

Enkele limnologische aspecten van de Biesbosch-Bekkens

1. Inleiding

In april 1973 kwam de eerste fase van het spaarbekkenproject in de Brabantse Biesbosch gereed en werden de bekken Honderd en Dertig en Petrusplaat in gebruik genomen. In afb. 1 zijn naast een situatieschets de belangrijkste gegevens van de twee reservoirs samengevat. Voor een gedetailleerde beschrijving van de achtergrond en functie van het Biesbosch project in het algemeen en de bekken Honderd en Dertig en Petrusplaat in het bijzonder wordt verwezen naar Knoppert 1973. Hier zij slechts vermeld, dat in deze eerste fase van



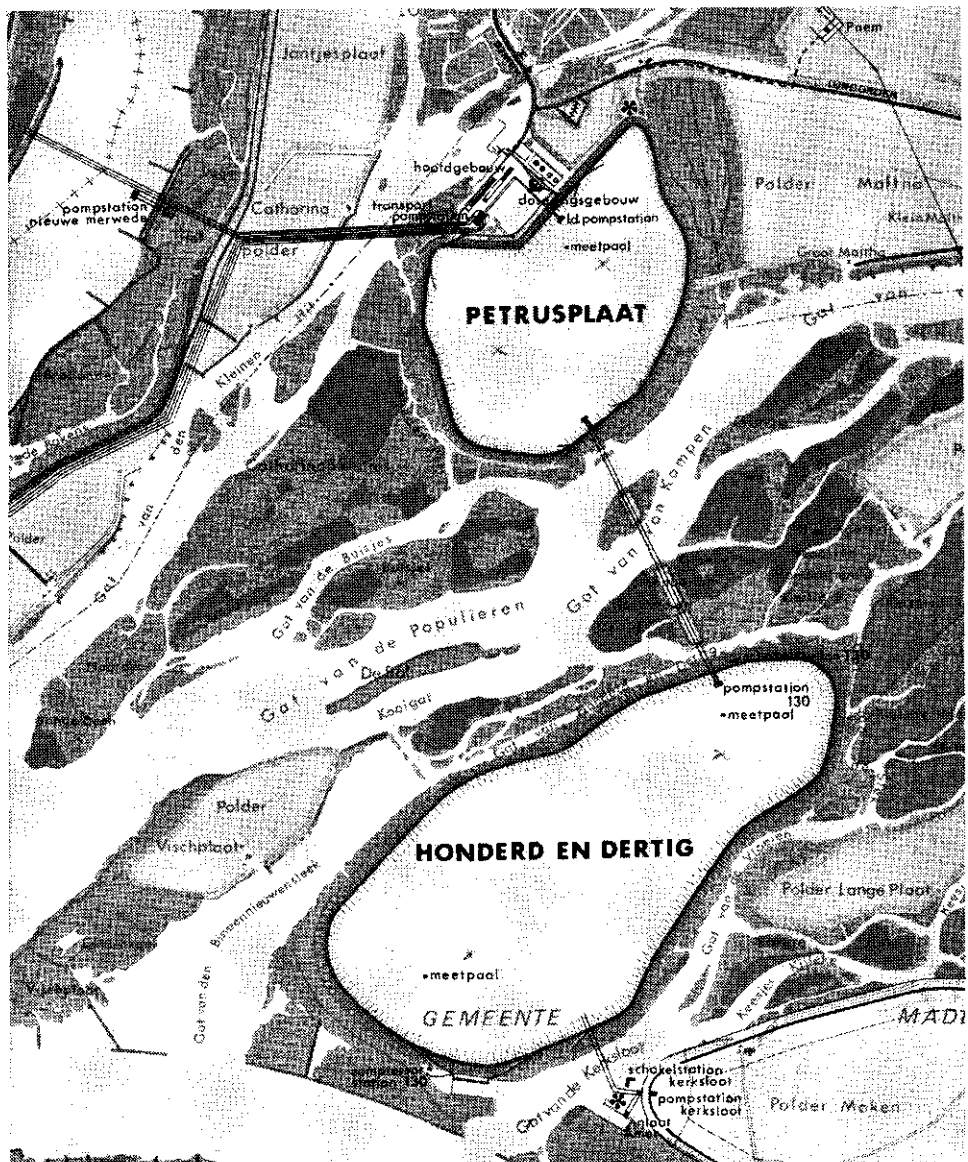
DRS. G. OSKAM
Hoofd Laboratorium
NV Waterwinningsbedrijf
Brabantse Biesbosch

