

Algengroei in het PWN-bekken

Juni 1992

G. Bolier / B. van der Veer / S. Wuijts

Rapp
CT

WMG-Gez.
92-01

**TU Delft**
Technische Universiteit Delft

Faculteit der Civiele Techniek

N.V. PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland
Bloemendaal

574741

Algengroei
in het
PWN-bekken

Technische Universiteit Delft
Faculteit CiTG
Bibliotheek Civiele Techniek
Stevinweg 1
2628 CN Delft

G. Bolier
B. van der Veer
S. Wuijts

Juni 1992

N.V. PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland
Bloemendaal

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek

Rapp
CT
WMG-Gez.
92-01

3101 780

Voorwoord

Al enige tijd kampt de N.V. PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland in bepaalde tijden van het jaar met problemen bij de zuivering van het water als gevolg van hoge concentraties algen. Hierdoor wordt het behalen van de vereiste capaciteit bemoeilijkt. Een aantal maatregelen die een voldoende productie van drinkwater van een goede kwaliteit kunnen waarborgen, worden overwogen. Een van deze maatregelen is de omstandigheden in het bekken zodanig te veranderen dat de algen groei in het bekken vermindert. Beperking van de lichthoeveelheid die algen voor hun groei nodig hebben is een mogelijkheid. Dit kan worden bereikt door het uitdiepen van het bekken en het over de vertikaal in circulatie houden van de algen.

In eerste instantie is geprobeerd de algengroei in een verdiept bekken te berekenen met behulp van het zogenaamde lichtmodel ontwikkeld voor de Biesbosch bekkens. Echter door een tekort aan gegevens over de parameters in dit model vertoonden de resultaten een zo grote spreiding dat ze niet bruikbaar waren. Er was geen mogelijkheid voor het doen van aanvullende metingen. Informatie over de gewenste diepte van het uit te diepen bekken was op deze wijze niet verkrijgbaar.

Een tweede mogelijkheid was trachten inzicht te krijgen in de processen in het bekken, in vergelijking met het naastliggende, diepe WRK-bekken. Op grond van een goede analyse van deze processen kunnen die processen onderkend worden die de algengroei bepalen. Beïnvloeding van deze processen kan leiden tot een reductie van de algengroei.

Daarom is besloten stofbalansen op te stellen met behulp van de beschikbare gegevens van de frequent uitgevoerde chemische analyses.

Technische Universiteit Delft
Faculteit CiTG
Bibliotheek Civiele Techniek
Stevinweg 1
2628 CN Delft

Inhoudsopgave

Voorwoord

Inhoudsopgave

Samenvatting

1	Inleiding	1
2	Aanpak en opzet van het onderzoek	3
3	Beschrijving PWN - en WRK -bekken	4
	3.1 Beschrijving van huidige en toekomstige situatie PWN -bekken	4
	3.2 Beschrijving situatie WRK -bekken	5
4	Monsternamen en analysemethoden	9
5	Algendynamica	10
	5.1 Inleiding	10
	5.2 Seizoensdynamica	11
	5.3 Nutriënten	13
	5.4 Invloed van de waterbeweging op de algendynamica	16
6	Beschrijving algendynamica in de bekkens	22
	6.1 Inleiding	22
	6.2 Keuze parameters	22
	6.3 Periodiciteit in PWN - en WRK -bekken	23
	6.4 Vergelijken van het PWN - en WRK -bekken met het IJsselmeer	30
	6.5 Discussie	30
7	Balansen	33
	7.1 Inleiding	33
	7.2 Waterbalans	33
	7.3 Stofbalansen	38
	7.4 Discussie	39
8	Conclusies en aanbevelingen	43
	Nawoord	45
	Literatuurlijst	46
	Bijlagen I Analysemethoden	49
	II Meetgegevens verzameld in de jaren 1984-1988 in het PWN -bekken en het WRK -bekken	50
	III Berekeningen bij balansen	71
	IV Resultaten geohydrologisch onderzoek IWACO voor PWN -bekken	79

Samenvatting

De N.V. PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland ondervindt bij het zuiveren van IJsselmeerwater tot drinkwater hinder van de aanwezige algen, waardoor het halen van de gewenste jaarcapaciteit bemoeilijkt wordt. Niet alleen de kwantiteit van de algen levert problemen op, ook de kwaliteit, de soorten algen. Capaciteitsproblemen worden veroorzaakt door *Microcystis aeruginosa* door verstopping van de microzeven. Problemen in het zuiveringsproces worden veroorzaakt door blauwalgdraden en soms door kleine algensoorten.

Beheersing van de algenconcentratie kan door limitatie van de groeibevorderende factoren of door stimulatie van de mechanismen die de afname van algen bevorderen. Gekozen is voor lichtlimitatie als gevolg van het uitdiepen van het bekken en kunstmatige menging door beluchting.

Naast het tot dusverre ondiepe PWN-bekken (gem. 4 m diep) ligt het diepe bekken (gem. 12 m diep) van de Watertransportmaatschappij Rijn Kennemerland (WRK). In dit rapport wordt het verloop van een aantal parameters in deze bekkens met elkaar vergeleken.

Op grond van een literatuurstudie wordt de algendynamica, toe- of afname van de hoeveelheid algen, in stilstaand water gerelateerd aan fysisch-chemische, biologische en hydraulische processen.

Analyse van de algendynamica in de bekkens vindt plaats op grond van de meetgegevens verzameld in de periode 1984-1988.

Ondanks de verschillen tussen de jaren onderling, is het gedrag van de parameters in te delen in periodes die per jaar weinig verschillen. Voor het PWN-bekken geldt een indeling in vijf periodes, voor het WRK-bekken in vier periodes. Met de beschrijving van het gedrag van het chlorofylgehalte en andere relevante parameters, is de algendynamica in de bekkens gekwalificeerd.

Door middel van balansberekeningen zijn deze processen gekwantificeerd.

Een combinatie van het gedrag van de verschillende parameters en het optreden van problemen bij het zuiveren leidt tot de conclusie dat chlorofyl niet de meest geschikte parameter is om een toename van overlast veroorzakende algen te voorspellen, gezien het soort en de afmetingen van de algen.

Door verdieping van het PWN-bekken en kunstmatige menging door middel van beluchting zal de algenhoeveelheid afnemen. Waarschijnlijk vertonen de kleine algensoorten bij deze kunstmatige lichtbeperking een snellere groei dan de grotere algensoorten. Een verschuiving in de soort samenstelling in de richting van de kleinere algensoorten ligt voor de hand. Dit vermoeden kan echter niet bevestigd worden door het ontbreken van analyses van de algengemeenschap in het diepe WRK-bekken.

1 Inleiding

De N.V. PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland levert drinkwater in geheel Noord-Holland met uitzondering van Amsterdam, Amstelveen, Haarlem en omgeving. Aanvankelijk werd het drinkwater alleen geproduceerd uit in de duinen gewonnen grondwater en kunstmatig geïnfiltreerd water. Om aan de groeiende vraag te kunnen blijven voldoen is in 1967 het zuiveringsstation 'Andijk' in bedrijf genomen, waar IJsselmeerwater rechtstreeks gebruikt wordt voor de produktie van drinkwater.

Het te zuiveren IJsselmeerwater wordt eerst verzameld in een voorraadbekken waar afvlakking en enige zelfreiniging van afbreekbare stoffen in het water en bezinking plaatsvindt. Vervolgens doorloopt het water in het pompstation een aantal zuiveringsstappen: (micro)zeving, flocculatie, snelfiltratie en actief-koolfiltratie. Het reinwater wordt naar Hoorn verpompt, van waaruit het wordt gedistribueerd. Het Pompstation Andijk (PSA) is ontworpen op een maximum capaciteit van 4000 m³/uur.

Naast het zuiveringsstation van het PWN in Andijk ligt sinds 1981 het waterwinstation Prinses Juliana van de Watertransportmaatschappij Rijn Kennemerland (WRK), dat via een analysebekken IJsselmeerwater afneemt. Dit water wordt voorgezuiverd en vervolgens als halfprodukt geleverd aan de Hoogovens en aan de N.V. PWN die het gebruikt voor infiltratie in de duinen.

De jaarcapaciteit van pompstation Andijk bedraagt thans 20.10⁶ m³, het PWN zou deze graag verhoogd zien tot 25.10⁶ m³. Het bereiken van de vereiste capaciteit wordt echter bemoeilijkt door de kwaliteit van het ingenomen water.

Het PWN overweegt daarom een aantal maatregelen ten aanzien van het bekken te treffen, die een voldoende produktie van drinkwater van goede kwaliteit moeten waarborgen.

Het IJsselmeerwater is eutroof waardoor allerlei algensoorten er goed in groeien en er in hoge concentraties voorkomen. Met name *Microcystis aeruginosa* levert overlast. *Microcystis aeruginosa*, een blauwalg, vormt kolonies in een slijmachtig omhulsel die aanleiding geven tot versnelde verstopping van microzeven. Verder kunnen kleine algen een probleem vormen doordat ze in het zuiveringsproces moeilijker te verwijderen zijn.

