

## Open buffering

Met uitzondering van Rotterdam kon tot de tweede wereldoorlog door alle drinkwaterbedrijven worden geput uit de grondwatervoorraad.

De gezamenlijke produktie van de bedrijven bedroeg kort na de wereldoorlog circa 300 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

In de achter ons liggende periode van circa 30 jaar is deze hoeveelheid meer dan verdubbeld en bedroeg in 1965 circa 650 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

Samen met het door de industrie opgepompte water werd de totale hoeveelheid opgepompt water geschat op circa 1500 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Deze hoeveelheid komt overeen met de in Nederland winbare hoeveelheid grondwater. Door de Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening [1\*] is een raming gemaakt van het toekomstige waterverbruik in Nederland. De raming sluit op een hoeveelheid van circa 4 miljard m<sup>3</sup>/jaar in het jaar 2000. Dit houdt in, dat in dat jaar een hoeveelheid van circa 2,5 miljard m<sup>3</sup> moet worden onttrokken aan het oppervlaktewater.

Deze hoeveelheid is in Nederland ruimschoots voorhanden. Rijn en Maas voeren jaarlijks gemiddeld circa 80 miljard m<sup>3</sup> door ons land.

Een direkte verwerking van dit rivierwater is echter, met name in droge perioden, niet altijd mogelijk.

Rijnwater niet, omdat de kwaliteit bij lage debieten van dien aard is, dat geen aanvaardbaar eindprodukt kan worden verkregen, terwijl de Maas kwantitatief ontoereikend is.

Overbrugging van droge perioden, bv. met behulp van te voren aangelegde voorraden, is derhalve noodzakelijk. Deze voorraadvorming kan zowel in de bodem als bovengronds plaats vinden. Opslag in de bodem kan in Nederland slechts in beperkte mate worden toegepast, omdat geschikte terreinen — voornamelijk hoge zandgronden en duingebieden — schaars zijn.

De praktische vergroting van het jaarlijks leveringsvermogen met behulp van ondergronds aangelegde voorraden wordt geschat op 500 miljoen m<sup>3</sup>. Dit betekent, dat in 2000 voor de levering van globaal 2 miljard m<sup>3</sup>, open buffering onontbeerlijk zal zijn.

Indien men ervan uitgaat, dat in een droog jaar een periode moet worden overbrugd van circa 4 maanden, dan volgt hieruit een benodigde spaarbekkeninhoud van 660 miljoen m<sup>3</sup>.

Indien men bedenkt, dat de totale spaarbekkeninhoud in Nederland ruim 22 miljoen m<sup>3</sup> bedraagt, d.w.z. 1/30 deel van de in het jaar 2000 benodigde inhoud, dan volgt hieruit, dat vanaf 1970 ieder jaar een bergingsvolume moet worden gecreëerd gelijk aan de gezamenlijke inhoud van:

Loenderveense Plas;  
spaarbekkens Zeeuwsch Vlaanderen;  
spaarbekkens Dordrecht;  
spaarbekkens Berenplaat;  
spaarbekkens Andijk.

*Het doel van bovengrondse opslag van ruwwater in*

[1\*] t/m [21] verwijzen naar de nummers van de literatuurlijst.

*spaarbekkens voor de drinkwatervoorziening is het verzekeren van een permanente aanvoer naar de drinkwaterproduktiebedrijven van een voldoende hoeveelheid water van een voor de drinkwatervoorziening aanvaardbare kwaliteit.*

Een spaarbekken vindt toepassing indien de voedingsbron hetzij om kwalitatieve, hetzij om kwantitatieve redenen deze permanente aanvoer niet kan waarborgen. Het verdient thans aanbeveling de redenen welke leiden tot de aanleg van spaarbekkens nader te preciseren.

In de eerste plaats ontstaat de behoefte aan een spaarbekken, indien de voedingsbron kwantitatief ontoereikend is, d.w.z. indien de rivier of beek periodiek geen of te weinig water levert. Deze periode kan worden overbrugd met een opgeslagen voorraad die gelijk is aan het tekort over deze periode.

Dezelfde situatie doet zich voor indien de voedingsbron tijdelijk ongeschikt is voor wateronttrekking.

Men denke aan bovenstroomse calamiteiten zoals ontoelaatbare lozingen van radioactieve stoffen, insectenbestrijdingsmiddelen en andere gifstoffen en voorts aan aanvaringen waarbij schepen zijn betrokken geladen met stoffen die een onaanvaardbare ruwwaterkwaliteit te weeg brengen.

Het behoeft geen betoog dat Nederlandse bedrijven, die zijn aangewezen op de rechtstreekse verwerking van rivierwater uit Rijn en Maas, zich het om laatstgenoemde redenen allang niet meer kunnen veroorloven geen reserve voorraden ter beschikking te hebben.

De bovenbedoelde voorraadvorming, hoewel fundamenteel noodzakelijk, is in het kader van deze vakantie cursus, die onder het motto „van goed naar beter water” wordt gehouden, weinig interessant. Immers, geen water, noch vergiftigd water is goed water.

In het kader van dit deel van de cursus zal worden nagegaan in hoeverre met behulp van, of in spaarbekkens de aangeboden waterkwaliteit kan worden verbeterd.

Het mag bekend worden verondersteld, dat naarmate de afvoeren van de rivieren Rijn en Maas afnemen, de concentratie van organisch en anorganisch materiaal toeneemt.

Voor het eerst is dit in formulevorm weergegeven door prof. Mazure en wel voor het chloride-ion:

$$[\text{Cl}^-]_{\text{totaal}} = [\text{Cl}^-]_{\text{natuurlijk}} + \frac{1000}{Q} \text{Cl}^-_{\text{kunstmatig}}$$

waarin  $\text{Cl}^-_{\text{kunstmatig}}$  = chloridebelasting in kg/sec.  
en  $Q$  = rivierafvoer in m<sup>3</sup>/sec.

De chloride-concentratie wordt algemeen gebruikt als parameter voor het totale pakket verontreinigde stoffen. Er dient hierbij rekening te worden gehouden met belangrijke afwijkingen met name in het gebied van de lage rivierafvoeren en in perioden van snelle was.

De meest voor de hand liggende methode om met behulp van een spaarbekken een betere grondstof, dan in de rivier aanwezig, te verkrijgen, is de methode van de *selektieve inname*.

De methode is erop gericht gedurende de periode met lage rivierafvoeren de waterinname te onderbreken en te putten uit de spaarbekkenvoorraad.

Het is duidelijk dat een verkeerde beoordeling van de lengte van de droge periode desastreus gevolgen kan hebben. Blijven de herfstregens langer uit dan was voorzien, dan wordt men gedwongen rechtstreeks, kwalitatief onaanvaardbaar, rivierwater te verwerken.

Een plotselinge kwaliteitsvermindering van het afgeleverde drinkwater is hiervan het gevolg.

Kwaliteitsverbetering van het *ingenomen* water treedt op onder invloed van *zelfreiniging* en *egalisatie*.

Onder zelfreinigende processen kunnen worden verstaan alle processen, die oorzaak zijn dat de totaal aanwezige hoeveelheid verontreinigde stoffen afneemt.

In alle natuurlijke wateren komen levende organismen voor, te onderscheiden in autotrofe en heterotrofe organismen [2].

