

Fosfaatnalevering door sedimenten in Noord-Holland.

Een experimenteel onderzoek naar de fosfaatnaleveringscapaciteit en naleveringstijd van Noordhollandse sedimenten in opdracht van, en met financiële steun van het Ministerie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening & Milieubeheer en de Provinciale Waterstaat van Noord-Holland.

Louis van Liere, Josje Peters, Attie Montijn & Luuc. R. Mur
Laboratorium voor Microbiologie Universiteit van Amsterdam,
Nieuwe Achtergracht 127, 1018 WS AMSTERDAM.

huidig adres van de auteur: Limnologisch Instituut, Rijksweg 6, 3631 AC NIEUWERSLUIS;



Het onderzoek werd begeleid door:

Dr. H.W.Kroes (in 1981 vervangen door Ir. R.Schutte), voorzitter, VROM

Dr.H.A.M. de Kruijf (in 1982 vervangen door drs.J.C.v.d.Vlugt), RID.

Ir.G.V. Branderhorst, PWSNH.

Ir.R.Gerritse (in 1981 vervangen door drs.G.J.van Nuland), PWSNH.

Ing. A. Lenis, PWSNH

Drs.H.van Roon (vertegenwoordigd door drs B.Korf), PWSNH.

Dr. J.G.Loogman (taalkundig), Europees Parlement.

Inhoud

SAMENVATTING EN BELANGRIJKSTE CONCLUSIES.

1. INLEIDING

- 1.1 Algemene informatie.
- 1.2 Onderzoeksopdracht .
- 1.3 Voortgang van het onderzoek.
- 1.4 Plaats van het onderzoek in het beleid.

2. MATERIALEN EN METHODEN

- 2.1 Inleiding.
- 2.2 Onderzoeksgebied.
- 2.3 Apparatuur.
- 2.4 Eenheden.
- 2.5 Chemische fractionering.

3. RESULTATEN EN DISCUSSIE.

- 3.1 Algemeen.
- 3.2 Overzicht van de chemische fractioneringen.
- 3.3 Relatie fosfaatnaleveringscapaciteit-fractionering.
- 3.4 Fosfaatnaleveringscapaciteit van verschillende sedimenttypes.
- 3.5 Invloed van algengroei op de nalevering.
- 3.6 Baggeren in wegzijgingsgebieden.
- 3.7 Het effect van kwel op fosfaatnalevering; baggeren in een kwelgebied.
- 3.8 Slotopmerkingen.

SAMENVATTING EN BELANGRIJKE CONCLUSIES

Fosfaatnalevering is het onder bepaalde omstandigheden vrijkomen in het oppervlaktewater van fosfaten uit het sediment die daarin onder andere omstandigheden zijn vastgelegd. Dat vrijkomen vindt in de huidige situatie reeds plaats in de lente en de zomer, maar kan relatief nog belangrijker worden wanneer de fosfaattoevoer uit andere bronnen wordt verminderd.

Met behulp van een experimenteel systeem is getracht inzicht te verkrijgen in het vrijkomen van fosfaten uit sedimenten. Verschillende sedimenttypes uit de provincie Noord-Holland werden vergeleken met betrekking tot hun fosfaatnaleveringscapaciteit, een grootheid die aangeeft hoeveel fosfaat de bodem onder optimale omstandigheden (in de lente en zomerperiode) kan naleveren.

Verder werd in het experimentele systeem aandacht besteed aan de invloed die kwel en wegzijging op de omvang en snelheid van de nalevering hebben.

Het effect van het wegbaggeren van de toplaag, welke de meeste fosfaat bevat, werd eveneens onderzocht.

De invloed van algengroei op de snelheid van nalevering werd in een enigszins gewijzigd systeem bestudeerd.

De gemeten naleveringscapaciteit werd vergeleken met de resultaten van een andere methode, namelijk chemische fractionering van het sediment.

- In het onderzoeksgebied werd een grote variatie in naleveringscapaciteit gevonden met behulp van een doorstroommethode ($1/2-23 \text{ gP m}^{-2} \text{ "jaar"}^{-1}$). Er bestaan grote verschillen tussen de diverse sedimenttypen:

| | |
|--------------------------------------|---|
| Veen (mosveen - rietveen- zeggeveen) | : 0.4 - 1.3 g Pm ⁻² "jaar" ⁻¹ |
| Zand | : 4 - 1 " " |
| Bagger (slib,gyttja) | : 4 - 24 " " |

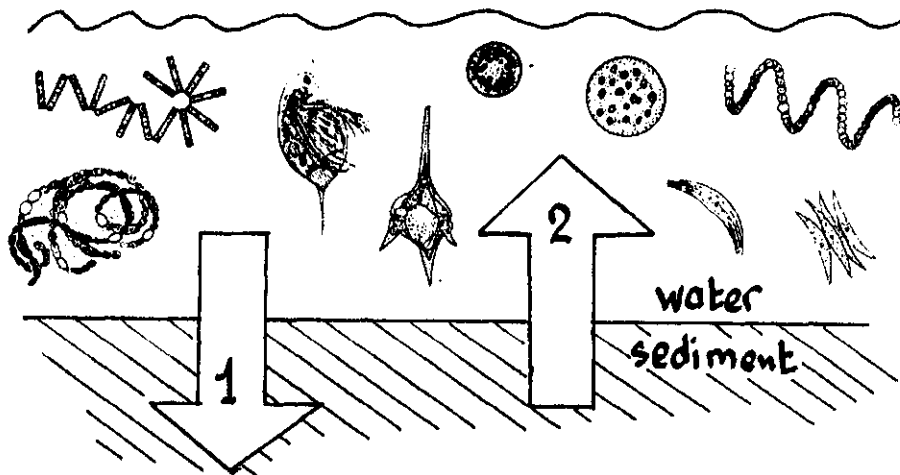
- Veensedimenten staan hun fosfaat ook in korte tijd af (korter dan de lente en de zomerperiode). Dit betekent dat bij voldoende doorspoeling met fosfaatarm water snel uitputting van het sediment zal optreden en snelle verbetering van de situatie met betrekking tot algengroei verwacht wordt.
- Bij wegzijging is de nalevering lager dan bij kwel of niet bewegend grondwater.
- In gebieden waar het grondwater wegzijgt, kan men met wegbaggeren van de toplaag (als aanvullende maatregel op verminderde fosfaattoevoer van buitenaf) de fosfaatnaleveringscapaciteit ongeveer met een factor tien verkleinen.

- Baggeren (zonder vermindering van de fosfaattoevoer van buitenaf) op zich heeft slechts een zeer tijdelijk positief effect door de vorming van nieuwe fosfaatrijke bagger.
- In gebieden met fosfaathoudende kwel heeft baggeren minder effect op de fosfaatnalevering dan in gebieden met wegzijging.
- De resultaten van chemische fractionering vormen geen nauwkeurige parameter voor het voorspellen van de fosfaatnaleverings-capaciteit, aangezien grote variaties gevonden werden in het vergelijk van de resultaten van beide methoden.
- De gebruikte fractioneringsmethode is onbruikbaar voor veensedimenten.
- Algen versnellen, door fosfaatopname tijdens hun groei, de nalevering van fosfaten uit het sediment.
Aangezien de algen het fosfaat opslaan kunnen zij bij geforceerde doorspoeling dienen als transportmiddel.
- Gezien het voorgaande punt zal geforceerde doorspoeling als saneringsmaatregel het grootste effect hebben wanneer de algenbiomassa maximaal is, hetgeen veelal in de nazomer het geval is.

1. INLEIDING.

1.1 ALGEMENE INFORMATIE

Het fosfaat dat zich in de vaste fase van het sediment van meren en sloten bevindt, is in dynamisch evenwicht met het opgeloste fosfaat in het oppervlaktewater (Fig.1.1)



Figuur 1.1 Evenwicht tussen vaste en vloeibare fase.

In een evenwichts situatie (die in werkelijkheid nooit langdurig zal voorkomen) gaat er per tijdseenheid, evenveel fosfaat in oplossing als dat er aan het sediment wordt gebonden.

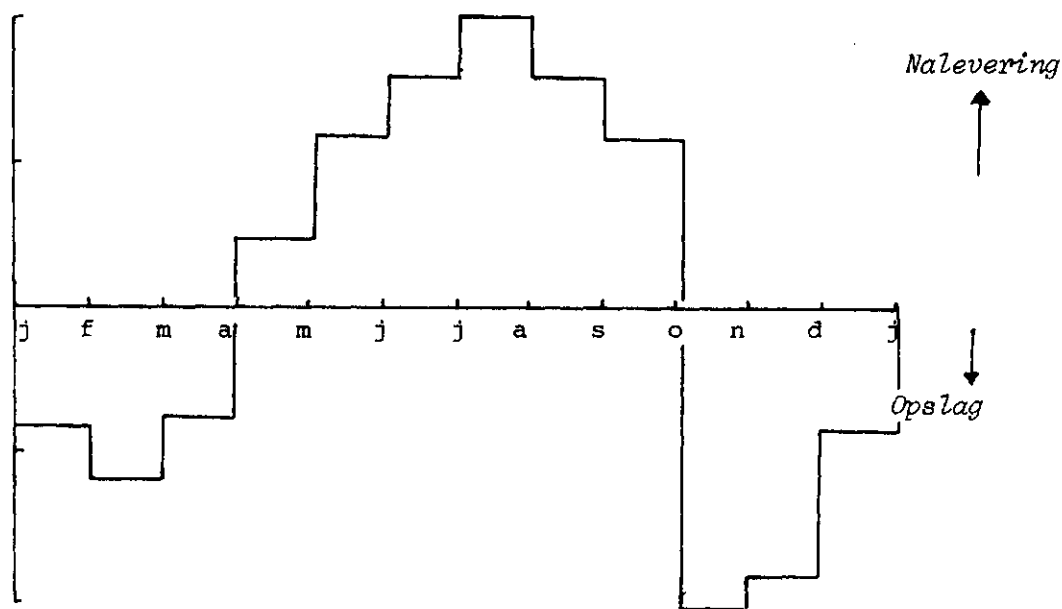
Het in Fig 1.1., zo simpel afgebeelde evenwicht is in werkelijkheid zeer complex, doordat het onder invloed staat van een groot aantal fysische en chemische factoren: temperatuur, zuurgraad, redoxpotentiaal, samenstelling van het sediment en samenstelling van het oppervlaktewater zijn enige van de stuurvariabelen, die de grootte van de pijlen 1 en 2 in Figuur 1.1. bepalen.