het project het water van de Maas (Amer) door het pompstation Kerkvloot in de Honderd en Dertig wordt gebracht, waarna het via verbindingskokers naar de Petrusplaat stroomt, waar bij de inlaat natronloog wordt gedoseerd voor hardheidscorrectie. De Petrusplaat doet op deze manier tevens dienst als sedimentatiebekken voor het gevormde calciumcarbonaat. Vervolgens ontvangt het water een t.b.v. het transport noodzakelijke (over)chloring, waarna het naar de Rotterdamse productiebedrijven Berenplaat en Honingerdijk wordt verpompt. De Biesbosch bekken onderscheiden zich van de overige tot nu toe in Nederland gerealiseerde reservoirs door hun grote diepte. Op grond van de ervaring van de Metropolitan Water Board te Londen met bekken van gelijke omvang en diepte, kon verwacht worden, dat thermische stratificatie in de bekken op zou treden. Dit zou tengevolge van anaerobie ongewenste gevolgen hebben voor de waterkwaliteit in het hypolimnion (zie Rapport Commissie Limnologie van Spaarbekken 1971). Uitgebreide literatuurstudie (Bernhardt 1963, Ridley et al 1966, Symons et al 1967) en eigen destratificatie proefnemingen in de Maarsseveense Plas nabij Utrecht wezen uit, dat thermische stratificatie afdoende kon worden bestreden door luchtinjectie op de bodem van de bekken (Knoppert et al 1970). Besloten werd een dergelijk systeem in de Biesbosch reservoirs te installeren. Het Maaswater, waarmee de spaarbekken worden gevoed, is organisch sterk verontreinigd met huishoudelijk en in mindere mate met industrieel afvalwater en bevat daarnaast grote hoeveelheden nutriënten. Enerzijds zal bij handhaving van aerobe-

omstandigheden tijdens de opslag een aanzienlijke kwaliteitsverbetering door zelfreinigingsprocessen kunnen optreden (Rook en Oskam 1970), maar anderzijds kan het hypertrofe water van de Maas aanleiding geven tot het optreden van massale algengroei (waterbloei). Bij werkelijk massaal optreden wordt de kwaliteit zeer ongunstig beïnvloed, terwijl ook in de zuivering problemen worden ondervonden. Maatregelen ter beheersing van de algengroei in de bekken konden daarom niet achterwege blijven. Voor de groei van algen zijn 2 factoren van overheersende betekenis: 1. nutriënten, 2. licht. Preventieve beheersing van algengroei zou mogelijk zijn, als één van beide tot beperkende factor kon worden gemaakt. Diepgaand is onderzocht of niet een fosfaatreductie van het instromende water d.m.v. een voorbehandeling, een limitering

van de algengroei zou kunnen bewerkstelligen. Hierbij werd vooral gebruik gemaakt van de criteria van Vollenweider (1968) en Uhlmann (1968) voor de toelaatbare fosforbelasting van een meer of reservoir. Samenvattend luidde de conclusie, dat een fosforelimentering van 98 - 99 % moest worden bereikt, om zeker te zijn, dat niet incidenteel hoge algenconcentraties zouden kunnen optreden. Dit maakte in het geval van de Biesbosch een voorzuivering minder aantrekkelijk, te meer daar zich een andere methode aandeede, om met kans op succes de optredende algengroei binnen aanvaardbare perken te houden. Deze methode berust op turbulente menging over voldoende diepte, waardoor het licht als beperkende factor een rol kan gaan spelen. Op deze wijze heeft het luchtinjectiesysteem een tweeledig doel, nl. het voorkomen van thermische stratificatie met

