

Limiterende factoren voor algengroei

Riza-rapport 99.059

Arthur van Schendelstraat 816
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
Telefoon 030 232 11 99
Fax 030 232 17 66
E-mail stowa@stowa.nl
<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-
overzicht van de STOWA kunt u
uitsluitend bestellen bij:
Hageman Fulfilment
Postbus 1110
3300 CC Zwijndrecht
tel. 078 - 629 33 32
fax 078 - 610 42 87
e-mail: hff@wxs.nl
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.
ISBN 90.5773.080.4

99 30

TEN GELEIDE

Kennis met betrekking tot de limitatie van de groei van algen is van belang om te bepalen welk type maatregelen het meest kansrijk is voor specifieke watersystemen. In het kader van de Vierde Eutrofiëringsenquête Meren en Plassen is een groot aantal gegevens verzameld en geanalyseerd. Opgeloste nutriënten hebben hierbij relatief weinig aandacht gekregen, terwijl deze fractie met name relevant is wanneer het gaat om groeilimitatie van algen.

In de onderhavige studie wordt nagegaan in hoeverre de meetgegevens verzameld in het kader van de genoemde Eutrofiëringsenquête informatie geven met betrekking tot de factoren die de groei van algen limiteren. Hierbij is zowel gekeken naar concentraties van de fracties opgeloste nutriënten voor fosfor en stikstof in relatie tot de groei van algen, als naar de invloed van zoöplankton gerelateerd aan de predatie op algen.

Het onderzoek is gefinancierd door STOWA. De uitvoering van dit project was in handen van dr. ir. R. Portielje (uitvoering, RIZA), dr. ir. D.T. van der Molen (projectleider, RIZA) en dr. B. W. Ibelings (advies, RIZA). De begeleidingscommissie bestond uit drs. B. van der Wal (STOWA), dr.ir. E.H.S. van Duin (Hoogheemraadschap Rijnland), ir. R. Veeningen (Waterschap Fryslân) en drs. M-L. Meijer (RIZA).

Utrecht, december 1999

De directeur van de STOWA,
ir. J.M.J. Leenen

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	3
1. Inleiding.....	4
2. Data.....	4
3. Werkwijze.....	5
3.1 Kwantitatieve analyse op basis van opgeloste nutriënten.....	5
3.2 Kwalitatieve analyse op basis van opgeloste nutriënten.....	5
3.3 Invloed zoöplankton.....	6
4. Resultaten	7
4.1 Kwantitatieve analyse op basis van opgeloste nutriënten.....	7
4.1.1. Landelijk beeld	7
4.2.2. Jaarcyclus.....	7
4.2 Kwalitatieve analyse op basis van opgeloste nutriënten.....	8
4.2.1 karakteristieke patronen in opgeloste concentraties	8
4.2.2. geografische spreiding nutriëntenlimitatie	10
4.2.3. verhouding totaal-N : totaal-P	14
4.3 Invloed zoöplankton.....	14
5. Discussie.....	16
6. Conclusies.....	19
7. Aanbevelingen	20
8. Literatuur	20

FIGUREN

Figuur 1. Aantal monsters per zomer met informatie over opgelost N en P (links) en het verloop in de tijd van de fractie monsters met concentraties $P_{\text{opg}} < 0,05 \text{ mg/l}$ en $N_{\text{opg}} < 0,25 \text{ mg/l}$ gedurende het zomerhalfjaar (rechts).	7
Figuur 2. <i>Boven</i> : fracties van monsters met zowel P- als N-limitatie, wel P- maar geen N-limitatie, wel N- maar geen P-limitatie en zowel N- als P-limitatie. <i>Onder</i> : fracties van monsters met P-limitatie en met N-limitatie. Limitatie is vastgesteld op basis van onderschrijding van $P_{\text{opg}} < 0,05$ en $N_{\text{opg}} < 0,25$	8
Figuur 3. Verloop van concentraties opgelost P en opgelost N in het Gooimeer gedurende de periode 1992 tot en met 1996.	9
Figuur 4. Verloop van concentraties opgelost P en opgelost N in de Wijde Ee (Friesland) gedurende de periode 1993 tot en met 1995.	9
Figuur 5. Voorbeelden van systemen met alleen N-limitatie of alleen P-limitatie	10
Figuur 6. Geografische spreiding van systemen ingedeeld in klassen met betrekking tot de frequentie van overschrijding van kritische opgeloste concentraties van $0,05 \text{ mg P/l}$	11
Figuur 7. Geografische spreiding van systemen ingedeeld in klassen met betrekking tot de frequentie van overschrijding van kritische opgeloste concentraties van $0,25 \text{ mg N/l}$	12
Figuur 8. Geografische spreiding van systemen met alléén P-limitatie , alléén N-limitatie, N- en P-limitatie, geen van beide of onregelmatig.	13
Figuur 9. Distributiefuncties van de potentiële graasdruk door zoöplankton in relatie tot de fytoplankton samenstelling (met of zonder dominantie van draadvormige blauwalgen).	15
Figuur 10. Distributies van zomergemiddelde chlorofyl-a concentraties voor een tweetal klassen van de zomergemiddelde zoöplankton biomassa in meer-jaren zonder dominantie van draadvormige blauwalgen.	15
Figuur 11. Distributies van zomergemiddelde ratio's van chlorofyl-a : totaal-N (links) en chlorofyl-a : totaal-P (rechts) voor een drietal klassen van de potentiële graasdruk in meer-jaren zonder dominantie van draadvormige blauwalgen.	16

Figuur 11. Distributies van zomergemiddelde ratio's van chlorofyl-a : totaal-N (links) en chlorofyl-a : totaal-P (rechts) voor een drietal klassen van de potentiële graasdruk in meer-jaren zonder dominantie van draadvormige blauwalgen. 17

Samenvatting

De vraag of in Nederlandse meren en plassen nutriëntenlimitatie van algengroei optreedt, en welk nutriënt (stikstof of fosfor) limiterend is, is onderzocht door analyse van gegevens van opgeloste nutriënten zoals deze door beheerders in monitoring programma's worden verzameld. Op basis van de studie kunnen de volgende bevindingen worden geformuleerd.

Het meten van opgeloste nutriënten vanuit de ecologische doelstelling om limitatie voor algen aan te tonen, is niet zinvol bij de gangbare detectielimieten van de meeste waterbeheerders. De bij de analyses gehanteerde detectielimieten voor zowel $\text{PO}_4\text{-P}$ als de opgeloste N fracties $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ en $\text{NH}_4\text{-N}$ zijn veelal te hoog ten opzichte van in de literatuur vermelde waarden voor de concentraties waar beneden limitatie optreedt. Om in de toekomst gebruik te kunnen maken van monitoring gegevens voor het inschatten van de rol van nutriënten als groeilimiterende factoren voor algen, is het aan te bevelen analysemethoden toe te passen met detectielimieten van maximaal 0,001 mg P/l voor $\text{PO}_4\text{-P}$ en 0,010 mg N/l voor zowel $\text{NO}_x\text{-N}$ (de som van nitraat+nitriet) als voor $\text{NH}_4\text{-N}$. In de beschikbare dataset bedroegen deze detectielimieten maximaal en ook veelal 0,05 mg P/l en 0,25 mg N/l als som van $\text{NO}_x\text{-N}$ en $\text{NH}_4\text{-N}$.

Indien kosten een beperking vormen voor de realisatie van bovengenoemde aanbeveling kan worden overwogen om een meetnet in te richten waarbij de ruimtelijke resolutie teruggebracht wordt. Hierbij kan als argument worden aangevoerd dat N- en P-limitatie een sterk regionaal karakter vertonen, en dat voor onderling verbonden watersystemen zoals boezemwateren, de concentraties ruimtelijk weinig variatie vertonen.

Op basis van de gehanteerde maximale detectielimieten van 0,05 mg P/l en 0,25 mg N/l als som van $\text{NO}_x\text{-N}$ en $\text{NH}_4\text{-N}$ kan wel een indicatie voor het optreden van nutriëntenlimitatie verkregen worden. Nutriëntenlimitatie van algen lijkt in de tijd toe te nemen. Gedurende de periode 1980 tot en met 1996 is de fractie van de gedurende de zomer genomen monsters met een opgelost P concentratie kleiner dan 0,05 mg/l op landelijk niveau gelijkmatig gestegen van ruim 30% naar circa 70%. Voor totaal opgelost N is de fractie met een concentratie kleiner dan 0,25 mg/l gedurende deze periode vrijwel gelijk gebleven, variërend tussen 40% en 50%. Deze trends zijn consistent met de bevindingen voor totaal-P en -N, zoals die naar voren kwamen in de Vierde Eutrofiëringsequête (H_2O 31, 11, 1998). Opgelost P concentraties kleiner dan 0,05 mg P/l zijn gelijkmatig verdeeld over het gehele jaar, met iets hogere frequenties gedurende het voorjaar. Opgelost N concentraties kleiner dan 0,25 mg N/l beperken zich voornamelijk tot de zomer en het najaar.

Naast limitatie van algengroei door nutriënten is tevens het verband tussen graas door zoöplankton en de algenbiomassa onderzocht. In meer-jaren met dominantie van draadvormige blauwalgen is de graasdruk aanzienlijk lager dan in overige meer-jaren. Bij afwezigheid van dominantie van draadvormige blauwalgen is een invloed van graas door zoöplankton op de algenbiomassa aantoonbaar. Bij een hogere potentiële graasdruk zijn de chlorofyl-a : totaal-P en de chlorofyl-a : totaal-N ratio's lager. Dit duidt op top-down limitatie van de algenbiomassa bij hogere graasdruk. Een verband tussen graas door zoöplankton en het optreden van N- of P-limitatie kon niet aangetoond worden.

1. Inleiding

In aquatische ecosystemen hebben primaire producenten behoefte aan licht, koolstof, stikstof, fosfor en diverse andere elementen. De nutriënten stikstof (N) en fosfor (P) komen van nature veelal in limiterende hoeveelheden voor in een voor algen beschikbare vorm. De totaal concentraties van N en P zeggen op zich niet veel over het al of niet limiterend zijn. Van deze totaal concentraties kan slechts een klein deel aanwezig zijn in een beschikbare vorm. Nutriënten zijn aanwezig in particuliere en opgeloste vorm. De particuliere vorm bestaat uit een organische en een anorganisch fractie en is slechts deels en indirect beschikbaar, hetzij na desorptie, hetzij na mineralisatie van organische stof. De opgeloste vorm is veelal wel direct beschikbaar. Uitputting van de pool van opgeloste nutriënten is derhalve een aanwijzing voor het optreden van nutriëntenlimitatie van algengroei.

Behalve factoren die de groei van algen beïnvloeden bepalen ook verliesfactoren, zoals predatie door zoöplankton, de algenbiomassa in het water. De discussie over hoe vastgesteld kan worden wat nu precies de limiterende factoren zijn voor algen in een bepaald systeem wordt reeds lang gevoerd. Een eenduidige, algemeen toepasbare methodiek is daaruit nog niet voortgekomen.

In het kader van monitoring programma's van fysisch-chemische en biologische variabelen in de Nederlandse meren en plassen, zoals deze door de waterbeheerders worden uitgevoerd, worden routinematig concentraties van verschillende nutriëntenfracties in de waterkolom gemeten. Voor fosfor betreft dit veelal totaal-P en $\text{PO}_4\text{-P}$, voor stikstof Kjeldahl-N, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{NO}_2\text{-N}$ (afzonderlijk of als som $\text{NO}_x\text{-N}$). Dit rapport behandelt de analyse van meetreeksen van de opgeloste nutriëntenfracties $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{NO}_2\text{-N}$ voor de vaststelling van limitatie door nutriënten. De effecten van top-down controle door graas worden geanalyseerd aan de hand van effecten van zoöplankton op de relaties tussen chlorofyl-a en nutriënten.

2. Data

In het kader van de Vierde Eutrofiëringsevenquête is een uitgebreide dataset opgebouwd (Portielje & Van der Molen, 1997; Portielje & Van der Molen, 1998; Van der Molen *et al.*, 1998). Met betrekking tot zowel $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{NO}_2\text{-N}$ zijn er gegevens van circa 23.000 monsters. Deze zijn afkomstig van 231 meren en plassen verspreid over geheel Nederland en bestrijken de periode 1980 tot en met 1996.

Totaal opgelost P is gelijkgesteld aan $\text{PO}_4\text{-P}$ en hiervan wordt aangenomen dat deze de fractie vertegenwoordigt die voor algen opneembaar is. Totaal opgelost N, beschouwd als de fractie voor algen opneembaar N, is berekend als de som van $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{NO}_2\text{-N}$. Door sommige beheerders zijn $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{NO}_2\text{-N}$ apart opgegeven, door andere als som ($\text{NO}_x\text{-N}$). Totaal-N wordt veelal niet als zodanig gemeten, maar kan berekend worden als de som van Kjeldahl-N, $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{NO}_2\text{-N}$. Opgeloste organische nutriënten worden niet als zodanig gemeten, maar kunnen wel een bijdrage leveren aan de nutriëntenbeschikbaarheid voor algen.

Voor de kwantitatieve analyse van de limitatie van algen door opgeloste nutriënten op landelijk niveau is gebruik gemaakt van de individuele monsters. Voor het verkrijgen van een beeld van nutriëntenlimitatie per meer zijn alleen die meer-jaren (combinaties van een specifiek meer en een bepaald jaar) gebruikt, waarvan ten minste negen metingen van zowel $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NO}_x\text{-N}$ beschikbaar waren. Dit betrof 1475 meer-jaren afkomstig van 194 meren en plassen. Een overzicht hiervan is gegeven in bijlage I.

De bij de analyses gehanteerde detectielimieten voor opgeloste nutriënten varieerden per beheerder en soms ook in de tijd of tussen locaties bij een bepaalde beheerder. Dit legt beperkingen op ten aanzien van het stellen van een kritische concentratie waar beneden een nutriënt als beperkend kan worden beschouwd. De maximale detectielimiet van de in bijlage I gegeven meer-jaren bedroeg voor $\text{PO}_4\text{-P}$ 0,05 mg P/l. Voor totaal opgelost N, als som van $\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NO}_x\text{-N}$, was dit 0,25 mg N/l. Deze concentraties zijn hoog ten opzichte van in de literatuur vermelde waarden voor de halfwaarde

verzadigingsconcentratie - de concentratie waarbij de groeisnelheid de helft is van de maximale groeisnelheid. De ranges die hiervoor gegeven worden zijn 0,002 - 0,060 mg P/l en 0,025 - 0,150 mg N/l (Jørgensen *et al.*, 1991). Meijer & De Boois (1998) gebruikten 0,01 mg P/l en 0,1 mg N/l als grenswaarden om limitatie door nutriënten aan te geven, maar hebben meer-jaren waarbij de detectielimiet hoger ligt dan deze waarden niet beschouwd. Er zijn echter geen duidelijke criteria op grond waarvan op statistisch verantwoorde wijze gegevens uit de dataset verwijderd kunnen worden om het probleem van deze te hoge detectielimieten te kunnen omzeilen.

Voor de analyse van limitatie van de algenbiomassa door zoöplankton graas zijn data beschikbaar van 196 meer-jaren afkomstig van 43 meren. Van 155 van deze 196 meer-jaren zijn tevens gegevens van de fytoplanktensamenstelling beschikbaar. Op grond van deze fytoplanktensamenstelling is onderscheid gemaakt tussen meer-jaren met dominantie van draadvormige blauwalgen (>30% op basis van aantallen gedurende het zomerhalfjaar) en overige meer-jaren (Portielje & Van der Molen, 1998). Het aantal meer-jaren met dominantie van *Microcystis* (3), *Aphanizomenon* (5) of *Anabaena* (1) was te klein om als aparte groep te onderscheiden in statistische analyses. De potentiële graasdruk door zoöplankton is enkel gebaseerd op gegevens van *Daphnia*. Verondersteld is dat deze de belangrijkste grazer is. De graasdruk wordt berekend als de biomassa zoöplankton per biomassa fytoplankton (mg C zoöplankton/mg C fytoplankton) vermenigvuldigd met de maximale filtreersnelheid van algen door zoöplankton (Schriver *et al.*, 1995). Van *Daphnia* wordt verondersteld dat deze per dag zijn eigen gewicht kan consumeren (1 mg C fytoplankton per mg C zoöplankton per dag). Dit maximum wordt bereikt indien naast fytoplankton geen andere voedselbronnen benut worden. Daar geen gegevens van algenbiomassa beschikbaar waren, is gebruik gemaakt van chlorofyl-a als maat voor de algenbiomassa, waarbij met een constante omrekeningsfactor van chlorofyl-a naar koolstof is gewerkt. Dit is uiteraard alleen bij benadering juist, daar het chlorofyl-a gehalte van cellen kan variëren onder natuurlijke variaties in bijvoorbeeld lichtbeschikbaarheid.

De relaties tussen de graasdruk en de chlorofyl-a/nutriënten verhouding zijn onderzocht, daar deze iets zeggen of graas de hoeveelheid chlorofyl-a die aanwezig is of kan zijn bij een bepaalde nutriëntenconcentratie beïnvloedt. Een verlaging van deze verhoudingen duidt op top-down limitatie van de algenbiomassa.

3. Werkwijze

3.1 Kwantitatieve analyse op basis van opgeloste nutriënten

Op grond van de gehanteerde detectielimieten zijn kritische concentraties voor opgeloste nutriënten, waar beneden limitatie van algengroei wordt verondersteld, vastgesteld op 0,05 mg PO₄-P/l en 0,25 mg N/l. Er is geanalyseerd in welke fractie van de monsters in de zomerperiode (april t/m september) de concentratie lager was dan genoemde kritische waarden. Hiervan is het verloop in de tijd over de periode 1980-1996 geanalyseerd. Tevens is gekeken naar het verloop binnen een jaarcyclus van de fractie monsters waar de kritische concentraties onderschreden worden. Alleen monsters waarin zowel opgelost P als opgelost N gemeten is, zijn gebruikt.

3.2 Kwalitatieve analyse op basis van opgeloste nutriënten

Doordat bovengenoemde kwantitatieve benadering wordt beperkt door de hoge kritische concentraties is ook een kwalitatieve benadering gevolgd. De meetreeksen van opgeloste nutriënten worden geïnspecteerd op typische patronen die indicatief zijn voor het optreden van nutriëntenlimitatie. Daarnaast worden uitspraken gedaan over regionale verschillen.

De patronen in meetreeksen zijn de resultante van de externe aanvoer en interne productie van opgeloste nutriënten enerzijds, en processen die een verbruik van opgeloste nutriënten veroorzaken anderzijds. Deze typische patronen zijn voor te stellen met een eenvoudig model dat het verloop van de concentraties van opgeloste nutriënten in de waterkolom beschrijft:

$$\frac{dC_{\text{ope}}}{dt} = -PP + \sum \text{bron}$$

met C_{ope} de concentratie van het opgeloste nutriënt en PP de voor primaire productie benodigde hoeveelheid nutriënten. In de term $\sum \text{bron}$ zijn alle overige processen die verantwoordelijk zijn voor de productie van een nutriënt opgenomen, zoals respiratie, mineralisatie, externe aanvoer en nalevering door het sediment. Deze nalevering kan ook negatief zijn indien er sprake is van een flux die naar het sediment toe is gericht. Het is niet mogelijk uit gemeten concentratiereeksen de bijdrage van individuele processen onafhankelijk te schatten. De parameters die deze processen bepalen verschillen van meer tot meer en binnen een meer in de tijd, en zijn bij parameterschattingen dikwijls sterk gecorreleerd.

Uit de waargenomen patronen kan echter wel informatie afgeleid worden. Wanneer gedurende een bepaalde periode geldt dat $dC_{\text{ope}}/dt > 0$, dan is de aanvoer van het nutriënt naar de opgeloste pool dus groter dan het verbruik. Dit impliceert dat dit nutriënt gedurende die periode niet limiterend is, immers het verbruik ten behoeve van primaire productie houdt de snelheid van aanvoer niet bij. Is gedurende dezelfde periode de concentratie van het andere nutriënt constant ($dC_{\text{ope}}/dt = 0$) en zeer laag, dan duidt dit er dus op dat het tweede nutriënt limiterend is. De vraag naar het eerste nutriënt voor aanmaak van biomassa wordt bepaald door de beschikbaarheid van het tweede en de stoichiometrische verhouding tussen beide.

Aan de hand van gemeten concentratieverlopen van opgeloste nutriënten gedurende een jaarcyclus kunnen dus op kwalitatieve wijze aanwijzingen verkregen worden waar (in welke meren) en wanneer limitatie door N of P is opgetreden. Hiertoe is de volgende klasse-indeling gehanteerd:

- klasse 1: nooit of zeer zelden limitatie door N of P
- klasse 2: regelmatig limitatie door N of P (bijna jaarlijks gedurende korte periode)
- klasse 3: jaarlijks langdurig of permanent limitatie door N of P

Beperkingen van de gebruikte chemische analysemethoden spelen een rol bij de analyse van de data. De gehanteerde kritische concentraties kunnen niet gebaseerd worden op de fysiologie van algen, maar worden opgelegd door de gehanteerde detectielimieten in de gebruikte analysemethoden.

In geval een systeem voor zowel N als P in klasse 3 ingedeeld wordt, is het op basis van opgeloste concentraties niet mogelijk onderscheid te maken tussen N- of P-limitatie. Dit kan mede veroorzaakt worden door de gehanteerde kritische concentraties op basis van de (te hoge) toegepaste detectielimieten. In deze gevallen kan de totaal-N : totaal-P ratio aanvullende informatie geven. Ook hier is het nodig een arbitraire grens aan te geven waaronder N en waarboven P als limiterend beschouwd wordt. Redfield (1958) gaat uit van een N:P ratio van 16:1 op molaire basis (= 7:1 op gewichtsbasis). Klapwijk (1988) geeft een ruime marge waarbinnen geen duidelijk onderscheid te maken is. Hij stelt dat waarden van de totaal-N : totaal-P ratio groter dan 30:1 (= 13,5:1 op gewichtsbasis) veelal duiden op primair P-limitatie, terwijl waarden kleiner dan 20:1 (= 9:1 op gewichtsbasis) wijzen op primair N-limitatie. Daar tussenin is veelal geen eenduidige uitspraak te doen.

3.3 Invloed zoöplankton

Geanalyseerd wordt of er een relatie is tussen de biomassa aan zoöplankton (*Daphnia*) en de aanwezige hoeveelheid chlorofyl-a. Daarnaast wordt een analyse uitgevoerd naar de potentiële

graasdruk door *Daphnia* in relatie tot de samenstelling van de algengemeenschap. Tenslotte wordt aan de hand van distributiefuncties van de chlorofyl-a : totaal-N en chlorofyl-a : totaal-P ratio voor drie verschillende klassen van de potentiële graasdruk de relatie tussen chlorofyl-a en de totale nutriënten concentraties onderzocht.

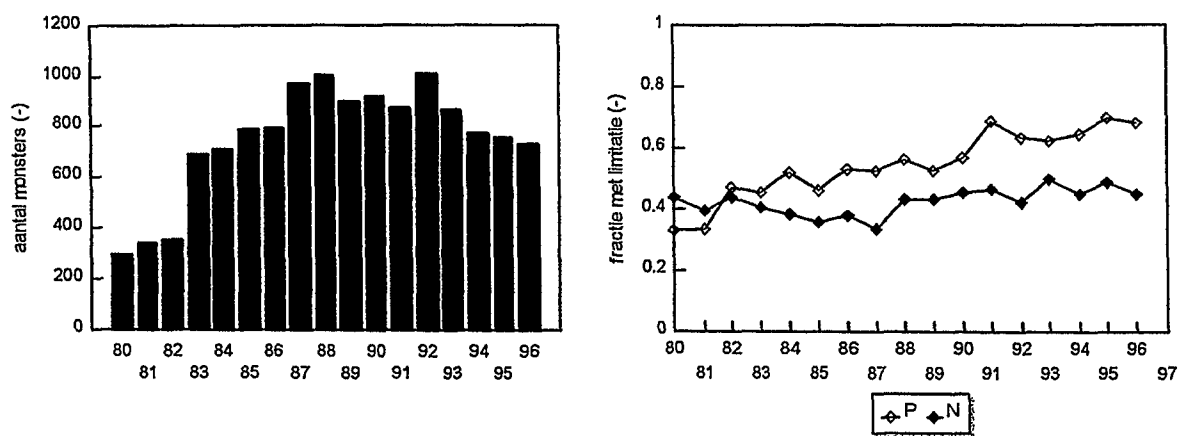
Van de 164 meer-jaren waarvan gegevens van zowel graasdruk als fytoplanktensamenstelling beschikbaar waren werd in 33 meer-jaren dominantie van draadvormige blauwalgen vastgesteld, in drie dominantie van *Microcystis*, in vijf dominantie van *Aphanizomenon* en in één dominantie van *Anabaena*. In 122 meer-jaren trad geen dominantie van blauwalgen op. Op basis van de frequentiedistributie van de potentiële graasdruk in deze 122 meer-jaren is de set opgedeeld in klassen van de potentiële graasdruk die ongeveer gelijke aantallen meer-jaren bevatten. Dit leverde klassen met een zomergemiddelde graasdruk van respectievelijk $<0,05$, $0,05 - 0,20$ en $> 0,20 \text{ dag}^{-1}$.

4. Resultaten

4.1 Kwantitatieve analyse op basis van opgeloste nutriënten

4.1.1. Landelijk beeld

Het totaal aantal beschikbare watermonsters gedurende het zomerhalfjaar (april t/m september) is toegenomen ten opzichte van 1980, al is er een daling zichtbaar in de jaren '90 (figuur 1, links). In 1980 was de fractie van de monsters met $N_{\text{opg}} < 0,25 \text{ mg/l}$ nog hoger dan de fractie met $P_{\text{opg}} < 0,05 \text{ mg/l}$. In de periode 1980-1996 is de fractie monsters met $P_{\text{opg}} < 0,05 \text{ mg/l}$ vrijwel lineair toegenomen van 33% in 1980 tot 69% in 1996. De fractie met $N_{\text{opg}} < 0,25 \text{ mg/l}$ daarentegen is vrijwel constant gebleven (figuur 1, rechts). Deze verlopen corresponderen met de bevindingen van Portielje & Van der Molen (1997) dat de totaal-P concentraties gedurende deze periode sterker zijn afgenomen dan die van totaal-N.

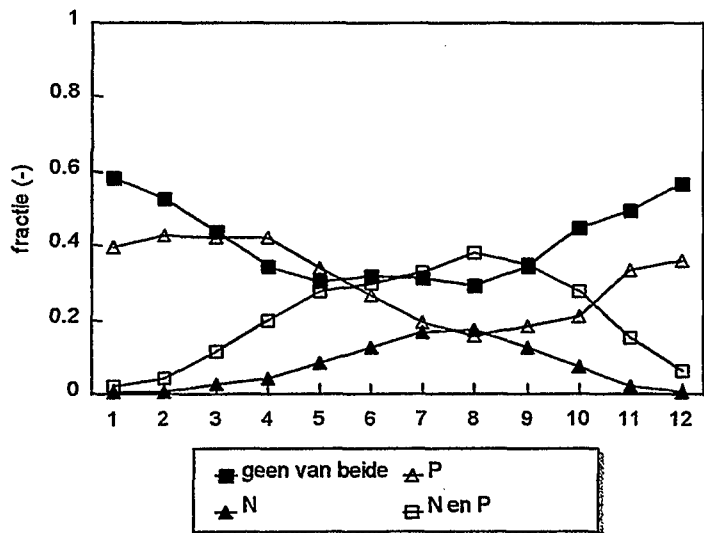


Figuur 1. Aantal monsters per zomer met informatie over opgelost N en P (links) en het verloop in de tijd van de fractie monsters met concentraties $P_{\text{opg}} < 0,05 \text{ mg/l}$ en $N_{\text{opg}} < 0,25 \text{ mg/l}$ gedurende het zomerhalfjaar (rechts).

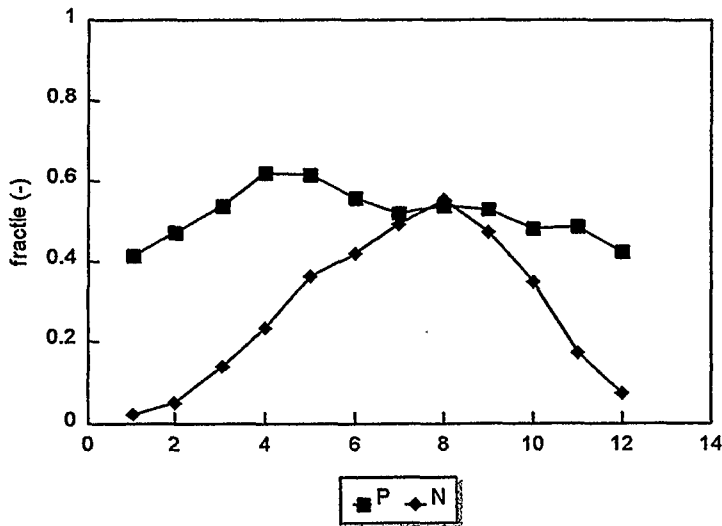
4.2.2. Jaarcyclus

Binnen een jaarcyclus is de fractie van de monsters waarvan de concentraties van zowel opgelost N als opgelost P boven de kritische waarden liggen, en beide dus niet limiterend zijn, gedurende de

zomerperiode circa 30% is en in de winter bijna 60% (figuur 2, boven). De fractie monsters waar alleen opgelost N beneden de kritische waarde is, is vrijwel nihil gedurende de winter en maximaal ongeveer 20% gedurende de zomer. De fractie waarvan alleen P beneden de kritische concentratie is, is daarentegen juist het kleinst in de nazomer (minimaal circa 20%) en het hoogst in het vroege voorjaar (circa 40%). De fractie waarin zowel N als P beneden de kritische concentratie zijn neemt toe van net boven 0% in de winter tot circa 40% in de zomer. De totale fractie met $P_{\text{opg}} < 0,05 \text{ mg/l}$ is relatief constant ten opzichte van de totale fractie met $N_{\text{opg}} < 0,25 \text{ mg/l}$ (figuur 2, onder). Gedurende de periode januari - april neemt deze toe van circa 40% tot ruim 60%, waarna ze weer geleidelijke afneemt. Voor stikstof is het beeld geheel anders, met een maximum in de fractie onderschrijdingen van rond 50% gedurende de periode juli - september, en minder dan 10% in de winter. Dit laatste wordt voornamelijk veroorzaakt door de pieken in de $\text{NO}_3\text{-N}$ concentratie die gedurende de winter optreden.



Figuur 2. Boven: fracties van monsters met zowel P- als N-limitatie, wel P- maar geen N-limitatie, wel N- maar geen P-limitatie en zowel N- als P-limitatie. Onder: fracties van monsters met P-limitatie en met N-limitatie. Limitatie is vastgesteld op basis van overschrijding van $P_{\text{opg}} < 0,05$ en $N_{\text{opg}} < 0,25$.

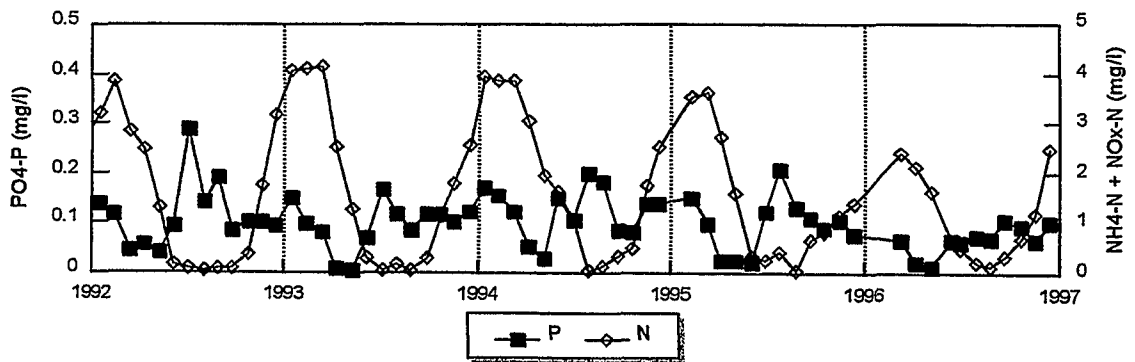


4.2 Kwalitatieve analyse op basis van opgeloste nutriënten

4.2.1 karakteristieke patronen in opgeloste concentraties

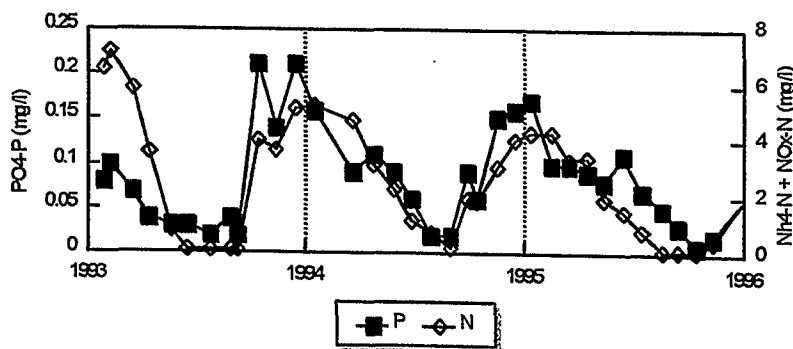
Beschouwing van het verloop van de concentraties opgeloste nutriënten binnen een jaarcyclus laat een aantal kenmerkende patronen zien. Er zijn twee uitersten: in het eerste treedt opeenvolgend en gescheiden in de tijd limitatie van P en N op (figuur 3), in het tweede is er een synchroon verloop van beide concentraties (figuur 4).

Als voorbeeld voor het eerste dient het Gooimeer. Hier bereikt de concentratie opgelost P een minimum in het voorjaar, terwijl die van opgelost N pas later afneemt (figuur 3). Een voorbeeld van vermoedelijk P-limitatie in het voorjaar, gevolgd door N-limitatie gedurende de zomer. Tijdens de zomerperiode neemt de concentratie opgelost P aanvankelijk toe zolang die van opgelost N laag is. Een verhoging van opgelost N tegen het einde van de zomer, hetgeen aangeeft dat de N-limitatie van algengroei opgeheven wordt, resulteert tegelijkertijd in een afname van opgelost P. De behoefte aan P voor algengroei is weer toegenomen door de afgenomen N-limitatie. Dit verschijnsel zorgt er soms voor dat gedurende een jaarcyclus twee pieken in de opgelost P concentratie optreden, een winterpiek die zal samenhangen met de externe belasting, en een zomerpiek die (mogelijkerwijs) veroorzaakt wordt door nalevering vanuit het sediment en een gereduceerde opname door primaire producenten van P ten gevolge van N-limitatie. De N-piek treedt altijd op gedurende de winter en het vroege voorjaar, en bestaat voornamelijk uit nitraat.



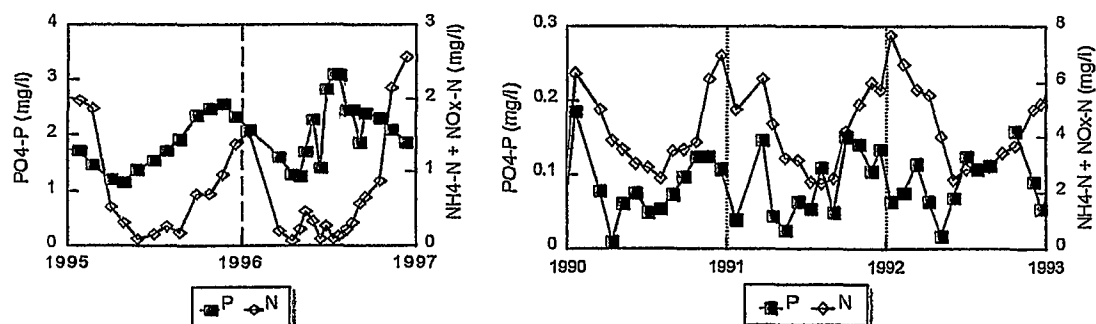
Figuur 3. Verloop van concentraties opgelost P en opgelost N in het Gooimeer gedurende de periode 1992 tot en met 1996.

Indien limitatie niet duidelijk veroorzaakt wordt door één van beide nutriënten zal er weinig verschil zijn in het verloop gedurende een jaarcyclus van opgelost P en opgelost N, met name in de tijdstippen waarop de pieken en dalen optreden. Deze vallen dan nagenoeg samen. Als voorbeeld hiervoor dient de Wijde Ee (figuur 4). Indien de opgeloste concentraties van zowel N als P laag zijn is het niet mogelijk één van beide als limiterende factor aan te wijzen op grond van opgeloste concentraties alleen.



Figuur 4. Verloop van concentraties opgelost P en opgelost N in de Wijde Ee (Friesland) gedurende de periode 1993 tot en met 1995.

De meeste meren vertonen een verloop dat tussen deze twee uitersten in ligt. Ook is het mogelijk dat één van beide nutriënten weliswaar een jaarcyclus vertoont, maar dat de concentraties nimmer dermate laag worden dat deze limiterend kunnen zijn. Voor een aantal meren is dit het geval met betrekking tot P, met name in kleine plassen in het westen van het land (figuur 5, links). In meren die direct door de grote rivieren beïnvloed worden (Ketelmeer, Haringvliet, Volkerak-Zoommeer, Maasplassen) blijft de opgelost N concentratie gedurende het gehele jaar hoog (figuur 5, rechts).

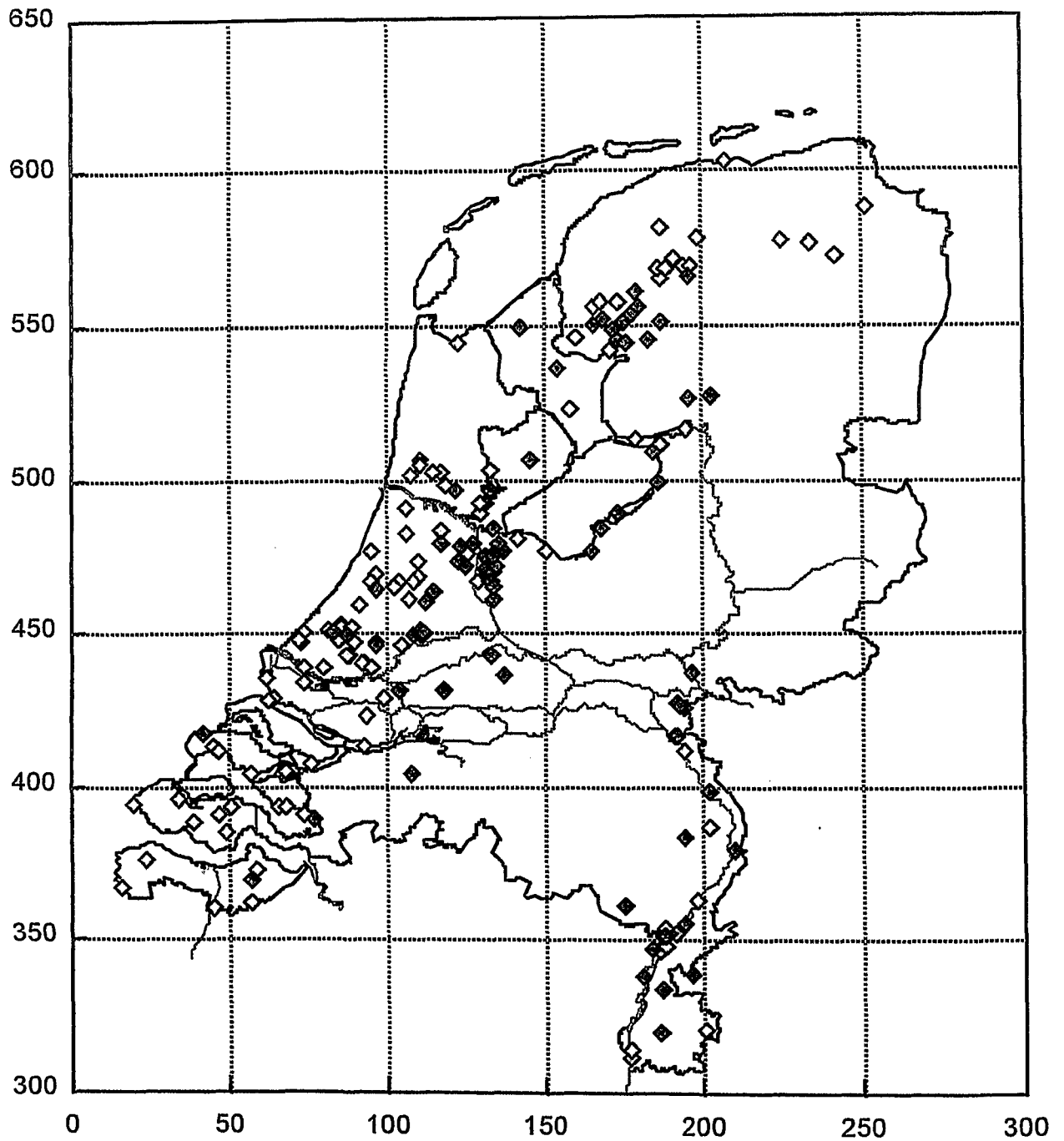


Figuur 5. Voorbeelden van systemen met alleen N-limitatie (Ouwkerksekreek, links) of alleen P-limitatie (Ketelmeer, rechts).

