

Een planktonmodel voor 'De Grote Rug'

1. Inleiding

Als gevolg van het eutrofe karakter van het water waarmee Nederlandse spaarbekkens en meren gevoed worden, zullen adequate beheersmaatregelen genomen dienen te worden, die beogen negatieve ontwikkelingen in de kwaliteit van het opgeslagen oppervlaktewater af te remmen en, indien mogelijk, positieve ontwikkelingen te stimuleren.

Op grond van een spreekovereenkomst tussen Rijk (RID) en VEWIN (KIWA) werd in het kader van het project Plankton-



IR. J. H. G. VERHAGEN
Afdeling Milieu-
hydrodynamica, Waterloop-
kundig Laboratorium

beheersing in Bekkens in 1974 een vergelijkend onderzoek naar de meest effectieve wijze van voorbehandeling in modelreservoirs opgezet.

Ook bij de Deltadienst, afdeling Milieu Onderzoek, bestond behoefte aan defosfateringsexperimenten onder goed gekonditioneerde omstandigheden.

Besloten werd de krachten te bundelen en onderzoek uit te voeren in het spaarbekken 'De Grote Rug' en drie daarin gelegen modelreservoirs. Doel van het gezamenlijk onderzoek is het verkrijgen van inzicht in de gedragingen van het aquatisch milieu van bekkens teneinde beheersmaatregelen te evalueren en te optimaliseren.

De dagelijkse uitvoering van het onderzoek is in handen van een multidisciplinaire projectgroep Planktonbeheersing in Bekkens, samengesteld uit medewerkers van RID en Deltadienst.

De in dit artikel beschreven ontwikkeling van een planktonmodel voor 'De Grote Rug' vormt een essentieel instrument om bovengenoemde doelstelling te realiseren. Het modelonderzoek is uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium (WL) in opdracht van Rijkswaterstaat-Deltadienst.

2. Systeemcomponenten die in het model worden onderscheiden

Gezien de beperkingen in de systeemkennis, het gegevensbestand en de doelstelling dient een keuze gemaakt te worden in aantal en aard van de componenten, die in de modelweergave van het aquatische ecosysteem expliciet worden onderscheiden. Die keuze moet leiden tot een systeembeschrijving in een zodanige mate van detail, dat de betrouwbaarheid waarmee de vraagstelling beantwoord wordt, niet

toeneemt bij een verhoging van de mate van detail. Deze definitie betekent dus dat de mate van detail bepaald wordt door de betrouwbaarheid waarmee de invloedrijkste schakel in het ecosysteem kan worden beschreven. De uiteindelijke keuze van de te onderscheiden systeemcomponenten is dus het resultaat van een trial and error-procedure, dat bij voortdurende aanmodificatie onderhevig is, zolang de modelontwikkeling voortduurt. Bij de huidige stand van modelontwikkeling worden de volgende componenten onderscheiden:

Diatomeeën	F_d
Totale algenbiomassa	F
onderscheiden in	door zoöplankton eetbare algenbiomassa F_z
	door zoöplankton niet eetbare algenbiomassa F_{nz}
	$F = F_z + F_{nz}$
Zoöplankton	Z
Detritus in suspensie	D
Orthofosfaat	P_{ort}
Totaalfosfaat	P_{tot}
Silicaat	Si

De volgende aannamen worden gemaakt:

1. In winter en vroege voorjaar bestaan de algen in hoofdzaak uit diatomeeën dus $F = F_d$.
2. Diatomeeën kunnen door Si in de groei worden beperkt, andere algen niet.
3. Fosfaat is niet groeibeperkend in winter en vroege voorjaar.
4. Stikstof is niet groeibeperkend. De gemeten nitraatconcentratie $N-NO_3^-$ in het spaarbekken is daarvoor te hoog, nl. ca. 1 mg/l of meer. Literatuurwaarden voor de Monod halfwaarde konstante K_N lopen sterk uiteen. De waarde 0,045 mg $N-NO_3^-/l$ lijkt een redelijk gemiddelde dus $K_N \ll 1$ mg/l.
5. Preferentie voor F_z boven detritus in het zoöplanktonmenu wordt niet in rekening gebracht.
6. De balansen termen in de vergelijkingen

geldig in winter en vroege voorjaar die de netto hydraulische doorvoer beschrijven worden op een gesimplificeerde wijze in rekening gebracht. Dit vanwege het gemis aan planktongegevens van het ingelaten rivierwater.

3. Tijdschalen van hydrobiologische en nutriëntengegevens in de Grote Rug

De in de voorgaande paragraaf genoemde systeemcomponenten duiden we aan met x_i . Het verloop van x_i met de tijd kan als volgt geschreven worden ($i = 1$ t/m n)

$$\frac{dx_i}{dt} = x_i \cdot G_i(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \quad (1)$$

Het verloop van x_i , met uitzondering van detritus, is gedurende een aantal jaren in de Grote Rug en de modelbekkens gemeten met een bemonsteringsfrequentie van 1 à 2 weken.