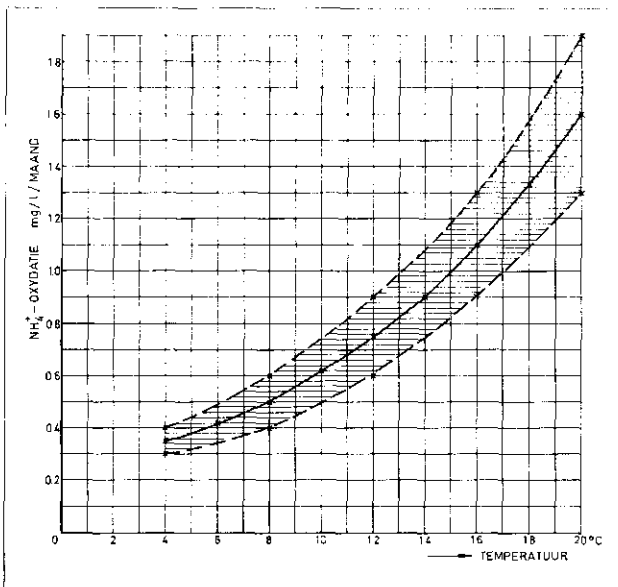
De autotrofe organismen, welke fotosynthetisch werkzaam zijn, zetten vrij in water voorkomend koolzuur (CO<sub>2</sub>) om in organische stof.

Indien geen vrij koolzuur meer aanwezig is wordt dit aan het bicarbonaat onttrokken. Bij deze processen komt zuurstof vrij, terwijl calciumcarbonaat zal neerslaan. Op zich zelf is de werkzaamheid van autotrofe organismen gunstig doordat zuurstof, voor mineralisatieprocessen benodigd, vrij komt, terwijl in de Nederlandse wateren enige ontharding welkom is.

Een belangrijk nadeel is, dat de voor het proces benodigde zonne-energie slechts voornamelijk met behulp van chlorofyl bevattende wieren als groenwieren, blauwwieren en kiezelwieren of diatomeën kan worden overgedragen. Gevreesd moet worden dat koolzuurassimilatie in Nederlandse spaarbekkens, die gevoed worden met water rijk aan alle voedingsstoffen, gepaard zal gaan met een massale planktonontwikkeling.

Het is juist deze massale productie van organisch materiaal die de beheerder van een spaarbekken zorgen baart. Zo geven sommige soorten aan het water een onaangename smaak en reuk. Andere werken filterverstoppend of scheiden slijm af dat schuim veroorzaakt, hetgeen het coagulatieproces bemoeilijkt [3].

Afb. 1 - Ammoniakoxydatie in spaarbekkens per maand als functie van de temperatuur (drs. G. Oskam, Intern Biesboschrapport).



Massale productie wordt gewoonlijk gevolgd door massale afsterving. De verhoogde mineralisatie die hiervan het gevolg is kan leiden tot zuurstofarm, zelfs anaeroob water.

Hoewel de werkzaamheid van autotrofe organismen gunstig kan worden genoemd, is het duidelijk dat maatregelen moeten worden beraamd, die voorkomen dat een ongewenst massale planktonontwikkeling ontstaat. De tweede groep organismen, de heterotrofe organismen winnen hun energie door oxydatie van, enerzijds door autotrofe organismen opgebouwde organische stof, anderzijds door oxydatie van allerlei in het oppervlaktewater voorkomende organische verbindingen.

Dit proces wordt mineralisatie en voor ammoniak-oxydatie nitrifikatie genoemd.

Het afbreken van organisch materiaal gebeurt meestal in opeenvolgende stadia, doch tenslotte wordt het materiaal teruggebracht tot in hoofdzaak koolzuur en water. Het zelfreinigend vermogen van spaarbekkens berust dan ook in hoofdzaak op de werkzaamheid van deze groep. Naast mineralisatie kunnen ook onder zelfreiniging worden verstaan gasuitwisseling aan het oppervlak, sedimentatie, de vernietiging van pathogene bacteriën en virussen en het afnemen van het smaakgetal. Van een aantal processen is niet bekend hoe zij als functie van de tijd kunnen worden weergegeven.

Een uitzondering vormt de afsterving van pathogene bacteriën, gegeven, in de wet van Chick:

$$-\frac{dn}{dt} = \alpha \cdot n \text{ waarin } n \text{ het aantal bacteriën voorstelt en } \alpha \text{ een snelheidsconstante.}$$

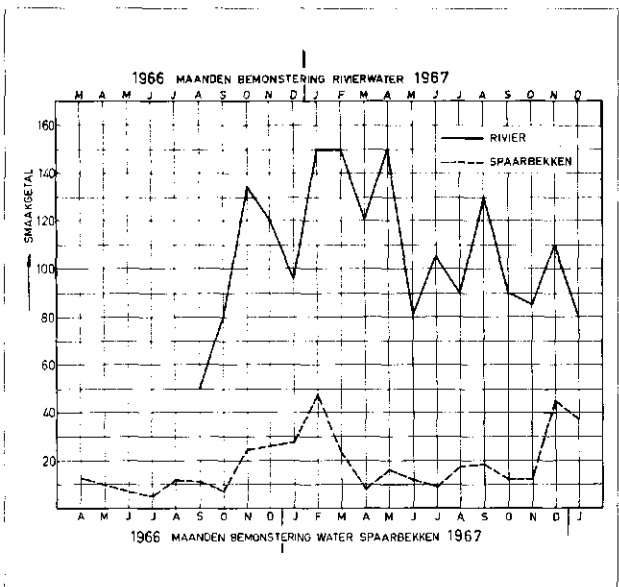
De oplossing van deze d.v.:  $\frac{n_0}{n_t} = e^{\alpha t}$  geeft de afname

van het aantal bacteriën als een exponentieel met de tijd verlopende functie.

Hierin is  $n_0$  het oorspronkelijk aanwezige aantal bacteriën en  $n_t$  het aantal op het tijdstip  $t$ .

Het grootste afstervingseffect wordt, in geval het spaarbekken continu in bedrijf is, verkregen in een verdrin-

Afb. 2 - Smaakverbetering in het spaarbekken Berenplaat (drs. J. J. Rook en drs. G. Oskam).



gingsbekken, d.w.z. een bekken waarin alle waterdeeltjes eenzelfde verblijftijd ondergaan.

Van de ammoniakoxydatie wordt blijkens recente metingen in het spaarbekken Berenplaat een lineair met de tijd verlopend proces aangenomen. Het proces is sterk temperatuurgevoelig zoals blijkt uit afb. 1 [4].

De smaakreduktie kan worden geïllustreerd aan de hand van afb. 2 [5]. De naijling is vereffend door het smaakgetal behorend bij het uitgaande water in de tijd te verschuiven over een lengte gelijk aan de gemiddelde verblijftijd.

Ook dit proces is sterk temperatuurgevoelig.

Behalve door zelfreiniging kan in spaarbekkens eveneens een kwaliteitsverbetering worden bewerkstelligd door *egalisatie*.

Kwaliteitsverbetering wordt nu niet verkregen door verlaging van de totaal aanwezige hoeveelheid verontreiniging doch door konsentratieverlaging van deze stoffen door vers ingenomen water te mengen met in het bekken aanwezig minder verontreinigd water.