4.2.2. geografische spreiding nutriëntenlimitatie

Een overzicht van de indeling van meren in drie klassen met betrekking tot de frequentie van overschrijding van de gehanteerde kritische concentraties van opgelost P en opgelost N volgens paragraaf 3.2, is gegeven in bijlage II. Uit deze indeling blijkt dat er een duidelijke relatie is met de geografische ligging (figuur 6 en 7). In veel systemen in de kustgebieden is P-limitatie afwezig, terwijl in overige regio's (het veenplassengebied van West-Nederland, de oostelijke Veluwerandmeren, een deel van Friesland, Limburgse Maasplassen) veelvuldig P-limitatie optreedt. N-limitatie treedt veelvuldig op in Friesland, Veluwerandmeren, het veenplassengebied van West-Nederland, maar in tegenstelling tot P ook in delen van Rijnland en in Noord-Holland. In de Maasplassen treedt N-limitatie vrijwel niet op. Onder invloed van de Maas zijn de $\text{NO}_3\text{-N}$ gehalten hier gedurende het gehele jaar zeer hoog.

Met betrekking tot nutriëntenlimitatie is een clustering van meren en plassen op basis van geografische ligging mogelijk (figuur 8). Wanneer gekeken wordt naar het relatieve voorkomen van N- of P-limitatie blijkt dat alléén N-limitatie voornamelijk voorkomt in de boezemmeren van het beheersgebied van het hoogheemraadschap van Rijnland en Uitwaterende Sluizen, alsmede in enkele systemen in Zeeland. Alléén P-limitatie beperkt zich tot de Maasplassen en enkele geïsoleerde systemen. Geen limitatie treedt voornamelijk op in nabij de kust gelegen systemen in Zeeland en Zuid-Holland, alsmede enkele systemen in Limburg. Zowel N- als P-limitatie treedt op in het veenplassengebied van West-Nederland, een deel van Friesland, de Veluwerandmeren en Noordwest-Overijssel. Hier zijn de opgeloste concentraties van zowel N als P langdurig of permanent onder de gestelde kritische concentraties.

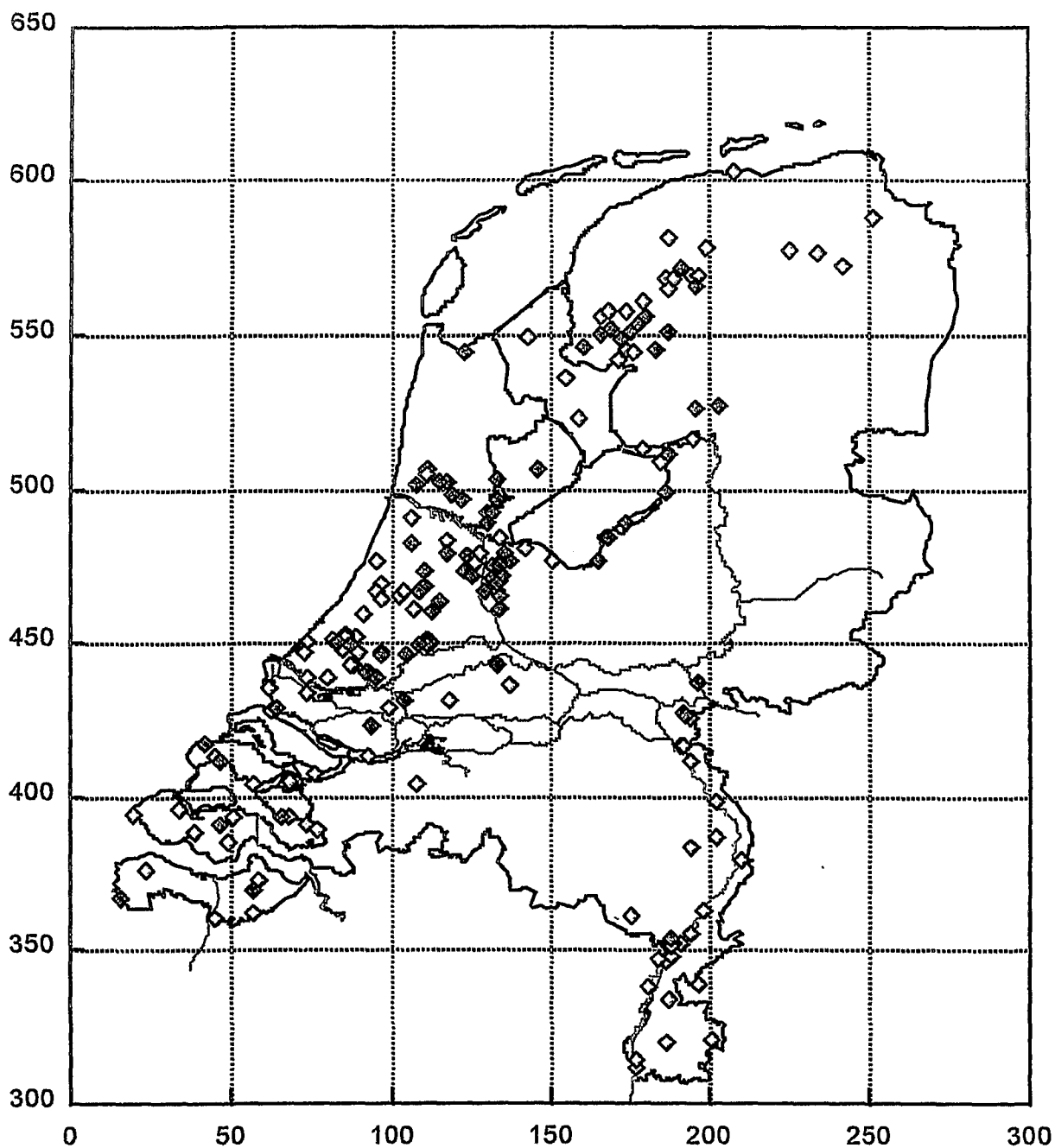


Figuur 6. Geografische spreiding van systemen ingedeeld in klassen met betrekking tot de frequentie van overschrijding van kritische opgeloste concentraties van 0,05 mg P/l.

klasse 1 (◇): nooit of zeer zelden limitatie door P

klasse 2 (□): regelmatig limitatie door P (bijna jaarlijks gedurende korte periode)

klasse 3 (◆): jaarlijks langdurig of permanent limitatie door P

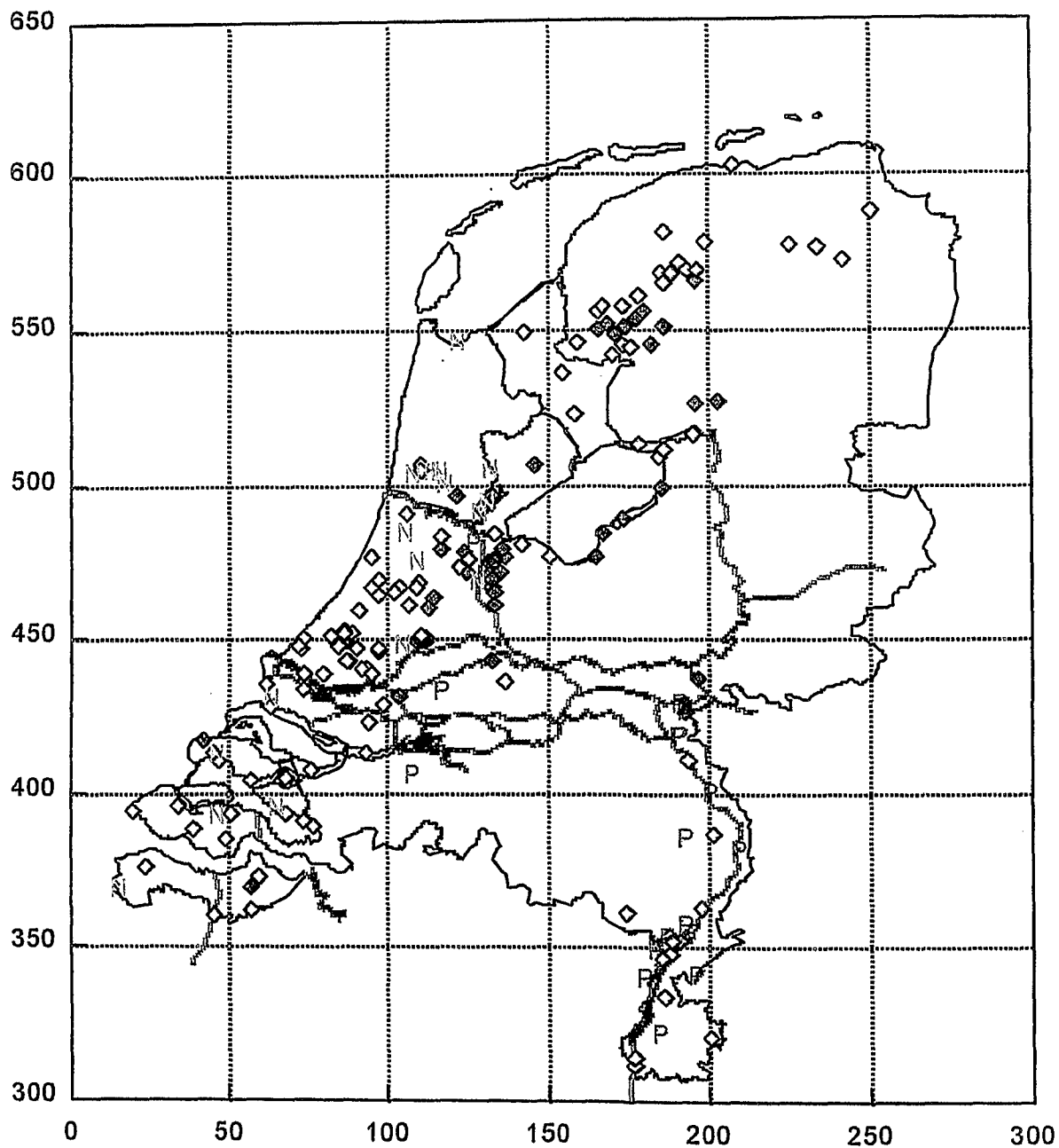


Figuur 7. Geografische spreiding van systemen ingedeeld in klassen met betrekking tot de frequentie van overschrijding van kritische opgeloste concentraties van 0,25 mg N/l.

klasse 1 (◇): nooit of zeer zelden limitatie door N

klasse 2 (○): regelmatig limitatie door N (bijna jaarlijks gedurende korte periode)

klasse 3 (◆): jaarlijks langdurig of permanent limitatie door N



Figuur 8. Geografische spreiding van systemen met alléén P-limitatie (P, P klasse 3, N klasse 1), alléén N-limitatie (N, N klasse 3, P klasse 1), N- en P-limitatie (♦, N klasse 3, P klasse 3), geen van beide (○, N klasse 1, P klasse 1) of onregelmatig (◻, N of P klasse 2).

klasse 1: nooit of zeer zelden limitatie door N of P

klasse 2: regelmatig limitatie door N of P (bijna jaarlijks gedurende korte periode)

klasse 3: jaarlijks langdurig of permanent limitatie door N of P

4.2.3. verhouding totaal-N : totaal-P

Voor de systemen met zowel N- als P-limitatie kan de N:P ratio aanvullende informatie geven. De N:P ratio varieert gedurende een jaarcyclus, met in het algemeen hogere waarden in de winterperiode door de aanvoer van water dat rijk is aan $\text{NO}_3\text{-N}$. Tabel 1 geeft de spreiding van de N:P ratio in die systemen die op basis van opgeloste concentraties voor zowel N als P klasse 3 (langdurig of permanente limitatie) scoren. Dezelfde gegevens voor de overige meren zijn vermeld in bijlage III. Uit tabel 1 blijkt dat de mediane N:P ratio van de monsters met zowel $\text{P}_{\text{opg}} \leq 0,05 \text{ mg/l}$ als $\text{N}_{\text{opg}} \leq 0,25 \text{ mg/l}$ in alle systemen aanzienlijk hoger is dan de 7:1 gewichtsverhouding die uit de Redfield ratio volgt. Dit duidt erop dat er in deze systemen tijdens perioden waarin de concentraties opgeloste nutriënten laag zijn waarschijnlijk veelvuldiger P-limitatie optreedt dan N-limitatie.

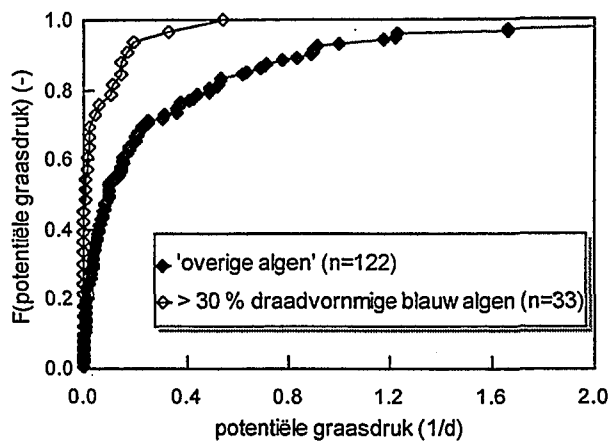
Tabel 1. De mediane totaal-N : totaal-P ratio in monsters met zowel $\text{P}_{\text{opg}} \leq 0,05 \text{ mg/l}$ als $\text{N}_{\text{opg}} \leq 0,25 \text{ mg/l}$ voor meren met langdurig of permanente N- en P-limitatie (beide klasse 3). n geeft het totaal aantal monsters met zowel $\text{P}_{\text{opg}} \leq 0,05 \text{ mg/l}$ als $\text{N}_{\text{opg}} \leq 0,25 \text{ mg/l}$ en % het percentage hiervan ten opzichte van het totaal aantal monsters. De nummers van de meren in kolom 1 en 6 refereren naar de nummering in bijlage II van Portielje & Van der Molen (1998).

	mediane N/P ratio	n	%			mediane N/P ratio	n	%
11 Slotmeer	20.4	68	56	87	Kortenhoef	15.7	87	63
12 Langweerderwielen	17.2	44	44	88	Loosdrecht	27.7	102	65
13 Koevordermeer	17.1	38	38	90	Naardermeer Wijde Blik	15.3	68	60
19 Tjeukemeer	18.3	48	45	91	Naardermeer Grote Meer	20.0	61	52
23 Veluwemeer	15.8	169	42	92	Breukeleveen	26.8	69	82
30 Wolderwijd	15.2	155	67	94	Hollands Ankeveen	22.0	78	58
31 Nuldernauw	12.0	78	48	95	Stichts Ankeveen	25.0	86	62
32 Drontermeer	13.1	162	42	97	Ouderkerkerplas	29.7	46	39
36 Markermeer	15.3	74	42	100	Wijde Blik	16.0	30	37
38 Amstelveense Poel	15.6	113	54	123	Galgje	16.1	53	45
47 Nieuwkoop Noord	31.2	150	72	124	Zeeltje	13.7	61	51
48 Nieuwkoop Zuid	16.1	109	52	131	Vroonplas	20.0	20	28
50 Reeuwijk Elfhoeven	13.5	348	81	153	IJzeren Man	14.7	26	38
51 Klein Vogelenzang	12.5	109	60	173	Nanneveld	15.8	55	80
52 Nieuwenbroek	28.9	292	69	187	Duinigermeer	23.7	33	43
53 's Gravenkoop	19.1	136	68	191	Gouwzee	13.9	13	62
60 Groot Vogelenzang	17.6	77	71	197	Wijlerbergmeer	18.1	8	40
65 Twiske Den Ijp	13.3	27	49	198	De Waaij	13.6	16	40
79 Bovenwijde	19.2	11	46	203	Helsdingen	18.3	19	54
84 Botshol Grote Wijde	31.8	134	67	224	Luntershoek	12.3	9	38
85 Botshol Kleine Wijde	29.3	83	46	231	Zavelveld	17.5	13	48
86 Het Hol	20.0	69	70					

4.3 Invloed zoöplankton

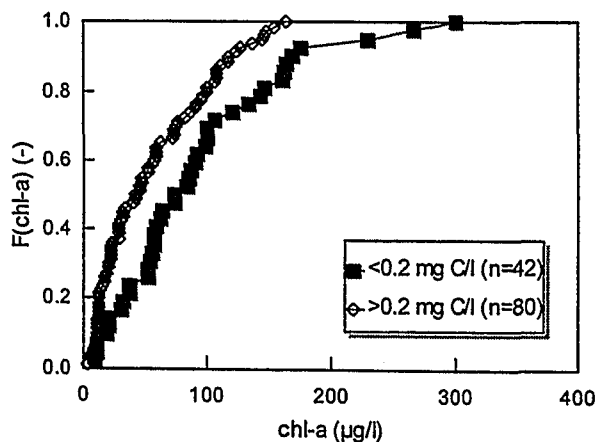
Op basis van de gegevens kan niet worden vastgesteld of zoöplankton de algenbiomassa- en samenstelling bepaalt of omgekeerd. Van draadvormige blauwalgen is wel bekend dat ze relatief

blauwalgen (>30% op basis van aantallen gedurende het zomerhalfjaar) is de potentiële graasdruk lager dan in 122 meer-jaren zonder deze dominantie, met voornamelijk groenalgen (figuur 9). Uit figuur 9 kan bijvoorbeeld afgelezen worden dat van de meer-jaren met dominantie van draadvormige blauwalgen meer dan 80% een graasdruk kleiner dan $0,2 \text{ d}^{-1}$ heeft. In de overige meer-jaren is dat circa 60%. Bij dominantie van draadvormige blauwalgen komen ook hogere waarden van zowel de chlorofyl-a : totaal-P als de chlorofyl-a : totaal-N ratio voor (Portielje & Van der Molen, 1998). Daar bij dominantie van draadvormige blauwalgen de graasdruk laag blijft, zijn de 33 meer-jaren waar dit opgetreden is in de volgende analyse niet beschouwd. Er is dus aangenomen dat in deze meer-jaren graas geen invloed heeft op de algenbiomassa.



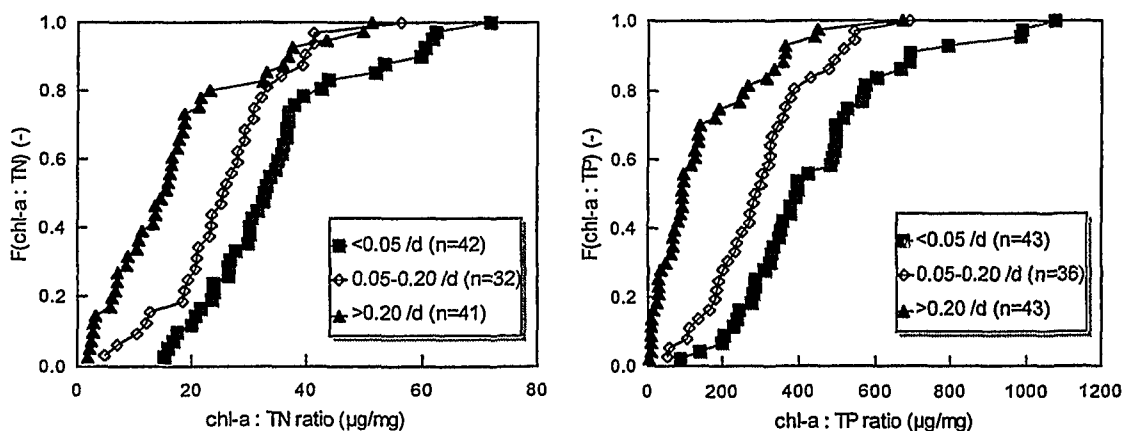
Figuur 9. Distributiefuncties van de potentiële graasdruk door zoöplankton in relatie tot de fytoplankton samenstelling (met of zonder dominantie van draadvormige blauwalgen).

Er is een aantoonbaar verband tussen de biomassa van het zoöplankton en de zomergemiddelde chlorofyl-a concentratie. De distributiefuncties van meer-jaren met een zomergemiddelde zoöplankton biomassa concentratie van respectievelijk $< 0,2 \text{ mg C/l}$ en $> 0,2 \text{ mg C/l}$ verschillen significant van elkaar, met lagere chlorofyl-a gehalten bij hogere zoöplankton biomassa (figuur 10).



Figuur 10. Distributies van zomergemiddelde chlorofyl-a concentraties voor een tweetal klassen van de zomergemiddelde zoöplankton biomassa in meer-jaren zonder dominantie van draadvormige blauwalgen.

Wanneer de overige 122 meer-jaren, waarin geen dominantie van draadvormige blauwalgen is opgetreden, opgesplitst worden in drie klassen voor de potentiële graasdruk ($< 0,05$, $0,05-0,20$ en $> 0,20 \text{ d}^{-1}$), blijkt dat bij toenemende graasdruk de zomergemiddelde ratio's chlorofyl-a : totaal-P en chlorofyl-a : totaal-N afnemen (figuur 11). Bij toenemende graasdruk is bij een bepaalde nutriëntenconcentratie dus minder chlorofyl-a aanwezig in de waterkolom. Dit duidt op een top-down limitatie van de algen biomassa door zoöplankton die reeds aantoonbaar is bij lage waarden van de potentiële graasdruk.



Figuur 11. Distributies van zomergemiddelde ratio's van chlorofyl-a : totaal-N (links) en chlorofyl-a : totaal-P (rechts) voor een drietal klassen van de potentiële graasdruk in meer-jaren zonder dominantie van draadvormige blauwalgen.

Echter, de beschikbare gegevens van zoöplankton zijn voor een groot deel afkomstig van meren waar herstelmaatregelen in de vorm van visstandsbeheer zijn uitgevoerd, en het zoöplankton is dus een handje geholpen door uitdunning van de planktivore en benthivore visstand. Hierdoor is de set niet representatief voor de gemiddelde situatie in Nederland wat betreft de invloed van graas door zoöplankton op limitatie van algenbiomassa (er zijn relatief veel meer-jaren met hoge graasdruk). De invloed van graas is echter wel aantoonbaar.

Er is geen verband gevonden tussen de graasdruk door zoöplankton en het optreden van nutriëntenlimitatie op basis van de concentraties opgeloste nutriënten.

5. Discussie

De vraag of nutriëntenlimitatie optreedt en welk nutriënt dan limiterend is voor de primaire productie van een ecosysteem leeft reeds lang onder waterbeheerders, maar is dikwijls niet goed te beantwoorden omdat een adequate maatstaf ontbreekt. Voor de mogelijkheden tot bestrijding van ongewenste algenbloei is het voor waterkwaliteitsbeheerders echter van belang hierin inzicht te hebben, zodat te nemen maatregelen met betrekking tot reductie van de beschikbaarheid van nutriënten of maatregelen gericht op een ingrepen in het voedselweb hierop afgestemd kunnen worden.

detectielimiet opgeloste nutriënten

Analyse van langjarige monitoringsgegevens, zoals in dit onderzoek toegepast, biedt de mogelijkheid het verloop in de tijd, zowel over de jaren als binnen een jaarcyclus, te analyseren. Voorwaarde hiervoor is echter wel dat de bij de analyse gehanteerde detectielimieten aanzienlijk lager zijn dan de halfwaarde concentraties voor opname door algen. Door Cembella *et al.* (1984) wordt voor die laatste een range gegeven van 0,003 - 0,006 mg PO₄-P/l. Jörgensen *et al.* (1991) geven een range van 0,002 - 0,060 mg P/l; De detectielimiet bij de analyses zal dus ten hoogste 0,001 mg PO₄-P/l mogen bedragen. Deze detectielimiet werd in de beschikbare meetgegevens slechts in een zeer beperkt aantal systemen gehanteerd. Voor opgelost N geven Goldman & Glibert (1983) voor zowel NH₄-N als NO_x-N ranges voor de halfwaardeconcentratie van 0,007 - 0,014 mg N/l. Deze range is aanzienlijk lager dan die door Jørgensen *et al.* (1991) wordt gegeven (0,025 - 0,150 mg N/l als som van beide). Hoewel gevoelige analysemethoden in staat zijn detectielimieten te bereiken die een factor tien lager liggen, worden deze bij de monitoring programma's veelal niet gehanteerd. Een detectielimiet van 0,01 mg NH₄-N/l en 0,01 mg NO_x-N/l, zoals door sommige beheerders al reeds gehanteerd, lijkt toereikend om uitspraken te kunnen doen met betrekking tot de N-limitatie van algen.

0,01 mg NH₄-N/l en 0,01 mg NO_x-N/l, zoals door sommige beheerders al reeds gehanteerd, lijkt toereikend om uitspraken te kunnen doen met betrekking tot de N-limitatie van algen.

nutriëntenlimitatie

Voor het kunnen inschatten van limitatie door nutriënten is het belangrijk inzicht te verkrijgen in welk deel van de totale hoeveelheid in een systeem aanwezige nutriënten direct beschikbaar is voor primaire producenten, of dit gemakkelijk kan worden. Een groot deel van de totaal-N concentratie in de waterkolom bestaat uit particulier organisch N (= Kjeldahl-N - NH₄-N). In hoeverre de particuliere fractie van het Kjeldahl-N potentieel beschikbaar is voor algen is niet goed kwantificeerbaar. Organische stof bestaat uit een breed spectrum aan verbindingen met grote verschillen in afbreekbaarheid. Vers gevormde detritus bestaat voor een relatief groot deel uit gemakkelijk afbreekbaar materiaal, waarvan de geassocieerde nutriënten weer gemakkelijk beschikbaar kunnen komen. Er bestaat echter geen geschikte methode om reversibel gebonden N (of P) in de waterkolom te onderscheiden van nutriënten die zijn ingebouwd in de biomassa van levende algen of in refractair organisch materiaal. Hierdoor kan de beschikbaarheid van nutriënten op basis van opgeloste concentraties NH₄-N en NO_x-N alleen onderschat worden. De beschikbaarheid van opgeloste organische nutriënten (DON) kan binnen een seizoen variëren. Bronk *et al.* (1998) vonden dat in Chesapeake Bay in het voorjaar voornamelijk autotrofe productie plaatsvindt, waarin allochtoon aangevoerd anorganisch stikstof als bron dient, terwijl later in het groeiseizoen het autochtoon geproduceerde DON als stikstofbron voor heterotrofe productie aangewend wordt. In hoeverre dit verschijnsel in zoetwatersystemen ook een rol speelt is echter niet duidelijk. Voor P geldt eveneens dat de opgeloste pool een onderschatting van het beschikbaar P kan geven (zie Boström (1988) voor een overzicht van methoden om beschikbaar P te meten). Overschatting van de beschikbaarheid van opgeloste nutriënten is ook mogelijk, namelijk wanneer het opgelost reactief P voor een aanzienlijk deel in hoogmoleculaire verbindingen aanwezig is (Boström, 1988).

Ratio's tussen chlorofyl-a en nutriënten, of tussen nutriënten onderling worden ook dikwijls gebruikt om een indicatie te krijgen welk nutriënt beperkend is. Van nature kunnen ruime variaties voorkomen in de interne ratio's chlorofyl-a : P en chlorofyl-a : N, zowel tussen fytoplankton soorten onderling als in de tijd binnen een soort. Hierdoor levert een variatie in deze ratio's binnen een groeiseizoen veelal geen betrouwbare informatie omtrent het limiterend zijn of worden van een nutriënt.

Algen zijn in staat in hun cellen meer P op te slaan dan direct benodigd is voor groei (luxury-uptake). Deze reserves maken het mogelijk dat de pool van opgelost P uitgeput is geraakt, maar dat er intern toch voldoende P aanwezig is om gedurende het groeiseizoen in de behoeften van algen te kunnen voorzien. Dit resulteert in een overschatting van P-limitatie op basis van concentraties opgeloste nutriënten (maar ook van potentieel beschikbare nutriënten) in de waterkolom alleen. Dit pleit voor een methodiek waarbij rekening wordt gehouden met de interne condities met betrekking tot de beschikbaarheid van nutriënten voor algen.

Het vermogen van een aantal planktonische algen om (tijdelijk) als benthische alg voor te komen heeft het voordeel dat zo tijdens perioden van nutriëntenlimitatie in de waterkolom, nutriënten die vrijkomen aan het sediment-water grensvlak optimaal benut kunnen worden. Er kan dan een schijnbare limitatie zijn op basis van opgeloste concentraties in de waterkolom, terwijl de beschikbaarheid nabij het sediment wel voldoende is. Dit geldt in gestratificeerde systemen ook voor algen die op de spronglaag stratificeren (bijvoorbeeld *Planktothrix rubescens*), of voor blauwalgen die pendelen tussen epilimnion en hypolimnion. Dit resulteert in relatief hoge totaal concentraties van nutriënten ten opzichte van de opgeloste fracties.

In systemen die sterk beïnvloed worden door de grote rivieren treedt niet of nauwelijks N-limitatie op. In met name de Maasplassen, het Ketelmeer, Hollands Diep, Haringvliet, Volkerak en Zoommeer is er weliswaar een jaarlijkse fluctuatie in de totale opgelost N concentratie, maar deze bereikt tijdens het groeiseizoen nooit waarden die voldoende laag zijn om N-limitatie te kunnen doen optreden. Verhoging van de retentie van stikstof in het stroomgebied van grote rivieren door maatregelen ter bevordering van denitrificatie kunnen dus een bijdrage leveren aan de bestrijding van eutrofiëring in de rivierdelta's.

overige methoden om nutriëntenlimitatie te detecteren

Analyse van concentratieverlopen van nutriënten kunnen alleen een indicatie geven van nutriëntenlimitatie op het niveau van de gehele fytoplankton-bacterie gemeenschap. Verschillende soorten hebben echter een verschillende affiniteit voor de opname van nutriënten. De mate van limitatie kan dus op een bepaald tijdstip verschillen van soort tot soort, en binnen de populatie van een soort van individu tot individu. Behalve via *in situ* metingen van concentraties opgeloste nutriënten en N:P ratio's zijn in de loop der jaren een aantal methodieken ontwikkeld die er op gericht zijn N- of P-limitatie bij algen experimenteel vast te stellen. De methodieken kunnen onderverdeeld worden in bioassays, technieken gebaseerd op een fysiologische respons van algen op nutriëntenstress en moleculaire technieken. Op basis van een kort literatuuronderzoek worden de belangrijkste technieken kort beschreven in bijlage IV.

Alle behandelde methoden kennen één of meer van onderstaande beperkingen. Ze zijn specifiek voor een beperkt aantal soorten, relatief arbeidsintensief of vereisen hoogwaardige technische apparatuur, gaan uit van gemanipuleerd medium of zijn nog in ontwikkeling. Om uitspraken te kunnen doen op landelijk niveau en voor een groot aantal watersystemen en met betrekking tot gehele algengemeenschappen, lijken deze vooralsnog niet erg geschikt.

blauwalgen

Portielje & Van der Molen (1998) vonden dat in systemen met dominantie van draadvormige cyanobacteriën de zomergemiddelde concentraties van opgeloste nutriënten significant lager zijn dan bij afwezigheid van deze dominantie. Draadvormige blauwalgen hebben een competitief voordeel ten opzichte van overige algensoorten door hun vermogen de opgeloste nutriëntenpool sterk te kunnen uitputten, waardoor strikt planktonische algen onderdrukt worden. Dit is mogelijk een indirect effect, doordat blauwalgen minder snel last hebben van lichtlimitatie, en daardoor langer door kunnen groeien dan overige algen. Voorts hebben blauwalgen het vermogen alternatief in de waterkolom en op het sediment voor te komen. In systemen gedomineerd door draadvormige blauwalgen kunnen zeer hoge chlorofyl-a : P en chlorofyl-a : N ratio's bereikt worden. Dit verklaart mede waarom de dominantie van draadvormige blauwalgen in het veenplassengebied van West-Nederland zo moeilijk te doorbreken is, ondanks de lage nutriëntenconcentraties.

zoöplankton

Een invloed van graas door zoöplankton op de algenbiomassa bij afwezigheid van dominantie van draadvormige blauwalgen is aantoonbaar. Bij een hogere potentiële graasdruk zijn de chlorofyl-a : totaal-P en de chlorofyl-a : totaal-N ratio's lager. Een verband tussen graas door zoöplankton en het optreden van N- of P-limitatie kon echter niet aangetoond worden. In de literatuur worden echter aanwijzingen gevonden dat graas door zoöplankton en limitatie door N of P niet onafhankelijk van elkaar zijn. Na regeneratie van uitscheidingsproducten van zoöplankton komen nutriënten weer beschikbaar voor het fytoplankton. Het effect van de voedselkringloop van zoöplankton op de beschikbaarheid van nutriënten hangt ook af van de N:P ratio's in het voedsel van het zoöplankton en die in het zoöplankton zelf. Hessen (1990) geeft voor verschillende soorten *Daphnia* een redelijk vaste gewichtsverhouding N: drooggewicht ($8,8 \pm 2,0$ %) en P:drooggewicht ($1,44 \pm 0,21$ %), ofwel een N : P ratio van 6,1. Dit is in het algemeen lager dan de totaal-N : totaal-P ratio. Overtollig N wordt dan versneld geregenereerd (Glibert, 1998), hetzij als direct voor fytoplankton opneembaar excretieproduct, hetzij als particulier N ingebouwd in faecale pellets (Elser *et al.*, 1988). Het netto effect op nutriëntenlimitatie hangt echter af van de verhouding tussen beide. Veel direct opneembaar N in de excretieproducten van zoöplankton verhoogt de beschikbare N:P ratio. Faecale pellets kunnen echter sedimenteren, en de bestanddelen komen hooguit vertraagd weer beschikbaar komen voor primaire producenten. Dit heeft een verlaging van de totaal-N : totaal-P ratio in de waterkolom tot gevolg, en kan een verschuiving van P-limitatie naar N-limitatie tot gevolg hebben. Overgangen van P-limitatie naar N-limitatie van algengroei en vice versa geïnduceerd door zoöplankton kunnen

optreden indien beide nutriënten in (bijna) limiterende hoeveelheden aanwezig zijn (Elser *et al.*, 1988).

6. Conclusies

- De bij de analyses gehanteerde detectielimieten voor zowel $\text{PO}_4\text{-P}$ als de opgeloste N fracties $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ en $\text{NH}_4\text{-N}$ zijn hoog ten opzichte van in de literatuur vermelde waarden voor de halfwaardeconcentraties met betrekking tot limitatie van algengroei door nutriënten. Dit legt beperkingen op aan het vaststellen van nutriëntenlimitatie op basis van monitoring gegevens van opgeloste nutriënten.
- Gedurende de periode 1980 tot en met 1996 is er op landelijk niveau een gelijkmatige stijging van ruim 30% naar circa 70% opgetreden in de fractie van de tijdens de zomer genomen monsters waarin de opgelost P concentratie kleiner dan 0,05 mg P/l was; voor totaal opgelost N is de fractie met een concentratie kleiner dan 0,25 mg N/l vrijwel gelijk gebleven, variërend tussen 40% en 50%.
- P-limitatie is gelijkmatig verdeeld over het gehele jaar, met iets hogere frequenties gedurende het voorjaar. N-limitatie beperkt zich voornamelijk tot de zomer en het najaar.
- Het optreden van nutriëntenlimitatie verschilt sterk regionaal en daarbinnen per watertype:
 - In het veenplassengebied van West-Nederland (Loosdrecht, Reeuwijk, Nieuwkoop, Naardermeer etc.), alsmede de oostelijke Veluwerandmeren en een aantal meren in Friesland en Noordwest-Overijssel treedt zowel N- als P-limitatie op. Op basis van N:P ratio's tijdens perioden waarin opgelost P en opgelost N beide laag zijn, lijkt echter in deze systemen vaker P-limitatie op te treden.
 - Exclusief P-limitatie treedt voornamelijk op in de Maasplassen. Exclusief N-limitatie treedt voornamelijk op in Noord-Holland en het noordelijk deel van Zuid-Holland, alsmede in enkele plassen in Zeeland.
 - Geen nutriëntenlimitatie treedt voornamelijk op in nabij de kust gelegen meren en plassen in Zeeland en Zuid-Holland, alsmede enkele meren in Limburg.
- Visuele beoordeling van het jaarlijks verloop van gemeten concentraties van opgeloste nutriënten biedt een goede mogelijkheid het optreden van nutriëntenlimitatie binnen een jaarcyclus in te schatten. Een tweetal typische patronen kan als uitersten worden onderscheiden:
 - Synchron verloop: de pieken en dalen in opgelost P en opgelost N concentraties treden op dezelfde tijdstippen op.
 - Asynchron verloop: een minimum in de concentratie opgelost P treedt op in het voorjaar. Die van opgelost N bereikt pas later dermate lage waarden dat N limiterend kan zijn. Nadat opgelost N laag is geworden loopt de concentratie opgelost P weer op doordat de productie door nalevering of externe aanvoer groter is dan de door N-limitatie laag geworden behoefte aan P voor primaire productie. Vaak neemt opgelost P in het late najaar weer af tegelijk met een toename van opgelost N. Doordat de N-limitatie wordt opgeheven neemt de behoefte aan P weer toe. In de winter treedt er gelijktijdig een piek op in opgelost N en opgelost P. Het optreden van dit fenomeen is gedurende de beschouwde periode 1980-1996 geleidelijk afgenomen, waarschijnlijk door de inspanningen met betrekking tot reductie van de P-belasting en de hierdoor veroorzaakte geleidelijke afname van de P-pool in de sediment top laag.
- Graas door zoöplankton verlaagt de maximale chlorofyl-a : totaal-P en chlorofyl-a : totaal-N ratio's. Een verband tussen graas door zoöplankton en het optreden van hetzij N- hetzij P-limitatie op

basis van opgeloste concentraties kon niet worden aangetoond. Bij dominantie door draadvormige blauwalgen is de graasdruk zeer laag.

7. Aanbevelingen

1. Het meten van opgeloste nutriënten vanuit de ecologische doelstelling om limitatie voor algen aan te tonen is niet zinvol bij de gangbare detectielimieten van de meeste waterbeheerders. Om in de toekomst gebruik te kunnen maken van monitoring gegevens voor het inschatten van de rol van nutriënten als groei limiterende factoren voor algen, is het aan te bevelen analysemethoden toe te passen met detectielimieten van maximaal 0,001 mg/l voor PO₄-P en 0,01 mg/l voor zowel NO_x-N (de som van nitraat en nitriet) als NH₄-N.
2. Indien kosten een beperking vormen voor de realisatie van bovengenoemde aanbeveling kan nog worden overwogen om in te leveren in de temporele of ruimtelijke resolutie van het meetnet. Met betrekking tot de ruimtelijke resolutie kan als argument worden aangevoerd dat de N- of P-limitatie, zoals deze in deze studie op basis van opgeloste concentraties is gevonden, een sterk regionaal karakter heeft.
3. Experimentele technieken om nutriëntenlimitatie vast te stellen op basis van moleculaire technieken of fysiologische indicatoren dienen verder onderzocht te worden voor zoetwater fytoplankton en verbeterd te worden wat betreft praktische uitvoerbaarheid, alvorens deze op grote schaal toepasbaar zijn.

8. Literatuur

- Bronk, D.A., P.M. Gilbert, T.C. Malone, S. Banahan & E. Sahlsten (1998). Inorganic and organic nitrogen cycling in Chesapeake Bay: autotrophic versus heterotrophic processes and relationships to carbon flux. *Aq. Microb. Ecol.* **15**, 177-189.
- Boström, B., G. Persson & B. Broberg (1988). Bioavailability of different phosphorus forms in freshwater systems. *Hydrobiologia* **170**, 133-155.
- Carrick, H.J., C.L. Schelske, F.J. Aldridge & M.F. Coveney (1993). Assessment of phytoplankton nutrient limitation in productive waters: application of dilution bioassays. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **50**, 2208-2221.
- Cembella, A. D., N. J. Antia & P. J. Harrison (1984). The utilization of inorganic and organic phosphorus compounds as nutrients by eukaryotic microalgae: A multidisciplinary perspective: Part 1. *CRC Crit. Rev. Microbiol.* **10**, 317-391.
- Dodds, W. K., E. A. Strauss and R. Lehmann (1993). Nutrient dilution and removal bioassays to estimate phytoplankton response to nutrient control. *Arch. Hydrobiol.* **128**, 467-481.
- Elser, J.J., M.M. Elser, N.A. MacKay & S.R. Carpenter (1988). Zooplankton-mediated transitions between N- and P-limited growth. *Limnol. & Oceanogr.* **33**, 1-14.
- Flynn, K. J., D. M. J. Dickson & O. A. Al-Amoudi (1989). The ratio of glutamine:glutamate in microalgae: A biomarker for N-status suitable for use at natural cell densities. *J. Plankton Res.* **11**, 165-70.
- Glibert, P.M. (1998). Interactions of top-down and bottom-up control in planktonic nitrogen cycling. *Hydrobiol.* **363**, 1-12.