Afb. 1 - De spaarbekken Honderd en Dertig en Petrusplaat. Honderd en Dertig: opp. 220 ha; inhoud $32 \times 10^6 \text{ m}^3$; max. diepte 27 m. Petrusplaat opp. 105 ha; inhoud $13 \times 10^6 \text{ m}^3$; max. diepte 16 m.



ongewenste anaërobie en het introduceren van voldoende turbulentie voor plankton-beheersing.

In het hierna volgende zal worden ingegaan op de ervaringen, die met de luchtinjectie zijn opgedaan en de invloed daarvan op het thermisch en biologisch gedrag van de bekkens.

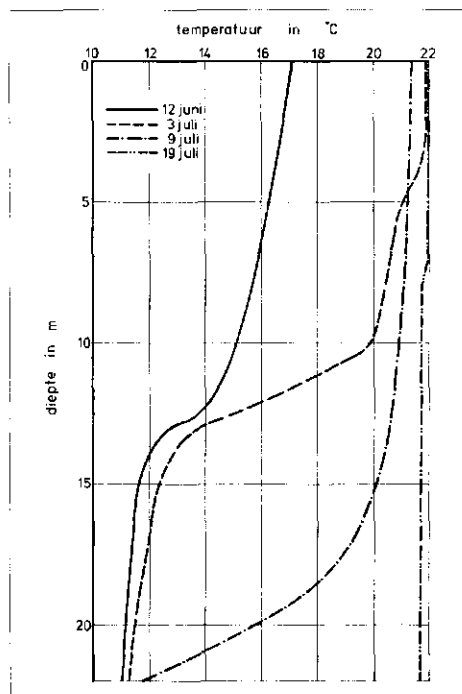
2. De installatie voor luchtinjectie

Uit de proeven in de Maarsseveense Plas was bekend, dat gespreide inbreng van de lucht d.m.v. een geperforeerde leiding een beter resultaat gaf dan een puntinjectie. In verband met de handelbaarheid van de installatie, werd echter toch gekozen voor een systeem met meerdere puntinjecties. Elk 'injectiepunt' bestond uit een frame van 6 bij 1 m, waarop zes Flygt beluchters van poly-ether met een lengte van 1 m waren gemonteerd. Onder gebruikmaking van de regel, dat de invloedssfeer van een luchtinjectie ca. 8 x de diepte bedraagt (Abraham en Van de Burgh 1962), werd aanvankelijk in de Honderd en Dertig een installatie van 10 injectiepunten voorzien, terwijl in de Petrusplaat 5 injectiepunten waren gepland. Door tijdgebrek genoodzaakt moest echter een tijdelijke oplossing worden geïmproviseerd, die voor de Honderd en Dertig drie injectiepunten omvatte (zie voor de ligging afb. 1), nl. één in het ondiepere Noord-Oostelijke deel (diepte 14 m); één in het midden van de lengte-as (diepte 16 m) en één in het diepe Zuid-Westelijke deel (diepte 27 m). Het eerste deel van de installatie, bestaande uit de ondiepe en de diepe injectie kwam gereed in de eerste week van juni (1973), waarna vanaf de tweede week van juni de 'ondiepe' injectie funktioneerde. Door allerlei omstandigheden duurde het echter tot 6 juli voor de 'diepe' injectie inderdaad in werking trad. Vervolgens werd in de tweede helft van juli ook de 'midden' injectie gerealiseerd. Bij de 'diepe' injectie werd een luchtdebiet van 8 m³/min gehanteerd, terwijl de overige twee punten elk met 6 m³/min werkten.