In enkele artikelen in H<sub>2</sub>O [6] is door prof. Huisman en ir. Martijn uitvoerig uiteengezet welke afvlakking op deze wijze kan worden bereikt. De grondslag voor de beschouwingen wordt gevormd door het opstellen van de continuïteitsvergelijking voor de chloride hoeveelheid.

Er is voorts een vergelijking gemaakt tussen de mate van zelfreiniging in een mengbekken, d.w.z. een bekken waarin elk deeltje nieuw ingenomen water onmiddellijk met de aanwezige voorraad wordt gemengd, zodat in het spaarbekken steeds een homogene samenstelling aanwezig is en zelfreiniging in een verdringingsbekken, een bekken waarin elk deeltje eenzelfde verblijftijd ondergaat.

Als voorbeeld is gekozen de vermindering van het aantal pathogene bacteriën.

Het voorbeeld is niet bijzonder interessant indien men bedenkt dat in de moderne oppervlaktewaterzuiveringsbedrijven pathogene bacteriën gemakkelijk worden vernietigd, terwijl later in een spaarbekken opnieuw infectie (vogels, ratten) kan optreden.

Als voorbeeld evenwel spektakulair.

De afsterving als functie van de tijd wordt gegeven door:

$$\frac{n_0}{n_t} = e^{\alpha \cdot t}$$

In onderstaande tabel is de vermindering van het aantal weergegeven, indien het water door een zuiver verdringingsbekken stroomt (R) en indien dit water door een zuiver mengbekken wordt gevoerd, waarin de gemiddelde verblijftijd dezelfde is als de verblijftijd in het verdringingsbekken (R') = Voor  $\alpha = 0,3$  volgt: [7]

T =	15	30	45	60 dagen
R =	90	8100	730.000	65.000.000
R' =	5,5	10	14,5	19

Een methode om ook in mengbekkens het verdringingsprincipe opnieuw in te voeren, wordt gevonden door de inhoud over meerdere (N) in serie geschakelde bekken te verdelen:

het effect hiervan (R'') voor T = 30 dagen en  $\alpha = 0,3$  is weergegeven in de volgende tabel:

N	1	2	3	4	5	$\infty$
R''	10	30	64	112	172	8100

Uit de tabel blijkt dat relatief het grootste effect wordt bereikt door een verdeling van de inhoud over twee bekken.

Hoe spektakulair de achteruitgang van de vernietiging van pathogene bacteriën in mengbekkens ook is, het is zeer de vraag of hieruit moet volgen, dat om een zo groot mogelijk zelfreinigend effect te verkrijgen, bekken moeten worden ingericht als verdringingsbekken of in meerdere eenheden moeten worden opgedeeld.

Beschouwt men in dit verband de oxydatie van ammoniak, een oxydatie welke recht evenredig met de tijd verloopt. In formule

$$\frac{dn}{dt} = k(\text{onstant})$$

Oplossen van deze d.v. en substitueren van  $n = n_0$  voor  $t = 0$  en  $n = n_t$  voor  $t = t$  levert  $n_0 - n_t = k \cdot t$

De kwaliteitsverbetering in een verdringingsbekken bedraagt dus:

$$R = \frac{n_0}{n_t} = \frac{n_0}{n_0 - k \cdot t} \quad (1)$$

Treedt volledige menging op, dan kan door toepassing van de continuïteitsvergelijking worden aangetoond, dat de frequentieverdeling van de verblijftijden voldoet aan

$$c_u = c_i \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right)\right)$$

$$\frac{c_u}{c_i} = p = \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right)\right)$$

waarin:  $c_i$  = concentratie ammoniak in het intredend water

$c_u$  = concentratie ammoniak in het uitredend water

T = gemiddelde verblijftijd

De kwaliteitsverbetering van het percentagedeel dp bedraagt nu:

$$\frac{n_0 \cdot dp}{(n_0 - k \cdot t) \cdot dp}$$

en de kwaliteitsverbetering van het geheel

$$R = \frac{\int_0^1 n_0 \cdot dp}{\int_0^1 (n_0 - k \cdot t) \cdot dp}$$

Oplossen van deze d.v. met  $p = 1 - e^{-\frac{t}{T}}$

$$\text{en } dp = \frac{1}{T} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \cdot dt \text{ levert}$$

$$R' = \frac{n_0}{n_0 - k \cdot t} \quad (2)$$

Uit (1) = (2) volgt:  $R = R'$

We zien, dat zelfreiniging, welke lineair met de tijd verloopt, *niet* wordt verstoord door menging.

Het is duidelijk, dat in de komende jaren veel fundamenteel en experimenteel onderzoek moet worden verricht,

met name om vast te stellen hoe de verschillende reinigingsprocessen met de tijd verlopen.

Zo is het van het grootste belang de smaakverbetering alsmede de vernietiging van virussen in een formule te vangen. Zolang niet als waarschijnlijk kan worden aangegeven of kan worden aangetoond, dat deze processen exponentieel verlopen, is er geen reden om dure voorzieningen te treffen of bekkens in meerdere eenheden op te delen, teneinde menging te voorkomen.

Integendeel. Als gevolg van het niet of slechts in geringe mate egaliserend vermogen van verdringingsbekkens genieten mengbekkens voorshands de voorkeur.

Op grond van het voorgaande kan een indeling in spaarbekkensoorten worden gemaakt naar functie, exploitatie en inrichting zoals in het overzicht in afb. 3 is weergegeven.

FUNCTIE	Kwaliteitsverbetering door egalisatie		Kwaliteitsverbetering door exp. processen (zelfreiniging)		Overbrugging	
INRICHTING	MENGING		VERDRINGING		MENGING	
EXPLOITATIE	OPEN NIVEAU-VARIATIE		GEEN NIVEAU-VARIATIE	NIVEAU-VARIATIE TOEGESTAAN	NIVEAU-VARIATIE TOEGESTAAN	
	KONTINUE DOORSTROMING $Q_1, Q_2 \neq 0$	N.I.T. KONTINUE DOORSTROMING $Q_1, Q_2 = 0$	KONTINUE DOORSTROMING $Q_1, Q_2 \neq 0$	TOEVOER: N.I.T. KONTINUE AFVOER: KONTINUE $Q_1(t) \neq 0, Q_2 \neq 0$	N.I.T. KONTINUE DOORSTROMING $Q_1(t) = 0, Q_2(t) \neq 0$	N.I.T. KONTINUE DOORSTROMING $Q_1(t) = 0, Q_2(t) \neq 0$
TYPE	DOORSTROOM-BEKKEN	SUPPLETIE-BEKKEN	PROCESBEKKEN	VERDRINGINGS-BEKKEN	VOORRAAD-BEKKEN	STANDBEKKEN

Afb. 3 - Indeling spaarbekkens.

Er ontstaan op deze wijze 6 typen.

### 1. Doorstroombekken

Dit bekkentype is gericht op kwaliteitsverbetering door egalisatie. Er treedt geen niveauvariatie op en het bekken wordt doorlopend geëxploiteerd.

### 2. Suppletiebekken

Een dergelijk bekken vindt alleen toepassing, wanneer het productiebedrijf daarnaast beschikt over andere voedingsmiddelen. Deze middelen kunnen zijn een direkte onttrekking aan de rivier, onttrekking aan de grondwatervoorraad of aan een ander spaarbekken.