- Healey, F. P. & L. L. Hendzel (1979). Fluorometric measurement of alkaline phosphatase activity in algae. *Freshwat. Biol.* **9**, 429-439.
- Hessen, D.O. (1990). Carbon, nitrogen and phosphorus status in *Daphnia* at varying food conditions. *J. of Plankton Res.* **12**, 1239-1249.
- Jamet, D., C. Amblard & J. Devaux (1997). Seasonal changes in alkaline phosphatase activity of bacteria and microalgae in Lake Pavin (Massif Central, France). *Hydrobiol.* **347**, 185-195.
- Jørgensen, S.E., S.N. Nielsen & L.A. Jørgensen (1991). *Handbook of ecological parameters and ecotoxicology*. Elsevier, 1263 pp.
- Klapwijk, S.P. (1988). Eutrophication of surface waters in the Dutch polder landscape. Dissertation Technical University Delft. ISBN 9072381025. 227 pp.
- La Roche, J., R.J. Geider, L.M. Graziano, H. Murray & K. Lewis (1993). Induction of specific proteins in eukaryotic algae grown under iron-, phosphorus-, or nitrogen-deficient conditions. *J. Phycol.* **29**, 767-777.
- MacKay, N.A. & J.J. Elser (1998). Nutrient recycling by *Daphnia* reduces N₂ fixation by cyanobacteria. *Limnol. Oceanogr.* **43**, 347-354.
- Morris, I., C. M. Yentsch & C. S. Yentsch (1971). The physiological state with respect to nitrogen of phytoplankton from low-nutrient subtropical water as measured by the effect of ammonium ion on dark carbon dioxide fixation. *Limnol. Oceanogr.* **16**, 859-868.
- Portielje, R. & D.T. Van der Molen (1998). *Relaties tussen eutrofiëringsvariabelen en systeemkenmerken van de Nederlandse meren en plassen*. ISBN 9036951585. RIZA-rapport 98.007.
- Redfield, A.C. (1958). The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.* **46**, 205-222.
- Riegman, R. & L.R. Mur (1986). Phytoplankton growth and phosphate uptake (for P-limitation) by natural phytoplankton populations from the Loosdrecht lakakes (The Netherlands). *Limnol. Oceanogr.* **31**, 983-988.
- Sakshaug, E., E. Granéli, M. Elbrächter & H. Kayser (1984). Chemical composition and alkaline phosphatase activity of nutrient- saturated and P-deficient cells of four marine dinoflagellates. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **77**: 241-254.
- Scanlan, D.J., N.H. Mann & N. G. Carr (1993). The response of the picoplanktonic marine cyanobacterium *Synechococcus* species WH7803 to phosphate starvation involves a protein homologous to the periplasmic phosphate-binding protein of *Escherichia coli*. *Mol. Microbiol.* **10**, 181-191.
- Scanlan, D.J., N.J. Silman, K.M. Donald, W.H. Wilson, N.G. Carr, I. Joint & N.H. Mann (1997). An immunological approach to detect phosphate stress in populations and single cells of photosynthetic picoplankton. *Appl. Environm. Microbiol.* **63**, 2411-2420.
- Schriver, P., J. Bogestrand, E. Jeppesen & M. Søndergaard (1995). Impact of submerged macrophytes on fish-zooplankton-phytoplankton interactions: large-scale enclosure experiments in a shallow eutrophic lake. *Freshw. Biol.* **33**, 255-270.
- Smith, V. (1983). Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science* **221**, 669-671.
- Van der Molen, D.T., R. Portielje & S.P. Klapwijk (1998). *Vierde Eutrofiëringsenquête van de Nederlandse meren en plassen*. H₂O **31**, 16-22.
- Zevenboom, W., A. Bij de Vaate & L.R. Mur (1982). Assessment of factors limiting growth rate of *Oscillatoria agardhii* in hypertrophic Lake Wolderwijd, 1978, by use of physiological indicators. *Limnol. Oceanogr.* **27**, 39-52.

Bijlage I (vervolg)

	n	jaar																
		80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
196 Natuurbad Wijde Wormer	2											x			x			
197 Wijlerbergmeer	2															x	x	
198 De Waaij	3															x	x	x
199 Vuntus	3				x	x	x											
200 Dobbeplas	4										x	x		x	x			
201 Surfplas Wilhelmina	4									x	x	x		x				
203 Helsdingen	3				x	x	x											
204 Hollands Diep	3								x	x				x				
205 Kattendijks Wiel	3				x	x	x											
206 Lammetjeswiel	3				x	x	x											
207 Put van Ottoland	3				x	x	x											
208 Boezem 1	1																	x
209 Boezem 2	1												x					
210 Flauwersinlaag	1																x	
212 Goese Meer	3															x	x	x
215 Sloekreek	3										x				x			x
217 Terluchtse Weel	1															x		
218 Veerse Kreek	1													x				
219 Weeversinlaag	2																x	x
220 Westkapelsekreek	1														x			
221 Boschkreek	1																	x
222 Canisvliet	1															x		
223 Kromme Stierskreek	1															x		
224 Luntershoek	2																x	x
225 Nieuwkerkse Kreek	2															x	x	
226 Vogelkreek	1																x	
227 De Kuil	3														x	x	x	
228 Blankevoort	5										x	x	x	x	x			
230 Kasteelse Bossen	6									x	x	x	x	x	x			
231 Zavelveld	1										x							

Bijlage II. Klasse-indeling per meer.

		P	N			P	N
1	Bergumermeer	2	2	45	Geerplas	2	3
2	Zandmeer	2	3	46	Mooie Nel	1	1
3	Pikmeer	2	2	47	Nieuwkoop Noord	3	3
4	Sitebuurster Ee	2	2	48	Nieuwkoop zuid	3	3
5	Wijde Ee	2	2	49	Nieuwe Meer	1	1
6	Oudegaaster Ee	2	2	50	Reeuwijk Elfhoeven	3	3
7	Sneekermeer	3	2	51	Klein Vogelenzang	3	3
8	Lauwersmeer	1	2	52	Nieuwenbroek	3	3
9	Smalle Eesterzanding	2	2	53	's Gravenkoop	3	3
10	Sondelereien	2	2	54	Vlietlanden	1	1
11	Slotermeer	3	3	55	Westeinderplassen	1	3
12	Langweerderwielen	3	3	56	Wijde Aa	1	1
13	Koeverdmeer	3	3	57	Oosterduinmeer	1	2
14	Heegermeer	3	2	58	Voorhof zandwinput	3	2
15	Fluessen	3	2	59	Zegerplas	1	1
16	Morra	2	3	60	Groot Vogelenzang	3	3
17	Brandermeer	3	2	61	Uitdammer Die	1	3
18	Grote Brekken	3	2	62	Alkmaardermeer	1	2
19	Tjeukemeer	3	3	63	Uitgeestermeer	1	2
20	Boornbergumer Petten	3	2	64	Amstelmeer	1	3
21	Piekemeer	2	2	65	Twiske Den Ilp	3	3
22	Grote Wielen	2	2	66	Kinselmeer	1	3
23	Veluwemeer	3	3	67	't Zwet	1	3
24	Eemmeer	1	1	68	Wormer	1	3
25	Gooimeer	1	2	70	Leekstermeer	1	2
26	IJmeer	3	2	71	Zuidlaardermeer	2	2
27	Ketelmeer	1	1	72	Schildmeer	2	1
28	Zwarte Meer	2	1	73	Paterswoldermeer	2	2
29	Vossemeer	3	2	77	Noorddiep 3	2	3
30	Wolderwijd	3	3	79	Bovenwijde	3	3
31	Nuldernauw	3	3	80	Het Meer Nijmegen	3	1
32	Drontermeer	3	3	81	Wijlmermeer	3	1
33	Vrouwzand	3	2	82	Abcoudermeer	1	2
34	IJsselmeer Noord	3	2	83	Gaasperplas	3	1
35	IJsselmeer Zuid	2	2	84	Botshol Grote Wijde	3	3
36	Markermeer	3	3	85	Botshol Kleine Wijde	3	3
37	Haringvliet Sluis	1	1	86	Het Hol	3	3
38	Amstelveense Poel	3	3	87	Kortenhoef	3	3
39	Braassemmermeer	1	1	88	Loosdrecht	3	3
40	Broekvelden-Vettenbroek	3	2	89	Maarsseveen	3	2
41	Hoofddorp zandwinput	1	3	90	Naardermeer Wijde Blik	3	3
42	Kagerplas 't Joppe	1	1	91	Naardermeer Grote Meer	3	3
43	Kagerplas Norremeer	1	1	92	Breukeleveen	3	3
44	Langeraar Noordplas	2	3	93	Spiegelplas	3	2

Bijlage II (vervolg)

		P	N			P	N
94	Hollands Ankeveen	3	3	141	Leuken	3	1
95	Stichts Ankeveen	3	3	142	Rijkelse Plas	2	1
96	Vinkeveense Plas	3	2	143	Asseltse Plas 1	3	1
97	Ouderkerkerplas	3	3	144	Asseltse Plas 2	3	1
98	Zwemlust	1	3	145	Oolerplas	3	1
100	Wijde Blik	3	3	146	Molengreend	1	1
101	Bommeer	1	1	147	Brandt	2	1
102	Oostmadeplas	1	1	148	Dilkense Plas	3	1
103	Oranjeplas	2	2	149	Schroevendaalse Plas	1	1
104	Plas van Buijsen	1	2	150	Koeweide	1	1
105	Plas van den Ende	2	1	151	WRC Eijsden 1	1	1
106	Plas Prinsenbos	1	1	152	WRC Eijsden 2	1	1
107	Plas van Reef	1	2	153	Ijzeren Man	3	3
108	Put te Werve	1	2	154	Grote Heg	2	1
109	Plas Delftsche Hout	2	1	155	Paesplas	1	1
110	Hoekje Alle Winden	1	1	156	Huiskensplas	3	1
111	Akkerdijk Voorplas	1	2	157	Craneweijs uitstroming	1	1
112	Akkerdijk Grote plas	1	2	158	Geulstrand	3	1
113	Akkerdijk Achterplas	1	2	159	Craneweijs Brug	1	1
114	Zandput Delfland	1	2	160	Venkoelen	3	1
115	Tedingerbroek	1	2	161	De Doort	3	2
116	Weegje	1	3	162	Put America	3	1
117	Bergsche Voorplas	2	3	164	Elba	3	1
118	Bergsche Achterplas	2	3	166	Botmeer	1	2
119	Kralingse Plas	2	3	173	Nannewijd	3	3
120	Rottemeren	2	3	184	Scharrewiel	3	2
123	Galgje	3	3	185	Witte/Zwarte Brekken	2	2
124	Zeeltje	3	3	187	Duinigermeer	3	3
125	Schoonrewoerdse Wiel	3	2	191	Gouwzee	3	3
126	Waalboezem	2	1	192	Fortgracht Edam	1	3
127	Binnenbedijkte Maas	2	3	193	Fortgracht Veldhuis	1	3
128	Brielse Meer	1	1	194	Holysloter Die	1	2
129	Quackjeswater	1	3	196	Natuurbad Wijde Wormer	1	3
130	Brede Water	1	2	197	Wijlerbergmeer	3	3
131	Vroonplas	3	3	198	De Waaij	3	3
132	Ouwerkerksekreek	1	1	199	Vuntus	3	3
133	Schelphoek	1	1	200	Dobbepas	3	2
134	Bruintjeskreek	1	2	201	Surfplas Wilhelmina	3	2
135	Zwaakse Weel	1	2	203	Helsdingen	3	3
136	Binnenschelde	3	2	204	Hollands Diep	1	1
137	Volkerak	2	1	205	Kattendijks Wiel	1	2
138	Zoommeer	2	1	206	Lammetjeswiel	2	3
139	Mookerplas 1	3	1	207	Put van Ottoland	3	1
140	Mookerplas 2	3	1	208	Boezem 1	1	3

Bijlage II (vervolg)

		N	P			N	P
209	Boezem 2	1	2	222	Canisvliet	2	1
210	Flauwersinlaag	1	3	223	Kromme Stierskreek	1	3
212	Goese Meer	1	2	224	Luntershoek	3	3
215	Sloekreek	1	1	225	Nieuwkerkse Kreek	1	2
217	Terluchtse Weel	1	3	226	Vogelkreek	1	2
218	Veerse Kreek	1	1	227	De Kuil	3	1
219	Weeversinlaag	1	2	228	Blankevoort	2	2
220	Westkapelsekreek	1	1	230	Kasteelse Bossen	2	1
221	Boschkreek	2	1	231	Zavelveld	2	3

Bijlage III. De mediane totaal-N : totaal-P ratio in monsters met zowel $P_{\text{opg}} \leq 0,05$ mg/l als $N_{\text{opg}} \leq 0,25$ mg/l voor meren met langdurig of permanente limitatie voor N en P (beide klasse 3). n geeft het totaal aantal monsters met zowel $P_{\text{opg}} \leq 0,05$ mg/l als $N_{\text{opg}} \leq 0,25$ mg/l en % het percentage hiervan ten opzichte van het totaal aantal monsters. De nummers van de meren in kolom 1 en 6 refereren naar de nummering in bijlage II van Portielje & Van der Molen (1998).

	mediane N/P ratio	n	%		mediane N/P ratio	n	%
1 Bergumermeer	11.4	11	11	49 Nieuwe Meer		0	0
2 Zandmeer	15.6	30	24	54 Vlietlanden		0	0
3 Pikmeer	14.4	21	21	55 Westeinderplassen	13.8	21	11
4 Sitebuurster Ee	16.9	24	24	56 Wijde Aa		0	0
5 Wijde Ee	15.3	23	23	57 Oosterduinmeer		0	0
6 Oudegaaster Ee	13.4	26	17	59 Zegerplas		0	0
7 Sneekmeer	14.3	29	29	61 Uitdammer Die	11.0	1	1
8 Lauwersmeer		0	0	62 Alkmaardermeer		0	0
9 Smalle Eesterzanding	13.2	13	13	63 Uitgeestermeer		0	0
10 Sondelereien	14.0	30	23	64 Amstelmeer	10.3	1	1
14 Heegermeer	17.7	31	31	66 Kinselmeer	9.4	1	2
15 Fluessen	16.9	32	32	67 't Zwet	9.7	6	7
16 Morra	15.5	37	24	68 Wormer	10.1	4	6
17 Brandermeer	16.4	44	35	70 Leekstermeer		0	0
18 Grote Brekken	18.6	28	22	71 Zuidlaardermeer	12.6	18	20
20 Boornbergumer Petten	23.7	23	25	72 Schildmeer		0	0
21 Piekemeer	14.5	3	3	73 Paterswoldermeer	11.3	19	24
22 Grote Wielen	13.0	10	11	77 Noorddiep 3	10.3	11	22
24 Eemmeer	5.0	1	0	80 Het Meer Nijmegen		0	0
25 Gooimeer		0	0	81 Wijlmeer		0	0
26 IJmeer	13.9	44	26	82 Abcoudermeer		0	0
27 Ketelmeer		0	0	83 Gaasperplas	72.5	2	2
28 Zwarte Meer	10.2	19	9	89 Maarsseveen	60.0	45	26
29 Vossemeer	9.5	37	23	93 Spiegelplas	21.3	41	34
33 Vrouwzand	14.8	32	12	96 Vinkeveense Plas	41.5	26	21
34 IJsselmeer Noord	16.9	6	8	98 Zwemlust	6.2	1	1
35 IJsselmeer Zuid	16.4	7	5	101 Bommeer		0	0
37 Haringvliet Sluis		0	0	102 Oostmadeplas		0	0
39 Braassemermeer		0	0	103 Oranjeplas	13.0	25	21
40 Broekvelden-Vettenbroek	26.0	27	15	104 Plas van Buijsen	15.6	4	3
41 Hoofddorp zandwinput	11.4	8	11	105 Plas van den Ende	7.8	1	1
42 Kagerplas 't Joppe		0	0	106 Plas Prinsenbos		0	0
43 Kagerplas Norremeer		0	0	107 Plas van Reef		0	0
44 Langeraar Noordplas	11.6	52	25	108 Put te Werve		0	0
45 Geerplas	12.4	52	34	109 Plas Delftsche Hout	20.4	28	16
46 Mooie Nel		0	0				

Bijlage III (vervolg).

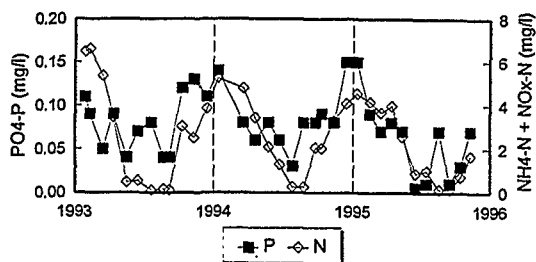
	mediane N/P ratio	n	%		mediane N/P ratio	n	%
110 Hoekje Alle Winden		0	0	155 Paesplas		0	0
111 Akkerdijk Voorplas	10.8	1	1	156 Huiskensplas	14.3	5	7
112 Akkerdijk Grote plas	11.1	1	1	157 Craneweiier uitstroming		0	0
113 Akkerdijk Achterplas		0	0	158 Geulstrand	14.3	5	7
114 Zandput Delfland		0	0	159 Craneweiier Brug		0	0
115 Tedingerbroek		0	0	160 Venkoelen	10.8	6	8
116 Weegje	9.2	1	2	161 De Doort	11.7	12	16
117 Bergsche Voorplas	9.8	4	6	162 Put America	14.4	7	11
118 Bergsche Achterplas	7.6	1	2	164 Elba	8.5	10	12
119 Kralingse Plas	11.9	11	23	166 Botmeer	14.2	2	3
120 Rottmeren	10.0	8	10	184 Scharrewiel	14.5	20	24
125 Schoonrewoerdse Wiel	13.1	18	25	185 Witte/Zwarte Brekken	17.6	13	32
126 Waalboezem	11.9	6	8	192 Fortgracht Edam		0	0
127 Binnenbedijkte Maas	11.7	20	29	193 Fortgracht Veldhuis	13.1	12	23
128 Brielse Meer		0	0	194 Holysloter Die	13.2	2	7
129 Quackjeswater	8.2	4	9	196 Natuurbad Wijde Wormer		0	0
130 Breede Water	12.9	12	27	200 Dobbepias	10.5	11	23
132 Ouwerkerkse creek		0	0	201 Surfplas Wilhelmina	9.8	13	27
133 Schelphoek		0	0	204 Hollands Diep		0	0
134 Bruintjes creek		0	0	205 Kattendijks Wiel		0	0
135 Zwaakse Weel		0	0	206 Lammetjeswiel	13.2	11	30
136 Binnenschelde	18.1	21	17	207 Put van Ottoland		0	0
137 Volkerak	10.9	1	1	208 Boezem 1		0	0
138 Zoommeer		0	0	209 Boezem 2		0	0
139 Mookerplas 1		0	0	210 Flauwersinlaag		0	0
140 Mookerplas 2		0	0	212 Goese Meer		0	0
141 Leuken		0	0	215 Sloekreek		0	0
142 Rijkelse Plas		0	0	217 Terluchtse Weel		0	0
143 Asseltse Plas 1	11.4	2	2	218 Veerse Kreek		0	0
144 Asseltse Plas 2	8.0	1	1	219 Weeversinlaag		0	0
145 Oolerplas		0	0	220 Westkapelse creek		0	0
146 Molengreend		0	0	221 Boshkreek	6.8	3	30
147 Brandt	0.8	1	1	222 Canisvliet		0	0
148 Dilkense Plas	10.0	3	3	223 Kromme Stierskreek	16.0	2	11
149 Schroevendaalse Plas		0	0	225 Nieuwerkerkse Kreek		0	0
150 Koeweide	16.0	1	1	226 Vogelkreek		0	0
151 WRC Eijsden 1		0	0	227 De Kuil		0	0
152 WRC Eijsden 2		0	0	228 Blankevoort	12.5	18	26
154 Grote Heg		0	0	230 Kasteelse Bossen		0	0

Bijlage IV. Beknopt overzicht van overige methoden om nutriëntenlimitatie te detecteren.

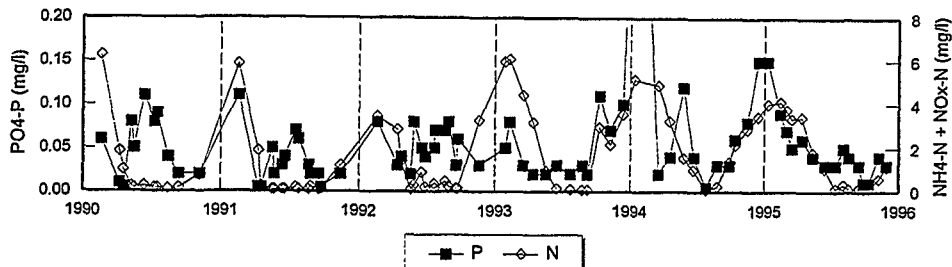
1. Bioassays met verrijking, waarbij de primaire productie onder standaard omstandigheden gemeten wordt in deelmonsters waaraan a) geen nutriënten toegevoegd zijn, b) alleen N is toegevoegd, c) alleen P is toegevoegd en d) zowel N als P is toegevoegd (Klapwijk, 1988).
2. Verdunningsbioassays; hierbij worden watermonsters verdund. Dit kan zijn met gefiltreerd meerwater, om de particuliere nutriëntenpool uit te schakelen, hetzij met een kunstmatige oplossing waarin de compositie wat betreft overige macro-ionen gelijk wordt gehouden aan die van het meerwater, maar waaraan geen nutriënten zijn toegevoegd. Deze methodiek wordt bediscussieerd in o.a. Carrick *et al.* (1993) en Dodds *et al.* (1993).
3. Meting van de initiële opnamesnelheid van nutriënten door algen (Riegman & Mur, 1986; Zevenboom *et al.*, 1982).
4. Meting van de alkaline fosfatase activiteit als indicator voor P-limitatie (Sakshaug *et al.*, 1984; Jamet *et al.*, 1997; Healey & Hendzel, 1979).
5. Moleculaire technieken. Om inzicht te kunnen verkrijgen in de variatie in limitatie binnen een algengemeenschap zijn recentelijk moleculaire technieken ontwikkeld die het mogelijk maken per cel nutriëntenlimitatie vast te stellen. Het principe van de moleculaire techniek is gebaseerd op het feit dat bij nutriëntenlimitatie specifieke proteïnen op de celwand gelokaliseerde eiwitten geïnduceerd worden die in staat zijn met zeer hoge affiniteit het limiterende nutriënt te binden en over de membraan de cel in te transporteren. Bij aanwezigheid van voldoende nutriënten worden deze proteïnen niet aangemaakt. La Roche *et al.* (1993) vonden m.b.v. ¹⁴C een inductie van specifieke eiwitten in een marine diatomee en groenalg onder limitatie door P, N of Fe. Deze bleken veelal met de celmembraan geassocieerd te zijn. Met behulp van immunofluorescentie van antilichamen is het eveneens mogelijk de proteïnen zichtbaar te maken, en dus per cel vast te stellen of limitatie door het betreffende nutriënt optreedt (Scanlan *et al.*, 1993; 1997). Het principe is toegepast op de marine cyanobacterien *Synechococcus* en *Prochlorococcus*. De algemene toepasbaarheid, ook op fytoplankton van zoete wateren, dient verder onderzocht te worden. De eiwitten die verantwoordelijk zijn voor het hoge-affiniteits transport systeem kunnen verschillen per soort, en derhalve kan dus ook de procedure benodigd om deze eiwitten zichtbaar te kunnen maken (immunofluorescentie, gel electroforese) verschillen. Optimalisatie van deze procedure verdient daarom aandacht. Hiervoor is echter nader onderzoek nodig.
6. Overigen: CO₂ opname in donker in relatie tot beschikbaarheid van ammonium (Morris *et al.*, 1971). De verhouding tussen glutamine en glutamaat als indicator voor de N-status van algen (Flynn *et al.*, 1989).

Bijlage V Opgeloste concentraties P (PO₄-P) en N (NH₄-N + NO_x-N)

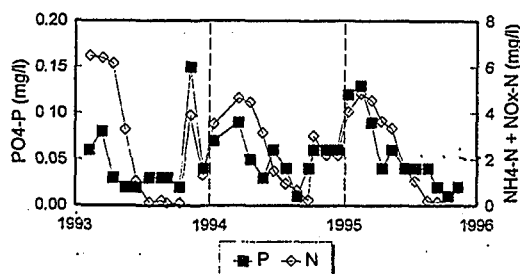
1 Bergumermeer



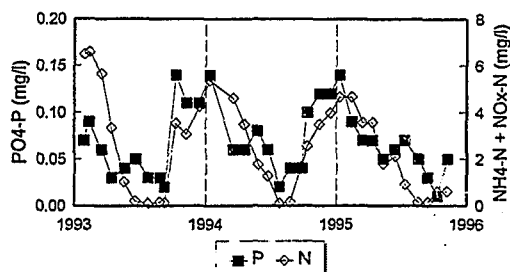
2 Zandmeer



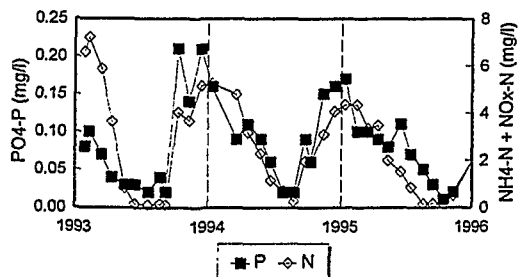
3 Pikmeer



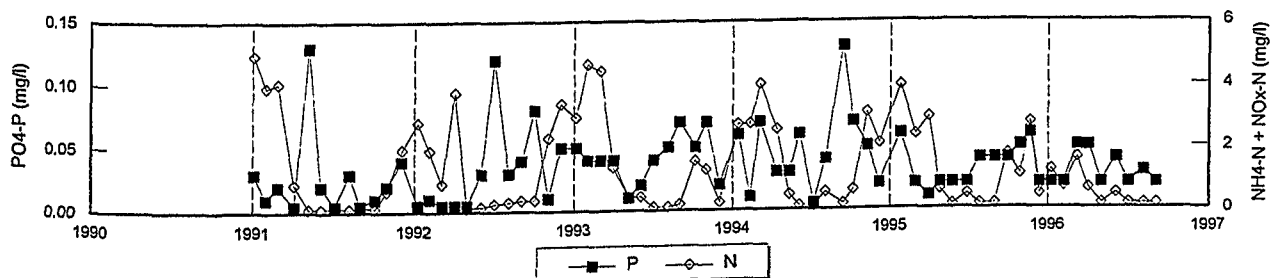
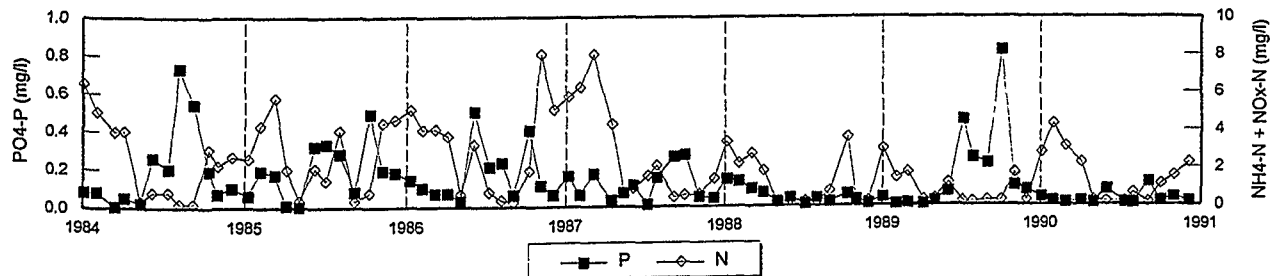
4 Sitebuurster Ee



5 Wijde Ee

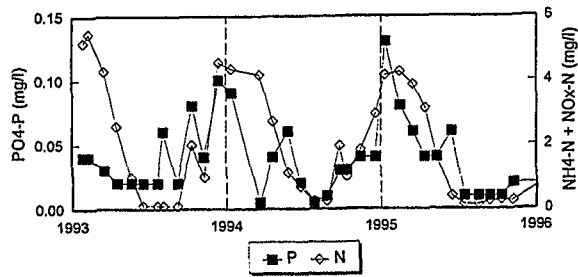


6 Oudegaaster Ee

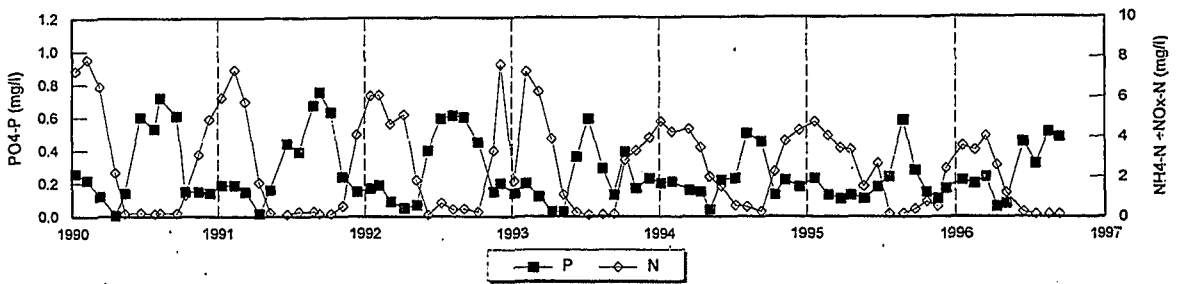
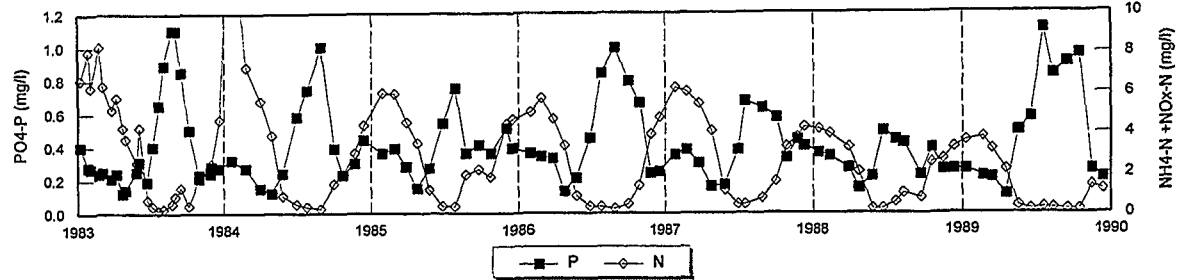


Bijlage V (vervolg)

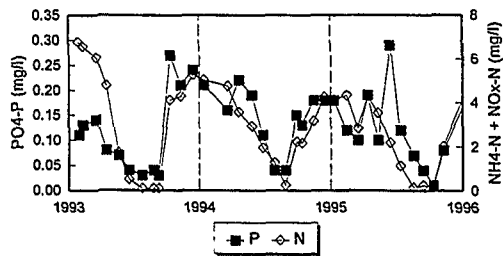
7 Sneekmeer



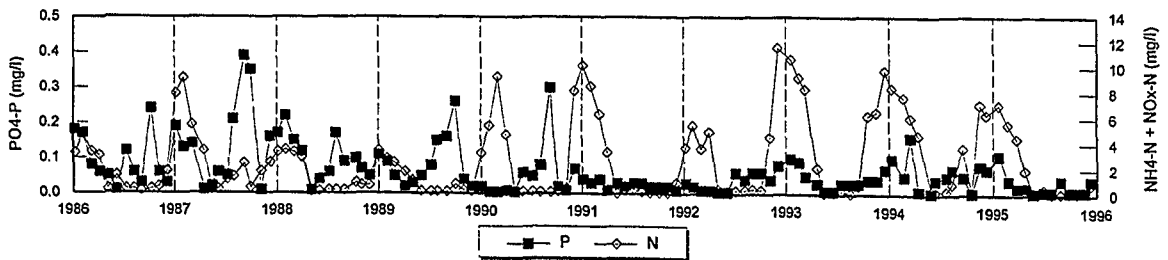
8 Lauwersmeer



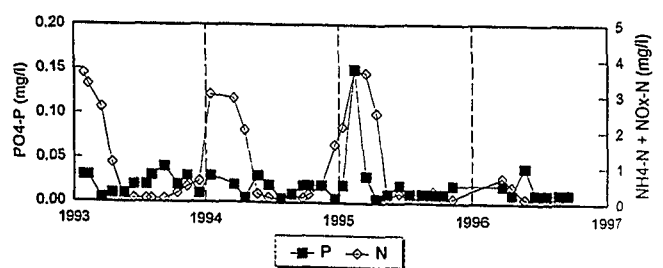
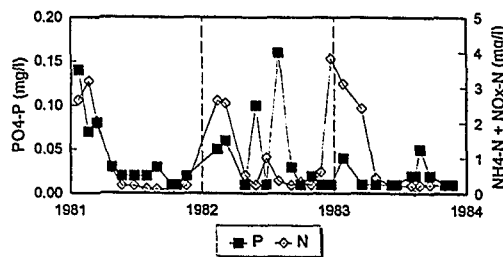
9 Smalle Eesterzanding



10 Sondelereien

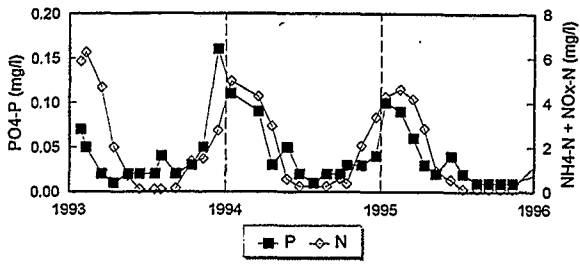


11 Slotemeer

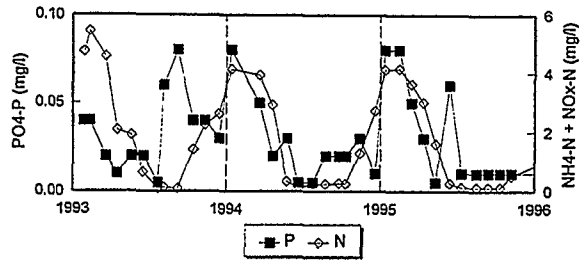


Bijlage V (vervolg)

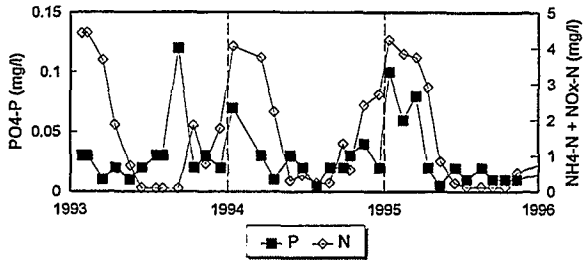
12 Langweerderwielen



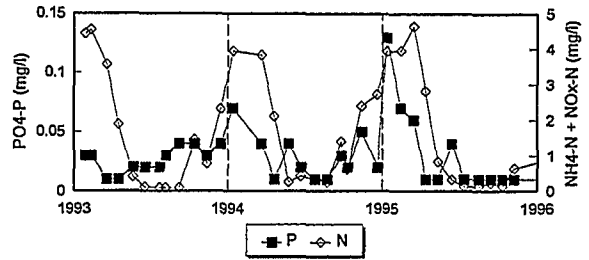
13 Koevordermeer



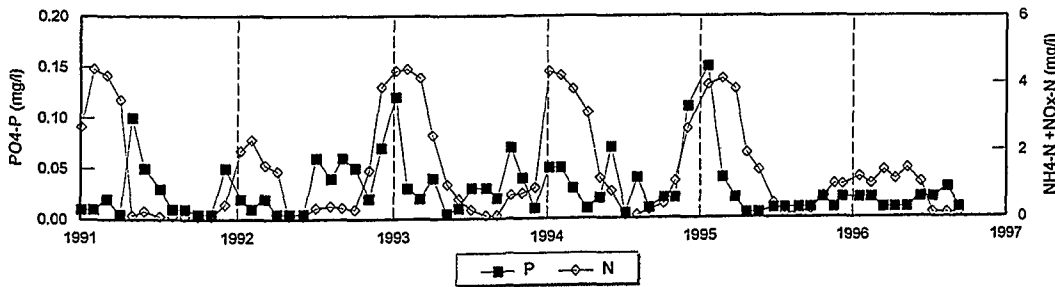
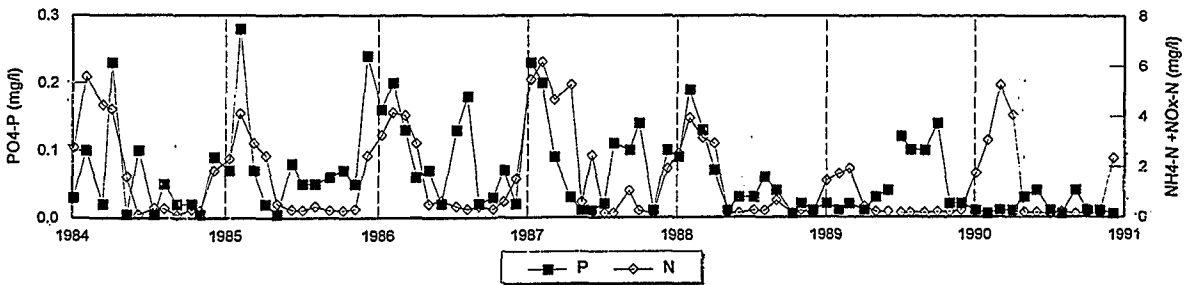
14 Heegermeer



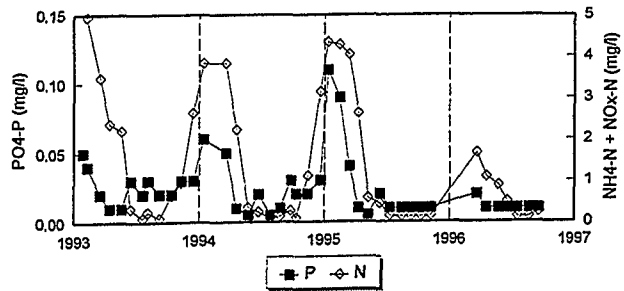
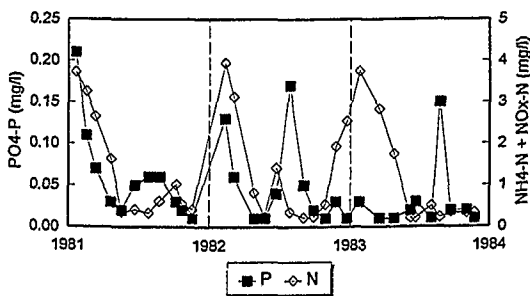
15 Fluessen



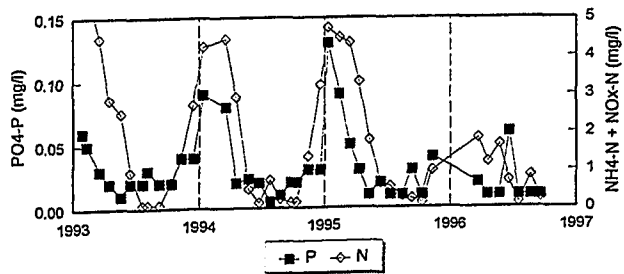
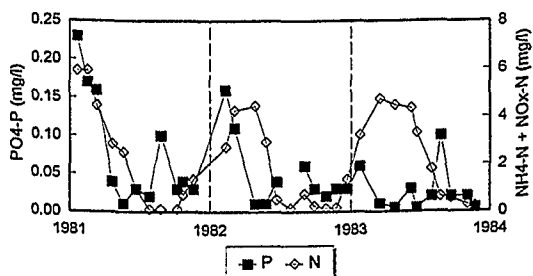
16 Morra



17 Brandemeer

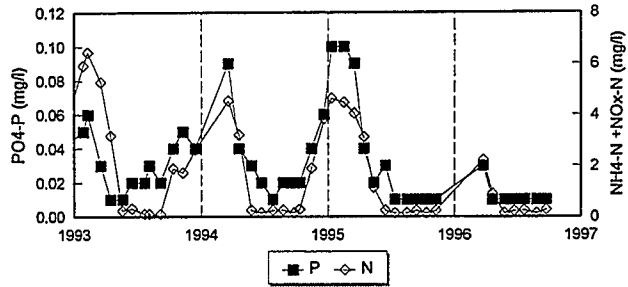
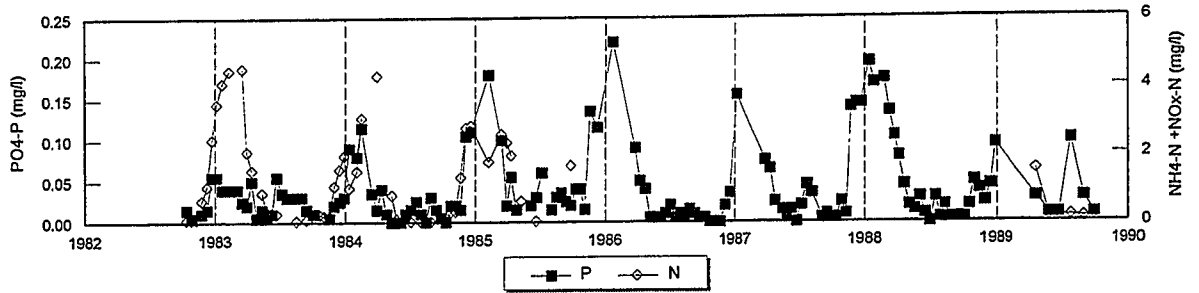


18 Grote Brekken

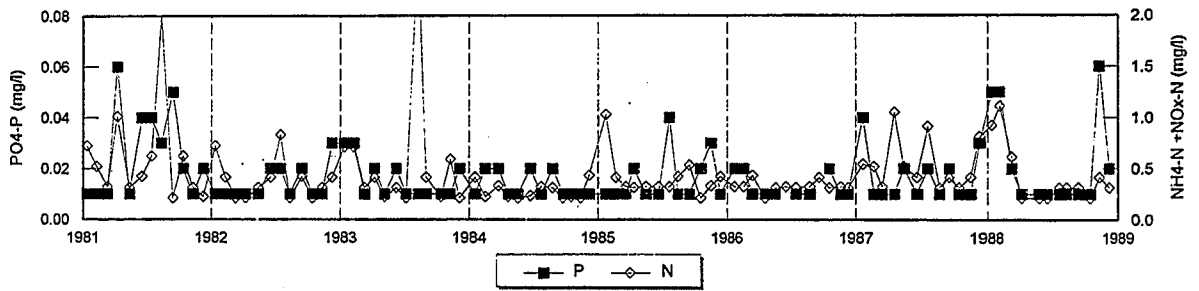


Bijlage V (vervolg)

