstaten veelvuldig opgeroepen de verontreiniging van de Rijn krachtiger te bestrijden. En, het moet gezegd worden, niet zonder succes.
Als gevolg van deze ontwikkelingen neemt de Nederlandse regering het initiatief tot een Ministersconferentie over de Rijn, die wordt gehouden op 25 en 26 oktober 1972 te Den Haag.
De Ministers dragen de Internationale Rijn Commissie op om in navolging van het Verdrag van Oslo van 1972 inzake dumping van afvalstoffen in de Noordzee, lijsten op te stellen van stoffen waarvan het lozen dient te worden verboden, beperkt of aan bepaalde voorwaarden verbonden. Daar de Ministers tevens besluiten in principe jaarlijks bijeen te komen is een kader geschapen om tot een krachtdadiger aanpak van de sanering te komen dan vanuit de Internationale Rijn Commissie (IRC) met de zeer beperkte bevoegdheden volgens het verdrag van Bern mogelijk was.
Tijdens de tweede Ministersconferentie op 4 en 5 december 1973 te Bonn worden de inmiddels opgestelde lijsten goedgekeurd en krijgt de IRC de opdracht op basis van een gefaseerd actieprogramma een verdrag op te stellen. Hoewel de IRC voortvarend te werk gaat, dreigt in 1974 alles toch nog te mislukken doordat de economische recessie begint door te werken en Duitsland beducht is voor een nadelige concurrentiepositie van haar industrieën langs de Rijn in vergelijking met die in Frankrijk en Engeland. Een onmiskenbare voorwaarde voor de totstandkoming van het Rijnchemieverdrag vormt dan ook de op 8 december 1975 te Luxemburg bereikte overeenstemming over de principes van een EG-richtlijn met betrekking tot het lozen van bepaalde gevaarlijke stoffen in het aquatisch milieu van de EG-lidstaten.
Tijdens de derde Ministersconferentie over de Rijn te Parijs op 1 april 1976 wordt een principe-accoord over het Rijnchemieverdrag bereikt en tenslotte wordt op 3 december van dat jaar het verdrag te Bonn door de Ministers getekend.

2.2. *Inhoud*

De inhoud van het verdrag is in belangrijke mate geënt op de genoemde EG-richtlijn (EG, 1976), maar schept toch de mogelijkheid voor de Rijn additionele maatregelen te treffen. Het verdrag beoogt door passende maatregelen in de lidstaten de verontreiniging van de Rijn door stoffen van de zgn. 'zwarte lijst' geleidelijk te beëindigen en de verontreiniging door stoffen van de zgn. 'grijze lijst' te verminderen teneinde in redelijke mate rekening te houden met de verschillende gebruiksdoeleinden van het Rijnwater. De zwarte stoffen behoren tot de toxische en persistente groepen van chemicaliën zoals bepaalde chloorverbindingen, kankerverwekkende stoffen en kwik- en cadmiumverbindingen. De grijze stoffen hebben een minder schadelijke werking op het water die tevens beperkt kan zijn tot een bepaald gebied. Het betreft stoffen zoals zink, koper, lood, snel afbreekbare biociden, reuk- en smaakstoffen en eutrofiërende stoffen.
Een veelgehoord punt van kritiek op het Rijnchemieverdrag is het ontbreken van een tijdslimiet waarbinnen een bepaalde mate van sanering zich moet hebben voltrokken. Enerzijds is deze kritiek terecht, anderzijds moet worden bedacht dat het Rijnchemieverdrag een kaderverdrag is waarbinnen voor vele tientallen en wellicht honderden chemicaliën de sanering kan worden geregeld. Het Rijnchemieverdrag omvat dus in wezen evenzovele 'Rijnzoutregelingen' als er individuele stoffen op de lijsten worden aangewezen. Het is daarom vrijwel ondoenlijk op voorhand voor nog onbenoemde stoffen saneringstermijnen vast te leggen.
Wel moet worden geconstateerd dat het verdrag op dit punt de mogelijkheid biedt de sanering op de lange baan te schuiven. Dit kan alleen worden tegengegaan door het in stand houden van een basis van wederzijds vertrouwen, een voortvarende invulling van de beide lijsten en het snel vinden van acceptabele emissiegrenswaarden en termijnen waarop deze van kracht worden.
In het in 1976 uitgegeven Lange Termijn Programma (IRC, 1976) wordt in dit verband het volgende opgemerkt (p. 141): 'Die Sammlung von Hintergrundinformation über die toxikologischen und milieuhygienischen Eigenschaften der Stoffe der zwei Listen . . . wird umfangreiche Arbeiten mit sich bringen, insbesondere was die Stoffe betrifft, die zu der Gruppe von Verbindungen gehören, deren Kanzerogenität wissenschaftlich anerkannt ist und die Stoffe, die schlechten Gesmack und Geruch verursachen können'.
In het vervolg zal eerst de procedure bij de invulling van het Rijnchemieverdrag worden geschetst waarna onder andere aan deze twee groepen van resp. kankerverwekkende stoffen en reuk- en smaakstoffen aandacht zal worden besteed.

2.3. *Uitwerking*

Bij de uitwerking van het Rijnchemieverdrag, dat 1 februari 1979 officieel in werking is getreden, moeten verschillende fasen worden doorlopen voordat de sanering voor een stof formeel is geregeld. Gelukkig wordt in de praktijk de sanering veelal eerder gerealiseerd dan het moment waarop de emissiegrenswaarden volgens het verdrag van kracht worden.



Afb. 2 - Procedure invulling Rijnchemieverdrag t.a.v. zwarte stoffen.

Vaak is het in studie nemen van een stof al voldoende aanleiding om allerlei maatregelen in gang te zetten. Duidelijke voorbeelden daarvan zijn kwik en endosulphan. De werkzaamheden in het kader van het Rijnchemieverdrag hebben in de praktijk op dit moment dan ook een verderstrekkende invloed op de waterkwaliteit dan de nog povere formele resultaten doen vermoeden.
Bij de gedetailleerde uitwerking van de procedures voor stoffen op de zwarte en grijze lijst moet een groot aantal vragen worden beantwoord. Voor de 'grijze stoffen' wil men de procedure in eerste instantie toetsen aan de hand van het metaal chroom. Voor de 'zwarte stoffen' bestaat momenteel een duidelijk inzicht in de achtereenvolgende stappen, die als volgt kunnen worden onderscheiden (zie afbeelding 2):

1. Op basis van globale gegevens wordt een stof door een of meerdere verdragspartijen als prioritair te behandelen stof voorgedragen in de Werkgroep B van de IRC (belast met problemen op het gebied van watervoorziening, hygiëne en afvalwaterbehandeling).
2. Getoetst wordt in hoeverre de stof voldoet aan criteria betreffende:
- toxiciteit (incl. carcinogeniteit)
- persistentie
- bio-accumulatie
- voorkomen in het Rijnwater
- hoeveelheid die bij produktie of toepassing in het Rijnwater kan geraken.
3. Nagegaan wordt vervolgens in meer detail voor aldus geselecteerde stoffen:
- aard van betrokken industrietakken
- omvang van de emissies per categorie van vervuilende activiteit