Om de algenconcentratie te beheersen dient tenminste een van de voorwaarden tot groei te worden gelimiteerd of een van de afbraakmechanismen te worden gestimuleerd. Uit onderzoek is reeds gebleken dat het niet eenvoudig zal zijn de voor de groei vereiste nutriënten voldoende te limiteren. Deze zijn rijkelijk aanwezig in het instromende IJsselmeerwater en kunnen moeilijk beperkt worden omdat het water vrij in kan stromen.

Het **PWN** wil daarom de gemiddelde lichthoeveelheid groeibepalend maken door verdieping van het bekken. Het besluit hiertoe wordt ondersteund door het feit dat in het naastgelegen, gemiddeld drie maal zo diepe **WRK**-bekken de ingenomen hoge algenconcentraties doorgaans wel tot een aanvaardbaar niveau teruggebracht worden.

2 Aanpak en opzet van het onderzoek

De productie van drinkwater door het PWN in Andijk wordt gedurende een aantal perioden per jaar beperkt door aanwezigheid van algen in het ingenomen water vanuit het voorraadbekken. Het water ingenomen door de WRK uit het veel diepere WRK-bekken, dit is gelegen naast het PWN-bekken, heeft een lagere algenconcentratie. Een beschrijving van de bekkens is opgenomen in hoofdstuk 3. Het PWN heeft ter vermindering van de algenconcentratie in het ingenomen water besloten zijn bekken in 1990 en 1991 te verdiepen.

Het doel van dit onderzoek is om met de bestaande meetgegevens de fysisch-chemische en biologische processen in zowel het nog ondiepe PWN- als van het diepe WRK-bekken te beschrijven. Met de resultaten zal het effect van het verdiepen worden voorspeld. Tevens worden aanbevelingen gedaan betreffende welke fysisch-chemische en biologische parameters moeten worden gemeten om een zo volledig mogelijk beeld van de verschillende processen in het bekken te verkrijgen. In hoofdstuk 4 worden de wijze van bemonsteren en de meetmethodes beschreven.

Het rapport is verder als volgt ingedeeld:

Toe- en afname van de algenconcentratie (Hoofdstuk 5)

In dit hoofdstuk wordt op basis van literatuurstudie een kort overzicht gegeven welke fysische-chemische, biologische en hydraulische processen een rol spelen bij de toe- en afname van de hoeveelheid algen in bekkens. Ook wordt ingegaan op de verschuivingen in de samenstelling van het fytoplankton door het jaar heen.

Beschrijving algendynamica in de bekkens (Hoofdstuk 6)

De theorie van hoofdstuk 5 wordt in dit hoofdstuk toegepast bij de analyse van de meetgegevens verzameld in 1984-1988. Op basis van de chlorofyl-a gegevens zijn de jaren ingedeeld in periodes. De dynamische processen die in de twee bekkens plaatsvinden worden onderling en met die in het IJsselmeer vergeleken.

Balansen (Hoofdstuk 7)

De dynamische processen van hoofdstuk 6 kunnen worden gekwantificeerd door het per periode opstellen van water- en stofbalansen voor de bekkens. Hiermee kunnen de verlies- en winstfactoren in het bekken ten opzichte van het IJsselmeer worden vastgesteld.

3 Beschrijving PWN- en WRK-bekken

3.1 Beschrijving van huidige en toekomstige situatie PWN-bekken

huidige situatie:

Het Pompstation Andijk levert een gemiddeld debiet van circa $3000 \text{ m}^3 \cdot \text{uur}^{-1}$ aan het distributiestation Hoorn. Bij hoge algenconcentraties wordt dit debiet vaak niet gehaald door verstopping van de microzeven of door verstoring van het zuiveringsproces.

In de figuren 1 en 2 is een schetsmatige weergave van het PWN-voorraadbekken gegeven. Alle peilen en maten van het bekken zijn hierin aangegeven. Enkele kengetallen voor het PWN-bekken zijn vermeld in tabel 3.1.

Het bekken staat in verbinding met het IJsselmeer via een eenvoudig inlaatwerk, bestaande uit twee ronde buizen van ieder $\varnothing 1200 \text{ mm}$. In het geval van calamiteiten of een te hoog chloridegehalte kan de inlaat gesloten worden. Onder normale omstandigheden staat de inlaat open. Het peil in het bekken is gelijk aan dat van het IJsselmeer: zomerpeil NAP-0.20 m., winterpeil NAP-0.40 m.

Vanuit het bekken komt het water via twee identieke afsluitbare buizen, $\varnothing 1200 \text{ mm}$, in het inlaatkanaal (zie fig. 1, blz. 7). Een derde buis verbindt het WRK-bekken met het PWN-inlaatkanaal, met het innamepunt nabij de bodem. Aldus bestaat de mogelijkheid om selectief water in te nemen. Dit kan nodig zijn bij het optreden van drijfvlagen van blauwalgen, die door de wind in een bepaalde hoek worden gedreven. Bij het zuiveringsstation is het inlaatkanaal verdiept. Hier wordt het water door de ruwwaterpompen opgepompt en naar de microzeven gevoerd. Bij een waterstand van NAP -2,40 m slaan de pompen af. De toegestane peilverlaging in het inlaatkanaal en in het bekken is derhalve 2,0 m. Dit geeft een overbruggingsvoorraad van $0,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en een overbruggingsperiode van 14 dagen bij een capaciteit van $55 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{dag}^{-1}$.

toekomstige situatie na verdieping:

Het plan is het bekken te verdiepen tot 15 à 20 m beneden NAP. Deze verdieping zal in verband met de stabiliteit van de dijken niet over de gehele bodemoppervlakte plaatsvinden (zie fig. 2, blz. 8). De uiteindelijke volumevergroting, geschat op $1,5 - 2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, wordt bepaald door:

- * maximaal mogelijke verdieping i.v.m. de stabiliteit van de taluds;
- * een kosten-baten-analyse: wat draagt een extra verdieping nog bij tot de (geschatte) vermindering van algenoverlast.

Afhankelijk van het uiteindelijke volume zal de nieuwe verblijftijd 55 à 75 dagen bedragen.

3.2 Beschrijving situatie WRK-bekken

In figuur 1 is het WRK-bekken geschetst. Het peil in het bekken is gelijk aan dat in het PWN-bekken, te weten het IJsselmeerpeil. Het heeft echter veel grotere diepte dan het PWN-bekken: gemiddeld 12 m.

Enkele kengetallen voor het WRK-bekken zijn opgenomen in tabel 3.1.

Het water wordt vanaf het IJsselmeer ingenomen via een inlaatkanaal (zie figuur 1). Door middel van het inzetten van een schot aan het begin van het kanaal kan in het geval van een calamiteit de inname gestopt worden. Er is slechts zeer beperkte peilverlaging mogelijk. De dijken zijn daarop namelijk niet berekend. Daar het door de WRK geproduceerde water een halfprodukt is waaraan minder hoge eisen worden gesteld dan aan drinkwater, wordt de inname niet gestaakt bij een te hoog chloridegehalte.

In de regel bedraagt de ruwwateronttrekking $0,10 \cdot 10^6$ - $0,11 \cdot 10^6$ per dag. Onder bepaalde omstandigheden moet de WRK een extra groot debiet leveren, bijvoorbeeld bij het uitvallen van de produktie van pompstation Cornelis Biemond aan het Lekkanaal. Dit betekent ongeveer een verdubbeling van de WRK-produktie tot $0,22 \cdot 10^6$ m³.dag⁻¹. De extra onttrekking duurt doorgaans enkele dagen tot maximaal een week.

In het midden van het bekken is een beluchtingsinstallatie aangebracht om het water in het bekken te mengen en zo stratificatie tegen te gaan. In het algemeen werkt deze menging goed. Bij stevige oosten- of noordoostenwind treedt echter door de 'onhandige' ligging van inlaat en uitlaat een kortsluitstroom op: het water stroomt dan van de inlaat van het bekken direkt naar de inlaat van het bedrijf. Vooral bij aanwezigheid van drijfvlagen van blauwalgen in de zomer levert dit problemen op. De kortsluitstromen zijn ook geconstateerd voor flinterijs, zwevende stof en chloride. Bij de WRK is dit probleem aangepakt door de inlaat naar het bedrijf te verleggen naar het midden van het bekken en daar op circa 10 m. diepte het water in te nemen.