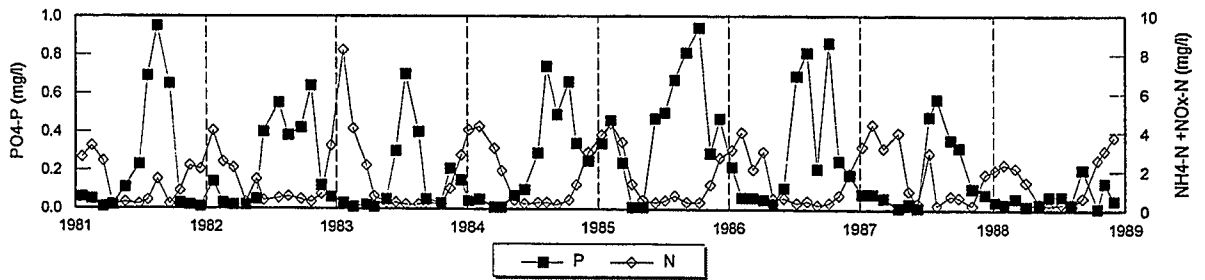
19 Tjeukemeer



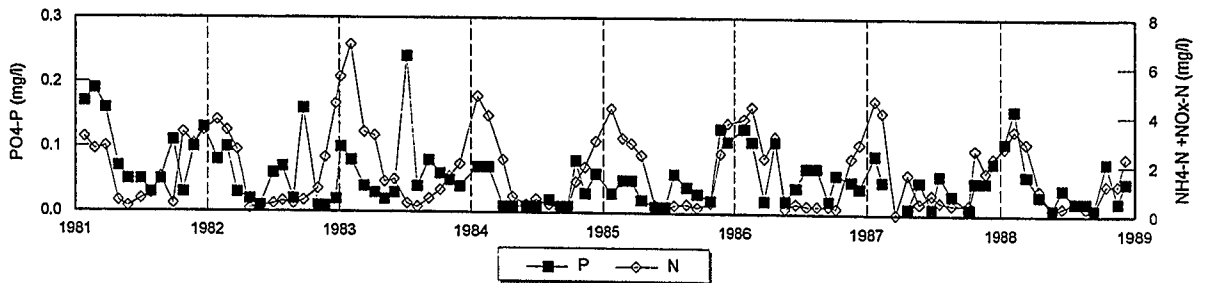
20 Boornbergumer Petten



21 Piekemeer

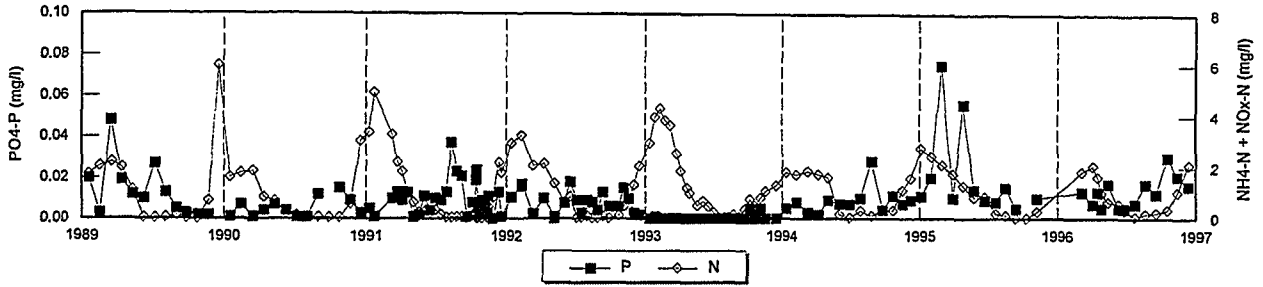
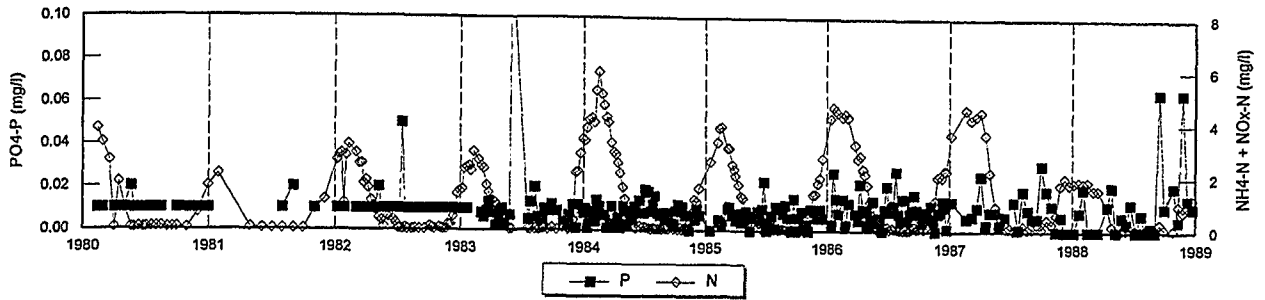


22 Grote Wielen

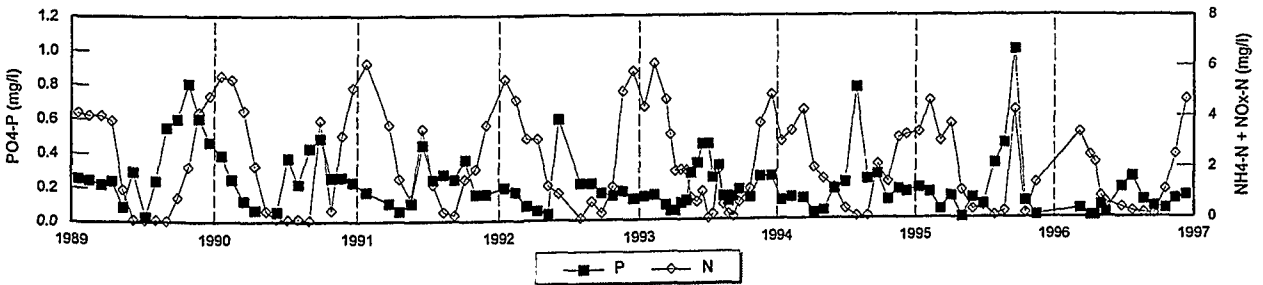
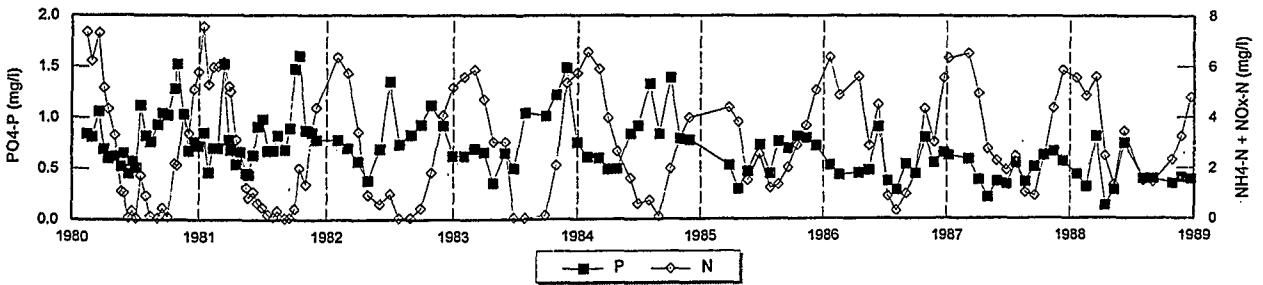


Bijlage V (vervolg)

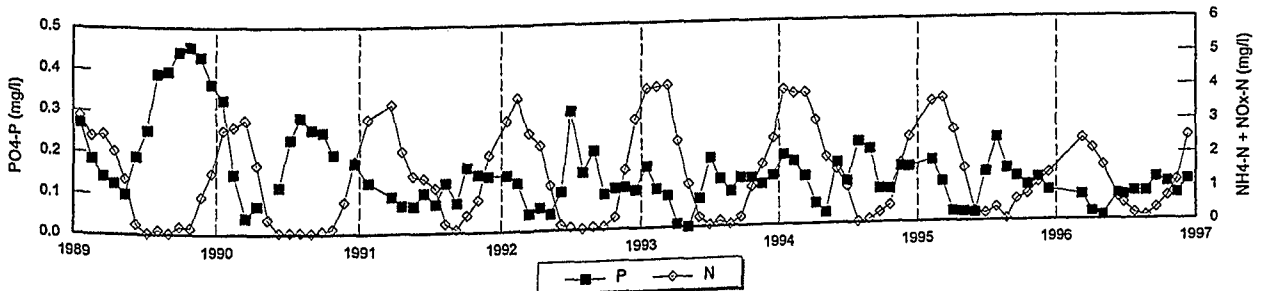
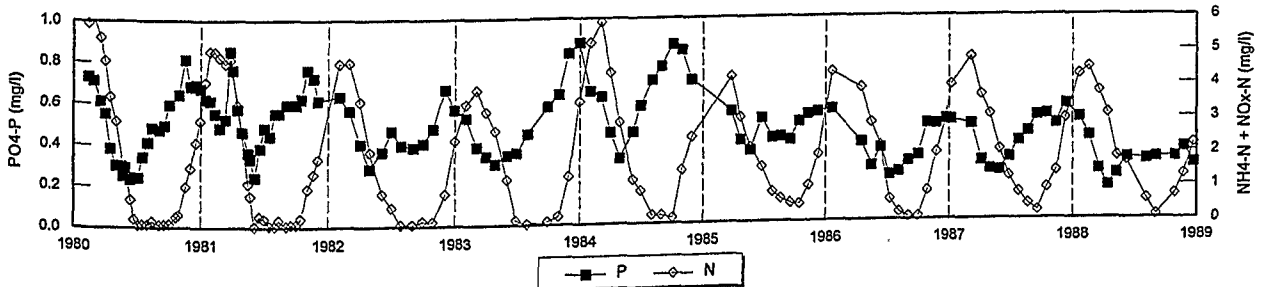
23 Veluwemeer



24 Eemmeer

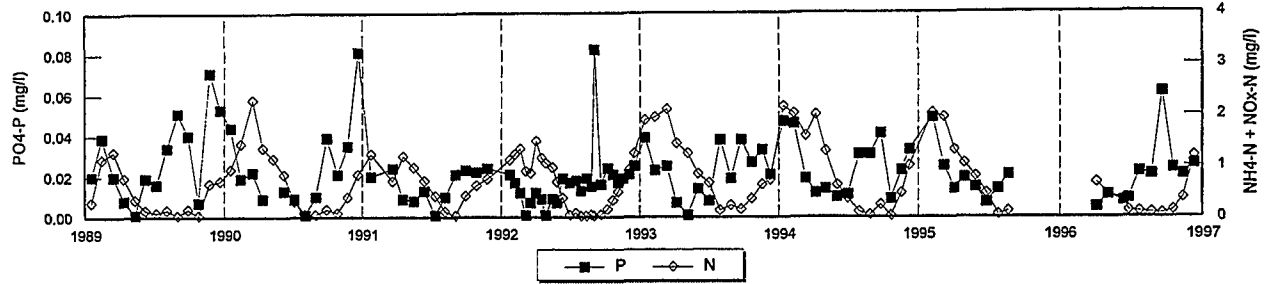
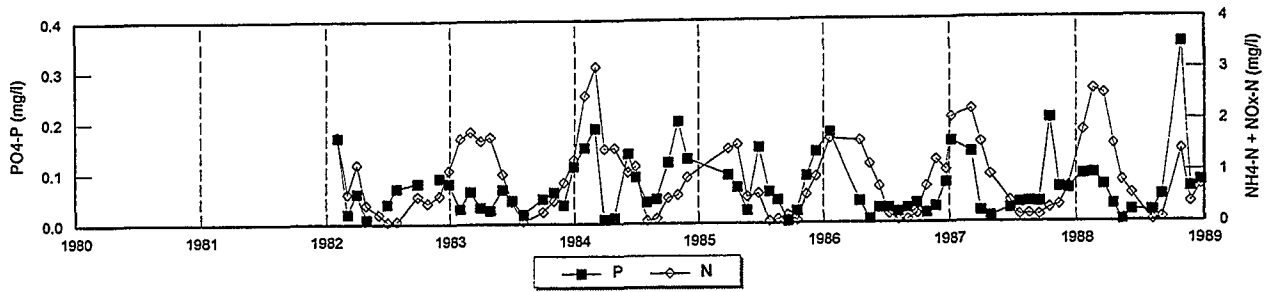


25 Gooimeer

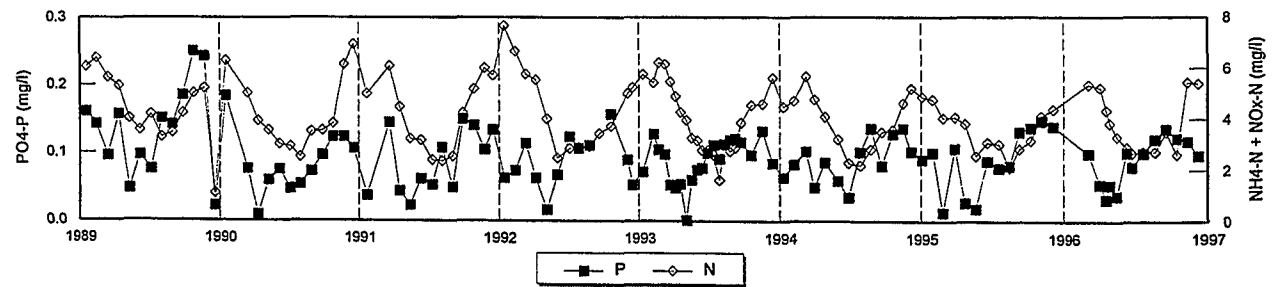
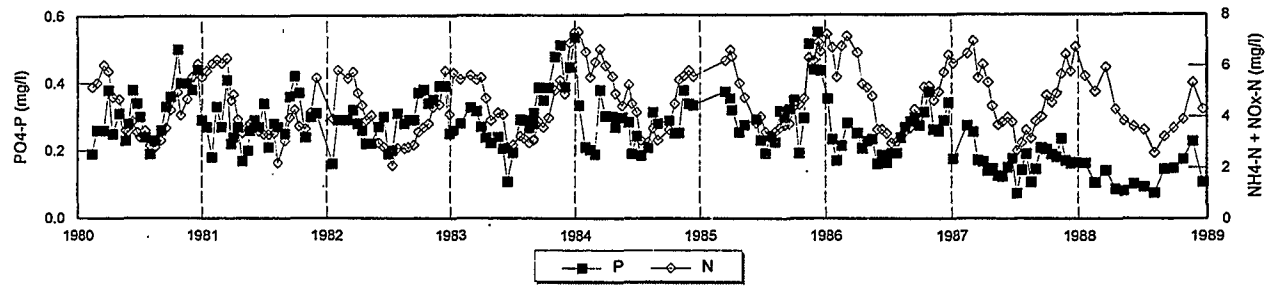


Bijlage V (vervolg)

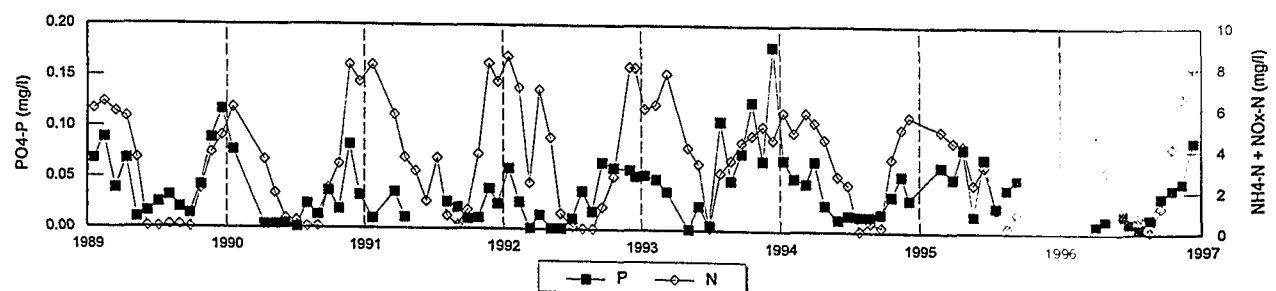
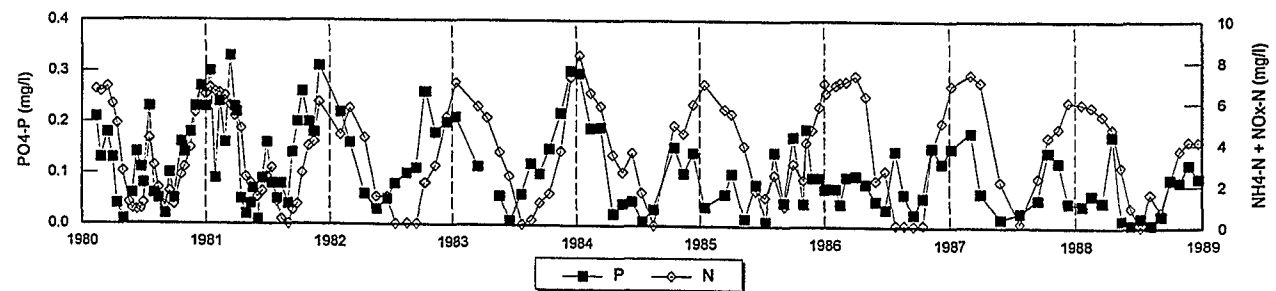
26 IJmeer



27 Ketelmeer

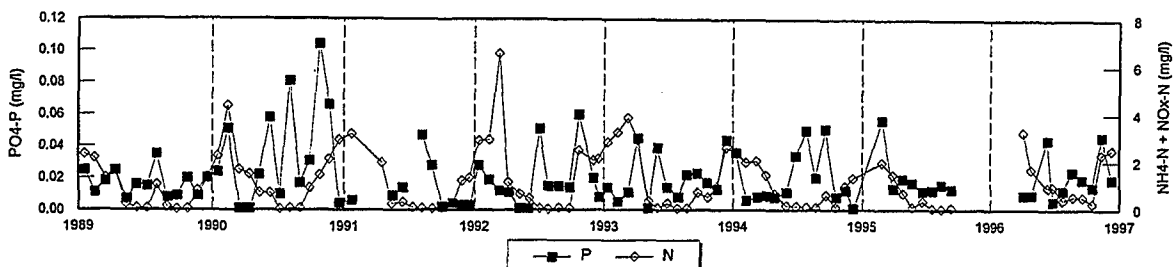
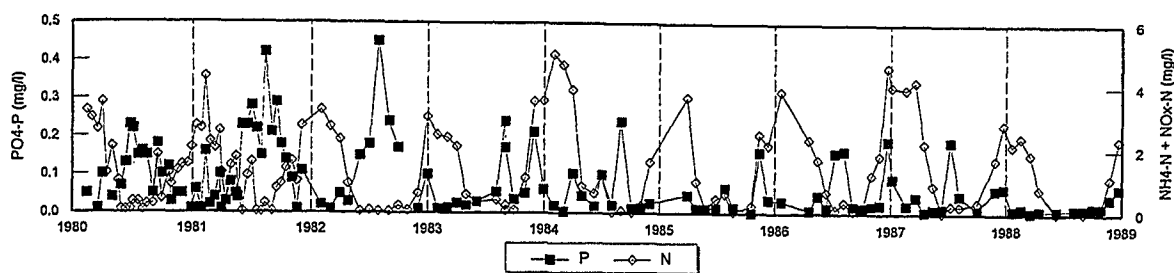


28 Zwarte meer

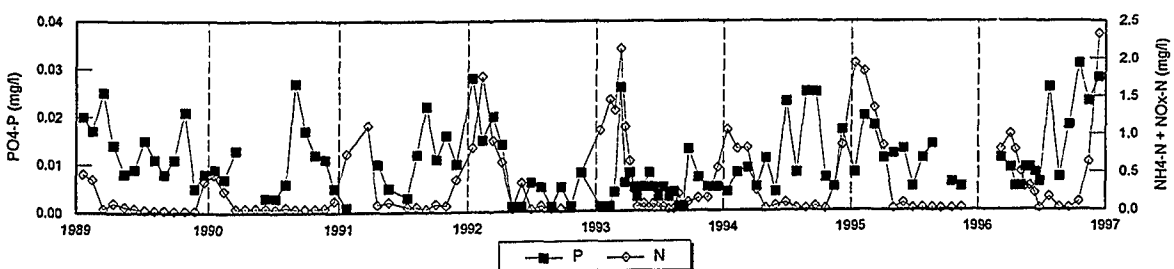
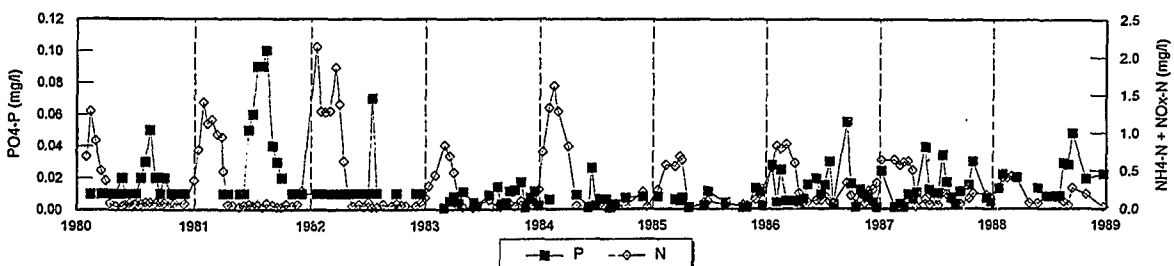


Bijlage V (vervolg)

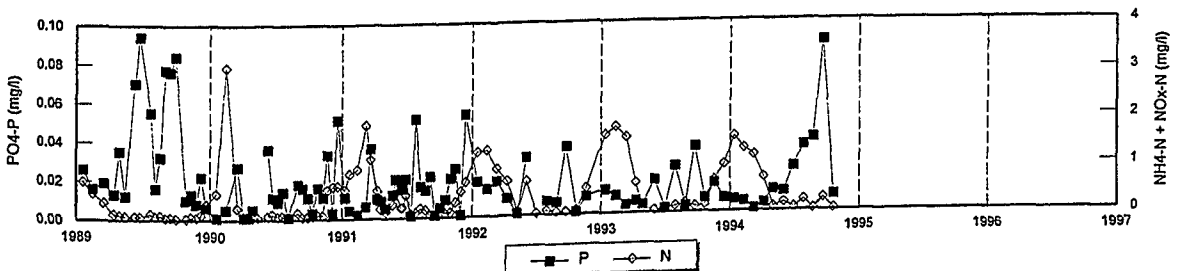
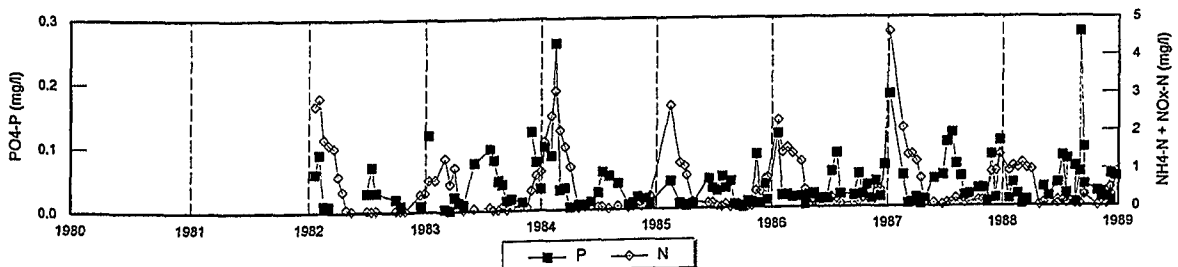
29 Vossemeer



30 Wolderwijd

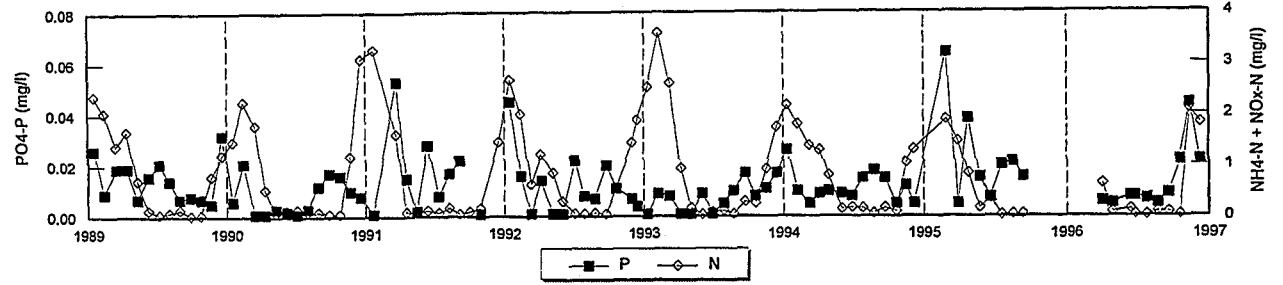
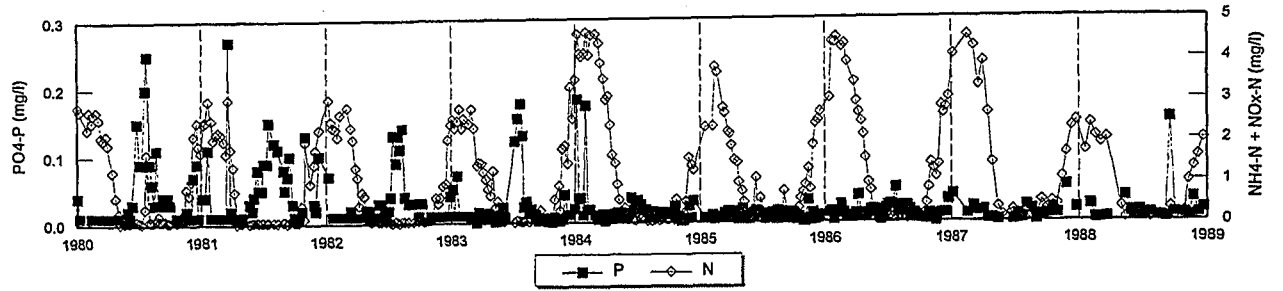


31 Nuldernaauw

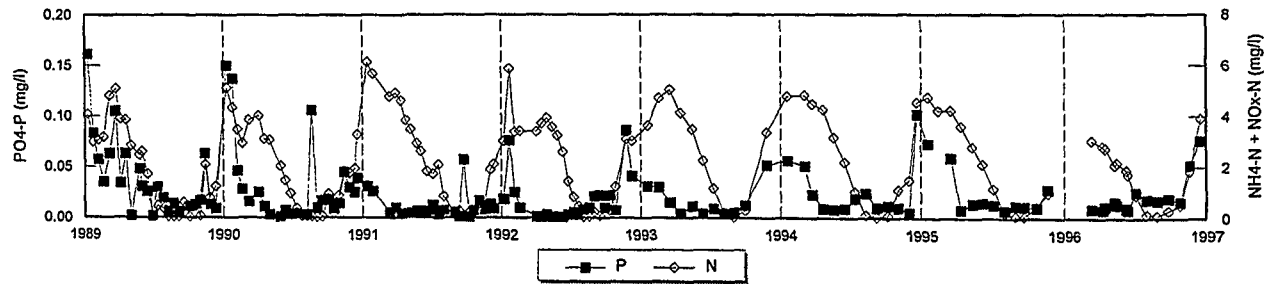
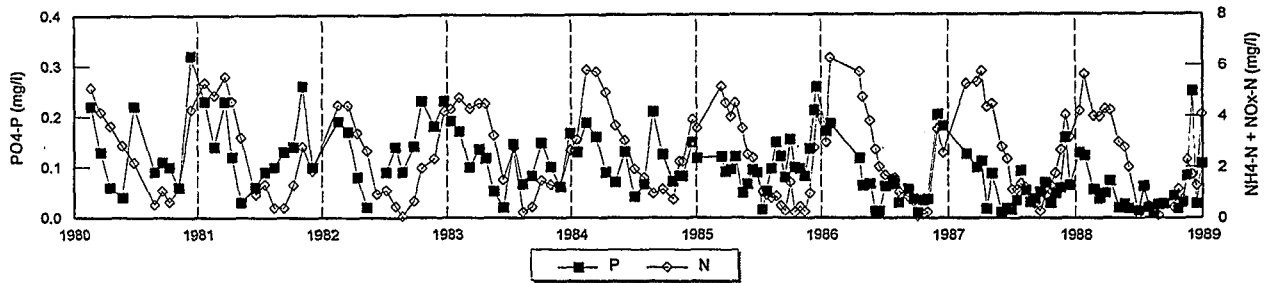


Bijlage V (vervolg)

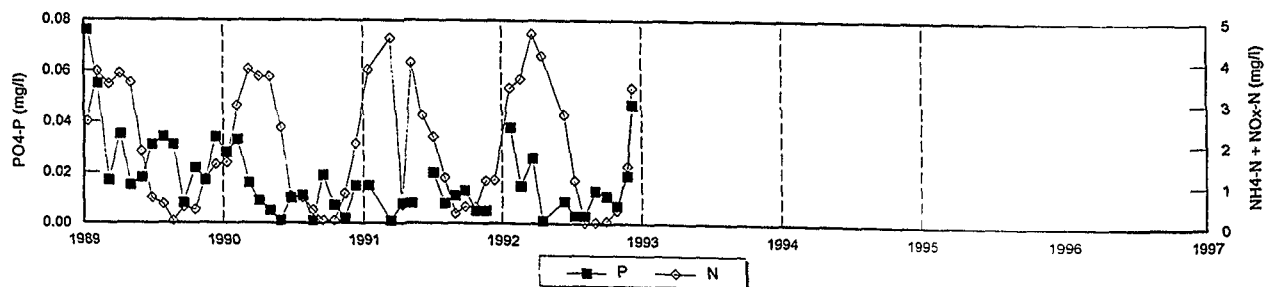
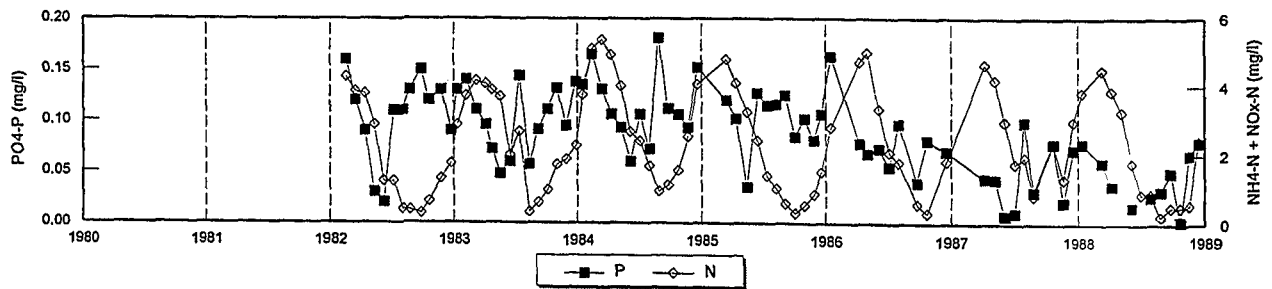
32 Drontermeer



33 IJsselmeer Vrouwzand

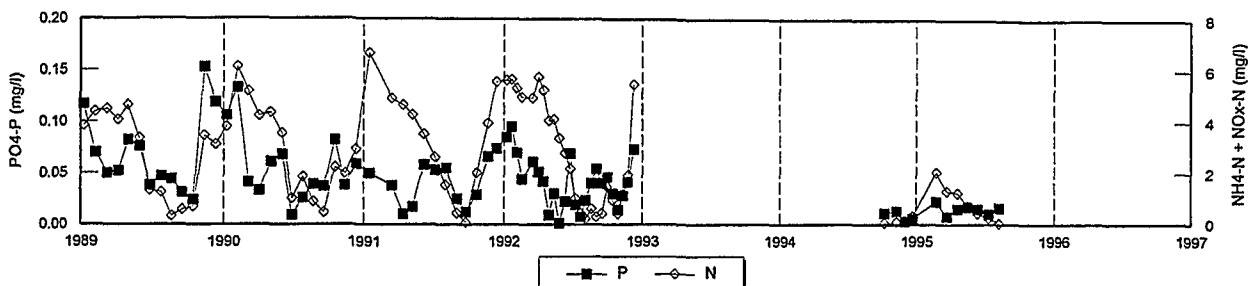
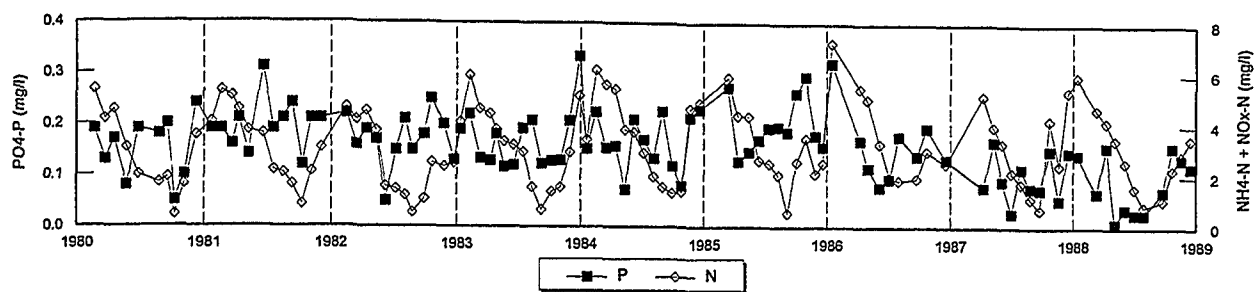


34 IJsselmeer noord

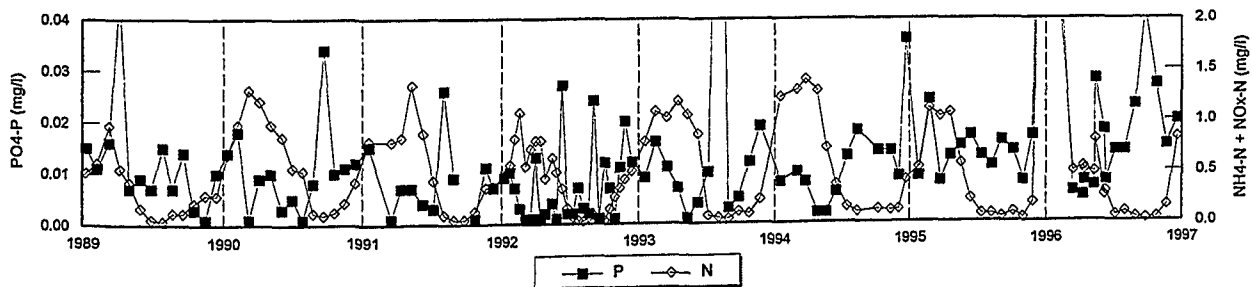
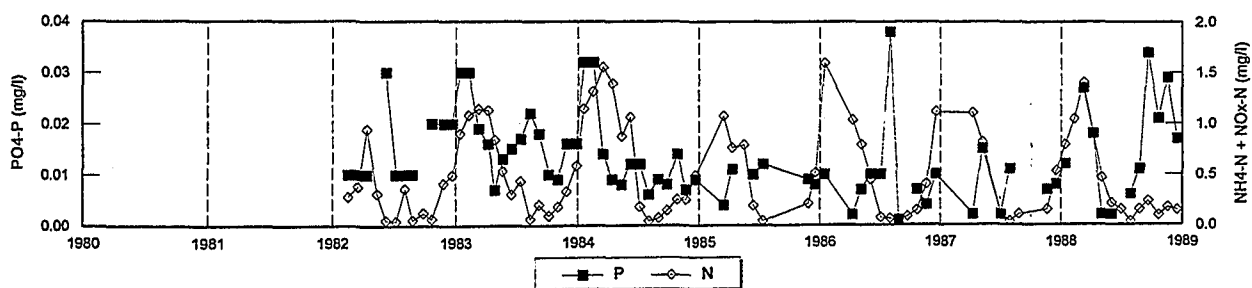


Bijlage V (vervolg)

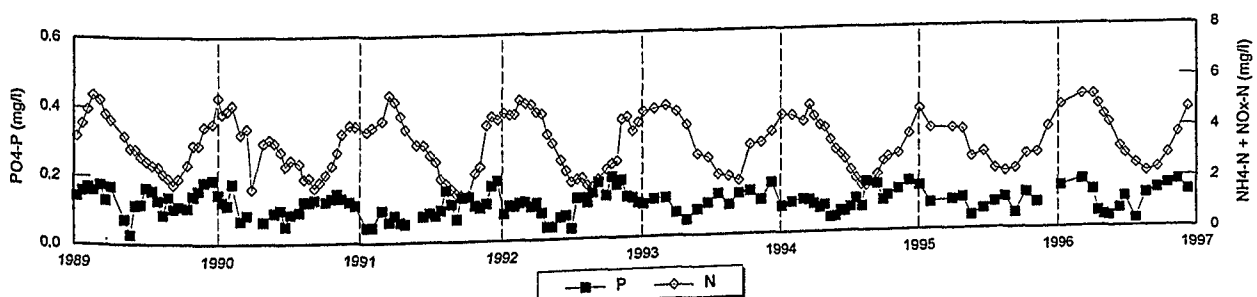
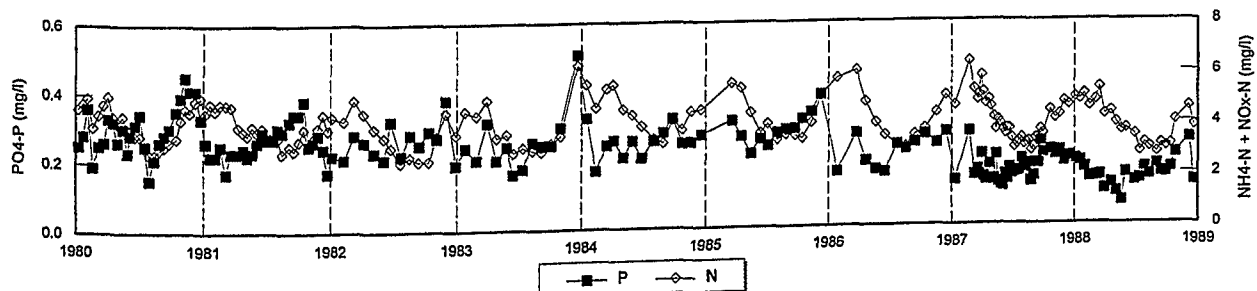
35 IJsselmeer zuid



36 Markermeer

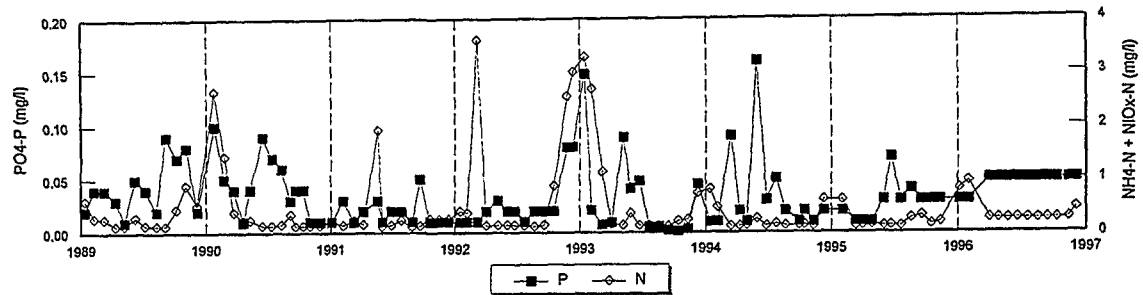
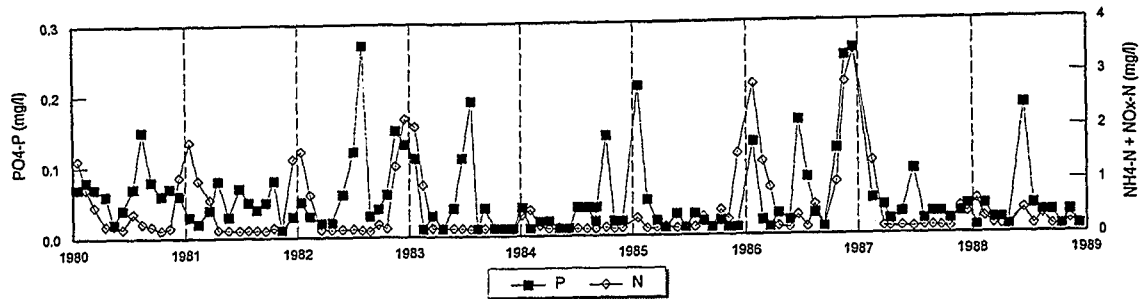