### 3. Procesbekken

Een procesbekken verschilt van een doorstroombekken in die zin, dat in het bekken menging zoveel mogelijk wordt tegengegaan. Het egaliserend vermogen is gering. De kwaliteitsverbetering, voor zover het exponentieel met de tijd verlopende processen betreft, is maximaal.

### 4. Verdringingsbekken

Een verdringingsbekken verschilt van een procesbekken in die zin, dat niveauvariatie kan worden toegepast.

Een voordeel van het type boven een procesbekken is, dat perioden, waarin de kwaliteit van de rivier onaanvaardbaar is, kunnen worden overbrugd.

Een nadeel is het optreden van verschillende verblijftijden, zodat diskontinuiteiten in de kwaliteit voorzover deze wordt beïnvloed door zelfreiniging, zullen optreden.

### 5. Voorraadbekken

Zoals van elk mengbekken, is ook van een voorraadbekken het egaliserend vermogen maximaal. Voorts gelden ten opzichte van een voorraadbekken in vergelijking met een doorstroombekken, dezelfde voor- en nadelen, welke gelden voor een verdringingsbekken ten opzichte van een procesbekken.

## 6. Standbekken

Een standbekken kan evenals een suppletiebekken uitsluitend worden toegepast, wanneer daarnaast over andere voedingsmiddelen wordt beschikt.

In het voorgaande zijn enkele aspecten genoemd, die bij de aanleg, de inrichting en de exploitatie van spaarbekken een rol spelen.

In het volgende zal aan de hand van het spaarbekkenproject Brabantse Biesbosch hierop nader worden ingegaan.

Tussen de Rijn en de Limburgse Maas, nabij het punt waar beide rivieren onder de naam Nieuwe Merwede resp. Amer samenvloeien, ligt de Brabantse Biesbosch, onderverdeeld in drie waarden (afb. 4).

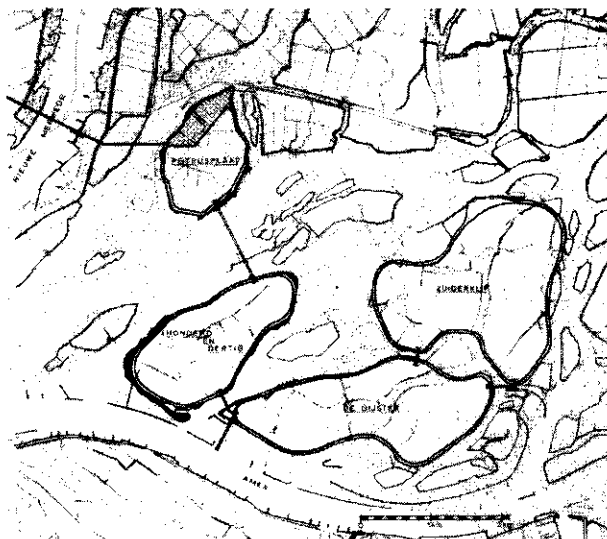
De Noord- en Oostwaard, ingericht als agrarisch gebied, de Zuidwaard, een agglomeraat van kreken, grienden en rietvelden, met daarin als eilanden een aantal landbouwpolders.

De polders, die thans nog rendabel kunnen worden geëxploiteerd, zullen in de nabije toekomst landbouwkundig onrendabel worden ten gevolge van het grotendeels wegvallen van het getijverschil, na voltooiing van de Deltawerken. Dit houdt in, dat overtollig water niet meer op natuurlijke wijze kan worden geloosd, terwijl verschillende kreken onbevaarbaar zullen worden.

Voor het gebied is een bestemmingsplan ontworpen, waarin ruimte is gereserveerd voor de aanleg van spaarbekken ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Deze bekkens zullen worden aangelegd ter plaatse van de bestaande polders. Het buitenliggende natuurgebied verkrijgt een recreatieve bestemming, terwijl er voorts een belangrijke plaats is ingeruimd voor het verrichten van natuurwetenschappelijk onderzoek. Dit laatste vooral met het oog op het wegvallen van de grote getijverschillen, waardoor een situatie ontstaat, die vergelijkbaar is met het prille stadium van de wordingsgeschiedenis van Nederland, toen, door het ontbreken van dijken en andere waterbouwkundige kunstwerken, de getijbeweging achter de duinenreep eveneens van geringe betekenis was.

Het gebied, waar zowel uit de Rijn als uit de Maas kan worden geput, leent zich bij uitstek voor de aanleg van spaarbekken. Voorts biedt de centrale ligging in zuidwestelijk Nederland de mogelijkheid om op economisch aanvaardbare wijze een ruim gebied van ruw water te voorzien.

Afb. 4 - Spaarbekken Brabantse Biesbosch.



Een volgend belangrijk voordeel aan de situering van spaarbekkens in dit gebied verbonden, is de ligging rondom in het water, waardoor niveauvariatie in de bekkens mogelijk wordt, zonder dat verdrinking of uitdroging van het omliggende gebied behoeft te worden gevreesd.

Een laatste belangrijk voordeel, waardoor dit gebied voor de aanleg van bekkens als uniek mag worden bestempeld is — zoals later uit een uitgebreid geologisch onderzoek is gebleken — de aanwezigheid, op relatief grote diepte, van een zeer slecht water doorlatende laag, de zogenaamde laag van Kedichem, een voornamelijk uit klei- en slibhoudend fijn zand bestaande formatie. De formatie vormt de bodem van de spaarbekkens.

De belangstelling, in de eerste plaats van de zijde van de provincie Noord-Brabant en later van de Rijksoverheid, zijn er oorzaak van geweest, dat het oorspronkelijke plan — de aanleg van spaarbekkens uitsluitend ten behoeve van Rotterdam — werd verlaten en vervangen door een plan, waarin rekening houdend met de belangen van recreatieve, landschappelijke en natuurwetenschappelijke aard, een zo groot mogelijk bergend volume met een zo groot mogelijk leveringsvermogen werd verkregen. In een uitvoerig en langdurig overleg met vertegenwoordigers van alle belangengroepen werd tenslotte overeenstemming bereikt over de vormgeving en inrichting van het project.

Het spaarbekkenplan omvat vier bekkens te weten de bekkens Zuiderklip, De Gijster, Honderd en Dertig en Petrusplaat. Het project zal, aangepast aan de afzet, in fasen worden uitgevoerd.

De eerste fase omvat de aanleg van de bekkens Petrusplaat en Honderd en Dertig, alsmede het zuiverings- en transportbedrijf op de Petrusplaat en het pompstation „Kerksloot”.

In de tweede en laatste fase zullen de bekkens Zuiderklip en De Gijster worden aangelegd en het pompstation „Spijkerboor” worden gebouwd.

De situering van de bekkens berust in hoofdzaak op planologische gronden. De wijze van exploitatie volgt uit het karakter en de situering van de beide rivieren en de mate van zelfreiniging, die moet worden bereikt.

De bekkens Zuiderklip en De Gijster worden ingericht als voorraadbekkens en gevoed met Maaswater vanuit het Spijkerboor.

De bekkens Honderd en Dertig en Petrusplaat worden ingericht als doorstroombeekens, zij het dat enige niveauvariatie kan worden toegepast. De bekkens worden gevoed vanuit De Gijster. Ter vergroting van het leveringsvermogen kan voorts Rijnwater worden ingenomen met het pompstation aan de Nieuwe Merwede. Om ook dit Rijnwater de vereiste minimum verblijftijd te doen ondergaan, wordt het water aan de westzijde van bekken Honderd en Dertig ingelaten.