– bestaande nationale wetgeving over vervaardiging en toepassing.
4. Bestudeerd worden ten aanzien van de industrietakken en eventuele andere categorieën van vervuilers die substantieel aan de belasting van het Rijnwater bijdragen:
– mogelijkheden tot beperking of eliminering van de emissies en de termijnen waarop dit kan worden gerealiseerd.
5. Voorstellen worden vervolgens per stof en per industrietak geformuleerd voor:
– emissiegrenswaarden
– termijnen waarop deze voor bestaande activiteiten van kracht worden
– bewakingsprocedures.
6. Deze voorstellen worden door de Internationale Rijn Commissie aan de overeenkomstsluitende partijen ter goedkeuring voorgelegd en treden in werking nadat ze met eenparigheid van stemmen zijn aangenomen.
7. Door de Permanente Werkgroep worden de nieuwe zwarte stoffen voortaan mede bepaald op de 8 internationale meetpunten langs de Rijn, zodat de ontwikkeling van de kwaliteit van het Rijnwater kan worden gevolgd.

Een oriënterend overzicht van de huidige stand van zaken voor de diverse in behandeling genomen stoffen geeft tabel I.
Naast het gestalte geven aan deze procedure, welke voor kwik nu in een afrondingsstadium verkeert, zag de Werkgroep B zich gesteld voor de noodzaak tot een verantwoorde prioriteitsstelling te komen bij de keuze van de in behandeling te nemen stoffen. Voor een aantal stoffen was het evident dat zij nadere aandacht behoefden. Zo was geen discussie meer nodig over de eerste 12 stoffen van tabel I daar zij reeds in EG-verband waren geaccepteerd en in nadere studie waren genomen. Ook over pentachloorphenol, hexachloorbutadieen en endosulphan waren de meningen weinig verdeeld gezien het specifieke voorkomen in de Rijn en de vele beschikbare toxicologische gegevens. Uitvoeriger discussies waren nodig over 2,4,5-T en parathion waarbij de laatste stof, gezien de relatief snelle afbreekbaarheid en het niet optreden van bio-accumulatie, niet als zwarte stof werd geaccepteerd.

Naast het bestuderen van stoffen die in of via het water een erkend kankerverwekkende werking hebben is men voor de verdere selectie van in behandeling te nemen stoffen tot de volgende procedure gekomen.
Op basis van een door BIOKON voor de Commissie van de EG uitgevoerde studie naar de hinderlijke effecten van ca. 1500 stoffen wordt in de lidstaten nagegaan welke van deze stoffen in dusdanig grote hoeveelheden worden geproduceerd en verwerkt dat dit tot potentieel belangrijke gehalten in het Rijnwater zou kunnen leiden. Hierbij wordt uitgegaan van produktiehoeveelheden van ca. 500 ton/jaar of meer. Lozing van 500 ton/jaar van een stof zou een concentratie in het Rijnwater van ca. 10 μg/l betekenen. Op basis van dit criterium komen vermoedelijk ca. 150 chemicaliën voor nadere beschouwing in aanmerking.
Naast de produktiegegevens wordt de voorselectie van stoffen tevens gebaseerd op gegevens over het in het Rijnwater voorkomen van stoffen. Voor dit doel is overeengekomen dat Nederland jaarlijks een inventarisatie van in het Rijnwater te Lobith en Maassluis aantoonbare organische stoffen zal uitvoeren. In 1978 werd door het RID in door het RIZA verzorgde monsters een dergelijke inventarisatie voor het eerst ter hand genomen, waarbij het voorkomen van ca. 200 stoffen kwantitatief kon worden bepaald (Morra e.a., 1979) De hoogste concentraties van 10 μg/l of meer werden aangetoond voor nitrobenzeen, ortho- en para-nitrotolueen en lagere gechloreerde koolwaterstoffen zoals tetrachlooretheen en trichloormethaan. Op basis van beide soorte gegevens zal de komende periode een verder voorselectie van zwarte (en grijze) prioritaire stoffen worden uitgewerkt. Tevens wordt deze selectie gebruikt voor de prioriteitsstelling bij hydrobiologisch toxiciteitsonderzoek aan chemicaliën zoals dit in samenwerking door RIV en RID word uitgevoerd (Canton en Slooff, 1978).

TABEL I - *Stand uitwerking zwarte lijst per 15-3-1979.*

Voorgestelde prioritaire stof	Toetsing	Selectie grootste lozers	Studie-maatregelen	Voorstel emissie-grenswaarden/ termijnen	Goedkeuring	Controle
1	2	3	4	5	6	7
Kwik	+	+	+	+	0	
Cadmium	+	+	+	0		
Aldrin/dieldrin/endrin	+	+	0			
Chloordaan/DDT/Heptachloor/ HCB/HCH/PCB's/PCT's	+	0				
Pentachloorphenol	+	0				
Hexachloorbutadieen	+	0				
Endosulphan	+	0				
2,4,5-T	+	0				
Parathion	—					
Benzidine	0					
Arseen	0					
3,4-Benzpyreen	0					
3,4-Benzfluorantheen	0					
Bischloorethylether	0					
Tetrachloormethaan	0					

+: is bedoelde fase gepasseerd
—: is afgevallen
0: is in behandeling

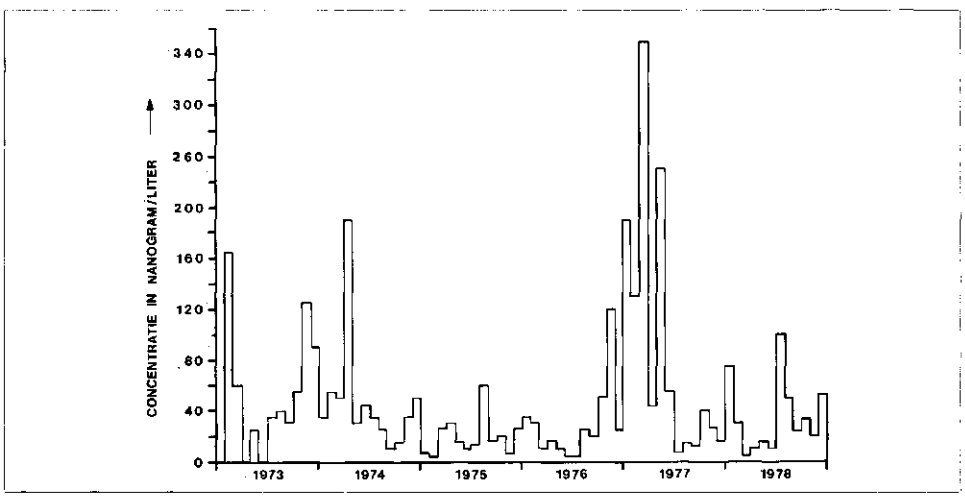
3. Enkele nadelige effecten van de Rijnvervuiling voor de drinkwatervoorziening