37 Haringvliet sluis

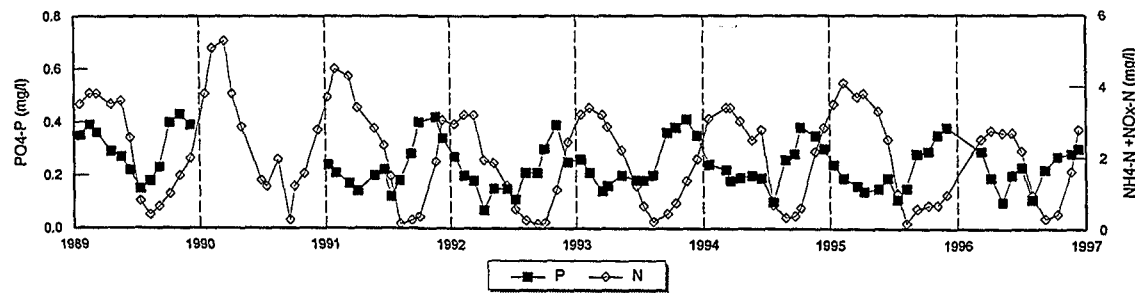
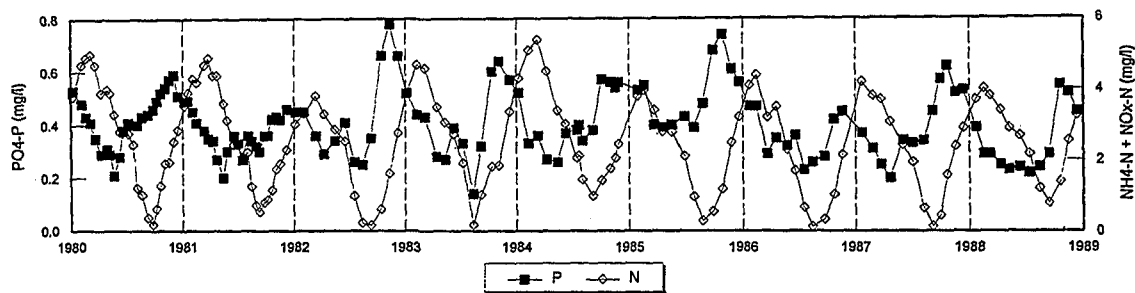


Bijlage V (vervolg)

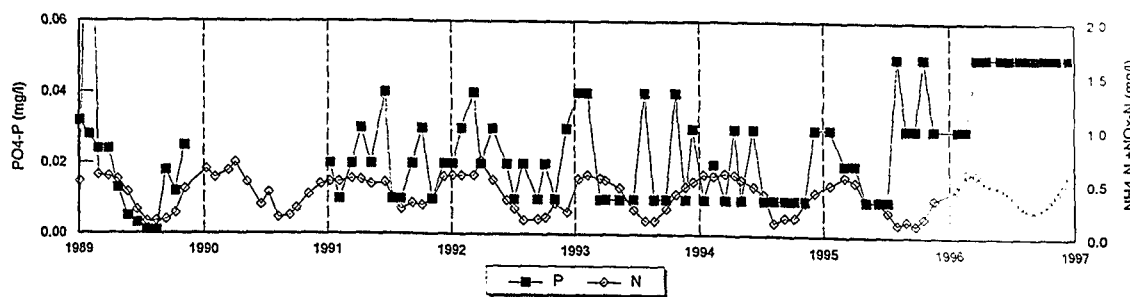
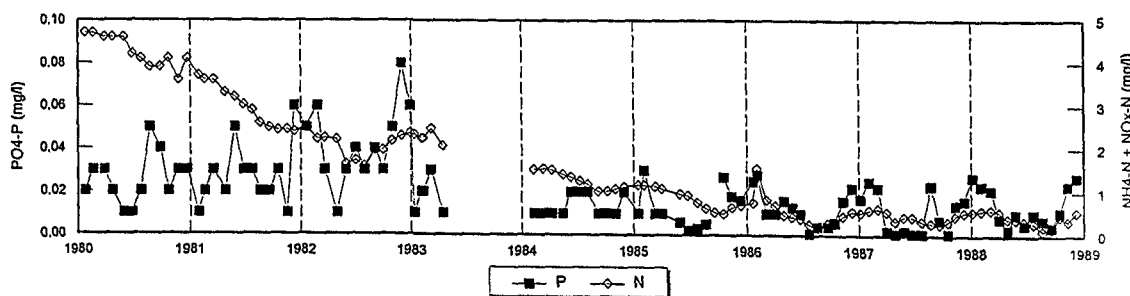
38 Amstelveense Poel



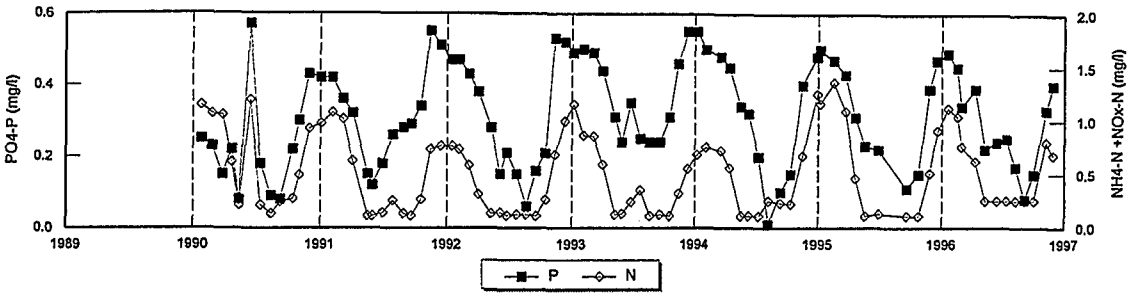
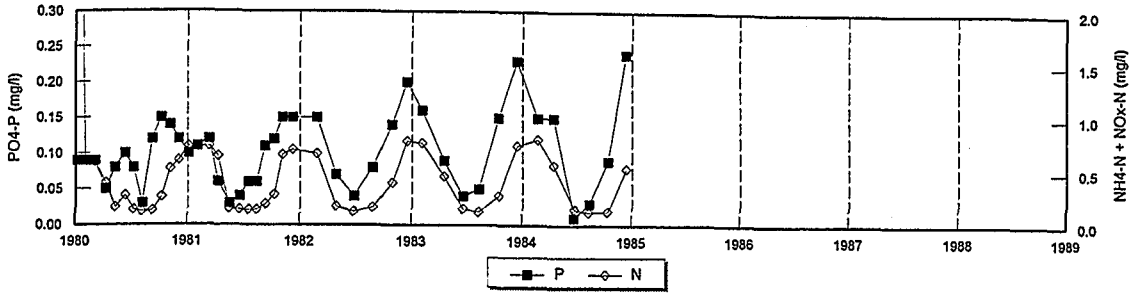
39 Brassemermeer



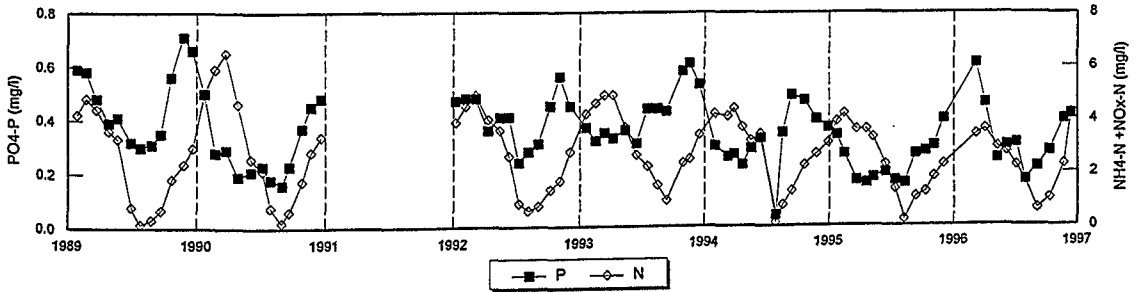
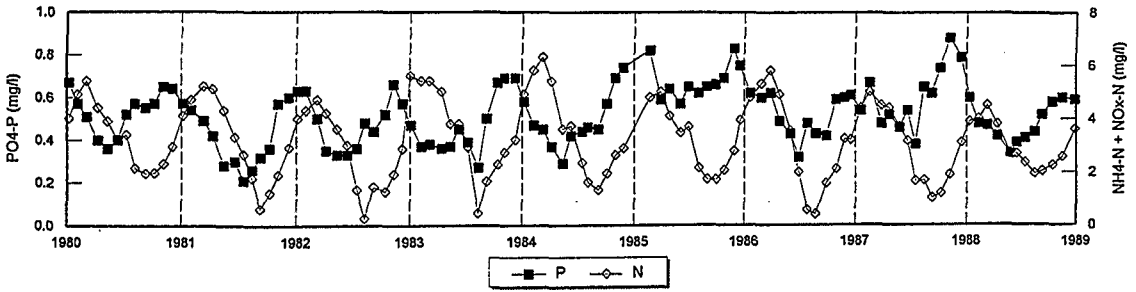
40 Broekvelden Vettenbroek



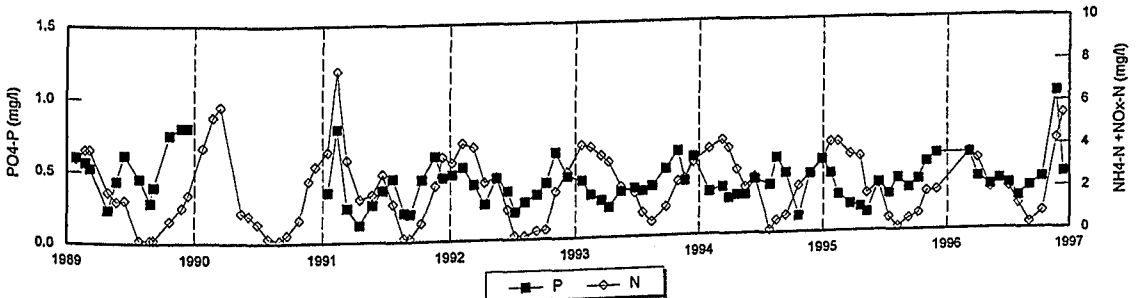
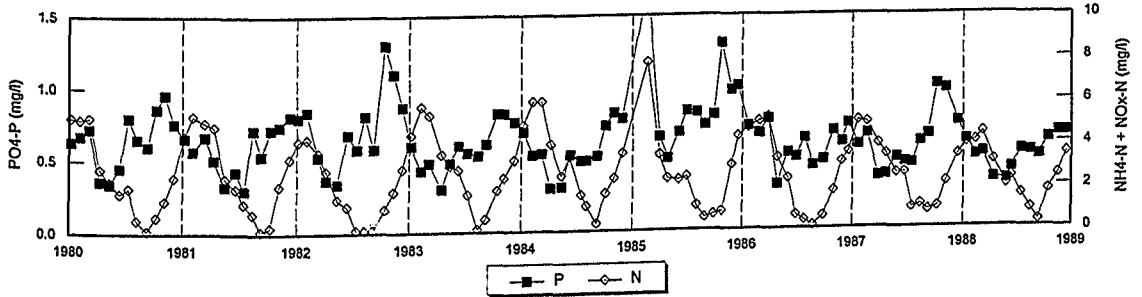
41 Hoofddorp zandwinput



42 Kagerplas 't Joppe

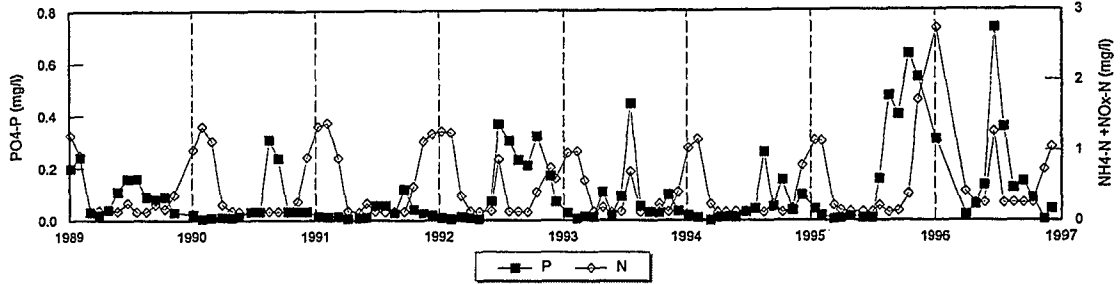
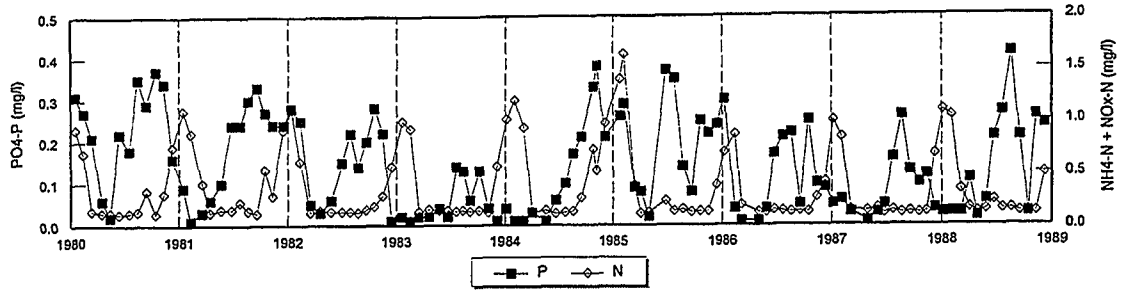


43 Kagerplas Norremeer

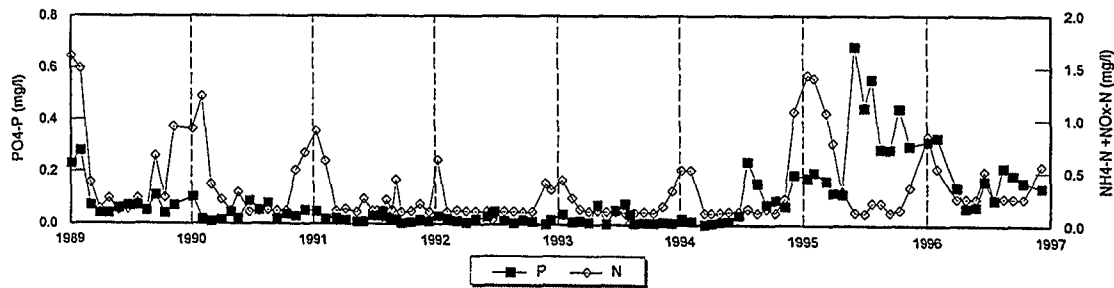
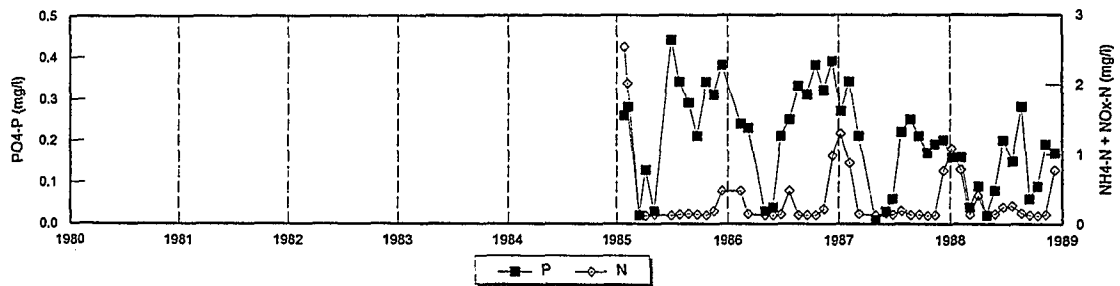


Bijlage V (vervolg)

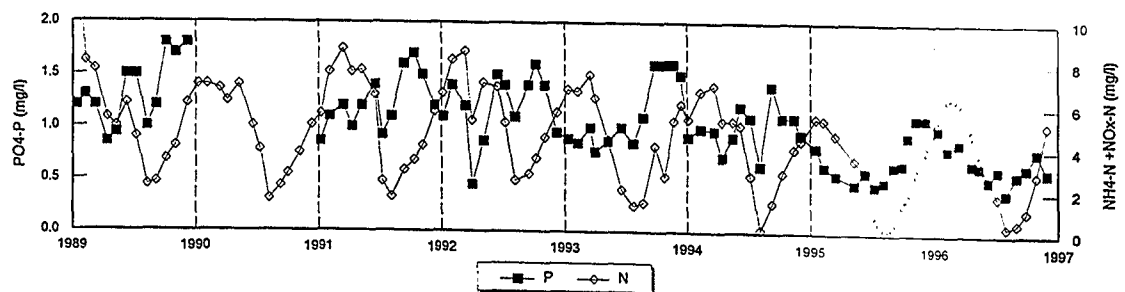
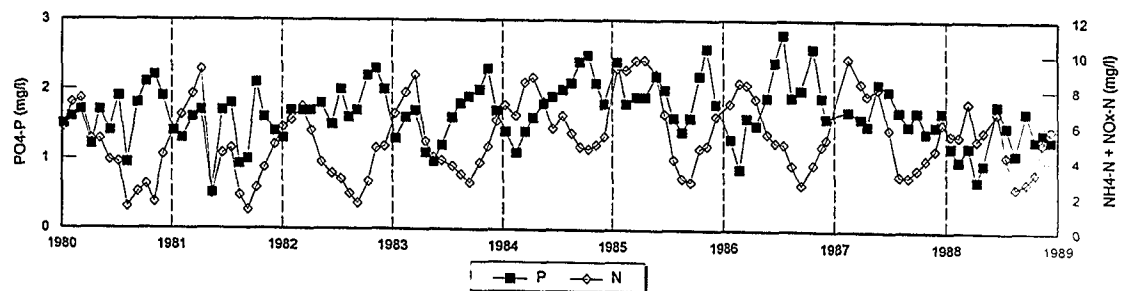
44 Langeraarse Noordplas



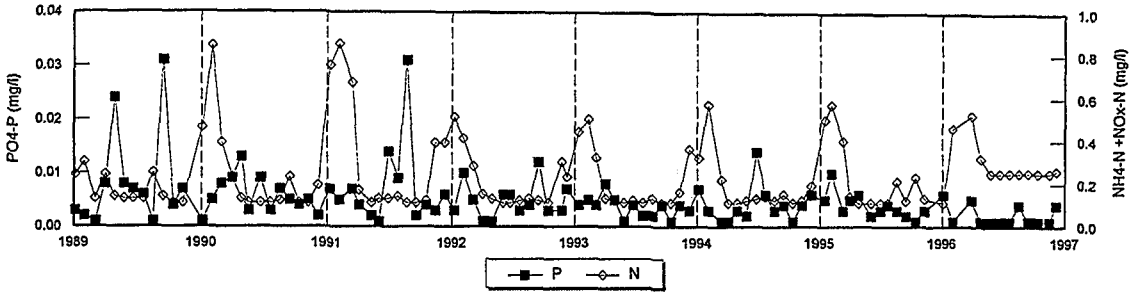
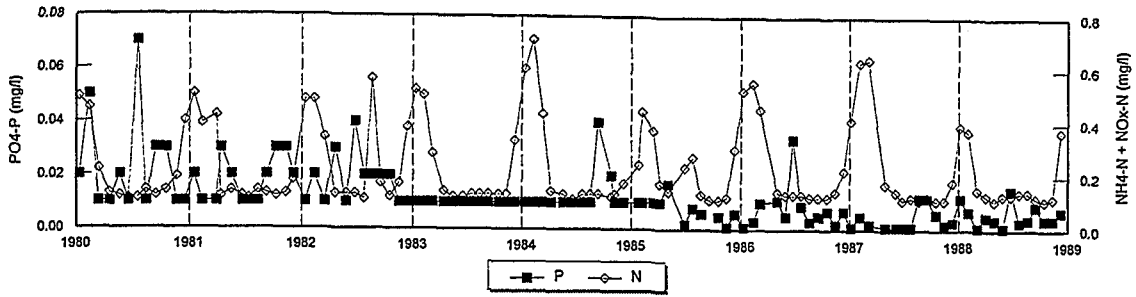
45 Geerplas



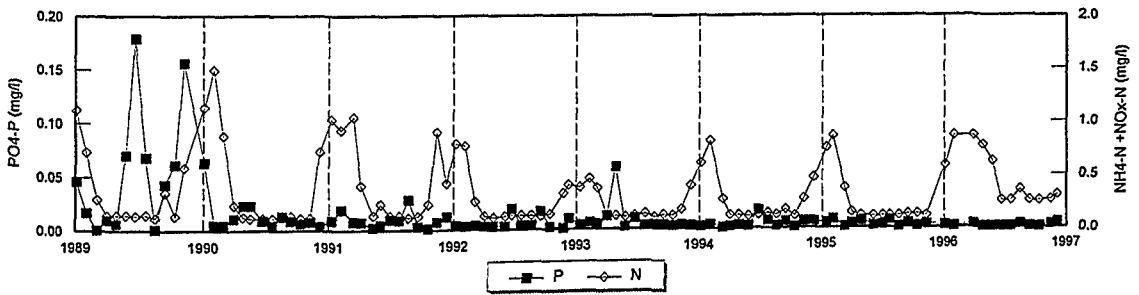
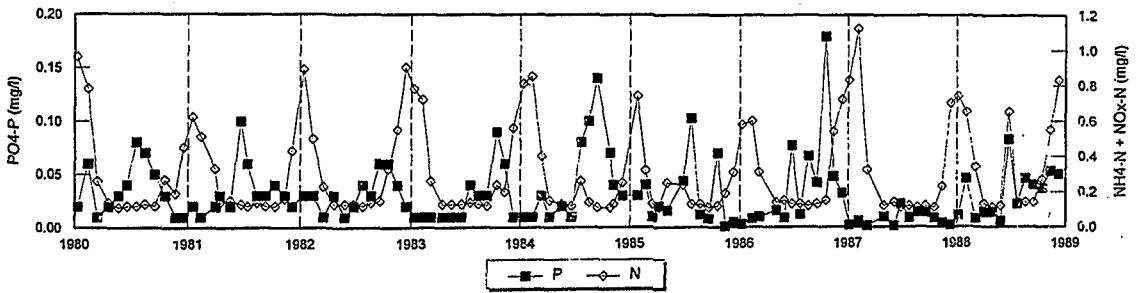
46 Mooie Nel



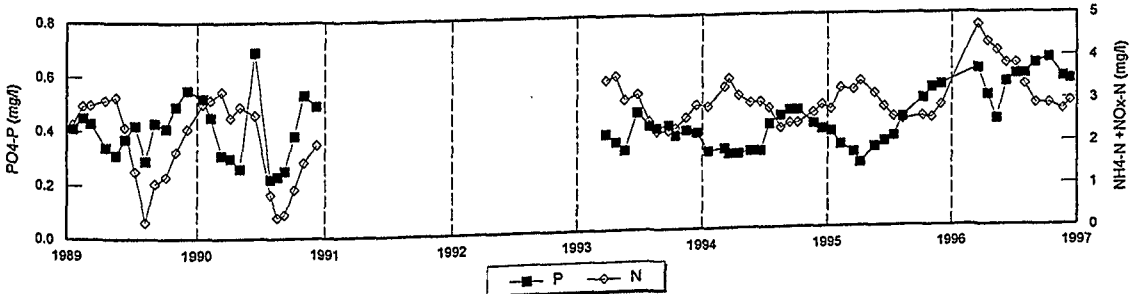
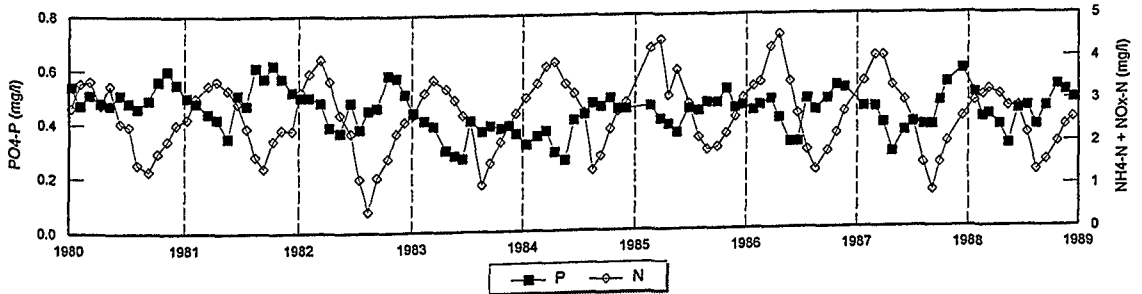
47 Nieuwkoop Noord



48 Nieuwkoop Zuid

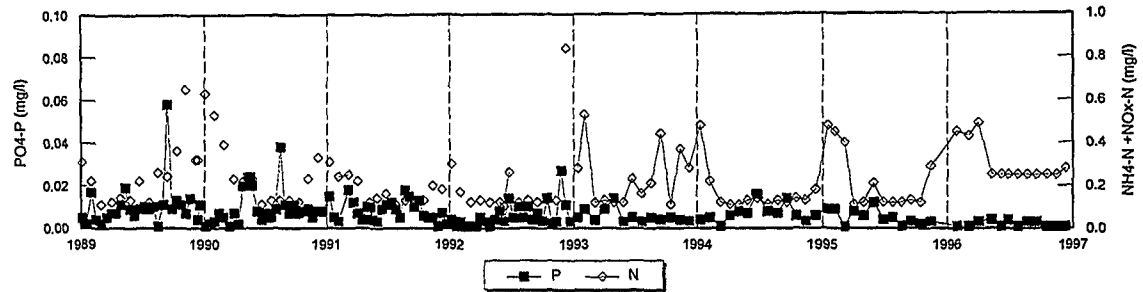
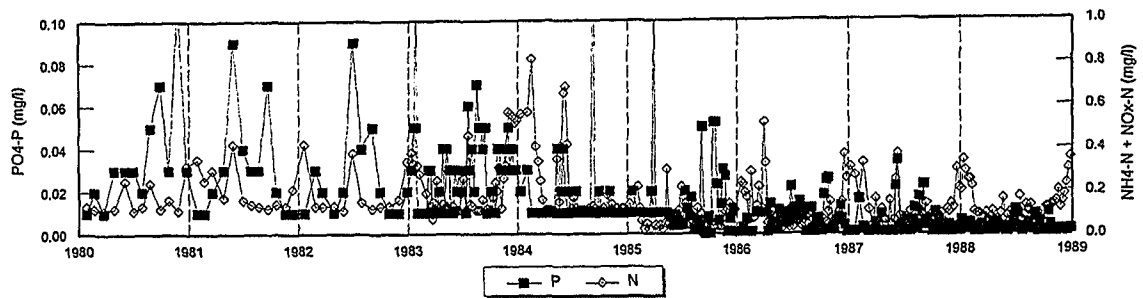


49 Nieuwe meer

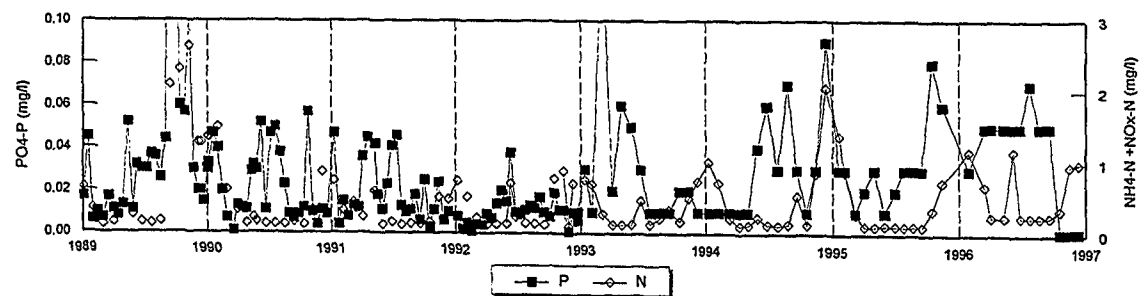
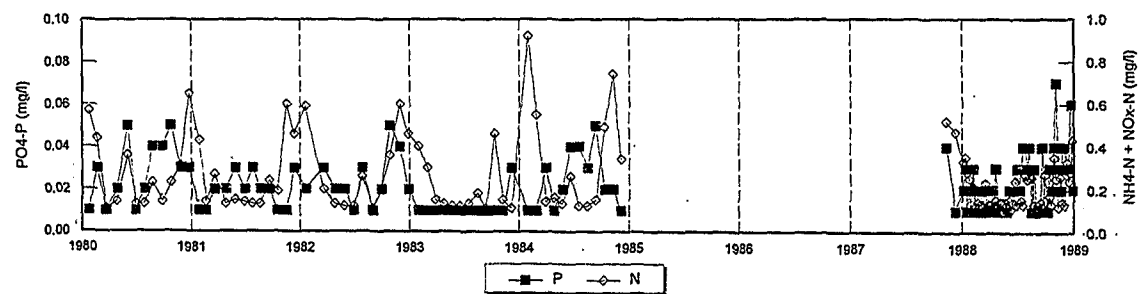


Bijlage V (vervolg)

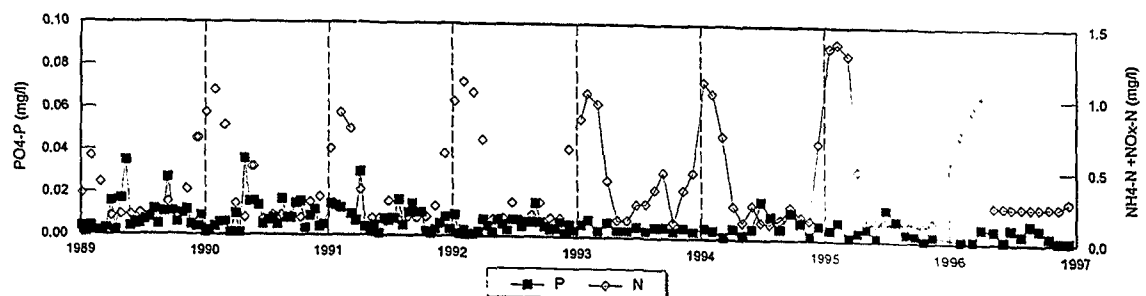
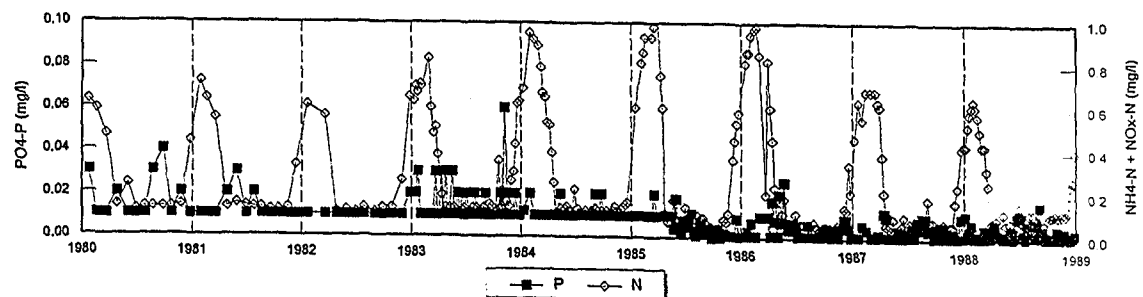
50 Reeuwijk Elfhoeven



51 Klein Vogelenzang

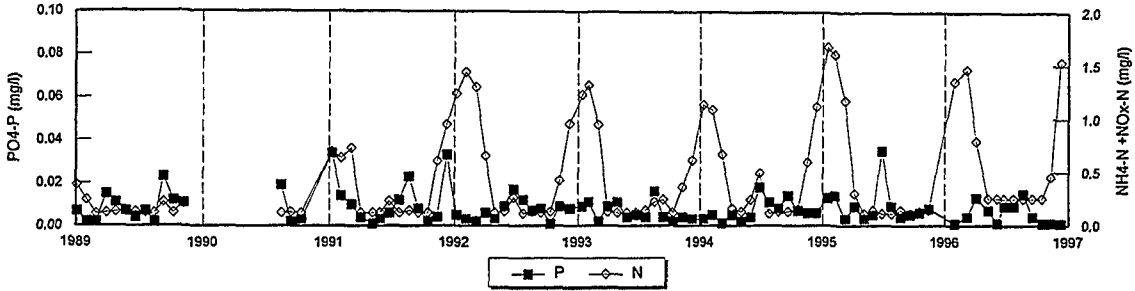
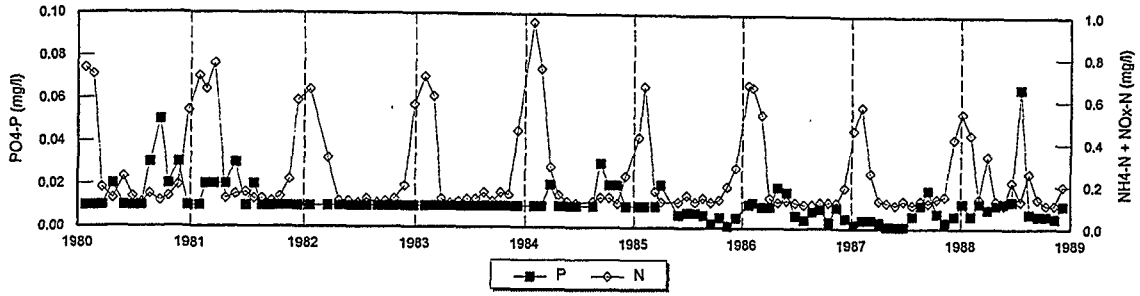


52 Reeuwijk Nieuwenbroek

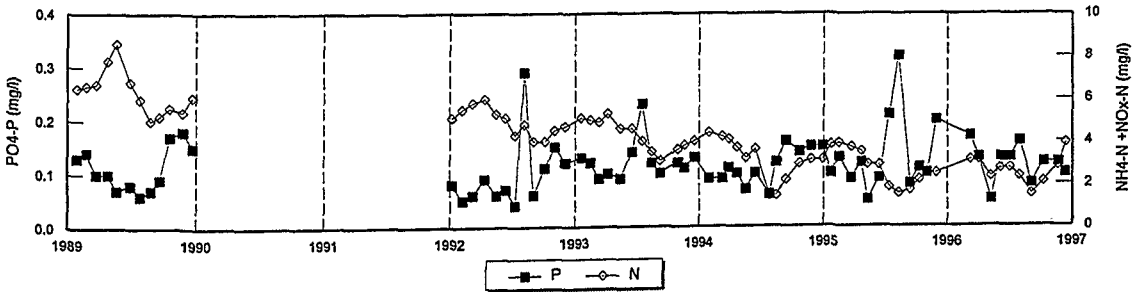
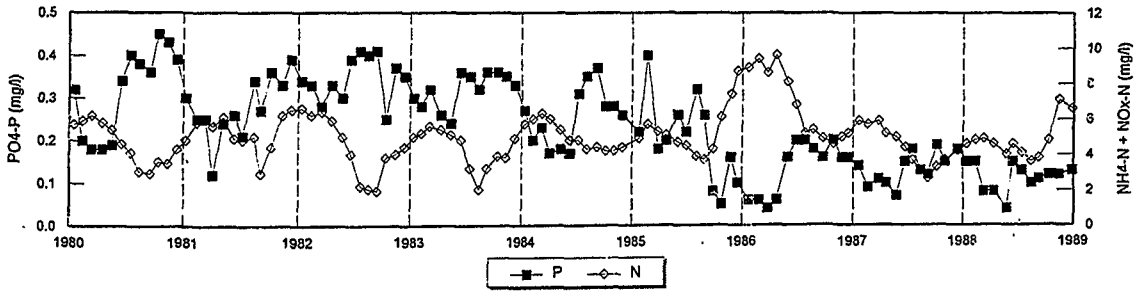


Bijlage V (vervolg)

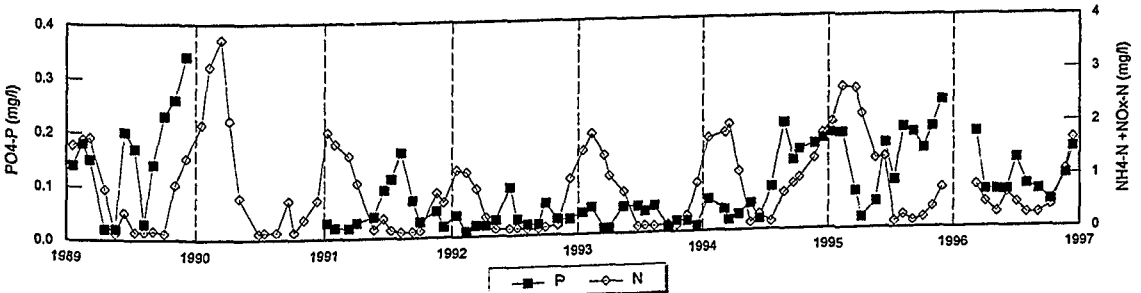
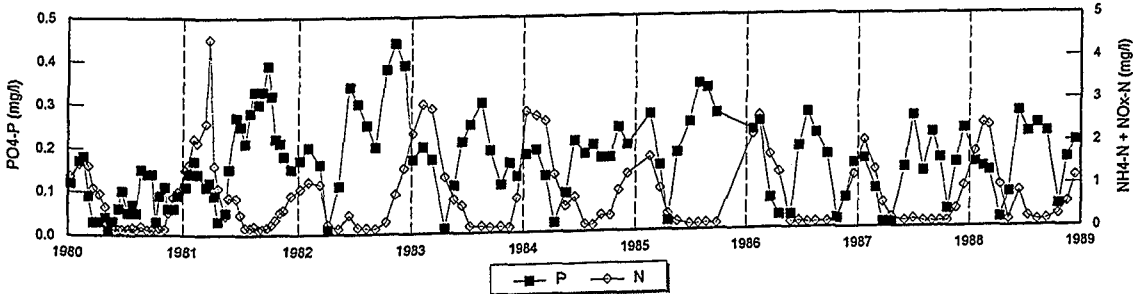
53 Reeuwijk 's Gravenkoop



54 Vlietlanden

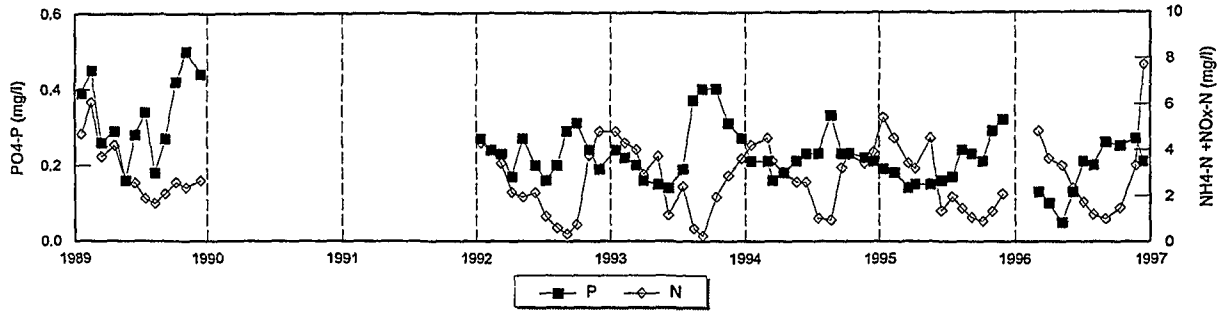
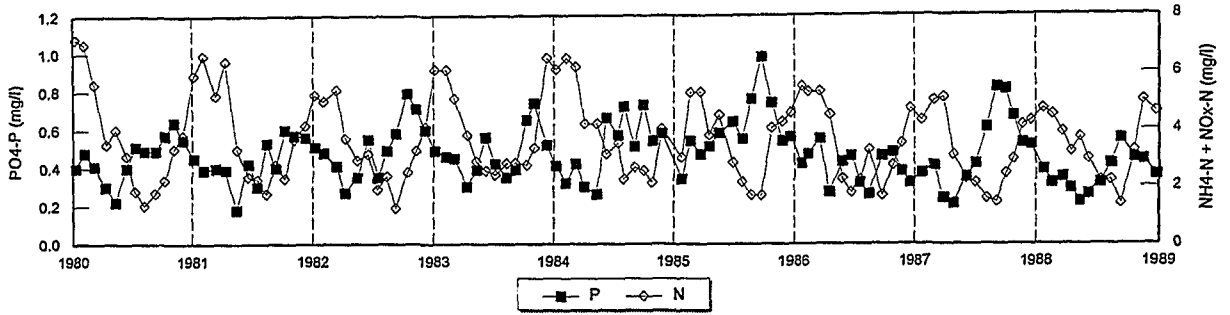


55 Westeinderplassen

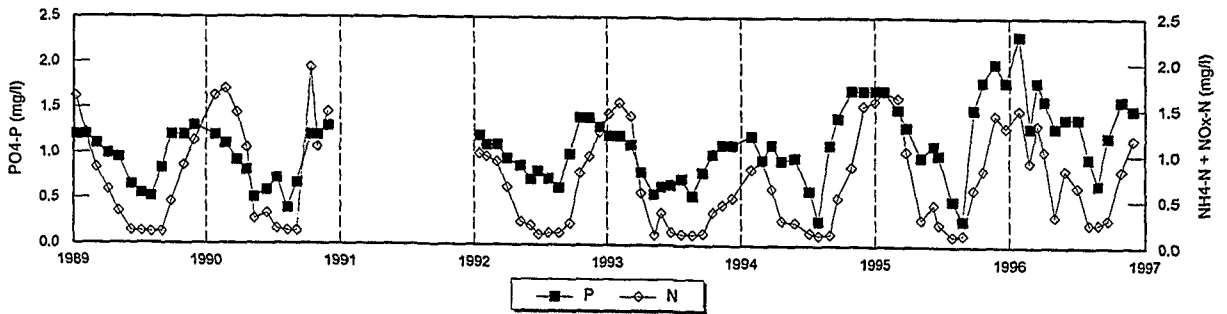
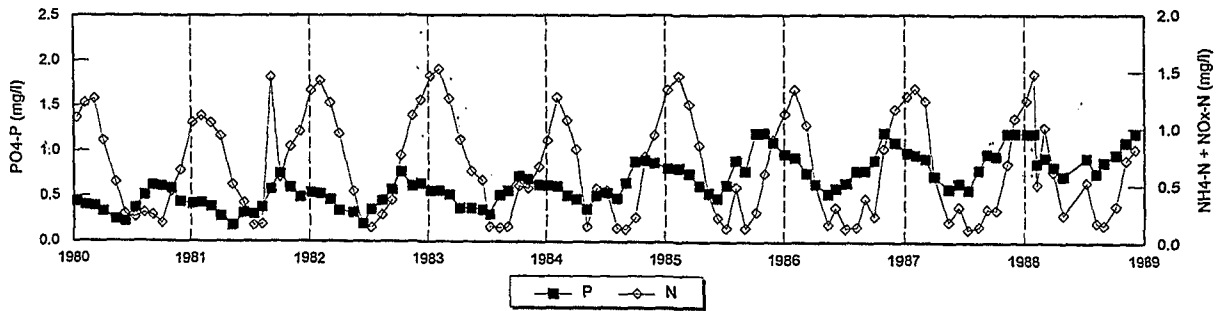