Bij wijze van voorbeeld wordt in figuur 1 de gemeten jaarcyclus van het totale fytoplanktonvolume schematisch weergegeven. Voor alle x_i geldt dat de karakteristieke tijdschaal van het proces τ_{x_i} in het groeiseizoen aanzienlijk korter is dan in de winter en het vroege voorjaar. Dit hangt samen met het feit dat biologische reactiesnelheden min of meer evenredig zijn met de temperatuur T in $^{\circ}C$. De reactiesnelheid is nagenoeg nul voor $T = 0^{\circ}C$, dus

$$\tau_{x_i} \approx \frac{1}{T}$$

Wanneer de belangstelling uitgaat naar het verloop van x_i per seizoen dan kan voor het interesse interval (τ_{int}) gesteld worden

$$\tau_{int} = 3 \text{ maanden.}$$

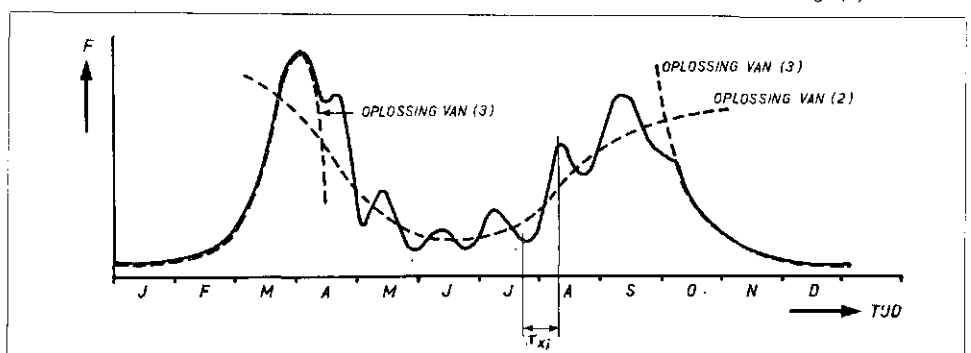
In het groeiseizoen blijkt uit de meetgegevens dat

τ_{x_i} gelijk is aan 10 dagen, terwijl in winter en vroege voorjaar

τ_{x_i} gelijk is aan 50 dagen, omdat de temperatuur in dit jaargetijde ca. 5 maal lager dan in de zomer.

Dus in het groeiseizoen is $\tau_{x_i} \ll \tau_{int}$ en in de winter en het vroege voorjaar is

Afb. 1 - Geschematiseerd verloop van het totale fytoplanktonvolume in de Grote Rug. (1)



τx_i van dezelfde grootte orde als τ_{int}

Hiermee is de vergelijking (1) te benaderen in het groeiseizoen tot:

$$0 = x_i G_i(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \quad (2)$$

en in de winter en het vroege voorjaar tot:

$$\frac{dx_i}{dt} = x_i G_i(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \quad (3)$$

De voordelen van deze benadering zijn de volgende:

a. de oplossing van vergelijking (2) heeft geen beginvoorwaarde;

b. de functies G_i behoeven slechts bekend te zijn in de omgeving van de oplossing.

Dus G_i kan worden gelineariseerd voor kleine uitwijkingen rond de oplossing, d.w.z. G_i kan geschreven worden als

$$a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_i x_i + \dots + a_n x_n$$

waarbij alle a_i 's functies zijn van t ;

c. in winter en vroege voorjaar is op grond van biologische informatie bekend dat bepaalde componenten x_i in de dynamika van het ecosysteem niet van belang zijn.

Dit leidt tot een kleiner aantal vergelijkingen dus tot een geringere gegevensbehoefte bij de modelschematisatie;

d. de verifikatie tussen modelresultaat en veldgegevens berust nu op meerdere punten in het tijdsinterval τ_{int} waarin men geïnteresseerd is, immers de meetfrequentie is veel kleiner dan τ_{int} . De betrouwbaarheid van de informatie wordt bij middeling groter.

De oplossingen van (2) en (3) kunnen de gedaante hebben als schematisch weergegeven in afb. 1 (gestippelde kromme).

Als belangrijkste principieel nadeel van de gevolgde benadering wordt gezien dat de coëfficiënten a_0, \dots, a_n in feite slechts voor een bepaalde situatie gelden en verschuiven bij een belangrijke beheersingreep als bijvoorbeeld defosfateren. Aangenomen wordt dat deze verschuivingen zodanig klein zijn dat extrapoleren geoorloofd is.

4. De vergelijkingen voor de systeemcomponenten

In het groeiseizoen zijn op basis van de voorgaande aannamen de volgende systeemcomponenten van belang: F_d , F_{nz} , Z , D en P .

In winter en vroege voorjaar zijn de belangrijkste componenten: F_d , Z , Si en D .

In het groeiseizoen geldt vergelijking (2), die meer specifiek voor de verschillende componenten geschreven zou kunnen worden als:

Komponent verg. (2)

$$F_z \quad \mu_z - r_z - gZ = 0 \quad (4)$$

$$F_{nz} \quad \mu_{nz} - r_{nz} - d_{nz} = 0 \quad (5)$$

$$Z \quad ag(F_z + D) - c = 0 \quad (6)$$

$$D \quad \alpha F_z + \beta Z - \lambda D = 0$$

P niet relevant zoals later uiteen te zetten voor F_z ,

komponent verg. (3)

$$F_d \quad \frac{dF_d}{dt} = F_d \left(\frac{\mu f(I)}{(k_0 + \epsilon F_d) H} \cdot \frac{Si}{K_s + Si} - r - gZ \right) \quad (8)$$

$$Z \quad \frac{dZ}{dt} = Z (ag(F_d + D) - c) \quad (9)$$

$$D \quad \frac{dD}{dt} = \alpha F_d + \beta Z - \lambda D \quad (10)$$

$$Si \quad \frac{dSi}{dt} = -\delta \mu F_d + K_0 \quad (11)$$

De betekenis van de coëfficiënten is weer gegeven in de lijst van symbolen. Buiten het groeiseizoen geldt vergelijking (3), die voor de verschillende relevante systeemcomponenten geschreven zou kunnen worden als (zie formule boven).

In bovenstaande balansvergelijkingen ontbreken de hydraulische netto transporttermen t.g.v. doorvoer.

Binnen het groeiseizoen is dit gerechtvaardigd waar het planktonbalansen betreft. Immers de tijdschaal van de verblijftijd (150 dagen) is groot t.o.v. de tijdschaal van biologische reacties (10 dagen) en de biomassa van het inlaatwater is hooguit van dezelfde grootte-orde als die in het spaarbekken. Voor de fosfaat balans in het groeiseizoen is dit weglaten niet gerechtvaardigd, omdat de invoerconcentratie aan fosfaat een orde groter is dan de concentraties in het reservoir zelf. Bij het bespreken van het effect van de fosfaatbelasting op de algengroei F_{nz} wordt deze benadering dan ook niet gevolgd.

