

Selectieve inname van water in de Biesbosch-bekkens op grond van het ammoniumgehalte

1. Inleiding

Begin 1980 is het derde en voorlopig laatste Biesbosch-bekken, De Gijster, in gebruik genomen. De twee andere bekken, de Petrusplaat en de Honderd en Dertig zijn reeds sinds 1973 in gebruik. De drie bekken, tesamen met het eventuele toekomstige vierde bekken de Zuiderklip, zijn aangegeven in afb. 1.

De bekken worden gevoed met Maaswater, dat m.b.v. het pompstation Kerkslot vanuit de Amer zowel in het bekken Honderd en Dertig als het bekken De



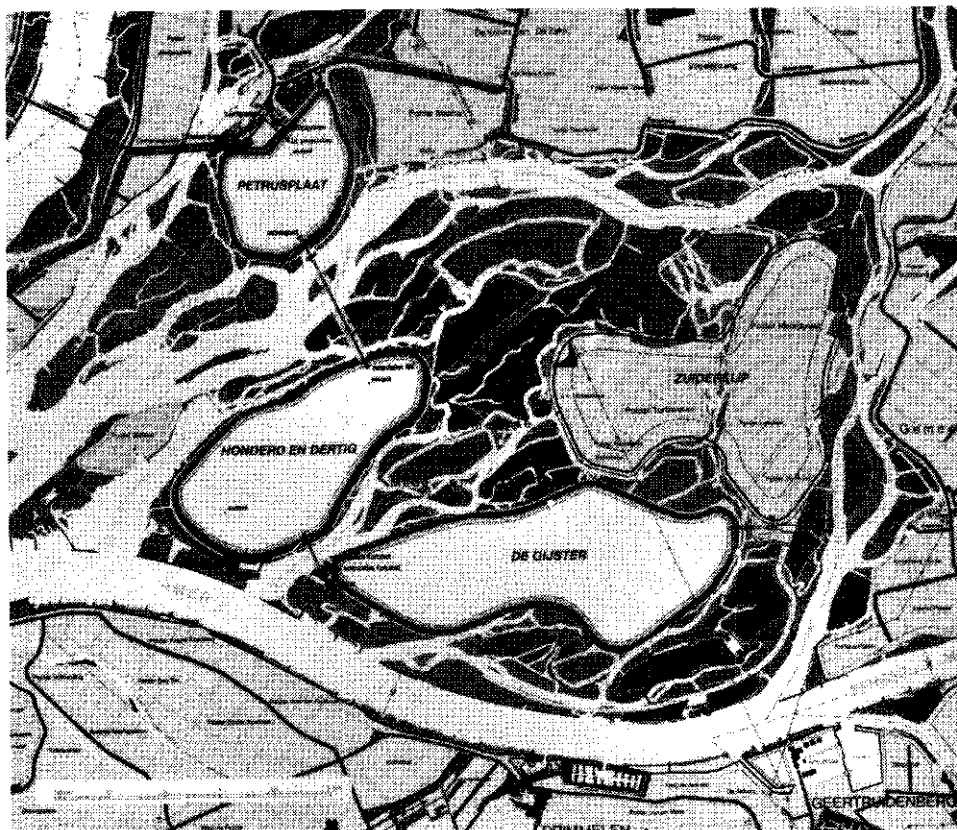
IR. E. R. SOCZÓ
NV Waterwinningbedrijf
Brabantse Biesbosch

Gijster kan worden gepompt. Sedert de ingebruikneming van De Gijster wordt het Maaswater in dit laatste bekken gepompt en stroomt vervolgens via de Honderd en Dertig naar de Petrusplaat. Vanuit de Petrusplaat wordt het water naar het hogedruk pompstation gevoerd dat voor transport naar de afnemers, op dit moment nog de Drinkwaterleiding Rotterdam en de NV Waterleidingmaatschappij Noord-West-Brabant zorgt. In de toekomst zal ook water aan de NV Watermaatschappij Zuid-West-Nederland en mogelijk nog meerdere afnemers worden geleverd.

De hoofdfunctie van het bekken De Gijster is voorraadbekken. In tijden van geringe Maasafvoer, resp. bij een calamiteit op de Maas of t.b.v. selectieve inname kan de inname worden gestaakt, waarna door niveaudaling de in De Gijster aanwezige aanzienlijke voorraad kan worden aangesproken.

De hoofdfunctie van de bekken Honderd en Dertig en Petrusplaat is procesbekken. Het niveau van deze bekken wordt binnen vrij nauwe marges gehouden waardoor altijd een zeker volume, en daarmee een zekere verblijftijd, beschikbaar is. Dit volume verzekert een aanzienlijke kwaliteitsverbetering door afvlakking en zelfreiniging.

Reeds in een vroegtijdig stadium is de mogelijkheid onderkend om de in De Gijster beschikbare voorraad t.b.v. selectieve inname te gebruiken. Het principe van selectieve inname houdt in, dat in tijden van slechte waterkwaliteit de inname wordt gestaakt terwijl bij goede waterkwaliteit juist veel water wordt ingenomen. Hierdoor zal de gemiddelde kwaliteit van het over een jaar ingenomen water beter zijn dan



Afb. 1 - Het Biesbosch-bekken systeem.

de gemiddelde kwaliteit van het rivierwater.

Selectieve inname bleek zinvol voor met name ammonium [1]. In de winterperiode loopt het ammoniumgehalte in de Maas als gevolg van het door de lage temperatuur gereduceerde nitrificerende vermogen tot meer dan 2 mg/l op. Omdat dan ook het nitrificerende vermogen van de bekken sterk is teruggelopen, kon het ammoniumgehalte in het afgeleverde ruw water vóór de ingebruikneming van De Gijster tot 0,5 - 0,9 mg/l toenemen. Aangezien in de winter in een biologisch actief drinkwaterproductiebedrijf slechts enkele tienden mg/l ammonium kunnen worden afgebroken betekende dit dat toepassing van een i.v.m. de vorming van trihalomethanen ongewenste breekpuntchloring noodzakelijk was. Met het oog op de ingebruikneming van De Gijster en de hierboven gesignaleerde problemen met ammonium werd besloten de mogelijkheden van selectieve inname nader te bestuderen. Gezien de vrij complexe situatie met drie achter elkaar geschakelde bekken, bleek het hiertoe noodzakelijk om een wiskundig (computer-) model van de ammoniumafname in de bekken op te zetten. Om tot dit model te komen diende eerst een nauwkeurig inzicht te worden verkregen in het menggedrag van de bekken. Dit werd onderzocht m.b.v. het chloridegehalte, als conservatieve parameter. Vervolgens werd het wiskundig

model van de ammoniumafname opgesteld. De coëfficiënten van dit model werden op grond van de beschikbare meerjarige meetgegevens voor de bekken Honderd en Dertig en Petrusplaat bepaald.