In de Petrusplaat werden i.p.v. vijf voorlopig twee injectiepunten geïnstalleerd (zie afb. 1) op een diepte van ca. 15 m (de bodem van de Petrusplaat is vrijwel vlak). Deze installatie werd op 14 mei in dienst gesteld met een totaal luchtdebiet van 12 m³/min, gelijk verdeeld over beide injectiepunten.

3. Het thermisch gedrag van de bekkens

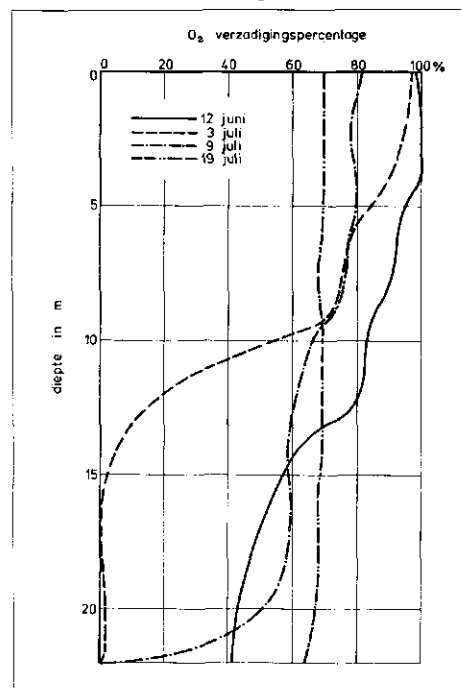
Zoals reeds vermeld werd de 'diepe' luchtinjectie in de Honderd en Dertig pas op 6 juli in werking gesteld: Dit bood een unieke gelegenheid, het ontstaan van een temperatuurgelaagdheid te volgen en de



Afb. 2 - Temperatuur spaarbekken Honderd en Dertig.

efficiëntie van het luchtbellensysteem in de verstoring daarvan te testen. Op 14 mei was de gehele waterkolom nog isotherm bij een temperatuur van 11 °C. Vanaf dat moment begonnen zich in de bovenlagen temperatuurgradiënten te ontwikkelen, die op 12 juni waren uitgemond in een duidelijke gelaagdheid (zie afb. 2). In de daarop volgende weken ontwikkelde zich onder

Afb. 3 - Zuurstofverzadigingspercentage spaarbekken Honderd en Dertig.



invloed van de toen heersende hittegolf een schoolvoorbeeld van thermische stratificatie, waarbij de spronglaag een temperatuurgradiënt van bijna 2 °C/m vertoonde (curve 3 juli van afb. 2). Het starten van de diepe luchtinjectie op 6 juli had een frappant resultaat; reeds na 3 dagen was de spronglaag ca. 7 m gezakt en lag met zijn ondergrens nabij de bodem. In de daarop volgende dagen werden de temperatuurgradiënten in het diepste water verder genivelleerd, resulterend in een isotherme situatie op 19 juli, nauwelijks twee weken na de start van de luchtinjectie. Gedurende de verdere zomer bleef de Honderd en Dertig vrijwel isotherm, met (tijdelijke) temperatuurverschillen tussen oppervlak en bodem van 1 à 2 °C (overdag gemeten) tijdens de hittegolven in augustus.

Zoals te verwachten viel had de thermische stratificatie invloed op de zuurstofhouding. Afb. 3 laat zien, dat er een zeer grote paralleliteit bestond tussen het temperatuurprofiel en de zuurstofverzadiging. Na de tot standkoming van de initiële gelaagdheid (12 juni), vertoonde de zuurstofverzadiging weliswaar reeds een gradiënt op dezelfde diepte als de spronglaag, maar het zuurstofniveau van de bodem bedroeg nog 40 %. In de daarop volgende weken daalde de zuurstof in de onderste lagen snel, totdat op 3 juli het gehele hypolimnion vrijwel anaëroob was geworden. Deze periode van zuurstofarmoede heeft echter zo kort geduurd, dat van een beïnvloeding in ongunstige zin van de waterkwaliteit nog geen sprake was. (Hierbij moet bedacht worden, dat de beschreven verschijnselen zich afspeelden in het diepe Z.W. deel, terwijl in het ondiepere N.O. deel, waar de onttrekking naar de Petrusplaat plaatsvindt, van zuurstofarmoede geen sprake was).

