

Berging van oppervlaktewater in open bekkens

Voordracht gehouden tijdens de 31e Vakantiecursus in Drinkwatervoorziening 'Drinkwater in breder verband', die op 11 en 12 januari 1979 te Delft werd gehouden.

1. Inleiding

In Nederland bestaat sinds ca. 20 jaar ervaring met voorraadvorming d.m.v. opslag in open spaarbekken. In de zestiger jaren werden alleen ondiepe bekkens gebouwd, d.w.z. de gemiddelde diepte was nauwelijks meer dan 5 à 6 m. Het gaat hier om de Waterleidingplas (Amsterdam), drie spaarbekken in de Braakman (Zeeland), Grote Rug (Dordrecht) en Berenplaat (Rotterdam). In de jaren zeventig werden afgezien van het Andelse Maasbekken (Den Haag)



G. OSKAM
NV Waterwinningbedrijf
Brabantse Biesbosch

alleen diepe bekkens (> 15 m) gebouwd. Het zijn de drie bekkens in de Biesbosch: Gijster, Honderd en Dertig en Petrusplaat en het analysebekken van de WRK (Noord-Holland).

Het kenmerkende van berging in open bekkens is, dat externe factoren zoals straling (licht, warmte) en wind hun invloed kunnen uitoefenen en daardoor naast de samenstelling van het te bergen water medebepalend zijn voor de fysische, chemische en biologische processen, die tijdens de opslagperiode de kwaliteit van het water beïnvloeden.

Het in Nederland voor opslag in spaarbekken beschikbare oppervlaktewater is organisch sterk belast met (gedeeltelijk gezuiverd) huishoudelijk en industrieel afvalwater en bevat daarnaast grote hoeveelheden nutriënten (plantenvoedingszouten). Enerzijds zal tijdens de opslagperiode een aanzienlijke kwaliteitsverbetering door zelfreinigingsprocessen kunnen optreden [Rook en Oskam 1970], maar anderzijds kan het hypertrofe water van Rijn en Maas aanleiding geven tot het optreden van massale algengroei (waterbloei), zoals uit het IJsselmeer maar al te goed bekend is. De waterkwaliteit kan hierdoor zeer ongunstig worden beïnvloed.

Een tweede ongunstig aspect, dat aandacht verdient is de mogelijkheid, dat in diepe bekkens onder invloed van thermische stratificatie (temperatuurgelaagdheid) anaërobie op kan treden, hetgeen eveneens bijzonder ongewenste gevolgen voor de waterkwaliteit heeft. Dit verschil in limnologisch gedrag van diepe bekkens t.o.v. ondiepe bekkens leidt tot wezenlijke verschillen in de bedrijfsvoering van de bekkens, maar het behoeft geen betoog,

dat het waterkwaliteitsbeheer in beide gevallen in de eerste plaats gericht is op het minimaliseren van de ongunstige tendensen, zodat het verblijf in het bekken een reële bijdrage kan leveren aan de kwaliteitsverbetering van het opgeslagen water. Deze aspecten zullen eerst worden behandeld.

2. Stratificatie en anaërobie

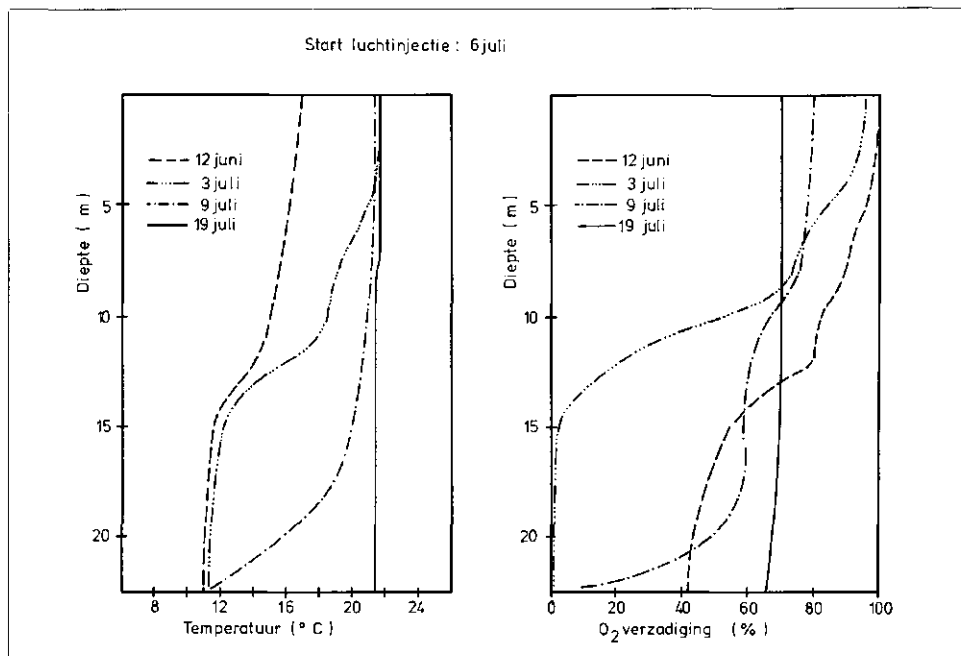
Bij grotere bekkendiepten dan acht à tien meter zal thermische stratificatie (temperatuurgelaagdheid) kunnen optreden, hetgeen tot snelle uitputting van de zuurstof in het hypolimnion zou kunnen leiden. De processen die dan gaan optreden zijn zowel chemisch als biologisch van aard. Chemische gevolgen zijn het oplossen van grote hoeveelheden ijzer en mangaan in de vorm van Fe^{2+} en Mn^{2+} door reductie van $Fe(OH)_3$ en MnO_2 , terwijl eveneens het hieraan gebonden fosfaat in oplossing gaat. Als biologische processen treden op: denitrificatie ($NO_3^- \rightarrow N_2$), sulfaatreductie ($SO_4^{2-} \rightarrow H_2S$), vorming van ammonium en gistings- en rottingsprocessen van organische verbindingen. Een schatting van de maximale concentraties van deze stoffen, die bij langdurige stratificatie zijn te verwachten, ziet er als volgt uit [Rapport Commissie Limnologie van Spaarbekken 1971]: Fe^{2+} : 50 mg/l; Mn^{2+} : 5 mg/l; PO_4^{3-} : 5 mg/l; NH_4^+ : 10 mg/l; H_2S : 20 mg/l (afh. van de Fe^{2+} -concentratie).

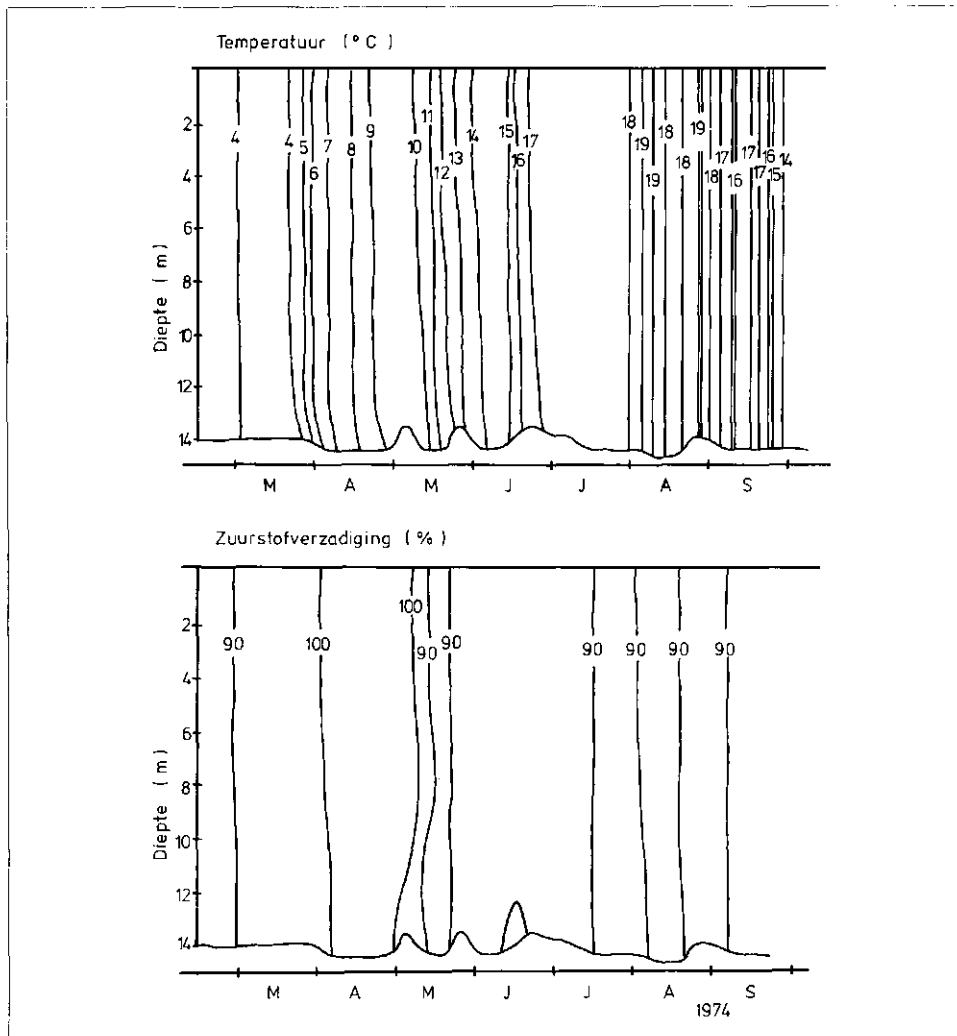
Tevens zal het water in het hypolimnion een slecht te verwijderen rottingsmaak