Nadat het model zijn waarde had bewezen, werd met behulp hiervan de noodzaak tot het voeren van een selectief innamebeleid, ook na het beschikbaar komen van De Gijster, aangetoond en werden richtlijnen voor het vaststellen van een selectief innamebeleid uitgewerkt [2].

2. Onderzoek naar het menggedrag van de bekken

2.1. Aannamen t.a.v. het menggedrag van de bekken Petrusplaat en Honderd en Dertig

Een belangrijke randvoorwaarde voor de opzet van het model t.b.v. de ammoniumafname was of de bekken al dan niet als ideaal gemengde reactoren mogen worden benaderd.

Op grond van de in de loop van de jaren verkregen meetresultaten en de opgedane ervaring bestond de indruk dat de Petrusplaat en de Honderd en Dertig zeer goed gemengd zijn. De meetresultaten per bekken op de verschillende meetpunten en bij de verschillende diepten vertonen namelijk over het gehele jaar een goede overeenkomst.

Deze goede menging wordt in hoofdzaak

via luchtinjecties t.b.v. destratificatie en door de wind bereikt. In de warme periode zijn de luchtinjecties voor de menging zeer effectief, hetgeen blijkt uit de volledige destratificatie [3] en in de koude periode, wanneer de luchtinjecties zijn stopgezet (er zijn dan namelijk nauwelijks dichtheidsverschillen), speelt de wind een grote rol. Door de goede menging en door de gunstige ligging van de in- en uitlaatpunten (diametraal tegenover elkaar) wordt het ontstaan van kortsluitingen belemmerd waardoor de concentraties van de verschillende stoffen in het afgeleverde water goed overeenkomen met de concentraties in het bekkenwater.

Gezien de bovenstaande ervaring werd besloten de Petrusplaat en de Honderd en Dertig als ideaal gemengde reactoren modelmatig te beschrijven. Om de juistheid van de aanname van ideale menging te controleren werd vervolgens de overeenkomst tussen de m.b.v. dit mengmodel berekende concentraties en de in de werkelijkheid gemeten concentraties nauwkeurig onderzocht. Omdat t.a.v. het volledig gemengd zijn van de Honderd en Dertig meer twijfels bestonden dan bij de Petrusplaat werd besloten om het hydraulisch gedrag van dit bekken eveneens door twee achter elkaar geschakelde volledig gemengde reactoren te benaderen om een eventueel gedeeltelijk propstroomkarakter te kunnen onderzoeken.

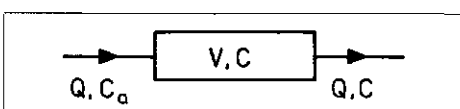
2.2. Onderzoek naar het menggedrag van de bekkens Petrusplaat en Honderd en Dertig

Als parameter voor de controle van het mengmodel werd chloride gekozen. De concentratievariëaties van deze parameter zijn namelijk voldoende groot om concentratieveranderingen duidelijk te kunnen onderscheiden. Verder is chloride een conservatieve stof zodat concentratieveranderingen uitsluitend aan de afvlakkende werking van het bekken kunnen worden toegeschreven.

Voor de berekening van de verandering van de chlorideconcentratie in de bekkens werd van de in [4] beschreven wiskundige formulering gebruik gemaakt. Hierbij wordt in het bekken volledige menging verondersteld. (zie afb. 2).

De toepassing van de continuïteitsvergelijking op de hoeveelheid beschouwde stof in het bekken geeft:

Afb. 2 - Geschematiseerd volledig gemengd bekken.



$$Q \cdot dt \cdot C_a = Q \cdot dt \cdot C + V \cdot dC$$

toevoer = afvoer + berging

waarin:

Q — debiet (m³/dag)

C_a — chlorideconcentratie in de toevoer (mg/l)

C — chlorideconcentratie in het bekken en in de afvoer (mg/l)

V — bekkeninhoud (m³)

De concentratie-verandering in het bekken met als gemiddelde verblijftijd $T = V/Q$ is af te leiden uit:

$$\frac{dC}{dT} = \frac{1}{T} \cdot C_a - \frac{1}{T} \cdot C \quad (2)$$

De oplossing van deze lineaire differentiaalvergelijking van de eerste orde is:

$$C = C_a \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right\} + A \cdot \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \quad (3)$$

waarin de integratie constante A uit de randvoorwaarden kan worden bepaald. Deze oplossing geldt alleen als C_a constant is. Aangezien dit niet het geval is, is gewerkt met kleine intervallen waarin C_a wel als constant mag worden beschouwd. De chlorideconcentratie C_a in de toevoer is op grond van de meerjarige meetgegevens bekend.

De berekeningen werden over de jaren 1976, 1977 en 1978 verricht. Van deze jaren, waarbij een heel droog jaar (1976) door twee normale jaren is gevolgd, mocht een representatief beeld van de mengsituatie in de bekkens worden verwacht. De berekeningen voor de twee bekkens werden apart uitgevoerd waarbij m.b.t. het menggedrag van de bekkens de volgende aan-

(1) namen werden gedaan:

Aanname 1 - De Petrusplaat en de Honderd en Dertig gedragen zich elk als volledig gemengde bekkens.

Aanname 2 - De Honderd en Dertig gedraagt zich als twee achter elkaar geschakelde volledig gemengde bekkens, waarbij de inhoud als volgt over deze bekkens verdeeld wordt gedacht:

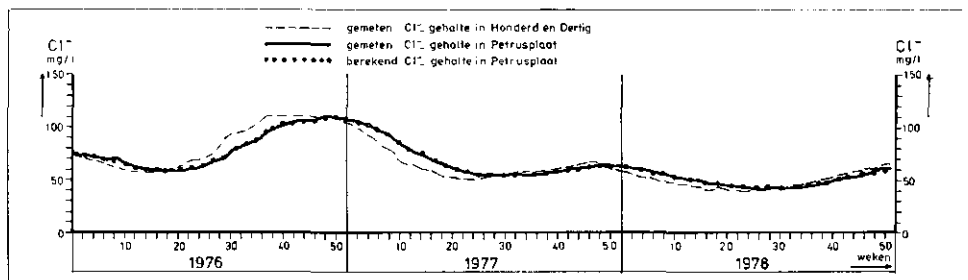
$$V_1 = V_2 = \frac{1}{2} V$$

$$V_1 = \frac{1}{3} V \text{ en } V_2 = \frac{2}{3} V$$

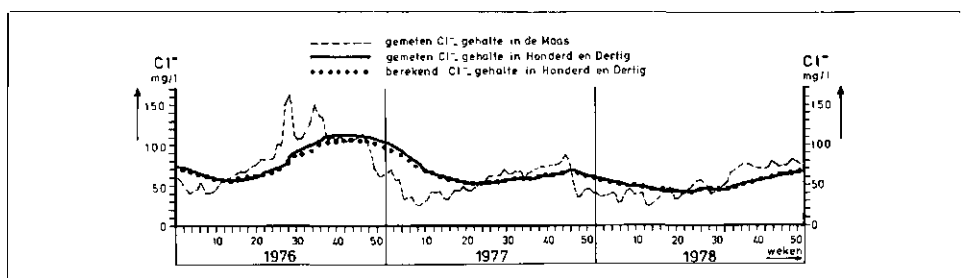
$$V_1 = \frac{2}{3} V \text{ en } V_2 = \frac{1}{3} V$$