Buiten het groeiseizoen is het achterwege laten van de hydraulische doorvoertermen niet gerechtvaardigd, omdat verblijftijd en biologische reactietijd dezelfde grootte orde hebben. Echter vanwege het gemis aan planktongegevens van het ingelaten rivierwater zijn we genoodzaakt hiervoor bepaalde aannamen te doen. Deze aannamen zijn dat de belasting tengevolge van de doorvoer van F_d , Z en Si wordt opgenomen gedacht in de coëfficiënten r , respectievelijk c en K_0 .

5. De invloed van fosfaat beperking op de primaire produktie in het groeiseizoen

In het groeiseizoen wordt in het model onderscheid gemaakt in algenbiomassa die wel en niet geconsumeerd wordt door zoöplankton, (F_z , resp. F_{nz}). Beschouw eerst de netto groeisnelheid van F_z , dus $\mu_z - r_z$.

Als een eerste benadering lijkt het gerechtvaardigd te veronderstellen dat $\mu_z - r_z$ gedurende het groeiseizoen konstant is bij voldoende voedselaanbod. Weliswaar is deze netto groeisnelheid voor verschillende door

zoöplankton consumeerbare algensoorten niet identiek, maar het aanbrengen van meer detail in de tijdsafhankelijkheid van $\mu_z - r_z$ lijkt nauwelijks gerechtvaardigd. Hoe zit het nu met de invloed van voedselbeperking op de netto groeisnelheid? Deze invloed blijkt uiterst gekompliceerd.

In bepaalde modellen is het gebruikelijk de reductie in groeisnelheid t.g.v. beperking in een voedingsstof te beschrijven met een

$$P \quad \text{Monod-relatie bijv. } \frac{P}{K_P + P}$$

waarin P de concentratie orthofosfaat in het water en K_P een half waarde konstante voor P .

Zo eenvoudig ligt het echter in de werkelijkheid niet. Door leden van de werkgroep en de begeleidingscommissie „Planktonbeheersing in Bekkens” worden onder meer de volgende mogelijkheden naar voren gebracht:

1. Algen groeien mogelijk op het aan ijzerhydroxide gebonden fosfaat, dat als vlok in suspensie is in met ijzer gedoseerde bekkens.
2. Algen groeien mogelijk op het aan aluminium gebonden fosfaat in de met AVR gedoseerde ring.

Op basis van het genoemde onder de punten 1 en 2 en de wetenschap dat in ondiepe bekkens als Grote Rug en ringen veel zwevende stof in suspensie is, is het aannemelijk dat fosfaatbeperking, indien dit al optreedt, gekoppeld is aan de P_{tot} -belasting en voorkomt tijdens maxima in de snel fluktuerende algenbiomassa in de loop van het groeiseizoen. In de beschouwde evenwichtstoestand is de algenbiomassa F_z veelal aanzienlijk lager en lijkt het aannemelijk te veronderstellen dat hier geen fosfaatlimitatie optreedt.

Vervolgens wordt de algenbiomassa F_{nz} van algensoorten die niet door zoöplankton worden geconsumeerd beschouwd.

Voor de maximaal bereikbare waarde geldt:

$$\mu_{nz} - r_{nz} - d_{nz} = 0$$

F_{nz} wordt dus uitsluitend beperkt door licht- en/of nutriëntentekort. Hier kan het model van Vollenweider e.a. worden toegepast [2].

Dit model gaat ervan uit dat het onder-waterlicht en daarmee de groeisnelheid afneemt bij toenemende algenbiomassa. Het maximum in de algenbiomassa wordt dan volgens bovenstaande formule bereikt wanneer de bruto groeisnelheid door respiratie en sterftesnelheid wordt gekompenseerd. Indien nutriëntenbeperking optreedt hangt de maximaal bereikbare algenbiomassa af van de belasting van de beperkende factoren, in dit geval totaalfosfaat.

6. Oplossing van de vergelijkingen

In het groeiseizoen is de oplossing voor de dan geldende evenwichtsvergelijkingen:

$$F_z = \frac{\lambda}{\alpha + \lambda} \left(\frac{c}{ag} - \frac{\beta}{g\lambda} (\mu_z - r_z) \right)$$

$$Z = \frac{\mu_z - r_z}{g}$$

$$D = \frac{\alpha}{\lambda} F_z + \frac{\beta}{g\lambda} (\mu_z - r_z) = \frac{\lambda}{\alpha + \lambda}$$

$$\left(\frac{\alpha c}{ag\lambda} + \frac{\beta}{g\lambda} (\mu_z - r_z) \right)$$

Alle coëfficiënten zullen functies zijn van de tijd met een tijdschaal van ca. 100 dagen. Vanwege het arbitraire karakter van een gespecificeerde aanname over dit verloop in de tijd zullen we de meest elementaire veronderstellingen maken nl.: **Alle coëfficiënten zijn tijdsafhankelijk.**