geur verkrijgen, waardoor het in wezen ongeschikt is voor de bereiding van drinkwater. Reservoirs, die gedurende de zomerperiode een grotere diepte hebben dan 10 m, dienen daarom voorzien te zijn van inrichtingen ter voorkoming van stratificatie. In Nederland en met name in de Biesbosch bekkens wordt dit gerealiseerd door luchtinjectie op de bodem van de bekkens gedurende de periode mei - augustus/september [Knoppert 1978]. Voor een diepgaande verhandeling over de theoretische en praktische aspecten wordt verwezen naar het proefschrift van Goossens (1979). Een unieke gelegenheid, om de gevolgen van een thermische stratificatie te bestuderen, deed zich voor in 1973, toen het bekken Honderd en Dertig vanaf april operationeel was, maar de luchtinjectie in het toen 22 m diepe Z.W.-deel eerst op 6 juli in werking kon worden gesteld [Oskam 1974].

Afb. 1 toont hoe in de tweede helft van juni een schoolvoorbeeld van thermische stratificatie ontstond met een temperatuurgadiënt van bijna $2^\circ C/m$ in de spronglaag (curve 3 juli). In dezelfde periode daalde de zuurstof in de onderste lagen snel, totdat op 3 juli het gehele hypolimnion vrijwel zuurstofloos was geworden. Het starten van de luchtinjectie had een frappant resultaat; reeds na 3 dagen (op 9 juli) was de spronglaag ca. 7 m gezakt, terwijl in nog geen twee weken een isotherme situatie werd bereikt. Uit afb. 1 blijkt tevens, dat ook tijdens de destratificatieperiode de zuurstof-

Afb. 1 - Temperatuur- en zuurstofprofielen in het bekken Honderd en Dertig.





Afb. 2 - Temperatuur- en zuurstofisoplethen in het bekken Petrusplaat.

profielen geheel conformeerden aan het temperatuurverloop over de diepte, eveneens resulterend in een uniforme verzadiging van 65 - 70 % op 19 juli. Hoewel in dit geval de periode van zuurstofarmoede zo kort duurde, dat van een beïnvloeding in ongunstige zin van de waterkwaliteit nog geen sprake was (alleen het NO_3^- -gehalte was gedaald), verdient het uiteraard aanbeveling de zuurstofverzadiging aan de bodem niet beneden de 50 % te laten zakken. Dit wordt bereikt door de luchtinjectie te starten als gewoonlijk in april - mei de temperatuur van het bekkenwater de 10 °C begint te naderen. Afb. 2 toont de temperatuur- en zuurstofisoplethen van de Petrusplaat in voorjaar en zomer van 1974, waaruit blijkt, dat het onderhouden van een isotherme toestand met een goede zuurstofhuishouding over de gehele diepte geen enkel probleem vormt.

3. Algengroei

Het Nederlandse oppervlaktewater is zeer

rijk aan nutriënten. Het gehalte aan totaal P van Rijn en Maas bedraagt 0,5 - 1 mg/l, terwijl het gehalte aan N-verbindingen meestal groter is dan 5 mg/l. Zonder geëigende maatregelen leidt het innemen van een dergelijk eutroof oppervlaktewater in een spaarbekken tot een instabiel aquatisch ecosysteem, waarin excessieve algengroei kan resulteren in een sterk wisselende zuurstofverzadiging (met een groot deficit bij snelle afsterving van de algen), verrijking van het bodemslib met 'uitrogenend' algenmateriaal (waardoor zelfs in ondiepe bekkens anaërobie van de bodemlagen kan ontstaan) en de vorming (en excretie) van verschillende soorten organische verbindingen, die de zuivering kunnen storen zoals complexerende verbindingen, reuk- en smaakstoffen en toxinen.

De reuk- en smaakstoffen, die door algen worden geproduceerd, worden met een verscheidenheid van benamingen aangeduid. Enkele veel gebruikte termen zijn o.a.:

— vissig: toegeschreven aan de vorming

van trimethylamine door kiezelwieren [Weil 1972];

— gronderig, muff: toegeschreven aan de vorming van geosmine door blauwwieren in associatie met Actinomyceten [V. d. Vlugt c.s. 1973];

— 'pigpen odor' (= gierlucht) optredend als blauwwieren zich in het stadium van afsterving bevinden.

Wat de toxinen betreft, worden exo- en endotoxinen onderscheiden. Kappers (1973) geeft vele bijzonderheden over eigenschappen en effecten van de toxinen van blauwwieren. Hoewel vaststaat dat dergelijke toxinen acute sterfte van vee, vissen en vogels hebben veroorzaakt, wordt aangenomen dat acuut toxische effecten voor de mens niet behoeven te worden gevreesd, omdat kennelijk voldoende inactivering tijdens de zuivering optreedt o.a. door adsorptie aan actieve kool. Of er echter sprake zou kunnen zijn van chronisch toxische effecten, is niet bekend.

Gevolgen van massale algengroei voor de zuivering kunnen o.a. zijn:

— noodzaak tot toepassing van voor-chloring om 'biological fouling' van het zuiveringssysteem te vermijden. Dosering van chloor in een stadium, waarin nog geen precursorverwijdering heeft plaatsgevonden, kan leiden tot een toename van het gehalte aan trihalomethanen (chloroform);

— gestoorde vlokvorming door complexerende verbindingen, resulterend in een vaak veel hoger chemicaliënverbruik t.b.v. de vlokvorming en hogere troebelings van het gezuiverde water. Niet zelden ontstaan bij de sedimentatie ook problemen, omdat de vlok 'opdrijft' door aanhechting van zuurstofbelletjes, die in toestand van oververzadiging worden gevormd;

— extra verbruik aan actieve kool en/of ozon voor smaakverbetering en verwijdering van toxinen;

— filterverstopping, gepaard gaande met grote spoelwaterverliezen voor snelfilters of frequente arbeidsintensieve schoonmaakbeurten voor langzame zandfilters;

— filterpassage van algen, daar 100 % verwijdering een praktisch niet haalbare zaak is.

De nadelige gevolgen van algengroei in spaarbekken werken ook door in het distributienet:

— het optreden van 'nagroei' van heterotrofe bacteriën, als de extra-celulaire stofwisselingsprodukten in de zuivering niet volledig worden verwijderd;

— uit recent onderzoek van het Water Research Centre is gebleken, dat een intensivering optreedt van de ontwikkeling van de microfauna in het leidingnet. Het betreft hier vooral protozoën, wormen, raderdiertjes en watervlooien, die resp. bacteriën, detritus en algen eten [WRC Technical Report 1979];

— in het geval van het IJsselmeer wordt in de zomermaanden het HCO₃⁻-gehalte van het water door verbruik door algen en biogene ontharding zover verlaagd, dat het gewenste bufferend vermogen van 2 mmol/l tijdens de distributie niet meer wordt bereikt.

Bij het treffen van maatregelen moet het uitgangspunt zijn, dat het algenniveau in het spaarbekken de navolgende zuivering niet voor grote problemen stelt en de kwaliteit van het eindproduct niet nadelig beïnvloedt. De Begeleidingscommissie Planktonbeheersing in Bekkens heeft in haar advies aan het RID t.b.v. het nieuwe Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening streefwaarden geformuleerd voor de maximale algenbiomassa, uitgedrukt in chlorofyl, van ongeveer 20 µg/l voor blauwwieren en 60 µg/l voor de overige algensoorten. Als men bedenkt, dat bij het huidige nutriënteniveau waarden van enkele honderden µg/l niet zeldzaam zijn, dan is dit voldoende indicatie, dat een al te intensieve algenontwikkeling moet worden tegengegaan.