Bijlage V (vervolg)

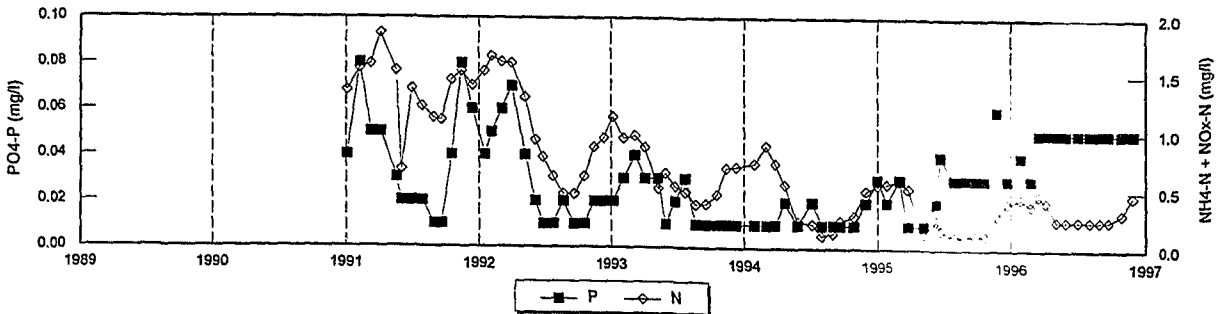
56 Wijde Aa



57 Oosterduinmeer

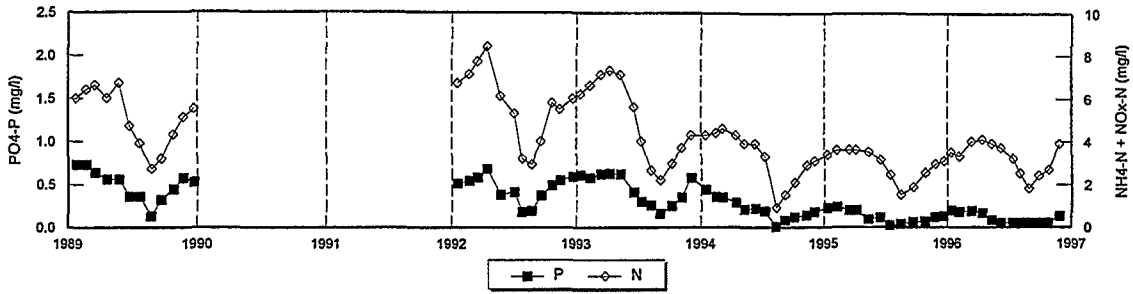
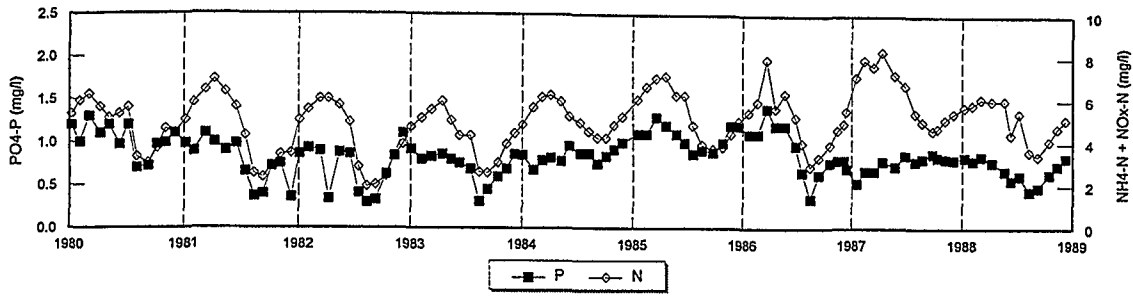


58 Voorhof zandwinput

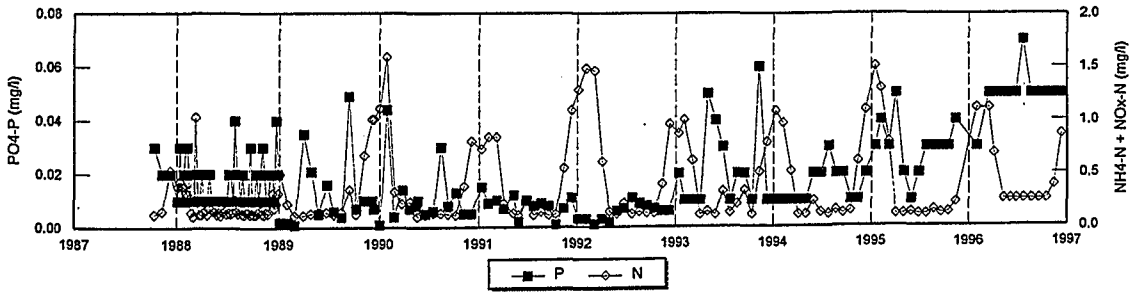


Bijlage V (vervolg)

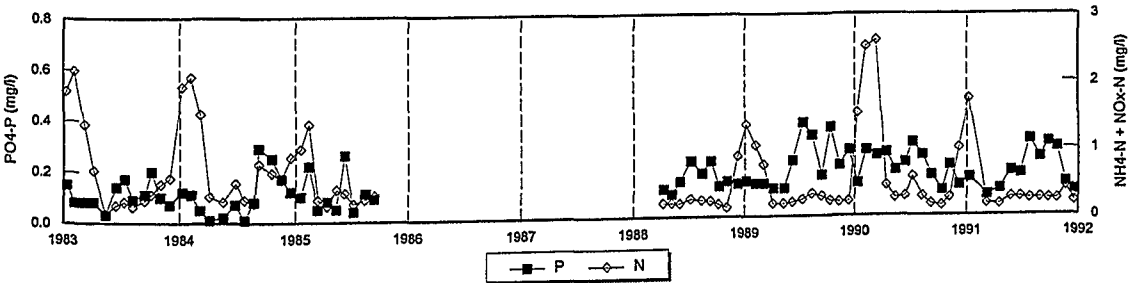
59 Zegerplas



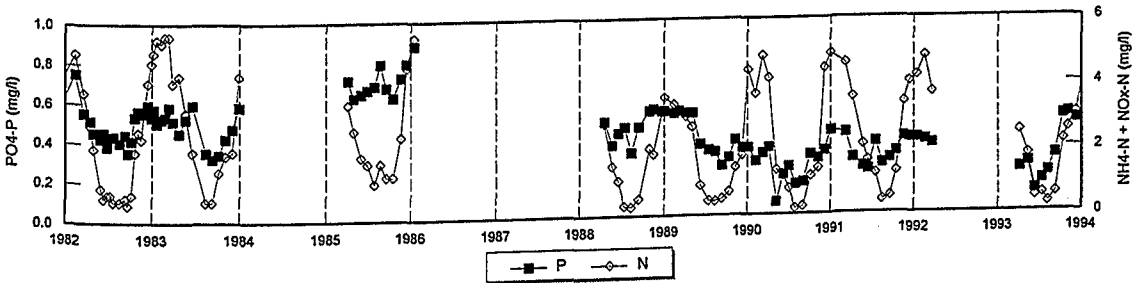
60 Groot vogelenzang



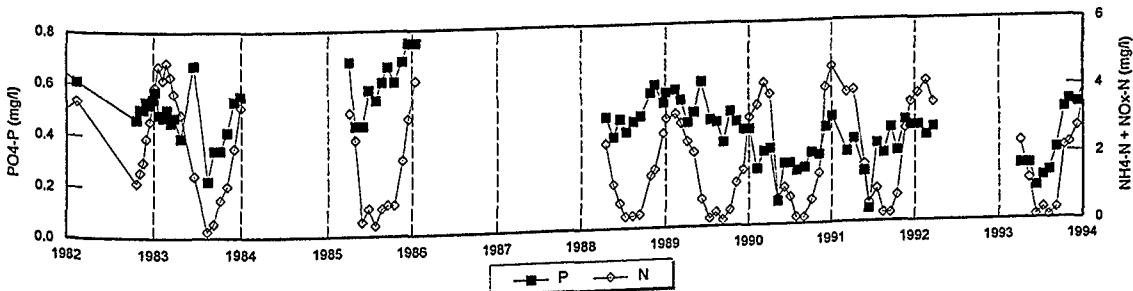
61 Uitdammer Die



62 Alkmaardermeer

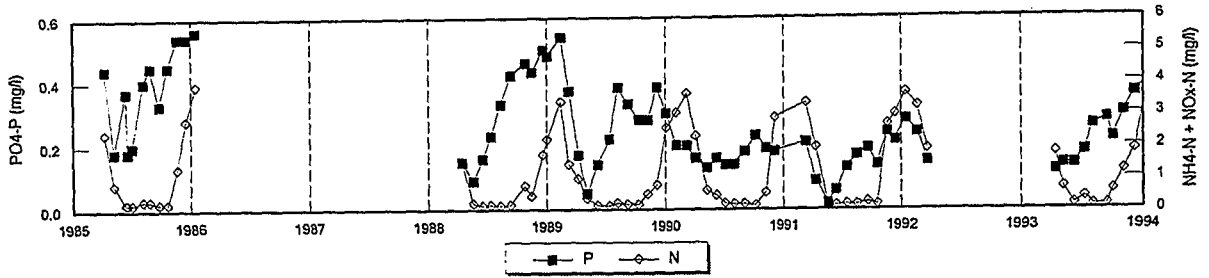


63 Uitgeestermeer

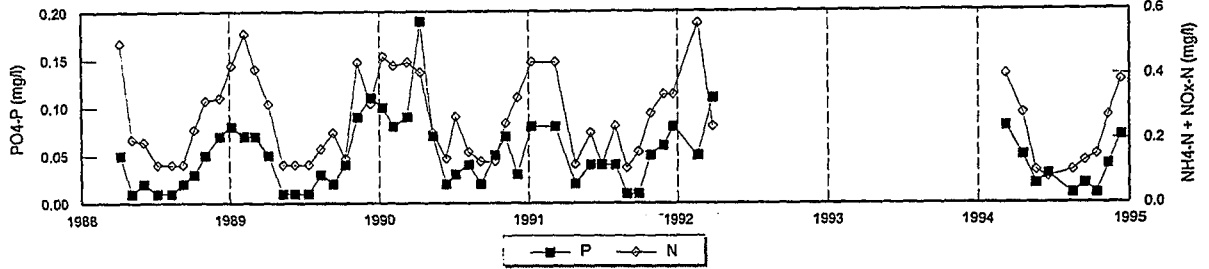


Bijlage V (vervolg)

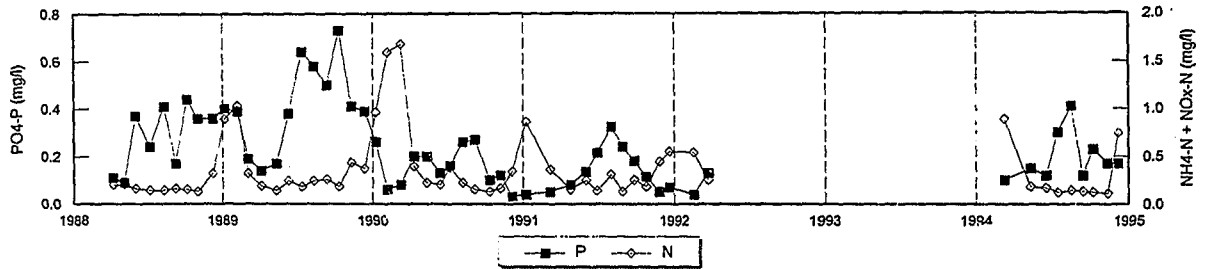
64 Amstelmeer



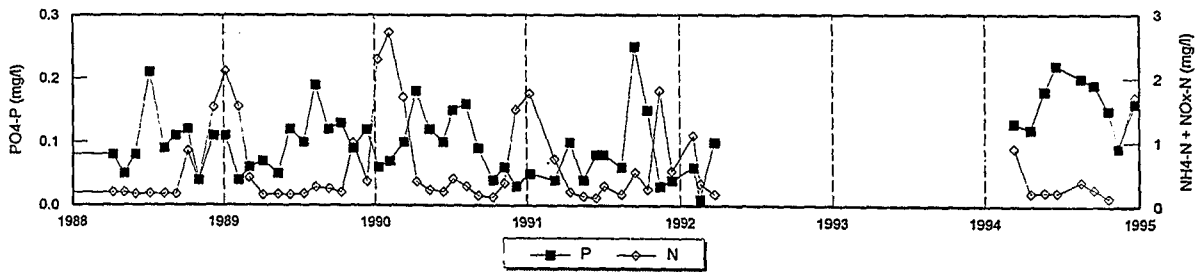
65 Twiske den Ijp



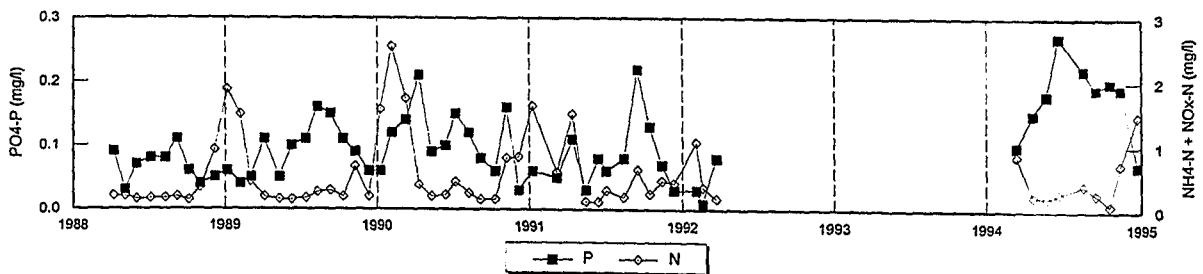
66 Kinselmeer



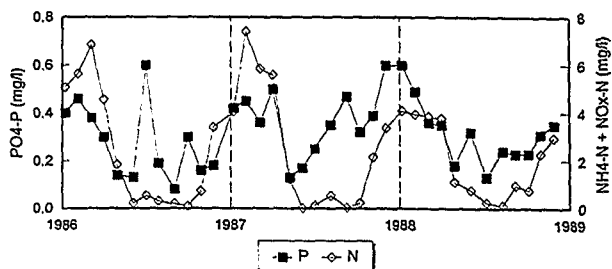
67 t Zwet



68 Wormer

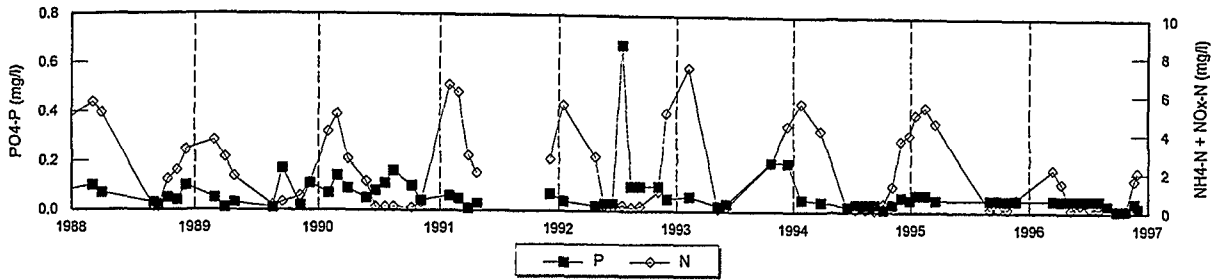


70 Leekstermeer

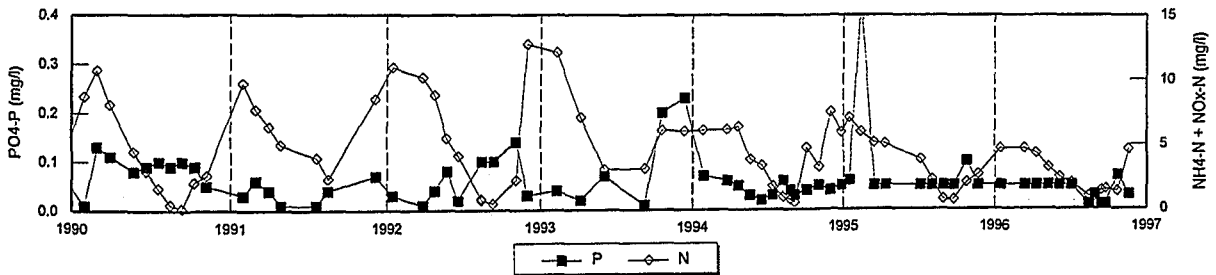
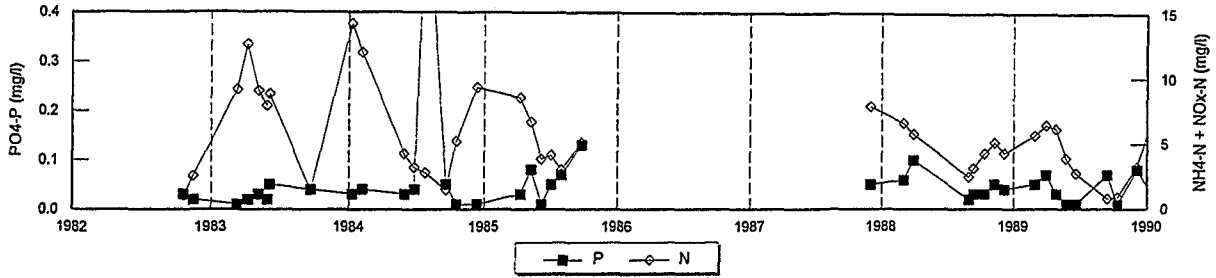


Bijlage V (vervolg)

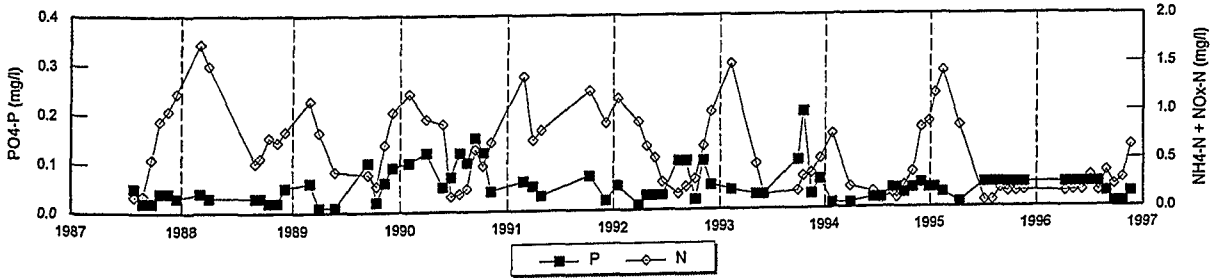
71 Zuidlaardermeer



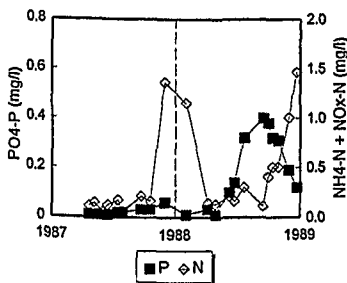
72 Schildmeer



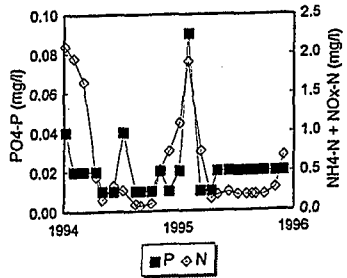
73 Paterswoldermeer



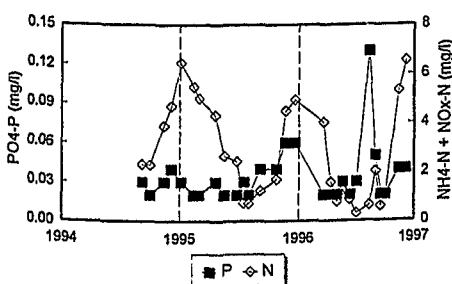
77 Noorddiep 3



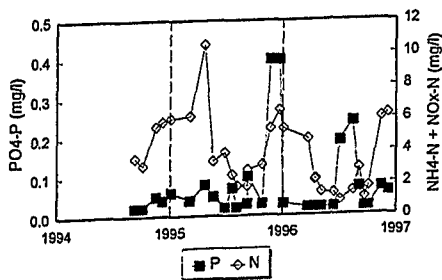
79 Bovenwijde



80 Het Meer Nijmegen

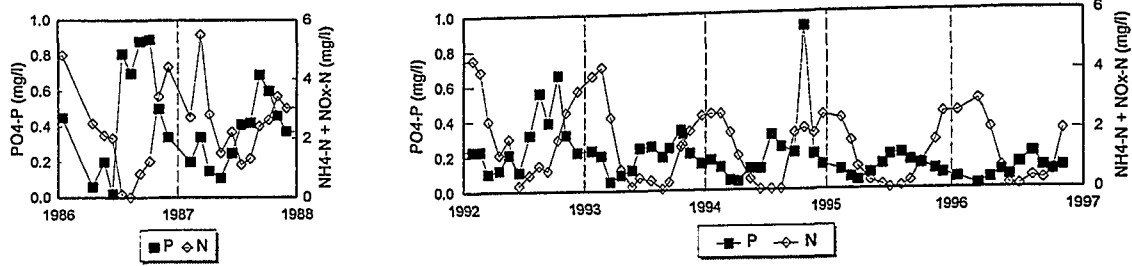


81 Wijermeer

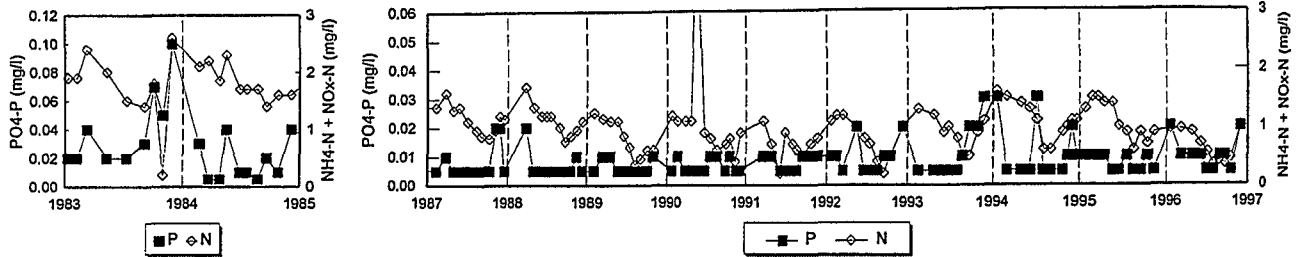


Bijlage V (vervolg)

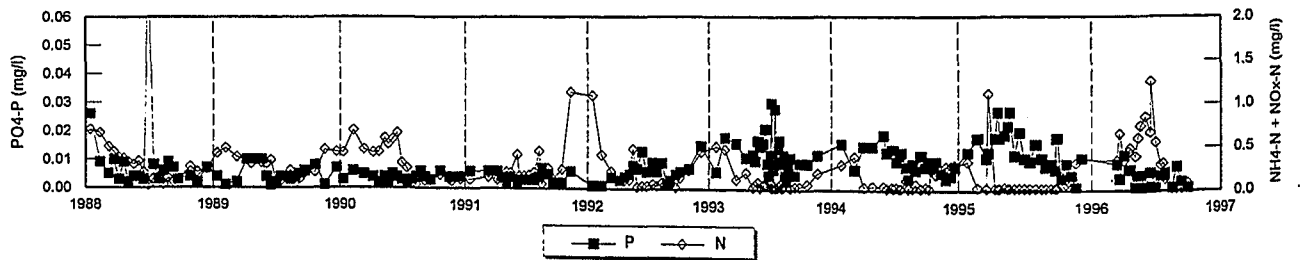
82 Abcoudermeer



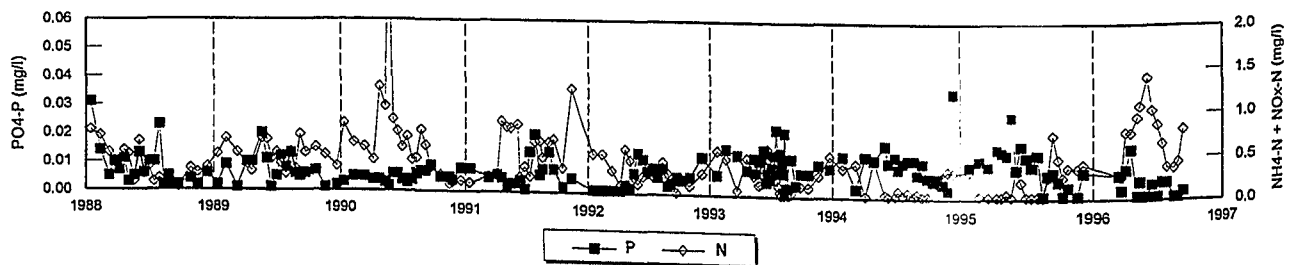
83 Gaasperplas



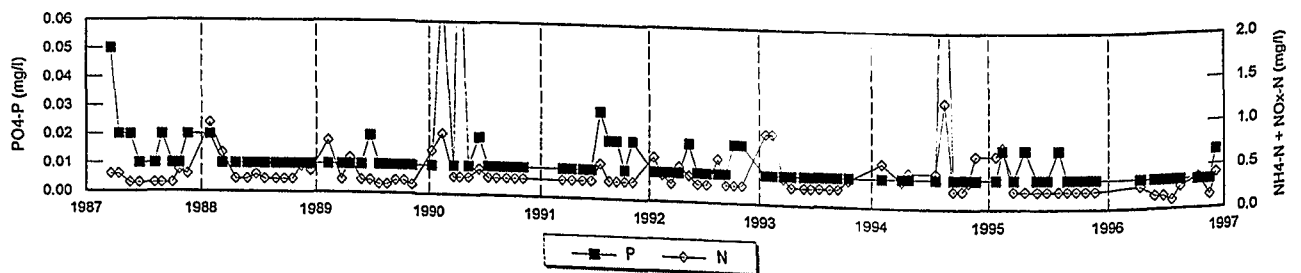
84 Botshol Grote Wije



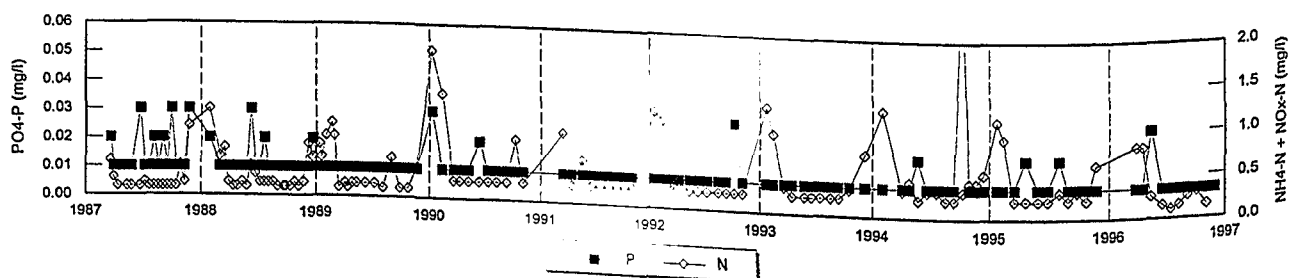
85 Botshol Kleine Wije



86 Het Hol

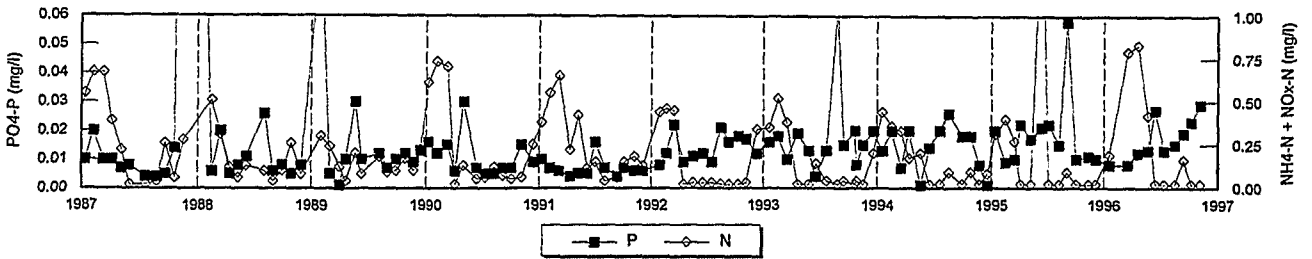
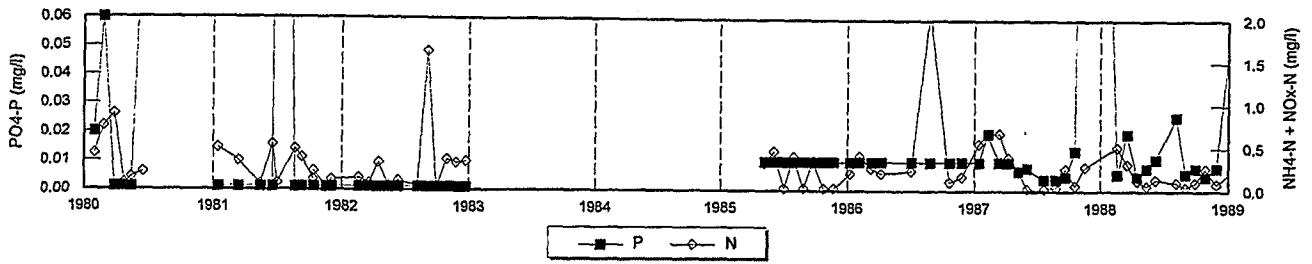


87 Kortenhoef

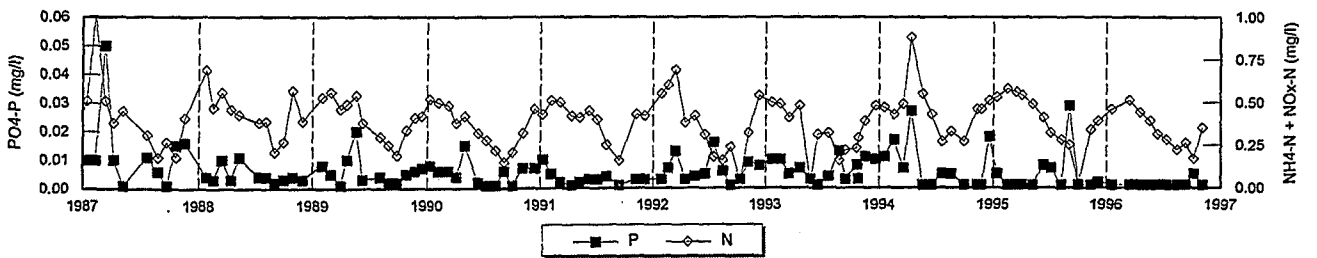


Bijlage V (vervolg)

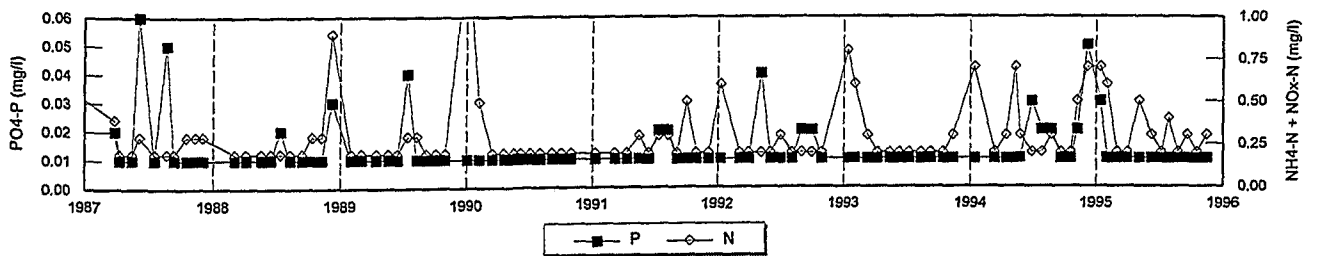
88 Loosdrechtse plassen



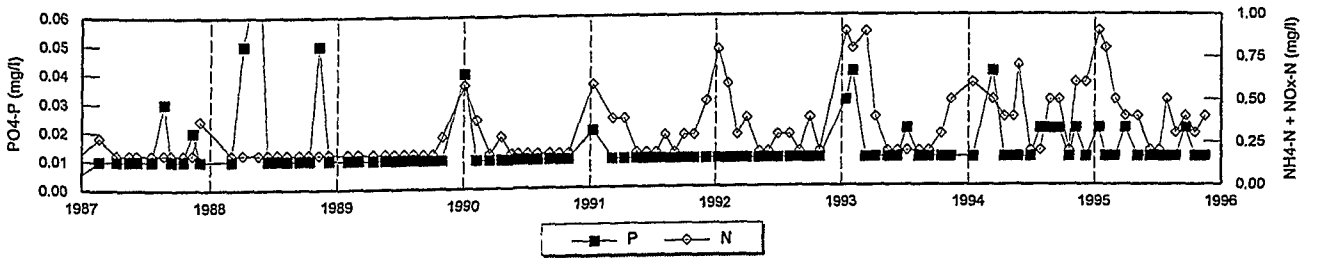
89 Maarseveense plas



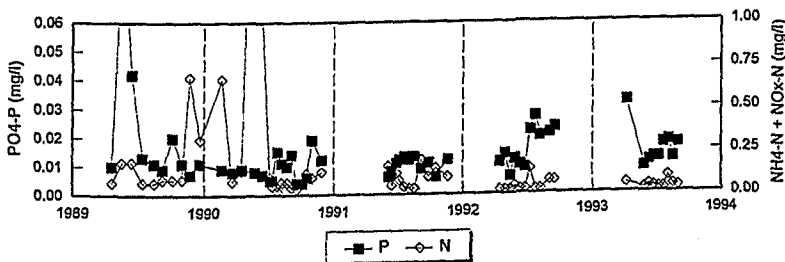
90 Naardermeer Wjde Blik



91 Naardermeer Grote Meer

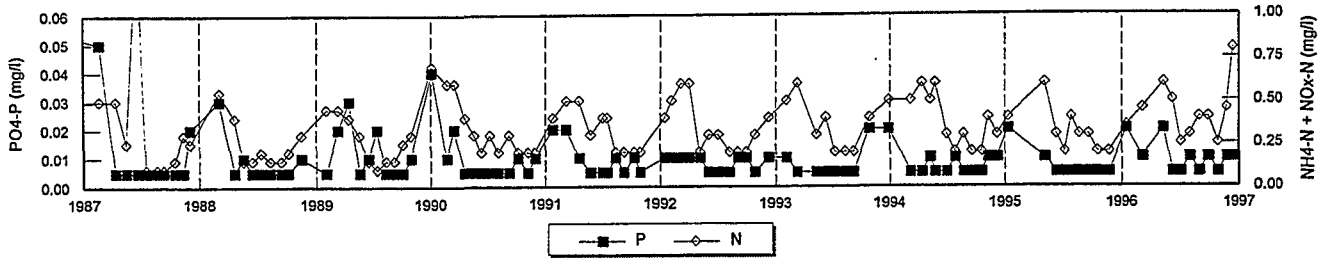


92 Breukeleveense plas

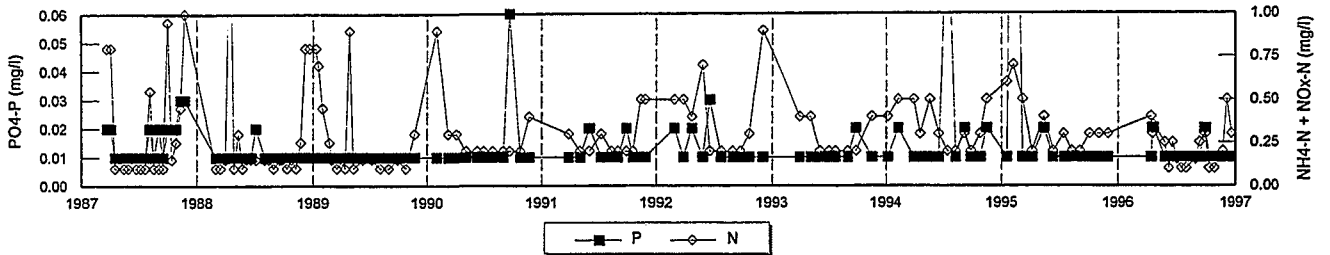


Bijlage V (vervolg)

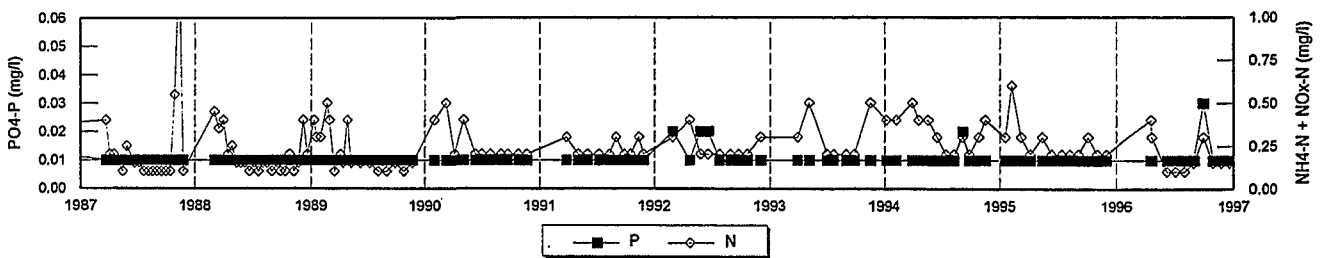
93 Spiegelplas



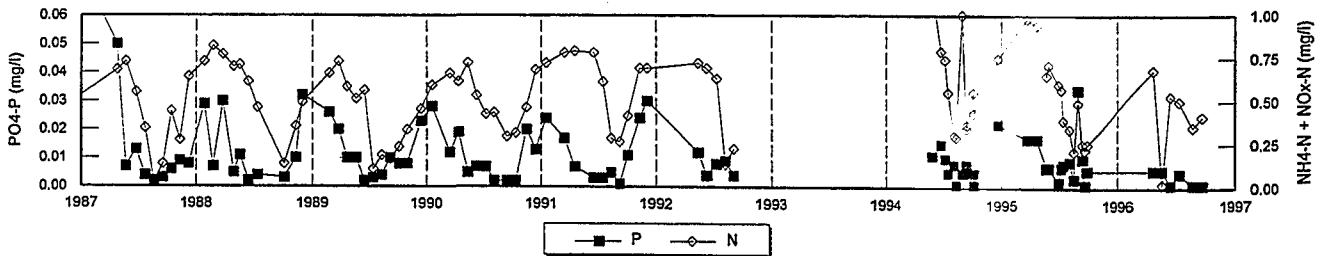
94 Hollands Ankeveense plas



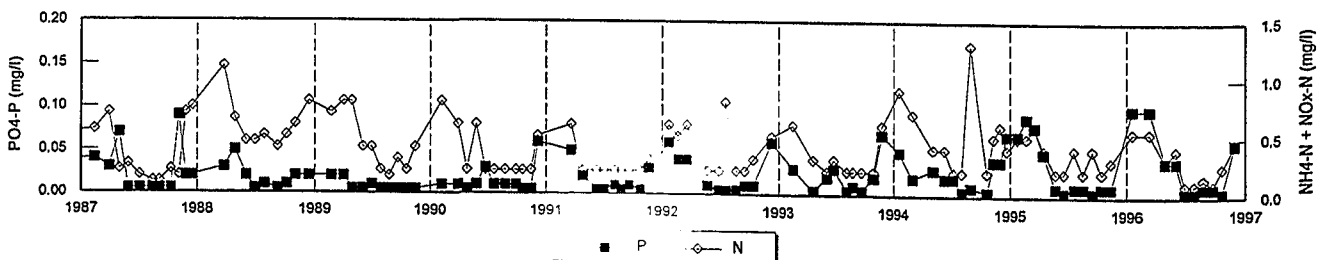
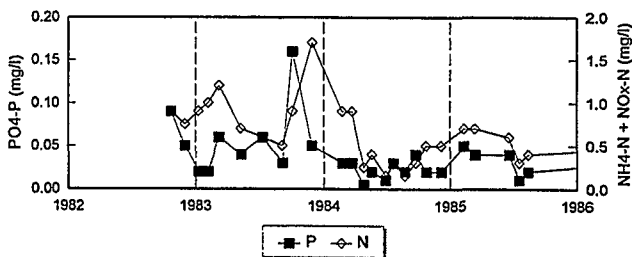
95 Stichts Ankeveense plas