Tijdens de destratificatieperiode conformeerde het zuurstofprofiel geheel aan het temperatuurverloop over de diepte, eveneens resulterend in een uniform percentage van 67 - 70 % op 19 juli. Gedurende het verdere zomerseizoen waren de zuurstofgehalten van de Honderd en Dertig bevredigend. Incidenteel werden nog verschillen tussen oppervlak en bodem gevonden. Het laagste aan de bodem geregistreerde zuurstofgehalte bedroeg 3,8 mg/l, overeenkomende met ruim 40 % verzadiging.

De luchtinjectie in de Petrusplaat werd in dienst gesteld op 14 mei, toen de gehele waterschijf door natuurlijke oorzaken nog isotherm was bij 11 °C. Tijdens de opwarmingsperiode gedurende mei-juni bleven de temperatuurverschillen tussen bodem en oppervlak tot minder dan 1 °C beperkt. Gedurende de hittegolven van juli en begin augustus werden temperatuurverschillen tot 1,5 °C geconstateerd, waarbij overigens

de grootste Δt (tot ca. 1 °C) in de bovenste 2 m werd gevonden. Vanaf half augustus werden geen temperatuurverschillen van enige betekenis meer waargenomen.

In overeenstemming met het vrijwel isotherme karakter van de Petrusplaat, waren de verschillen in zuurstofgehalte tussen oppervlakte- en bodemwater minimaal. Het minimumverzadigingspercentage, dat in 1973 aan de bodem werd gemeten, bedroeg 80 %.

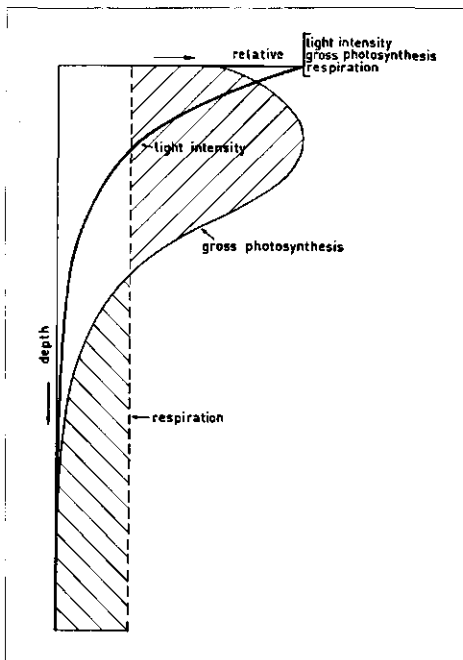
Op grond van deze resultaten werd besloten de definitieve installatie in de Honderd en Dertig uit te voeren met drie injectiepunten met een totaal luchtdebiet van 24 m³/min. De installatie in de Petrusplaat werd uitgebreid met één injectiepunt op de verbindingsslijn inlaat - uitlaat met het oog op onderbreking van eventuele directe kortsluitstromingen. Het luchtdebiet bedraagt totaal 12 m³/min.

4. Beheersing van de algengroei

Publikaties over de ervaringen bij destratificatie-experimenten in bekkens in de VS, Duitsland en Engeland door resp. Robinson et al (1969), Bernhardt (1967) en Windle Taylor (1968) toonden aan, dat in bepaalde gevallen een beperking van de algengroei als neveneffect van de menging optrad.

