

NN31545.1191 <sup>V</sup>TA 1191

april 1980

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
Wageningen

DE ROL VAN BODEMSLIB BIJ BERGING EN  
NALEVERING VAN FOSFOR IN ENKELE BEKEN

ir. J.Th. Hoekstra

**BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW**

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking



ISBN 151 245 - 02

## I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. PROBLEEMSTELLING	2
3. DOEL VAN HET ONDERZOEK	3
4. FYSISCH-CHEMISCHE PROCESSEN DIE EEN ROL SPELEN BIJ DE UITWISSELING VAN FOSFOR TUSSEN BODEMSLIB EN WATER	3
5. OPZET EN UITVOERING ONDERZOEK	6
5.1. Keuze onderzoeksgebied	6
5.2. Methodiek monstername	8
5.3. Analysemethoden	9
6. RESULTATEN BODEMSLIBONDERZOEK	10
7. CONCLUSIES	16
8. LITERATUUR	19
9. BIJLAGEN	20

## 1. INLEIDING

De belasting van oppervlaktewater met zuurstofbindende stoffen wordt in Nederland steeds verder teruggedrongen, als gevolg van het in werking stellen van nieuwe rioolwaterzuiveringsinstallaties. Een ander facet van de waterverontreiniging treedt hierdoor meer op de voorgrond, namelijk de verontreiniging van oppervlaktewater met voedingszouten of nutriënten. Deze nutriënten, met name stikstof en fosfor worden in conventionele zuiveringsinstallaties in onvoldoende mate verwijderd. Zij kunnen leiden tot een ongewenste eutrofiëring van water. Onder eutrofiëring wordt verstaan: 'het proces in water waarbij die factoren optimaal worden die autotrofe produktie bevorderen'. (PARMA, 1979, Symposium Eutrofiëring in Nederland).

In de komende jaren zullen beleidsbeslissingen moeten worden genomen over de wijze waarop de eutrofiëring moet worden teruggedrongen. Binnen de provincie Gelderland had de 'Commissie Bestu-dering Waterhuishouding Gelderland' de taak kennis te verzamelen ter ondersteuning van beleidsbeslissingen op het gebied van kwantitatief en kwalitatief waterbeheer. In deze commissie functioneerde de 'Werk-groep Waterkwaliteit en Waterzuivering', die zich onder andere heeft bezig gehouden met de problematiek van de eutrofiëring van water. Een aantal basisrapporten is inmiddels gereed gekomen (BEUNDERS, 1978, STEENVOORDEN, 1979, VASAK, 1979).

Een lacune in de kennis over de voedselverrijking van water betreft de functie van het bodemslib in de berging van fosfaat uit water, en de naleving van fosfaat uit bodemslib aan water. Daarnaast bestaan ook nog vragen die betrekking hebben op de relatieve bijdrage van verschillende verontreinigingsbronnen in het landelijk gebied op de nutriënt-belasting van oppervlaktewater.

Om meer inzicht te krijgen in deze vraagstukken is door de afdeling Milieuhygiëne van de Provinciale Waterstaat van Gelderland besloten een kwantitatief onderzoek uit te voeren naar de herkomst van stikstof en fosfor in een bekenstelsel. Het onderzoek werd uitgevoerd in samenwerking met het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (i.h.b. de Onderafdeling Waterkwaliteit Landbouwgebieden), en het Zuiveringsschap Veluwe.

Dit rapport geeft een verslaggeving van het onderzoek voor zover het de functie betreft van het bodemslib van enkele beken in de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater.

De verslaggeving over de gehele stikstof- en fosfaathuishouding van een onderzocht stroomgebiedje kan pas volgen na een langdurige periode van onderzoek waarin de beekafvoer geregistreerd wordt en watermonsters worden onderzocht. De seizoenswisselingen en de veranderingen in de weersgesteldheid blijken namelijk van grote invloed te zijn op de door beken getransporteerde vrachten aan nutriënten. Daarom heeft in het onderzochte gebied een frequente bemonstering en een continue registratie van het debiet plaatsgevonden over de periode 1 januari 1979 - 1 april 1980. De rapportage over het gehele onderzoek (d.w.z. de totale stikstof- en fosfaatbalans inclusief de functie van bodemslib in de balans) kan dientengevolge pas medio 1980 worden afgesloten.

## 2. PROBLEEMSTELLING

Voor het kwantificeren van de bijdrage van verschillende bronnen in de fosfaatafvoer van een beek is inzicht nodig in de reservoirfunctie van bodemslib. De rol van bodemslib als opslagplaats voor fosfaat en de invloed op de fosfaathuishouding is echter nog onvoldoende bekend. Bij het ontwikkelen van een saneringsbeleid voor oppervlaktewater (b.v. een defosfateringsprogramma voor zuiveringsinstallaties) is het noodzakelijk te weten welke rol de bodem speelt in de fosfaathuishouding van oppervlaktewater.

### 3. DOEL VAN HET ONDERZOEK

Het doel van dit (deel)-onderzoek is de vaststelling van de hoeveelheid fosfor die aanwezig is in het bodemslib van enkele kleine beken, teneinde conclusies te kunnen trekken over de bijdrage van het bodemslib in de belasting van oppervlaktewater met fosfor.

### 4. FYSISCH-CHEMISCHE PROCESSEN DIE EEN ROL SPELEN BIJ DE UITWISSELING VAN FOSFOR TUSSEN BODEMSLIB EN WATER

Het onderhavige onderzoek heeft slechts betrekking gehad op het kwantificeren van de hoeveelheid fosfor die in beeksedimenten (bodemslib) aanwezig is. Processen die zorgen voor vastlegging van fosfor in het sediment en her-oplossing van vastgelegd fosfor zijn niet bestudeerd. Daarom volgt een korte beschrijving van mogelijke interacties van fosfor met bodemslib.

Fosfor kan in water en bodem aanwezig zijn in de vorm van opgelost ortho-fosfaat, als organisch gebonden fosfor, complex gebonden met ijzer, aluminium of calcium, en geadsorbeerd aan (klei-)deeltjes. Veel bodemmineralen bevatten fosfaat ingebouwd in hun structuur (apatiet, vivianiet).

Schematisch kan de fosfor-huishouding in een water-bodemsysteem als volgt worden weergegeven:

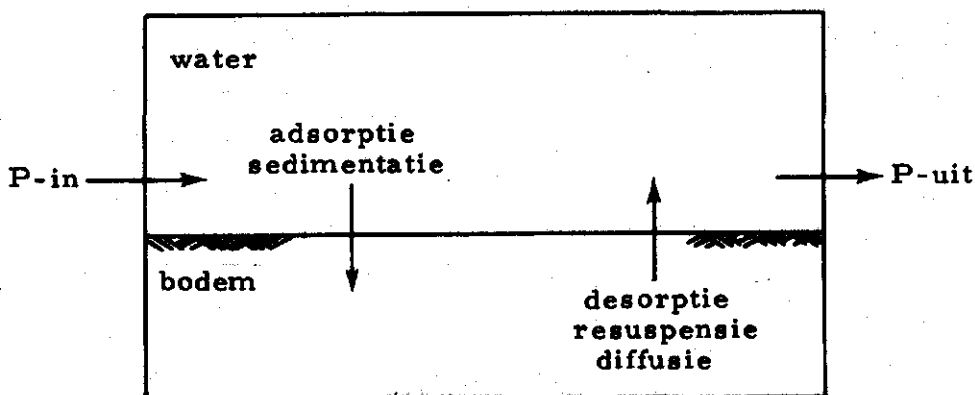


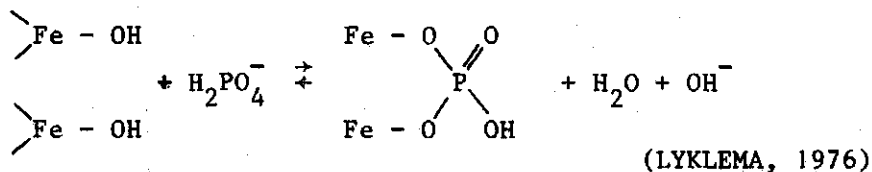
Fig. 1. Fosforbalans voor een beekcompartment

In dit schema zijn sedimentatie en resuspensie van (deeltjes-gebonden)-fosfor processen die voornamelijk beïnvloed worden door de stroomsnelheid van water. De andere processen zijn afhankelijk van verschillende fysisch-chemische factoren.