Een voorbeeld: Wanneer de concentratie aan opgelost fosfaat in het oppervlaktewater hoger wordt, dan wordt de flux naar het sediment (pijl 1) groter, waardoor er een netto opslag van fosfaat in het

sediment plaatsvindt. Deze vastlegging van het fosfaat kan er echter toe leiden dat onder andere omstandigheden pijl 2 groter wordt dan pijl 1, wat betekent dat er fosfaat vanuit het sediment in oplossing gaat. Dit laatste proces wordt nalevering genoemd. Naarmate er meer fosfaat in de bodem is opgeslagen, wordt de mogelijkheid groter, dat er bij afnemende fosfaat-concentratie in het oppervlaktewater langdurige nalevering zal optreden.

Deze nalevering is nu reeds waarneembaar in de lente en de zomer, wanneer het meeste opgeloste fosfaat is opgeslagen in de algenpopulatie; in de herfst en de winter wanneer de algen afsterven en gemineraliseerd worden, wordt de concentratie aan opgelost fosfaat in het bovenstaande water hoger en vindt weer opslag in het sediment plaats. Dit proces kan worden gemeten door een fosfaatbalans voor een bepaald gebied op te stellen.

Figuur 1.2 geeft daarvan een voorbeeld.



Figuur 1.2 Nalevering en opslag van fosfaat

Het nadeel van deze methode is dat de informatie achteraf beschikbaar komt.

Bij reductie van de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater gaat de hoeveelheid naleverbaar fosfaat een relatief belangrijker rol spelen in de toevoer van fosfaat naar het oppervlaktewater. Kwantitatieve gegevens hierover ontbreken voor de provincie Noord-Holland volledig. Het onderzoek dat hierna wordt besproken poogt enig licht te brengen in de omvang van de nalevering.

1.2 Onderzoeksopdracht

Doel van het onderzoek is inzicht te krijgen in de mate waarin het fosfaat uit de bodem als eutrofiëringsbron, gaat dienen, wanneer de fosfaatbelasting van het water afneemt. Tevens zal het onderzoek er aandacht aan besteden of er maatregelen mogelijk zijn om de fosfaatmobilisatie te beperken.

1.3. Voortgang van het onderzoek.

Het onderzoek werd uitgevoerd met experimentele systemen en Noordhollandse sedimenten, op het Laboratorium voor Microbiologie van 1 februari 1980 tot 31 januari 1983.

In de loop van het onderzoek verschenen vier voortgangsrapporten:

Van Liere, L. & Mur, L.R., 1980. De invloed van de migratie en mobilisatie van de fosfaten in sedimenten op de algengroei. september 1980, pp.25

Van Liere, L., Montijn, A. & Mur, L.R., 1981. De invloed van de migratie en mobilisatie van de fosfaten in sedimenten op de algengroei, juli 1981, pp.31.

Van Liere, L., Peters, J. & Mur, L.R., 1982. Fosfaattnalevering in enige Noordhollandse meren en de Wijde Wormer, maart 1982, pp.71

Van Liere, L., Peters, J. & Mur, L.R., 1982. Fosfaattnalevering, baggeren en kwel gesimuleerd met Noordhollandse sedimenten, november 1982, pp.72.

Verder verschenen vier wetenschappelijke artikelen:

Van Liere, L. & Mur, L.R., 1982. The influence of simulated groundwater movement on the phosphorus release from sediments, as measured in a continuous flow system. *Hydrobiologia* 92, 511-518.

Van Liere, L., Peters, J., Montijn, A. & Mur, L.R., 1982. Release of sediment phosphorus, and the influence of algal growth on this proces. Hydrobiol. Bull. 16, 191-200.

Van Liere, L., Peters, J. & Mur, L.R., (aangeboden aan H₂O). Fosfaat-naleveringscapaciteit van sedimenten en naleveringstijd.

Peters, J. & Van Liere., L. (submitted to Verh. Internat. Verein-Limnol). Phosphorus release from sediments, dredging and upwelling groundwater as simulated in an experimental system.

Het derde en vierde voortgangsrapport geven een volledige overzicht van het meetprogramma, de resultaten en de discussie ervan. De belangrijkste gedeeltes zullen in dit rapport nogmaals worden samengevat.

1.4. Plaats van het onderzoek in het beleid.

Een nadere formulering van de eutrofiëringsbestrijding, zoals die voor het eerst werd geformuleerd in de Fosfatennota 1979, werd door de betrokken ministeries vastgelegd in de richtlijnen van het Indicatief Meerjaren Programma Water 1980-1984. Het beleid ter bestrijding van eutrofiëringsproblemen is in de eerste plaats gericht op het verlagen van de fosfaatbelasting, met de bedoeling dat fosfaat hierdoor weer de belangrijkste beperkende factor voor de algengroei wordt.

In het verleden was fosfaat namelijk in de meeste gebieden van de gematigde klimaat zone de beperkende factor voor de groei van algen. Door de hoge fosfaattoevoer naar het oppervlaktewater in de laatste decennia is dat, althans in Nederland, vrijwel niet meer het geval. Uit de literatuur blijkt dat in grote delen van Noord-Holland fosfaatbeperking nog, slechts in uitzonderingsgevallen voorkomt.

Om fosfaat weer beperkend te maken voor de groei zal het gehalte aan, totaal-fosfaat, volgens het IMP, in het algemeen lager moeten zijn dan $0.2 - 0.4 \text{ mg P l}^{-1}$. In de normenlijst voor de basiskwaliteit is voor stagnante wateren een waarde van 0.2 mg P l^{-1} (totaal fosfaat) opgenomen. Om min of meer natuurlijke fosfaatgehalten te bereiken, zal in vele wateren een streefwaarde van minder dan 0.1 mg P l^{-1} moeten gelden.

De bij genoemde concentraties behorende belasting wordt sterk bepaald door de hydraulische verblijftijd. In meren met een verblijftijd van langer dan enige maanden zal de belasting waarschijnlijk moeten worden teruggebracht tot waarden van ca. $0.5 - 0.1 \text{ g P m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ en in wateren met een verversingstijd van niet meer dan enkele weken zijn enkele grammen $\text{P m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ toelaatbaar. (Fig.1.3).

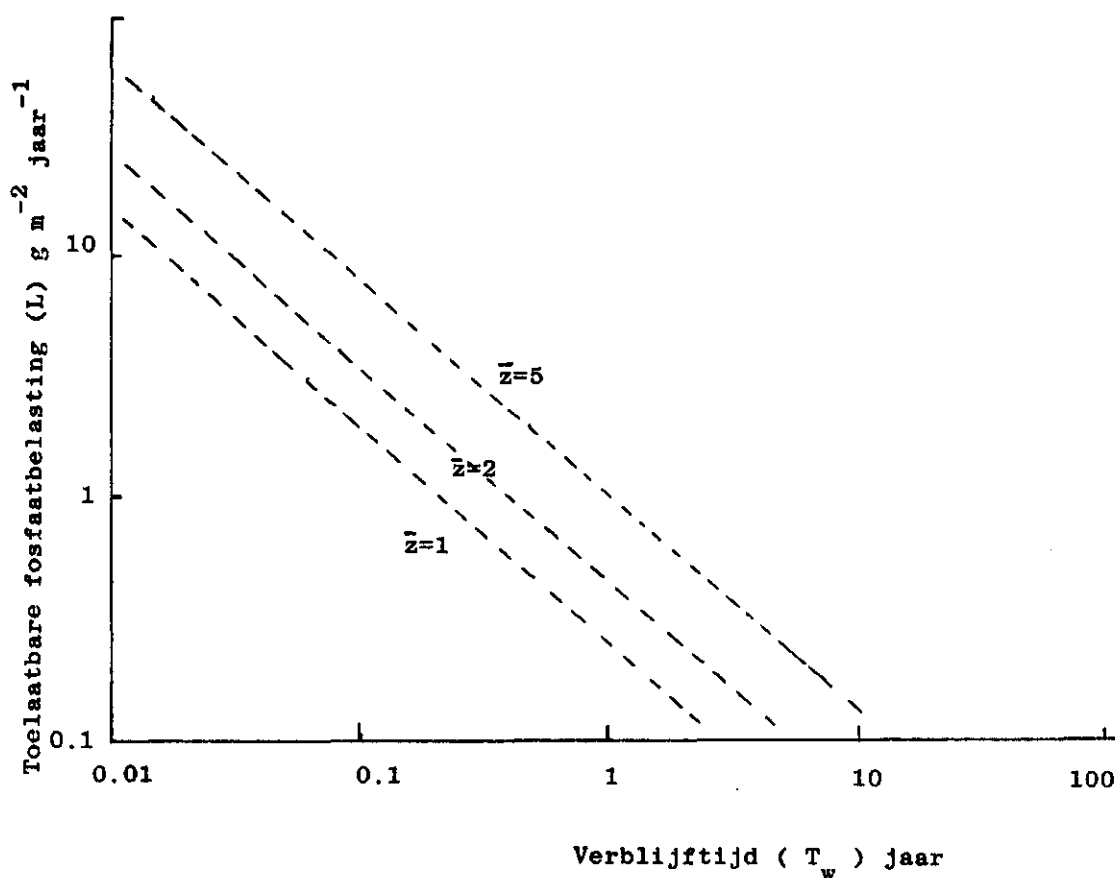


Fig. 1.3. Toelaatbare fosfaatbelasting (L) als functie van de verblijftijd (Tw) en de gemiddelde waterdiepte (\bar{z}), uitgaande van een gemiddeld totaal-P gehalte van 0.1 mgP l^{-1} .

In de Fosfatennota 1979 is gekozen voor een tweesporenbeleid. Op landelijk niveau wordt voorgesteld fosfaten in wasmiddelen te vervangen. Op regionaal niveau zal fosfaatverwijdering in daarvoor in aanmerking komende rioolwaterzuiveringsinrichtingen moeten worden uitgevoerd. Naast deze twee sporen wordt in de fosfatennota reeds enige aandacht besteed aan andere fosfaatbronnen, die bestreden kunnen worden, zoals uit de landbouw en uit de industrie.

Bovendien is gedurende de laatste jaren duidelijk geworden, dat voor de bestrijding van de eutrofiëring een integrale aanpak van de vele factoren niet gemist kan worden om voldoende effect te sorteren. Hierbij wordt vooral nog gedacht aan de aanpak van de eutrofiëring door het aanbrengen van verandering in de hydrologische aspecten van het water en door het verminderen van de fosfaatnalevering door baggeren. Voor een dergelijke integrale regionale aanpak pleitte ook de nota Fosfaat in water, 1977, van de Provincie Noord-Holland.