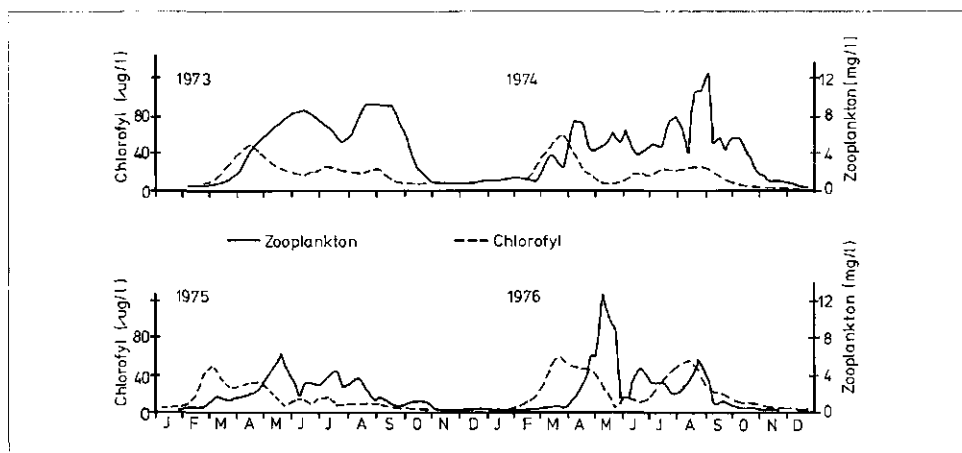
4. Maatregelen voor beheersing algengroei

In Nederland hebben twee typen maatregelen voor algengroei-beheersing in spaarbekkens ingang gevonden:

— defosfatering van inlaatwater in ondiepe bekkens, waardoor het fosfaat in het sediment wordt vastgelegd. Deze methode wordt toegepast in De Grote Rug, Waterleidingplas en de Braakman bekkens;

— lichtbeperking door verticale circulatie in diepe bekkens. Deze methode vindt toepassing in de Biesbosch bekkens (en in de toekomst in het analysebekken van de WRK).

Daarnaast bestaat ook de mogelijkheid om algiciden in het spaarbekken te doseren. Het gebruik van organische algenbestrijdingsmiddelen in bekkens t.b.v. de drinkwatervoorziening is uiteraard uit den boze, maar wellicht zou de toevoeging van CuSO₄ als uiterste en dan nog tijdelijk redmiddel kunnen worden gebruikt om bijv. een dreigende opbloei van blauwwieren te onderdrukken, waarvan vele soorten voor CuSO₄ zeer gevoelig zijn. In de Verenigde Staten wordt CuSO₄ voor dit doel op grote schaal



Afb. 3 - Chlorofylgehalte en zoöplanktonbiomassa van het bekken Grote Rug (ontleend aan Bannink en Van der Vlugt, 1978).

gebruikt. De behandeling wordt dan gewoonlijk gedurende het seizoen enige malen herhaald, omdat het koper vrij snel als basisch kopercarbonaat sedimenteert. Het waterkwaliteitsbeheer in een spaarbekken dient er echter op gericht te zijn het gebruik van een dergelijk middel te voorkomen.

4.1. Defosfatering van inlaatwater in ondiepe bekkens

Het onderwerp zal worden behandeld aan de hand van de ervaring opgedaan in het bekken De Grote Rug. Van dit bekken zijn verreweg de meeste gegevens verzameld in het kader van de samenwerking tussen Deltadienst en RID in het Project Planktonbeheersing in Bekkens [Bannink en Van der Vlugt 1978]. Het bekken wordt gevoed met Rijnwater uit het Wantij. Op grond van de fosfaatgehalten van het ingenomen water zou volgens het model van Vollenweider (1976) een (zomer)gemiddeld chlorofylgehalte van 80 à 90 µg/l kunnen worden verwacht. Aan het inlaatwater wordt sinds 1968 ijzer-II-sulfaat gedoseerd in een concentratie van 10 mg Fe²⁺/l. De resultaten van het hydrobiologisch onderzoek gedurende de jaren 1973 t/m 1976 zijn samengevat in afb. 3, waarin de algenbiomassa in µg/l chlorofyl en de zoöplanktonbiomassa in mg/l natgewicht zijn weergegeven. Het is duidelijk, dat het maximum van de chlorofylgehalten steeds in het voorjaar in de periode van begin maart tot eind april wordt gemeten. Deze voorjaarsgroei bestaat naast flagellaten voornamelijk uit diatomeeën, waarvan de ontwikkeling door kiezel wordt beperkt [Verhagen 1978].

Vervolgens vindt in april/mei een sterke ontwikkeling van het zoöplankton plaats, gewoonlijk gedomineerd door *Daphnia*'s (watervlooien), die niet alleen

de voorjaarsgroei weggraast, maar blijkbaar ook in staat is, de zomerniveaus van het chlorofyl onder 30 µg/l te houden. Hiervan is meestal een betrekkelijk gering gedeelte in de vorm van blauwwieren aanwezig. Gezien de hiervoor genoemde streefwaarden van 20 resp. 60 µg/l chlorofyl voor blauwwieren resp. andere algen behoeft het geen verwondering te wekken, dat in de navolgende zuivering althans wat de algen betreft weinig problemen worden ondervonden.

Ook de resultaten in de Braakman bekkens in Zeeuws-Vlaanderen wijzen uit, dat bij lange verblijftijden een eenvoudige dosering van Fe(II) een voldoende beperking van de algengroei teweeg kan brengen. Bassie (1978) vermeldt, dat niet alleen de chlorofylgehalten in het met ijzer-II-sulfaat behandelde bekken lager zijn dan in een onbehandeld bekken, maar ook dat in het behandelde bekken blauwwieren nauwelijks voorkomen.

Ook aan de Waterleidingplas en het Andelse Maasbekken worden ijzerzouten gedoseerd, zij het dat in de Waterleidingplas van het driewaardige ijzerzout gebruik wordt gemaakt. Ook hier zijn de ervaringen positief te noemen. Het enige geval, waarin ijzer-II-dosering geen positief resultaat opleverde, is het Berenplaat bekken. Havelaar en Rook (1978) beschrijven, dat het P-gehalte van het water in het bekken sterk verlaagd werd, maar dat toch de biomassa van vooral diatomeeën zeer groot kon worden. Blijkbaar werd fosfaatlimitering niet bereikt, hetgeen toegeschreven zou kunnen worden aan de korte verblijftijd van het water (dus grote hydraulische belasting) in het Berenplaat bekken. In zo'n geval kan werkelijke fosfaatbeperking alleen dan gerealiseerd worden, als het fosfaat uit het inlaatwater door middel van voorzuivering wordt verwijderd.

4.2. Lichtbeperking door verticale circulatie in diepe bekkens

De P-belasting van de Biesbosch bekkens bedraagt $30 - 50 \text{ g m}^{-2} \text{ j}^{-1}$ en is daarmee ca. 100 x hoger dan de toenmaals bekende criteria volgens Vollenweider (1968) voor de maximaal toelaatbare belasting. Hoewel uit de recentere Vollenweider-modellen (1976) valt af te leiden, dat wellicht een P-belasting van $1 - 2 \text{ gm}^{-2} \text{ j}^{-1}$ voor de Biesbosch bekkens toelaatbaar zou zijn, lijkt de in de ontwerpfase getrokken conclusie nog steeds gerechtvaardigd, dat een eenvoudige dosering van ijzer(II)sulfaat (zoals in De Grote Rug) niet afdoende zou zijn voor beheersing van de algengroei [Oskam 1974].

Inmiddels was uit de literatuur bekend, dat kunstmatige destratificatie van stuwmeren en reservoirs kon resulteren in een vermindering van de algencentralisaties [Robinson c.s. 1969]. Dit effect werd bevestigd door de ervaring met enkele van de diepere Londense reservoirs, die continu worden gemengd d.m.v. 'jet-type' inlaatpompen [Steel 1973]. Als de mengdiepte voldoende groot is (in relatie met de optische eigenschappen van het bekkenwater), dan kan i.p.v. het nutriënten aanbod het licht tot beperkende factor worden voor de algentontwikkeling.

Met behulp van een eenvoudig fotosynthesemodel kan aangetoond worden, dat niet alleen de maximaal mogelijke algenbiomassa, maar ook de algengroei-snelheid sterk afneemt met toenemende mengdiepte [Oskam 1973, 1978]. Voorwaarde voor effectieve algenbeheersing volgens dit principe is dan wel dat de algen homogeen over de gehele waterkolom worden verdeeld door verticale circulatie en dat de mengdiepte toch wel minimaal 15 m bedraagt. Ook wat dit betreft blijkt het luchtinjectiesysteem op de bodem van de Biesbosch bekkens zeer effectief te zijn.