Het onderzoek naar accumulatie van fosfor in de bodem, en fosfor-uitwisseling tussen bodem en water is in Nederland onder andere uitgevoerd door LYKLEMA (1976, 1979), HIELTJES (1977, 1979), AL (1977), GOLTERMAN en KOUWE (1976) en SALOMONS en SISSINGH (1976). Het gaat hierbij voornamelijk om onderzoek in waterbekkens en meren, met een lange verblijftijd van water en vergeleken met beken relatief geringe stroomsnelheden.

Transport naar, en opslag van fosfor in bodemslib vindt plaats door precipitatie van deeltjes-gebonden fosfor (als fosfaat) en door fysisch-chemische interactie tussen opgelost fosfaat en bodembestanddelen. Nalevering van fosfor aan water geschiedt door resuspensie van bodemslibdeeltjes, desorptie, vermenging van interstitieel water met oppervlaktewater en diffusie. Interstitieel water is het vocht dat in de poriën van het sediment aanwezig is.

IJzer speelt een belangrijke rol bij het vastleggen en vrijmaken van bodemfosfaat (LYKLEMA, 1976). Vers ijzer III-hydroxide, dat onder aerobe omstandigheden gevormd kan worden uit ijzer II-zouten, heeft een hoog adsorberend vermogen ten opzichte van fosfaat:



Uit de reactieformule valt af te leiden dat een verandering van zuurgraad zal resulteren in desorptie of adsorptie van fosfaat. Naast de zuurgraad, is ook de redoxpotentiaal in de bodem een belangrijke faktor bij een mogelijke uitwisseling van fosfaat tussen water en ijzer-fosfaatcomplexen. Indien in de bodem reducerende omstandigheden ontstaan, bijvoorbeeld als gevolg van een verhoogde biologische activiteit, kan slecht oplosbaar ijzer-III-fosfaat gereduceerd worden tot goed oplosbaar ijzer-II-fosfaat. Door diffusie en vermenging van interstitieel water met oppervlaktewater kunnen

dergelijke processen een verklaring vormen voor periodiek optredende verhogingen van het fosfaatgehalte; anaerobie en pH-stijging in de zomer veroorzaken een aanvoer van fosfaat vanuit het sediment.

In de onderzochte beken zullen fysisch-chemische uitwisselingsprocessen ook voorkomen, maar zij spelen zonder twijfel een geringere rol in de totale fosfor-huishouding. In tegenstelling tot meren vindt in de snel stromende beken geen permanente sedimentatie plaats van slibdeeltjes, zodat er in mindere mate sprake is van vorming van een dikke bodemsliblaag. Afhankelijk van weers- en seizoensinvloeden varieert de stroomsnelheid in de onderzochte beken tussen 0 en 50 à 60 cm/sec. Bij een lage stroomsnelheid zullen kleine deeltjes worden afgezet, bij hoge stroomsnelheden treedt uitschuring van de bodem en transport van deeltjes op. Het diagram van Hjulström (fig. 2) toont de invloed van de stroomsnelheid op uitschuring, transport en afzetting van deeltjes.

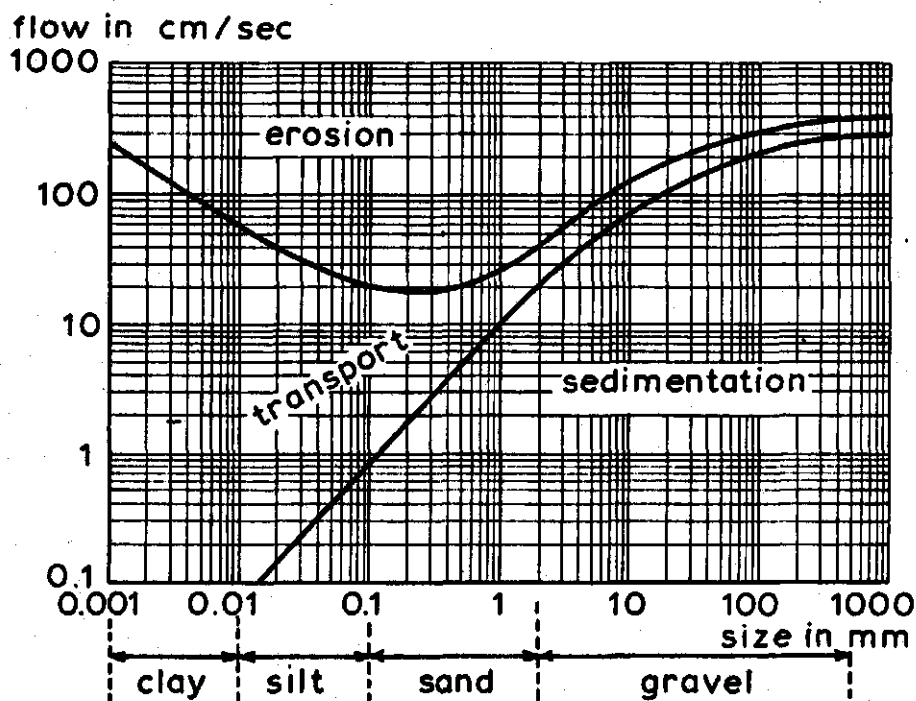


Fig. 2. Invloed van stroomsnelheid op uitschuring, transport en afzetting van bodemdeeltjes met verschillende korrelgrootte volgens Hjulström

## 5. OPZET EN UITVOERING ONDERZOEK

### 5.1. Keuze onderzoeksgebied

Als belangrijkste proefgebied voor de bepaling van fosfor in bodemslib is gekozen voor een traject in de kleine Barneveldse Beek, die een zijtak vormt van de Barneveldse Beek. Daarnaast is, in verband met het algehele onderzoek naar de herkomst van fosfor in beken, ook de bodem van de Nattegatsloot, nabij Scherpenzeel, op enkele plaatsen bemonsterd.

Het gehele stroomgebied van de Barneveldse Beek is, voor wat betreft de fosfor- en stikstofhuishouding, onderwerp van onderzoek geweest in het kader van de werkzaamheden van de Commissie Bestu-dering Waterhuishouding Gelderland (BEUNDERS, 1978, STEENVOORDEN, 1979). Over waterkwaliteit en waterhuishouding in het Barneveldse-Beek-gebied is dan ook reeds veel bekend. Naast het bovenvermelde is voor de keuze van de Kleine Barneveldse Beek als onderzoeksgebied ook van belang dat er verschillende omstandigheden heersen ten aanzien van de fosfaat-belasting. Deze verschillen komen inderdaad voor zoals uit de beschrijving van het onderzoeksgebied blijkt:

De Kleine Barneveldse Beek stroomt van oost naar west over een afstand van ongeveer 8 km (bijlage I). De beek stroomt door Barneveld, en juist ten westen van Barneveld loost de rioolwaterzuiverings-installatie van deze plaats op de beek. Vanaf Barneveld, tot ongeveer 1,5 km voor de uitmonding in de Barneveldse Beek is de beek in 1973 gereguleerd; de laatste 1,5 km stroomt de beek sterk meanderend door een natuurgebied. Een parallelleiding met overstortdrempel voorkomt water-overlast bij hoge waterafvoeren.