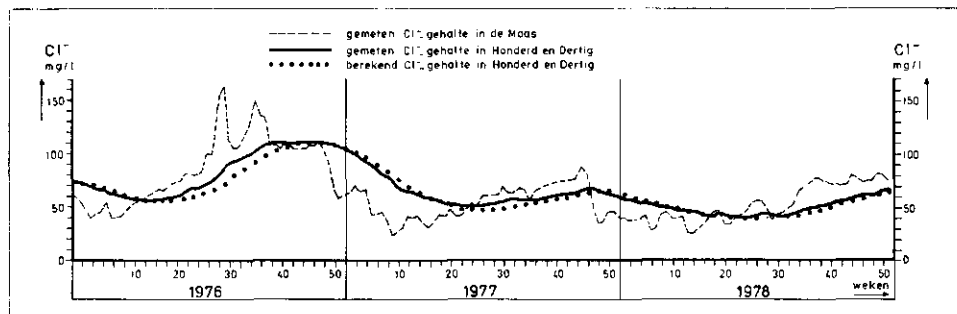
De berekeningen werden in alle gevallen volgens vergelijking (3) m.b.v. een computer verricht. De resultaten van de berekeningen tesamen met de werkelijk gemeten concentraties zijn in afb. 3, 4 en 5 uitgezet. Zoals blijkt uit afb. 3 komen de gemeten concentraties in de Petrusplaat in alle beschouwde jaren volledig met de berekende concentraties overeen. Dit betekent dat de Petrusplaat zich inderdaad als een ideale menger gedraagt. De Honderd en Dertig geeft eenzelfde beeld te zien, m.u.v. een periode in de tweede helft van 1976 en begin 1977, waar betrekkelijk geringe afwijkingen optreden (zie afb. 4). Berekeningen volgens aanname 2, waarbij de Honderd en Dertig wordt benaderd als twee achter elkaar geschakelde volledig gemengde bekkens laten, zoals blijkt uit afb. 5, geen verbetering, doch duidelijk een verslechtering zien. In deze afb. zijn overigens alleen de berekeningsresultaten voor het geval $V_1 = V_2 = \frac{1}{2} V$ gegeven. De berekeningsresultaten voor beide andere gevallen zijn vrijwel gelijk.

Afb. 3 - Het gemeten en berekende chloridegehalte in de Petrusplaat bij een volledig gemengd bekken.

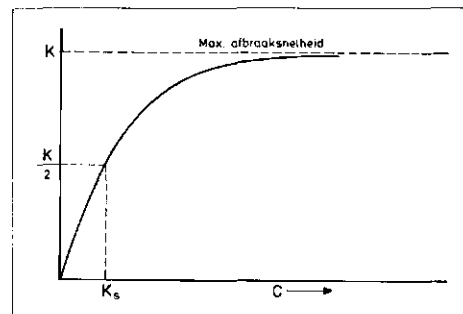


Afb. 4 - Het gemeten en berekende chloridegehalte in de Honderd en Dertig bij een volledig gemengd bekken.





Afb. 5 - Het gemeten en berekende chloridegehalte in de Honderd en Dertig waarbij het bekken als twee achter elkaar geschakelde volledig gemengde bekkens worden beschouwd.



Afb. 6 - Fysische achtergrond van de K_s-waarde.

2.3. Aannamen t.a.v. het menggedrag van De Gijster

T.a.v. het menggedrag van De Gijster dienden door gebrek aan meetgegevens ten tijde van het onderzoek bepaalde aannamen te worden gedaan.

Het was op de voorhand niet aannemelijk dat dit bekken zich in zijn geheel als een volledig mengbekken zou gedragen. De inhoud van het bekken alsmede de diepte komen ongeveer overeen met de Honderd en Dertig. Er zijn echter twee aspecten die de volledige menging ongunstig zouden kunnen beïnvloeden, namelijk:

- de grote, uitgerekte oppervlakte van het bekken waardoor het in het westelijk gedeelte ingelaten water zich mogelijk moeilijker met het water in het oostelijk gedeelte van het bekken kan mengen;
- de ongunstige ligging van de in- en uitlaatpunten (de toevoer en de onttrekking gebeurt op dezelfde plaats maar op verschillende diepten) waardoor kans op kortsluiting aanwezig is.

Hoe groot de invloed van deze twee aspecten op de volledige menging is was niet te voorspellen. Om toch een inzicht te krijgen in het effect van het niet over de gehele bekkeninhoud mengen van het ingenomen water werd besloten om in eerste instantie bij de berekeningen van twee gevallen uit te gaan en wel:

- volledige menging in het tweede deel van het bekken;
 - volledige menging in het gehele bekken.
- Op grond van de meetresultaten in de periode november 1979 tot op heden is wat meer zekerheid t.a.v. het menggedrag van De Gijster verkregen. Deze meetresultaten wijzen op een zeer goede menging over het gehele bekken.

3. Onderzoek naar de afname van ammonium in de bekkens

3.1. Modelmatige benadering van de ammoniumafname

Voor het opstellen van een selectief innamebeleid voor ammonium is het noodzakelijk

het mechanisme van de ammoniumafname in de bekkens te kennen. Op grond van de ervaring met de bestaande twee bekkens was af te leiden dat ammoniumafname ten gevolge van afvlakking, afbraak en algenactiviteit plaatsvindt.

Afvlakking - treedt ten gevolge van de egaliserende werking van de in de bekkens aanwezige grote watermassa op. De wiskundige beschrijving hiervan wordt gegeven door betrekking (1).