2. MATERIAAL en METHODEN

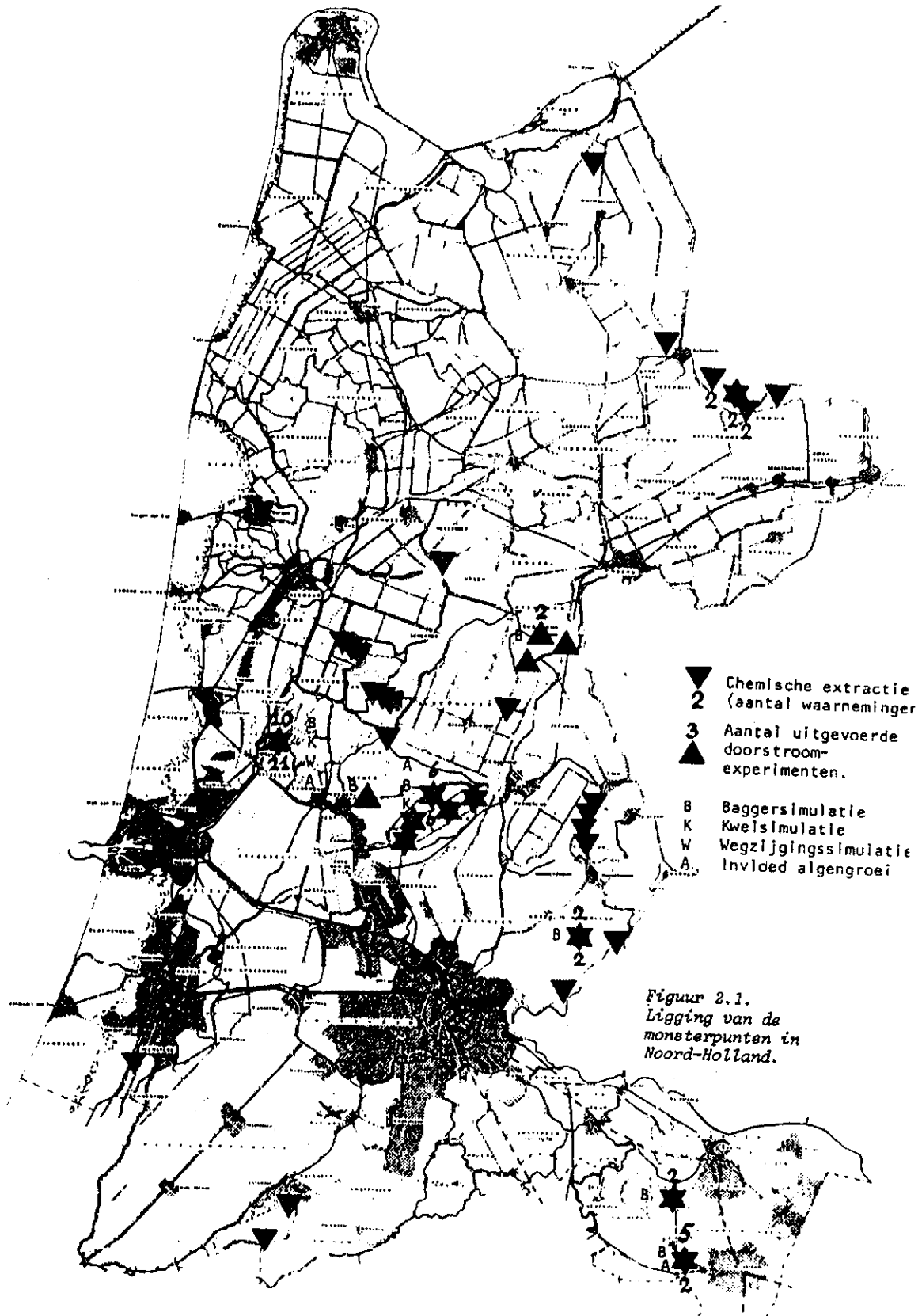
2.1 Inleiding.

In het beschreven onderzoek zijn twee methodieken gebruikt. Allereerst het continu doorgestroomde systeem (zie 2.3), waarin fosfaat naleveringscapaciteit werd bepaald van verschillende sedimenten. Tevens werden kwel en wegzijgingsexperimenten uitgevoerd in dat systeem en werd de invloed van algengroei en (in andere experimenten) baggeren bestudeerd. Daarnaast werd chemische fractionering van het sediment uitgevoerd, ten einde de verschillende vormen van het daarin voorkomende fosfaat te bepalen (zie 2.6). Er is gepoogd de uitkomsten van beide methoden met elkaar in verband te brengen (Hfst.3).

2.2 Onderzoekgebied.

Het gebied waarin de onderzochte sedimentmonsters werden verzameld, was de provincie Noord-Holland.

In deze provincie is aan het oppervlak sprake van een breed scala van bodemsoorten. Op het niveau van de slootbodems en de meerbodems is de variatie geringer. Vaak is het oorspronkelijke sediment bedekt met een recente laag bagger (bagger, slib, gyttja : een sedimentmengsel van recente oorsprong bestaande uit particulier organisch materiaal, anorganische precipitaten en materiaal van minerale oorsprong). Een dergelijk amorf materiaal is moeilijk te karakteriseren.; het zal echter duidelijk zijn dat bagger een zeer gevarieerde samenstelling kan hebben. De plaats van herkomst en de vormingsgeschiedenis bepalen de eigenschappen ervan. Een aantal van deze baggersoorten is onderzocht. Verder is veel aandacht besteed aan verschillende veenbodems. Het kaartje (Fig.2.1) geeft de ligging van de monsterpunten aan. De monsters van meer dan 50 punten werden gefractioneerd, en van 40 monsters werd de nalevering gemeten met behulp van het doorstroomsysteem.



Figuur 2.1.
Ligging van de
monsterpunten in
Noord-Holland.

2.3 Apparatuur.

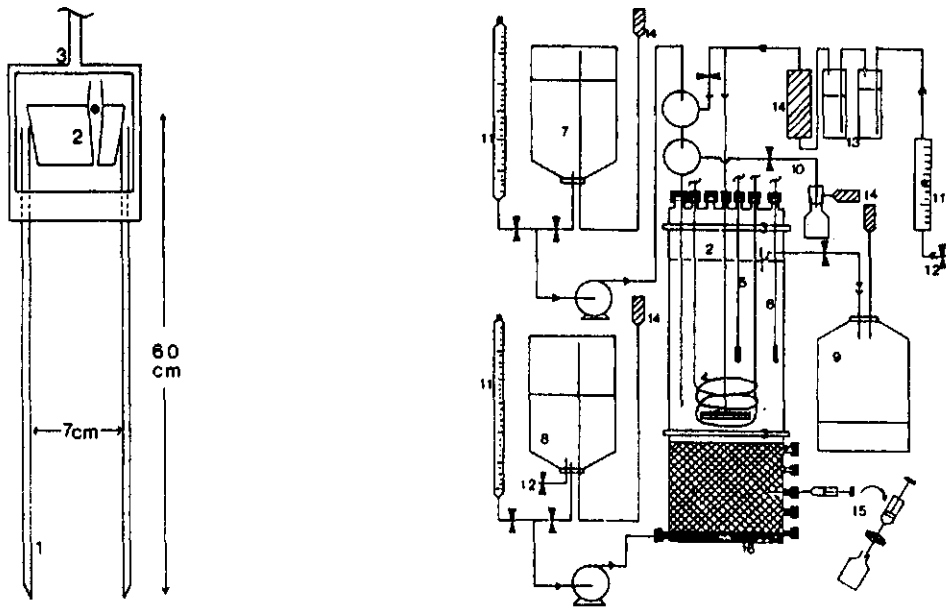


Fig. 22

Monsterverzamelaar voor sediment met een stevige onderlaag.

1: polyacrylaat buis, 2: rubber stop met ventiel, 3: metalen staaf met aansluitklemband.

Figuur 2.3.

Flowsheet CPRR. 1: sedimentencompartment, 2: watercompartment, 3: vlakke flenzen, 4: koelspiraal, 5: thermometer, 6: pH electrode, 7: mediumtoevoer, 8: kweltoevoer c.q. infiltratie-afvoer, getekend is de kwelsituatie, 9: effluent, 10: monstername systeem, 11: flowmeter, 12: lucht c.q. stikstof onder druk, 13: wasflesjes, 14: wattenfilters, 15: monstername poriënwater, 16: schuimrubber schijf, 17: luchtverdelers van gesinterd glas.

Sedimentmonsters werden genomen in Fig 2.2. afgebeelde apparaat.

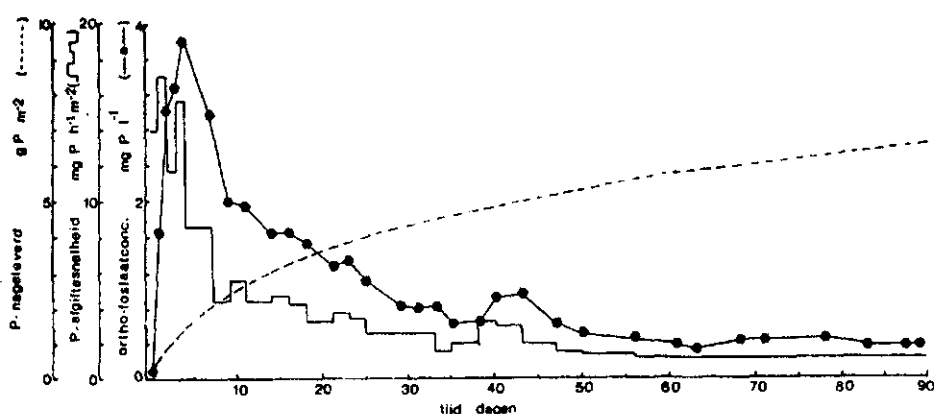
Dit kon gebruikt worden tot waterdiepte van ongeveer 1½m. Bij dieper water werd gebruik gemaakt van een Jenkin-modderverzamelaar. Dit apparaat bestaat uit een monsterbuis zoals die in Fig. 2.2, welke echter in een zondanige constructie geplaatst dat de buis aan onder- en boven kant door afstandsbediening kan worden afgesloten.