Een met de destratificatie gepaard gaande verdieping van de mengzone zou de oorzaak kunnen zijn. Op grond van hun ervaringen met het continu mengen van het Queen Elizabeth II reservoir hebben Ridley en Steel van de Metropolitan Water Board de gedachte gelanceerd, dat kunstmatige turbulentie over voldoende diepte als een zinvolle en goedkope methode van planktonbeheersing beschouwd kon worden, mits de optische eigenschappen van het spaarbekkenwater hiervoor geschikt zijn. De algengroei in bovengenoemd spaarbekken is veel minder dan in de overige Londense spaarbekken. In een rapport aan de OESO vermeld Windle Taylor (1969), dat de zuiveringskosten van dit water 40 % lager liggen dan voor de andere reservoirs. Dit praktijkvoorbeeld onder vergelijkbare omstandigheden gaf aanleiding tot de veronderstelling, dat turbulente menging ook voor de Biesbosch spaarbekken tot beperking van de algengroei kon leiden.

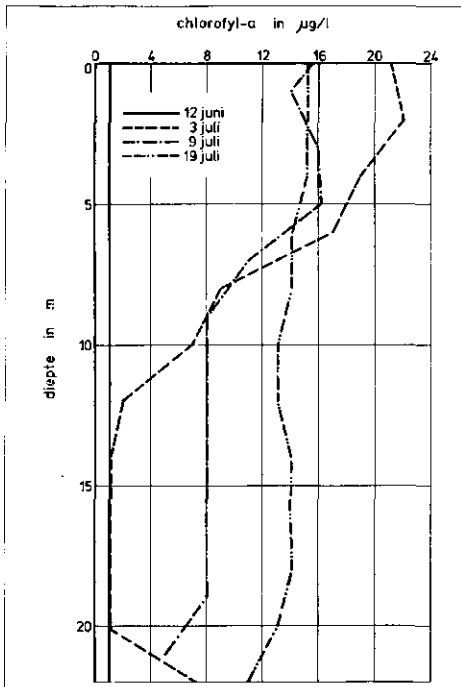
Het verband tussen natuurlijke turbulentie en de groei van fytoplankton stamt uit de oceanografie. Sverdrup (1953) was de eerste, die dit verband in een kwantitatief model vastlegde. Hij deed dit door de groei van fytoplankton te beschouwen als de balans van bruto fotosynthese en ademhaling. Het principe van de hierbij gevolgde gedachtengang is weergegeven in afb. 4, waarin een karakteristiek fotosyntheseprofiel over de diepte is gegeven.



Afb. 4 - Bruto fotosynthese en ademhaling als functie van lichtindringing en diepte.

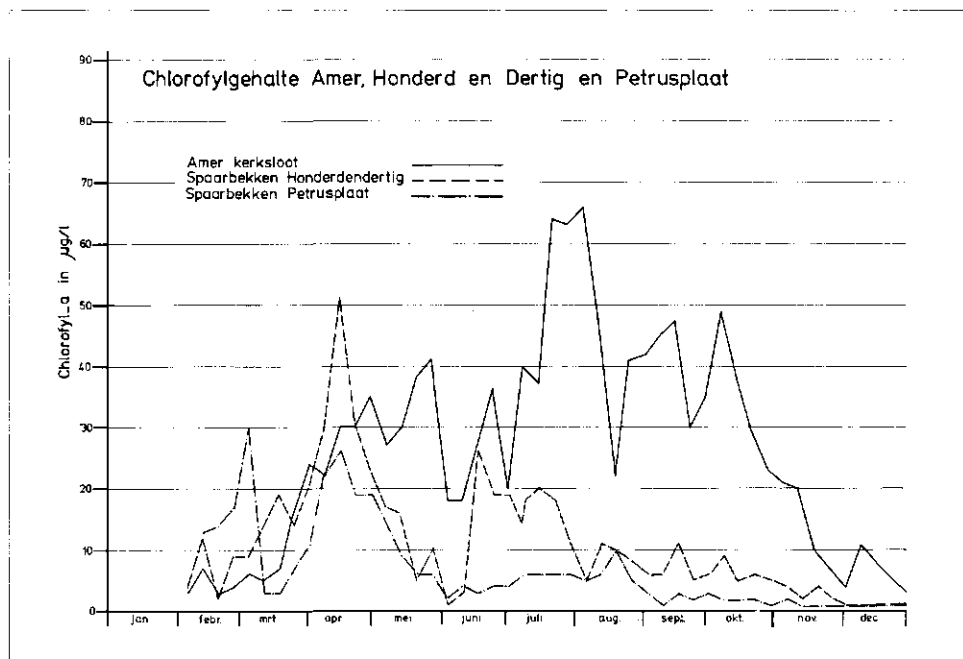
Voor een uniform verdeelde algengroei kan de ademhaling als constant en min of meer onafhankelijk van de diepte beschouwd worden. Groei vindt nu alleen plaats als de integrale bruto fotosynthese de integrale ademhaling overtreft. Dit is slechts mogelijk als de diepte, waarover homogeen gemengd wordt, kleiner is dan de kritische diepte, m.a.w. het energiebudget van een algengroei zal negatief zijn bij overschrijding van een bepaalde mengdiepte. Een essentiële voorwaarde voor planktonbe-