3.1. *Introductie*

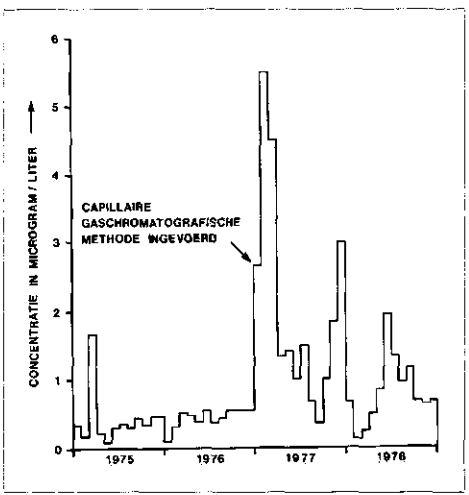
Vanouds heeft de drinkwatervoorziening vai steden langs de Rijn te kampen gehad met smaakproblemen (Heijman, 1931/1932). Naast chloorphenolen werden hiervoor zouten als oorzaak aangemerkt. (Biemond, 1940). De omvangrijke werken voor voorraadvorming van Rijnwater in de vorm van spaarbekkens en duininfiltratie maakten de laatste decennia op spectaculaire wijze duidelijk welke vraagstukken de watervoorziening moest oplossen als gevolg van de toenemende vervuiling.
Op de voorgrond stonden hierbij afvlakking van de wisselende rivierwaterkwaliteit en voorraadvorming ter overbrugging van perioden met calamiteiten. Naast de aanleg van watervoorraden moesten de laatste tien jaar tevens processen zoals ozonisatie en filtratie over aktieve kool bij de zuivering worden ingevoerd om de smaak van het water te verbeteren. De problemen rond de drinkwatervoorziening vormden de belangrijkste motor voor het aanpakken van de sanering van de Rijn. Recent is de noodzaak van verwijdering van organische stoffen uit het rivierwater op nog indringender wijze naar voren gekomen door de resultaten van epidemiologische studies in de VS (Page e.a 1976) (Schneiderman, 1978). De studies suggereren op statistische gronden dat er een verband zou kunnen bestaan tussen het voorkomen van toxische stoffen in uit rivierwater bereid drinkwater en sterfte aan bepaalde vormen van kanker. Anderzijds is de mogelijke bijdrage van drinkwater aan bedoeld risico dermate klein dat dit effect moeilijk via retrospectief epidemiologisch onderzoek zal kunnen worden aangetoond (NAS, 1978) In het volgende zal in globale zin nader worden ingegaan op de vraag inhoeverre de verontreiniging van het Rijnwater via het hieruit bereide drinkwater in Nederland een rol kan spelen ten aanzien van enerzijds kankersterfte en anderzijds smaakhinder.

3.2. *Rijnvervuiling en kankersterfte*

Onder de vele in de Rijn aanwezige stoffen



Afb. 3 - Gehalte aan 3,4 - benzpyreen in het Rijnwater te Lobith over 1973 - 1978 (maandgemiddelde waarden, RID-metingen).



Afb. 4 - Gehalte aan hexachloorbutadieën in het Rijnwater te Lobith over 1975 - 1978 (maandgemiddelde waarden, RID-metingen).

TABEL II - *Mutageniteit oppervlaktewater in periode 14 - 19 januari 1979 volgens Van Kreijl c.s. (monsters 200 x geconcentreerd, Ames-test + S-9 mix)* (Van Kreijl et al, 1980).

Type oppervlaktewater	Plaats	Aantal mutaties per 0,5 ml concentraat (5-voud)	Berekend volume * dat verdubbeling van spontane mutatie frekwentie geeft (ml water)
Blanco		19	—
Rijn	Lobith	69	35
Waal	Gorinchem	62	50
Lek	Vreeswijk	65	55
Nieuwe Waterweg	Maassluis	58	55
IJssel	Zutphen	68	35
IJssel	Kampen	67	45
IJsselmeer	Andijk	28	ca. 250
Maas	Eijsden	24	ca. 400
Maas	Keizersveer	26	ca. 300
Braassemermeer		21	ca. 1000

* Berekend op basis gevonden dosis-respons curve.

TABEL III - *Verschillen in 5 typen kankersterfte in gebieden met grondwatervoorzieningen t.o.v. oppervlaktewatervoorzieningen* (Kool et al, 1979).

Type kankersterfte	Geslacht	Sterftecijfer * in aantal/1000 inwoners grondwater	oppervlaktewater	Correlatie-coëfficiënt
Slokdarm	man	0,47	0,60	— 0,36 [1]
	vrouw	0,22	0,30	— 0,44 [2]
Maag	man	3,56	4,06	— 0,28
	vrouw	2,15	2,53	— 0,34 [1]
Dikke darm	man	1,72	2,10	— 0,27
	vrouw	2,17	2,62	— 0,28
Endeldarm	man	1,06	1,13	— 0,11
	vrouw	0,74	0,93	— 0,36 [1]
Lever	man	0,14	0,21	— 0,56 [3]
	vrouw	0,12	0,15	— 0,18

* Gestandaardiseerd voor leeftijdsopbouw (alle leeftijden).
[1] $\alpha < 10$ % eenzijdig
[2] $\alpha < 5$ % eenzijdig
[3] $\alpha < 2{,}5$ % eenzijdig

bevinden zich ook kankerverwekkende en mutagene stoffen en stoffen die van een dergelijke werking worden verdacht. Een bekende voor de mens vermoedelijk kankerverwekkende stof in het Rijnwater is het 3,4-benzpyreen, dat ook in sigarettenrook voorkomt. Het gehalte in het Rijnwater varieert volgens RID-metingen over de periode 1973-1978 doorgaans tussen de 5-50 nanogram/l met incidentele uitschieters van enkele honderden nanogrammen/l. (zie afbeelding 3). Andere in het Rijnwater aangetroffen stoffen die bij dierproeven kankerverwekkend bleken, zijn bijvoorbeeld tetrachloorkoolstof, trichlooretheen en o-toluidine. Onder de groep van mutagene of van mutageniteit verdachte stoffen in Rijnwater bevinden zich stoffen zoals bis(2-chloorisopropyl)ether, 1,2-dichloorethaan en hexachloorbutadieen (Piet e.a., 1978) (Morra e.a., 1979) (Kraybill, 1978). Het gehalte aan deze verbindingen schommelt veelal tussen 0.1-10 μg/l, terwijl incidenteel pieken tot ca. 100 μg/l zijn geregistreerd (zie ook afbeelding 4). De relatief vluchtige gehalogeneerde koolwaterstoffen zoals chloroform, tetrachloorkoolstof en tetrachlooretheen worden in grote hoeveelheden via onder meer de Main in de Rijn geïntroduceerd (Bauer, 1978).