Afbraak - wordt door de nitrificerende bacteriën Nitrosomonas en Nitrobacter, die het ammonium tot nitriet resp. nitraat oxideren, verwezenlijkt. Een nauwkeurige beschrijving hiervan wordt door het ontbreken van een eenduidig inzicht bemoeilijkt. Uit de bestaande literatuur is af te leiden dat er nog duidelijk meningsverschillen t.a.v. de orde van het afbraakproces en de grootte van de afbraakcoëfficiënt bestaan [5, 6, 7, 8, 9, 10 en 11]. Voor de beschrijving van de afbraak in de Biesbosch-bekken werd van de Michaelis Menten relatie gebruik gemaakt. Deze relatie kan als volgt worden beschreven:

$$\frac{dC}{dt} = K \cdot X \cdot \frac{C}{K_s + C} \quad (4)$$

- C — ammonium-concentratie (mg/l)
- X — concentratie van de micro-organismen (mg/l)
- K — ammoniumafbraaksnelheid per gewichtseenheid micro-organismen $\left(\frac{\text{mg NH}_4^+}{\text{mg micro-org. dag}} \right)$

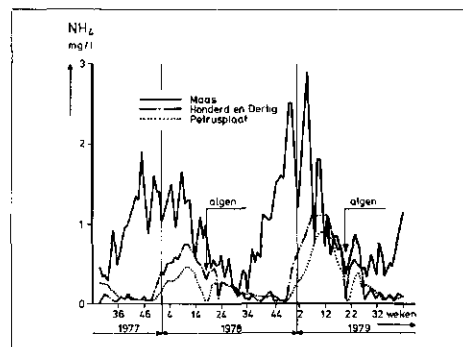
K_s — halfverzadigingsconstante, d.w.z. de ammoniumconcentratie bij de helft van de maximale afbraaksnelheid (zie afb. 6)

Bij deze wiskundige beschrijving ligt de orde van het afbraakproces niet vast. Als C veel groter is dan K_s vallen de C-waarden in de teller en noemer namelijk tegen elkaar weg en benadert de relatie de 0^o-orde. Is C daarentegen veel kleiner dan K_s, dan wordt het effect van de C-waarde in de noemer zeer gering en benadert de relatie de 1^o-orde. Hierdoor is deze relatie

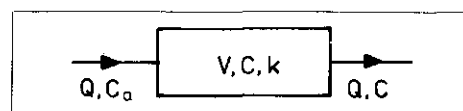
uiterst geschikt voor het beschrijven van het afbraakproces in geval van variërende ammoniumconcentraties. Een probleem hierbij is wel het ontbreken van meetgegevens over het aantal nitrificerende bacteriën. Het werd aanvaardbaar geacht de term K · X door k te vervangen (k wordt verder afbraakcoëfficiënt genoemd), aangezien het werken met deze k-waarde in een eenduidig bepaald systeem als de Biesbosch-bekken voldoende houvast bleek te geven voor het uitwerken van richtlijnen voor een selectief innamebeleid.

Algenactiviteit - Algen gebruiken voor hun metabolisme o.a. ammonium. Een noemenswaardige algengroei treedt in de bekkens alleen in april - begin mei op, hetgeen in een duidelijke afname van het ammoniumgehalte resulteert. (Zie afb. 7). Deze afname in het ammoniumgehalte wordt echter snel door een toename gevolgd t.g.v. het weggrazen van de algen door het zoöplankton. Aangezien deze twee effecten elkaar ongeveer opheffen en een relatief korte duur hebben werd de algenactiviteit bij de modelmatige benadering buiten beschouwing gelaten.

Afb. 7 - Het gemeten ammoniumgehalte in de Maas, Honderd en Dertig en Petrusplaat.



Afb. 8 - Geschematiseerd volledig mengbekken met afbraak.



Op grond van de voorgaand beschreven mechanismen kan nu de volgende betrekking worden opgesteld: (zie afb. 8)

$$V \cdot dC = Q \cdot dt \cdot C_a - Q \cdot dt \cdot C - \frac{k \cdot C}{K_s + C} \cdot V \cdot dt \quad (5)$$

berging = toevoer - afvoer - afbraak
waarin:

Q — debiet (m³/dag)
C_a — ammoniumconcentratie in de toevoer (mg/l)
C — ammoniumconcentratie in het bekken resp. in de afvoer (mg/l)
k — afbraakcoëfficiënt (mg/l/dag)
K_s — halfverzadigingsconstante (mg/l)
V — bekkeninhoud (m³)

De verandering van de ammoniumconcentratie in het bekken is met de gemiddelde verblijftijd T = V/Q als volgt:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{1}{T} \cdot C_a - \frac{1}{T} \cdot C - \frac{k \cdot C}{K_s + C} \quad (6)$$

Deze differentiaalvergelijking kan alleen numeriek worden opgelost. Het bovenstaande model t.b.v. de ammoniumafname maakt het in principe mogelijk om voorspellingen t.a.v. het verloop van het ammoniumgehalte in een bekken te kunnen doen mits:

- de nog onbekende afbraakcoëfficiënt k en de halfverzadigingconstante K_s worden bepaald;
- de betrouwbaarheid en de nauwkeurigheid van het model worden getest.

3.2. Bepalen van de afbraakcoëfficiënten voor de Honderd en Dertig en Petrusplaat

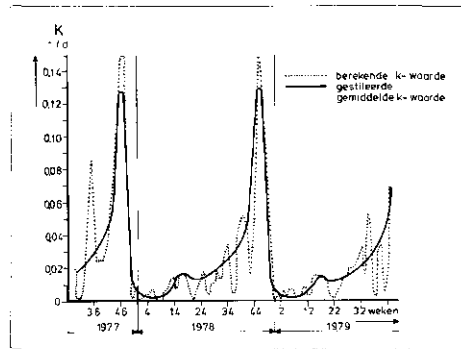
Het in de vorige paragraaf opgestelde model waarin een term voor ammoniumafbraak is opgenomen, kon als basis voor de berekening van de k-waarden worden gebruikt. Omdat de numerieke oplossing van deze differentiaalvergelijking niet geschikt is om de k-waarden te bepalen, werd de volgende vereenvoudiging in betrekking (6) aangebracht:

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = \frac{1}{T} \cdot C_a - \frac{1}{T} \cdot C - \frac{k \cdot C}{K_s + C} \quad (7)$$

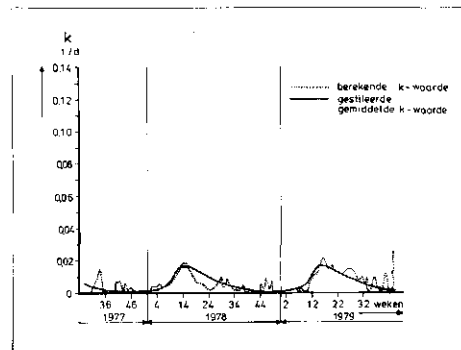
Met het interval $\Delta t = \frac{t_n - t_0}{n}$ als stap-

grootte en i als het nummer van het interval kunnen de k-waarden hiermee als volgt stapsgewijs worden berekend:

$$k_i = \left\{ \frac{1}{T} \cdot C_{a,i} - \frac{1}{T} \cdot C_i + \frac{C_{i-1} - C_i}{\Delta t} \right\} \cdot \frac{\{K_s + C_i\}}{C_i} \quad (8)$$



Afb. 9 - Het berekende en gestileerde gemiddelde k-waarde verloop van de Honderd en Dertig.



Afb. 10 - Het berekende en gestileerde gemiddelde k-waarde verloop van de Petrusplaat.

Vóór het uitvoeren van de berekeningen moest nog de grootte van de parameter K_s worden vastgesteld.