Afb. 5 - Chlorofylgehalte spaarbekken Honderd en Dertig.



heersing volgens dit principe is in de eerste plaats een homogene verdeling van de algen over de gehele waterkolom. Het hangt dan af van de verhouding van de donkere en lichte zone, of het licht inderdaad als limiterende faktor optreedt. Op grond van modelbeschouwingen kan berekend worden, dat voor opgeslagen Maas- en Rijnwater een aanzienlijke beperking van de algengroei kan worden bereikt bij diepten van 15 - 20 m. (Rapport CLS 1971, Oskam 1973). Tevens kan berekend worden, dat bij die diepte afhankelijk van de klimatologische omstandigheden een maximale biomassa verwacht kan worden, die uitgedrukt als chlorofyl 20 - 40 µg/l bedraagt. Dit is laag in vergelijking tot de theoretisch te verwachten en in de praktijk ook gevonden maximale niveaus van 100 - 200 µg/l in ondiepe meren of bekkens van ca. 5 m diepte.

In de praktijk bleek het effect van de circulatie van het water op de algengroei frappant te zijn, zoals blijkt uit de afb. 5 en 6. In april en juni trad in de Honderd en Dertig een niet onbelangrijke algengroei op, die bij afwezigheid van voldoende menging zich vooral in de bovenlaag kon ontwikkelen. Uit afb. 5 is af te lezen, dat tijdens de stratificatieperiode de algen groeiden in het zich vormende epilimnion, zodat het chlorofylpatroon op 3 juli nagenoeg parallel liep met het temperatuurprofiel (afb. 2). De luchtinjectie had reeds na drie dagen een gedeeltelijke nivellering teweeggebracht en resulteerde uiteindelijk in vrijwel volledige homogenisering van de algengroei over de diepte op 19 juli, toen het water ook volledig isotherm was. Uit afb. 6 blijkt, dat het chlorofylniveau daalde tot 10 µg/l of minder gedurende de rest van het jaar, ondanks de vaak hoge algengroei in het ingepompte rivierwater. In de Petrusplaat daalde het chlorofylgehalte reeds in mei beneden 10 µg/l (toen ook de luchtinjectie in werking trad) en handhaafde zich verder op een zeer laag niveau. De conclusie kan getrokken worden, dat in de Biesbosch bekkens de ademhaling van de algen overheerste t.o.v. hun fotosynthese, waardoor in de bekkens i.p.v. een vermeerdering een belangrijke vermindering in de algengroei optrad vergeleken met de Amer. De gemiddelde chlorofylgehalten in het groeiseizoen (april t/m oktober) bedroegen voor de Amer, Honderd en Dertig en Petrusplaat resp. 36, 14 en 7 µg/l. Voor het jaar 1974 kan reeds vermeld worden, dat t/m juli het algengroei patroon in beide bekkens identiek was aan 1973, d.w.z. een voorjaarsopbloei in april op een chlorofylniveau van 20 - 30 µg/l, waarna vanaf begin mei het chlorofylgehalte daalde tot 10 µg/l of minder.