De mutagene werking van stoffen kan worden opgespoord door na te gaan in hoeverre de stof het genetisch materiaal (DNA) van cellen kan veranderen, waarbij relatief eenvoudige testen worden gebruikt. Onder meer wordt hiervoor vaak de door Ames et al (1973) ontwikkelde test met bepaalde Salmonella typhimurium bacteriën toegepast. Hoewel lang niet alle op deze wijze als mutageen aangemerkte stoffen ook kankerverwekkend (kwaadaardige gezwellen veroorzakend) zullen zijn voor de mens, wordt bij toxicologisch onvoldoende onderzochte stoffen ervan uitgegaan dat aangetoonde mutageniteit voorzichtigheid en meer uitvoerig carcinogeniteitsonderzoek noodzakelijk maakt (Gezondheidsraad, 1979). Om een indruk te verkrijgen van de mutageniteit van het mengsel van organische stoffen in het Rijnwater zijn door het RID monsters oppervlaktewater met behulp van de genoemde 'Amestest' onderzocht (Van Kreijl e.a., 1979). De in tabel II samengevatte resultaten laten zien dat de op deze wijze bepaalde mutageniteit van het Rijnwater een factor 10 hoger ligt dan die van het Maaswater, terwijl in het Braassemermeerwater vrijwel geen mutageniteit kon worden aangetoond. Bij het onder-

zoek werden de organische stoffen een factor 200 geconcentreerd.
Deze resultaten rechtvaardigen een nader onderzoek naar de betekenis van de mutagene stoffen in het Rijnwater voor het milieu en de menselijke gezondheid. In dit kader is door Drs. W. Slooff van het RID in 1979 een oriënterend onderzoek naar het voorkomen van tumoren bij zoetwatervissen in Nederland gestart. Voor de drinkwatervoorziening is van meer belang na te gaan of er aanwijzingen zijn dat het vervuilde Rijnwater ook aanleiding geeft tot het optreden van tumoren bij de mens.
Hiertoe is door het RID, met subsidie van de Commissie van de Europese Gemeenschappen, een epidemiologisch onderzoek aangevat naar de sterfte aan diverse vormen van kanker in 19 stedengroepen (Zoeteman, 1978) binnen ons land en het voorkomen van bepaalde organische verontreinigingen.
Het onderzoek betreft de sterfgevallen in de periode 1965–1976 bij een gemiddelde bevolkingsomvang van 4,6 x 10^6 personen. De sterftegegevens en bevolkingsgegevens werden door het CBS ter beschikking gesteld en bewerkt op het RID. Enkele van de eerste voorlopige resultaten zijn weergegeven in tabel III. De sterfte aan slokdarmkanker bij zowel mannen als vrouwen was significant hoger (90% resp. 95%, eenzijdig) bij steden met oppervlaktewatervoorzieningen dan bij steden met grondwatervoorzieningen. Ook was een significant (90%, eenzijdig) hogere sterfte aanwezig voor vrouwen voor maagkanker en endeldarmkanker bij gebieden met oppervlaktewatervoorzieningen. Overigens wijst de tendens van de correlatiecoëfficiënten voor alle onderzochte typen kanker in dezelfde richting. Daar de invloed van de waterfactor zich eerder bij de meer thuis verblijvende vrouw zou kunnen manifesteren zal hier in eerste instantie een verband moeten worden gezocht.
Deze voorlopige resultaten geven uiteraard geen causaal verband aan tussen genoemde stoffen c.q. het Rijnwater enerzijds en kankersterfte anderzijds. Tevens kunnen geografische en sociaal-culturele factoren in belangrijke mate voor de gevonden associaties verantwoordelijk zijn. Wel zijn de resultaten voldoende aanleiding om het onderzoek naar de mogelijke rol van organische verontreinigingen in drinkwater bij het ontstaan van kanker onder de Nederlandse bevolking voort te zetten. Tevens bevestigen de hier vermelde gegevens de noodzaak om de inspanningen tot sanering van de Rijn niet te doen verflauwen.

3.3. *Rijnvervuiling en smaakbederf*

Minder spectaculair, maar beter voor de bevolking waarneembaar is de onaangename smaak van het uit oppervlaktewater bereide drinkwater. In dit verband wordt onder de smaak verstaan de gelijktijdige gewaarwordingen van het smaakzintuig en van het reukzintuig. Volgens een in 1975 door het Institut für Demoskopie Allensbach (Anon., 1977) in de Bondsrepubliek gehouden enquête vindt 22% van de Duitsers de smaak van hun drinkwater onaangenaam.
Een door het RID samen met het CBS in juni 1976 uitgevoerde enquête onder 3073 personen van 18 jaar en ouder toonde aan dat 7% van de Nederlandse bevolking de smaak van het drinkwater als hinderlijk of vies beoordeelde (Zoeteman, 1978).
Nederland is kennelijk nog relatief goed af. Vergelijking van oppervlaktewatervoorzieningen met grondwatervoorzieningen laat zien dat bij oppervlaktewater 15% van de consumenten de smaak hinderlijk of vies vond terwijl slechts 2.5% van de consumenten dit vond voor uit grondwater bereid drinkwater.
In het algemeen komt het met behulp van oeverfiltratie bereide drinkwater er nog het slechtste af, zoals tabel IV vermeldt. Wellicht ligt hier ook de reden voor het hoge aantal over de smaak ontevreden Duitsers.
Wat de aard van de geur betreft laat tabel V zien dat meestal een chloorachtige geur wordt waargenomen (51%) en in 23% van de gevallen een gronderige geur. De chloorgeur bij oeverfiltratiebedrijven moet geweten worden aan allerlei van het Rijnwater afkomstige chemicaliën daar het water in deze bedrijven doorgaans niet met chloor wordt behandeld. Het metallische aspect is alleen een belangrijk kenmerk bij grondwatervoorzieningen.
Vermeldenswaard is tenslotte dat de hoeveelheid leidingwater die als zodanig wordt gedronken sterk afneemt als gevolg van smaakbederf. Volwassen consumenten die het leidingwater lekker vinden smaken drinken gemiddeld 0.32 l/dag per persoon tegen slechts 0.15 l/dag per persoon voor degenen die de smaak hinderlijk of vies vinden.
Gesteld mag dan ook worden dat de smaak van het drinkwater is te zien als een bruikbare indicator voor de waterkwaliteit als geheel. In dit verband is het gewenst de smaak van het uit oppervlaktewater bereide drinkwater aan een norm te binden die zou kunnen behelzen dat nooit meer dan 5% van de consumenten in een voorzieningsgebied de smaak als hinderlijk of vies ervaart. Het in 1976 uitgevoerde onderzoek heeft wel aangetoond dat dit een te strenge eis is voor de van de Rijn afhankelijke waterleidingbedrijven zolang de Rijn met een breed scala van reuk en smaak bedervende stoffen blijft belast.
Welke stoffen in het kader van het Rijnchemieverdrag in dit verband zouden moeten worden aangepakt vormt het slot van dit betoog.