Op grond van de literatuur ([7], [8]) en verschillende testberekeningen bleek dat voor de bekkens K_s = 0,25 mg/l de beste benadering geeft.

De m.b.v. betrekking (8) berekende k-waarden voor de periode juli 1977 t/m oktober 1979 zijn voor de Honderd en Dertig in afb. 9 en voor de Petrusplaat in afb. 10 weergegeven. Deze periode werd gekozen omdat zij representatief wordt geacht voor de komende jaren. In deze periode was het ammoniumgehalte in de Maas t.o.v. de voorafgaande jaren namelijk reeds duidelijk verminderd, hetgeen o.a. kan worden toegeschreven aan de inbedrijfstelling van de zuiveringsinstallatie van de DSM.

Zoals uit afb. 9 en 10 blijkt, vertoont het k-waarde verloop weinig correlatie met de temperatuur. Dit is een gevolg van het feit dat in deze studie de afbraakcoëfficiënt k de term K · X voorstelt.

Aangezien het verloop van de concentratie van de micro-organismen X over het jaar niet bekend is, is het niet mogelijk een duidelijk beeld van de invloed van de temperatuur op de ammoniumafbraaksnelheidscoëfficiënt K te verkrijgen.

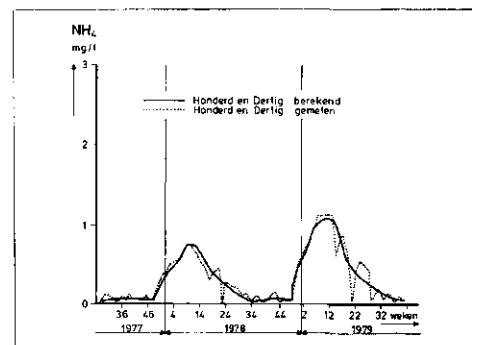
Uit het duidelijk seizoensgebonden verloop van de afbraakcoëfficiënt k volgens afb. 9 en 10 kan wel worden geconcludeerd dat het

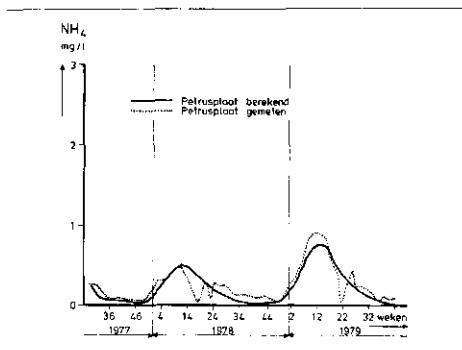
ammonium in de zomerperiode blijkbaar t.g.v. de lage ammoniumconcentratie in de rivier als groeibepurende factor voor de nitrificerende micro-organismen optreedt. Dit resulteert ondanks de hoge watertemperatuur in een lage k-waarde. Daarentegen kunnen de nitrificerende micro-organismen zich in de herfst wanneer ammonium weer in ruimere mate ter beschikking staat, blijkbaar, ondanks de lagere temperaturen, massaal ontwikkelen. Hierdoor ontstaat in november een piek in de k-waarde. Een en ander betekent dat de variatie van de k-waarde over het jaar niet aan een temperatuurfunctie kan worden gekoppeld. Om deze reden werd naar een andere mogelijkheid gezocht om het k-waarde verloop te beschrijven. Gebruik werd gemaakt van het seizoensgebonden patroon van de k-waarde, waaruit door middelen over de beschouwde jaren (1977 t/m 1979) een gestileerde k-waarde verloop voor één jaar werd bepaald. Dit gestileerde gemiddelde verloop is eveneens in de afb. 9 en 10 aangegeven. Van dit gestileerde gemiddelde k-waarde verloop werd bij de testberekeningen gebruik gemaakt. Berekeningen t.b.v. het vaststellen van het selectieve innamebeleid worden daarentegen met het gestileerde k-waarde verloop van de winterperiode 1978 - 1979 — waarin de k-waarden t.g.v. de geringe temperaturen nog lager waren — uitgevoerd. Door het rekenen met dit ongunstige verloop wordt een zekere veiligheidsmarge bij de voorspellingen verkregen.

3.3. Testen van het opgestelde model

Om te controleren of het model m.b.v. de gestileerde gemiddelde k-waarden een nauwkeurig en betrouwbaar resultaat geeft werden testberekeningen uitgevoerd. Bij deze testberekeningen werden de Honderd en Dertig en Petrusplaat als twee achter elkaar geschakelde mengbekkens beschouwd. Dit houdt in dat de berekende ammoniumconcentratie voor het bekken Honderd en Dertig tevens de invoerconcentratie voor de Petrusplaat is. De op

Afb. 11 - Gemeten en berekende ammoniumgehalten in de Honderd en Dertig.





Afb. 12 - Gemeten en berekende ammoniumgehalten in de Petrusplaat.

deze wijze berekende ammoniumconcentraties in de bekkens zijn tesamen met de gemeten ammoniumconcentraties in afb. 11 en 12 uitgezet. De overeenkomst tussen de berekende en gemeten waarden kan goed worden genoemd. De geringe over- resp. onderschrijding in 1978 resp. 1979 t.o.v. de gemeten waarden kan worden verklaard uit het feit dat bij de testberekeningen gebruik is gemaakt van de gestileerde gemiddelde k -waarden.

Het is inderdaad van het grootste belang dat de voorspelde waarden het golfvormige verloop van de ammoniumconcentratie in de bekkens zeer goed weergeven omdat voor een selectief innamebeleid de hoogte en de breedte van deze golven essentieel zijn.

1. Het voeren van een selectief innamebeleid

1.1. Beschouwing van de noodzaak tot het voeren van een selectief innamebeleid

Na het gereedkomen van het derde bekken De Gijster is de watervoorraad in de Biesbosch-bekken aanzienlijk toegenomen. Deze toename van de watervoorraad houdt in, dat in de winterperiode een verlaging van de ammoniumconcentratie in het afgeleverde water mag worden verwacht als gevolg van de grotere afvlakking en het verhoogde nitrificatievermogen van de bekkens. In de zomerperiode zal de invloed van de vergrote watervoorraad beperkt zijn aangezien de ammoniumconcentratie ook vóór de inbedrijfname van De Gijster al zeer laag was.

Alvorens tot richtlijnen te komen voor het voeren van een selectief innamebeleid is het in de eerste plaats nodig om na te gaan of de maximum toelaatbaar geachte ammoniumconcentratie in het afgeleverde water na de inbedrijfname van De Gijster nog zal worden overschreden en zo ja hoe groot de periode van overschrijding daarvan is. Het antwoord op deze twee vragen kan met behulp van het in paragraaf 3 beschreven model worden gegeven. Hiertoe

dienen echter de volgende gegevens bekend te zijn:

- de maximum ammoniumconcentratie in het afgeleverde water die in de winterperiode toelaatbaar wordt geacht;
- het k -waarde verloop van de drie bekkens ná inbedrijfname van De Gijster;
- het verloop van de ammoniumconcentratie in de Maas gedurende de maatgevende winterperiode;
- de ammoniumconcentratie in de drie bekkens op het tijdstip $t = 0$ van de berekeningen.