Zes jaar ervaring (1973 - 1979) met de twee bekkens Honderd en Dertig en Petrusplaat heeft de verwachting niet beschaamd. Afb. 4 laat het verloop van de chlorofylgehalten zien van de rivier en de spaarbekkens in 1974. Het is duidelijk, dat de algenbiomassa in de reservoirs veel lager was (gemiddeld een factor 5) dan in het rivierwater. Opvallend waren de lage chlorofylniveaus in de zomermaanden. Dit patroon van een lichtgelimiteerde voorjaarsgroei, gevolgd door een verhoudingsgewijs geringe algentontwikkeling in de rest van het jaar, heeft zich elk jaar op min of meer identieke wijze herhaald. Uit kwantitatieve tellingen bleek, dat grazen door zoöplankton

de oorzaak is van de lage algenniveaus in de zomer. De zoöplanktonpopulatie bestaat voornamelijk uit watervlooien:

Daphnia longispina, *Daphnia magna* en *Bosmina longirostris*.

Afb. 5 toont het verloop van de algen- en zoöplanktonontwikkeling in de Petrusplaat gedurende 1976. De voorjaars-groei van de algen duurde langer en bereikte met een chlorofylgehalte van $57 \mu\text{g/l}$ een hoger niveau dan in 1974 en 1975. Dit was een gevolg van het feit, dat het water in de bekkens lang koud bleef, waardoor de zoöplanktonontwikkeling enkele weken werd vertraagd. De ervaring heeft geleerd, dat de watertemperatuur de 10°C moet overschrijden, wil een snelle groei van de watervlooien mogelijk zijn. Ondanks het zonnige, hete weer vond in de rest van het seizoen geen algentontwikkeling van betekenis meer plaats. Kennelijk zorgt de verticale circulatie ervoor, dat de algengroei-snelheid zo laag wordt, dat het zoöplankton de algen 'bij kan houden'.

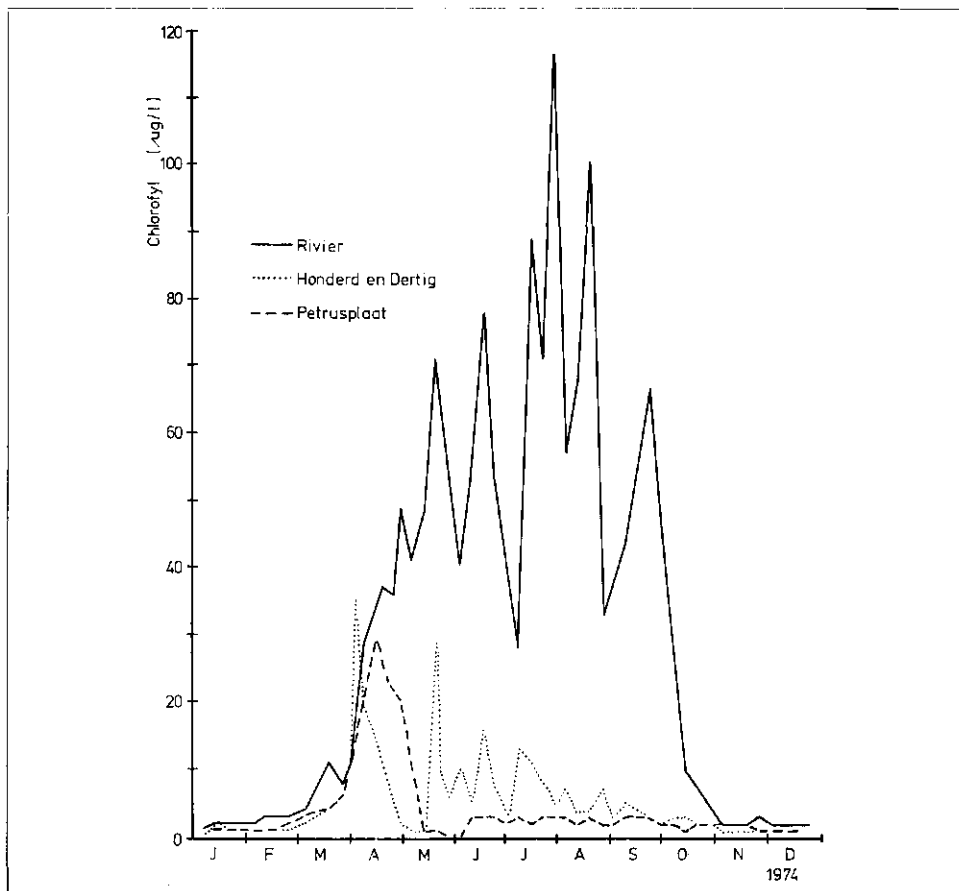
4.3. Evaluatie van de maatregelen voor algenbeheersing

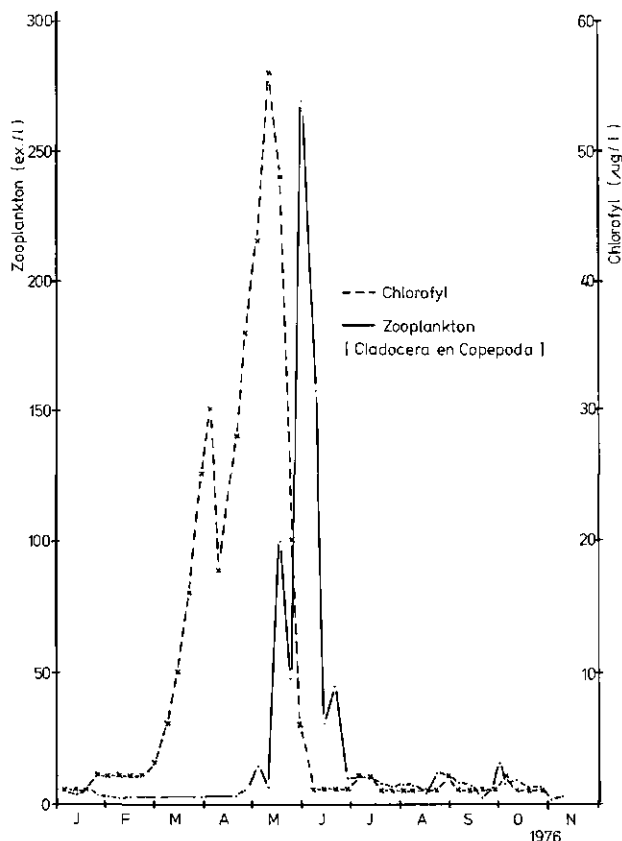
De OECD heeft in de jaren 1973 - 1976

in de lidstaten een onderzoekprogramma georganiseerd op het gebied van de eutrofiëring. Primair doel was het verzamelen van gegevens van een grote verscheidenheid van meren en reservoirs, om meer inzicht te verkrijgen in de relaties tussen de nutriëntenbelasting c.q. — concentratie en de algentontwikkeling c.q. trofietoestand. De gegevens van 5 Nederlandse spaarbekkens zijn ingebracht in het regionale project 'Shallow Lakes and Reservoirs', waarin Duitsland, Engeland, Nederland, België, Spanje, Japan en Australië waren vertegenwoordigd met in totaal 43 over het algemeen vrij ondiepe meren en reservoirs (gem. diepte 9 m). De gegevens waren afkomstig van de Braakman bekkens 2 en 3, De Grote Rug en de Biesbosch bekkens Honderd en Dertig en Petrusplaat.

Eén van de resultaten van dit onderzoek, nl. de relatie tussen de jaargemiddelde gehalten aan chlorofyl en totaal fosfor, is weergegeven in afb. 6, te zamen met de over de onderzoeksperiode gemiddelde chlorofylgehalten van de 5 spaarbekkens. De Braakman bekkens zijn onderling vergelijkbaar in die zin, dat aan bekken 2 niet en aan bekken 3 wel ijzer(II)sulfaat werd gedoseerd. Dit resulteerde in een

Afb. 4 - Chlorofylgehalte van rivier en bekkens in 1974.





Afb. 5 - Chlorofylgehalte en zoöplankton (exemplaren per liter) in het bekken Petrusplaat in 1976.

frappante verlaging in het fosfaatgehalte, terwijl het chlorofylgehalte in het behandelde bekken een factor 4 lager was dan in het onbehandelde bekken.