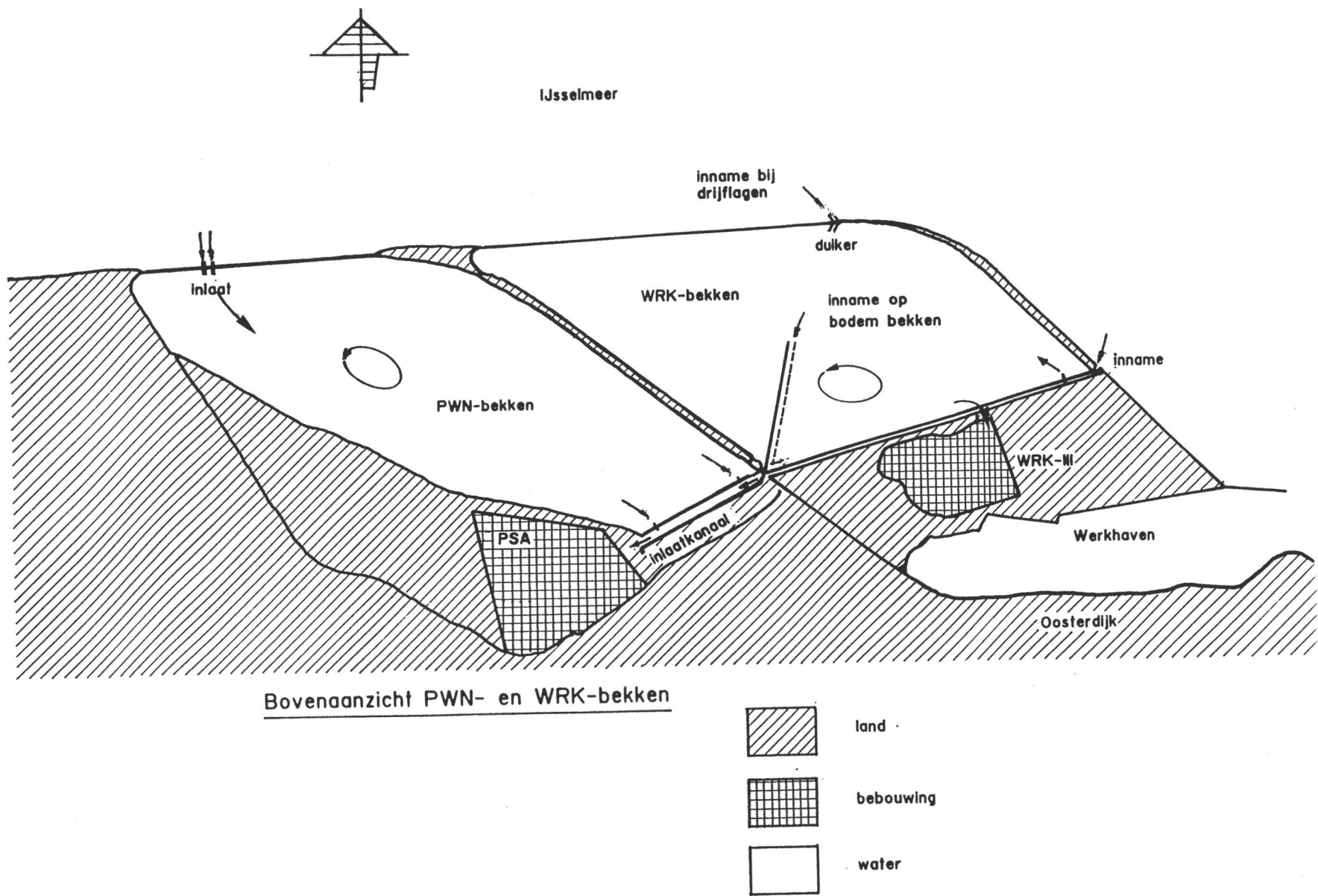
Het water stroomt van het bekken via een inlaatkanaal (zie figuur 1, blz. 7) naar het bedrijf.

Tabel 3.1 Kengetallen van het PWN- en WRK-bekken

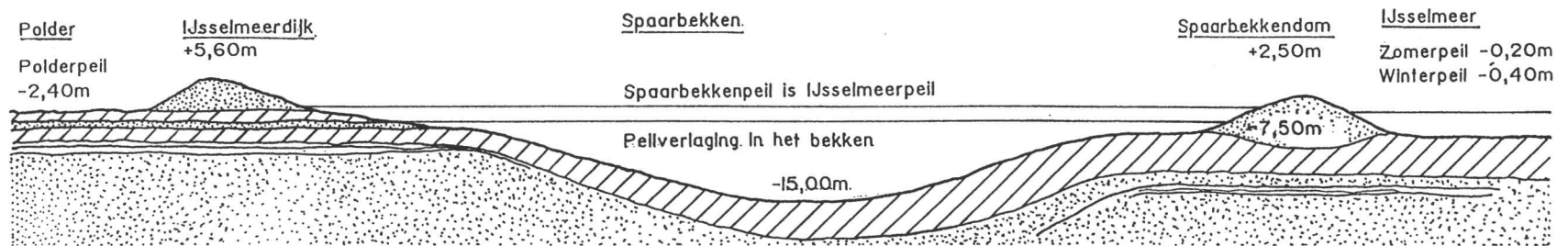
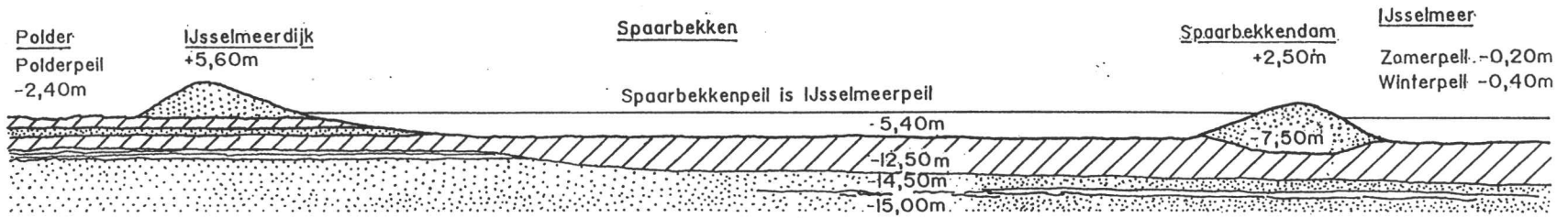
	PWN-bekken	WRK-bekken
oppervlakte (O) [ha]	48	52
produktie 1985 [10 ⁶ m ³ /jaar]	15	41
max. capaciteit [10 ⁶ m ³ /jaar]	20	110
produktie/etmaal (Q) maximaal gemiddeld minimaal [m ³ /dag]	56.320 42.429 32.420	112.330
diepte [m] gem. diepte (a) [m]	5 3,5-4	21 (in het midden) 12
inhoud (V) [10 ⁶ m ³]	1,5	5
verblijftijd (T) [dagen]	ca. 35	ca. 45
overbruggingsvoorraad [10 ⁶ m ³]	1	
overbruggings- periode [dagen]	24	
overbruggings- periode bij max. capaciteit [dagen]	18	
Peil bekken*	IJsselmeerpeil dit heeft zomer- en winter- peil, van resp. -0.20 m. en -0.40 m.	IJsselmeerpeil dit heeft zomer- en winter- peil, van resp. -0.20 m. en -0.40 m.
jaar ingebruikname	1967	1981

- *) De invloed van het verschil tussen zomer- en winterpeil op de verblijftijd is niet groot. Dit blijkt uit onderstaande berekening voor het PWN-bekken:
 De variatie tussen zomer- en winterpeil (da) is 0.20 m.
 $O = 48 \cdot 10^4 \text{ m}^2$ $V = 1.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
 $dV = O \cdot da = 0.2 \cdot 48 \cdot 10^4 = 9.6 \cdot 10^4 \text{ m}^3$
 Uit $dT = dV \cdot Q^{-1}$ met $Q = 42429 \text{ m}^3/\text{dag}$ volgt: $dT = 2.3$ dagen
 In het kader van deze studie zijn alleen indicatieve berekeningen verricht.
 Daarom is met deze variatie in de verblijftijd geen rekening gehouden.

Figuur 1. Bovenaanzicht PWN- en WRK-bekken



Figuur 2. Zij aanzicht PWN- en WRK-bekken



4 **Monsternamen en analysemethoden**

Monsternamen

PWN

Monsternamen voor de analyse van het bekkenwater vindt plaats bij het innamepunt in het zuiveringsbedrijf. Monsters voor de analyse van het IJsselmeerwater worden genomen op de plaats waar dit water het bekken instroomt. Zie ook figuur 2.

Temperatuur, pH, concentraties Cl, N-, P- en Si-verbindingen worden wekelijks bepaald. Bepaling van het chlorofylgehalte vindt twee of drie keer per week plaats.

WRK

Monsters voor de analyse van het bekkenwater zijn wekelijks in het midden van het bekken genomen. Analyse van het IJsselmeerwater wordt uitgevoerd op monsters genomen bij het innamepunt. Zie figuur 2.

Temperatuur, pH, concentraties chlorofyl, N-, P- en Si-verbindingen zijn eenmaal per week bepaald.

De gehalten van orthofosfaat kunnen hoger zijn dan de gehalten van door algen opneembaar fosfaat. De gebruikte "molybdeen-blauw" methode maakt geen onderscheid tussen de opgeloste en de voor algen opneembare vorm (Rigler, 1968). Voor algenonderzoek wordt meestal gesproken over "soluble reactive phosphorus" (SRP) en "total phosphorus" (TP). Hoewel deze termen het type fosfaat beter definiëren, geeft het nog niet aan hoeveel fosfaat precies voor algen opneembaar is.