Een tweede mogelijkheid om Maaswater in te nemen biedt het pompstation aan de Kerksloot.

De hierbij behorende wijze van exploitatie, waarbij het bekken Honderd en Dertig rechtstreeks wordt gevoed met Maaswater en de bekkens Zuiderklip en De Gijster als standbekken worden gebruikt, geeft een groter leveringsvermogen.

De in dit geval te volgen wijze van exploitatie ligt voor de hand. In de periode met de hoogste Maasafvoeren worden de bekkens De Gijster en Zuiderklip gevuld.

Vervolgens wordt de levering volledig door het pompstation Kerksloot verzorgd. Pas wanneer om kwantitatieve of kwalitatieve redenen deze aanvoer onvoldoende

wordt of geheel moet worden onderbroken, wordt de levering door de bekkens Zuiderklip en De Gijster overgenomen, eerst gedeeltelijk, daarna geheel. Nadelen aan deze wijze van exploitatie verbonden worden gevormd door de ligging van het pompstation Kerksloot.

In de eerste plaats ten opzichte van de Mond der Donge. Door de benedenstroomse ligging van het pompstation zal een ruwwaterkwaliteit aanmerkelijk zwaarder belast met verontreinigingen worden ingenomen.

Een tweede bezwaar is de geringe afstand tot de Nieuwe Merwede. Rijninvloed, d.w.z. een hoger chloridegehalte en een hoger gehalte aan synthetische afvalstoffen, is hier eerder en langer merkbaar.

Voorshands lijkt deze wijze van exploitatie niet aantrekkelijk. In de aanloopfase, met een minimum leveringsvermogen van circa 6 m<sup>3</sup>/sec., wordt wel van deze inlaat gebruik gemaakt.

Deze fase omvat de aanleg van de bekkens Petrusplaat en Honderd en Dertig, het pompstation Kerksloot en het transportbedrijf op de Petrusplaat. Het bekken De Gijster wordt nu gevoed vanuit de Amer en verder gebruikt als standbekken.

Uit ervaringen met het Berenplaatbekken [5] is gebleken, dat na circa 14 dagen, gemiddeld circa 90 % van de zware stof is neergeslagen. De reductie van het KMnO<sub>4</sub>-getal bedraagt in deze periode 20 tot 30 %. Een langere verblijftijd heeft op de bezinking nauwelijks effect. Een verblijftijd van 2 tot 3 weken is voorts voldoende om in het water een zuurstofverzadigingspercentage van 80-100 % te verkrijgen. De konklusie kan worden getrokken, dat bij een verblijftijd van circa 3 weken een maximum profijt getrokken wordt van de fysische zelfreiniging.

De eerste exploitatievoorwaarde luidt dan ook:

*Het aan de spaarbekkens te onttrekken water moet een gemiddelde verblijftijd van minstens 21 dagen in het spaarbekken hebben ondergaan.*

Bij het tenslotte gevonden leveringsvermogen is gebleken, dat de bekkens Honderd en Dertig en Petrusplaat, gevuld tot circa NAP, aan deze voorwaarde voldoen.

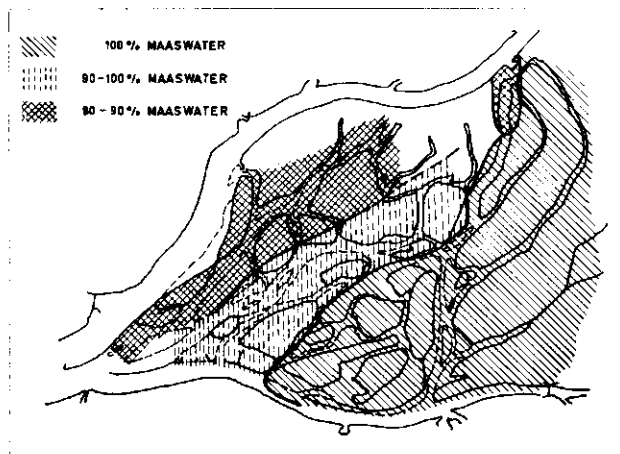
De gemiddelde verblijftijd, voor geheel gevulde bekkens, bedraagt 38 dagen, zodat boven het kwantum, benodigd voor het garanderen van de minimum gemiddelde verblijftijd, er een voldoende hoeveelheid water in de geheel gevulde bekkens aanwezig is om een kalamiteit op de rivier te overbruggen.

Ter bepaling van het leveringsvermogen van het voltooide project is een uitgebreid hydrologisch en kwalitatief onderzoek van beide rivieren uitgevoerd.

Als parameter voor de kwaliteit is gekozen het chloridegehalte. In overeenstemming met de aanbevelingen van de Waterleidingwet is als norm aangehouden een maximumtoelaatbaar chloridegehalte van het afgeleverde drinkwater van 150 mg/l.

Een beperkende faktor ten aanzien van het innemen van Maaswater is, dat geen water zal worden onttrokken, indien de afvoer kleiner is dan 25 m<sup>3</sup>/sec. en dat nimmer zoveel water zal worden onttrokken, dat als gevolg hiervan deze waarde wordt onderschreden. Aangenomen is, dat om andere redenen dan het chloridegehalte de rivierkwaliteit dan onaanvaardbaar is.

Een beperkende faktor is voorts, dat in de periode van 1 november tot 30 november geen Rijnwater zal worden ingenomen met een chlorideconcentratie groter dan 115 mg/l.



Afb. 5 - Hydrologisch karakter van de Zuidwaard van de Braantse Biesbosch.

Als basisjaar voor de bepaling van het leveringsvermogen is gekozen het jaar 1947, uiteraard met inachtneming van de in de toekomst te verwachten bovenstroomse aftappingen.

Ook werd rekening gehouden met de getijsituatie, zoals deze zich na afsluiting der zee-armen zal voordoen.

De voorkomingsfrequentie van het jaar, voornamelijk gelet op de lengte en het karakter van de droge periode, bedraagt 5 à 6 %.

Een bijzondere moeilijkheid doet zich voor bij de bepaling van het chloridegehalte van het ingenomen water. Hoewel de Biesbosch vrijwel steeds gevuld is met zuiver Maaswater (afb. 5) [8] bleek, dat bij lage Maasafvoeren en onttrekking aan het Spijkerboor de kwaliteit ter plaatse werd beïnvloed door de Rijn.

Voor diverse permanente combinaties van de, met het inlaatdebiet verminderde, Maasafvoer en van de afvoer van de Rijn, is de chloridegradient in het Amerbekken bepaald (afb. 6) [9].

Voor elke Maasafvoer, of juist voor elke afvoerkombinatie van Maas en Rijn, kan nu, met inachtneming van de grootte van het inlaatdebiet het chloridegehalte van het ingenomen water vrij nauwkeurig worden bepaald.

Als eis voor de kwaliteit van het afgeleverde water is gesteld, dat een concentratie van 150 mg Cl<sup>-</sup>/l niet mag worden overschreden. Het chloridegehalte van het afgeleverde water bevat twee componenten:

1. Het chloridegehalte in het aan het spaarbekken onttrokken water;
2. de hoeveelheid chloor, die in het zuiveringsproces wordt toegevoegd.