Het gereguleerde gedeelte van de beek valt niet samen met de oorspronkelijke leiding. (Informatie Waterschap Barneveldse Beek). Sinds de regulatie in 1973 werd nog niet gebaggerd. Men kan dus stellen dat een eventuele accumulatie van fosfor in de bodem sinds 1973 heeft kunnen plaatsvinden.

Bovenstrooms van Barneveld werd de beek in 1970 opgeschoond, maar niet uitgediept. Hier heeft dus een zeer langdurige fosfor-belasting van de bodem kunnen plaats vinden.



Bodemslibmonsters werden verkregen van één traject bovenstrooms van Barneveld, en van enkele trajecten benedenstrooms van Barneveld, tot aan de aftakking van de parallelleiding.

De monsterpunten zijn zodanig gekozen dat indien een verschillende P-belasting van het oppervlaktewater invloed heeft op de berging van fosfor in het sediment, dit tot uiting zal komen in de gemeten bodem-P-gehalten.

In tabel 1 zijn de monstertrajecten vermeld met daarbij de vervuiliingsbronnen die van invloed zijn (zie ook bijlage I).

Onder een monstertraject wordt verstaan een deel van de beekbodem van 10 - 100 m<sup>2</sup> waarbinnen één of meer bodemslibmonsters zijn genomen.

Tabel 1. De ligging van de monstertrajecten en de vervuiliingsbronnen die de waterkwaliteit beïnvloeden

Monstertraject	Ligging		Beïnvloeding waterkwaliteit door:
	NAP (m)	plaats	
E	+ 9,40	stroomopw. v. Barnev.	landelijk gebied
D	+ 5,90	onmiddellijk ten westen van B.	+ stadsvuil, riooloverstorten
C	+ 5,80	~ 100 m stroomafw. RWZI	+ effluent RWZI
B	+ 5,10	~ 500 m " "	"
A	+ 4,90	~ 1000 m " "	"

Stroomafwaarts is dus sprake van een toenemende waterverontreiniging, in ieder geval tot na de zuiveringsinstallatie.

Naast bodemslibmonsters uit de kleine Barneveldse Beek werden ook op verschillende plaatsen in de Nattegatsloot bodemmonsters genomen. Een kaart met de ligging van deze beek en de monsterpunten is gegeven in bijlage II.

In beide beken is de bodem over het algemeen zandig. Detritus, dat is verteerde organische stof werd nergens in grote mate op de bodem aangetroffen. Dit houdt verband met de regelmatig optredende

hoge stroomsnelheden. De aanduiding bodemslib of sediment in dit rapport duidt op de bemonsterde laag van de beekbedding, ongeacht of deze bestaat uit aangevoerd materiaal of oorspronkelijk materiaal.

## 5.2. M e t h o d i e k m o n s t e r n a m e

Voor het verzamelen van bodemslibmonsters is gebruik gemaakt van een monsternameapparaat dat ontwikkeld werd door de Technisch-fysische dienst voor de landbouw, in eerste instantie voor een onderzoek naar pesticiden in bodemslib (DE HEER, 1979). Het apparaat bestaat uit een perspex buis (binnendiameter 80 mm), met een scherpe stalen snijrand aan de ene zijde (onderkant). Op de bovenkant is een metalen kap te bevestigen die één geheel vormt met een lange steel met handvat. In de kap bevinden zich afsluitbare openingen. Ter verkrijging van een bodemonmonster wordt de buis door het water op de bodem neergelaten, terwijl de gaten in de kap niet gesloten zijn. Door de steel te draaien, en gelijktijdig druk uit te oefenen snijdt de perspex buis zich de bodem in. De openingen in de kap, aan de bovenzijde van de buis, waardoor water dat door de sedimentkolom werd verdreven is ontweken, kunnen nu vanaf het handvat op de steel worden gesloten. Vervolgens wordt de monsterbuis opgetrokken. Door de onderdruk die in de buis ontstaat bij het omhooghalen blijft de grondkolom in de buis hangen. De onderzijde van de buis wordt nog juist onder het wateroppervlak afgesloten met een plastic dop. De kap met steel kan nu van de buis verwijderd worden. Eventueel bovenstaand water wordt afgeheveld, en op de bovenzijde van de monsterbuis wordt ook een plastic dop geplaatst.

De hele buis met sediment wordt verticaal vervoerd en vervolgens ingevroren. Wanneer het geheel goed bevroren is kan na korte onderdompeling in warm water de sedimentkolom uit de monsterbuis worden geschoven. De ongestoorde grondkolom wordt nu weer ingevroren en kan alvorens men tot analyses overgaat in schijven van gewenste dikte worden gezaagd.

Een nadere beschrijving van het monstername-apparaat vindt men in het proefschrift van DE HEER (1979) die het apparaat in bruikleen afstond.

Met het omschreven apparaat zijn monsters te nemen tot een diepte van  $\pm$  40 cm. In de praktijk kan in de meeste gevallen een dergelijke diepte niet bereikt worden, omdat de bodem vaak te vast was. De buis kan dan na 20 à 30 cm niet verder in de bodem worden gedreven.

Voor het verzamelen van gegevens over diepere bodemlagen is éénmalig een reeks boringen uitgevoerd door de boordienst van de Provinciale Waterstaat, waarbij monsters werden verkregen tot een diepte van 1,70 m. Het bleek mogelijk, mede door het lage beekpeil, deze monsters te nemen met een normale Edelman-boor.

### 5.3. A n a l y s e m e t h o d e n

Bij het onderzoek dat in Nederland gaande is naar de functie van bodemgebonden fosfor in het eutrofiëringsproces van oppervlaktewater speelt steeds de vraag in hoeverre fosfor, dat is vastgelegd in bodemslib weer beschikbaar kan komen voor algengroei.

De meest gevolgde methode om de voor algengroei beschikbare hoeveelheid fosfaat in slib aan te tonen is een selectieve extractie van het bodemslib. Al naar gelang de aard van het extractiemiddel worden verschillende categorieën fosfaat in het bodemslib onderscheiden, die in meer of mindere mate onder natuurlijke omstandigheden uit het slib vrijgemaakt kunnen worden (GOLTERMAN, 1976, LYKLEMA, 1979).

Omdat het in dit onderzoek voornamelijk gaat om de totale berging van fosfor in de bodem is gekozen voor een eenvoudige P-totaal bepaling in de bodemonsters.

De monsters voor analyse werden verkregen door de bevroren grondkolom in schijven te zagen; de bovenste schijf heeft een dikte van 2 cm, de eronder liggende schijven zijn steeds 5 cm dik. Als de schijven ontdooid zijn wordt het materiaal uit een schijf goed gemengd en wordt een deelmonster afgewogen en gedroogd bij 104°C.

De methode die voor de P-bepaling gevolgd werd is ontleend aan Stoffer en Hieltjes (1977), en bestaat uit een destructie van het bodemonster met salpeterzuur en perchloorzuur, gevolgd door een spectrofotometrische bepaling van fosfaat in het destruaat.

Een uitgebreid analysevoorschrift vindt men in bijlage III. Naast fosfor werd meestal ook het ijzergehalte in de monsters bepaald met behulp van een atoomabsorptie-fotospectrometer.

Drogestofgehalte en gloeiverlies werden bepaald na drogen van de monsters bij 104° gevolgd door gloeien bij 950°C. Het gloeiverlies is een maat voor het gehalte aan organische stof + CaCO<sub>3</sub> in het sediment. Tenslotte werd enige informatie over de korrelgrootteverdeling in de bodem verkregen door de fractie < 105 µm van de gegloeide grond af te zeven en het gewichtspercentage van deze fractie te bepalen.