Analysemethoden zijn, voor zover van toepassing, weergegeven in bijlage II.

men "fysiologische" dood. Gevoeligheid voor de genoemde invloeden verschilt per soort, per seizoen en met de "conditie" van de alg.

Hoe groot het verlies van individuen of soorten door praedatie is, hangt o.a. af van de grootte van de partikels die gegeten worden en de filtersnelheid van de praedatoren. Daarnaast zijn ook zowel de samenstelling van het fytoplankton als die van het zoöplankton (praedatoren) van invloed op het verlies.

Mogelijke parasieten zijn virale pathogenen (virussen en fagen) en schimmels. Kwantitatieve gegevens over de invloed van deze factor op het totale verlies aan algen zijn nog weinig bekend (Van Donk, 1989).

Vorm en afmeting van algen hebben invloed op de stofwisselingsactiviteit en zijn dan ook van belang voor de groei.

De verhouding tussen grootte van het oppervlak en het volume van een cel is van belang. Bij vergroting van het oppervlak (μm^2) neemt het volume van de cel toe met de macht μm^3 (Reynolds, 1984a). Dit heeft invloed op de afstand tussen opnameplaats van een nutriënt in de cel en plaats van opname in celcomponenten. Deze afstand is het grootst in de grote cellen of in cellen ingebed in een slijm laag. Grote cellen zullen altijd een lagere groeisnelheid hebben, bij gelijke externe omstandigheden, dan kleine cellen.

De vorm en afmetingen hebben ook invloed op:

- bezinksnelheid
- de weerstand tegen begrazing door zoöplankton
- het optimaliseren van het fotosyntheseprocess door een efficiënte verdeling van het pigment over de cel.
- het hydraulisch effect op oriëntatie en meevoering van de algen.

5.2 Seizoensdynamica

Grote verschuivingen in de samenstelling van de fytoplanktongemeenschap door het jaar heen worden voornamelijk veroorzaakt door factoren die zich geheel of gedeeltelijk onafhankelijk van het ecosysteem zelf gedragen. Deze factoren zijn:

- temperatuur
- lichtintensiteit

	lichtklimaat onder water
	lengte daglichtperiode
- beschikbaarheid van voedingsstoffen, vooral silicium (Si).

Deze verschuivingen, voornamelijk geïnduceerd door klimatologische veranderingen noemt men de seizoensperiodiciteit. Niet alleen de soortssamenstelling van de fytoplanktongemeenschap verandert (kwalitatief), ook het aantal algen verandert (kwantitatief).

Deze seizoenscyclus is een optelling van het voorkomen van alle soorten. De totale biomassa fluctueert door het jaar heen minder dan die van de verschillende algensoorten.

In de samenstelling van de fytoplanktongemeenschap is ieder jaar hetzelfde patroon terug te vinden. Voor een eutrofe ondiepe plas in de gematigde klimaatzone kan het volgende beeld worden herkend (Reynolds, 1984b):

- Voorjaar - **Kiezelalgen** - Deze groep is in staat in het voorjaar bij lage temperatuur, maar hoge lichtintensiteit al tot ontwikkeling te komen. Zij veroorzaken een of meerdere duidelijke pieken in het chlorofylgehalte, afhankelijk van de soortssamenstelling. Deze voorjaarsbloei komt meestal door gebrek aan Si tot een einde.
- Eind voorjaar - **Groenalgen en Cryptofyten.** Kleine "groenwierbolletjes" steken als eersten de kop is. In veel gevallen is dit een mengsel van chlorococcales- en cryptomonassoorten. Zij zijn in staat om in korte tijd tot grote aantallen toe te nemen. Dit wordt veroorzaakt door hun geringe afmetingen en het nog ontbreken van praedatie door zoöplankton aan het einde van het voorjaar (te lage temperatuur).
- Eind zomer - **Blauwalgen en Groenalgen.** In de zomer beginnen de blauwalgen zich al duidelijk te ontwikkelen, als eerste draadvormende blauwalgen en daarna ook kolonievormenden. Regelmatig wordt echter hun dominantie in de biomassa nog doorbroken door grotere soorten groenalgen.
- Najaar - **Blauwalgen en kolonievormenden.** Blauwalgen beginnen zich nu tot een plaag te ontwikkelen. Slechts een enkele meting vertoont nog een dominantie van groenwier of kiezelalg. Eind november neemt het aantal af.
- Winter

Blauwalgenbloeien kunnen tot vervelende situaties, zoals drijfslagen aanleiding geven. Daarnaast zijn zij ook in staat toxinen af te scheiden die problemen kunnen geven bij de bereiding van drinkwater (Hoekstra et al, 1991).

Temperatuur en lichtintensiteit onder water vertonen een zodanige interactie dat in de jaarcyclus vier perioden kunnen worden onderscheiden (Hutchinson, 1967). Het verloop van de temperatuurscurve in het water volgt het verloop van de lichtintensiteit met een vertraging van ongeveer twee maanden.

<u>seizoen</u>	<u>lichtintensiteit</u>	<u>temperatuur</u>
winter	laag	laag
voorjaar	hoog	laag
zomer	hoog	hoog
najaar	laag	hoog

Naast klimatologische parameters, wordt de seizoensperiodiciteit ook beïnvloed door het beschikbaar zijn van belangrijke nutriënten zoals P, N en Si.

5.3 Nutriënten

Fosfor (P)

P komt voor in water in geoxideerde toestand, zowel in anorganische PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} en H_2PO_4^- als in organische vorm. Opgelost P in de vorm van PO_4^{3-} is de belangrijkste P-bron voor algen. Bij de P-cyclus zijn geen door bacteriën uitgevoerde oxidatie- of reductiestappen nodig. Daarom kan P snel worden opgenomen, ook bij lage concentraties ($< 1 \mu\text{g P.l}^{-1}$) en is de cyclustijd kort (Reynolds, 1984, Harris, 1986). Microbiële processen in het water veroorzaken wel een afname van het voor algen beschikbare P. Onder gunstige omstandigheden kunnen bacteriën algen wegconcurreren (Wetzel, 1975). Informatie hierover is echter zeldzaam.

Stikstof (N)

N komt in water in veel vormen voor: opgelost moleculair N_2 , organisch gebonden N en anorganisch gebonden N: NH_4^+ , NO_2^- en NO_3^- . Verschillende van deze vormen zijn potentieel beschikbaar voor algen. NO_3^- moet in de cel worden gereduceerd voordat assimilatie plaats kan vinden. NH_4^+ is daarom energetisch gezien de meest gunstige anorganische stikstofbron. Zowel bij kiezel- als blauwalgen zijn voorbeelden bekend dat bij de aanwezigheid van zowel NH_4^+ , NO_2^- als NO_3^- bij voorkeur NH_4^+ wordt gebruikt als N-bron (Kappers, 1984, Van der Veer, 1988).

Door nitrificerende bacteriën wordt NH_4^+ via NO_2^- geoxideerd tot NO_3^- . Dit is een snel proces. Wanneer nitrificerende bacteriën in overmaat aanwezig zijn, zullen de NH_4^+ - en NO_2^- -concentraties in het water laag zijn.

In de N-cyclus speelt tevens stikstoffixatie een rol. Dit is het vermogen van organismen om moleculair N_2 te binden. Blauwalgen vormen de belangrijkste groep stikstoffixerders in het oppervlaktewater. Uit veldonderzoek is gebleken, dat stikstoffixatie een belangrijke bron van stikstofbelasting kan zijn in ondiepe, stikstofgelimiteerde watersystemen. Het vormt daarom een probleem bij het terugdringen van de vermessing van dergelijke systemen, omdat geen invloed kan worden uitgeoefend op de toevoer van N_2 uit de atmosfeer (Burger-Wiersma, 1991).

Silicium (Si)

Si is in de meeste natuurlijke wateren aanwezig als vaste stof of vastgelegd in colloïdale polymeren. Bij depolymerisatie wordt direct het monomeer orthosiliciumzuur $\text{Si}(\text{OH})_4$ gevormd. Deze opgeloste reactieve Si-fractie is waarschijnlijk de enige vorm die opneembaar is voor kiezelalgen en andere plantensoorten. Microbiële processen spelen geen rol in de Si-cyclus. Kiezelalgen assimileren Si bij de synthese van de celwand. Silicium heeft een lange cyclustijd. Slechts als de algengemeenschap veel kleine kiezelalgen bevat kan de Si weer binnen redelijke tijd beschikbaar komen. Er treedt dan een korte Si-cyclus op. Toch is deze "korte" cyclus een relatief begrip. Het vrijkomen van Si blijft een veel langzamer proces dan dat van N of P. In verhouding is het verlies van Si uit de produktieve zone dan ook groter dan van andere nutriënten (Sommer, 1988).