Getalwaarden:

$$\mu_z - r_z = 0,24 \text{ dag}^{-1}$$

$$g = 1 \text{ gC}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{dag}^{-1}$$

$$a = 0,5$$

$$c = 0,2 \text{ dag}^{-1}$$

$$\alpha = \lambda = 0,02 \text{ dag}^{-1}$$

$$\beta = 0,01 \text{ dag}^{-1}$$

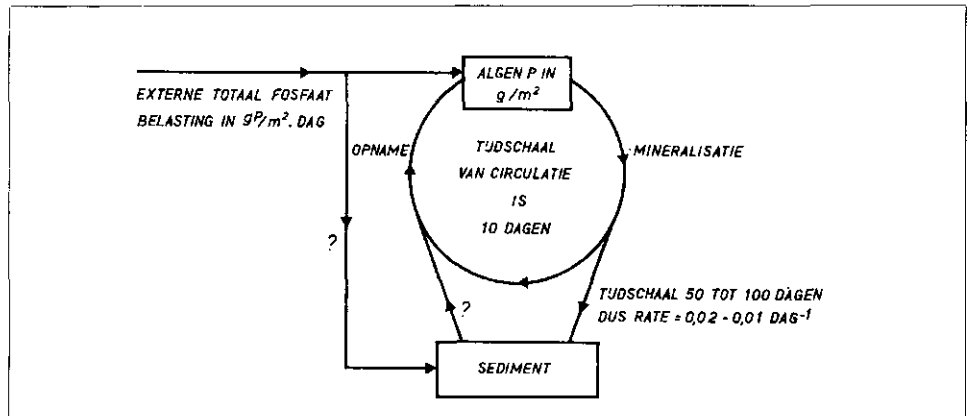
Hieruit volgt:

$$Z = 0,24 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-3}$$

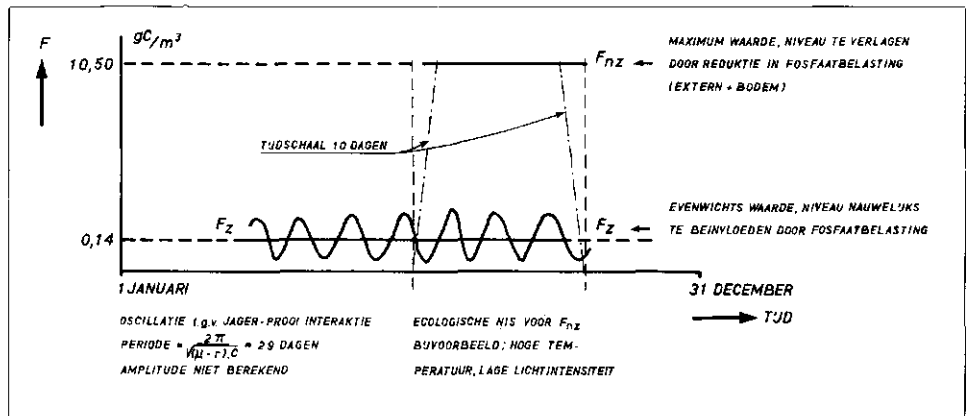
$$F_z = 0,14 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$D = 0,26 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-3}$$

Dus in het groeiseizoen is bijna 2x zoveel detritus in suspensie aanwezig als door zoöplankton consumeerbare algen. Deze detritus-hoeveelheid wordt geproduceerd door algen en wel rechtstreeks door afsterfing en externe secretie en indirect via uitscheidingsproducten en afsterfing van zoöplankton. De gelijkvormigheid in het gemeten verloop van zwevende organische stof en het gemeten verloop van plankton maakt een directe relatie aannemelijk. De lage gehalten aan organisch zwevende stof in het winterseizoen betekent dat er geen netto effect is van opwerveling en bezinking van bodemdetritus, niet buiten dus ook niet in het groeiseizoen.



Afb. 2 - Geschematiseerde fosfaatcyclus in een meer.



Afb. 3 - Het berekende fytoplanktonverloop in het groeiseizoen in de Grote Rug.

De berekening van de algenbiomassa F_{nz} bestaande uit niet door zoöplankton gekonsumeerde soorten:

De maximale algenbiomassa F_{nz} bij overmaat aan nutriënten kan, zoals in het voorgaande vermeld, berekend worden met het model van Steel, Vollenweider e.a. [2]. Dit leidt tot:

$$(F_z + F_{nz})_{\max} \cdot H = \frac{1}{\epsilon}$$

$$\left(2 \cdot f \cdot \frac{\mu_{\max}}{r} - k_0 H \right) \quad (\text{fig. 4}) \quad (12)$$

De uitkomst wordt in grote mate bepaald door de specifieke extintiecoëfficiënt ϵ per eenheid algenconcentratie. Nu is ϵ een functie van de algensoort. De algensoorten die niet door zoöplankton worden gekonsumeerd bestaan overwegend uit blauw-wieren en grote pantserflagellaten, zoals bijv. ceratium. Waarden van ϵ genoemd door Bannister [3] variëren tussen 0,01 à 0,02 m²/mg chlor. met een gemiddelde van 0,016 m²/mg chlor. Het is aannemelijk dat grote algensoorten per eenheid chlorofyl minder bijdragen tot troebeling dan kleinere algensoorten. Anderzijds zijn er argumenten aan te voeren waardoor de term tussen haken in vergelijking (12) speciaal voor

blauw-wieren lager zou kunnen uitvallen dan gemiddelde waarden voor vele algensoorten.

We nemen daarom gemiddelde waarden en wel $\epsilon = 0,016 \text{ m}^2/\text{mg chlor.}$, wat tesamen met een chlor.-koolstof verhouding van 1 : 40 leidt tot $\epsilon = 0,4 \text{ m}^2/\text{gC}$.