De binnendiameter van de monsterbuizen was zodanig dat de sediment-monsters (na invriezen) in het sedimentcompartiment van de reactor konden worden gebracht (zie Fig. 2.3). Op dit sedimentcompartiment werd m.b.v. een flenzensysteem het watercompartiment geplaatst. Het watercompartiment werd gevuld en doorgestroomd met een medium dat in samenstelling, althans wat de belangrijke ionen betreft, overeenkwam met het oppervlaktewater van het monsterpunt. Fosfaten werden uit het medium weggelaten.

De doorstromingsnelheid was zodanig dat de verblijftijd van het water in het systeem enige dagen bedroeg. De pH werd gemeten m.b.v. een electrode en automatisch op een constante waarde gehouden (8.0) door het inpompen van verdund zuur of verdunde loog, wanneer dat nodig was. De temperatuur werd eveneens constant gehouden, en wel op 20°C. De waterkolom werd gemengd met een luchtverdeler, op zodanige wijze dat de sedimenthorizon niet werd verstoord. Tevens zorgde de beluchting ervoor dat de zuurstofconcentratie in het water hoog bleef, zodat er geen zuurstofloosheid van het water kon optreden.

De hierboven beschreven condities zijn gekozen op grond van het feit dat ze een realistische weerspiegeling geven van situatie zoals deze na verregaande zuivering 's zomers zal optreden. Het constant houden van diverse parameters dient om vergelijking tussen diverse sedimentsoorten mogelijk te maken.

Op gezette tijden werd het oppervlaktewater bemonsterd en van deze monsters werd de fosfaatconcentratie bepaald. Fig 2.4 geeft een weergave van de



Figuur 2.4

Experiment met sediment (bagger + veen) uit de Beetskoog, vlak bij het dorp Beets.

resultaten van een doorstroom-experiment, zoals dat er normaal uitzag. Aan het begin van het experiment (wanneer het meeste fosfaat zich nog in het sediment bevindt) neemt de concentratie opgelost fosfaat in het bovenstaande water snel toe, vanwege de hoge naleveringssnelheid. Daarna vermindert de concentratie doordat de naleveringssnelheid lager wordt en er fosfaat uit het systeem wordt afgevoerd. Uit twee opéénvolgende concentratie-bepalingen kan men, door het opstellen van een massabalans, berekenen hoeveel fosfaat er per tijdéénheid en per oppervlakte-eenhied het grensvlak sediment/water passeert ("geblokte" grafiek in Fig. 2.4).

Optelling van de snelheden levert de onderbroken lijn Fig. 2.4. deze geeft het verloop van de totale hoeveelheid nageleverd fosfaat weer. Om het proces van nalevering te volgen werd ook het opgelost fosfaat gehalte in het poriënwater op verschillende diepten bepaald. De zo ontstane gradient is een maat voor het naleverbare fosfaat in relatie met richting en sterkte van de grondwaterstroming. Fig.2.5 geeft het verloop van het fosfaatgehalte in het poriënwater weer als functie van de diepte en de tijd in het experiment

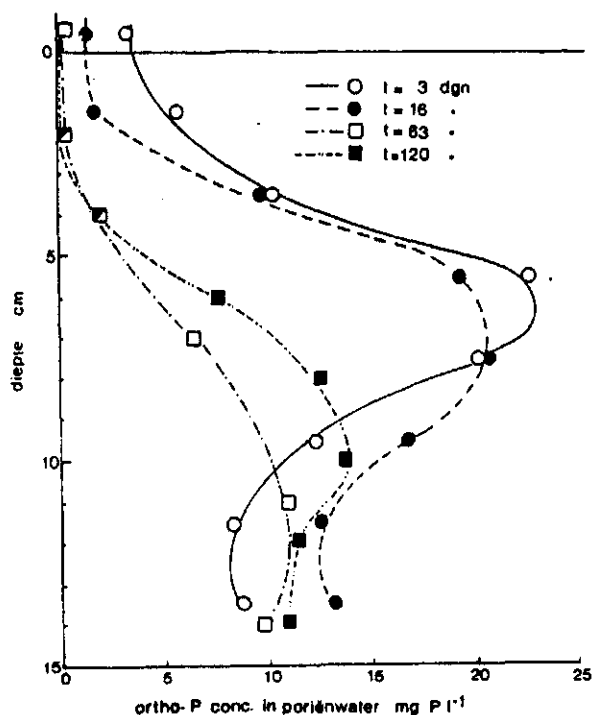


Fig.2.5 Verloop van de concentratie aan opgelost fosfaat in het poriënwater als functie van diepte en tijd. De getoonde grafiek ontstond tijdens een doorstroomexperiment met Beetskoog-sediment (zie ook Fig.2.4).

waarvan de nalevering werd getoond in Fig. 2.4. Op een diepte van 15cm verandert de fosfaatconcentratie weinig, hetgeen betekent dat er vanuit deze zone weinig wordt nageleverd. Nalevering geschiedt vooral uit de bovenste 10cm. Voor gedetailleerde informatie over het poriënwater wordt verwezen naar de voortgangsrapporten.

In Noord-Holland vinden we zowel kwel als wegzijging. Deze grondwaterstromingen kunnen van invloed zijn op de nalevering. In een aantal gevallen zijn deze processen gesimuleerd in het doorstroomsysteem (Fig.2.3). In het geval van kwelsimulatie werd het medium anaeroob gemaakt met een continue stikstofstroom.

Wanneer algen boven het sediment gekweekt werden moesten enige wijzigingen worden aangebracht in het doorstroomsysteem. Menging gebeurde met een Vibromixer (een trillende schijf). Om opwarreling van het sediment te voorkomen werd een filter van gesinterd glas aangebracht tussen de roerder en het sediment. Ten einde de zuurstofconcentratie onder het filter hoger dan nul te houden, werd vloeistof van onder het filter naar het watercompartment gepompt.

Zoals is te zien in Fig. 2.5, treedt er in het sediment laagvorming op, hoewel deze met het blote oog niet waarneembaar is. Verder vindt nalevering voornamelijk plaats uit de bovenste laag. Het effect van verwijdering van de verrijkte bovenlaag (bagger-simulatie) is daarom eveneens onderzocht. Dit werd uitgevoerd door een ingevroren monster met een diepvriesmes door te zagen en de fosfaatalevering door het bovenste en onderste deel van het monster afzonderlijk te onderzoeken.

Aan het begin en einde van een doorstroom-experiment werd het fosfaat in de vaste fase onderzocht. Op de methode daarvoor komen we terug in Hfst.2.6

2.4 Eenheden.

Uit de literatuur is bekend dat het in oplossing gaan van fosfaat uit sedimenten (nalevering) vrijwel uitsluitend plaatsvindt in de periode april-oktober (zie ook hfst.1.1). In de herfst en de winter wordt daarentegen opslag van fosfaat in het sediment waargenomen. Hoewel er gemiddeld over het hele jaar een netto opslag in het sediment waarneembaar is, is het desondanks de 'zomernalevering' die het succes van een sanering op fosfaatgebied bepalen kon.

De gebruikelijke eenheid voor de externe fosfaatbelasting is $g P m^{-2}$ jaar⁻¹ (externe fosfaatbelasting is de toevoer van fosfaat naar het oppervlaktewater door oorzaken buiten het systeem: effluenten, lozingen, invloed landbouw c.q. veeteelt, etc). De slechts in lente en zomer voorkomende nalevering, zou in een andere eenheid worden uitgedrukt, hoewel het wél een "jaarlijkse" belasting betreft.

In het continu doorgestroomde systeem is de nalevering gesommeerd over c.q. geëxtrapoleerd naar 180 dagen, welke periode is gekozen als lengte van lente en zomer te zamen.

Deze periode van 180 dagen₂ wordt aangegeven met "jaar".

Zo geldt de eenheid $g P m^{-2}$ "jaar"⁻¹ voor "interne belasting" d.i. de toevoer van fosfaat naar het oppervlaktewater vanuit het systeem zelf, b.v. nalevering.

Bij externe belasting, welke over het gehele jaar wordt gemiddeld, zullen geen aanhalingstekens worden geplaatst.

De in $g P m^{-2}$ "jaar"⁻¹ uitgedrukte grootheid is de naleveringscapaciteit van het betrokken sediment. Deze geeft aan hoeveel er in de zomerperiode nageleverd kan worden.

Sommige experimenten duurden veel langer dan 180 dagen, andere veel korter. Om dit aan te geven is de naleveringstijd (dagen) ingevoerd, dat is de tijd gedurende welke het sediment fosfaat naleverde met een snelheid boven een bepaalde lage waarde, waarvoor $0,1 mg m^{-2}$ uur is gekozen.

Het slagen van sanering zal zeker ook afhangen van de gebeurtenissen in de winterperiode (bezinking, mineralisatie, adsorptie). Aan het effect hiervan is in dit onderzoek geen aandacht besteed.

2.5. Chemische fractionering.

Als fosfaatfractloneringsmethode is gekozen voor het extractieschema van Hieltjes & Lijklema van de Technische Hogeschool in Twente (schema in Fig 2.6).

De methode onderscheidt drie fracties:

1. "los gebonden". geadsorbeerd aan calcium carbonaten
2. chemisch gebonden aan ijzer en/of aluminium
3. chemisch gebonden aan calcium

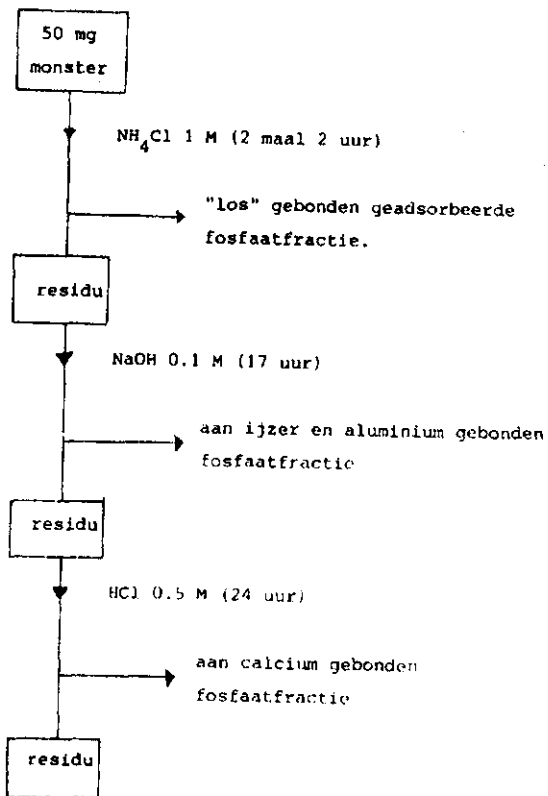


Fig.2.6 Extractieschema fosfaatfractionering.