## 6. RESULTATEN BODEMSLIBONDERZOEK

Bodemslibmonsters werden verzameld op verschillende data in de periode december 1978 - juni 1979. Het lag aanvankelijk in de bedoeling de P-gehalten in de bodemonsters van verschillende data met elkaar te vergelijken in verband met een mogelijk verschil in P-gehalten in het sediment onder invloed van wijzigende omstandigheden in het oppervlaktewater (hoge en lage afvoeren). Het bleek echter dat in de tijd gezien geen aantoonbare verandering optrad in het P-gehalte van het sediment op een monstertraject. Ook de spreiding in P-gehalten was zo groot dat geen conclusies getrokken konden worden over de verandering van P-gehalten in de loop van het onderzoek. Daarom is besloten om bij de verwerking van de gegevens alle P-gehalten van éénzelfde sedimentlaag binnen een traject te middelen. In bijlagen IVA en V zijn echter alle afzonderlijke analyseresultaten opgenomen die betrekking hebben op de afzonderlijke monsters uit de kleine Barneveldse Beek en Nattegatsloot. Bijlage IVB geeft van een aantal analyseresultaten een grafische weergave. Bijlage VI geeft de analyseresultaten van de boringen tot 1,70 m diepte.

De zeer grote spreiding in P-gehalten, ook binnen een traject, moet aanleiding zijn tot een zekere voorzichtigheid bij het interpreteren van de gegevens.

Het gemiddeld P-gehalte in de bedding van de kleine Barneveldse Beek wordt in tabel 2 gegeven.

Tabel 2. Het gemiddelde gehalte aan totaal-fosfor als mg P per g droge stof in de onderscheiden lagen, en op verschillende trajecten in de kleine Barneveldse Beek (tussen haakjes aantal bodemonsters waarover is gemiddeld)

Traject	A	B	C	D	E
Bodemlaag (cm)					
0 - 2	0,89(5)	0,75(7)	0,76(3)	0,42(2)	1,28(3)
2 - 7	0,39(5)	0,32(8)	0,20(3)	0,38(2)	0,24(3)
7 - 12	0,60(4)	0,41(6)	0,11(3)	0,26(2)	0,08(3)
12 - 17	0,40(3)	0,42(5)	0,19(1)	0,03(2)	0,42(1)
17 - 22	0,22(1)	0,27(3)	0,01(1)	0,04(2)	1,09(1)
22 - 27	0,16(1)	0,23(1)	-	-	2,39(1)

De totaal aanwezige hoeveelheid fosfor in het bodemslib van een traject is te berekenen omdat de massa van de natte monster-schijven bekend zijn (gewogen, niet in tabellen opgenomen), en het bovenoppervlak van een monsterschijf steeds  $50 \text{ cm}^2$  is (doorsnee monsterbuis). Onder één vierkante meter bodemoppervlak vindt men zo de in tabel 3 vermelde hoeveelheden totaal-P per bodemlaag.

Tabel 3. Hoeveelheid totaal-P in grammen per  $\text{m}^2$  in de bodem van de kleine Barneveldse Beek op verschillende trajecten en in opeenvolgende bodemlagen

Traject	A	B	C	D	E
Bodemlaag (cm)					
0 - 2	16,82	13,34	12,10	7,68	18,70
2 - 7	27,67	18,29	11,72	17,71	16,76
6 - 12	19,32	21,82	7,62	12,72	5,52
12 - 17	17,13	9,56	9,02	2,28	28,49
17 - 22	6,80	15,94	0,64	3,02	59,34
22 - 27	6,38	14,46	-	-	91,90

Opvallend hierbij is dat in de wat dieper gelegen bodemlagen van monstertraject E (12-27 cm) de P-gehalten in het sediment hoger zijn dan op andere trajecten. Ook bij de 'diepe' boringen (bijlage VI) vindt men op monsterpunt E tussen 10 en 50 cm diepte een verhoogd P-gehalte. Eén van de oorzaken hiervoor kan zijn dat de bodem van de beek bovenstrooms van Barneveld (E) niet gereduceerd is (kleur van de monsters in tegenstelling tot vele andere niet zwart). IJzer kan hier dus in geoxideerde vorm voorkomen en complexe onoplosbare verbindingen aangaan met fosfaat. Verder kan ook een rol spelen dat het monstertraject hoger gelegen is dan de andere trajecten, zodat infiltratie van fosfaathoudend water waarschijnlijker is.

Voor de Nattegatsloot met zijtakken is het gemiddeld P-gehalte in de gedroogde bodemonsters en de hoeveelheid totaal-P per oppervlakteenheid samengevat in tabel 4.

Tabel 4. P-totaal gehalte in sedimentmonsters ( $\text{mg P.g}^{-1}$ ), en hoeveelheid P-totaal ( $\text{g.m}^{-2}$ ) in de onderscheiden lagen van de bodem van de Nattegatsloot (tussen haakjes het aantal monsters waarover gemiddeld is)

	$\text{mg P. g grond}^{-1}$	$\text{gP.m}^{-2}$
bodemlaag (cm)		
0 - 2	0,69(5)	18,2
2 - 7	0,25(4)	14,9
7 - 12	0,26(4)	20,3
12 - 17	0,10(2)	7,3

Een deel van het fosfor dat in het sediment wordt aangetoond, is daar van nature aanwezig. VASAK (1979) bepaalde de samenstelling van de bodem op enkele plaatsen in de Gelderse Vallei, tot op een diepte van ongeveer 20 m. Uit zijn onderzoek valt af te leiden dat zandige bodemonsters gemiddeld 0,09 mgP per gram grond bevatten. In leem- en kleilagen is het gehalte hoger: 0,35 mg P ( $\text{g grond}^{-1}$ ).

Als achtergrondniveau (natuurlijk gehalte) wordt in dit onderzoek het gemiddeld P-gehalte aangenomen van dat gedeelte van de monsters uit de 4 'diepe' boringen (bijlage VI), die uit bodemlagen afkomstig zijn die meer dan 0,8 m beneden de bedding van de beek of sloot gelegen zijn.

Het gemiddeld P-gehalte van deze monsters is  $0,10 \text{ mg P (g grond)}^{-1}$ , hetgeen goed overeenkomt met de door VASAK gevonden gehalten.

In feite worden in dit onderzoek in enkele bodemslibmonsters lagere P-gehalten aangetoond dan het natuurlijk gehalte, maar dit is mogelijk het gevolg van de gebruikte analysemethode. Bij lage P-gehalten kan deze methode onnauwkeurig zijn.

Eén liter nat sediment bevat gemiddeld 1,3 kg droog materiaal. De hoeveelheid fosfor onder  $1 \text{ m}^2$  bodemoppervlak, tot een diepte van 27 cm is bij een P-gehalte van  $0,10 \text{ mg P (g grond)}^{-1}$  dus  $35,1 \text{ g P.m}^{-2}$ .

Trekt men deze van nature in de bodem aanwezige hoeveelheid fosfor af van de feitelijk gemeten hoeveelheid, dan kan het resterende fosfor beschouwd worden als 'geborgen' fosfor. Deze berging kan hebben plaatsgevonden door toevoer vanuit vervuilingbronnen, maar ook door natuurlijke processen als precipitatie van ijzer-fosfaatverbindingen bij opkwellend ijzerhoudend grondwater.

Tabel 5. Geborgen hoeveelheden P-totaal in de beekbodem, op de verschillende trajecten

Traject	A	B	C	D	E	NS
Monsterdiepte (cm)	27	27	22	22	27	17
Totaal aanwezig P ( $\text{g.m}^{-2}$ )	94,1	93,4	41,1	43,4	220,7	60,7
Achtergrondniveau ( $\text{g.m}^{-2}$ )	35,1	35,1	28,6	28,6	35,1	22,1
Geborgen P ( $\text{g.m}^{-2}$ )	59,0	58,3	12,5	14,8	185,6	38,6

In de kleine Barneveldse Beek bedraagt de afvoer benedenstrooms van de zuiveringsinstallatie circa 36 000 kg P per jaar (BEUNDERS).