Nemen we verder de relatieve daglichtduur 0,625, de verhouding $\mu_{\max}/r = 20$ de extintiecoëff. $k_0 =$

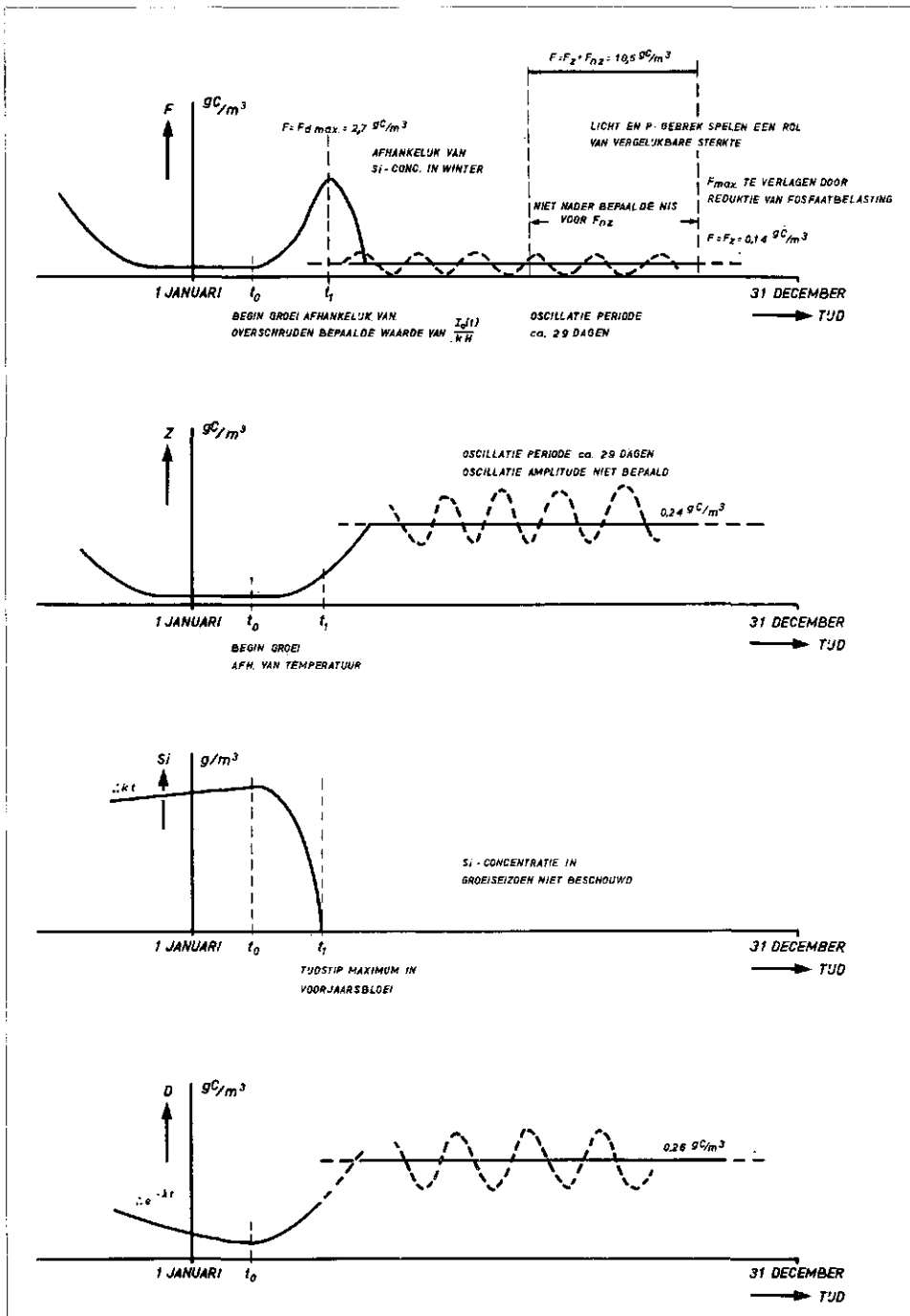
$$\frac{1,9}{2,4} = \frac{1,9}{2,4} = 0,8 \text{ m}^{-1}$$

zichtdiepte zonder algen $H = 5 \text{ m}$, dan wordt

$$F_z + F_{nz} = \frac{2 \cdot 0,625 \cdot 20 - 5 \cdot 0,8}{0,4 \cdot 5} = 10,5 \text{ gC/m}^3$$

In geval van nutriëntenbeperking door fosfaat wordt de maximaal bereikbare algenbiomassa F_{nz} berekend uit de totaal-fosfaatbalans.

Deze luidt: (zie ook fig. 2) Fosfaattransport via algen naar bodem + netto fosfaatbinding aan bodem langs de fysisch-chemische route = externe fosfaatbelasting.



Afb. 4 - Schematische weergave van de oplossing van de vergelijkingen voor plankton, silicium en detritus.

F: fytoplankton Z: zoöplankton Si: silicium D: detritus

Wanneer de directe fysisch-chemische netto binding van fosfaat aan het sediment wordt verwaarloosd, wordt dit maximum

$$F_z + F_{nz} = \frac{\text{externe } P_{\text{tot}}\text{-belasting}}{\text{algensedimentatie snelheid}} \cdot \gamma$$

Getalwaarden:

$$\gamma = \frac{\text{fosfaat}}{\text{koolstof}} \text{ verhouding} = 1 : 40$$

$$\text{externe } P_{\text{tot}}\text{-belasting} = 0,02 \text{ gP/m}^2 \cdot \text{dag}$$

$$\text{algensedimentatie snelheid} = 0,01 \text{ à } 0,02 \text{ dag}^{-1}$$

$$F_z + F_{nz} = 40 \text{ à } 80 \text{ gC/m}^2 = 8 \text{ à } 16 \text{ gC/m}^3$$

Het is te verwachten dat een deel van de P_{tot} -belasting uit het water gebonden zal blijven aan het slib. De hierboven berekende algenbiomassa is dus een schatting aan de hoge kant.