Of silicium in relatief korte tijd wordt afgebroken en in de eufotische zone weer beschikbaar komt, is afhankelijk van:

- bezinksnelheid alg (V_s)
- snelheid van oplossen van Si (k)
- mengdiepte (Z_{mix})

De cyclustijd van Si is dus afhankelijk van de bezinksnelheid van de algen. De bezinksnelheid vertoont grote verschillen, zowel tussen de soorten onderling als binnen één soort. In dit laatste geval is vaak de fysiologische staat van het individu de oorzaak. Bij algen in de exponentiële groeifase is de bezinksnelheid minimaal, terwijl algen in de stationaire of afstervingsfase vaak een veel hogere bezinksnelheid vertonen.

lage bezinksnelheid. Grotere kiezelalgen, zoals *Fragillaria crotonensis*, bezinken zo snel dat in de eufotische zone slechts 10 % van hun Si-gehalte oplost. Afhankelijk van de samenstelling van de kiezelalgengemeenschap (nanoplankton of grotere soorten), zal er in een bekken na de voorjaarsbloei wel of niet snel Si beschikbaar zijn in de produktieve zone en zal er een duidelijke kiezelalgenopbloei in het najaar kunnen plaatsvinden.

Als tegenwicht voor de grote Si-afhankelijkheid vertonen kiezelalgen een goed competitief vermogen voor N en P. Uit laboratoriumexperimenten met meerdere soorten algen blijkt bij aanwezigheid van voldoende Si zich de volgende rangorde voor te doen (> : beter dan) (Sommer, 1989, Tilman & Kiesling, 1984)

- competitie voor P: kiezelalgen > groenalgen > blauwalgen
- competitie voor N: blauwalgen > kiezelalgen > groenalgen.

Bij te lage Si-gehalten geldt deze rangorde niet meer. Het patroon wordt sterk beïnvloed door de temperatuur. Bij hogere temperatuur hebben kiezelalgen voor hun groei een hogere Si:P-verhouding nodig om dominant te blijven in een kiezel-/groenalgencultuur.

Groenalgen functioneren het beste bij temperaturen van 15-20 °C. Bij een temperatuur boven 20 °C wordt hun rol overgenomen door blauwalgen.

Dit zijn conclusies gebaseerd op onderzoek met algensoorten die zich in laboratoriumexperimenten konden handhaven. In de natuur kunnen algensoorten afkomstig uit dezelfde divisies zich anders gedragen. Het bezinkgedrag van algen wordt in paragraaf 5.4 uitgebreider behandeld.

Tijdens de toename van het aantal algen in voorjaar en zomer neemt het gehalte aan N en P af. In sommige systemen kunnen de concentraties zo laag worden dat ze niet meer te meten zijn. Toch blijft er dan een aanzienlijke algencoenose aanwezig. Dit kan het gevolg zijn van.

- hoge "turn over" snelheden van de nutriënten.
- overschakeling van de algen op andere dan de gebruikelijke, anorganische N- en P-vormen.

In verhouding tot de behoefte komen zowel stikstof als fosfor in het oppervlaktewater slechts in geringe mate voor (Vallentyne, 1974). Zeker P is gedurende eeuwen het groeibepalend nutriënt geweest. Door de snelle kunstmatige eutrofiëring de laatste 50 jaar is dit in veel watersystemen niet meer het geval.

5.4 Invloed van de waterbeweging op de algendynamica

Naast nutriënten is licht een belangrijke factor voor de toename van de algenbiomassa. Daarom is de verblijftijd in de eufotische zone, het bovenste gedeelte van de waterkolom, van belang. Deze verblijftijd wordt beïnvloed door het bezinkgedrag van algen en door de waterbeweging en turbulentie.

De dichtheid van algen verschilt niet veel van de dichtheid van water. De bewegingen van het water hebben invloed op de bewegingen van algen en daardoor op de verblijftijd van algen in de eufotische zone.

Natuurlijke wateren zijn vrijwel continu in beweging. De energie die daarvoor nodig is, komt voort uit een aantal bronnen. De belangrijkste zijn:

- krachten van Corioli: krachten ten gevolge van de aardrotatie.
- convectiestromen ten gevolge van warmteverschillen.
In grotere watermassa's kan door dichtheidsverschillen een verticale gelaagdheid optreden (stratificatie). Verschillen in specifieke eigenschappen tussen de lagen beïnvloeden onderlinge uitwisseling.
- windkracht uitgeoefend op het wateroppervlak. De windeffecten kunnen zich het beste ontwikkelen op uitgestrekte watermassa's, met zo min mogelijk invloed van bodem en oevers.

De belangrijkste bronnen zullen hier worden besproken.

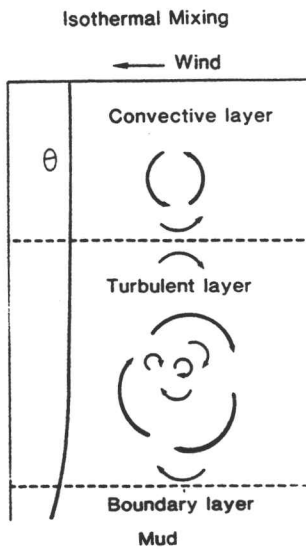
Dichtheidsverschillen

Door absorptie van straling vindt aan het oppervlak opwarming plaats, waardoor de dichtheid van de laag water vermindert. De temperatuur van het water neemt exponentieel af met de diepte, de dichtheid neemt toe. Er ontstaat een gestratificeerde waterlaag. Dit verschijnsel treedt op bij bekkens die niet volledig gemengd zijn.

Twee belangrijke factoren beïnvloeden een dergelijk temperatuur- en dichtheidsverloop:

- verdamping
- wind

Door verdamping vindt er afkoeling plaats in de bovenste waterlaag, waardoor convectiestromen ontstaan. Onder invloed van de wind vindt menging van deze bovenste waterlaag plaats (zie figuur 4).

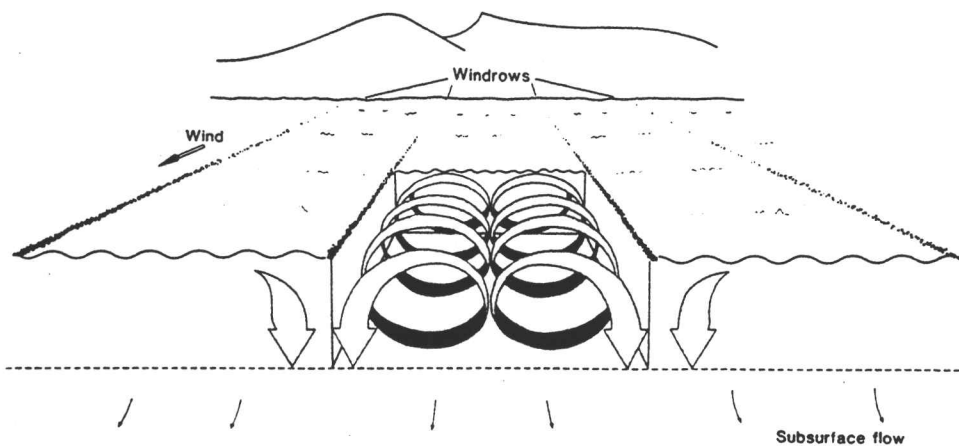


Figuur 4 Patroon van de verticale menging in relatie tot de temperatuurgradiënt in een gemengd meer (Reynolds, 1984a)

Convectiecellen

Deze vormen vaak complexe secundaire stromingspatronen, die zich het beste ontwikkelen in uitgestrekte, door wind geïnduceerde rotaties aan het wateroppervlak. De convectiecellen die ontstaan, ook wel Langmuir cellen genoemd (zie figuur 5), worden gekenmerkt door het optreden van schuimstrepen op het oppervlak, evenwijdig aan de heersende windrichting.

Door de met het optreden van dit verschijnsel gepaard gaande wervelingen, worden de algen in de bovenste zone van de waterkolom intensiever gemengd en kunnen grotere algenconcentraties zich hierin handhaven. Ook door het optreden van stromingen met frequente wisselingen van richting (bijvoorbeeld getijdestromingen) blijven de algen langer in oplossing.



Figuur 5 Dwarsdoorsnede door de door wind geïnduceerde oppervlaktestroming, waarbij Langmuir beweging ontstaat (Reynolds, 1984a)

Turbulentie

Stromingen in bekkens worden veelal opgewekt door de wind. Dit betekent dat de stroomrichting aan het oppervlak gelijk is aan de windrichting. Vanwege de continuïteit resulteert dit in een dieper gelegen retourstroom. Als gevolg van wandwrijving (bodem en oevers) en viscositeit wordt deze door de wind opgewekte stromingsenergie gedissipeerd via kleine en grote wervels. Deze turbulente bewegingen kunnen niet ongestoord doordringen tot in het sediment, ze worden gedempt met toenemende diepte. Dit resulteert in het ontstaan van een laminaire sublaag direct boven de bodem waardoor bodemdeeltjes niet opwerpen.