TABEL IV - *Smaakbeoordeling Nederlands drinkwater in juni 1976 (n = 3073) in relatie tot de bron.*

	Smaakbeoordeling (% van totaal per ruw water categorie)				
Type ruw water	Lekker	Niet waarneembaar	Zwak, niet hinderlijk	Hinderlijk	Erg vies
Grondwater	38,9	52,7	5,8	1,8	0,8
Oeverfiltraat	13,1	45,1	24,0	11,4	6,3
Opgeslagen oppervlaktewater	13,4	54,0	18,0	10,2	4,4
Totaal	30,1	52,6	10,4	4,8	2,1

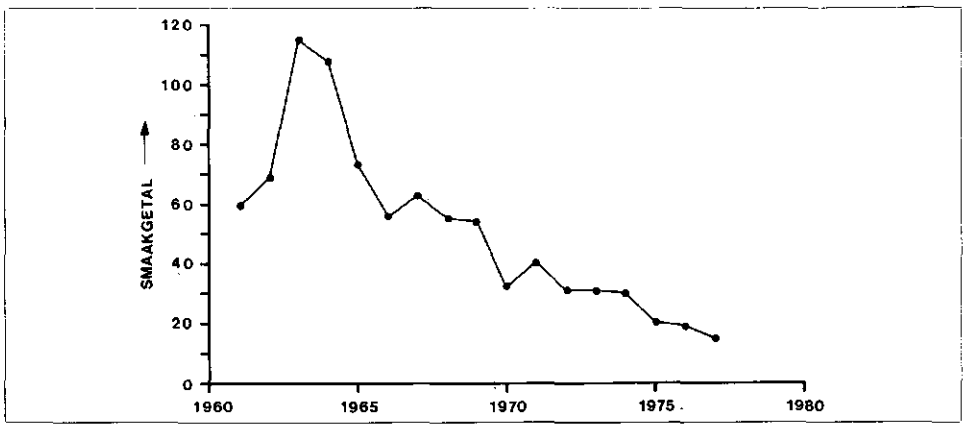
TABEL V - *Geurkwalificatie (juni 1976) van drinkwater bereid uit verschillende soorten ruw water (n = 98)*

	Geurkwalificatie (% van totaal per ruw water categorie)				
	Chloorachtig	Gronderig, aarde	Rottend	Metaalachtig	Onbestemd
Grondwater	20	20	7	20	33
Oeverfiltraat	44	33	0	6	17
Opgeslagen oppervlaktewater	60	20	5	5	10
Totaal	51	20	4	7	15

4. **Smaakbedervende stoffen in Rijnwater**

4.1. *Algemene aspecten*

In het algemeen is de intensiteit van de slechte reuk en smaak van het Rijnwater in Nederland sinds het midden van de zestiger jaren afgenomen (Zoeteman en Piet, 1974). Zo werd in die periode een maximaal reukgetal van ruim 400 in de Rijn nabij Duisburg gemeten (Kölle et al, 1970) en een jaargemiddeld smaakgetal van ruim 100 voor het Lekwater te Bergambacht (RIWA jaarverslagen) (zie afbeelding 5). Volgens de in het kader van het meetnet Rijkswateren door het RID bepaalde reukintensiteit van het Rijnwater schommelt het reukgetal te Lobith sinds 1974 rond een waarde van 20 (zie afbeelding 6). Door verdamping en biologische afbraak van de reukintensieve stoffen is het reukgetal van het IJsselmeer-



Afb. 5 - Smaakgetal van Lekwater te Bergambacht over de periode 1961 - 1977 (RIWA-metingen).

water doorgaans een factor 2-3 lager. Afbeelding 7 geeft over de periode 1973-1978 een meer gedetailleerd beeld van de seizoensinvloeden op de geurintensiteit. Een laag reukgetal is meestal in de maand februari aanwezig wanneer het debiet van de Rijn het hoogst is en de temperatuur laag.

De volgende maanden neemt de geurintensiteit iets toe als gevolg van de dalende afvoeren en de nog steeds lage temperaturen. Na april begint de biologische afbraak vermoedelijk een steeds belangrijker rol te spelen waarbij echter ook de kans op de vorming van reukintensieve produkten toeneemt (Zoeteman, 1970). In de periode juli–oktober vertoont het reukgetal enige stijging welke vermoedelijk het gevolg is van de gezamenlijke invloed van het afnemende debiet en de weer dalende temperatuur. Tenslotte is het verloop van het reukgetal in de wintermaanden december-februari nog moeilijk te verklaren. Kan het relatief lage reukgetal in december en februari worden toegeschreven aan de dan maximale afvoeren van de Rijn, de piek in het reukgetal in de maand januari lijkt moeilijk aan hydrologische oorzaken te kunnen worden toegeschreven. Of deze hoge waarde bijv. aan de zeer lage temperatuur moet worden geweten waarbij biologische afbraakprocessen geheel tot stilstand zouden komen of aan bijv. bepaalde maatschappelijke activiteiten die met het begin van het nieuwe jaar samenhangen is nog onduidelijk. Wel duidelijk is dat deze piek van geurintensieve stoffen ook in het IJsselmeer wordt teruggevonden in februari, hetgeen eveneens lijkt op te gaan voor de aprilpiek in de Rijn die overeenkomt met een mei-juni piek in het IJsselmeer.

Op basis van deze gegevens lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat door het tegengestelde ritme van de afvoer en de temperatuur van het Rijnwater het reukgetal een vrij afgevlakt verloop te zien zal geven. Anderzijds lijkt in de winterperiode de eerder gehanteerde veronderstelling van een constante lozing van reukintensieve stoffen langs de Rijn (Zoeteman, 1970) niet op te gaan.

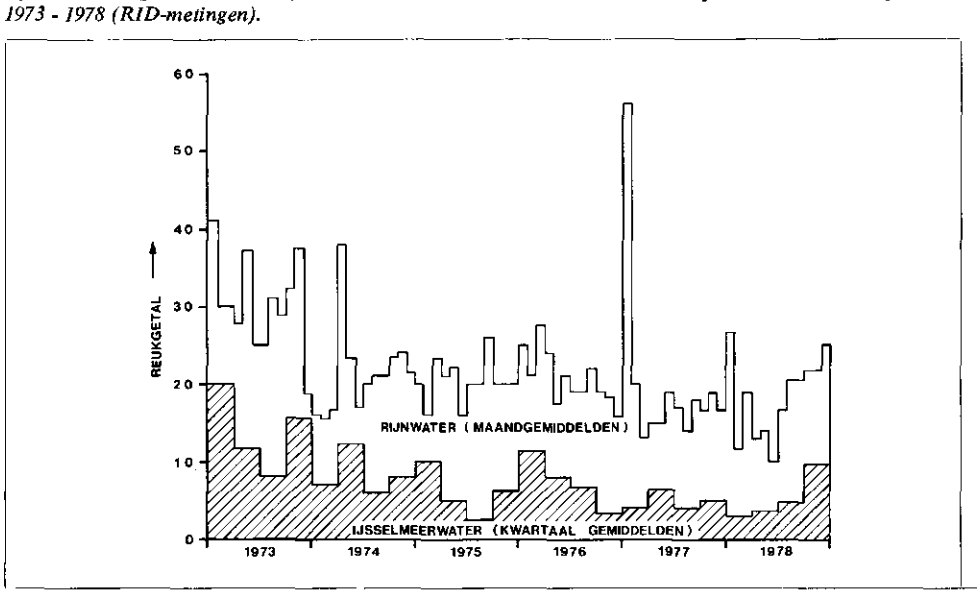
Tenslotte indiceren de gegevens dat de reukstoffen meer van industriële lozingen dan van biologische omzettingen afkomstig zullen zijn.