Er zijn fractioneringen uitgevoerd aan sedimentmonsters (bovenste 5cm) op ongeveer vijftig plaatsen in Noord-Holland (zie.Fig.2.1), als ook aan materiaal uit de doorgestroomde reactor.

De monsters werden genomen met behulp van een dunne scherp afgeslepen glazen buis, waarna het poriënwater onder stikstof werd weggezogen.

Vervolgens werd de vaste fase gevriesdroogd.

3. RESULTATEN en DISCUSSIE.

3.1 Algemeen.

Daar reductie van de fosfaatbelasting de enige doelmatige methode is om eutrofiëring te bestrijden is het van het grootste belang om informatie te krijgen over de snelheid waarmee het fosfaat, dat door belasting in het verleden in het sediment is opgeslagen, uit het sediment vrij kan komen alsmede over de tijd gedurende welke dit proces een zodanige snelheid heeft dat algengroei er niet door wordt geremd. Hierop wordt in hfdst.3.4 teruggekomen.

Een andere benadering is het bepalen van de hoeveelheid algen, die op het fosfaat uit het sediment kan groeien.

De enige werkelijke methode om het door algen opneembare fosfaat te bepalen is een biologische proef waarin de hoeveelheid fosfaat wordt bepaald, die een algenpopulatie uit een sedimentmonster kan extra heren. Deze bepaling is, evenals vele andere biologische bepalingen gevoelig voor storingen en behept met een grote spreiding in de waarnemingen. Daarom is veel energie gestoken in de chemische fractionering van particulier materiaal en in het bepalen van de biologische beschikbaarheid van de verschillende fracties.

Tussen chemische en biologische methoden werden zeer grote verschillen gevonden. Ook in de literatuur bestaat geen overeenstemming over de biologische beschikbaarheid van de met chemische methoden bepaalde fracties. Beide methoden hebben voor- en nadelen. Zij geven echter alle slechts informatie over de maximale beschikbare hoeveelheden onder optimale omstandigheden, en niet rechtstreeks over de over de naleveringsnelheid, of de periode gedurende welke nageleverd wordt.

Daar het voor de waterbeheerder van belang is om over directe, snelle en dupliceerbare methoden te beschikken is er getracht een verband te vinden tussen de resultaten van de doorstroomexperimenten en de chemische fractionering (hfdst 3.3)

In sommige gevallen (namelijk wanneer hoge nalevering optreedt) bestaat de mogelijkheid dat reductie van de externe fosfaatbelasting niet op korte termijn tot het beoogde resultaat leidt. Daarom is in het onderzoek aandacht besteed aan het effect van baggeren (hfdst.3.6, 3.7) Ook de invloed van algengroei op de nalevering is bestudeerd. (hfdst 3.5).

Tabel 3.1.

Overzicht van fractioneringen in meren, boezemwateren en sloten van Noord-Holland.

| Monsterplaats (voor zwaarte locatie zie voorgaengerapporten) | Monster datum | NH CLFfr tdw | NOCLFfr tdw | NECLFfr tdw | totaal aantaal extractiebaar P tdw |
|--|------------------|-----------------|----------------|----------------|--|
| MEREN | | | | | |
| Uitslootmer A zuidkant plas | 200280 | 0.088 | 0.148 | 0.087 | 0.292 |
| 1 bij viaduct | 130880 | 0.088 | 0.148 | 0.037 | 0.292 |
| 1 " | 171180 | 0.081 | 0.108 | 0.080 | 0.217 |
| 1 " | 131180 | 0.086 | 0.110 | 0.017 | 0.178 |
| 1 " | 131180 | 0.081 | 0.103 | 0.016 | 0.149 |
| 1 " | 880381 | 0.072 | 0.184 | 0.088 | 0.344 |
| 1 " | 880381 | 0.068 | 0.173 | 0.098 | 0.379 |
| 2 J.W. Boezemmer- | 080880 | 0.053 | 0.088 | 0.035 | 0.123 |
| 2 polder " | 130880 | 0.083 | 0.043 | 0.081 | 0.066 |
| 3 midden plas | 130880 | 0.036 | 0.083 | 0.083 | 0.087 |
| 3 " | 880381 | 0.034 | 0.018 | 0.018 | 0.044 |
| 4 noordkant plas | 130880 | 0.013 | 0.018 | 0.017 | 0.041 |
| 4 noordkant plas | 880381 | 0.002 | 0.008 | 0.014 | 0.024 |
| 4 noordkant plas | 130881 | 0.005 | 0.007 | 0.007 | 0.018 |
| 4 noordkant plas na baggeren | 070983 | 0.003 | 0.003 | 0.011 | 0.017 |
| IJSSEL- | | | | | |
| MEER | | | | | |
| 1 V. van Verre- hoef | 180380 | 0.081 | 0.008 | 0.088 | 0.088 |
| 1 " | 080380 | 0.004 | 0.003 | 0.011 | 0.017 |
| 2 Gemaal V'hoef | 180380 | 0.036 | 0.038 | 0.088 | 0.101 |
| 2 " | 080380 | 0.074 | 0.084 | 0.083 | 0.088 |
| 2 Geuspenswaard slib | 080380 | 0.228 | 0.083 | 0.036 | 0.348 |
| 3 bij Andijk | 080380 | 0.004 | 0.004 | 0.088 | 0.088 |
| KINSEI- | | | | | |
| MEER | | | | | |
| MOELSLIJTER DIE | 180180 | 0.088 | --- | 0.049 | --- |
| UITDAMMER DIE | 180180 | 0.028 | --- | 0.030 | --- |
| WESTEINDER (Aalmeer) | 180480 | 0.004 | 0.018 | 0.083 | 0.044 |
| PLASSEN | | | | | |
| WESTEINDER (Kalelagen) | 180480 | 0.041 | 0.084 | 0.023 | 0.087 |
| PLASSEN | | | | | |
| ANKEVEENSE (Hollands A) | 231181 | 0.008 | --- | 0.006 | --- |
| PLASSEN | | | | | |
| ACHTER DE KERK (bij 10.04) ^a | 180480 | 0.038 | --- | 0.007 | --- |
| (ok 03.40) | 180480 | 0.038 | --- | 0.008 | --- |
| (ok 86.33) | 180480 | 0.081 | --- | 0.020 | --- |
| SLOTEN | | | | | |
| NOORDEN ZINDER - (eN 10.06) | 180480 | 0.004 | 0.085 | 0.088 | 0.088 |
| MEER POLDER (eN 07.10) | 180480 | 0.007 | 0.080 | 0.084 | 0.081 |
| (eN 03.13) | 180480 | 0.081 | 0.016 | 0.018 | 0.086 |
| DE RIJSE (De 09.10) | 180880 | 0.041 | 0.087 | 0.065 | 0.182 |
| (De 09.17) | 180880 | 0.087 | 0.084 | 0.083 | 0.104 |
| (De 08.33) | 180880 | 0.018 | 0.018 | 0.011 | 0.066 |
| WIJDE MORNER (pnt 2 US) | 031181 | 0.011 | 0.080 | 0.085 | 0.088 |
| (pnt 3 US) | 031181 | 0.037 | 0.084 | 0.083 | 0.114 |
| (pnt 6 US) | 031181 | 0.004 | 0.080 | 0.048 | 0.081 |
| (pnt 14 US) | 031181 | 0.001 | 0.088 | 0.014 | 0.017 |
| (pnt 208 NH) | 870783 | 0.086 | 0.080 | 0.086 | 0.080 |
| BOEZEMWATEREN | | | | | |
| Treku. Moutokan- 1 km z.v.v.nl | 170480 | 0.007 | 0.030 | 0.017 | 0.066 |
| dam- EDAM 100 km N.v.v.nl | 170480 | 0.047 | 0.198 | 0.088 | 0.386 |
| 800 km N.v.v.nl | 170480 | 0.008 | 0.110 | 0.038 | 0.168 |
| 1 km N.v.v.nl | 170480 | 0.038 | 0.180 | 0.031 | 0.308 |
| ROBBEVAART (pnt 883 NH) | 170480 | 0.003 | 0.008 | 0.021 | 0.018 |
| WESTFRIESCHE- VAART (pnt 108 NH) | 170480 | 0.044 | 0.436 | 0.038 | 0.611 |
| OOSTERHUIZEN- SLOOT (pnt 188 NH) | 170480 | 0.013 | 0.083 | 0.016 | 0.048 |
| WIJLEND VIERBROG (pnt 104 NH) | 170480 | 0.018 | 0.083 | 0.087 | 0.107 |
| LEIDSEVAART (pnt Ledd'n) | 0.008 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.088 |
| SPIJKERBOOR (pnt 708 NH) | 0.011 | 0.088 | 0.040 | 0.840 | 0.840 |
| Ugenwateraal (Ooelatorin agardvif) | 0.188 | 0.007 | 0.004 | 0.188 | 0.188 |

a oedering: Onderzoek naar maten in bodemsib, bijlage 6, PWS-Noord-Holland.
US: Uitsluitende Sluizen; N.H.: PWS Noord-Holland.

3.2 Overzicht van de chemische fractioneringen.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de gefractioneerde monsters welke zijn gekozen op grond van verschillen in kwaliteit van het oppervlaktewater. De variatie in de resultaten is aanzienlijk. Op de bruikbaarheid voor het waterbeheer wordt in het volgende hoofdstuk teruggekomen. Een aantal metingen aan veenbodems leverden geen volledig resultaat op. De NaOH-fractie kon in deze gevallen niet verder worden onderzocht vanwege storing door humuszuren.

Het bepalen van totaal-fosfaat in deze fractie is wel mogelijk, doch de fractie: "chemische gebonden aan ijzer en/of aluminium" is niet meer gedefinieerd. Daardoor is vergelijking met andere bodemtypen onmogelijk. De gebruikte fractionering is dan ook niet bruikbaar in veengebieden.