Horizontale en verticale algendynamica in een waterlichaam

De waterbewegingen zijn hier sterk vereenvoudigd besproken. Steeds is een tweedimensionale waterkolom beschouwd. Het beschrijven van de werkelijke driedimensionale bewegingen is zeer complex en voert hier te ver.

De verdeling van algen in horizontale en verticale richting binnen een waterlichaam kan sterk heterogeen zijn.

Hoewel **horizontale** distributiepatronen beïnvloed kunnen worden door fysische, chemische en biologische factoren, wordt de heterogeniteit in de meeste meren veroorzaakt door wind-geïnduceerde circulatiepatronen. Het directe effect van wind op de verdeling van fytoplankton is vermeld door Verduin (1951) en uitgebreid besproken door Reynolds (1984a). Een kwantitatieve evaluatie van windeffecten op de verdeling van chlorofyl-a aan het wateroppervlak is gegeven door Small (1963). Colebrook (1960) bewees de invloed van interne seiches op de horizontale verdeling van zoöplankton, in Windermere. George & Edwards (1976) toonden eveneens de invloed van wind aan op de horizontale en verticale verdeling van chlorofyl-a en zoöplankton.

Vertikale concentratieverschillen ontstaan door de fysiologisch bepaalde verschillen in soortelijk gewicht van de cellen, door kolonievorming en door de hydrodynamische variaties.

De wet van Stokes voor de bezinksnelheid van een niet-bolvormig deeltje in een laminaire stroming luidt:

$$V' = 2.g.r^2.(\rho' - \rho) / (9.\eta.\phi_r)$$

met:

V'	=	bezinksnelheid niet-bolvormig deeltje	$[m^3.s^{-1}]$
g	=	versnelling ten gevolge van de zwaartekracht	$[m.s^{-2}]$
r	=	straal van het deeltje	$[m]$
ρ'	=	dichtheid van het deeltje	$[kg.m^{-3}]$
ρ	=	dichtheid van het medium	$[kg.m^{-3}]$
η	=	viscositeit van het medium	$[kg.m^{-1}.s^{-1}]$
ϕ_r	=	V_s/V'	
	=	vormweerstandscoefficiënt	

Achtereenvolgens zullen nu de verschillende termen uit de Stokes-vergelijking en hun invloed op de bezinksnelheid van algen worden behandeld.

Bezinksnelheid (V')

Voor de meeste algensoorten gelden de laminaire stromingscondities en is deze aanname in de wet van Stokes aanvaardbaar. Bovendien is proefondervindelijk gebleken dat de bezinksnelheid van stervende of dode algen drie- tot vijfmaal groter is dan van levende algen (Reynolds & Wiseman, 1981). Een algemeen geldende verklaring hiervoor is nog niet gevonden. Aantoonbare veranderingen in vorm, maat en vormweerstand zijn hierbij niet waargenomen.

Afmeting en vorm (ϕ_r)

In het algemeen zijn algen niet bolvormig. Bovendien hebben sommige algen de mogelijkheid om hun vorm te veranderen. Door toename van het wrijvingsoppervlak wordt de bezinksnelheid verlaagd.

Door kolonievorming kan de bezinksnelheid toenemen. Door effecten als de afname van de dichtheid en de toename van de vormweerstand kan deze toename worden gecompenseerd.

Dichtheid (ρ' , ρ)

Het soortelijk gewicht van algen schommelt in het algemeen rond dat van water. Het is afhankelijk van de fysische en chemische omgeving.

Algen kunnen via verschillende mechanismen hun dichtheid beïnvloeden:

- Berging van relatief lichte lipiden.
- Ionenregulatie; dit is de voorkeur van algen om zwaardere ionen door lichtere te vervangen en deze vast te houden.
- Aanwezigheid van een slijmlaag. Een netwerk van hydrofiele polysacchariden die, alhoewel ze zelf een hoge dichtheid hebben, veel water in hun netwerk kunnen opnemen, waardoor de dichtheid sterk afneemt.
- Het optreden van gasvacuoles bij blauwalgen. Dit is het bepalende drijfmechanisme bij het optreden van drijfalg. De alg kan hiermee de dichtheid controleren en reguleren.

In het algemeen wordt voor kiezelalgen een hogere bezinksnelheid waargenomen dan voor andere algensoorten (Sommer, 1989). Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van relatief veel Si in de cel.

6 Beschrijving algendynamica in de bekkens

6.1 Inleiding

Voor een beschrijving van de algendynamica in het PWN- en het WRK-bekken en de processen die daarbij van belang zijn, is gebruik gemaakt van meetgegevens verzameld in de jaren 1984-1988. Op basis hiervan zijn de jaren ingedeeld in periodes met een aantal duidelijke kenmerken. De processen in de bekkens die in deze periodes plaatsvinden worden onderling en met die in het IJsselmeer vergeleken. Probleemperiodes voor de drinkwaterbereiding worden getoetst aan de algendynamica in de bekkens om zo tot een uitspraak te komen omtrent de factoren die de aard en aard van deze periodes bepalen.

Problemen die bij de drinkwaterbereiding door algen veroorzaakt worden kunnen verschillend van aard zijn:

- capaciteitsproblemen t.g.v. het verstopping van de microzeven. Dit wordt veroorzaakt door *Microcystis aeruginosa*, een kolonievormende blauwalg met een slijmachtig omhulsel;
- problemen in het zuiveringsproces t.g.v. het passeren van de microzeven. Dit gebeurt met kleine algen of met dunne draadvormende algen (blauwalgen). Het eerste type kan meestal in het zuiveringsproces verwijderd worden. Draadvormende blauwalgen zijn moeilijker uit het coagulatieproces te verwijderen door hun filterend vermogen.

6.2 Keuze parameters

Voor een beschrijving van de parameters die een rol spelen bij de algendynamica wordt hier verwezen naar hoofdstuk 5.

Wanneer een parameter in de bekkens hetzelfde verloop vertoont als in het IJsselmeer is geconcludeerd dat die parameter niet van belang is voor processen in de bekkens. NO_3^- en NO_2^- zijn daarom in de verdere beschouwingen niet meegenomen. Wel zijn de trends en karakteristieken in het chlorofyl-a-, PO_4^{3-} , Si, NH_4^+ -verloop geanalyseerd. In de figuren 6 t/m 15 zijn deze parameters uitgezet als functie van de tijd. Tabel 6.3 en 6.6 geven een overzicht van de trends en karakteristieken in de bekkens. Gegevens omtrent de algendynamica in het PWN-bekken zijn weergegeven in tabel 6.4. Voor het WRK-bekken en in het IJsselmeer waren deze gegevens niet beschikbaar. In tabel 6.5 wordt aangegeven welke algen wanneer problemen geven bij de bereiding van drinkwater met de PWN-installatie.

6.3 Periodiciteit in PWN- en WRK-bekken

De periodiciteit in beide bekken wordt bepaald aan de hand van het verloop van de chlorofyl-a concentratie door het jaar heen. Voor het PWN-bekken kunnen vijf kenmerkende periodes worden onderscheiden, voor het WRK-bekken vier.

De karakterisering en de lengtes van de periodes door de jaren heen zijn samengevat in tabel 6.1 en tabel 6.2.

PWN-bekken

PWN	Periode				
	A	B	C	D	E
1984	9,5	10,5	9	12	11
1985	13,5	8	5,5	15,5	9,5
1986	15	5	7,5	12,5	12
1987	14	6	8	14	10
1988	10	9,5	2,5	21	9

Tabel 6.1 Chlorofyl-a periodiciteit in het PWN-bekken. De periodes zijn uitgedrukt in weken en kunnen als volgt worden gekarakteriseerd:

Periode	A:	chlorofyl-a-piek in bekken
	B:	daling chlorofyl-a-concentratie met een tweede, duidelijk lagere, chlorofyl-a-piek
	C:	lage chlorofyl-a-concentratie en lage chlorofyl-a-activiteit
	D:	concentraties chlorofyl-a _{IJsselmeer} en chlorofyl-a _{bekken} zijn van dezelfde orde van grootte, onrustig verloop
	E:	afname chlorofyl-a-concentratie

WRK-bekken

WRK	Periode			
	A	B	C	D
1984	12,5	18	6	15,5
1985	14,5	12	11	14,5
1986	16	14	8	14
1987	16	8	13	15
1988	14	9	15	14

Tabel 6.2 Chlorofyl-a periodiciteit in het WRK-bekken.
De periodes zijn uitgedrukt in weken en kunnen als volgt worden gekarakteriseerd:

Periode	A:	chlorofyl-a-piek
	B:	lage chlorofyl-a-concentratie met een kleine piek erin
	C:	1 à 2 chlorofyl-a-pieken
	D:	daling van de chlorofyl-a-concentratie

Het blijkt dat de lengte van iedere periode per jaar sterk kan verschillen. Vaste combinaties van periodes leveren daarentegen steeds een redelijk constante lengtes op.