Uit het resultaat van de berekening trekken we de konklusie dat de maximaal bereikbare algenbiomassa bij uitsluitend lichtbeperking van gelijke grootteorde is als de biomassa bij uitsluitend fosfaatbeperking. Fosfaat en licht spelen dus een vergelijkbaar

sterke rol bij de begrenzing van de biomassa F_{nz} . Wanneer wel netto fosfaatbinding aan de bodem langs de directe chemische route optreedt, wordt de uit de totaal-fosfaatbalans berekende maximale algenbiomassa uiteraard kleiner. Het maximum in F_{nz} treedt op in die periode van het groeiseizoen waarin de gunstigste omstandigheden voor de groei van de betreffende algensoorten voorkomen (afb. 3).
 Konklusie: F_{nz} is vele malen groter dan F_z . Toekomstig onderzoek dient erop gericht te zijn de ecologische nis van deze niet door zoöplankton gekonsumeerde soorten te bepalen, evenals de groei- maar vooral ook de sterfmechanismen. Immers het maximum F_{nz} volgt uit het evenwicht tussen groei- en sterftesnelheid. Verder is de fosfaatbinding aan of vrijkomen uit de bodem tijdens de bloei van F_{nz} van groot belang.

Buiten het groeiseizoen

In winter en vroege voorjaar gelden de differentiaalvergelijkingen (8) t/m (11) voor de componenten F_d , Z , D en Si . De koëfficiënten in deze vergelijkingen zijn temperatuur afhankelijk. Zoals in het begin van dit rapport gesteld, verloopt de tijdschaal van de relevante biologische processen vanuit het winterseizoen naar het vroege voorjaar van orde 50 naar orde 10 dagen.

We zijn geïnteresseerd in de volgende aspecten van de voorjaarsbloei van diatomeën:

1. wanneer begint de voorjaarsbloei? Van welke factoren is dit begin afhankelijk en hoe kan dit beïnvloed worden?
 Het antwoord op deze vraag is betrekkelijk eenvoudig te geven. De algengroei begint op het tijdstip dat de bruto productie de verliezen door adembaling, sterfte en begrazing voor het eerst gezien vanuit het winterseizoen overwint. Daar voedselbeperking bij het begin van een voorjaarsbloei geen rol speelt, en bovendien de invloed van graas door zoöplankton in het algemeen te verwaarlozen blijkt, blijft over dat de brutoproductie de adembaling voor het eerst moet compenseren. Het compensatiekriterium blijkt slechts afhankelijk te zijn van de onderwater lichtintensiteit. Het antwoordt op vraag 1. luidt dus:
 De voorjaarsbloei in een over de diepte volledig gemengd bekken begint wanneer het produkt van totale instraling maal de zichtdiepte-waterdiepte verhouding een bepaalde vooraf gegeven waarde overschrijdt.
 Voorwaarde hierbij is dat de biomassa van algeneters in de wintermaanden verwaar-

• vervolg van pagina 540

Een planktonmodel voor 'De Grote Rug'

loosbaar klein is t.o.v. die in het groei-seizoen.

Het moment van aanvang in de voorjaarsbloei in een bekken met gegeven waterdiepte kan naar een later tijdstip verschuiven wanneer de natuurlijke troebelheid van het water in het winterseizoen toeneemt.

2. Hoe groot wordt de algenbiomassa tijdens het voorjaarsmaximum? Waarvan is dit maximum afhankelijk en hoe kan dit beïnvloed worden?

Deze vraag is minder eenvoudig te beantwoorden, omdat hier meerdere aspecten een rol spelen.

Algemeen geldt dat het voorjaarsmaximum in de diatomeënbloei wordt beïnvloed door:

- groeiremming door siliciumgebrek
- groeiremming door zelfoverschaduwing
- begrazing door zoöplankton.

Het model biedt de mogelijkheid kwantitatief na te gaan in welke mate genoemde invloedsfactoren een rol spelen op de grootte van het voorjaarsmaximum. Het blijkt dan dat de voorjaarsbloei van diatomeënen in de Grote Rug in de eerste plaats wordt beëindigd en bepaald door Si-tekort en in de tweede plaats beïnvloed wordt door lichtremming t.g.v. zelfoverschaduwing. Het zoöplankton speelt hierbij in het algemeen een ondergeschikte rol.

De grootte van het voorjaarsmaximum volgt uit de siliciumbalans, die niets anders zegt dan dat tijdens het voorjaarsmaximum alle Si, die op dat tijdstip aanwezig geweest zou zijn in het vrije water, nu opgeslagen is enerzijds in de levende algenbiomassa F_d en anderzijds in de op dat moment gesedimenteerde en gekonsumeerde hoeveelheid algen en uitscheidingsprodukten, die tezamen getaxeerd wordt op $1,3 \delta \cdot F_{dmax}$.

$$\text{Dus } F_{dmax} = \frac{Si_{t_0} + K_0 (t_1 - t_0)}{1,3 \cdot \delta}$$

waarin t_0 en t_1 het tijdstip van begin bloei respectievelijk maximum bloei

Getallen voorbeeld:

$$Si_{t_0} = 1,5 \text{ mg/l}$$

$$K_0 = 0,02 \text{ mg/l} \cdot \text{dag}^{-1}$$

$$t_1 - t_0 = 30 \text{ dagen}$$

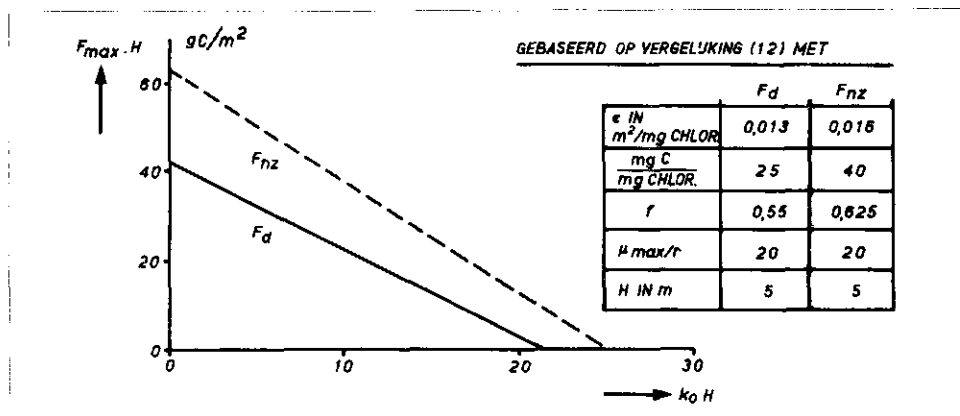
$$\delta = \frac{Si}{C} \text{ verhouding diatomeënen}$$

$$= 0,6$$

Dan is

$$F_{dmax} = \frac{1,5 + 0,02 \cdot 30}{1,3 \cdot 0,6} =$$

$$2,7 \text{ mg C/l} = 2,7 \text{ gC/m}^3$$



Afb. 5 - De maximale algenbiomassa in een verticale waterkolom per eenheid van wateroppervlak als functie van $K_0 H$ bij overmaat aan voedingsstoffen.