Het beekcompartiment vanaf de zuiveringsinstallatie tot aan de vertakking met de parallelleiding (bij m.p.A) heeft een lengte van circa 1 km en een gemiddelde breedte van circa 4 m; het bodemoppervlak is dus 4000 m<sup>2</sup>. De monstertrajecten A, B en C, die op gelijke onderlinge afstand in dit beekgedeelte liggen vertegenwoordigen elk een oppervlak van 1333 m<sup>2</sup>. De geborgen hoeveelheid fosfor in deze beekgedeelten bedraagt dan:

A	78,6 kg P
B	77,7 kg P
C	16,7 kg P

Totaal 173 kg P

Omdat dit gedeelte van de beek in 1973 is verlegd, kan men stellen dat P-accumulatie in het sediment gedurende 5 jaar heeft plaatsgevonden. In deze periode is dus 173 kg P aan de bodem toegevoegd (indien men alleen de bovenste 22 à 27 cm van de bodem beschouwt). Dit komt overeen met een jaarlijkse berging van 34,6 kg P. In vergelijking met de jaarlijkse afvoer van 36 000 kg P is de berging in het betreffende beekcompartiment te verwaarlozen, namelijk 0,1%.

De Nattergatsloot werd in de vijftiger jaren voor een groot deel gereguleerd. Aangenomen wordt dat P-accumulatie gedurende 25 jaar heeft plaatsgevonden. Het oppervlak aan watergangen binnen het afwateringsgebied van de Nattergatsloot is circa 7,9 ha. Onder dit oppervlak is tot 17 cm diepte ongeveer 3049 kg P geborgen, dat is een jaarlijkse berging van 122 kg.

Vanaf 1 januari 1979 tot 1 mei 1979 werd 2905 kg P met het beekwater afgevoerd. Schat men op basis van dit gegeven de jaarlijkse afvoer op minimaal 6000 kg P dan bedraagt de berging in het bodemslib circa 2% van deze afvoer.

#### R e s u l t a t e n v a n e n i g a a n v u l l e n d b o d e m - s l i b o n d e r z o e k

Er is gesteld dat op lange termijn (1 jaar) bezien fosforberging in de bodem geen rol van betekenis speelt. Dit wil niet zeggen dat binnen een dergelijke termijn geen aanzienlijke tijdelijke berging kan optreden. Bij een lage stroomsnelheid in de beken vindt sedimentatie



plaats van deeltjes gebonden fosfaat. Bij toenemende stroomsnelheid komt dit fosfaat tot afvoer. Zo werd door STEENVOORDEN (mondelijke mededeling) in 1978 tijdens een periode met hoge beekafvoer een gehalte van  $26 \text{ mg P}_{\text{tot}} \cdot \text{l}^{-1}$  gemeten in de Barneveldse Beek, welke concentratie zeker deels tot stand kwam door opgewerveld bodemslib. Het ortho-P-gehalte bedroeg slechts  $0,5 \text{ mg P} \cdot \text{l}^{-1}$ .

Bij lage stroomsnelheden werden in de Kleine Barneveldse Beek en Nattegatsloot inderdaad slibbanken aangetroffen van een losse vlokke structuur. Deze sliblaag die op een vastere ondergrond lag was in het algemeen slechts enkele millimeters dik.

Bij de gebruikte methode van bodemslib-bemonstering werd slechts een deel van dit slib mee bemonsterd omdat het gemakkelijk wegspoelt bij het steken van de monsters. Van dit oppervlakkige bodemslib werden enkele monsters verkregen door een slib-water mengsel af te zuigen van de bodem. Na centrifugeren en drogen werd het P-gehalte in de monsters bepaald (tabel 6).

Tabel 6. P-gehalte in oppervlakkig bodemslib op enkele monsterpunten in de Kleine Barneveldse Beek en Nattegatsloot

Monsterpunt	mg P.g <sup>-1</sup>
A	4,91
NS-1	1,58
NS-2	4,63
NS-3	4,77

De kwantiteit van dit oppervlakkige bodemslib is moeilijk vast te stellen; in de eerste plaats omdat de hoeveelheid bepaald wordt door de tijdsduur waarin het gevormd kan worden (bij geringe stroomsnelheid), en in de tweede plaats omdat de verdeling over de beekbedding onregelmatig is. Vastgesteld kan worden dat het fosforgehalte in dit slib beduidend hoger is dan in het wat vastere minder mobiele onderliggende sediment.

Tabel 7. Sediment- en poriënwateranalyses

datum 18 juni 1979

Monster- punt	mg P/ g sed.	N-NO <sub>3</sub> / NO <sub>2</sub>		P-PO <sub>4</sub>		N-NH <sub>4</sub>		Fe <sup>2+</sup>		tot. Fe		Si-SiO <sub>2</sub>		N totaal totaal		P		Ca		Mg		Mn		anorg. kool- stof		
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A	0,123	0,73	0,61	4,11	0,10	0,10	0,20	12,42	67	0,15	0,32	36,9														
A	0,477	0,25	0,09	2,39	1,20	1,80	14,30	44	0,11	0,22	27,9															
E	0,696	2,13	0,02	1,91	0,10	0,25	7,30	100	0,26	0,58	46,0															
NS	0,941	1,33	0,53	2,85	0,85	11,75	7,91	5,78	0,82	0,86	47,0															
NS	1,500	1,00	0,40	1,82	0,50	4,30	13,73	16,59	0,97	0,44	36,5															
NS	1,125	0,26	0,63	3,32	1,86	6,50	12,55	6,66	1,14	0,30	51,4															

In samenwerking met de Deltadienst (drs. J.P. AL, A. HOLLAND van de hoofdafdeling Milieu en Inrichting) is een éénmalig onderzoek gedaan naar de samenstelling van het interstitieel water op enkele plaatsen in beide beken. De Deltadienst is in het bezit van de benodigde apparatuur om het interstitieel water uit sediment-monsters te persen (bij afwezigheid van zuurstof om vorming van onoplosbaar ijzer III fosfaat tegen te gaan). Analyses aan het interstitieel water werden verricht door de Deltadienst, P-analyses in het bijbehorende sediment door de auteur. Tabel 7 geeft de resultaten.

De P-tot. gehalten in het interstitieel water wijken nauwelijks af van de P-tot. gehalten die in het oppervlaktewater worden gevonden. De bijdrage aan de P-belasting van het oppervlaktewater door diffusie of vermenging zal daarom zeer gering zijn.

Tenslotte valt nog op te merken dat er een duidelijk verband is tussen het fosforgehalte en het ijzergehalte in het bodemslib. Als in een sedimentkolom het P-gehalte afneemt met de diepte, dan neemt over het algemeen ook het Fe-gehalte af. (Zie bijlage IVB). Een berekening van correlatie coëfficiënten is weinig zinvol omdat per kolom te weinig analyses zijn verkregen.

## 7. CONCLUSIES

- De geborgen hoeveelheid fosfor in bodemslib moet verklaard worden uit de P-belasting van het water, de duur van de belasting en de hydrologische situatie.
- De accumulatie van fosfor in het bodemslib van kleine, relatief snelstromende wateren blijkt gering te zijn als men een langere termijn beschouwt (bijvoorbeeld één jaar).  
Een punt-bron (RWZI) draagt niet aantoonbaar bij tot extra vastlegging van fosfor in het sediment.
- Periodiek voorkomende afvoergolven zorgen voor afvoer van recent gevormd oppervlakkig P-houdend bodemslib.

- Nalevering van fosfor uit bodemslib aan beekwater is op lange termijn bezien verwaarloosbaar.
- Saneringsmaatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit in onderzochte en soortgelijke beken behoeven niet te worden uitgebreid met baggerwerkzaamheden ter verwijdering van P-houdend bodemslib.