Voor het PWN-bekken de combinaties	A + B	week 0 - 20
	C + D	week 20 - 41
	E	week 41 - 52

Voor het WRK-bekken de combinaties	D + A	week 37 - 15
	B + C	week 15 - 37

Tabel 6.3 Trends en karakteristieken van verschillende parameters in het PWN-bekken

PWN	Periode A	Periode B	Periode C	Periode D	Periode E
chl-a	Piek chl-a, kan per jaar iets verschillen in aanvang en duur. 1984 en 1987: piek valt vroeg	Als Si 0 is, dan begint chl-a te dalen, daarna volgt 2 ^e minder hoge piek.	Laag chl-a en lage chl-a-activiteit. Periode varieert in lengte, maar eindigt voor week 30. 1988: hoge chl-a concentraties	Onrustig beeld met veel pieken en dalen.	Daling chl-a. Periode E gedraagt zich onafhankelijk van periode A.
PO ₄ ³⁻ -P	Daling PO ₄ ³⁻ , wordt echter niet 0.	Min of meer complementaire koppeling met chl-a.	Toename PO ₄ ³⁻ -P	PO ₄ ³⁻ -P piek 1986: geen piek, wel hoge concentraties 1987: dal in concentratie	Afname PO ₄ ³⁻ -P. Bekkenwater gaat meer op IJsselmeerwater lijken. 1987: stijging PO ₄ ³⁻ -P concentraties
Si	Si daalt naar 0	Si is laag, met een geringe toename.	Toename Si.	Si gaat naar 0.	Si loopt op. 1988: daling Si
NH ₄ ⁺ -N	NH ₄ ⁺ -N opname en vrijkomen spelen door elkaar, gedrag niet eenduidig	NH ₄ ⁺ -N is maximaal.	Daling NH ₄ ⁺ -N. In overeenstemming met het gegeven dat algen NH ₄ boven andere N-bronnen prefereren.	NH ₄ ⁺ -N-verloop min of meer complementair aan chl-verloop. Uiteindelijk wordt NH ₄ ⁺ -N 0.	NH ₄ ⁺ -N-verloop complementair aan chl-verloop.

Tabel 6.4 Dominante algen in het PWN-bekken, ingedeeld in periodes

Soorten algen	Periode A	Periode B	Periode C	Periode D	Periode E
Kiezelalgen dominant	<i>Melosira</i> <i>Stephanodiscus</i> 1986: naast kiezelalgen ook blauw- en groenalgen 1987: vroege <i>Cryptomonas</i> -bloei (ijs)				
Opkomst kleine groenalgen en cryptophyceae	Groenwierbolletjes <i>Cryptomonas</i>				
Grotere groenalgen zijn afwisselend dominant. Een enkele maal is een kleine blauwalgensoort dominant.	<i>Oocystis</i> <i>Pandorina</i> <i>Pediastrum</i> 1986: ook <i>Cryptomonas</i> en <i>Aphanocapsa</i>				
Kiezelalgen en blauwalgen	<i>Stephanodiscus</i> <i>Microcystis</i>				
Blauwalgen dominant	<i>Microcystis</i>				
Opkomst kiezelalgen	<i>Melosira</i> <i>Stephanodiscus</i> 1987: ook <i>Scenedesmus</i> . 1988: kiezelalgen duidelijk dominant, blauwalgen soms.				

Tabel 6.5 Weken waarin algen uit het vanuit het PWN-bekken ingelaten water moeilijk door microzeven worden verwijderd in de PWN-installatie

jaar	week	niet door microzeven verwijderde algen
1984	14 - 15	kleine groenwierbolletjes
	25 - 26	<i>Anabaena spec</i>
	36	<i>Microcystis aeruginosa</i> , losse cellen
1985	16 - 20	kleine groenwierbolletjes
	33 - 36	<i>Microcystis aeruginosa</i> , losse cellen
1986	10 - 19	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> , kleine groenwierbolletjes
	23 - 27	<i>Anabaena spec</i> , <i>microcystis</i>
	31 - 38	<i>Microcystis aeruginosa</i> , losse cellen
1987	12 - 14	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>
	18 - 19	kleine groenwierbolletjes
	33 - 36	<i>Microcystis aeruginosa</i> , losse cellen
1988		geen problemen

Tabel 6.6 Trends en karakteristieken van verschillende parameters in het WRK-bekken

WRK	Periode A	Periode B	Periode C	Periode D
chl-a	Chl-a-piek, het verloop is wat evenwichtiger dan bij het PWN-bekken. 1988: piek begint vroeger en zet langer door	Onregelmatig verloop chl-a met een kleine piek erin.	1 à 2 pieken in het chl-a-verloop	Daling van het chl-a-gehalte
PO ₄ ³⁻ -P	Fosfaat in deze periode niet zo vaak gemeten.	PO ₄ ³⁻ -P concentratie is zeer laag.	PO ₄ ³⁻ -P verloop is onregelmatig maar heeft globaal dezelfde pieken als Si.	PO ₄ ³⁻ -P blijft ongeveer hetzelfde.
Si	Afname Si-gehalte totdat dit uiteindelijk 0 wordt.	Si concentratie is zeer laag.	Het Si-gehalte vertoont een kleine piek, weer gaat het Si naar 0.	Stijging Si
NH ₄ ⁺ -N	Complementair gedrag NH ₄ ⁺ -N met chl-a.	Het NH ₄ ⁺ -N verloop is veel rommeliger dan het chl-a.	Hoge pieken in het NH ₄ ⁺ -N verloop, hoger dan in het chl-a-verloop. 1984: afname NH ₄ ⁺ -N 1986: geen hoge pieken in deze periode	Toename NH ₄ ⁺ -N, complementair aan het chl-a-gedrag.

Tabel 6.7 Vergelijken van het PWN- en het WRK-bekken

PWN-bekken	WRK-bekken
5 periodes per jaar	4 periodes per jaar
Late inzet zomerperiode	Zomer/winter caesuur
Hoog en onrustig chlorofyl-a-verloop	Gelijkmatiger chlorofyl-a-verloop
Periodes onderling sterk verschillend	Periodes niet zo duidelijk te onderscheiden
De lengte van A+B, C+D en E liggen min of meer vast, er zijn dus 3 vaste periodes	De lengte van A+D en B+C liggen min of meer vast, er zijn dus 2 vaste periodes
Grote PO_4^{3-} -P-piek in de periode C en D.	Geen piek PO_4^{3-} -P.
Beide bekkens vertonen in het algemeen weinig tot geen koppeling van PO_4^{3-} -P met chl-a. Alleen PWN-bekken vertoont een koppeling in periode B.	
Gelijkmatiger NH_4^+ -N-verloop	Meer onrust in NH_4^+ -N-verloop

6.4 Vergelijken van het PWN- en WRK-bekken met het IJsselmeer

Voor beide bekken is er op het IJsselmeer gemonsterd. De trends zijn voor beide meetlocaties hetzelfde.

Verschillen in absolute concentraties zijn toe te schrijven aan de verschillende ligging van de meetlocaties en verschil in tijdstip van monstren.

De gegevens van het IJsselmeer zijn niet verwerkt tot grafieken.

Tabel 6.8 Vergelijken van het PWN- en WRK-bekken met het IJsselmeer

	PWN-bekken	WRK-bekken	IJsselmeer
chl-a	De periodes van het PWN-bekken zijn min of meer te handhaven voor het IJsselmeer. Voor het WRK-bekken geldt een andere periode indeling. In week 10 vindt er een omslag plaats in het chlorofyl-a-gedrag.		
PO ₄ ³⁻ -P	In beide bekken vindt afvlakking ten opzichte van het IJsselmeer plaats. De gehalten zijn lager en minder fluctuerend. In PWN-bekken wordt deze onderbroken door P-piek in periode D.		
Si	Het silicium-gehalte in het IJsselmeer neemt af tot week 15. Dan wordt de concentratie 0. Ditzelfde gedrag treedt op in het PWN-bekken. Ook nu geldt weer dat de periodiciteit van het IJsselmeer in het PWN-bekken terug te vinden is. De periodiciteit van het WRK-bekken komt hiermee niet overeen.		
NH ₄ ⁺ -N	Het NH ₄ ⁺ -N-verloop is hetzelfde voor IJsselmeer en PWN-bekken. Alleen 1984 is afwijkend. Het WRK-bekken vertoont een onrustiger verloop.		

De periodiciteit in 1988 wijkt op veel gebieden af van de trends in de andere jaren. Wel geldt dat ook in 1988 de parameters in het PWN-bekken en in het IJsselmeer globaal dezelfde periodiciteit kennen.

6.5 Discussie

De indeling in de gevonden periodes is, hoewel een vrij grove, een goed te gebruiken indeling. Het geeft de wetmatigheid van de processen door de jaren heen weer. Kleine verschillen, optredend binnen een periode, worden echter buiten beschouwing gelaten.