De maximum ammoniumconcentratie

Op grond van ervaringen in de afgelopen winterperiodes is gebleken dat een ammoniumconcentratie van 0,2 - 0,3 mg/l nog geen problemen in de zuiveringsinstallatie geeft. Conform de IAWR-A norm wordt daarom voorlopig als maximum ammoniumgehalte 0,2 mg/l gehanteerd.

Het k -waarde verloop van de drie bekkens

In de nieuwe situatie neemt De Gijster de functie van de Honderd en Dertig als bekken waarin rechtstreeks Maaswater wordt gepompt over. Het is daarom te verwachten dat De Gijster bij benadering eenzelfde k -waarde verloop zal hebben als de Honderd en Dertig. Aangezien bij de berekeningen alleen de winterperiode wordt beschouwd, waarin de k -waarden toch al zeer laag zijn lijkt deze aanname volledig verantwoord.

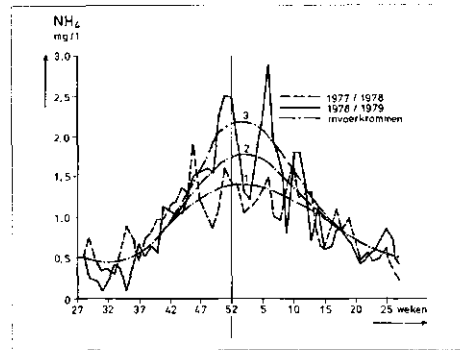
De k -waarden van de Honderd en Dertig en de Petrusplaat zullen door de inbedrijfname van De Gijster in de maatgevende winterperiode nauwelijks verminderen. Deze k -waarden zijn dan namelijk toch al laag, terwijl de ammoniumconcentratie in beide bekkens niet limiterend zal zijn.

Het verloop van de ammoniumconcentratie in de Maas

Een goede aanname van het verloop van de ammoniumconcentratie in de Maas is van doorslaggevend belang voor de uitkomst van de berekeningen.

Met het oog hierop zijn de beschikbare meerjarige meetgegevens zorgvuldig geanalyseerd. Het bleek dat het verloop van de ammoniumconcentratie een duidelijk seizoensgebonden patroon vertoont waardoor het benaderen van de invoerconcentratie m.b.v. een gestileerde invoerkromme mogelijk was. Deze gestileerde invoerkrommen zijn in afb. 13 gegeven. De invoerkrommen 1 en 3 zijn op grond van de meetgegevens van de winterperiode 1977/1979 vastgesteld.

Invoerkromme 2 is door interpolatie tussen de krommen 1 en 3 bepaald. Deze invoer-



Afb. 13 - Gestileerde invoerkrommen voor het ammoniumgehalte van het Maaswater.

krommen worden als representatieve invoergegevens voor de verschillende jaartypen gehanteerd, waarbij de invoerkrommen 1 en 2 voor een normale winter gelden en invoerkromme 3 voor een strenge winter. Bij de voor de beantwoording van vorenstaande vragen gemaakte berekeningen werd van alle drie invoerkrommen gebruik gemaakt om een zo goed mogelijk inzicht in mogelijke toekomstige situaties te verkrijgen.

De ammoniumconcentratie in de drie bekkens op het tijdstip $t = 0$

De voor de selectieve inname relevante periode ligt tussen december en juni. De ammoniumconcentratie in De Gijster op het tijdstip $t = 0$ van de berekeningen, waarvoor begin december kan worden aangehouden, hangt samen met het jaartype, d.w.z. of het jaar als een normaal jaar of als een droog jaar kan worden beschouwd.

In het geval van een normaal jaar wordt de nuttige inhoud van De Gijster niet of slechts in geringe mate aangesproken. De Gijster zal zich dan op overeenkomstige wijze gedragen als oorspronkelijk de Honderd en Dertig. In de Honderd en Dertig en ook in de Petrusplaat ligt de ammoniumconcentratie in de periode september t/m november op een zeer laag niveau. Begin december treedt steeds een toename van de ammoniumconcentratie op (zie afb. 7). In deze situatie is geen verandering te verwachten. Met voldoende nauwkeurigheid kan daarom op het tijdstip $t = 0$ met de volgende ammoniumconcentraties worden gerekend:

Dg Gijster	: 0,1 mg/l
Honderd en Dertig	: 0,08 mg/l
Petrusplaat	: 0,05 mg/l

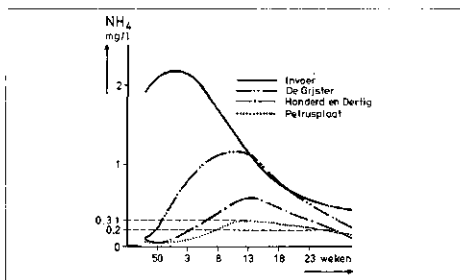
In het geval van een droog of extreem droog jaar, wanneer De Gijster de functie van voorraadbekken vervult, wordt de nuttige inhoud van dit bekken aangesproken. Het bekken is dan in de herfst geheel of gedeeltelijk leeg en moet vervolgens weer worden gevuld. Deze vulling kan

alleen plaatsvinden nadat de afvoer van de Maas weer is toegenomen, hetgeen omstreeks november kan worden verwacht. Daar de ammoniumconcentratie in de Maas rond deze tijd al hoog ligt, kan na de vulling een vrij hoge ammoniumconcentratie in het bekken worden verwacht. Bij de inbedrijfstelling van De Gijster werd dit bekken eveneens in november gevuld. Op grond van de toen gemeten ammoniumconcentraties is als benadering een concentratie van 0,5 mg/l als randvoorwaarde gekozen. Voor de Honderd en Dertig en Petrusplaat, waar de ammoniumconcentratie op het tijdstip $t = 0$ ongeacht de ammoniumconcentratie in De Gijster ongeveer op hetzelfde lage niveau als in een normaal jaar zal liggen, kunnen waarden van het normale jaar worden gehanteerd. Samenvattend is gerekend met de volgende waarden:

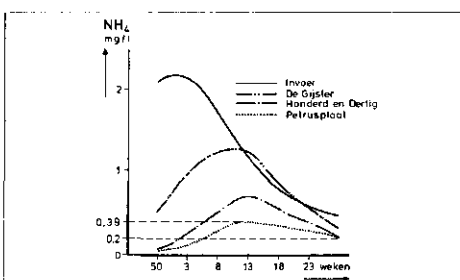
De Gijster : 0,5 mg/l
 Honderd en Dertig : 0,08 mg/l
 Petrusplaat : 0,05 mg/l

Wanneer praktijkberekeningen moeten worden gemaakt t.b.v. het voeren van een selectief innamebeleid, zal vanzelfsprekend worden uitgegaan van de werkelijk gemeten ammoniumconcentraties op het tijdstip $t = 0$. Op grond van de vorenstaand beschreven invoergegevens zijn berekeningen gemaakt voor een normaal en een droog jaar met continue inname. Als voorbeeld zijn in de afb. 14 en 15 de berekeningsresultaten voor een normaal en een droog jaar op basis van de ongunstigste invoerkromme 3 grafisch verwerkt. In deze afb.