Voor De Grote Rug ontbreekt een dergelijk vergelijkingsbekken, maar de pijl geeft aan op welk niveau de totaal fosforconcentratie ongeveer gelegen zou hebben zonder toevoeging van ijzer(II)sulfaat. Evenals Bannink en Van der Vlugt (1978) reeds deden op basis van de Vollenweider modellen, kan ook op grond van dit OECD-onderzoek worden geconcludeerd dat de algenniveaus door de ijzer(II)dosering met een factor 4 worden verlaagd.

De chlorofylgehalten in de Biesbosch bekkens zijn veel lager dan op grond van hun fosfaathuishouding kan worden verwacht. Voor het vaststellen van de statistische relatie zijn de Biesbosch gegevens dan ook niet gebruikt! Dat nederdaad het mechanisme van lichtbeperking werkzaam is (in combinatie met de graasdruk van de watervlooiën) wordt ook aangetoond door het feit, dat in een bekken als de Honderd en Dertig nog geen 10 % van het beschikbare orthofosfaat wordt verbruikt.

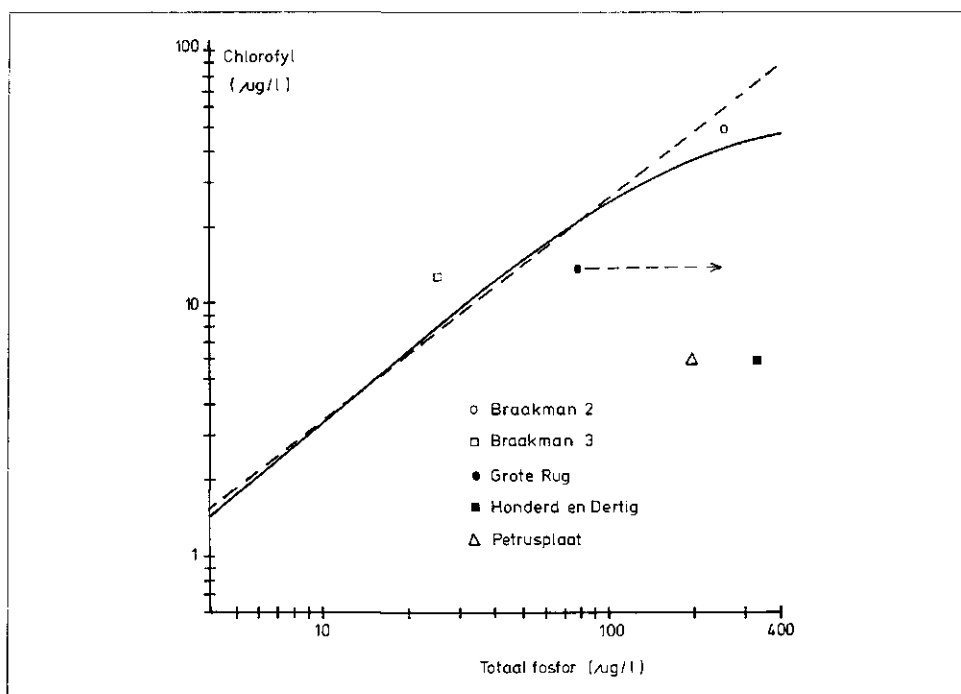
Samenvattend kan worden gesteld, dat zowel voor ondiepe bekkens (met langere verblijftijd) als voor diepe bekkens

methoden beschikbaar zijn om de algenontwikkeling tot aanvaardbare proporties terug te dringen.

Afb. 6 - Relatie tussen totaal fosfor- en chlorofylgehalten (ontleend aan OECD-Report: Shallow Lakes and Reservoirs).

Lijn A: $[Chl] = 50 (1 - e^{-0,007[TP]})$

Lijn B: $[Chl] = 0,43 [TP]^{0,88}$



5. Zelfreinigingsprocessen

Het geheel van de processen, die er toe leiden, dat het verontreinigingsniveau van verontreinigd oppervlaktewater weer afneemt, wordt gewoonlijk met 'zelfreiniging' aangeduid. Met name de term 'zelfreinigend vermogen' van oppervlaktewater is in het verleden echter veel misbruikt om de ongezuiverde lozing van industrieel en huishoudelijk afvalwater te rechtvaardigen, vaak leidend tot een ontoelaatbaar hoog verontreinigingsniveau. Inmiddels staan in het waterkwaliteitsbeheer van het oppervlaktewater in Nederland de algemene ecologische functie van het water en zijn verschillende gebruiksdoeleinden centraal [IMP 1975 - 1979]. De verleiding is daarom groot de term zelfreiniging weer te gaan gebruiken voor de kwaliteitsverbetering, die op kan treden als verontreinigd rivierwater gedurende enige tijd in spaarbekkens wordt opgeslagen en daarmee afgezonderd van verontreinigingsbronnen.

Bij het gebruik hiervan moet evenwel bedacht worden, dat ook in dit geval de benaming misleidend is, omdat uit het voorgaande wel gebleken is, dat de spaarbekkenbeheerder actief moet ingrijpen, wil er van de mogelijke kwaliteitsverbetering iets terecht komen. Tabel I geeft een overzicht van de biologische, fysische en chemische processen, die kunnen bijdragen aan de kwaliteitsverbetering van het water in spaarbekkens.

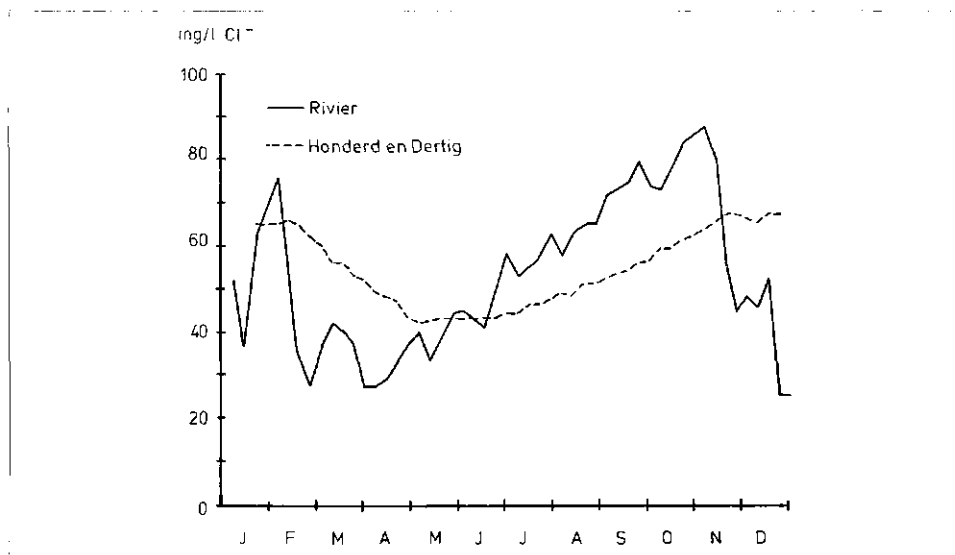
TABEL I - Zelfreinigingsprocessen in spaarbekkens.

Biologische processen	Aerobe mineralisatie van afbreekbare organische verbindingen. Nitrificatie van NH_4^+ tot NO_3^- . Afsterving van (pathogene) bacteriën en virussen.
Fysische processen	Gasuitwisseling met de atmosfeer: O_2 en CO_2 . Egalisatie van de waterkwaliteit door menging. Bezinking van zwevende stof en geadsorbeerd materiaal: olie, zware metalen. Verdamping van vluchtige organische verbindingen.
Chemische processen	Oxydatie van Fe^{2+} , Mn^{2+} en H_2S . Hydrolyse van polyfosfaten en organische esters. Fotolyse van humussubstanties en pesticiden.

Van oudsher is aan de bacteriële afbraak van organische stoffen, gekoppeld aan het fysische proces van de zuurstofabsorptie uit de atmosfeer (reëratie), de meeste aandacht geschonken. In de zestiger jaren, toen nog voornamelijk ongezuiverd afvalwater in Rijn en Maas werd geloosd, speelde dit in de Nederlandse bekkens nog een belangrijke rol. Zo gebruikten Oskam en Rook (1970) de bacteriële groeicurve om de grote smaakverbetering te beschrijven, die werd waargenomen bij de opslag van Rivierwater in het Berenplaat spaarbekken. Sindsdien zijn er zoveel zuiveringsinstallaties gebouwd, dat het aspect van de biologische afbreekbare organische stoffen minder op de voorgrond treedt.