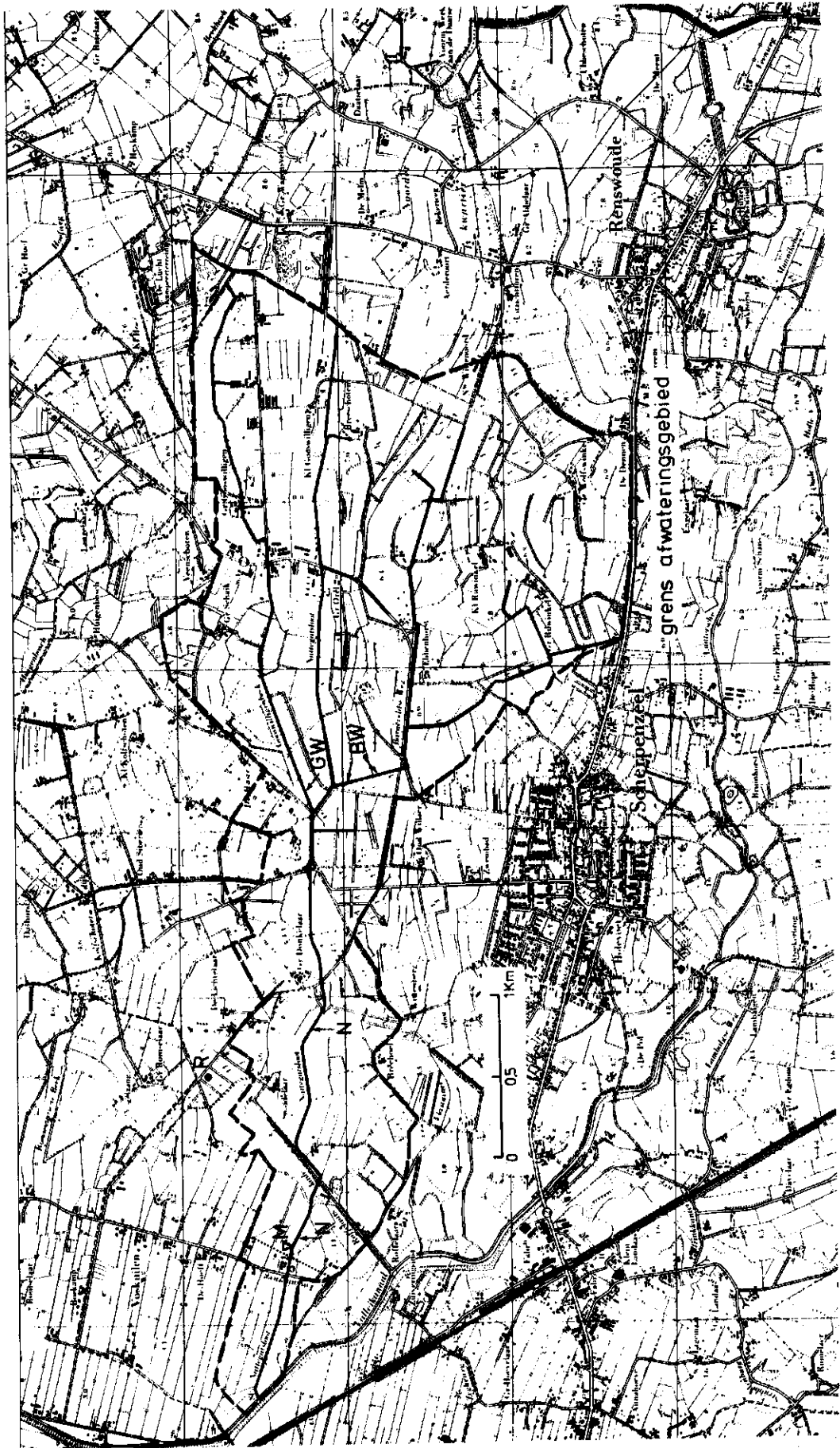
## 8. LITERATUUR

- AL, J.P. en A.M.B. HOLLAND, 1977. Geochemische bemonsterings- en analysemethodieken. Nota 76-60. Deltadienst. Rijkswaterstaat
- BAUMANN, G. en FISCHER, W.R., 1978. Phosphatformen in Unterwasserböden Ca-reicher Fließgewässer. Z. Pflanzenernaehr. und Bodenk. 141, 419-427
- BEUNDERS, B.A.J., 1978. Fosfaathuishouding en algengroei in het Barneveldse Beekgebied. Afstudeerverslag TH-Twente
- HEER, H. DE, 1979. Measurements and computations on the behaviour of the insecticides azinphos-methyl and dimethoate in ditches. Agricultural research reports 884. 176 p. Pudoc, Wageningen
- HIELTJES, A.H.M. en L. LYKLEMA, 1979. Nalevering van fosfaat door sedimenten (III); interactie van fosfaat in sediment en (poriën)water. H<sub>2</sub>O 12, 599-602
- KOUWE, F.A. en H.L. GOLTERMAN, 1976. Rol van bodemfosfaten in het eutrofiëringsproces. H<sub>2</sub>O 9, 84-86
- LYKLEMA, L., 1977. The role of iron in the exchange of phosphate between water and sediments. In: Interactions between sediments and fresh water (ed. H.L. Golterman) Junk-Pudoc, Den Haag
- \_\_\_\_\_ 1979. Binding van O-fosfaat door ijzer (III)- en aluminiumhydroxiden; theorie en praktische betekenis. H<sub>2</sub>O 12, 511-513
- SALOMONS, W. en H.A. SISSINGH, 1976. Het fosforgehalte van slibafzettingen in Nederland, Duitsland en België. H<sub>2</sub>O 9, 429-431
- STEENVOORDEN, J.H.A.M., 1979. Fosfaat- en stikstofhuishouding voor het oppervlaktewater van de Barneveldse Beek. Basisrapport ten behoeve van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland
- STOFFER, T. en A.H.M. HIELTJES, 1977. Overzicht gebruikte analysemethoden binnen het onderzoek 'Mobilisatie van sedimentfosfaat'. Rapport CT 77/208/1315 TH Twente, Enschede
- VASAK, Z., 1978. De chemische samenstelling van het grondwater in het Barneveldse Beekgebied. Rapport Instituut Aardwetenschappen, Amsterdam

## 9. BIJLAGEN

- Bijlage I : Onderzoeksgebied Kleine Barneveldse Beek, waarbij  
aangegeven de monstertrajecten (A,B,C,D,E)
- Bijlage II : Onderzoeksgebied Nattegatsloot, waarbij aangegeven  
de monstertrajecten (N,BW,GW,R)
- Bijlage III : Procedure voor de destructie van bodemmateriaal ter  
bepaling van P-totaal
- Bijlage IV A: Analyseresultaten van de bodemslibbemonsteringen in  
de Kleine Barneveldse Beek
- Bijlage IV B: Analyseresultaten van een aantal bodemslibbemonste-  
ringen in de Kleine Barneveldse Beek, grafisch  
weergegeven
- Bijlage V : Analyseresultaten van de bodemslibbemonsteringen in  
de Nattegatsloot
- Bijlage VI : Analyseresultaten van 'diepe' bodembemonsteringen  
op 2 plaatsen in de Kleine Barneveldse Beek (A en E)  
en 2 plaatsen in het Nattegatslootgebied (N en R)







PROCEDURE VOOR DE DESTRUCTIE VAN BODEMMATERIAAL TER BEPALING VAN  
TOTAAL-P IN BODEMMONSTERS

Breng al naar gelang het verwachte P-gehalte 0,1 tot 1 gram gedroogde grond in een destructie-buis, en voeg 3 ml  $\text{HNO}_3$  (p.a., 65%) toe. Damp tot nagenoeg droog (niet volledig droog) in een destructie-blok bij  $150 \text{ à } 160^\circ \text{C}$ . Voeg nogmaals 3 ml salpeterzuur toe en kook weer tot bijna droog. Deze procedure te herhalen tot er alleen nog (nagenoeg) witte materie achterblijft.