Afb. 6 - Chlorofylgehalte Amer, Honderd en Dertig en Petrusplaat.

De opvatting van Golterman (1973) dat het systeem van turbulente menging een verhoging van de fotosynthese zou bewerkstelligen, is niet bewaarheid. Integendeel, de resultaten tot nu toe wijzen er op, dat turbulentie over voldoende diepte een zeer efficiënte en tevens goedkope methode is, om in diepe bekkens algengroei binnen zeer redelijke perken te houden. Dit spreekt des te meer, als bedacht wordt dat de luchtinjectiesystemen voor beide bekkens met een totaal geïnstalleerd vermogen van 180 kW (3 compressors van elk 60 kW) toch noodzakelijk zijn voor het opheffen van thermische stratificatie.

In een volgend artikel zal nader worden ingegaan op algemene kwaliteitsaspecten van de opslag van Maaswater in de Biesbosch bekkens.

Literatuur

1. Knoppert, P. L. (1973), 'Het Spaarbekken-project Brabantse Biesbosch', *H₂O*, 6, p. 31.
2. Rapport van de Commissie Limnologie van Spaarbekken (1971), uitgegeven door KIWA/RID.
3. Bernhardt, H. (1963), 'Erste Ergebnisse über die Belüftungsversuche an der Wahnachtalsperre', *Jahrbuch 'Vom Wasser'*, 30, p. 11.
4. Ridley, J. E., Cooley, P., and Steel, J. A. P. (1966), 'Control of Thermal Stratification in Thames Valley Reservoirs', *Proc. Soc. Wat. Treatm. Exam.*, 15, p. 225.
5. 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, p. 1268.
6. Knoppert, P. L., Rook, J. J., Hofker, Tj. and Oskam, G. (1970), 'Destratification Experiments at Rotterdam', *Jour. AWWA*, 62, p. 448.
7. Rook, J. J. and Oskam, G. (1970), 'Biological and Chemical Aspects of Rhine Water in the Berenplaat Reservoir', *Jour. AWWA*, 62, p. 249.
8. Vollenweider, R. A. (1968), 'Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication', OECD Report, DAS/CSI/68.27.
9. Uhlmann, D. (1968), 'Der Einfluss der Verweilzeit des Wassers auf die Massenentwicklung von Planktonalgen', *Fortschritte der Wasserchemie und ihrer Grenzgebiete*, 8, p. 32.
10. Abraham, G. and Burgh, P. v. d. (1962), 'Reduction of Salt Water Intrusion through Locks by Pneumatic Barrier', *Waterloopk. Lab., Publicatie nr. 28*.
11. Robinson, E. L., Irwin, W. H. and Symons, J. M. (1969), 'Influence of Artificial Destratification on Plankton Populations in Impoundments', *Trans. Kent. Acad. Sci.*, 30, p. 1.
12. Bernhardt, H. (1967), 'Aeration of Wahnbach Reservoir without changing the Temperature Profile', *Jour. AWWA*, 59, p. 943.
13. Windle Taylor, E. (1968), 'Further Studies on Thermal Stratification in Storage Reservoirs, and some Experiences of Artificial Destratification', in: Report on the Results of the Bacteriological, Chemical and Biological Examination of the London Waters for the Years 1965-1966, 42, p. 96.
14. Sverdrup, H. U. (1953), 'On Conditions for the Vernal Blooming of Phytoplankton', *Jour. Cons. Explor. Mer*, 18, p. 287.
15. Oskam, G. (1973), 'A Kinetic Model of Phytoplankton Growth and its Use in Algal Control by Reservoir Mixing', in: *Man-Made Lakes, Their Problems and Environmental Effects*, Geophysical Monograph Series, 17, p. 629.
16. Golterman, H. L. (1973), 'De Invloed van Fosfaat op het Aquatisch Milieu', *H₂O*, 6, p. 401.