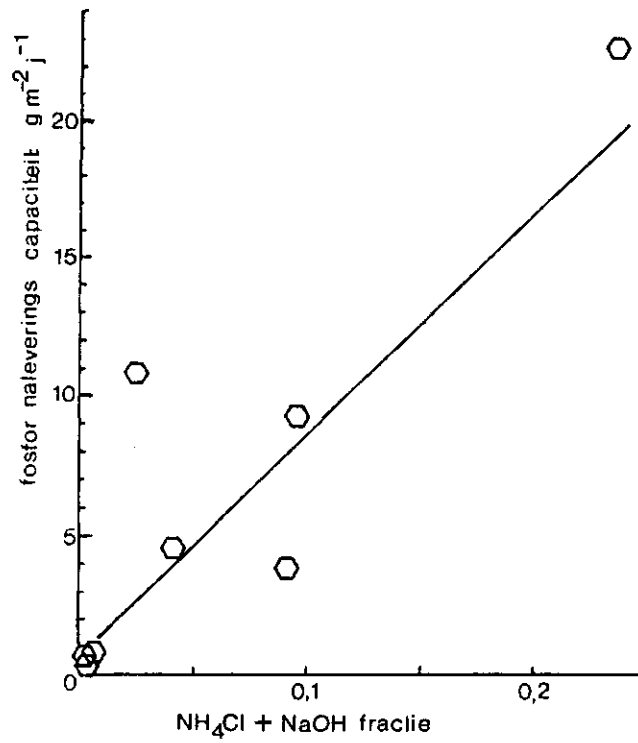
3.3 Relatie fosfaatnaleveringscapaciteit fractionering.

Van de fracties zoals gemeten met de gebruikte extractiemethode wordt gezegd dat de NH_4Cl - en de NaOH fractie potentieel ter beschikking kunnen komen voor algengroei. Biologisch bepalingen in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland toonden aan dat, hoewel er een relatie bestond tussen het door algen opgenomen fosfaat en de NaOH fractie, deze relatie verre van kwantitatief was. In het hier beschreven onderzoek is getracht een relatie te leggen tussen de som NH_4Cl en NaOH-fractie enerzijds en de hoeveelheid oplosbaar fosfaat gedurende het doorstroom experiment anderzijds.

De resultaat hiervan zijn weergegeven in Fig. 2.7. De onderzochte sedimenten waren afkomstig uit diverse wateren:

Uitgeestermeer (bagger en zand/klei), IJsselmeer (zand), Wijde Wormer (zand) en Wijde Wormer (bagger). De getrokken lijn is bepaald met behulp van lineaire regressie. De grafiek geeft duidelijk aan dat de relatie tussen de hoeveelheid naleverbaar fosfaat "(som van NH_4Cl - en NaOH fractie) en de naleveringscapaciteit niet bijster betrouwbaar is.

De chemische fractionering als beheersbepalend instrument voor de keuze al dan niet te defosfateren dient te worden afgeraden.



Figuur 2.7.
Fosfaatnaleveringscapaciteit vs NH₄Cl + NaOH fracties (als percentage van droge sediment).

3.4 Fosfaatnalevering van verschillende sedimenttypes.

De naleveringscapaciteit van een aantal sedimenttypes uit Noord-Holland is in het continu doorstroomde systeem onderzocht. Tabel 3.2 geeft een samenvatting van de resultaten daarvan. Er bestaat in het onderzoeksgebied zeer grote verscheidenheid in naleveringscapaciteit, als ook in naleverings-tijd. Het opvallendste - en dit in gunstige zin - waren de veen-sedimenten (expn. 9,10,15,17,18,19). Hier was de nalevering het laagst en werd het fosfaat in korte tijd afgestaan. Het meest voedselarme veen (mosveen Ankeveense-Plassen exp.17) leverde $0,4 \text{ g P m}^{-2}$ in 20 dagen. Ook het sediment van exp. 10 (Achter de Kerk) bestond uit mosveen, doch hier was een externe

| Exp.n ^o | Water | Afwijking van "normale gang van zaken" | Sediment type | fosfaatnaleveringscapaciteit (gPm ⁻² "jaar" ⁻¹) | naleverings-tijd (dagen) |
|--------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|--|--------------------------|
| 1. | Uitgeestermeer | 2 | bagger | 9.3 | >> 180 |
| 2. | " | 2 | " | 9.1 | >> 180 |
| 3. | " | 2 | " | 9.3 | >> 180 |
| 5. | " | 4 | " | 10.8 | > 180 |
| 6. | " | 1 | " | 22.7 | >> 180 |
| 7. | " | 1 | wegzijingssimulatie | 9.1 | > 180 |
| 8. | " | 1 | kwelsimulatie | 24.3 | > 180 |
| 9. | Holysloter Die | | rietveen/zeggeveen | 1.0 | 45 |
| 10. | Achter de Kerk | | mosveen (open verb. m.H. kan. #2 | 1.3 | 60 |
| 17. | Ankeveense Plassen | | mosveen | 0.4 | 20 |
| 12. | IJsselmeer (bij Wervershoof) | | zand(+wat klei) | 0.4 | 35 |
| 13. | Polder Wijde Wormer 2 (sloot) #1 | | bagger | 4.6 | ± 180 |
| 14. | Polder Wijde Wormer 3 (sloot) | | bagger | 3.8 | ± 180 |
| 15. | Polder Wijde Wormer 5 (sloot) | | veen | 1.1 | 50 |
| 16. | Polder Wijde Wormer 14 (plas) | | zand | 0.7 | 50 |
| 18. | Polder Beetskoog 3 (Sloot) | | veen | 2.1 | 80 |
| 19. | Polder Beetskoog 1 (Sloot) | | veen | 0.6 | 50 |
| 20. | Polder Beetskoog 6 (Sloot) | | bagger/veen | 7.9 | 150 |

#1 Alle gebieden liggen in een wegzijgings-situatie, behalve de Wijde Wormer, over kwelsituatie hier wordt apart gerapporteerd.
 #2 verb. m.H. kan = verbinding met Hilversums kanaal

Tabel 3.2. Overzicht van doorstroom-experimenten met sedimenten uit Noord-Holland. De periode van nalevering, waarover de fosfaatnaleveringscapaciteit is bereken gemeten, bedraagt 180 dagen. Kondities waren (tenzij anders vermeld) : T= 20°C ; pH 8.0, D = 0,02 h⁻¹ (verblijftijd-water 2 dgn), transport door diffusie.

factor (te weten de open verbinding met het Hilversums Kanaal) waarschijnlijk de oorzaak van een enigszins verhoogde nalevering. Ook veen in de buurt van bebouwing stond meer fosfaat af, maar dan was er een mengsel van *bagger* en veen aanwezig (exp.20, bij Beets). Het meer voedselrijke rietveen/zeggeveen (exp. 9, Holysloter Die) leverde echter ten opzichte van andere sedimenttypes weinig na . Aan en in veen kan veel fosfaat worden gebonden, en wel voornamelijk aan humuszuur complexen. Deze binding is irreversibel en is de oorzaak van onder andere de grote verschillen tussen " door algen opneembaar" fosfaat en chemisch, extraheerbaar fosfaat. Gezien de naleveringsresultaten met veenmonsters kan vermindering van de externe belasting in veengebieden snel tot resultaten leiden.

Zand heeft slechts een geringe capaciteit om fosfaat vast te leggen, en staat dan ook zeer weinig af (exp 12 en 16).

Een groot gebied waar louter zand voorkomt, is in Noord-Holland niet aanwezig.

De resultaten met bagger, gyttja, slib) vertonen de grootste variatie, al is de naleveringscapaciteit in alle gevallen hoog te noemen. Vaak is deze bagger te vinden in de zwaarder belaste delen van Noord-Holland. Het is vooral deze bagger die in vele delen van deze provincie, die voor grote nalevering verantwoordelijk is.

In de beide polders (Beetskoog en Wijde Wormer) is eveneens sprake van een grotere variatie, hetgeen ook vaak terug te voeren is op de belasting (b.v. ten gevolge van de ligging ten opzichte van de bebouwing) en het sedimenttype (vooral bagger).

Het Uitgeestermeer, het meest centrale meet punt in het onderzoek, was één der zwaarst belaste meren in Noord-Holland. Afgezien van de invloed van de recreatie was de belasting $11-13 \text{ gm}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$. Na omleidingen van effluenten is dat gereduceerd tot $5-7 \text{ g. m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$.

Deze externe belasting is hoofdzakelijk te wijten aan het uitslaan van polderwater, welke zeer omvangrijk is. Deze langdurige "historische belasting" wordt gereflecteerd in de hoge fosfaatconcentratie van de bovenste baggerlaag (Tabel 2.1).

Ook de naleveringscapaciteit van het sediment behoort tot de hoogste waarden die ooit zijn gemeten. De naleveringstijd is in alle gevallen groter tot zeer veel groter dan 180 dagen.

Op 10cm diepte werden concentraties van enige tientallen mg opgelost fosfaat in het poriënwater aangetroffen. De aanduiding "onderwatervuilnisbelt" ligt niet ver bezijden de waarheid. Sanering van het Uitgeestermeer zal dan ook niet eenvoudig zijn.

In het Uitgeestermeer speelde de pH geen rol van betekenis (exp.1.2 & 3). Zulks geldt niet voor de overige sedimenttypen. Vooral de verhouding ijzer/calcium in de bodem is bepalend voor het effect van de pH. Er dient op te worden gewezen dat de pH in Noord-Holland na sanering niet veel van 8 zal verschillen, hetgeen de reden was waarom in de andere experimenten de pH constant op 8.0 is gehouden.

De grondwaterbeweging was daarentegen wel van betekenis in het naleveringsproces, (exp. 6,7 & 8). Bij wegzijgingssimulaties wordt beduidend minder nageleverd dan bij kwel-simulaties of transport door diffusie. Het onderzoek naar het effect van baggeren is dan ook vooral uitgevoerd in wegzijgingsgebieden. (hfdst 3.6), hoewel kwelgebieden in deze niet zijn verwaarloosd (hfdst 3.7).

3.5 Invloed van algengroei op de nalevering.

In een aantal experimenten in het continu doorgestroomde systeem zijn algen geënt, ten einde de invloed van algengroei op de nalevering te bestuderen. Deze eventuele invloed kan berusten op:

- a. opname van opgelost fosfaat in de algenbiomassa, waardoor het concentratieverschil tussen het opgeloste fosfaat in het bovenstaande water en dat in het poriënwater groter wordt, waardoor de fosfaat-naleveringssnelheid toeneemt;
- b. uitscheiding onder bepaalde omstandigheden door sommige algen, vooral cyanobacteriën, van stoffen die met verbindingen uit het sediment complexen vormen, waardoor fosfaat in oplossing wordt gebracht;
- c. verhoging van de pH van het bovenstaande water, hetgeen gevolgen kan hebben voor de nalevering.

Deze laatste mogelijkheid is niet onderzocht, aangezien de pH op 8.0 werd gehouden.