Voeg 2 ml  $\text{HClO}_3$  (p.a.  $\sim 70\%$ ) toe en kook weer tot bijna droog. Vervolgens  $\sim 5$  ml gedest. water toevoegen en tot bijna droog indampen. Nogmaals water toevoegen en opnieuw indampen. (Dit ter verdrijving van alle perchloorzuur dat de reducerende werking van ascorbinezuur bij de P-bepaling stoort).

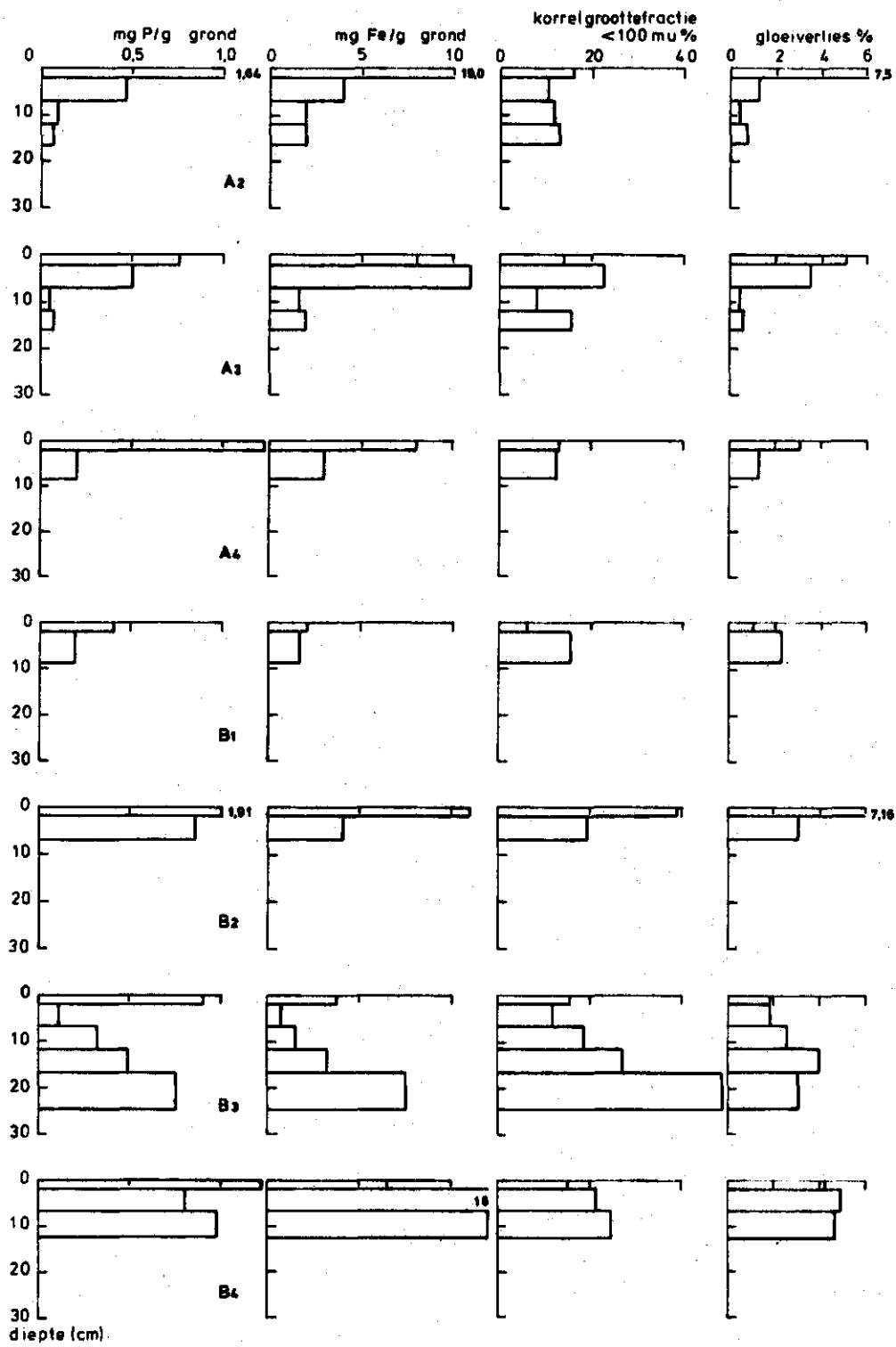
Spoel nu het geheel over in een 50 ml maatkolf, en laat enige tijd staan (bezinken vaste deeltjes). Breng vervolgens 10 ml van de bovenstaande vloeistof over in een 100 ml maatkolf, vul aan tot  $\sim 80$  ml en neutraliseer op fenolftaleïne (verdund NaOH tot roodkleurig, vervolgens verdund  $\text{H}_2\text{SO}_4$  tot blank).

In deze oplossing de fosfaat concentratie bepalen volgens de NEN-voorschriften - (met molybdaat omzetting van fosfaat in fosformolybdeenzuur, reductie Mo VI tot Mo IV met ascorbinezuur  $\rightarrow$  blauwkleuring).

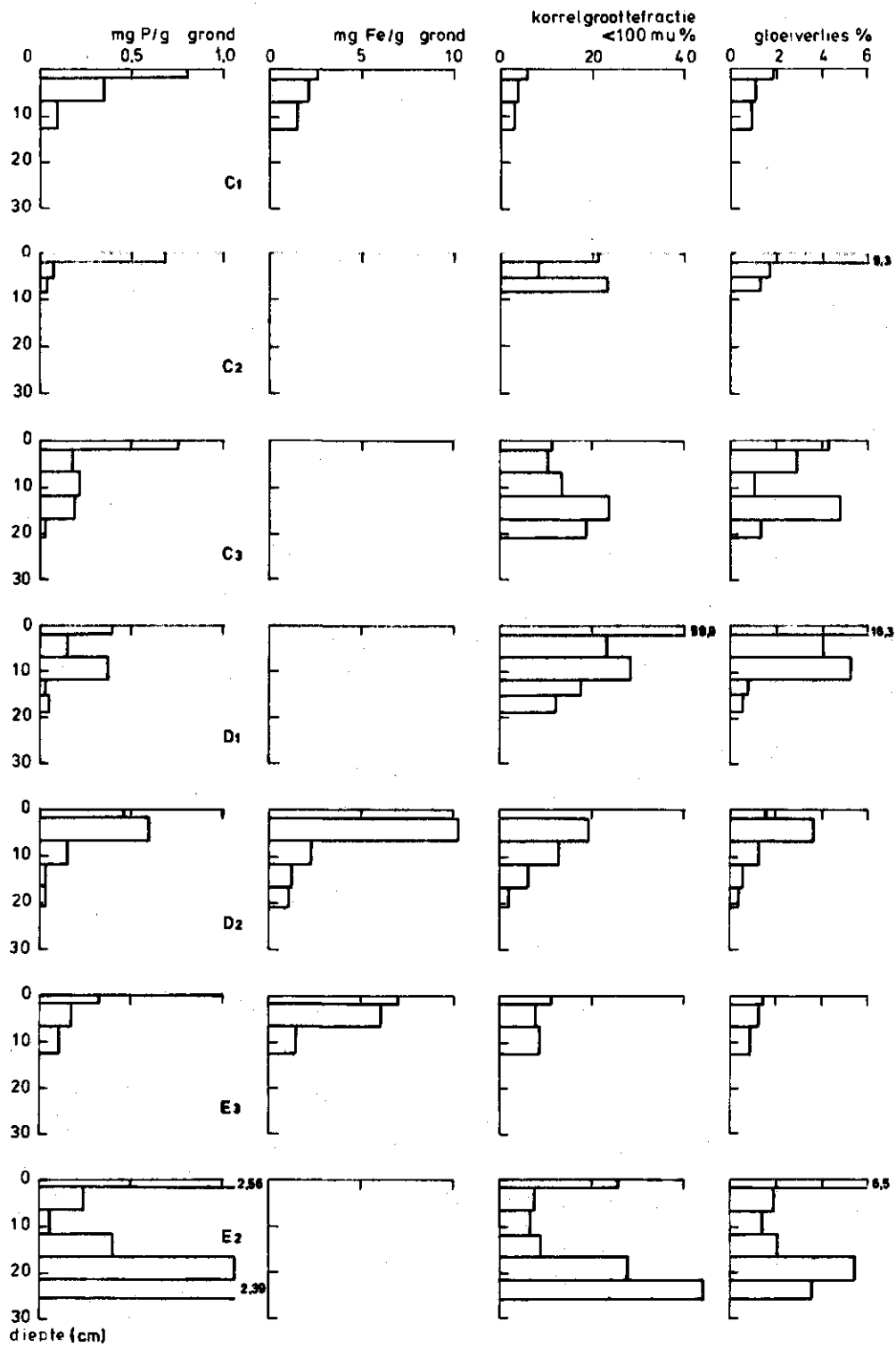
P-concentratie grond is te berekenen uit P-concentratie in de oplossing.