Dat is niet het geval met het ammonium. Bij de oppervlaktewaterzuivering was het gebruikelijk het ammonium via breekpuntchloring te verwijderen. Sinds de ontdekking van Rook (1974), dat hierbij ongewenste trihalomethanen ontstaan, is het streven er op gericht het gebruik van chloor zoveel mogelijk te beperken. Dit leidt tot de eis dat het water na de opslagperiode zo weinig ammonium moet bevatten, dat dit zelfs bij de lage watertemperatuur in de winter (1 - 4 °C) biologisch kan worden verwijderd via nitrificatie. Dit heeft er toe geleid, dat bijv. bij het innemen van rivierwater in de Biesbosch bekkens het ammoniumgehalte als inlaatcriterium wordt gehanteerd, gericht op het afleveren van water met een maximaal gehalte van 0,2 mg/l ammonium in de winter.

Wat de verwijdering van virussen betreft, zijn geen gegevens bekend van Nederlandse spaarbekkens. Wel is vrij recent [Slade 1977] gepubliceerd, dat de opslag van Thames water in de Londense spaarbekkens een opvallende reductie te



Afb. 7 - Chloridegehalte van rivier en bekken Honderd en Dertig.

zien gaf in de concentratie van polio- en enterovirussen bij watertemperaturen van 5 - 7 °C en een opslagperiode van 2 tot 10 weken. Hogere temperaturen gaven een veel snellere afsterving, zodat in de zomermaanden in het geheel geen virussen in reservoirwater konden worden aangetoond.

Wat de fysische processen betreft, wordt in een mengbekken uiteraard een grote afvlakking van de anorganisch-chemische kwaliteit bewerkstelligd. Dit wordt geïllustreerd in afb. 7, waar in het verloop van het chloridegehalte in 1979 is weergegeven van de inlaat en de uitlaat van het bekken Honderd en Dertig. Door Hofker (1970) is de theorie van de menging in een open berging uitvoerig beschreven. Door de verschuiving in het karakter van de verontreiniging van het rivierwater in de richting van persistente anorganische, maar vooral ook organische microverontreinigingen krijgen de fysische en chemische verwijderingsprocessen een grotere betekenis. Door de bezinking van het grootste deel van het gesuspendeerd materiaal, dat zich in rivierwater bevindt — vaak aangeduid met 'zwevende stof' of 'slib' — treedt tevens een zeer effectieve verwijdering op van de hiermee geassocieerde zware metalen. Uit de ervaring tot nog toe, valt niet af te leiden dat deze accumulatie in het sediment van bekkens aanleiding geeft tot (tijdelijke) remobilisering. Een goede zuurstofvoorziening van de bodem lijkt overigens een voorwaarde te zijn om remobilisering te voorkomen. Ook allerlei organische stoffen, zoals 'olie', die in wezen niet in de waterfase thuis horen, worden via dit mechanisme verwijderd. Het oliegehalte van het sediment doet vermoeden,

dat vervolgens althans een deel biologisch wordt afgebroken.

Over de verwijdering van vluchtige organische verontreinigingen door verdamping zijn nauwelijks gegevens bekend. Verwacht kan echter worden, dat dit verwijderingsmechanisme een belangrijke rol kan spelen, zeker bij langere verblijftijden. Een aanwijzing hiervoor is te ontlenen aan het gedrag van trihalomethanen in het Berenplaat spaarbekken. In de periode 1973 - 1976 werd het water uit de Biesbosch bekkens t.b.v. het transport gechloord met een dosis van ca. 5 mg/l. Dit resulteerde in de vorming van vrij grote hoeveelheden chloroform (maxima in de orde van 50 - 100 µg/l). Volgens gegevens van Rook werd tijdens de passage van het water door het Berenplaat bekken (1 maand verblijftijd) tot 90 % weer verwijderd. Inmiddels is de chloordosis t.b.v. het transport teruggebracht tot maximaal 1 mg/l (alleen in de zomer), waardoor het gehalte aan trihalomethanen van het afgeleverde Biesboschwater tot ca. 5 µg/l is gereduceerd.

Wat de chemische processen betreft, zijn er in de recente literatuur aanwijzingen te vinden, dat zowel hydrolyse- als fotolyse- reacties in belangrijke mate kunnen bijdragen aan de afbraak van organische stoffen in het algemeen en pesticiden in het bijzonder. Wolfe c.s. (1977) berichten dat malathion onder basische omstandigheden hydrolyseert, terwijl in aanwezigheid van humussubstanties eveneens foto-oxydatie optrad. Het reeds lang bekende ervaringsfeit, dat humus zelf ook onder invloed van licht wordt afgebroken, werd door experimenten bevestigd [Zepp c.s. 1977]. De aanwezigheid van zwevende stof heeft, zoals te verwachten was, een remmende invloed

door zijn lichtafschermende werking [Oliver c.s. 1979]. In hoeverre dit soort chemische processen werkelijk van belang zijn onder de praktijkomstandigheden van Nederlandse spaarbekken is een open vraag.

6. Kwaliteitsverbetering in de praktijk

In de zestiger jaren werd een verhoudingsgewijs beperkt onderzoek gedaan. Gegevens over zware metalen en organische micro-verontreinigingen zijn niet voorhanden. Toch is het illustratief om uit die periode gegevens te presenteren, omdat de organische belasting van het oppervlaktewater toen hoger was dan nu. De gegevens dateren van 1967 en zijn afkomstig van de Berenplaat, gevoed met Rijnwater en een verblijftijd van ongeveer één maand en de Waterleidingplas, gevoed met polderwater en een verblijftijd van ongeveer 3 maanden.

Ondanks de zo verschillende herkomst, waren er veel punten van overeenkomst tussen het Rijnwater en het water uit de Bethunepolder. Het verschil zit vooral in het gehalte aan humussubstanties, dat voor het polderwater veel hoger was. Hoewel geen gegevens bekend zijn, mag aangenomen worden dat het gehalte aan reuk- en smaakstoffen klein zal zijn geweest t.o.v. het Rijnwater. Wat de effecten van de verblijftijd betreft, valt de verhoudingsgewijze grote reductie in kleur van het polderwater op. Dat er geen sprake was van echte verwijdering van organische stof, blijkt uit het KMnO_4 -verbruik, dat met slechts 10 % daalde; dit was vergelijkbaar met de Berenplaat. Zoals reeds eerder opgemerkt, was de frappante smaakverbetering uit oogpunt van drinkwaterkwaliteit wellicht het belangrijkste effect van de opslag in het Berenplaat bekken. In de jaren na 1968 daalde het smaakgetal van het Rijnwater aanzienlijk o.a. door de bouw van zuiveringsinstallaties. Daar het resterende pakket reuk- en smaakstoffen een meer persistent karakter had, nam de smaakverbetering in de Berenplaat daardoor af. tenslotte zij opgemerkt, dat de langere

TABEL III - Overzicht van de waterkwaliteit in Maas en Biesbosch bekkens.

1978		Maas	Honderd en Dertig	Petrusplaat	IAWR A-norm	
Zichtdiepte	m	0,8	3,2	3,2	—	
Zuurstofverzadiging	%	88	97	100	80	+
El. geleidingsvermogen	mS/m	52	49	48	70	+
Kleur	mg Pt/l	15	12	10	5	—
Smaak		3	2—3	1—2	5	+
Cl^-	mg/l	53	51	51	100	+
SO_4^{2-}		60	60	59	100	+
NO_3^-		17	17	16	25	+
NH_4^+		1,1	0,3	0,2	0,2	±
Fe		0,7	0,1	0,02	1	+
Mn		0,11	0,03	0,01	0,05	+
F ⁻		0,4	0,4	0,35	1	+
CN^-	$\mu\text{g/l}$	< 10	< 10	< 10	10	+
As		6,5	4,5	4,5	10	+
Pb		11	2	1	30	+
Cr		3	1	1	30	+
Cd		1,0	< 0,5	< 0,5	5	+
Hg		0,2	< 0,1	< 0,1	0,5	+
Cu		4	2	2	30	+
Zn		116	33	16	500	+
DOC	mg/l	4,1	4,0	4,0	4	±
COD		11	10	9	10	±
Olie	$\mu\text{g/l}$	100	20	20	50	+
Detergenten		70	40	40	100	+
PCA		0,5	n.a.	n.a.	0,2	+
Fenolen		2,5	1,5	1,0	5	+
Arom. aminen		< 1	n.a.	n.a.	5	+
Organochloorpest totaal		0,03	0,02	0,02	5	+
individueel		0,01	0,01	0,01	3	+
Cholinesteraseremmers *		0,4	0,2	< 0,2	30	+
Chlorofyl		19	6	7	—	
MPN E coli per 100 ml		18.000	170	38	—	

* methode RIV

verblijftijd in de Waterleidingplas tot gevolg had, dat de nitrificatie van het ammonium verder was voortgeschreden. Op de pH en de O_2 -verzadiging en de verwijdering van ijzer en mangaan had de langere verblijftijd echter nauwelijks effect.