De resultaten van het experiment met algen werden vergeleken met die van het experiment zonder algen, dat overigens identieke condities had.

De algen groeiden uitstekend, maar waren ondanks de Vibro-mixer niet homogeen verdeeld over de waterkolom. De algen hechtten zich vooral aan de glaswand en het filter. Continue monitoring van uit het systeem afgevoerde fosfaat was niet goed mogelijk. Na afloop van het experiment werden de algen geoogst en werd het fosfor-gehalte van de cellen gemeten. In de proef met algengroei was de in totaal nageleverde hoeveelheid fosfaat groter dan in de proef zonder algen.

De stelling dat algengroei de nalevering verhoogt, werd als volgt verder onderbouwd. Bij Fig. 2.5 & 2.4 werd al gesteld dat de gradiënt van het opgeloste fosfaat met de diepte een graadmeter is voor de snelheid van nalevering.

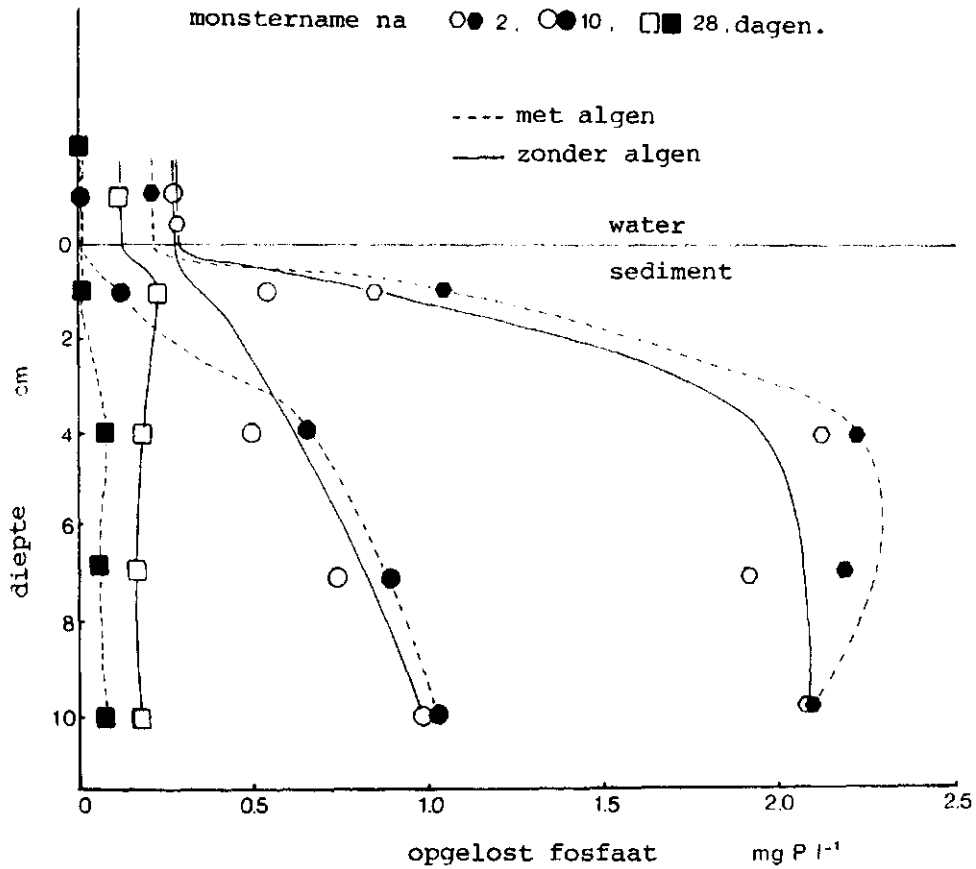


Fig. 3.8. Gradiënt van het opgeloste fosfaat in het poriënwater van sediment uit de Kortenhoefse Plassen (Achter de Kerk) van twee identieke doorstroom-experimenten, één met en één zonder algen.

Na 2 dagen bestaat er tussen de twee systemen nauwelijks enig verschil. Door opname in de biomassa daalt in het bovenstaande water de concentratie aan opgelost fosfaat, hetgeen een versnelling van nalevering bewerkstelligt. Dit is na tien dagen in de bovenste centimeters reeds zichtbaar. Na 28 dagen is het overduidelijk dat in het "algen-systeem" over de gehele diepte van de kolom meer fosfaat is nageleverd.

Voor en na het experiment werden op verschillende dieptes bodemonsters genomen. Deze werden uitgeschud met NH_4Cl : om het "losgebonden", dat is het aan calciumcarbonaten geadsorbeerde fosfaat vrij te maken (zie hfdst.2.6) Verdere fractionering is voor veenmonsters niet zinvol (hfdst.3.2). Uit andere experimenten in het doorstroomstelsel was namelijk reeds gebleken dat de NH_4Cl -fractie het meest mobiel was. De resultaten van de gedeeltelijke fractioneringen staan vermeld in Tabel 3.3

| diepte (cm) | voor het doorstroomexp. | NH_4Cl -fractie (% droge stof) | |
|----------------|----------------------------|--|-----------|
| | | na het doorstroomexperiment | |
| | | zonder algen | met algen |
| 0-1 | 0.025 | 0.021 | 0.008 |
| 5 | 0.010 | 0.020 | 0.005 |
| 10 | 0.006 | 0.003 | 0.003 |

Tabel 3.3.

NH_4Cl -fractie van mosveen uit de Kortenhoefse Plassen (Achter de Kerk) voor en na doorstroom experimenten.

Uit alle lagen werd meer fosfaat uit de NH_4Cl -fractie aan het bovenstaande water afgestaan wanneer er algen boven het sediment groeiden.

Het effect van algengroei tijdens het saneringsproces is tweedelig:

1. Algen versnellen de mobilisatie van fosfaten uit het sediment.
2. Algen nemen dat fosfaat op en kunnen derhalve als transportmiddel worden gebruikt.

Geconcludeerd kan worden dat geforceerde doorspoeling als saneringsmaatregel het meest effectief zal zijn wanneer de algenbiomassa maximaal is, hetgeen veelal in de nazomer het geval is.

Dit wil niet zeggen dat geforceerde doorspoeling op andere tijdstippen geen effect zal hebben, zij het dat dit een geringer effect zal zijn. Aangezien een deel van het 's zomers nageleverde fosfaat in de herfst en de winter weer in het sediment wordt opgeslagen.

De beperkte beschikbaarheid van water van goede kwaliteit zal de grote moeilijkheid blijven.

3.6 Baggeren in wegzijgingsgebieden.

Fosfaatnalevering vindt vooral plaats vanuit de bovenste 5-10cm, althans wanneer de grondwaterbeweging wordt verwaarloosd. Deze bovenste laag is ook het rijkst aan fosfaten in de vaste fase. Het verwijderen van deze laag kan dan ook grote invloed hebben op de naleveringscapaciteit. Omdat verder de resultaten van de wegzijgingssimulatie uiterst gunstig waren (hfdst.3.4) is de aandacht van het onderzoek van baggersimulaties op wegzijgingsgebieden gericht. Op baggeren in een kwelgebieden wordt in hfdst. 3.7. teruggekomen. Tabel 3.4 geeft een overzicht van de uitgevoerde experimenten.

De bagger-experimenten gaven zonder enige uitzondering, ongeacht het sedimenttype, een grote verlaging van de naleveringscapaciteit en in de meeste gevallen tevens verkorting van de naleveringstijd te zien. Dit uiterst positieve resultaat wijst erop dat baggeren, als aanvulling op reductie van de externe fosfaatbelasting, een bruikbare maatregel is.

Naar het effect van baggeren alléén (dus zonder reductie van de externe fosfaatbelasting) konden we toevalligerwijze eveneens onderzoek verrichten. Aan de noordzijde van het Uitgeestermeer was een monsterpunt gekozen. Vrij kort nadat de metingen aan het daar genomen monster waren verricht (exp. 6, Tabel 3.4) werd daar gebaggerd door een baggermolen (diepte van baggeren niet bekend). Het direct na het baggeren genomen monster (exp.11) vertoonde ten opzichte van de naleveringscapaciteit van het vóór het baggeren gemeten monster een vermindering met een factor tien.

| Exp. | Water | | Bodemtype | fosfaatna- leverings- capaciteit (gPm ⁻² jaar ⁻¹) | naleverings- tijd (dagen) |
|------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|---|---------------------------------|
| 17 | Ankeveense Plassen | voor baggeren | mosveen | 0.4 | 20 |
| 21 | | na baggeren** (20 cm) | " | 0.04 | 5 |
| 10 | Achter de Kerk | voor baggeren | mosveen | 1.3 | 60 |
| 22 | | na baggeren(23 cm) | mosveen op zand | 0.05 | 5 |
| 9 | Holysloter Die | voor baggeren | rietveen/zeggeveen | 1.0 | 45 |
| 23 | | na baggeren(20 cm) | " | 0.2 | 30 |
| 18 | Polder Beetskoog, punt 3 | voor baggeren | veen | 2.1 | 80 |
| 26 | | na baggeren(10 cm) | jonge zeeklei | 0.35 | 60 |
| 6 | Uitgeestermeer, punt 4('80) | voor baggeren | bagger | 10.8 | > 180 |
| 11 | ('81) | na baggeren* | zand + veen | 1.0 | 60 |
| 24 | Uitgeestermeer, punt 4 | voor baggeren | zand/bagger/klei | 3½ | > 100 |
| 25 | (1982) | na baggeren(13 cm) | zand/klei | 0.15 | 20 |

* Dit baggeren was geen door ons uitgevoerde simulatie, maar baggeren in het meer zelf (n.b.v. een baggermolen) teneinde diepte t.b.v. een nieuwe jachthaven te creëren

** tussen haakjes de lengte van de weggezaagde bovenlaag.

Tabel 3.4.

*Baggeren en baggersimulaties, het effect op de fosfaatnalevering.
Conditie als vermeld in Tabel 3.2.*

Anderhalf jaar later werd op hetzelfde punt weer een monster gestoken. De naleveringscapaciteit was in die korte tijd wederom fors gestegen (vergelijk exp. 11 met 24). De oorzaak hiervan was allereerst de onverminderd hoge belasting van het Uitgeestermeer. Ten tweede was er slechts in een klein deel van de plas gebaggerd, terwijl de zeer lichte toplaag van bagger vrij mobiel is en door waterbewegingen weer wordt verspreid over de plas.