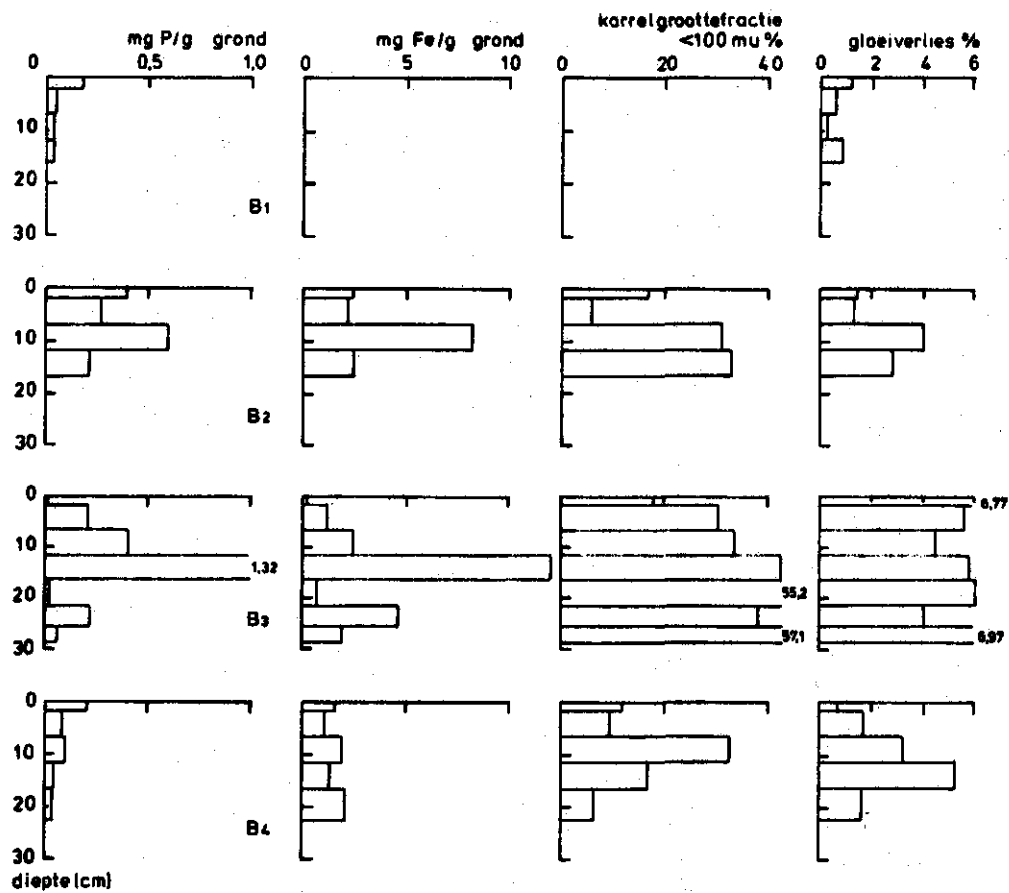


Bijlage IVB



Bijlage IVB (vervolg)





Bijlage V

Drogestofgehalte (dr.gr.%) , gloeiverlies (gl.v.%), korrelgrootte (fractie < 105 µ, k.gr.), P (g.kg<sup>-1</sup>), Fe (g.kg<sup>-1</sup>) in het sediment van waterlopen in het Natregatslootgebied

Datum	Monsterkolom	0 - 2 cm			2 - 7 cm			7 - 12 cm			12 - 17 cm		
		dr. gl.v. k.gr.	P	Fe	dr. gl.v. k.gr.	P	Fe	dr. gl.v. k.gr.	P	Fe	dr. gl.v. k.gr.	P	Fe
8-2-'79	N	75	2,1	0,38	78	1,3	0,18	81	0,7	0,08	83	0,4	0,07
13/14-6-'79	N	2,8	0,48		2,3	0,17		1,2	0,08				
8-2-'79	BW	65	5,6	26	1,23	10,7	74	2,7	25	0,01	0,5		
13/14-6-'79	BW	3,3	0,43		8,9	0,57		0,1	0,82				
13/14-6-'79	GW	4,1	0,95		2,5	0,33		5,9	0,09		6,6	0,12	

Analyseresultaten 'diepe' bemonsteringen

diepte(cm)		A					E					N					R (referentie sloot)						
		dr. gl.v. k.gr.	P	Fe	dr. gl.v. k.gr. gr.	P	Fe	dr. gl.v. k.gr. gr.	P	Fe	dr. gl.v. k.gr. gr.	P	Fe	dr. gl.v. k.gr. gr.	P	Fe	dr. gl.v. k.gr. gr.	P	Fe	dr. gl.v. k.gr. gr.	P	Fe	
0 - 10	0 - 20	80	0,8	11	0,36	3,0	74	3,9	25	0,40	6,8	74	1,8	24	0,10	2,8	81	0,9	23	0,04	1,3		
10 - 30	20 - 40	46	16,1	72	1,43	12,0	69	4,7	24	1,09	7,3	75	2,1	17	0,14	3,0	80	0,8	28	0,05	1,3		
30 - 50	40 - 60	67	4,8	31	0,26	5,0	72	3,2	18	1,19	12,5	78	1,1	9	0,05	2,3	80	0,9	7	0,05	1,5		
50 - 70	60 - 80	64	10,9	71	0,33	7,5	76	2,1	16	0,22	6,0	79	1,0	14	0,04	1,8	79	0,8	15	0,05	1,5		
70 - 90	80 - 100	77	7,4	55	0,34	6,0	83	1,7	20	0,13	3,6	80	0,7	16	0,07	1,9	80	0,7	23	0,07	1,6		
90 - 110	100 - 120	85	2,1	27	0,21	3,8	81	1,8	19	0,08	3,1	80	0,6	9	0,06	1,9	80	0,6	23	0,05	1,6		
110 - 130	120 - 140	87	2,0	35	0,14	3,1	82	0,8	5	0,06	1,9	81	0,7	10	0,08	2,1	81	0,6	13	0,06	1,6		
130 - 150	140 - 160	85	1,3	31	0,10	2,1	81			0,15	4,5						79				0,16	3,8	
150 - 170		84	1,0	24	0,11	2,4	83	1,1	7	0,12	3,0												