Hoewel in het verleden het zoutgehalte van het Rijnwater mede in verband is gebracht met smaakbezwaren van drinkwater hebben recente studies hiervoor geen aanwijzingen opgeleverd (Zoeteman et al, 1978). Zo wordt de gemiddelde smaakbeoordeling van een keukenzoutoplossing in gedemineraliseerd water pas als hinderlijk omschreven door een panel bij concentraties boven 465 mg/l ofwel een natriumconcentratie boven 185 mg/l (zie afbeelding 8). Het natriumgehalte in het speeksel, waaraan de smaakpapillen in de mond zijn geadapteerd, varieert tussen 80 - 600 mg/l (Ferguson, 1975). Ook andere zouten in het Rijnwater blijken in de praktijk de smaak niet in belangrijke mate te beïnvloeden. De oorzaak van de slechte smaak van uit Rijnwater bereid drinkwater moet dan ook vooral worden gezocht in de organische stoffen die na te zijn geloosd in het water van de Rijn kunnen doordringen tot in het drinkwater.

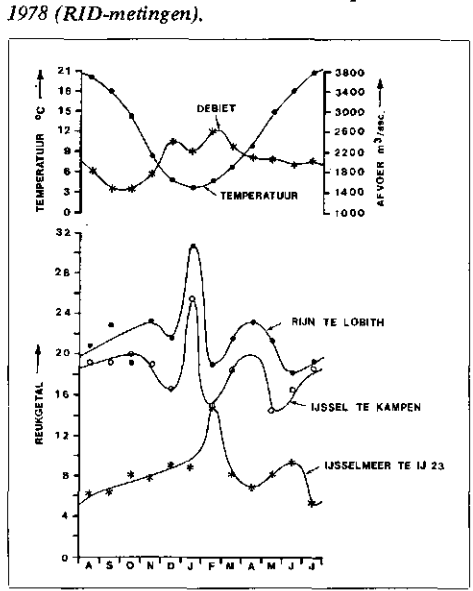
4.2. *Selectieprocedure voor het opsporen van smaakbedervende organische stoffen*

Teneinde de aard van de voor smaakbederf verantwoordelijke organische stoffen in het Nederlandse drinkwater op te kunnen sporen is door het RID in 1976 het drinkwater van een 20-tal steden zowel sensorisch als chemisch op gedetailleerde wijze onderzocht (Zoeteman, 1978). Verdeeld over een 3-tal dagen werden de 20 steden bemonsterd waarbij steeds 8 monsters aan een geselecteerd panel van ongeveer 50 personen werden aangeboden alsmede op chemische bestand-

Afb. 6 - Reukgetal van het Rijnwater te Lobith en het IJsselmeerwater te punt Y 23 over de periode 1973 - 1978 (RID-metingen).



Afb. 7 - Invloed van het seizoen op het verloop van het reukgetal van het water van de Rijn, de IJssel en het IJsselmeer over de periode 1973 - 1978 (RID-metingen).



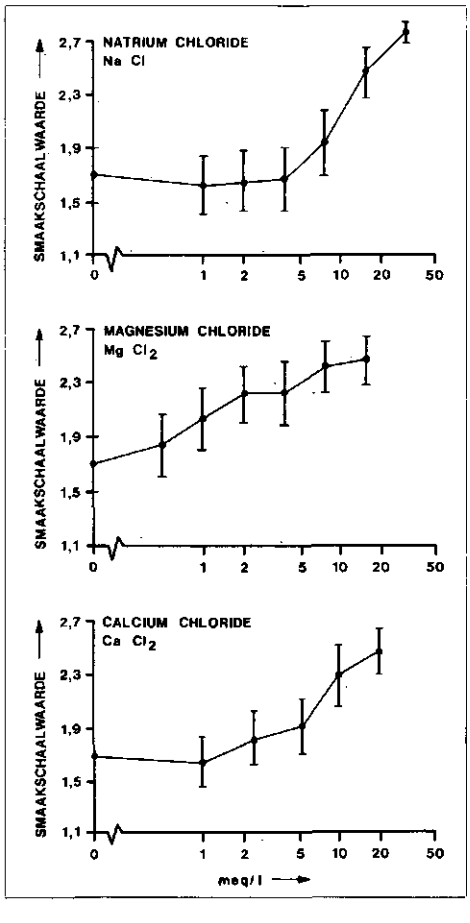
TABEL VI - *Begrippen gebruikt voor de smaakschaal en de corresponderende schaalwaarden.*

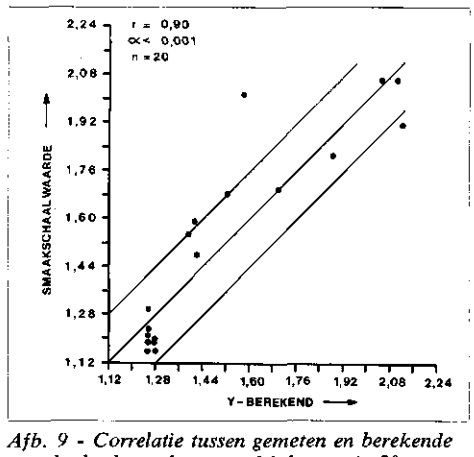
Categorie	Omschrijving	Smaakschaalwaarde
1.	Het smaakt lekker	0,00
2.	Het heeft geen waarneembare smaak	0,74
3.	Het heeft een zwakke, weinig hinderlijke smaak	1,41
4.	Het heeft een hinderlijke smaak	2,07
5.	Het smaakt vies	2,87

delen werden geanalyseerd. Elk van de monsters werd de panelleden 20 maal aangeboden. Het smaakoordeel werd met behulp van de in tabel VI vermelde smaakschaal weergegeven.
In het drinkwater konden 180 organische stoffen met behulp van gaschromatografie en massaspectometrie worden geïdentificeerd en semi-kwantitatief bepaald.
Met behulp van multipele regressieanalyse kon worden bepaald dat de smaakbeoordeling van het drinkwater met vrij grote nauwkeurigheid kon worden voorspeld aan de hand van de concentraties in het drinkwater aan chloroform (X_1), o- en p-dichloorbenzeen (X_2) en bis(2-chloorisopropyl)ether (X_3) (Zoeteman et al, 1979):

Smaakschaalwaarde $= 1.26 + 0.01\,X_1 +$

Afb. 8 - Smaakbeoordeling van oplossingen van natrium, magnesium en calciumchloride in gedestilleerd water.





Afb. 9 - Correlatie tussen gemeten en berekende smaakschaalwaarden voor drinkwater in 20 Nederlandse steden.