Vanuit het oogpunt van nalevering zal de wijze van baggeren zeker van invloed zijn op het effect ervan. Zo laat baggeren met een molen de bovenlaag, die immers snel geresuspendeerd wordt, ongemoeid. Wegzuigen van de toplaag verdient daarom voorkeur.

3.7. Effect van kwel op fosfaatnalevering; baggeren in een kwelgebied.

Een kwelpost is niet eenvoudig te kwantificeren. In balansstudies is het vaak een sluit- of rekenpost.

Geen van beide geeft enige informatie over de toevoer van fosfaat naar het oppervlaktewater, daar interacties met het sediment niet voldoende op waarde worden geschat. Ook dit onderzoek kon, gezien het geringe aantal uitgevoerde experimenten, niet veel meer zijn dan een mechanistische analyse.

Ten behoeve van de zes experimenten ter bestudering van kwel en het effect van baggeren in een kwelgebied werd gekozen voor een monsterplek in de Wijde Wormer.

De kwelsnelheid was hier vrij hoog (10 mm dag^{-1}). In diepere lagen werd hier in het grondwater fosfaat en ijzer aangetoond. Dit laatste element speelt een belangrijke rol in het fosfaatnaleveringsproces, daar het in het oppervlaktelaagje van het sediment in aanwezigheid van zuurstof fosfaat kan binden. Aan drie monsters met een toplaag van bagger werden experimenten uitgevoerd. Voorts werd de baggerlaag verwijderd en werd de overgebleven kleilaag op analoge wijze doorgemeten. De resultaten van deze zes experimenten zijn vermeld in Tabel 3.5. De eerste opvallende conclusie hieruit is dat de in hfdst. 3.6. gevonden spectaculaire vermindering van de naleveringscapaciteit na baggeren zich hier niet voordeed wanner tevens kwel werd gesimuleerd.

| Exp | Sediment | Kwelkenmerk | Naleverings- capaciteit ($\text{gPm}^{-2}\text{jaar}^{-1}$) |
|-----|----------------------|--|---|
| 30 | toplaag van bagger | "normaal" | 5.1 |
| 31 | | + 0.5 mg P l^{-1} | 4.3 |
| 32 | | + 0.5 mg P l^{-1} + 0.5mgFe l^{-1} | 5.5 |
| 29 | kleilaag (na ver- | "normaal" | 2.7 |
| 28 | wijderen baggerlaag) | + 0.5 mg P l^{-1} | 2.8 |
| 27 | | + 0.5 mg P l^{-1} + 0.5mgFe l^{-1} | 2.3 |

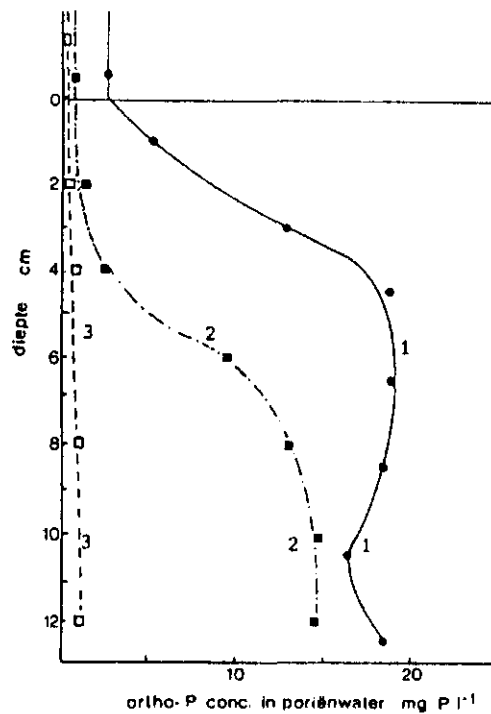
Tabel 3.5.

Overzicht van kwelexperimenten en baggersimulaties met sedimenten uit de Wijde Wormer. Conditie: 1. Doorstroom-medium: pH 8.0 zuurstofrijk, $T 20^{\circ}\text{C}$, $D = 0.02 \text{ uur}^{-1}$; kwelmedium: pH 7.5, zuurstofloos, $T 20^{\circ}\text{C}$, kwelsnelheid 1 cm dag^{-1} .

Verder schijnt de toevoeging van ijzer en/of fosfaat onder deze condities, gezien de gevonden naleveringscapaciteit, niet van belang te zijn.

Dit suggereert dat nalevering vanuit de vaste fase verreweg het belangrijkste is en toevoer door kwel slechts een bescheiden bijdrage levert.

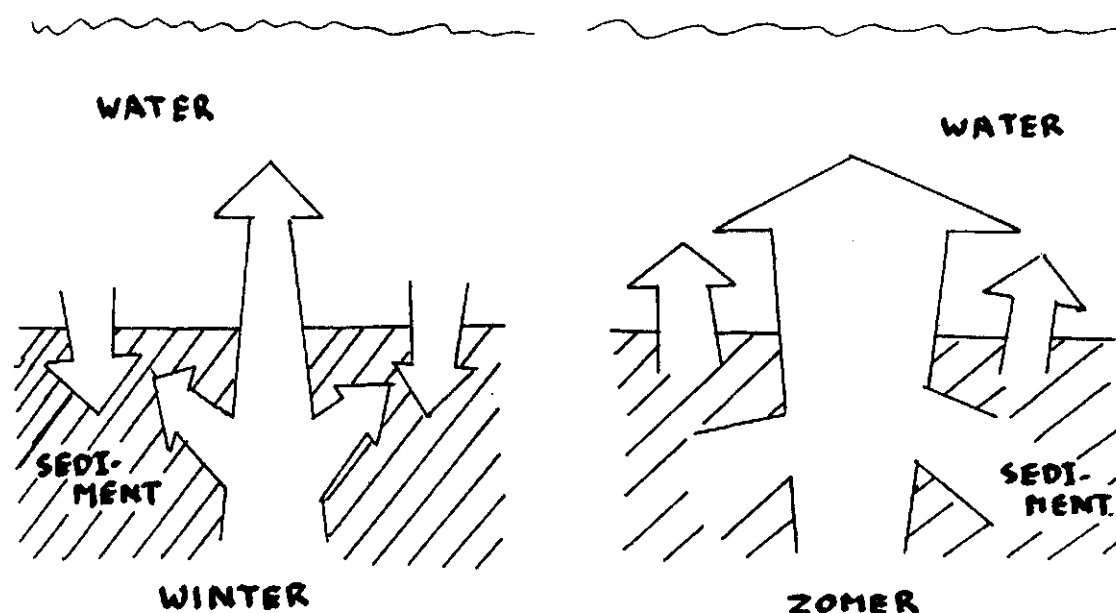
Wanneer het sediment geen invloed zou hebben en het kwelwater met een fosfaatconcentratie van 0.5 mg P L^{-1} het sediment met een snelheid van 1 cm dag^{-1} ongehinderd zou passeren, zou de belasting $0.9 \text{ g P m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ (over de lente en de zomerperiode) of $1.8 \text{ g P m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ gemiddeld over het gehele jaar bedragen. Dergelijke waarden voor de belasting worden in balansstudies vaak gehanteerd. Tabel 3.5 toont de haalbaarheid hiervan aan. Het effect van kwel als transportmechanisme wordt ook duidelijk uit het patroon van het opgeloste fosfaat in het poriënwater, Figuur 3.9 toont hiervan een voorbeeld die ontleend is aan de voortgangsrapporten.



Figuur 3.9.

Gradiënt van het opgeloste fosfaat in het poriënwater, voor en na een experiment met en zonder kwelsimulatie. 1 (—) beginsituatie; 2 (-o-o-) na afloop van een experiment waarin diffusie de drijvende kracht van de nalevering was; 3(- - -) kwelsimulatie.

Wanneer diffusie de drijvende kracht achter de nalevering is, vindt de nalevering vooral plaats vanuit de bovenste laag. Bij kwel zorgt mechanische kracht van het bewegende water ervoor dat de nalevering over een grotere diepte kan optreden. Dit werd bevestigd door metingen aan het fosforgehalte van de vaste fase op verschillende diepten.



Figuur 3.10

Hypothetisch schema van nalevering en opslag van fosfaat in een gebied met fosfaathoudende kwel.

De dikte van de pijl suggereert de hoeveelheid fosfaat.

Een hypothetisch mechanisme van nalevering, onder invloed van fosfaat-houdende kwel is weer gegeven in Fig. 3.10. In de zomer levert het sediment fosfaat na (zie Tabel 3.5). Hierdoor verliest de vaste fase fosfaat. In de winterperiode wordt weer fosfaat vastgelegd, ten dele vanuit het oppervlakte-water, maar ook vanuit de fosfaathoudende kwel. Sanering kan slechts het eerste proces beïnvloeden; maar het "opladen met fosfaat" door kwel in de winter (met de daarbij horende nalevering in de "zomer") wordt niet beïnvloed. Naar de omvang van deze "natuurlijke" fosfaatbelasting kan men slechts gissen (behalve bij het getoonde monsterpunt in de Wijde Wormer).

Structuur van het sediment, samenstelling van het kwelwater en kwel-snelheid spelen hierbij een belangrijke rol.

Nader onderzoek is noodzakelijk om deze processen te kunnen kwantificeren.

3.8 Slot opmerkingen.

Uitgangspunt voor bestrijding van algengroei dient te zijn de reductie van de fosfaattoevoer naar het oppervlaktewater. Een eerste aangrijpingspunt is de externe fosfaatbelasting (de toevoer van fosfaten van buitenaf naar het oppervlaktewater). De omvang van deze externe toevoer dient, bekend te zijn, alsmede de samenstelling ervan (huishoudens, industrie, effluënten, landbouw, veeteelt, etc.) Vermindering van de externe toevoer hoeft niet directe tot vermindering van de hoeveelheid algen te leiden van wege de "interne fosfaatbelasting" (toevoer van fosfaat van uit de bodem, de nalevering).

Vermindering van de interne belasting kan worden bereikt door de externe fosfaatreductie aanvullende maatregelen zoals baggeren of geforceerde doorspoeling. Dit rapport geeft hiervan enige voorbeelden.

Sanering via vermindering van de fosfaatbelasting zal in veengebieden en gebieden waar het water wegzijgt snel tot vermindering van algengroei leiden.

Waar fosfaathoudende kwel optreedt zal dit proces worden vertraagd, terwijl de veranderingen waarschijnlijk minder spectaculair zullen zijn.

In beide gevallen treedt na verloop van tijd herstel van de "natuurlijke" situatie op.

4

7

4

7