Afb. 14 - Berekening van het ammoniumgehalte in een normaal jaar m.b.v. invoerkromme 3.



Afb. 15 - Berekening van het ammoniumgehalte in een droog jaar m.b.v. invoerkromme 3.



is het verloop van de ammoniumconcentraties in de rivier en in de bekken vanaf het tijdstip $t = 0$ aangegeven. Tevens zijn de maximale gehalten in de Petrusplaat en dus in het afgeleverde water vermeld. De belangrijkste berekeningsresultaten zijn in tabel 1 gepresenteerd.

TABEL 1 - Maximale ammoniumconcentraties in de Petrusplaat bij continue inname in een normaal en droog jaar.

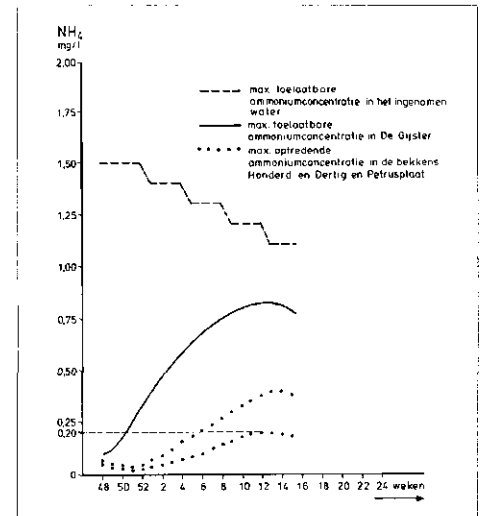
Jaar-type	Invoerkromme	De optredende maximale NH_4^+ concentratie in de Petrusplaat (mg/l)	Het aantal weken dat de NH_4^+ concentratie in de Petrusplaat hoger ligt dan 0,2 mg/l
Normaal	1	0,19	—
	2	0,24	8
	3	0,31	17
Droog	1	0,28	13
	2	0,33	18
	3	0,39	23

Uit deze tabel blijkt dat het voeren van een selectief innamebeleid in de toekomst inderdaad noodzakelijk is. Zonder een selectief innamebeleid kan — behalve in het meest gunstige geval — de maximaal toelaatbaar geachte ammoniumconcentratie van 0,2 mg/l in de Petrusplaat afhankelijk van het jaartype 2 à 5 maanden lang met max. ca. 100 % worden overschreden.

4.2. Richtlijnen voor het voeren van een selectief innamebeleid voor ammonium

De voor het voeren van een selectief innamebeleid benodigde berekeningen verlopen op overeenkomstige wijze als de in paragraaf 4.1. gemaakte berekeningen. Op het tijdstip $t = 0$, begin december, worden de ammoniumconcentraties in de drie bekken en in de rivier geïnventariseerd. De ammoniumconcentraties in de Petrusplaat en Honderd en Dertig zullen op een zeer laag peil liggen. In De Gijster zal de ammoniumconcentratie afhankelijk van het jaartype (normaal, droog of extreem droog) ergens tussen de 0,1 mg/l en ca. 0,5 mg/l liggen. De k-waarden zijn bekend (zie hoofdstuk 3). Teneinde nog een zekerheidsmarge te hebben wordt uitgegaan van het ongunstige gestileerde k-waarde verloop van de winterperiode 1978-1979. Vervolgens wordt m.b.v. het (computer-)model op iteratieve wijze die invoerkromme berekend (dus het verloop van de ammoniumconcentratie in het Maaswater) waarbij net de maximaal toelaatbaar geachte concentratie van 0,2 mg/l ammonium in de Petrusplaat wordt bereikt.

Voor het geval van een normaal jaar, waarbij de concentraties in de drie bekken op het tijdstip $t = 0$ bijv. resp. 0,1, 0,08 en 0,05 mg/l bedragen (zie paragraaf 4.1.), is deze berekende invoerkromme alsmede



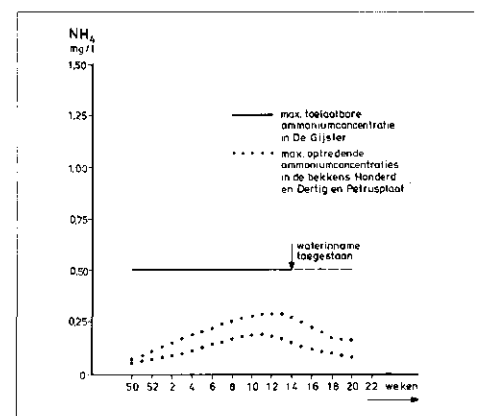
Afb. 16 - Voorbeeld van een werkgrafiek t.b.v. de bekkenbeheerder voor het voeren van een selectief innamebeleid in een normaal jaar.

het berekende verloop van de ammoniumconcentraties in de drie bekken in afb. 16 gegeven. De invoerkromme is in deze afbeelding geschematiseerd tot een trapsgewijs verloopende lijn, teneinde het gebruik van de grafiek te vereenvoudigen. De in deze afb. gepresenteerde grafiek is nu het instrument voor het voeren van het selectieve innamebeleid, waarmee als volgt wordt gewerkt:

- in het geval de aangegeven ammoniumconcentratie in De Gijster nog niet is bereikt, is continu waterinname toegestaan;
- in het geval de aangegeven ammoniumconcentratie in De Gijster wel bereikt is, is waterinname alleen toegestaan als de ammoniumconcentratie in de rivier de aangegeven maximale waarde (gebroken lijn) niet overschrijdt.

Regelmatig dient te worden gecontroleerd in hoeverre het wekelijkse verloop van de ammoniumconcentraties met de aangegeven lijnen overeenkomt. Zonodig kunnen gedu-

Afb. 17 - Voorbeeld van een werkgrafiek t.b.v. de bekkenbeheerder voor het voeren van een selectief innamebeleid in een droog jaar.



rende de winterperiode nieuwe (computer) berekeningen worden gemaakt op grond waarvan de grafiek kan worden bijgesteld.