Deze laatste hoeveelheid wordt bepaald door de in het ruwe water aanwezige hoeveelheid oxydeerbaar materiaal, het ammoniakgehalte en de voor ferro-ferri omzetting benodigde hoeveelheid, indien coagulatie wordt toegepast met behulp van ijzervzouten. Op grond van ervaring met het Berenplaatbekken kan worden voorspeld dat, behoudens de voor oxydatie van ammoniak benodigde hoeveelheid van 6,5 mg per mg ammoniak, circa 5 mg Cl<sub>2</sub>/l voor oxydatie van organisch materiaal en eveneens 5 mg/l voor de omzetting van twee- in driewaardig ijzer benodigd zal zijn [4].

Naast de bepaling van het chloridegehalte van het uitgaande water moet dus eveneens de hoeveelheid ammoniak worden bepaald. Om de periode, welke met de inhoud van de voorraadbekken moet worden overbrugd,

te bepalen, dient het tijdstip waarop het innemen moet worden beëindigd te worden berekend. Dit tijdstip wordt bepaald uit het verloop van het chloridegehalte van de bekkens als functie van de tijd.

Het restant van de droge periode wordt met de bekkensinhouden overbrugd.

Het chloridegehalte van de spaarbekken als functie van de tijd kan op de volgende wijze worden afgeleid:

Voedt men een bekken, met een inhoud  $V$  en een aanvangschlorideconcentratie  $c_0$ , met een debiet  $Q$ , waarvan de chlorideconcentratie,  $c_1$ , groter is dan de grenswaarde  $c_n$ , dan zal na enige tijd de chlorideconcentratie in het bekken de waarde  $c_n$  bereiken.

Vanaf dit tijdstip wordt geen water meer ingenomen. Het resterende deel van de droge periode wordt met de bekkensinhoud overbrugd. Op het tijdstip  $t$  is de chlorideconcentratie in het bekken  $c$  geworden.

In het tijdje  $\Delta t$  aansluitend hierop neemt het chloridegehalte toe met een waarde  $\Delta c$ .

Op het tijdstip  $t + \Delta t$  bevat het spaarbekken een hoeveelheid chloride =  $V \cdot (c + \Delta c)$ .

In  $\Delta t$  stroomt binnen een hoeveelheid chloride =  $Q \cdot \Delta t \cdot c_1$

In  $\Delta t$  wordt onttrokken een hoeveelheid chloride =  $Q \cdot \Delta t \cdot (c_1 + \frac{1}{2} \Delta c)$

De chloridebalans wordt dus:

$$V(c + \Delta c) = V \cdot c + Q \cdot \Delta t \cdot c_1 - Q \cdot \Delta t \cdot (c + \frac{1}{2} \Delta c)$$

$$V \cdot \Delta c = Q \cdot \Delta t \cdot c_1 - Q \cdot \Delta t \cdot c - Q \cdot \Delta t \cdot \frac{1}{2} \Delta c$$

De laatste term is van de tweede orde, zodat:

$$V \cdot dc = Q \cdot c_1 dt - Q \cdot c \cdot dt$$

Oplossen van deze d.v. en substitueren van  $c = c_0$  voor  $t = 0$  levert:

$$\frac{c_1 - c}{c_1 - c_0} = e^{-\frac{t \cdot Q}{V}}$$

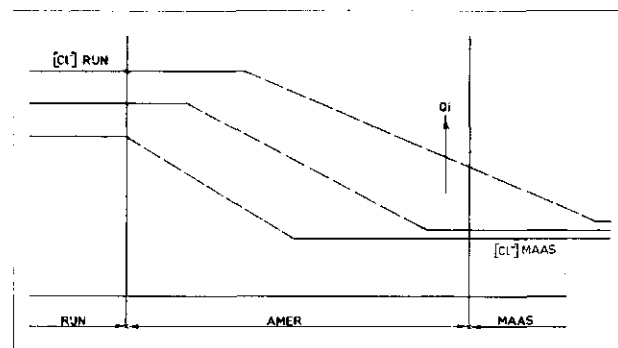
Door substitutie van  $c = c_n$  kan  $t_n$ , d.w.z. het tijdstip, waarop de inname moet worden onderbroken, worden bepaald.

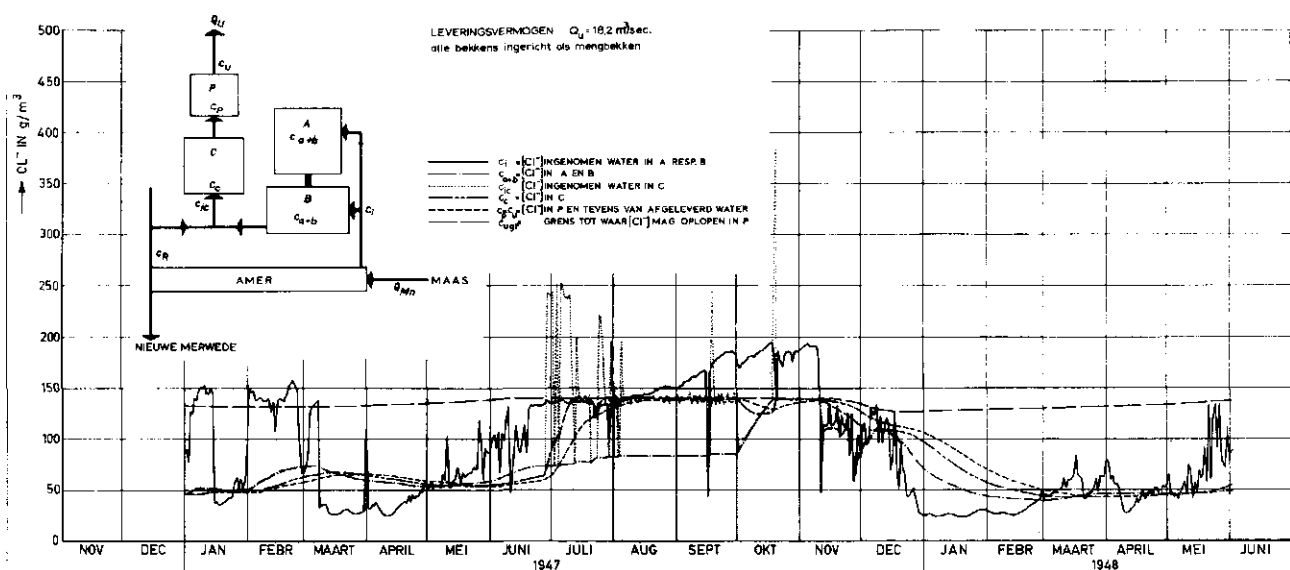
Voorts geldt:  $(T_a - t_n) \cdot Q = V$ , waarin  $T_a$  = de gehele periode waarin de rivier niet aan de norm voldoet.

Uit bovenstaande vergelijkingen kan het leveringsvermogen van een mengbekken worden bepaald, mits de randvoorwaarden bekend zijn. Omdat bij een niet gestyleerde rivier het chloridegehalte van dag tot dag onregelmatig verandert, leent zich de berekening bij uitstek voor een computer.

De grootste moeilijkheid is nu, dat de grenswaarde  $c_n$

Afb. 6 - Chloridegradient in de Amer (schematisch).