S = 1,26 + 0,01 [chloroform]
+ 1,83 [O- en P-dichloorbenzeen]
+ 0,26 [bis (2-chloorisopropyl) ether]

$1.83\,X_2 + 0.26\,X_3$
$(r = 0.90)$ $(\alpha < 0.001)$

Deze regressie beschrijft 78% van de variantie in smaakschaalwaarden (zie afbeelding 9)
Dit resultaat wijst erop dat naast stoffen die bij de chloring van drinkwater tesamen met het chloroform ontstaan andere stoffen van belang zijn voor de smaak, zoals dichloorbenzeen en bis(2-chloorisopropyl)ether, die afkomstig zijn van de Rijnvervuiling.
Voor het nader selecteren van deze stoffen is de volgende procedure gehanteerd:
– de gemeten concentraties (c) werden voorzover beschikbaar vergeleken met de geurdrempelconcentraties (GDC) van de gevonden stoffen in water,
– stoffen werden als van potentieel belang beschouwd indien de C/GDC ratio meer dan 0.01 bedraagt.
Een lage waarde van 0.01 voor deze ratio is gekozen om rekening te houden met het feit dat ook het geurgevoelige deel van de bevolking het drinkwater acceptabel moet vinden en om o.a. rekening te houden met de veelal lagere smaakdrempel dan de geurdrempel zoals die in de literatuur kan worden aangetroffen (van Gemert, Nettenbreijer, 1977).
Onder de 180 stoffen bleek een 20-tal aan genoemde selectiecriteria te voldoen.

4.3. *Smaakbedervende stoffen, potentieel geschikt voor opname op de grijze lijst*

Van de 20 geselecteerde stoffen behoren 12 stoffen tot de categorie welke van industriële herkomst geacht kan worden (zie tabel VII). Daarnaast zijn stoffen in drinkwater aanwezig die vermoedelijk door biologische processen en als gevolg van de chloring zijn geïntroduceerd.
Behalve de in tabel VII vermelde stoffen kunnen nog andere stoffen bijdragen aan smaakverslechtering. Gedacht moet hierbij worden aan relatief polaire of hoog kokende stoffen die met de gebruikte analysemethode niet konden worden bepaald. Tot deze categorie behoren de in verband met smaakbezwaren veel genoemde phenolen. Het als groepsparameter bepaalde gehalte aan phenol en homologe verbindingen in de Rijn te Lobith (RIZA-metingen) fluctueert in de jaren 1962-1972 tussen 10-100 µg/l en schommelt de laatste jaren rond 15 µg/l (IRC, 1977).
De smaakgrens voor phenol, cresolen en xylenolen in water ligt beduidend boven deze concentratie, ook ten aanzien van de beïnvloeding van de smaak van vis (Eberling, 1940) (Rosen et al, 1962) (Burttschell et al, 1959), zodat deze stoffen op zich vermoedelijk weinig smaakproblemen veroorzaken. Wat betreft de chloorphenolen is de situatie anders. De geurdrempel van 2-chloorphenol en 4-chloorphenol bedraagt volgens RID-metingen resp. 0,2 µg/l en 0.5 µg/l (van Gemert, Nettenbreijer, 1977) terwijl door het RIV (Freudenthal, Litjens, 1976) in Rijnwater concentraties in dezelfde orde van grootte zijn aangetoond. De hogere gechloreerde phenolen lijken minder belangrijk voor de smaakbezwaren te zijn, zoals tabel VIII illustreert.
Op grond van deze resultaten is het gewenst de stoffen van tabel VII en VIII, met uit-

TABEL VII - *Organische stoffen van industriële herkomst die waarschijnlijk bijdragen tot smaakbederf van drinkwater in Nederland.*

Verbinding	Maximaal gemeten concentratie in drinkwater (1976) (µg/l)	Geur drempel concentratie in water (µg/l)	Ratio (concentratie: drempel)
Bis(2-chloorisopropyl)ether	3,0	300	0,01
3,4-Dichlooraniline	0,03	3	0,01
o-Dichloorbenzeen	0,1	10	0,01
Hexachloorbutadieen	0,1	6	0,02
Naftaleen	0,1	5	0,02
γ-Hexachloorcyclohexaan	0,1	0,3	0,03
5-Chloor-o-toluïdine	0,3	5	0,06
1,2,4-Trichloorbenzeen	0,3	5	0,06
2-Chlooraniline	0,3	3	0,1
Biphenyl	0,1	0,5	0,2
1,3,5-Trimethylbenzeen	1,0	3	0,3
p-Dichloorbenzeen	0,3	0,3	1,0

TABEL VIII - *Gemeten gehalten en geurdrempels voor enkele chloorphenolen in Rijnwater.*

Stof	Maximale concentratie in Rijnwater (RIV-metingen in 1976) (µg/l)	Gemiddelde drempel concentratie (µg/l)	Ratio: (concentratie: drempel)
2-Chloorphenol	0,2	0,2	1
4-Chloorphenol	0,15	0,5	0,3
2,4-Dichloorphenol	0,2	2	0,1
2,6-Dichloorphenol	0,25	3	0,07
2,4,6-Trichloorphenol	0,3	> 1000	< 0,001

zondering van trichloorphenol, als stoffen van de grijze lijst te beschouwen.

5. Slotbeschouwing

In het voorgaande is aangegeven hoe de laatste jaren een begin is gemaakt met een systematische aanpak van de sanering van de chemische verontreiniging van de Rijn. Daar het Rijnchemieverdrag een kaderverdrag is, zijn nog vele problemen te overwinnen voordat een algehele gezondmaking van het Rijnwater een feit genoemd kan worden. Een krachtige stimulans op dit punt zal moeten blijven uitgaan van de belangen die o.a. de openbare drinkwatervoorziening bij een schone Rijn heeft. De vervuiling van het Rijnwater is dagelijks merkbaar voor de consument o.m. via de slechte smaak van het daaruit bereide drinkwater. Hoewel op korte termijn door waterleidingbedrijven wordt getracht de gezondheidsproblemen met behulp van meer geavanceerde zuiveringsmethoden te beperken, moet op langere termijn uitsluitend het tegengaan van het lozen van de voor deze effecten verantwoordelijke stoffen als juist worden gezien. Het ligt immers in de lijn van de verwachting dat in de toekomst de in het Rijnwater achterblijvende smaakbedervende stoffen steeds meer tot het moeilijk afbreekbare type behoren die met de gebruikelijke drinkwaterbereidingstechnieken niet of zeer moeilijk zijn te verwijderen. Aanpak van het probleem bij de bron lijkt daarom het meest doelmatig. Het juiste inzicht welke stoffen hierbij in het spel zijn en welke grenswaarden in het rivierwater moeten worden gerespecteerd is nog maar zeer ten dele aanwezig. In het algemeen kan worden gesteld dat het in het rivierwater toelaatbare gehalte van een smaakbedervende stof tenminste beneden de geurdrempelconcentratie van een waterige oplossing van de stof dient te liggen. Per stof zal een meer genuanceerde benadering veelal noodzakelijk zijn, afhankelijk van het effect van de zuivering op het gehalte van de stof in het behandelde water.

Getracht is een indruk te geven van lopend onderzoek in Nederland naar de aard van ongewenste stoffen in de Rijn en de daarbij tot nog toe bereikte resultaten. Het zal duidelijk zijn dat het onderzoek op dit punt eigenlijk nog in de kinderschoenen staat. Daarnaast wordt steeds vaker een uitvoerige toetsing van de potentiële stoffen voor de zwarte en grijze lijst verlangd, vóórdat zij als zodanig worden aanvaard en de lozingen worden gesaneerd. In dit verband dient het onderzoek naar deze chemicaliën de komende jaren verder te worden geïntensiveerd waarbij door Nederland een voortrekkersrol zal moeten worden vervuld.