Uit dit getallen voorbeeld is te zien dat indien Si-beperving optreedt, de grootte van de voorjaarspiek in algenbiomassa min of meer lineair met het Si-gehalte in het water gedurende het winterseizoen toeneemt.

7. Samenvatting en konklusies

In het beschreven model worden de volgende (verzamel) soorten geïntroduceerd: Fytoplankton onderverdeeld in F_z door zoöplankton eetbare soorten, gesplitst in F_d diatomeënen $F_z \cdot F_d$ overige soorten F_{nz} door zoöplankton niet eetbare soorten Zoöplankton

Overige componenten:

Detritus in suspensie

Silicium

Fosfaat (ortho- en totaal fosfaat)

Het opgestelde model beschrijft de diatomeënbloei in het voorjaar. Aangevoerd wordt dat deze bloei wordt beperkt in de

eerste plaats door silicium gebrek en in de tweede plaats door lichttekort. Begrazing door zoöplankton speelt in het algemeen bij de voorjaarsbloei een ondergeschikte rol. In het groeiseizoen wordt een dynamisch evenwicht bereikt tussen het fytoplankton-deel F_z en het zoöplankton. Het model beschrijft in dit seizoen uitsluitend de evenwichtstoestand, dus niet de amplitude van de schommelingen om de evenwichtstoestand. Het blijkt dat de evenwichtstoestand in de algenbiomassa kwantitatief laag ligt t.o.v. de algenbiomassa die overwegend gereguleerd wordt door licht- en/of nutriëntenbeperving. Dit lage niveau wordt tevens in de hand gewerkt doordat gesuspendeerd detritus als additionele voedingsbron voor het zoöplankton in ruime mate aanwezig is, waardoor een hoge standing crop aan zoöplankton in stand wordt gehouden.

De algenbiomassa F_z wordt dus in het groeiseizoen door het zoöplankton op een zeer laag niveau gehouden. Dit geldt uiteraard niet voor de algenbiomassa

Lijst van symbolen

a	assimilatie rendement	(—)
c	verdwijnsnelheid van zoöplankton	(dag ⁻¹)
d_{nz}	verdwijnsnelheid van F_{nz}	(dag ⁻¹)
g	graassnelheid	(g.C ⁻¹ .m ³ .dag)
H	waterdiepte	(m)
f(I)	functie van lichtintensiteit	(—)
I_0	lichtintensiteit aan wateroppervlak	(J.m ⁻² .dag ⁻¹)
k'	extinctiecoëfficiënt	(m ⁻¹)
k''	extinctiecoëfficiënt in afwezigheid van algen	(m ⁻¹)
k_s	Monod halfwaarde voor Si	(g.Si.m ⁻³)
K_0	siliciumvrucht vanuit sediment + doorvoer	(g.Si.m ⁻³ .dag ⁻¹)
r	verdwijnsnelheid van F_d	(dag ⁻¹)
r_z	verdwijnsnelheid van F_z	(dag ⁻¹)
r_{nz}	verdwijnsnelheid van F_{nz}	(dag ⁻¹)
α	sterftesnelheid fytoplankton	(dag ⁻¹)
β	sterftesnelheid zoöplankton	(dag ⁻¹)
δ	silicium-koolstof verhouding van F_d	(g.Si.g.C ⁻¹)
ϵ	specifieke extinctiecoëfficiënt per eenheid F	(g.C ⁻¹ .m ²)
λ	mineralisatiesnelheid van detritus	(dag ⁻¹)
μ	bruto groeisnelheid van F_d	(dag ⁻¹)
μ_z	bruto groeisnelheid van F_z	(dag ⁻¹)
μ_{nz}	bruto groeisnelheid van F_{nz}	(dag ⁻¹)
μ	$= \mu \cdot k \cdot H \cdot f^{-1}$ (I)	(dag ⁻¹)

F_{nz} die niet door het zoöplankton wordt gekonsumeerd. Deze soorten worden in de groei beperkt door licht- en/of nutriëntentekort, en bereiken een kwantitatief aanzienlijk hogere waarde dan F_z . Het blijkt dat licht- en totaal fosfaatbeperking een rol van vergelijkbare sterkte spelen op het bereikbare maximum in F_{nz} . Toekomstig modelonderzoek dient juist aan deze soorten, die in hinderlijke hoeveelheden voor kunnen komen en veelal uit blauwwieren bestaan, ruime aandacht te besteden. Ten aanzien van de relatie tussen de planktongroei in de Grote Rug en het beheer van het fosfaat, als groeibeperkende nutriënt, werd de opvatting overgenomen die leeft binnen de projectgroep en begeleidingskommissie „Planktonbeheersing in Bekkens”, luidend:

„De algenbiomassa is niet positief gekorreleerd met de fosfaatconcentratie in het water. De algenbiomassa is wellicht gerelateerd aan de totaal fosfaat belasting afkomstig van het inlaatwater, en het vrijkomen van fosfaat uit de bodem. De mate van bereikbaarheid voor algen van het Fe of Al gebonden fosfaat speelt hierbij eveneens een rol”.

De kwantitatieve uitkomsten van dit onderzoek zijn samengevat in onderstaande tabel.