Afb. 7 - Egalisatie van de chlorideconcentratie in spaarbekkens Brabantse Biesbosch.

niet bekend is. Deze waarde immers, hangt af van de ammoniakconcentratie, die in het uitgaande water nog aanwezig is.

De bepaling van de ammoniakconcentratie verloopt analoog met de bepaling van de chlorideconcentratie, zij het dat nu tevens rekening moet worden gehouden met de oxydatie tijdens het verblijf in de bekken.

Voert men in de oxydatiesnelheid A, behorend bij een bepaalde temperatuur, dan wordt in  $\Delta t$  een hoeveelheid  $V \cdot A \cdot \Delta t$  ammoniak geoxydeerd.

De ammoniakbalans luidt nu:

$$V \cdot (c + \Delta c) = V \cdot c + Q \cdot \Delta t \cdot c_i - Q \cdot \Delta t \cdot (c + \frac{1}{2} \Delta c) - V \cdot A \cdot \Delta t \cdot c$$

en de oplossing hiervan:

$$\frac{c_i - c - \frac{V \cdot A \cdot \Delta t \cdot c}{Q}}{c_i - c_0 - \frac{V \cdot A \cdot \Delta t \cdot c}{Q}} = e^{-\frac{t \cdot Q}{V}}$$

De resterende ammoniakconcentratie kan hiermede worden berekend en daarmee de in het zuiveringsproces voor verdere oxydatie benodigde hoeveelheid  $Cl_2$ .

Door proberen kan nu het bij een bepaald jaar en een bepaalde bekkeninhoud behorend leveringsvermogen worden berekend. Voor het Biesboschproject resulteert dit in een hoeveelheid van tenminste 16 m<sup>3</sup>/sec. of een produktie van 500.000.000 m<sup>3</sup>/jaar. In afb. 7 wordt de afvlakking gedemonstreerd van het chloridegehalte ten opzichte van de ingenomen kwaliteit.

Inclusief de in het zuiveringsbedrijf toegevoegde hoeveelheid wordt een maximale waarde van 380 mg  $Cl^-$ /l teruggebracht tot 150 mg/l.

Het spreekt vanzelf, dat in het voorgaande vele aspecten verbonden aan de aanleg van spaarbekken niet of slechts terloops zijn genoemd. Een tweetal aspecten, die de kwaliteit van het opgeslagen water en ook de inrichting en exploitatie van spaarbekken in hoge mate kunnen beïnvloeden, mogen in deze cursus niet onbesproken blijven.

### Thermische stratificatie

Stratificatie is een verschijnsel, dat in diepe bekken kan optreden. De inhoud is dan opgebouwd uit lagen van verschillende temperatuur en dichtheid en doorgaans eveneens verschillend in chemische en biologische eigenschappen [10].

Thermische stratificatie wordt mogelijk gemaakt, doordat water zijn grootste dichtheid heeft bij een boven 0° C liggende temperatuur en wel van 4° C.

Doordat de warmtetoevoer en -afvoer voornamelijk aan of nabij het oppervlak plaats vindt, kan verwarming in het voorjaar of afkoeling in de herfst niet plaats vinden, zonder dat de gehele watermassa isotherm wordt met een temperatuur van 4° C.

In deze situatie treedt menging op van het water van bodem tot oppervlak.

Als nu in het vroege voorjaar het oppervlak wordt verwarmd tengevolge van absorptie van zonnestraling, wordt het bovenwater soortelijk lichter en zou een stratificatie met een exponentieel temperatuurverloop ontstaan in overeenstemming met de stralingsabsorptie als functie van de diepte.

Door convectiestromen als gevolg van verdamping, maar vooral tengevolge van turbulentie onder invloed van wind, ontstaat een min of meer thermisch homogeen mengsel nabij het oppervlak. Het warmtetransport naar grote diepte blijkt in de praktijk te traag om de gehele massa gelijkmatig warmer te maken. Tengevolge van de toenemende warmtetoevoer in de loop van het voorjaar, worden de temperatuurverschillen tussen het onder en boven aanwezige water steeds groter, waardoor wind steeds minder in staat is de ontstane stratificatie te verstoren. Er ontstaat een situatie zoals schematisch is weergegeven in afb. 8 [11].

Het relatief warme water aan het oppervlak wordt het epilimnion genoemd.

De koude laag boven de bodem — het hypolimnion — en de tussenliggende schijf, waarin de temperatuurgradient 1° C per m<sup>1</sup> of meer bedraagt, het metalimnion of de spronglaag.

Als in de nazomer de warmtebalans negatief wordt, gaat het epilimnion afkoelen.

De stabiliteit, gedefinieerd als de hoeveelheid arbeid die moet worden verricht om de gehele watermassa op te tillen over de verticale afstand tussen het zwaartepunt van een gestratificeerd bekken en het zwaartepunt van het isotherme bekken, wordt kleiner en na enige tijd is een flinke herfststorm in staat de stratificatie op te heffen en het gehele bekken om te keren.

Louter gelet op het temperatuuraspect is het optreden van thermische stratificatie in diepe spaarbekken gunstig. Kan nl. in de zomer ruwwater worden onttrokken aan het relatief koele hypolimnion dan is een belangrijk nadeel van de verwerking van oppervlaktewater — de hoge temperatuur in de zomer — grotendeels weggenomen. Een moeilijkheid die zich bij de onttrekking voordoet is het feit, dat de spronglaag aan grote schommelingen onderhevig is [12].

Door de geringe dichtheidsverschillen tussen het epilimnion en het hypolimnion-globaal 1/500 à 1/1000 van het dichtheidsverschil tussen water en lucht- is reeds een geringe opwaaiing (enkele mm/km) voldoende om de spronglaag sterk te doen hellen (enkele meters per km). Na het wegvallen van de wind keert de spronglaag weer terug in zijn evenwichtsstand echter na een aantal schommelingen.

Het onttrekken van water kan derhalve het beste plaats vinden ter plaatse van een knoop, dus in het algemeen in het midden van het bekken, d.w.z. een kostbare oplossing.

Een tweede moeilijkheid, waardoor de wateronttrekking aan het hypolimnion meestal niet aantrekkelijk is, is gelegen in de chemische kwaliteit van dit water.

Ten gevolge van de geringe uitwisseling tussen de lagen overtreft veelal de zuurstofconsumptie in het hypolimnion de zuurstofaanvoer.

Het gevolg hiervan is, dat het hypolimnion zuurstofarm wordt en soms zelfs anaeroob [13].

Vooralsnog ziet het er voor de Nederlandse spaarbekken naar uit dat thermische stratificatie moet worden voorkomen of opgeheven. Uit proeven is gebleken, dat dit op eenvoudige wijze kan worden gerealiseerd.

Zo is het mogelijk, door in het hypolimnion lucht te injecteren, een naar boven gerichte stroom te veroorzaken, die al gauw voldoende is om thermische stratificatie op te heffen [14 en 15].

Ook met behulp van pompen kan dit worden bereikt [16].

#### Maatregelen ter voorkoming van massale planktongroei

Tenslotte nog een enkele opmerking ten aanzien van maatregelen, die kunnen worden genomen om het optreden van massale planktongroei in spaarbekken te voorkomen.