Afb. 17 geeft de situatie in een droog of extreem droog jaar. Door het geheel of gedeeltelijk vullen van De Gijster in november ligt de ammoniumconcentratie in dit bekken op het tijdstip $t = 0$ (begin december) in het gegeven voorbeeld van afb. 17 op 0,5 mg/l. De concentraties in de andere twee bekkens liggen bijv. op resp. 0,08 mg/l en 0,05 mg/l. Een computerberekening met deze gegevens leert dat bij een constante ammoniumconcentratie van 0,5 mg/l in De Gijster de maximumconcentratie van 0,2 mg/l in de Petrusplaat *nét* bereikt wordt. Dit betekent dat geen inname van rivierwater is toegestaan zolang de ammoniumconcentratie van De Gijster niet onder de 0,5 mg/l ligt, tenzij de ammoniumconcentratie in het rivierwater lager dan 0,5 mg/l is.

5. Conclusies

— M.b.v. (meng)-modelberekeningen met chloride als conservatieve parameter kon worden aangetoond dat de bekkens Petrusplaat en Honderd en Dertig zich als ideaal gemengde reactoren gedragen. De eerste ervaringen met het recent in bedrijf genomen bekken De Gijster geven aan dat ook dit bekken zich, ondanks een ongunstiger configuratie dan de andere twee bekkens, waarschijnlijk als ideaal gemengde reactor gedraagt.

— Het bleek mogelijk om m.b.v. de Michaelis Menten relatie een ammoniumafname model op te zetten waarmee de ammoniumconcentraties in het afgeleverde water met goede nauwkeurigheid zijn te voorspellen.

— Berekeningen met het ammoniumafname model tonen aan dat selectieve inname ook na de ingebruikneming van De Gijster noodzakelijk is om de ammoniumconcentratie in het afgeleverde water beneden het gewenste maximumgehalte van 0,2 mg/l te houden. Het model maakt het mogelijk om een praktisch selectief innamebeleid voor ammonium te voeren.

Verantwoording

Deze studie naar de mogelijkheid tot het voeren van een praktisch selectief innamebeleid is in teamverband uitgevoerd. De overige leden van dit team, de heren Drs. G. Oskam, Ir. E. G. H. Vreedenburgh en Ing. C. v. Wuijckhuijse ben ik veel dank verschuldigd voor hun substantiële bijdragen in de studie en in de totstandkoming

van deze publicatie. Verder gaat mijn bijzondere dank uit naar de heer Prof. Ir. P. L. Knoppert voor zijn opbouwend kritische begeleiding en de heer D. Kikkert voor zijn aanzienlijke steun bij de computerberekeningen.

Literatuur

1. Knoppert, P. L. en Vreedenburgh, E. G. H. *Kenmerken van oppervlaktewaterwinning*. H₂O (13), 1980, nr. 15.
2. Soczó, E. R. *Selectief innamebeleid Biesboschbeekens 1980*. Intern rapport.
3. Oskam, G. *Enkele limnologische aspecten van de Biesboschbeekens*. H₂O (17), 1974, nr. 17.
4. Huisman, L. en Martijn, Th. G. *Kwaliteitsverbetering in doorstroombekken*. H₂O (1), 1968, nr. 3.
5. Wolf, P. *Simulation des Sauerstoffhaushaltes in Fließgewässern*. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft No. 53, Kommissionsverlag R. Oldenburg, München (1974).
6. Bansal, M. K. *Nitrification in natural streams*. JWPCF 48 (1976) 10.
7. Gujer, W. *Nitrification in Fließgewässern*. Schweiz. Zts. Hydrol. 40 (1979) 2.
8. Young et al. *Nitrification*. Journal WPCF, Vol. 51, No. 7 (1979).
9. Bridle, T. R. Climenhage, D. C., and Stelzig, A. *Operation of a fullscale nitrification-denitrification industrial waste treatment plant*. JWPCF 51 (1979) 1.
10. Metcalf, L. and Eddy, H. P. *Wastewater Engineering*. McGraw-Hill Book Co., New York (1972).
11. Sharma, B. and Ahlert, R. C. *Nitrification and nitrogen removal*. Water Research 11 (1979).



Verschenen:

Public Standpost Water Supplies

Bij het International Reference Centre for Community Water Supply (IRC) zijn twee nieuwe Technical Papers verschenen: nr. 13 'Public Standpost Water Supplies' en nr. 14 'Public Standpost Water Supplies, a Design Manual'. Technical Paper nr. 13 heeft tot doel de lezer meer inzicht te verschaffen in de organisatie-aspecten, alsmede economische, sociaal-culturele en technische gezichtspunten van de drinkwatervoorziening via openbare tappunten. Technical Paper nr. 14 gaat meer in op de constructieve- en ontwerp-aspecten van een dergelijk tappunt. Inlichtingen: WHO-IRC, Postbus 5500, 2280 HM Rijswijk, tel. (070) 94 93 22.



Agenda

21 januari 1981, Londen: seminar 'Recent developments in determination of water content'. Inl.: Sira Institute Ltd., South Hill Chislehurst, Kent BR7 5EH England.

2-6 februari 1981, Chislehurst, Kent: Seminar 'Microprocessor based equipment, design and development'. Inl.: Sira Institute Ltd., South Hill Chislehurst, Kent BR7 5EH England.

11-12 februari 1981: Seminar Sampling systems for on-line process measurements. Inl.: Sira Institute Ltd., South Hill Chislehurst, Kent BR7 5EH England.

23 t/m 28 februari 1981, Birmingham: Public Works Congress and Exhibition. Inl.: Sir Leonard Millis, Secretary, The Public Works & Municipal Services Congress & Exhibition, Monaco House, England. Bristol Street, Birmingham B5 7AS,

30 maart t/m 4 april 1981, Berlijn: Wasser Berlin '81. Inl.: AMK Berlin GmbH, Messedam 22, 1000 Berlin 19, BRD.

31 maart - 1 april 1981, Berlijn: IWSA specialized conference 'Low Cost Technology'. Inl.: Int. Water Supply Association, 1 Queen Anne's Gate, London SW1H 9BT, England.

1 t/m 3 april 1981, Berlijn: Vijfde congres van de Int. Ozone Association. Inl.: IOA, 14085 Detroit Avenue, Cleveland, Ohio 444107, USA.

2 - 3 april 1981, Berlijn: IWSA specialized conference 'Instrumentation monitoring and automation in water protection and water supply'. Inl.: Int. Water Supply Association, 1 Queen Anne's Gate, London SW1H 9BT.

24 april t/m 22 mei 1981, Wallingford (England): International Course 'Practical Techniques for Regionalising and Transferring Hydrological Variables'. Inl.: A. D. Hewson, Institute of Hydrology, Maclean Building, Crowmarsh Gifford, Wallingford, Oxon, United Kingdom OX10 8BB.

4 t/m 8 mei 1981, Utrecht: Machevo-Milieu. Inl.: Kon. Ned. Jaarbeurs, Postbus 8500, 3503 RM Utrecht, tel. (030) 91 49 14.

18 t/m 20 mei 1981, Amsterdam: 8e Arbeitstagung van de Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR). Inl.: sekretariaat IAWR, Postbus 8169, 1005 AD Amsterdam. Tel.: (020) 820862, toestel 354.