96 Vinkeveense plas

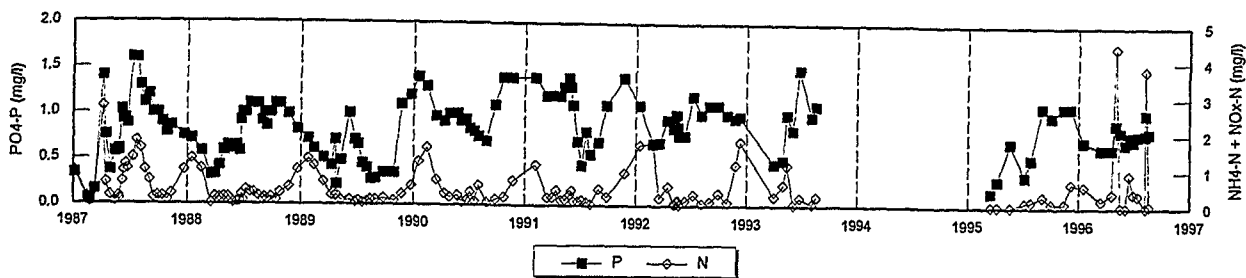


97 Ouderkerkerplas

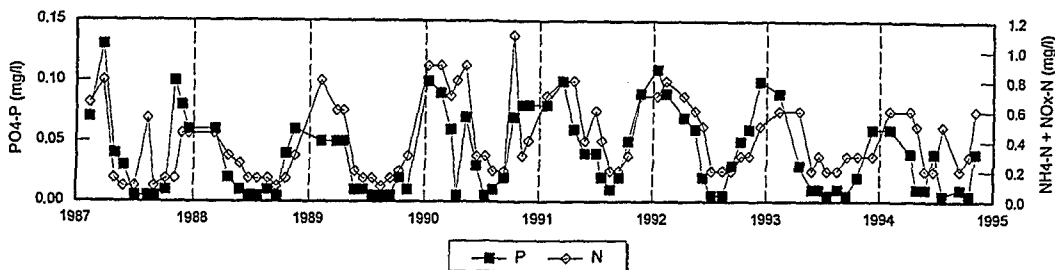


Bijlage V (vervolg)

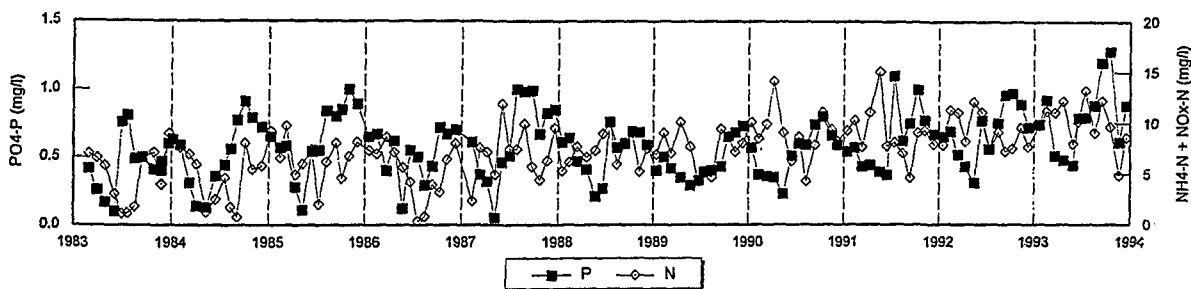
98 Zwemlust



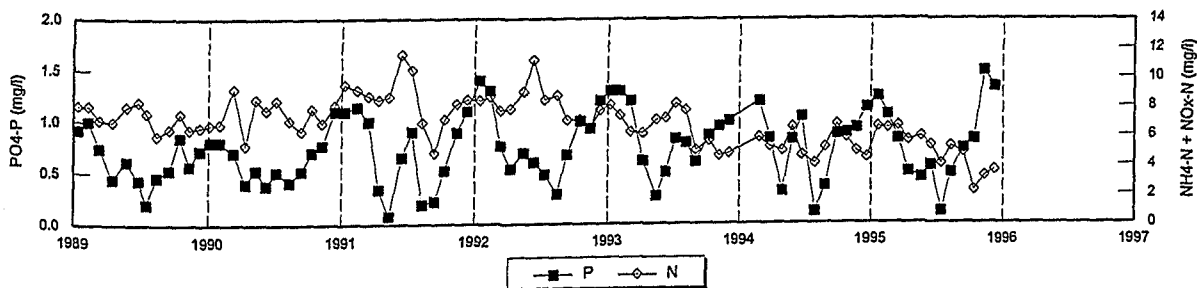
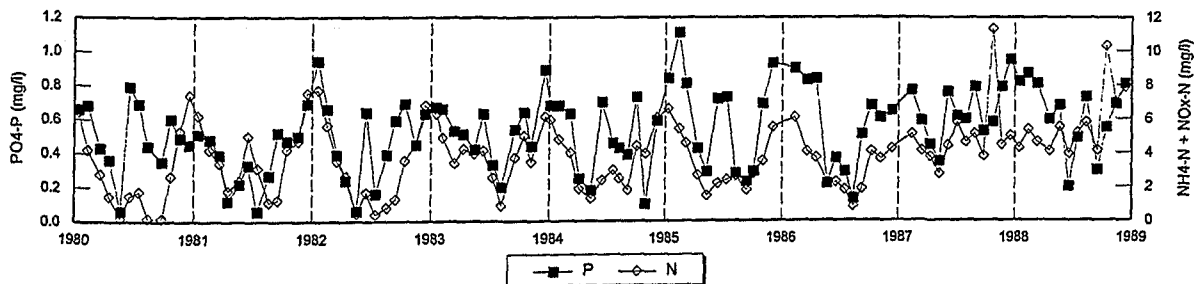
100 Wijde Blik



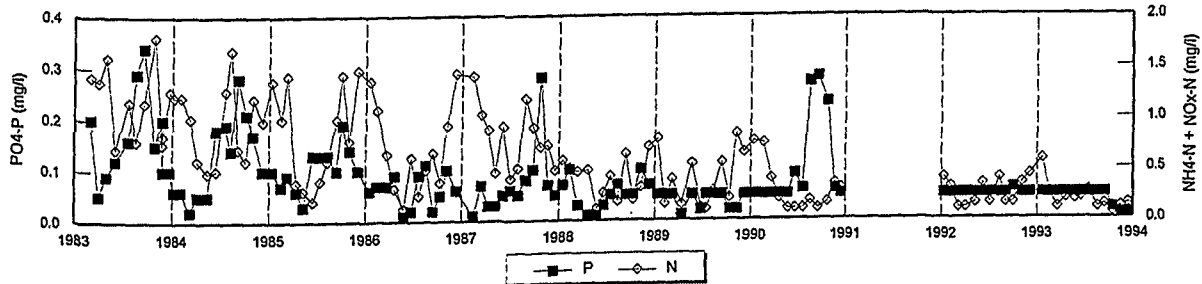
101 Bommeer



102 Oostmadeplas

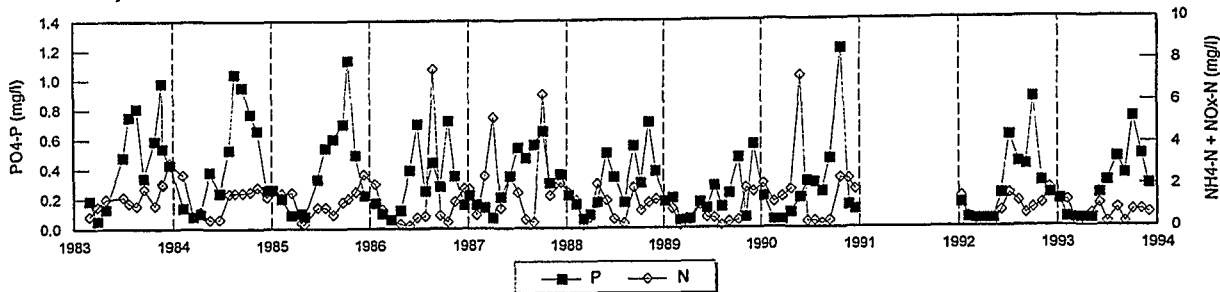


103 Oranjeplas

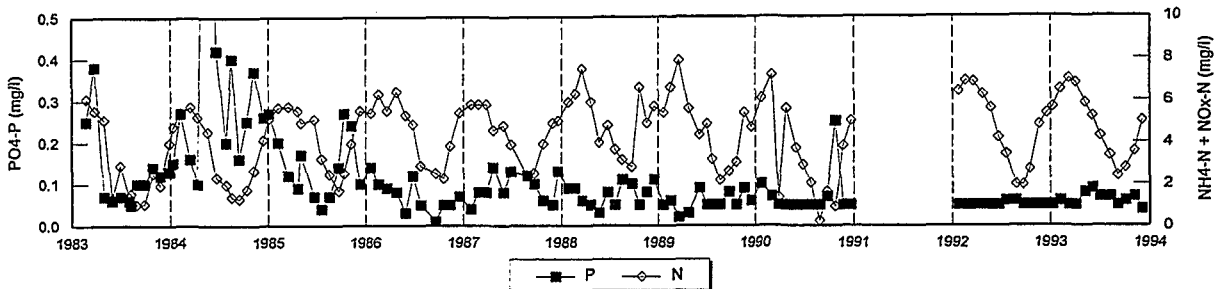


Bijlage V (vervolg)

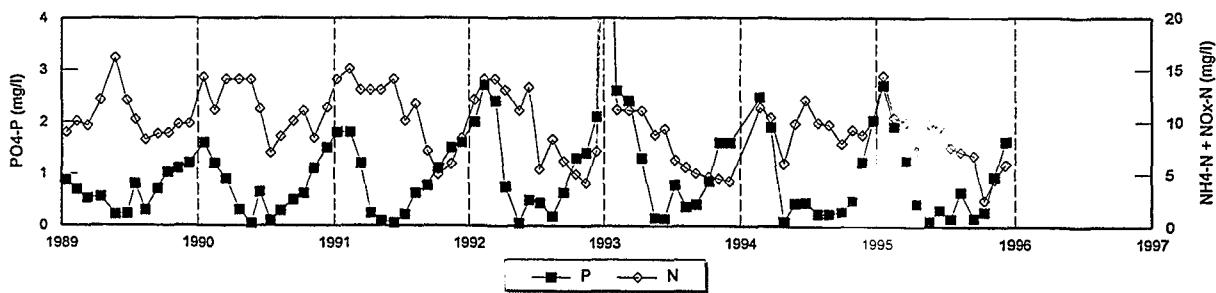
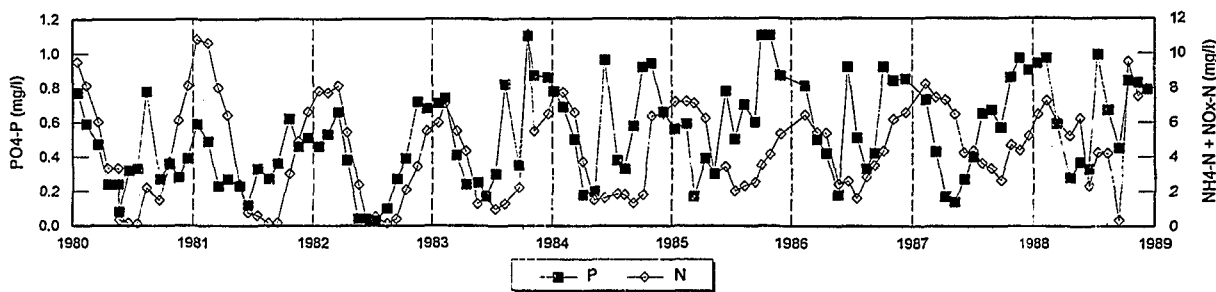
104 Plas van Buijsen



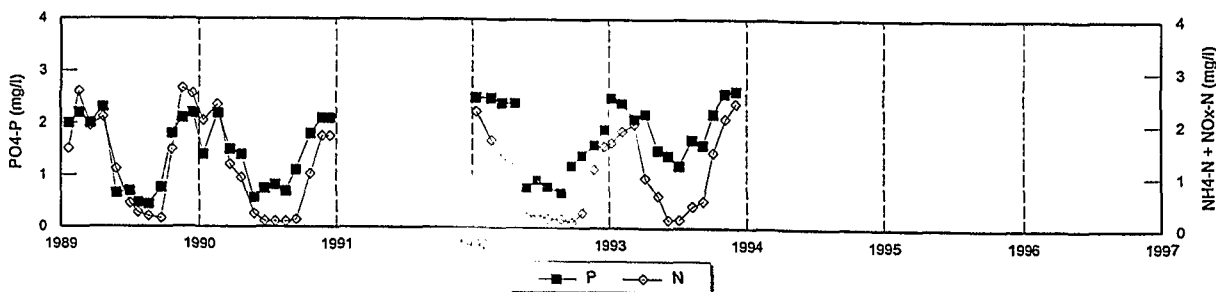
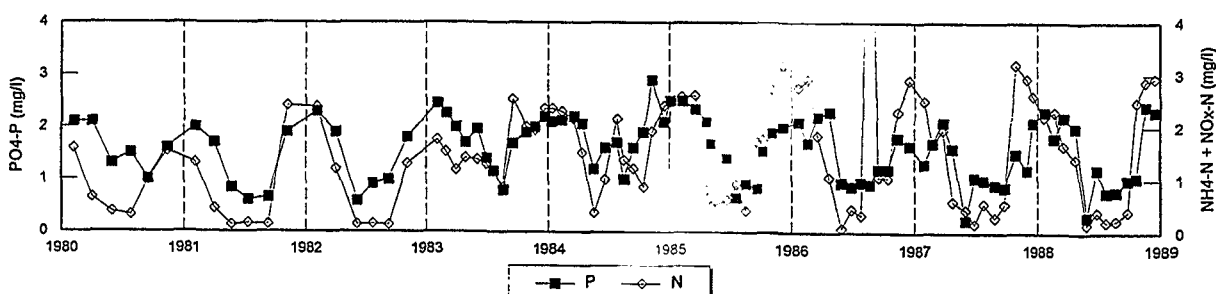
105 Plas van den Ende



106 Plas Prinsebos

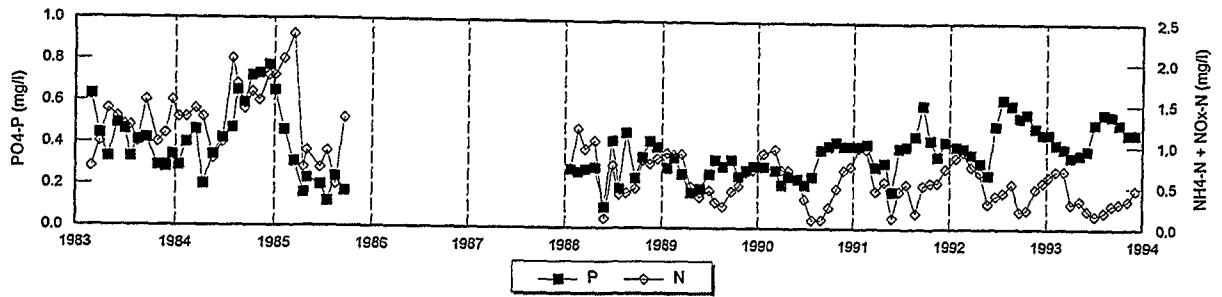


107 Plas van Reef

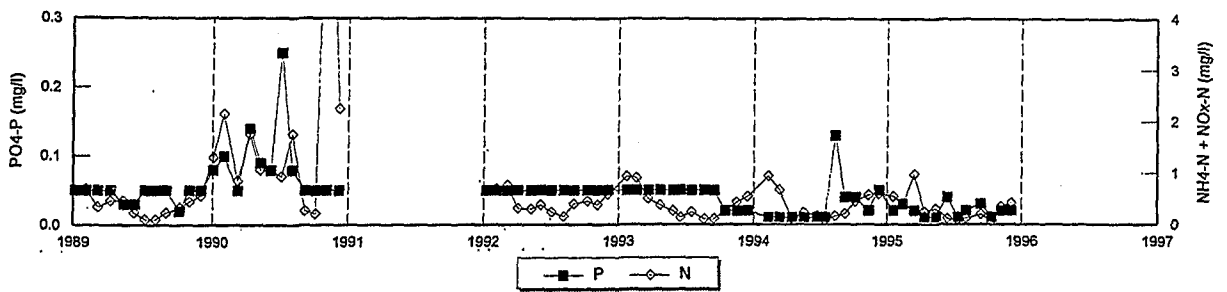
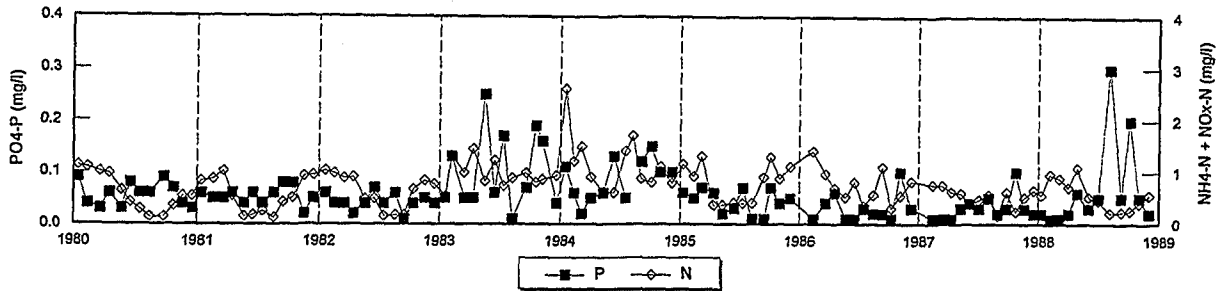


Bijlage V (vervolg)

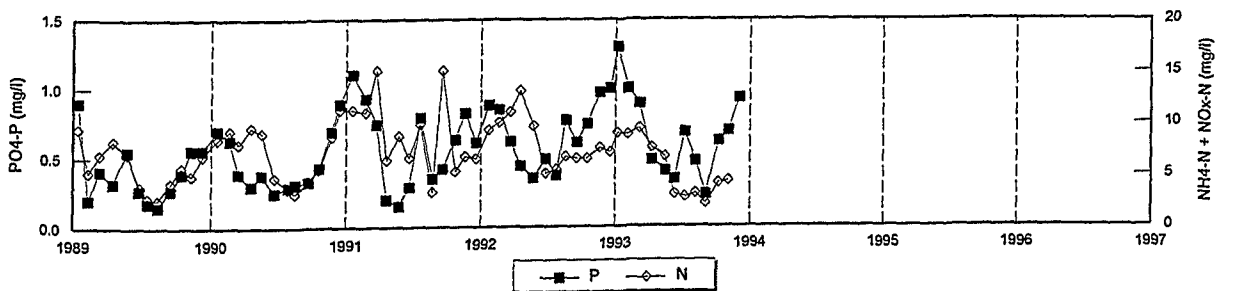
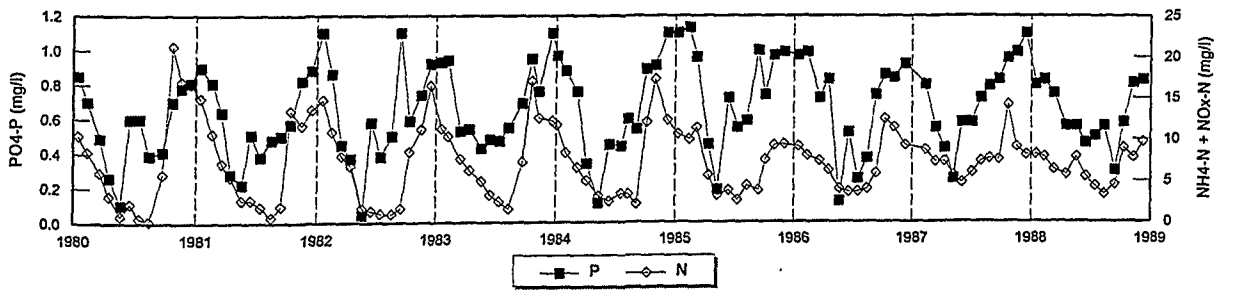
108 Put te Werve



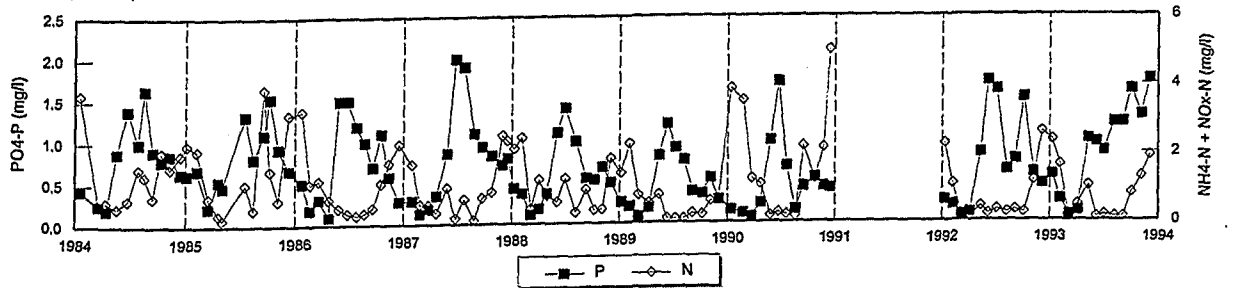
109 Plas Delftsche hout



110 Hoekje van alle winden

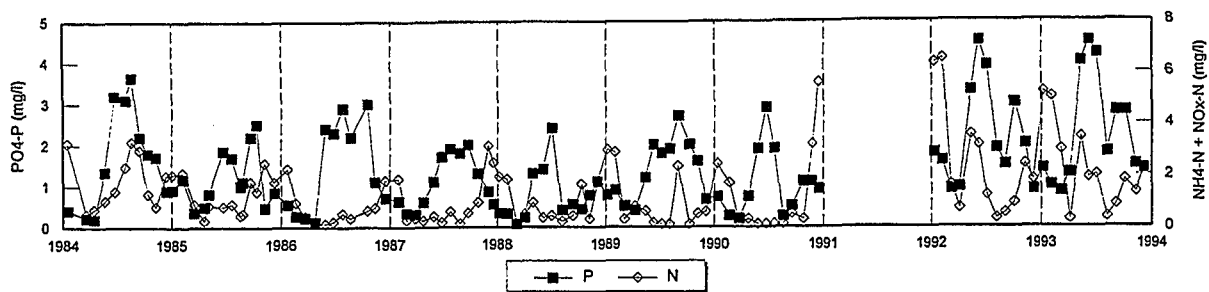


111 Akkerdijk voorplas

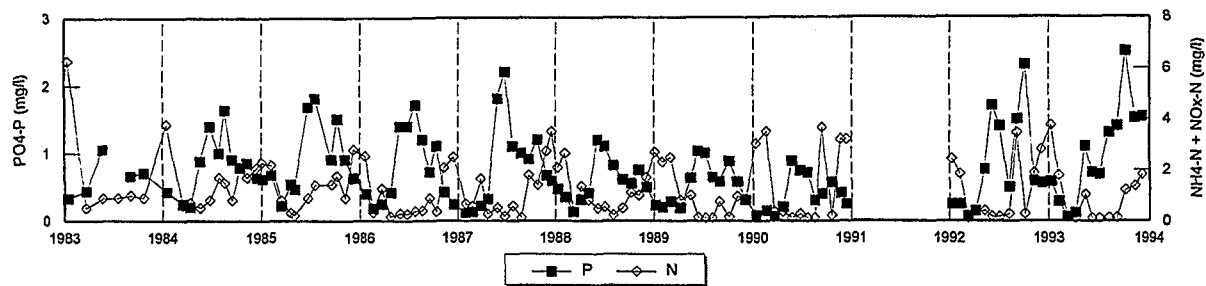


Bijlage V (vervolg)

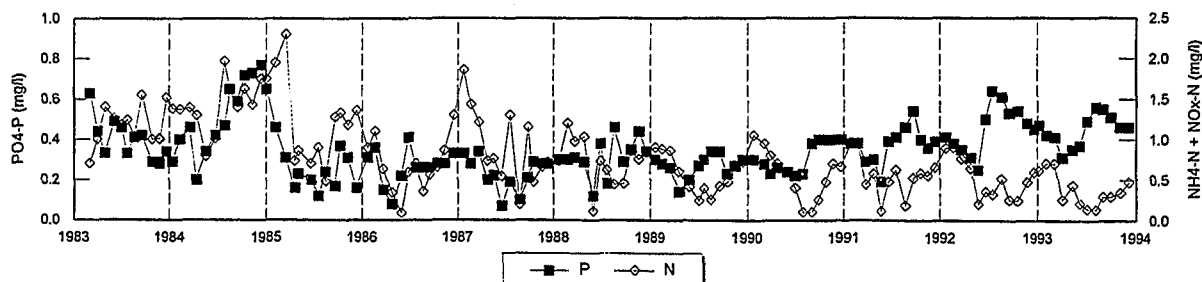
112 Akkerdijk grote plas



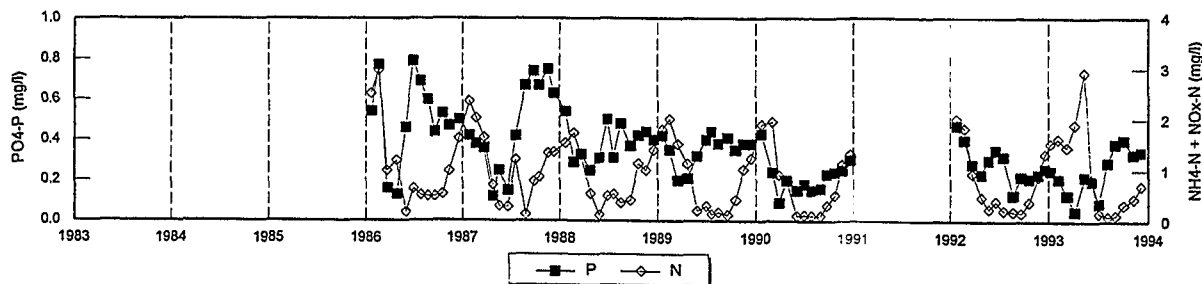
113 Akkerdijk Achterplas



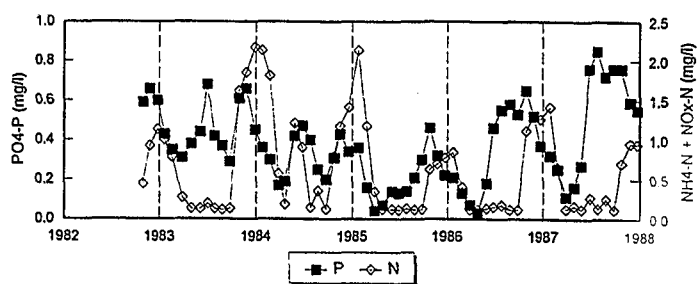
114 Zandput Delfland



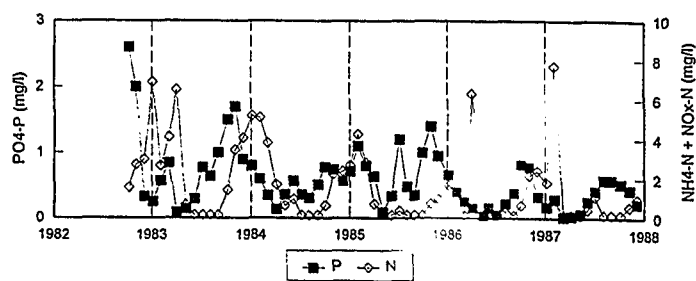
115 Tedingerbroek



116 Weegje

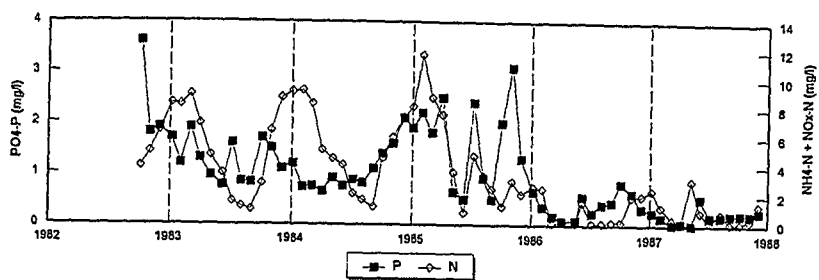


117 Bergse Voorplas

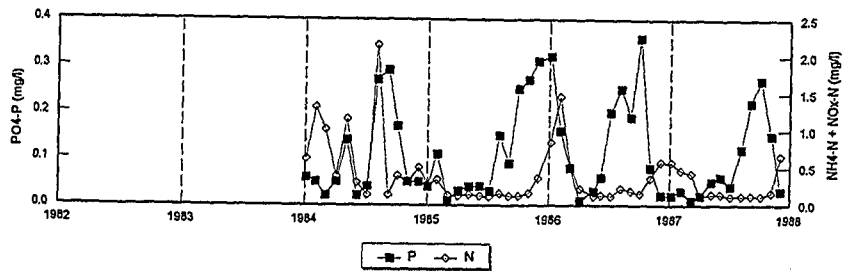


Bijlage V (vervolg)

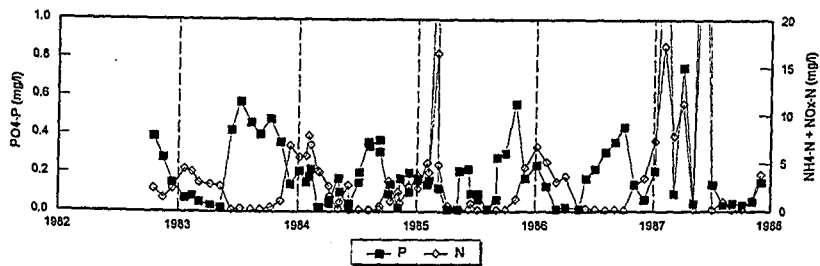
118 Bergsche Achterplas



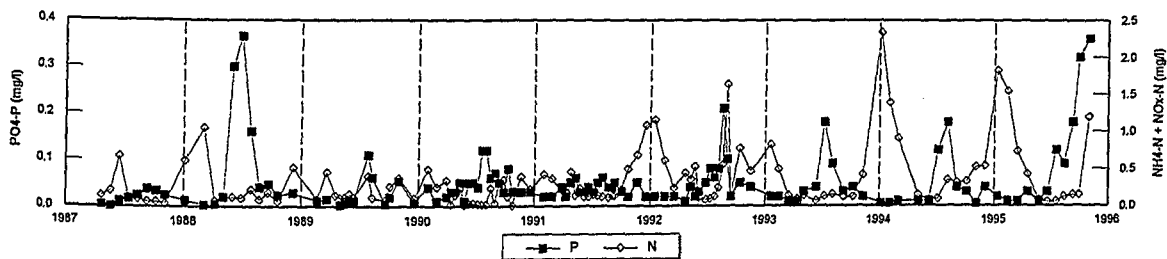
119 Kralingse Plas



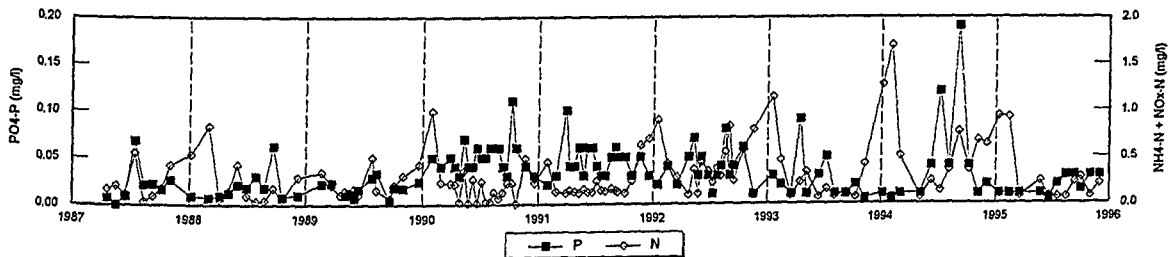
120 Rottemeren



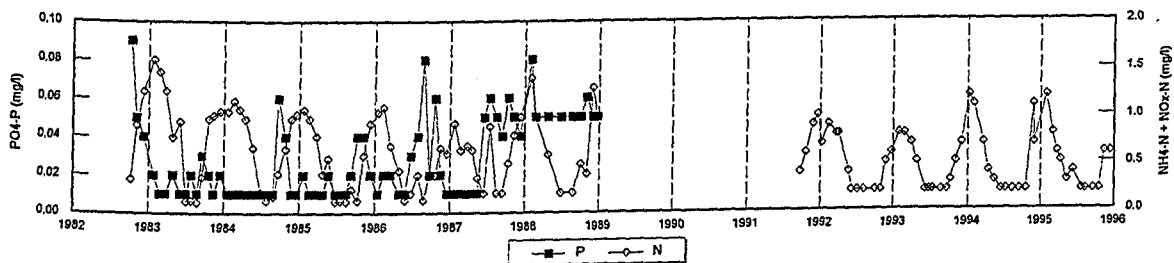
123 Galgje



124 Zeeltje

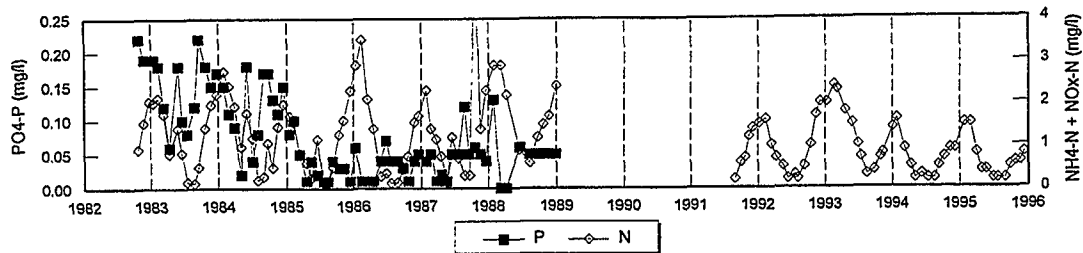


125 Schoonewoerdse wiel

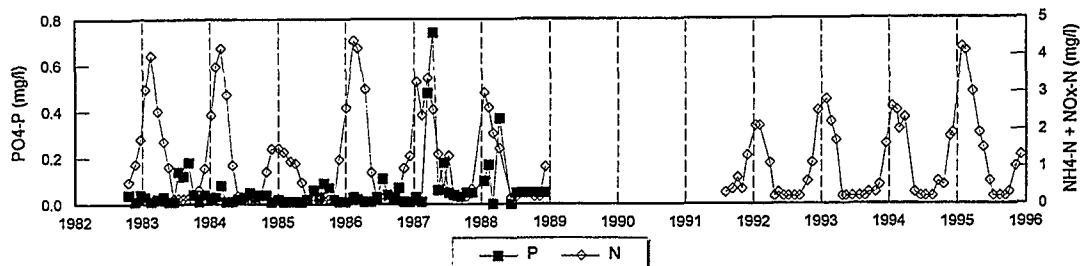


Bijlage V (vervolg)

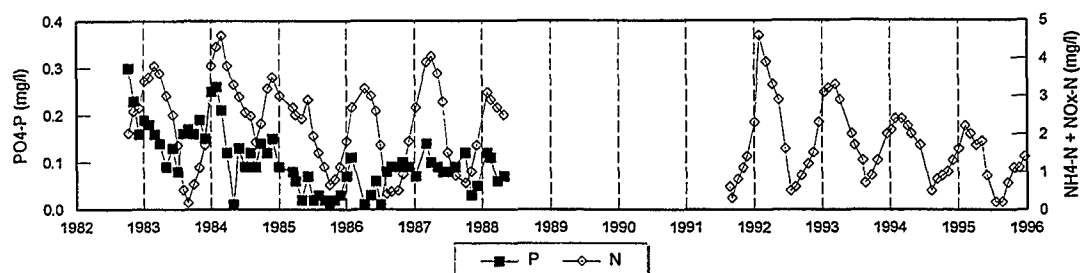
126 Waalboezem



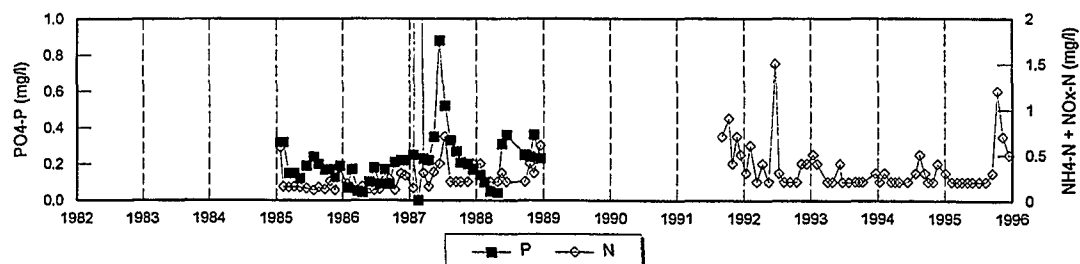
127 Binnenbedijkte maas



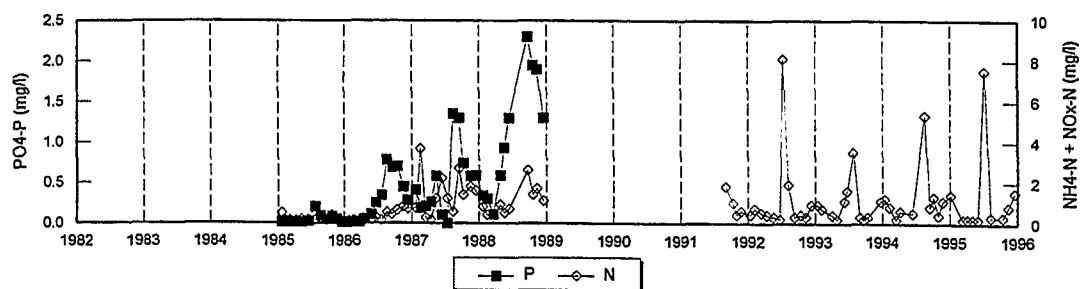
128 Brielse meer



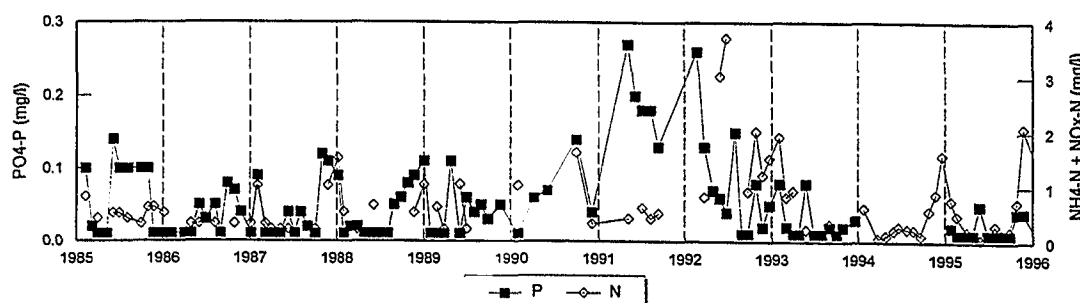
129 Quackjeswater



130 Breedewater

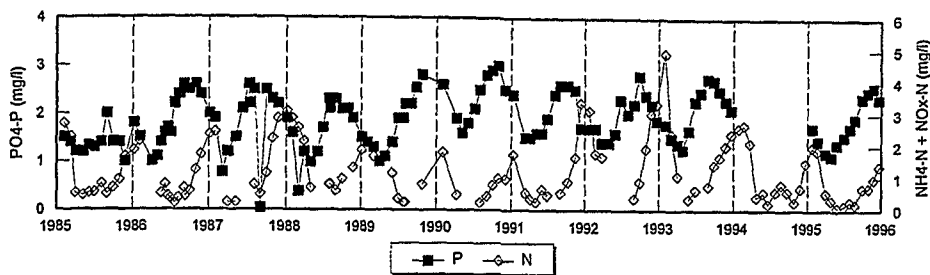


131 Vroonplas

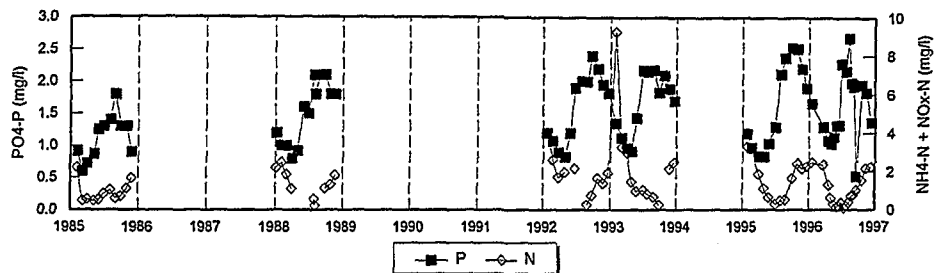


Bijlage V (vervolg)