Tabel III geeft een overzicht van de jaargemiddelde kwaliteit in 1978 van het water van de Maas en 2 in serie geschaalde Biesbosch bekkens. De groepsindeling van de kwaliteitsparameters komt overeen met die van het Memorandum van de Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR). Tevens is de zgn. IAWR A-norm opgenomen, d.w.z. de waterkwaliteit

waaruit d.m.v. alleen 'natuurlijke' methoden betrouwbaar drinkwater kan worden bereid.

Uit de tabel blijkt, dat voor 4 parameters overschrijding van de IAWR A-norm optrad. Dit gold in de eerste plaats voor de kleur en in mindere mate voor 2 andere organische somparameters DOC (dissolved organic carbon) en COD (chemical oxygen demand) en het ammoniumgehalte. Hoewel de toch al niet hoge kleur van het Maaswater tijdens de opslagperiode nog met 1/3 afnam, werd de IAWR-norm permanent overschreden. Hierbij kan worden opgemerkt, dat de grenswaarde van 5 mg Pt/l niet in overeenstemming is met de normen voor DOC en COD. Het is onwaarschijnlijk, dat een 'natuurlijk' water met een DOC van 4 mg/l een kleur van 5 mg Pt/l zou hebben.

Voor DOC en COD van het Biesboschwater gold, dat de maximale niveaus 10 à 20 % boven de IAWR-grenswaarden lagen. Uit de DOC-waarden blijkt, dat het totaal gehalte aan organische stoffen niet afneemt. Er vindt echter wel een verschuiving naar zuurstofrijkere verbindingen plaats getuige het geringere zuurstofverbruik in de COD. Vermeldens-

TABEL II - Kwaliteitsverbetering in Berenplaat spaarbekken en Waterleidingplas.

1967		Berenplaat		Waterleidingplas	
		Rijnwater	spaarbekken	polderwater	spaarbekken
Smaakgetal		110	20	—	—
Kleur	mg Pt/l	26	24	53	25
KMnO_4 -vebr.	mg/l	24	21	30	27
NH_4^+	mg/l	1,3	0,6	1,4	0,3
pH		7,55	8,25	7,5	8,3
O_2	verz. %	55	102	54	100
Fe	mg/l	3,6	0,24	2,2	0,14
Mn	mg/l	0,22	0,09	0,21	0,06
Zwevende stof	mg/l	118	10	—	—

waard is nog, dat in de jaren 1974 - 1978 de DOC van het Maaswater gedaald is van ca. 6 tot ca. 4 mg/l. In de jaren 1974 - 1975 werd tijdens de verblijftijd in de bekkens nog wel ca. 10 % verlaging in de DOC vastgesteld. De sanering heeft er kennelijk toe geleid, dat het gehalte aan afbreekbare organische stoffen in het Maaswater t.p.v. de inlaat van de Biesbosch bekkens zeer klein is geworden. Dit wordt bevestigd door de hoge zuurstofverzadiging van de Maas: 88 %. Ook voor het ammoniumgehalte vond in winter en voorjaar van 1978 nog overschrijding plaats van de IAWR-grenswaarde. Het maximum bedroeg 0,5 mg/l. In het najaar van 1979 is het derde bekken De Gijster operationeel geworden. Dit biedt de mogelijkheid het innamebeleid in de winter zodanig in te richten, dat het ammoniumgehalte van het afgeleverde water de norm van 0,2 mg/l niet overschrijdt.

Uit de tabel blijkt, dat het niveau van de zware metalen in de bekkens afneemt tot uiterst lage waarden. Dit hangt uiteraard samen met de effectieve bezinking van het gesuspenderde materiaal in het rivierwater, eveneens tot uiting komend in de toename van de zichtdiepte van 0,8 m tot 3,2 m. Voor het arseen is echter slechts sprake van een verhoudingsgewijs geringe verwijdering. Uit onderzoek van ongefiltreerde en gefiltreerde monsters rivierwater blijkt, dat arseen slechts in geringe mate gebonden is aan de zwevende stof in de rivier, zodat in dit geval de sedimentatie weinig effect sorteert. Ook voor de verschillende groepen organische verbindingen wordt een afname geconstateerd. Voor olie, polycyclische aromaten (PCA's) en aromatische aminen kan verondersteld worden, dat adsorptie (gevolgd door eventuele afbraak) aan de sedimentfractie een rol kan hebben gespeeld. Voor de detergenten en de fenolen is verwijdering via biologische oxydatie het meest waarschijnlijk. De gehalten aan pesticiden in het Maaswater zijn reeds zo laag, dat eventuele afname

TABEL IV - Organische micro-verontreinigingen in Maas en Biesbosch spaarbekkens.

Organische micro-verontreinigingen	Maas		Honderd en Dertig		Petrusplaat	
	Aantal	Conc.	Aantal	Conc.	Aantal	Conc.
Zuren	7	3,6	10	5,1	10	3,5
Sterolen	3	5,3	1	0,6	1	0,6
Fenolen	12	4,8	5	1,0	4	0,8
Aldehyden en ketonen	3	0,2	2	<0,1	1	<0,1
Ethers	2	1,2	2	0,3	2	0,3
Esters	12	3,3	8	1,9	9	1,4
Basen	8	—	2	0,2	2	0,2
Aromaten	54	6,6	4	1,2	2	0,5
Overige	3	1,1	1	1,0	1	1,0
Totaal	96		35		32	

in de spaarbekkens nauwelijks relevant meer is.

Naast dit routinematige onderzoek, werd in 1978 door het KIWA gaschromatografisch-massaspectrometrisch onderzoek verricht naar het voorkomen van individuele organische micro-verontreinigingen. De resultaten van deze eerste oriëntatie zijn samengevat in tabel IV.

De individuele stoffen zijn volgens de KIWA-groepsindeling gerangschikt en de concentraties per groep gesommeerd. Het meest frappant is de grote reductie in aromaten, zowel in aantal als in concentratie. Daar eventuele gezondheidsschadelijke effecten vooral in deze groep verbindingen moeten worden gezocht, is deze vermindering van groot belang. De kwantitatief belangrijke groepen der sterolen en fenolen worden eveneens goed verwijderd (80 à 90 %). Dit geldt veel minder voor de groep der esters, vnl. ftalaten en fosfaten, die als weekmakers in de plastic industrie worden gebruikt. Tenslotte wordt voor de zuren (vnl. palmitine- en stearinezuur) in het geheel geen afname geregistreerd. Op zich is dit niet verwonderlijk, want deze verbindingen zijn normale tussenprodukten in de stofwisseling van vele soorten organismen. Voor het verwerven van meer inzicht, zal dit onderzoek in volgende jaren worden voortgezet, met een frequentie van 2 x per jaar.

Uit de tabellen III en IV is af te leiden, dat weliswaar in de Petrusplaat nog enige kwaliteitsverbetering optreedt, maar dat dit van ondergeschikt belang is t.o.v. die in de Honderd en Dertig. Dit valt ook te begrijpen, daar de fysische en chemische verwijderingsprocessen over het algemeen een concentratieafhankelijk verloop zullen hebben. Bij de hoogste concentraties — zoals die worden ingelaten — wordt dan het meeste effect gesorteerd.

Op grond van deze ervaringen kan de conclusie worden getrokken, dat in een bekken met een verblijftijd van 1 à 2

TABEL V - Overzicht van ruimtebeslag en kosten van een open berging.

Bekken-inhoud (10 ⁶ m ³)	Stichtingskosten (10 ⁶ gulden)	Kos-ten (ct/m ³)	Ruimtebeslag (ha)	
			bij diepte 5 m	bij diepte 15 m
10	40	4	200	67
20	60	6	400	133

maanden het leeuwendeel van de 'zelfreiniging' zich reeds heeft voltrokken.

7. Slotbeschouwing

In het rapport van de Commissie Voorraadvorming en Zuivering van Oppervlaktewater wordt aandacht besteed aan de bedrijfszekerheid, het ruimtebeslag en de kosten van verschillende combinaties van voorraadvorming en zuiveringstechnieken. Wat de veiligheid en betrouwbaarheid betreft, wordt de volgende conclusie getrokken: 'De bedrijfszekerheid van de combinaties ingeval van storingen of ongelukken in de grondstof, tijdens voorraadvorming, zuivering en transport is in het algemeen genomen groot en vertoont voor de verschillende combinaties slechts weinig verschil'. De grote toegankelijkheid van een open berging heeft twee aspecten. Enerzijds bestaan er nauwelijks middelen om accidentele dan wel moedwillige verontreiniging van het bekkenwater te voorkomen (uiteraard afgezien van het inlaatwater), maar anderzijds bestaat altijd de mogelijkheid bij eventuele besmetting door snelle doorspoeling binnen korte tijd het bekken weer operationeel te maken.