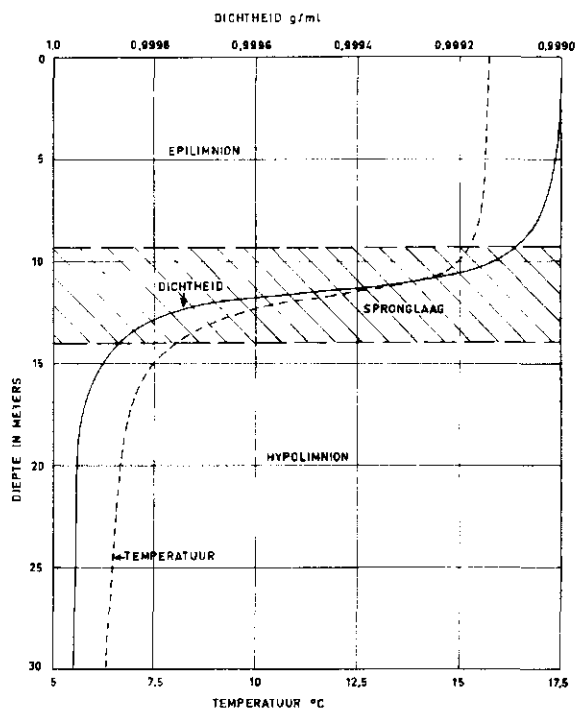
Een voor de hand liggende maatregel is planktonontwikkeling te belemmeren door het wegnemen van essentiële voedingsstoffen.

Het meest hiervoor aangewezen is het fosfaat [17].

Het is bekend, dat in het coagulatieproces, gevolgd door flocculatie, sedimentatie en eventueel filtratie een belangrijke fosfaatvermindering kan worden verkregen.

Het is zeker, dat deze methode, vooral indien peilvariatie in spaarbekken wordt toegepast, waardoor de inlaatcapaciteit het leveringsvermogen vaak vele malen overtreft, tot dure oplossingen aanleiding geeft.

Het lijkt waarschijnlijk, dat van deze maatregel effect valt te verwachten doch, indien men bedenkt dat sommige algen een zeer kleine hoeveelheid fosfaat behoeven, is het de vraag of de voorzuivering voldoende kan wor-



Afb. 8 - Temperatuur- en dichtheidsprofiel in een stabiele stratificatie.

den geperfectioneerd, opdat het gewenste resultaat wordt verkregen.

Een tweede mogelijkheid, gelanceerd door de Londense Waterleiding, schuilt in het scheppen van een situatie in het bekken, welke voldoende belemmerend werkt om massale planktonontwikkeling te doen optreden [18 en 19].

De groei van alg vindt plaats, onder invloed van licht, in de bovenste meters van het bekken.

Op groter diepte overheerst de respiratie d.w.z. is de algafbraak groter dan de opbouw.

De gedachte nu is een zodanig vertikaal watertransport teweeg te brengen, dat de verblijftijd in de oppervlaktelaag voldoende kort is om de groei van grote hoeveelheden plankton te voorkomen [18 en 19]. Het laat zich aanzien, dat deze methode, ook al is hier een hoeveelheid arbeid voor nodig, die een veelvoud is van de voor de opheffing van thermische stratificatie benodigde arbeid, een goedkoper en aantrekkelijker oplossing biedt dan de verwijdering van fosfaat. Een voorwaarde voor deze methode is, dat de bekkens diep moeten zijn, waarschijnlijk in de orde van 20 m.

Een derde oplossing, die min of meer op hetzelfde principe berust, is de verkorting van de verblijftijd van het water in de spaarbekken door tijdelijke peilverlaging. Deze laatste methode is vooral van betekenis voor die soorten, welke een lange groeiperiode behoeven. Een methode o.a. door de Londense waterleiding [20] en in Amerika [21] toegepast, is het in het water brengen van kopersulfaat. Een effectieve concentratie is evenwel veelal ontoelaatbaar.

De meest rigoureuze methode tenslotte nl. de behandeling van de gehele bekkeninhoud met chloor, zodat aan alle levensgemeenschappen in de bekkens een einde wordt gemaakt, lijkt vooralsnog niet aantrekkelijk, omdat dan gelijktijdig een einde wordt gemaakt aan het gehele mechanisme van de biologische zelfreiniging.

● zie literatuur op de volgende pag. onderaan



### Literatuur

1. Rapport van de Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening.
2. Leeftang, K. W. H. (1966). *Het water als levensmilieu, achttiende vakantiekursus in Drinkwatervoorziening*.
3. Heusden, G. P. H. van (1966). *De biologie van voorraadbassins voor de drinkwatervoorziening, achttiende vakantiekursus in drinkwatervoorziening*.
4. Oskam, G., bijdrage Interim-Rapport Leveringsvermogen Brabantse Biesbosch.
5. Rook, J. J. en Oskam, G. (1969). *Biologisch-chemische ervaringen met opslag van Rijnwater in het Berenplaat reservoir*. H<sub>2</sub>O, 2, 269-278.
6. Huisman, L. en Martijn, Th. G. (1968). *Kwaliteitsverbetering in doorstroombekkens*. H<sub>2</sub>O, 1, 64-71, 86-93.
7. Leeftang, K. W. H. en Edelman, J. H. (1943). *De bacteriologische werking van doorstromingsbassins*. Water 27, 77-82.
8. Parma, S. (1966). *Hydrobiologisch onderzoek in de Biesbosch*. RIVON-publicatie.
9. Burg, P. van der. Persoonlijke mededelingen.
10. Ruttner, F. (1962). *Grundriss der Limnologie*. Walter de Gruyter & Co., Berlin.
11. Thompson, R. W. S. (1954). *Stratification and overturn in lakes and reservoirs*. Jowit. Inst. Wat. Eng., 8, 19-52.
12. Mortimer, C. H. (1961). *Motion in thermoclines*. Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol., 14, 79-83.
13. Ridley, J. E. (1964). *Thermal stratification and thermocline control in storage reservoirs*. Proc. Soc. Wat. Treatm. Exam., 13, 275-297.
14. Bernhardt, H. (1963). *Erste Ergebnisse über die Belüftungsversuche an der Wahnbachtalsperre*. Jahrbuch „Vom Wasser“, 30, 11.
15. Symons, J. M., Irwin, W. H., Robinson, E. L. and Robeck, G. G. (1967). *Impoundment destratification for raw water quality control using either mechanical or diffused-air pumping*. Jour. AWWA, 59, 1268-1291.
16. Ridley, J. E., Cooley, P. and Steel, J. A. P. (1966). *Control of thermal stratification in Thames Valley reservoirs*. Proc. Soc. Wat. Treatment exam., 15, 225-244.
17. Heusden, G. P. H. van (1947). *De bestrijding van het plankton in de doorstromingsbassins*. Water, 31, 197-202, 207-210.
18. Ridley, J. E. en Steel, J. A. P. Persoonlijke mededelingen.
19. Windle Taylor, E. (1968). *Further studies of thermal stratification in storage reservoirs and some experiences of artificial destratification*. 42nd Report, Chapter 10.
20. Windle Taylor, E. (1966). *Treatment of storage reservoirs with copper sulphate*. 41th Report Chapter V.
21. Monie, W. D. (1957). *Algae control with copper sulphate*. Water Sewage Works, 104, R 198-203.