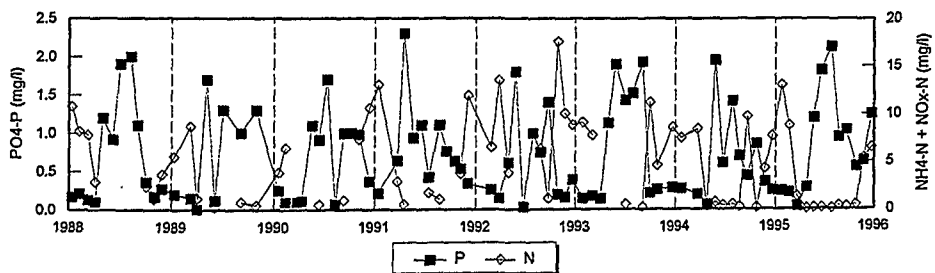
132 Ouwerkerkse creek



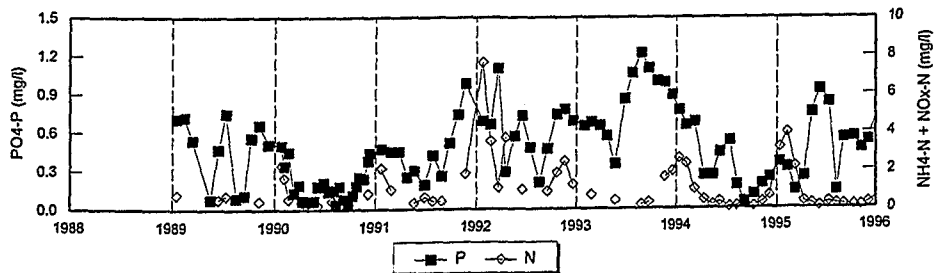
133 Schelphoek



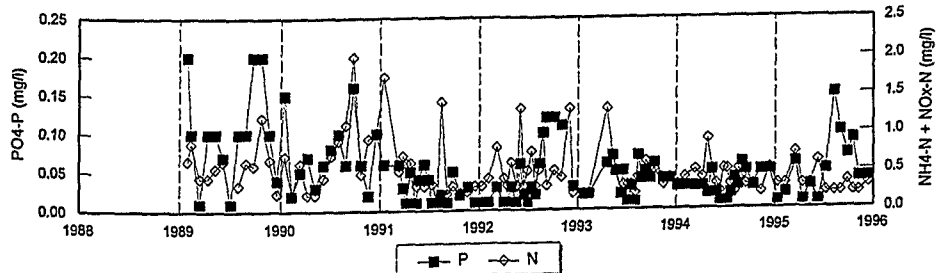
134 Bruintjeskreek



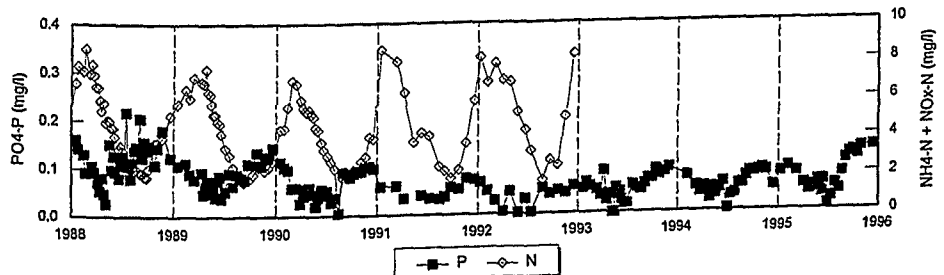
135 Zwaakse Weel



136 Binnenscheide

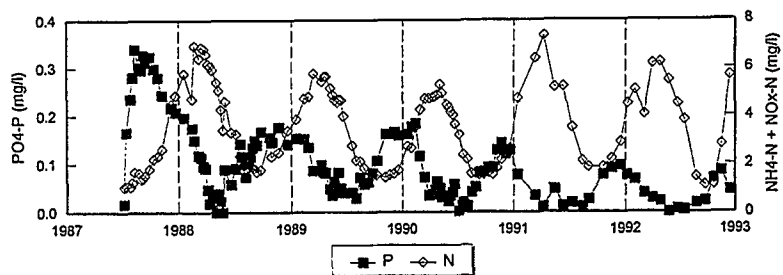


137 Volkerak

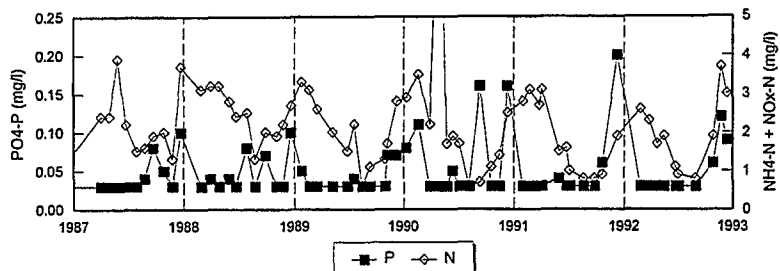


Bijlage V (vervolg)

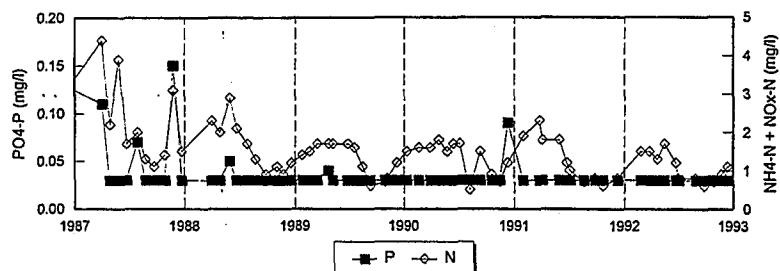
138 Zoommeer



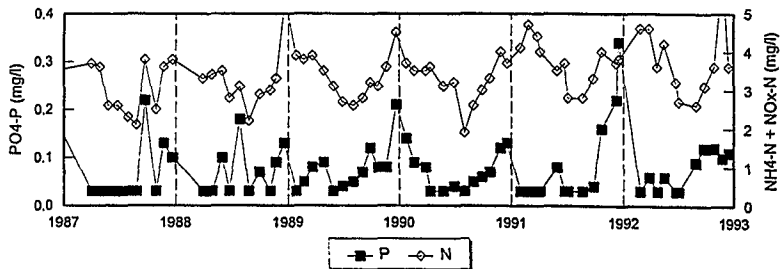
139 Mookerplas 1



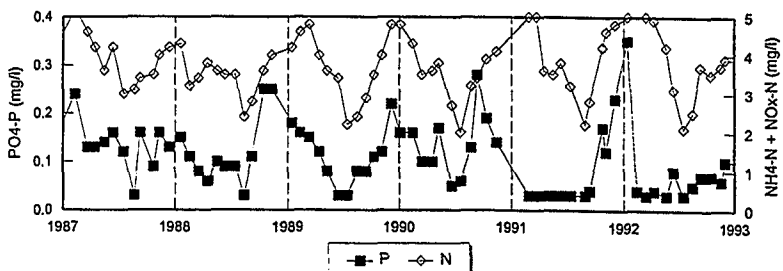
140 Mookerplas 2



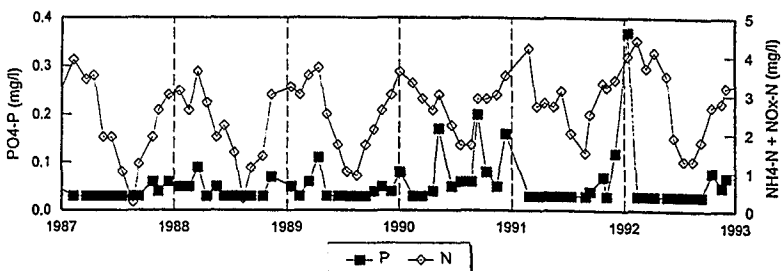
141 Leuken



142 Rijkelse Plas

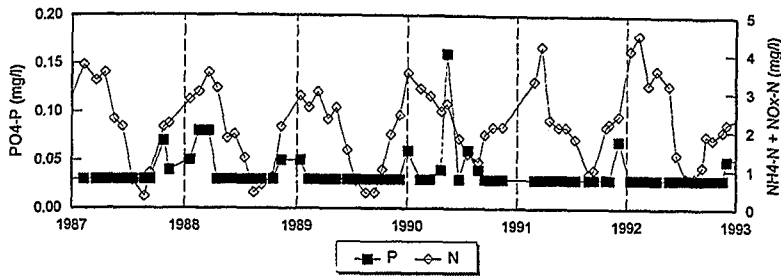


143 Asseltse Plas 1

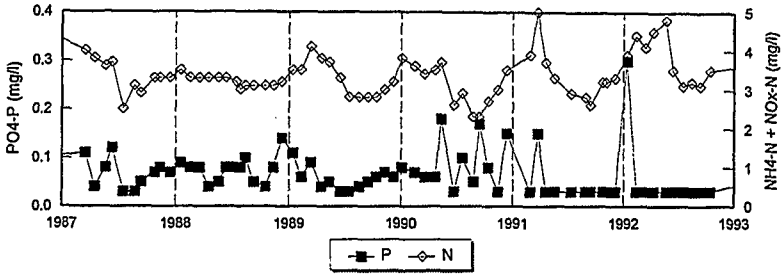


Bijlage V (vervolg)

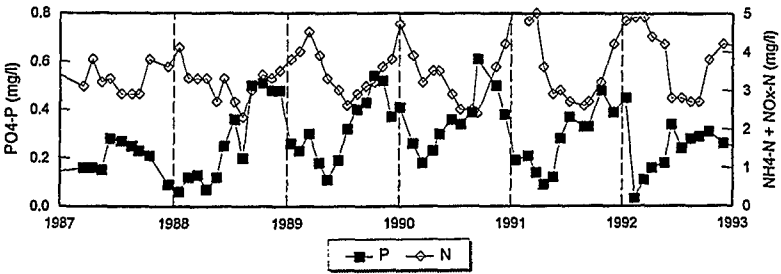
144 Asseltse Plas 2



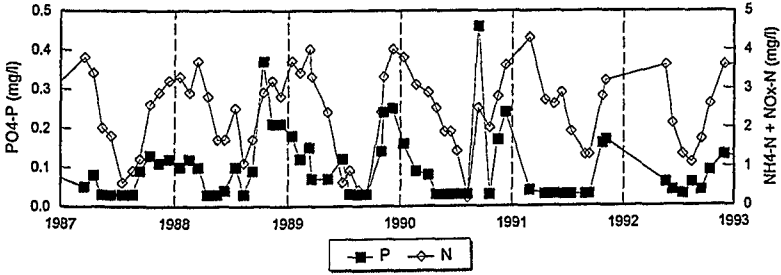
145 Oolerplas



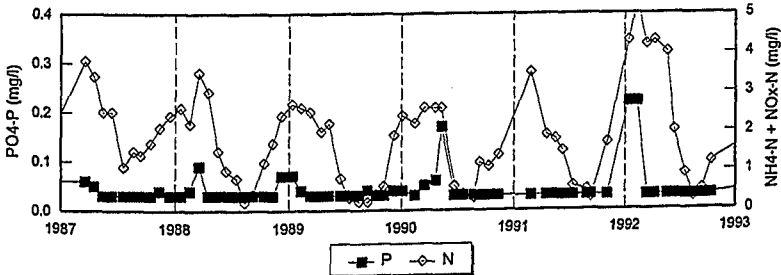
146 Molengreend



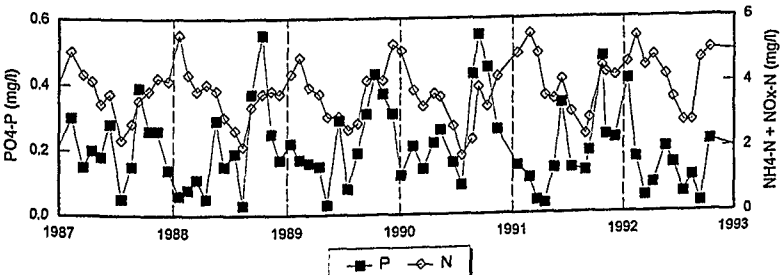
147 Brandt



148 Dijkense Plas

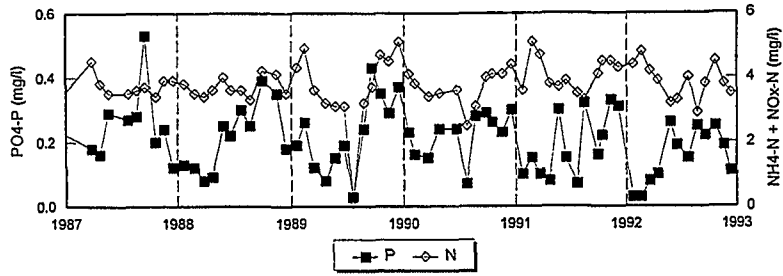


149 Schroevedaalse Plas

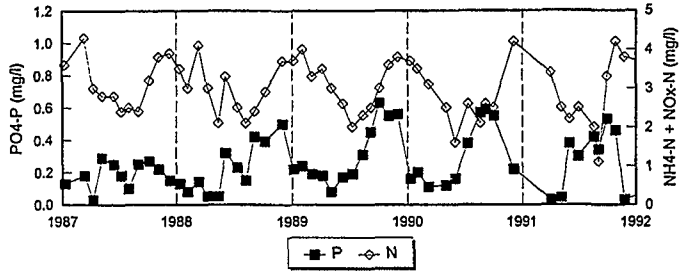


Bijlage V (vervolg)

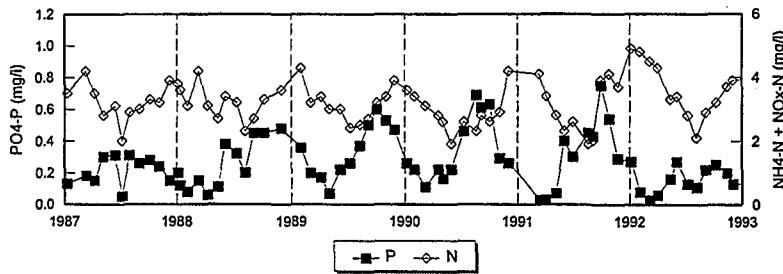
150 Koeweide



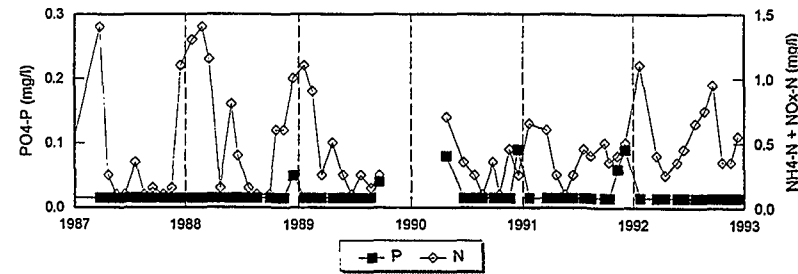
151 WRC Eijsden 1



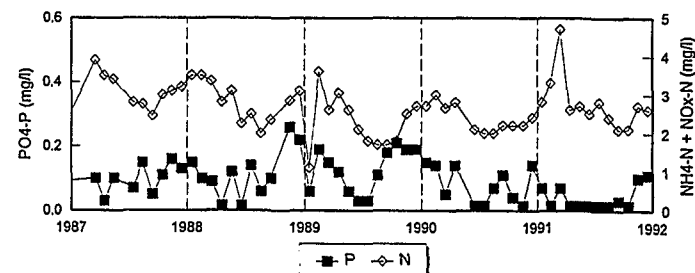
152 WRC Eijsden 2



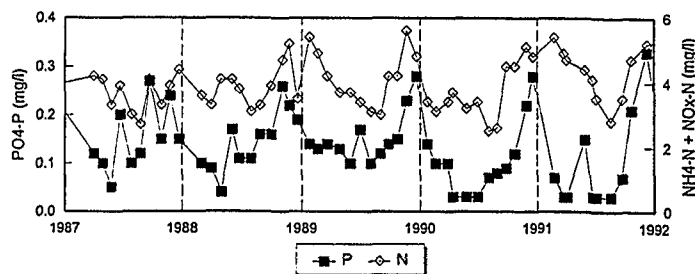
153 IJzeren Man



154 Grote Heg

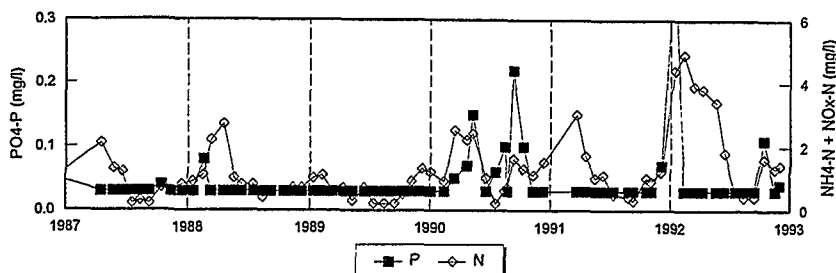


155 Paesplas

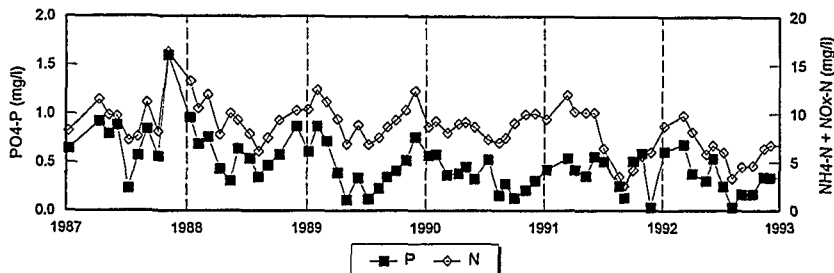


Bijlage V (vervolg)

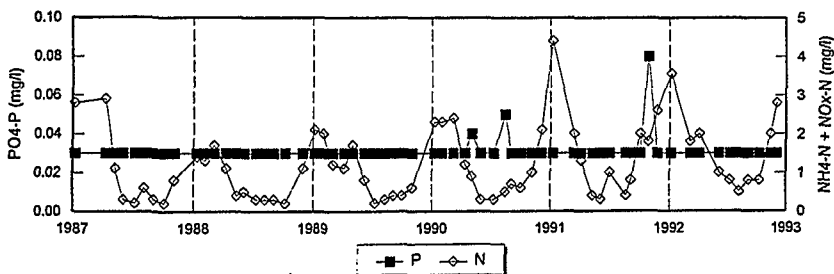
156 Huiskensplas



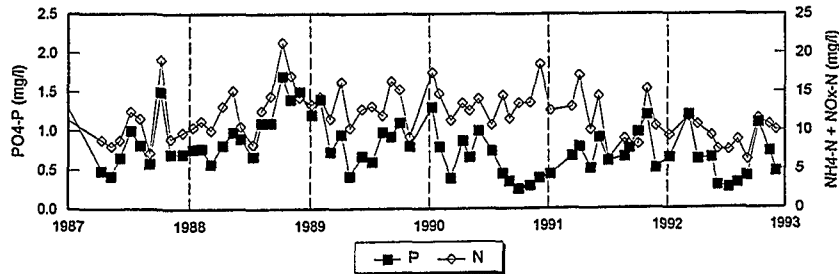
157 Craneweijer uitstroming



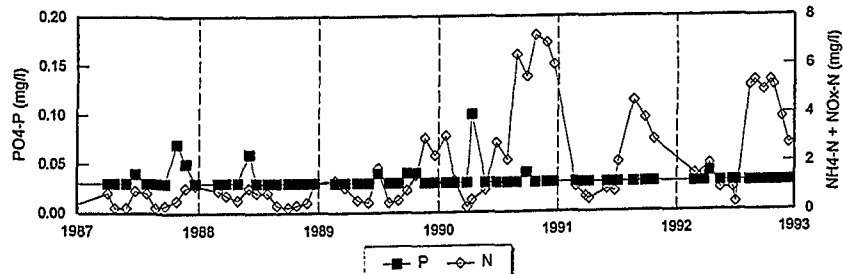
158 Geulstrand Valkenburg



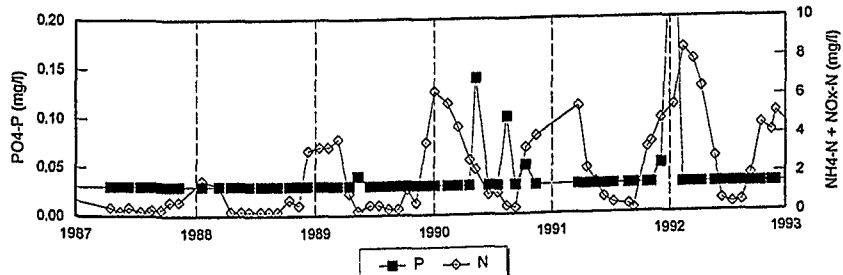
159 Craneweijer Brug



160 Venkoelen

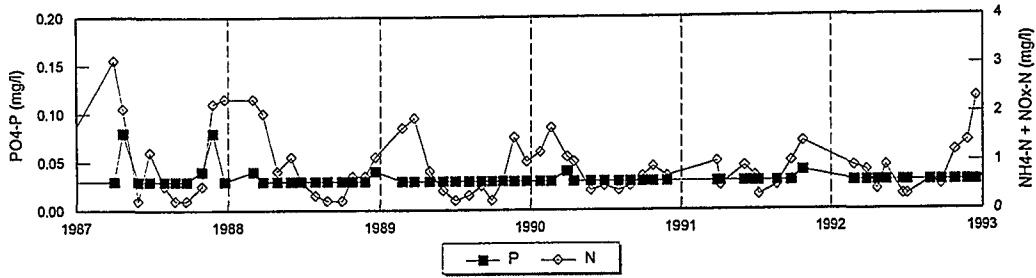


161 De Doort

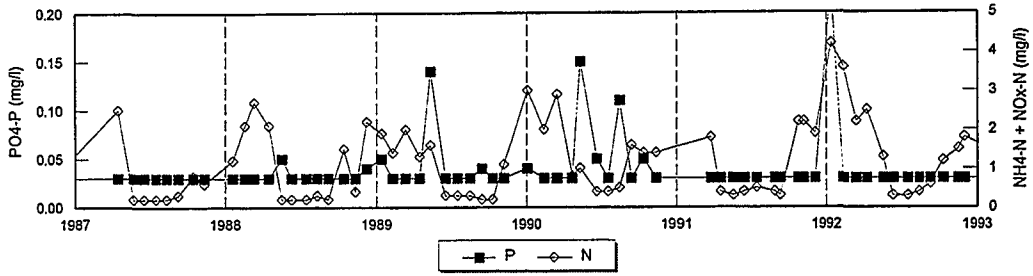


Bijlage V (vervolg)

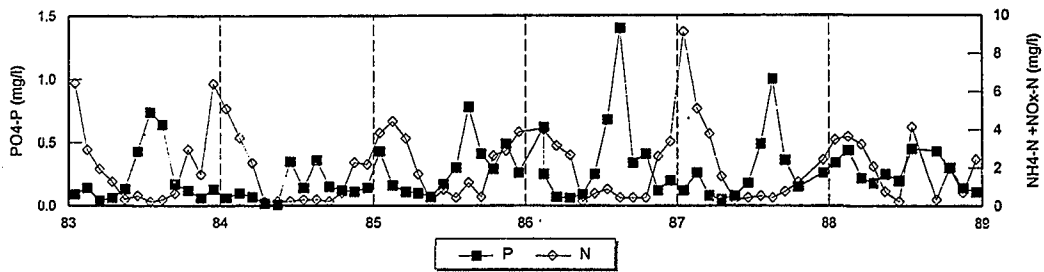
162 Put by America



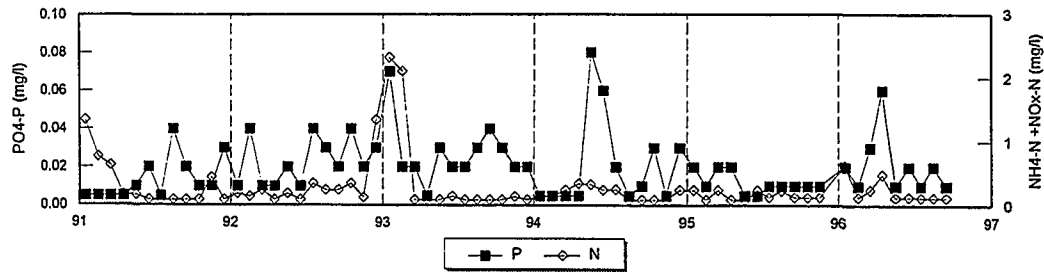
163 Elba



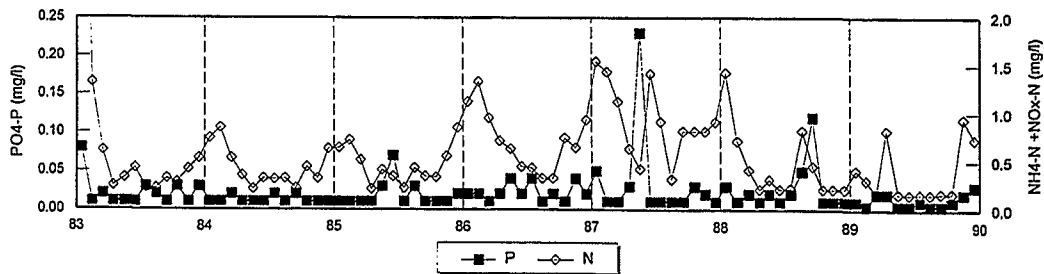
166 Botmeer



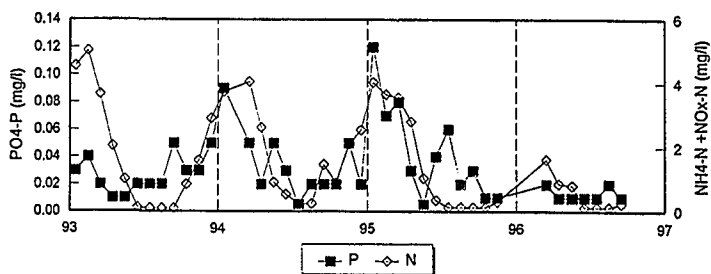
173 Nanneveld



184 Scharrewiel

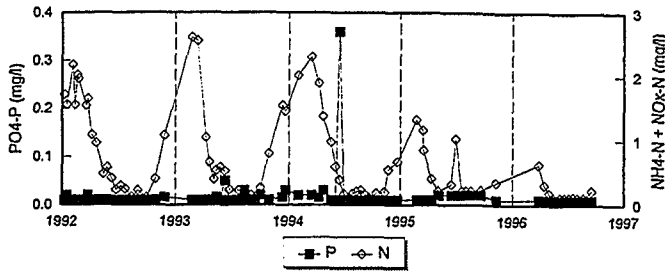


185 Witte/Zwarte Brekken

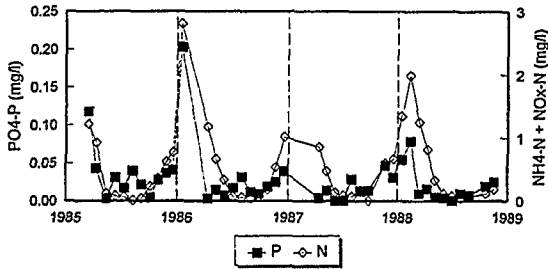


Bijlage V (vervolg)

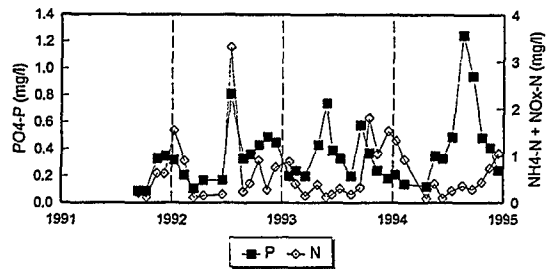
187 Duinigermeer



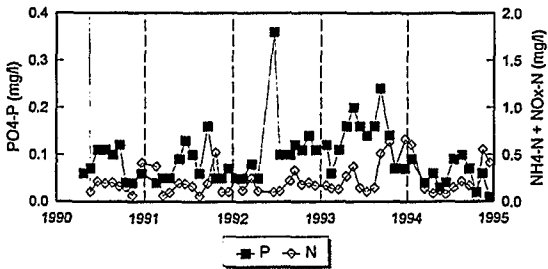
191 Gouwzee



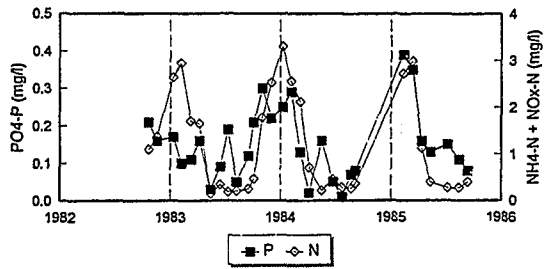
192 Fortgracht Edam



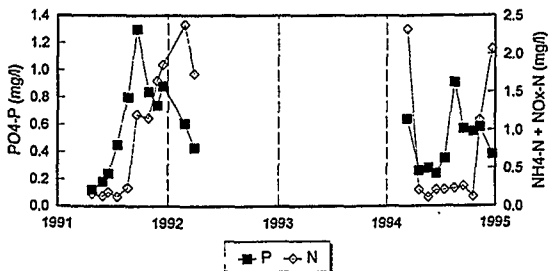
193 Fortgracht Veldhuis



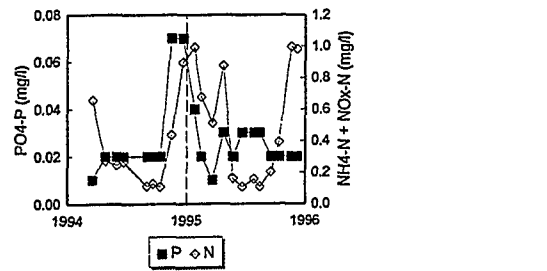
194 Holysloter Die



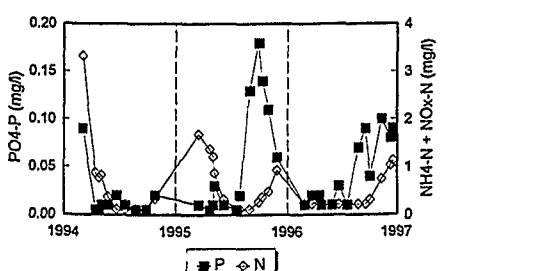
196 Natuurbad Wjde Wormer



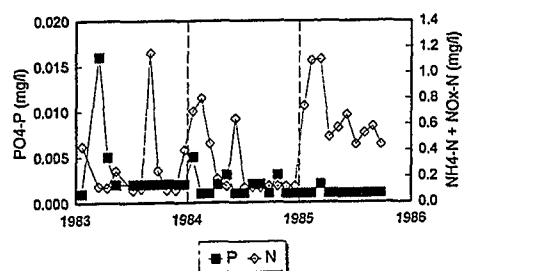
197 Wijlerbergmeer



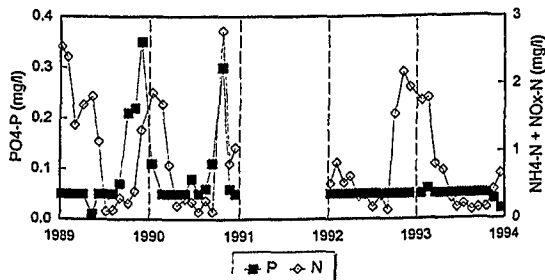
198 De Waaij



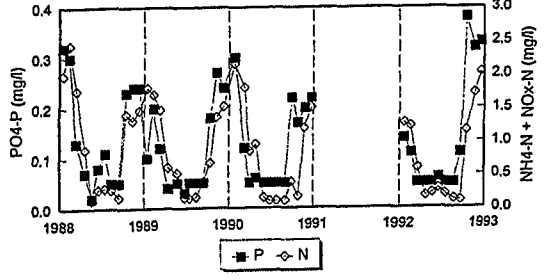
199 Vuntus



200 Dobbeplass

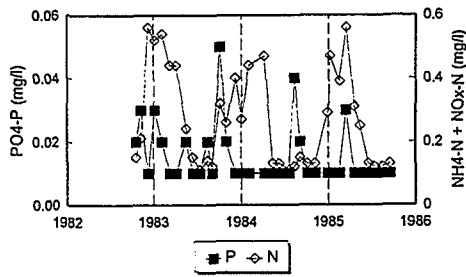


201 Surfplas Wilhelminapolder

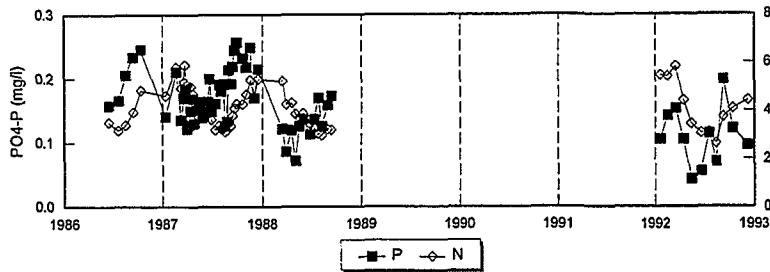


Bijlage V (vervolg)

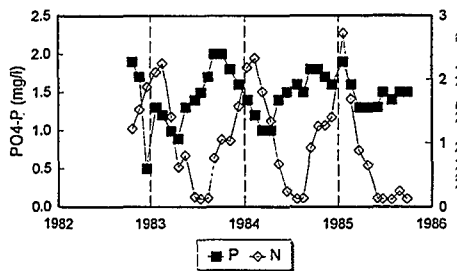
203 Helsingen



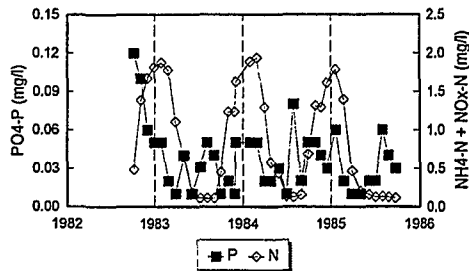
204 Hollands Diep



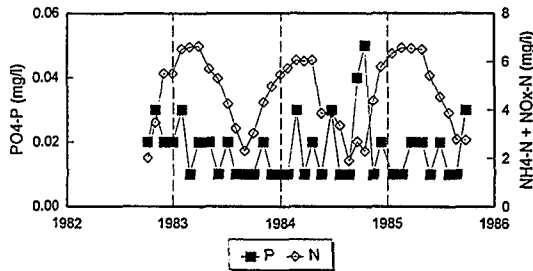
205 Kattendijks Wiel



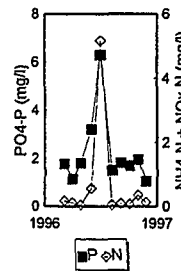
206 Lammetjeswiel



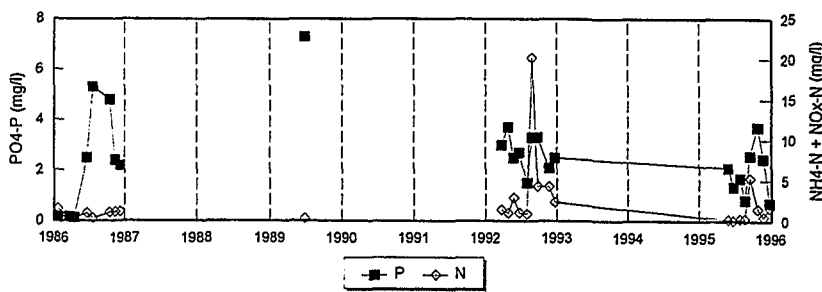
207 Put van Otoland



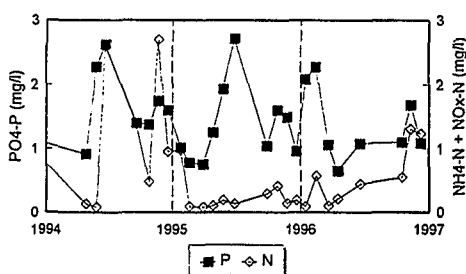
208 Boezem 1



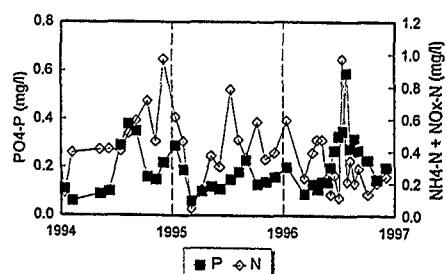
209 Boezem 2



210 Flauwersinlaag

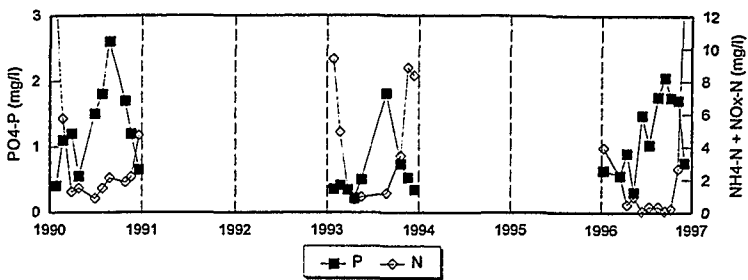


212 Goese Meer

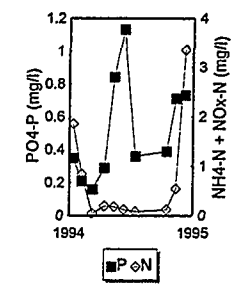


Bijlage V (vervolg)

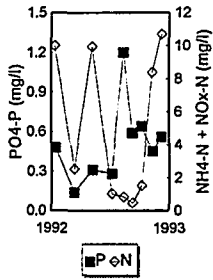
215 Sloekreek



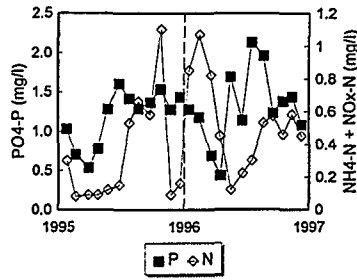
217 Terluchtse Weel



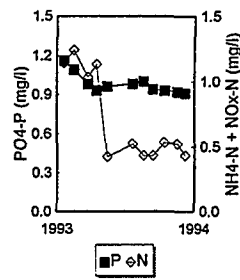
218 Veerse Kreek



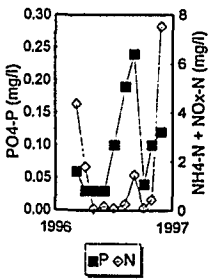
219 Weeversinlaag



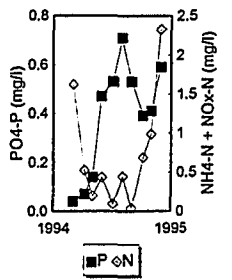
220 Westkapelsekreek



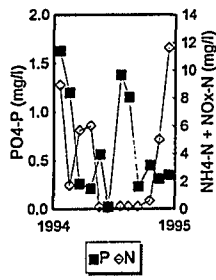
221 Boschkreek



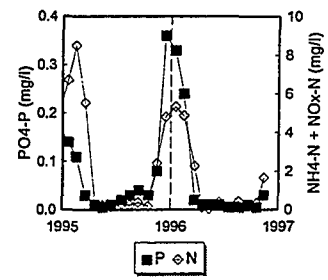
222 Canisvliet



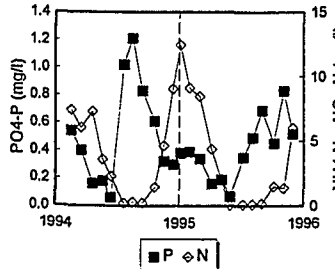
223 Kromme Stierskreek



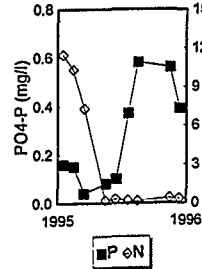
224 Luntershoek



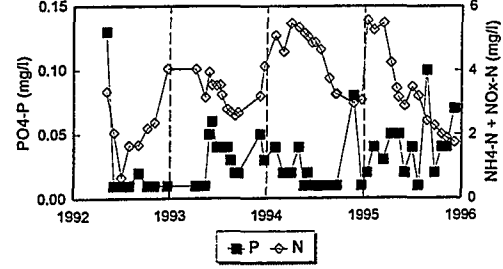
225 Nieuwerkse Kreek



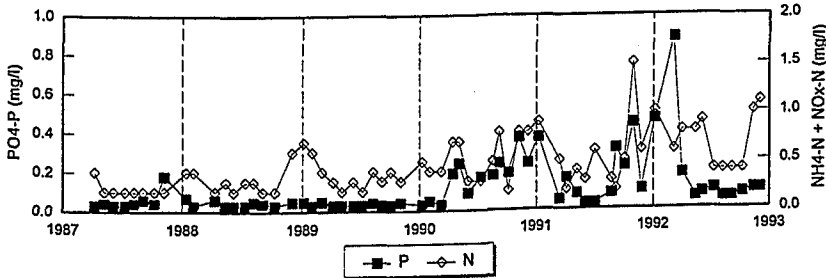
226 Vogelkreek



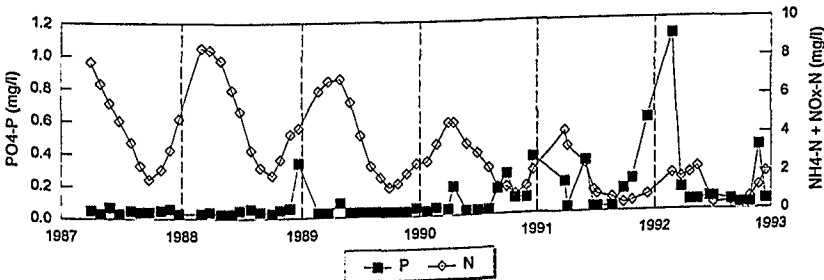
227 De Kuil



228 Blankevoort



230 Kasteelse Bossen



231 Zavelveld