Wat het ruimtebeslag en de kosten betreft, geeft tabel V een overzicht voor een bekken met een nuttige bekkeninhoud van 1 resp. 2 maanden bij een jaarproductie van 100 miljoen m³. De hier op basis van prijspeil 1 januari 1979 berekende kosten van 4 à 6 ct./m³ heben dezelfde grootteorde als de zuiveringsstappen coagulatie + snelfiltratie resp. actieve koolfiltratie [zie rapport Commissie Voorraadvorming en Zuivering van Oppervlaktewater, p. 140]. Een grotere voorraad dan 1 à 2 maanden draagt weinig bij aan grotere veiligheid of verdere kwaliteitsverbetering en is dus uit kostenoogpunt ook niet aantrekkelijk. Dit geldt te meer voor het ruimtebeslag. Uit dit oogpunt zijn diepe bekkens verre te prefereren boven ondiepe bekkens. Daar limnologische motieven hier eveneens voor pleiten (eenvoudige en zeer goedkope beheersing van de algengroei), lijkt het in elk geval gewenst, eventueel nog aan te leggen bekkens de uit stabiliteits-

overwegingen voortvloeiende maximale diepte te geven.

Hoewel in grote delen van ons waterrijke land daar meestal weinig aanleiding toe bestaat, wordt vaak de vraag gesteld of de functies van spaarbekken en recreatiewater verenigbaar zijn. A priori behoeven bepaalde vormen van recreatief gebruik van spaarbekkenwater niet afgewezen te worden, maar alleen dan als in droge gebieden (Oosten en Zuiden van het land) alternatieve mogelijkheden voor waterrecreatie schaars zijn. Tevens zal, afhankelijk van de functie van het bekken, een min of meer strakke reglementering door de spaarbekkenbeheerder nodig zijn.

Literatuur

- Rook, J. J. and Oskam, G. (1970): *Biological and Chemical Aspects of Rhine Water in the Berenplaat Reservoir*, Jour. AWWA, 62, 249.
- Rapport Commissie Limnologie van Spaarbekken, KIWA/RID rapport 1971.
- Knoppert, P. L. (1978): *Das Speicherbeckenprojekt Brabantse Biesbosch*, in 'Verminderung der Algenentwicklung in Speicherbecken und Talsperren', DVGW-Schriftenreihe, Heft 16, 68.
- Goossens, L. (1979): *Reservoir Destratification with Bubble Columns*, Dissertatie TH Delft, Delft University Press.
- Oskam, G. (1974): *Enkele Limnologische Aspecten van de Biesbosch Bekkens*, H₂O, 7, 363.
- Weil, L. (1972): *Analytische Erfassung organischer Algenstoffwechselprodukte*, in 'Eutrophierung und Talsperren', Gewässerschutz - Wasser - Abwasser, Heft 8, 157.
- Flugt, J. C. van der c.s. (1973): *Plankton en Reukstoffen in het Spaarbekken 'De Grote Rug' in 1971*, H₂O, 6, 439.
- Kappers, F. I. (1973): *Giffige Blauwwieren en Drinkwatervoorziening*, H₂O, 6, 396.
- Evins, C. and Greaves, G. F. (1979): *Penetration of Water Treatment Works by Animals*, Water Research Centre Technical Report TR 115.
- Begeleidingscommissie Plantonbeheersing in Bekkens: *Beheersing Fytoplankton in Spaarbekken*, Advies aan RID t.b.v. Structuurschema Drink- en Industriewatervoorziening.
- Bannink, B. A. en Flugt, J. C. van der: *Erfahrungen mit dem Zusatz von Fällmitteln im Grote Rug Speicherbecken und vergleichende Untersuchungen in 3 Modell-Reservoiren nach Lund*, in 'Verminderung der Algenentwicklung in Speicherbecken und Talsperren', DVGW-Schriftenreihe, Heft 16, 216.
- Vollenweider, R. A. (1976): *Advances in Defining Critical Loading Levels for Phosphorus in Lake Eutrophication*, Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 33, 53.
- Bassie, W. (1978): *Beschränkung der Algenentwicklung in den Speicherbecken des Braakman durch Fälln der Phosphate*, in 'Verminderung der Algenentwicklung in Speicherbecken und Talsperren', DVGW-Schriftenreihe, Heft 16, 202.
- Vollenweider, R. A. (1968): *Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters*, OECD Report, DAS/CSIJ 68.27.
- Robinson, E. L. c.s. (1969): *Influence of*

Artificial Destratification on Plankton Populations in Impoundments, Trans. Kent. Acad. Sci., 30, 1.

16. Steel, J. A. (1973): *Reservoir Algal Productivity*, Univ. Newcastle — upon — Tyne Symposium: *The Use of Mathematical Models in Water Pollution Control*.

17. Oskam, G. (1973): *'A kinetic Model of Phytoplankton Growth and its Use in Algal Control by Reservoir Mixing'* in 'Symposium on Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects', Geophys. Monograph Series, 17, 629.

18. Oskam, G. (1978): *Light and Zooplankton as Algae Regulating Factors in Eutrophic Biesbosch Reservoirs*, Verh. Internat. Verein. Limnol., 20, 1612.

19. Clasen, J. (1979): *Final Report Project Shallow Lakes and Reservoirs*, OECD Cooperative Programme for Inland Waters (Eutrophication Control), in druk.

20. Indicatief Meerjarenprogramma 1975-1979: *De bestrijding van de Verontreiniging van het Oppervlaktewater*, Staatsuitgeverij 1975.

21. Oskam, G. en Rook, J. J. (1970): *Nogmaals: Reuk en Smaak van Rivierwater i.v.m. Voorraadvorming*, H₂O, 3, 216.

22. Rook, J. J. (1974): *Formation of Haloforms during Chlorination of Natural Water*, Journ. Water Treatm. Exam., 23, 234.

23. Slade, J. S. (1977): *Enteroviruses in Partially Purified Water*, Jour. Inst. Water Engrs. Scientists, 31, 219.

24. Hofker, Tj. (1970): *Open Buffering*, H₂O, 3, 310.

25. Wolfe, N. L. c.s. (1977): *Kinetics of Chemical Degradation of Malathion in Water*, Environm. Sci. Technol., 11, 88.

26. Zepp, R. G. c.s. (1977): *Singlet Oxygen in Natural Waters*, Nature, 267, 421.

27. Oliver, B. G. c.s. (1979): *Effect of Suspended Sediments on the Photolysis of Organics in Water*, Environm. Sci. Technol., 13, 1075.

28. Memorandum der IAWR: *Rheinwasserverschmutzung und Trinkwassergewinnung*.

29. Rapport Commissie Voorraadvorming en Zuivering van Oppervlaktewater, RID/KIWA rapport 1978.



● *Vervolg van pagina 178*

Ontdek de duinen



creatief tegemoet worden getreden; aldus de Noordhollandse Commissaris.

Kreeg de heer De Wit het eerste exemplaar van het boek, de heer Steltman bood het tweede exemplaar aan PWN-directeur C. Sprey aan. Als directeur die moet waken over drinkwatervoorziening en duinbeheer dacht de heer Steltman dat het boek hem in voorkomende dilemma's goed van pas kon komen.

Het 290 pagina's tellende, vrijwel geheel in kleur uitgevoerde boek kost in de boekhandel f 75,—. Het werd geschreven door de volgende auteurs:

Dr. M. J. Adriani, reeds jarenlang pleitbezorger voor natuurlijk Nederland en actievoerder van het eerste uur toen het ging om het voortbestaan van Voorne's natuur, vanuit het biologisch station Weeversduin, dat op Oostvoorne is gehuisvest.

Drs. G. Gonggrijp, medewerker van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer in Leersum beschrijft het oude duinland, hoe het ontstond en zich telkens weer vervormde tot wat het nu is.

De heer J. A. Nijkamp, oud-directeur van de gemeentelijke dienst voor School- en Kindertuinen in Den Haag, tekende voor het wel en wee van het duingebied vandaag de dag.

Drs. J. F. van Regteren Altena, beschreef de voetsporen van de mens in het duinland en vertelt over de bewoningsgeschiedenis en de strijd op leven en dood van onze voorvaders. Hij is als medewerker verbonden aan het Rijksinstituut voor Oudheidkundig Bodemonderzoek (ROB) te Amersfoort.

De illustraties zijn van Rein Chiel en Taco Westra.