Immers 'kennis is macht' en door onderzoek vergaarde kennis is een van de weinige troeven die ons land bij het bevorderen van de Rijnsanering zal kunnen uitspelen.

Literatuur

Ames, B. M., Durston, W. E., Yamasaki, E., Lee, F. D. (1973). *Carcinogens are mutagens,* Proc. Nat. Acad. Sci, 70, 228.

Anon. (1977). *De Duitsers over hun drinkwater,* H_2O, 10 N43.

Bauer, U. (1978). *Halogenkohlenwasserstoffe in Trink- und Oberflächenwasser,* WaBoLu Berichte 3/1978, Dietrich Reimer Verlag, Berlijn, 64.

Biemond, C. (1940). Rapport 1940 inzake de watervoorziening van Amsterdam, 105.

Burtschell, R. M., Rosen, A. A., Middleton, F. M., Ettinger, M. B. (1959). *Chlorine derivatives of phenol causing taste and odor,* J. Am. Water Wks Ass., 51, 205.

Canton, H., Slooff, W. (1978). *Hydrobiologisch toxiciteitsonderzoek ten behoeve van het indelen van stoffen en voor het stellen van normen.* RIV-RID-rapport nr. 127/78 Tox.

Ebeling, C. (1940). *Versuche über die Wirkung phenolhaftiger Abwässer in Zusammenhang mit Rheinuntersuchungen auf der Streche von Mainz bis Emmerich in den Jahren 1935-1937,* Vom Wasser, 14, 81.

E.G. (1976). *E.G.-richtlijn 76/464,* Publicatieblad van de E.G. nr. L 129.

Ferguson, D. B. (1975). *Salivary glands and saliva,* In: Applied physiology of the mouth. (Ed. Lavelle, G.L.B.), Wright, Bristol, 145.

Freundenthal, J., Litjens, J. L. M. (1976). *Kwalitatieve en kwantitatieve analyse van gechloreerde organische verbindingen in verschillende vetten en water,* Intern RIV rapport nr. 77/76 Tox-MS.

Gemert, L. J. van, Nettenbreijer, A. H. (1977). *Compilation of odour threshold values in air and water,* RID, 2260 AD Leidschendam.

Gezondheidsraad (1979). *Carcinogeniteit van chemische stoffen,* advies van de Gezondheidsraad, Min. van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Verslagen, Adviezen en Rapporten, nr. 4.

Heyman, J. A. (1931-1932). *De Rijn als toekomstige bron der drinkwatervoorziening van Amsterdam,* Water, 15, 118, 131, 141; Water, 16, 219, 227.

Internationale Rijn Commissie (1976). *Langfristiges Arbeitsprogramm - Gesamtfasung,* Postfach 309, D-5400 Koblenz, 141.

Internationale Rijn Commissie (1977). *Tätigkeitsbericht 1977,* Postfach 309, D-5400 Koblenz.

Internationale Rijn Commissie (1978). *Overeenkomsten inzake de bescherming van de Rijn tegen verontreiniging,* Postfach 309, D-5400 Koblenz, 85.

Kölle, W., Koppe, P., Sontheimer, H. (1970). *Taste and odour problems with the river Rhine,* Water Treatm. Exam., 2, 120.

Kool, H. J., Sloof, W., Zoeteman, B. C. J., Piet, G. J., Linders, J. B. H. J. (1979). *Cancer mortality in relation to drinking water in The Netherlands,* RID-rapport aan de Commissie van van de E.G., Brussel, Contract nr. 273-77-1 ENV-N.

Kraybill, H. F., Helmes, T. C., Sigman, C. C. (1977). *Bio-Medical aspects of biorefactories in water.* In: Aquatic pollutants (Ed. O. Hutzinger, H. van Lelyveld, B. C. J. Zoeteman) Pergamon Press, Oxford, 419.

Kreijl, C. F. van, Kool, H. J., Vries, M. de, Kranen, C. F. van, Greef, E. de (1980). *Mutagenic activity in the rivers Rhine and Meuse in The Netherlands* (aangeboden aan Sci. Tot. Env.).

Leeflang, K. W. H. (1974). *Ons drinkwater in de stroom van de tijd,* VEWIN, Rijswijk, 192.

Morra, C. F. H., Linders, J. B. H. J., Boer, A. den, Ruygrok, C. Th. M., Zoeteman B. C. J. (1979). *Organic chemicals measured during 1978 in the river Rhine in The Netherlands.* RID-mededeling 79-3.

National Academy of Sciences (NAS) (1978). *Epidemiological studies of cancer frequency and certain organic constituents of drinking water.* A review of recent literature published and unpublished, prepared for the E.P.A. (contract nr. 68-01-3169) Washington D.C., 20418, September.

Page, T., Harris, R. H., Epstein, S. S. (1976). *Drinking water and cancer mortality in Louisiana.* Science, 2 July, 55.

Piet, G. J., Slingerland, P., Grunt, F. E. de, Heuvel, M. P. H. van der, Zoeteman, B. C. J. (1978). *Determination of very volatile halogenated organic compounds in water by means of direct head-space analysis.* Anal. letters, A11 (5), 437.

RIWA (1970 - 1977). Jaarverslagen Rijncommissie Waterleidingenbedrijven, 1005 AD Amsterdam.

Rosen, A. A., Skeel, R. T., Ettinger, M. B. (1963). *Relationship of river water odor to specific organic contaminants.* J. Water Poll. Contr. Fed., 35, 6, 777.

Schneiderman, M. A. (1978). *Water and epidemiology.* National conference on drinking water policy problems, resources for the future, March 6, Washington D.C. (beschikbaar bij N.C.I., Bethesda, Maryland 20014, USA).

Schorer, K. F. H. (1977). *Het verdrag van Bonn ter bescherming van de Rijn tegen chemische verontreiniging,* H_2O, 10, nr. 12, 289.

Weber, H. H. (1979). *Möglichkeiten der Industrie für die Gewässerseinhaltung,* Tagungsbericht, Internationales Städte Symposium 'Sauberer Rhein', 1012 EX Amsterdam, 62.

Zoeteman, B. C. J. (1970). *Reuk en smaak van rivierwater in verband met voorraadvorming.* H_2O, 3, 136.

Zoeteman, B. C. J., Piet, G. J. (1974). *Meting van reukstoffen in water, mogelijke oorzaken van hinderlijke watergeur,* H_2O, 7, 162.

Zoeteman, B. C. J., Piet, G. J. (1974). *Cause and identification of taste and odour compounds in water.* Science Tot. Env., 3, 103.

Zoeteman, B. C. J. (1978). *Sensory assesment and chemical composition of drinking water.* Dissertatie, Un. Utrecht.

Zoeteman, B. C. J., Grunt, F. E. de, Köster, E. P., Smit, K. G. J., Punter, P. H. (1978). *Taste assesment of individual salts in water.* Chemical Senses and Flavour, 3, 127.