TABEL I.

	F_d	F_z	F_{nz}	Z	D
maximum algenbiomassa in gC/m ³	2,7		10,5		
evenwichtswaarde van biomassa in gC/m ³		0,14		0,24	0,26

8. Dankbetuiging

De dank van de auteur gaat uit naar drs. G. Oskam van de NV Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch voor het kritisch doornemen van het manuscript en zijn bijdrage bij de keuze van de coëfficiënten. Eveneens is dank verschuldigd aan ir. R. Klomp, die in zijn functie bij Delta-dienst en RID, dit onderzoek heeft gestimuleerd.

Literatuur

1. *Projekt Planktonbeheersing in Spaarbekkens en Meren + Bijlagen*. Limnologisch onderzoek 1975, nota MO 76-37/RID 76-3.
2. Vollenweider, R. A. *Models for calculating Integral Photosynthesis and some Implications regarding Structural Properties of the Community Metabolism of Aquatic Systems*. In 'Prediction and Measurement of Photosynthetic Productivity'. IBP Meeting, Trebon, 1970, pp. 455 - 472.
3. Bannister, T. T. *A general theory of steady state phytoplankton growth in a nutriënt saturated mixed layer*. Limnol. Oceanogr., Vol. 19, no. 1, 1974.

Anaerobe behandeling van vetzuren bevattend afvalwater

Anaerobe zuivering van vetzuren houdend afvalwater is technologisch gezien zeer aantrekkelijk voor industriële toepassing. Dit schrijft ir. R. R. van der Meer, die op 7 november jl. aan de TH Delft is gepromoveerd, in zijn proefschrift, waarvan de titel luidt 'Anaerobic treatment of waste water containing fatty acids in upflow reactors'.

Van der Meer bestudeerde de technologie van de methaanvormende stap van het anaerobe waterzuiveringsproces in een opstroomreactor. Hierbij werd onderzocht of dit proces technologisch geschikt is voor toepassing bij industrieel afvalwater. Door een intensieve samenwerking met CSM kon dit onderzoek worden uitgevoerd in reactoren van technische en semi-technische schaal. Daardoor droegen de resultaten direct bij tot de ontwikkeling van een reactor van praktijkgrootte. Het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne heeft ongeveer een miljoen gulden bijgedragen in de kosten van het onderzoek.

De onderwerpen die in deze reactoren werden bestudeerd, betroffen het vloeistofstromingsgedrag, het gedrag van het slib, de werking van de bezinker(s). Bij de experimenten ter bestudering van de kinetiek moest het proces gedurende langere perioden stationair blijven en moesten de procesomstandigheden nauwkeurig instelbaar zijn. Daarom werden deze experimenten uitgevoerd in een laboratoriumreactor.

Een beperkt aantal exemplaren van het werk van Van der Meer zijn beschikbaar voor toezending op aanvraag bij de Delftse Universitaire Pers, Mijnbouwplein 11, 2628 RT Delft.

10e IAWPR Congres in Toronto

Van 23 t/m 27 juni 1980 organiseert de International Association on Water Pollution Research in Toronto haar 10e internationale congres. Onderwerp zal zijn 'Nieuwe ontwikkelingen in alle facetten van de waterverontreiniging'. Inlichtingen: mr. Ken Charbonneau, Conference Services, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario M5S 1A4.

Regionaal IWSA Congres in Ivoorkust

In Abidjan, de hoofdstad van Ivoorkust, wordt van 4 t/m 8 februari 1980 het eerste Afrikaanse IWSA congres gehouden.

Het congres valt samen met een water-vaktentoonstelling en met de eerste bijeenkomst van de African Union of Water Suppliers (AUDE). Voor de tentoonstelling zijn deelnemingen genoteerd uit de Verenigde Staten, Groot-Brittannië, Frankrijk, Duitsland, Italië, Scandinavië, Nederland en Oostenrijk. Inlichtingen: mr. David Domoney, Sales & Marketing Director, I Tenterden Street, London W1R 9AH.

Congres over Fluidised bed behandeling voor (afval)water

Het Water Research Centre organiseert van 14 t/m 17 april 1980 in samenwerking met het Institute of Science and Technology van de Universiteit van Manchester een congres over fluidised bed behandeling van (afval)water. Inlichtingen bij: Water Research Centre, Medmenham Laboratory, Henley Road, Medmenham, P.O. Box 16, Marlow, Bucks, 2SL27 2HD, England.

Derde Vakbeurs Aandrijftechniek in Utrecht

De Koninklijke Nederlandse Jaarbeurs organiseert in samenwerking met de Federatie Aandrijftechniek de Vakbeurs Aandrijftechniek, die van 29 september t/m 4 oktober 1980 wordt gehouden. De Vakbeurs Aandrijftechniek omvat het gehele leveringsprogramma van elektrische, hydraulische, mechanische en pneumatische aandrijf- en overbrengingscomponenten, zowel voor mobiel als stationair gebruik. Inlichtingen: afdeling Beursdeelneming van de Koninklijke Nederlandse Jaarbeurs, postbus 8500, 3503 RM Utrecht.

Nijmeegse IJzergieterij in 1980 in nieuwe fabriek

In december wordt een begin gemaakt met de nieuwbouw voor de Nijmeegse IJzergieterij. Met de bouw, die minder dan een jaar in beslag nemen zal, is een bedrag van 11 miljoen gulden gemoeid. Doordat de nieuwe fabriek op het industrieterrein Westhaven komt te staan, zal er een eind komen aan de milieuoverlast, die de Nijmeegse Voorstadslaan nu nog ondervindt van de NIJG. Het bedrag dat nodig is voor de nieuwbouw, wordt voor ruim de helft door de NIJG zelf gefinancierd. 5,1 miljoen gulden wordt door de gemeentelijke- en rijks-overheid op tafel gelegd.