Het door de jaren heen steeds even lang blijven van de combinaties van periodes duidt erop dat variaties in klimatologische omstandigheden niet van belang zijn. Wellicht is niet zozeer de hoeveelheid zonlicht maar de hoek van instraling en de daglengte bepalend voor de periodiciteit.

Door de gebruikte indeling in periodes en de beschrijving van het verloop van de parameters in deze periodes wordt het "normale" verloop van de parameters en de uitzonderingen hierop zichtbaar.

De periodiciteit in het **PWN**-bekken verschilt van die in het **WRK**-bekken. Dit zal een gevolg van het verschil in diepte tussen de beide bekkens zijn.

Verloop parameters

Chlorofyl-a

Het verloop van het chlorofyl-a-gehalte in het **IJsselmeer** vertoont grote overeenkomst met dat van het **PWN**-bekken. Beide ondiepe bekkens vertonen het karakteristieke beeld van een ondiepe plas in de gematigde klimaatszone (hoofdstuk 5.2). De algendynamica in het **PWN**-bekken bevestigt dit beeld.

Het verloop van dit gehalte in het **WRK**-bekken is gelijkmatiger. De gemeten waarden zijn lager. Door de diepte van het bekken (gem. 12 m) en de kunstmatige menging zal de fytoplanktongemeenschap waarschijnlijk niet geheel overeenkomen met die van een ondiepe bekken. De gevonden trends in het chlorofylgehalte kunnen echter niet gerelateerd worden aan een algendynamica door het (niet beschikbaar hebben) van gegevens over de fytoplanktongemeenschap.

Fosfor (P)

In de hierna volgende beschouwing over het fosfaat is slechts gekeken naar orthofosfaat, omdat deze vorm van fosfaat het voor algen opneembare fosfaat omvat.

Tussen het verloop van het fosfaatgehalte in beide bekkens en het verloop van het chlorofylgehalte is geen direct verband te leggen. Fosfor lijkt niet het groeibepalende element te zijn.

In het **PWN**-bekken treedt in de zomer een duidelijke toename op. Aanlevering van fosfaat naar de bekkens vindt plaats door toestroming vanuit het **IJsselmeer** en door afgifte door de bodem. Uit onderzoek is gebleken dat in het **PWN**-bekken de fosfaatafgifte lokaal hoog kan zijn (Boers, 1986).

Hoewel deze informatie slechts op waarnemingen aan twee monsters berust, lijkt het voldoende betrouwbaar. In het bekken ligt bijna overal hetzelfde slib en de variatie in laagdikte was ten tijde van de monsternamen zodanig dat de afgifte van P over het gehele bekken gelijk mag worden verondersteld.

Over mogelijke fosfaatafgifte door het sediment in het **WRK**-bekken zijn geen gegevens bekend. Daar de verhouding volume bekken/oppervlakte bodem groter is dan in het **PWN**-bekken zal een dergelijke afgifte minder invloed hebben op het fosfaatgehalte in het bekken.

Silicium (Si)

In beide bekkens wordt de kiezelalgenbloei in het voorjaar beëindigd door een tekort aan Si. In het najaar treedt weer een kiezelalgenbloei op. De twee dominerende kiezelalgensoorten zijn *Melosira*, een genus met middelgrote afmetingen, en *Stephanodiscus*, een genus bestaande uit kleine soorten. Volgens Sommer (1988) kan het voorkomen van juist *Stephanodiscus* in het voorjaar de aanzet geven tot een korte Si-cyclus waardoor in het najaar weer voldoende Si beschikbaar is voor een nieuwe bloei. Voor zowel de beide bekkens als het IJsselmeer geldt dat de hoogste Si-concentraties in de winterperiode worden gemeten.

Ammonium (NH₄⁺)

Het verloop van het ammoniumgehalte is min of meer complementair aan het verloop van het chlorofylgehalte. Hieruit kan afgeleid worden dat ammonium de stikstofbron voor de fytoceenose is. Het verloop van het gehalte aan NH₄⁺ is in de zomer en najaar complementair aan het verloop van het chlorofylgehalte. Algen beïnvloeden door hun opname dit verloop het meest. Uit het feit dat het NO₃⁻ en NO₂⁻-gehalte niet toeneemt bij afname van NH₄⁺-gehalte blijkt dat de bacteriële omzetting van NH₄⁺ van weinig invloed is. In het voorjaar, bij de stijging van temperatuur en het begin van de kiezelalgenbloei is het verloop van het NH₄⁺ gehalte niet geheel complementair aan het chlorofylgehalte. In deze periode kan het vrijkomen als gevolg afbraakprocessen en de opname door algen wel eens nog niet met elkaar in evenwicht zijn, zoals later in het seizoen.

Problemen met verwijdering algen uit influent PWN

Algen kunnen door hun concentratie of door hun afmetingen problemen geven in het zuiveringsproces. Problemen met het verwijderen van algen uit het influent komen ieder jaar in dezelfde periodes voor. De problemen worden veroorzaakt door kleine algen of kleine losse cellen van kolonievormende algen. Zeer kleine algen worden door de microzeven niet tegengehouden. Kleine "groenwierbolletjes", groenalgen en cryptomonassoorten, hebben te geringe afmetingen om door de zeven verwijderd te worden (periode B). Ook draadvormende blauwalgen passeren de zeven door hun geringe diameter (periode C). In september, tijdens de bloei van *Microcystis aeruginosa*, worden de zeven verstopt door kolonies, terwijl in een enkele week met kleine kolonies en veel losse cellen deze juist de zeven passeren.

De vraag is of chlorofyl een goede parameter is om deze algenoverlast te meten. Problemen hangen samen met de grootte van de algen of met aanwezige slijmkapsels als bij *M. aeruginosa*. Uit de balansberekeningen blijkt op grond van de chlorofylgegevens dat in periode B wel groei optreedt in het bekken. In periode D echter niet. Echter, veel zeer kleine "μ-algen" kunnen een zeer geringe bijdrage leveren aan het chlorofylgehalte. Blauwalgen, zoals *M. aeruginosa* bevatten relatief weinig chlorofyl, waardoor een grote concentratie van deze algen niet terug te vinden hoeft te zijn in het chlorofylgehalte. Om problemen gerelateerd aan de afmetingen van algen in beeld te krijgen, zal een parameter gebruikt moeten worden gerelateerd aan de grootte en aan de vorm van de algen (flowcytometrie).

7 Balansen

7.1 Inleiding

Door het opstellen van water- en stofbalansen voor de bekkens kunnen de processen beschreven in hoofdstuk 6 getalsmatig worden vastgelegd. Door beschouwing van de verschillende termen van de balansen wordt een indruk gekregen in welke mate ze bijdragen aan de processen in het bekken. Met behulp van chloridebalansen kan worden bepaald of de bekkens volledig gemengd zijn.

Bij het opstellen van een stofbalans voor een bekken is een goede waterbalans van essentieel belang. Het water vormt immers het belangrijkste transportmiddel van de stof. Zijn de componenten van de waterbalans niet goed of niet nauwkeurig genoeg bepaald, dan zal dit ook doorwerken in de nauwkeurigheid van de stofbalans. In het algemeen kan gezegd worden dat de stofbalans altijd minder nauwkeurig is dan de waterbalans; hoe beter de waterbalans, des te beter wordt de stofbalans.

7.2 Waterbalans

Voor het verkrijgen van een algemene formulering van de waterbalans van een bekken zijn de volgende componenten te onderscheiden:

1. INSTROMING (Q_{in} in $m^3 \cdot s^{-1}$)
 - 1.1 rivieren ($Q_{rivier, in}$)
 - 1.2 uitwisseling met aansluitende bekkens, hetzij in open verbinding, hetzij kunstmatig gereguleerd ($Q_{bekken, in}$)
 - 1.3 neerslag ($Q_{neerslag, in}$)
 - 1.4 grondwaterstroming, kwel ($Q_{grondwater, in}$)
 - 1.5 afstroming van het land ($Q_{land, in}$)
 - 1.6 lozingen met een niet verwaarloosbare bijdrage in de waterbalans ($Q_{lozing, in}$)
2. UITSTROMING (Q_{uit} in $m^3 \cdot s^{-1}$)
 - 2.1 rivieren ($Q_{rivier, uit}$)
 - 2.2 uitwisseling met aansluitende bekkens, hetzij in open verbinding, hetzij kunstmatig gereguleerd ($Q_{bekken, uit}$)
 - 2.3 inzijging ($Q_{grondwater, uit}$)
 - 2.4 verdamping ($Q_{neerslag, uit}$)

Er geldt dus:

$$Q_{in} = Q_{rivier, in} + Q_{bekken, in} + Q_{neerslag, in} + Q_{grondwater, in} + Q_{land, in} + Q_{lozing, in} \quad (1)$$

$$Q_{\text{uit}} = Q_{\text{rivier, uit}} + Q_{\text{bekken, uit}} + Q_{\text{grondwater, uit}} + Q_{\text{neerslag, uit}} \quad (2)$$

Als het bekken een oppervlakte O heeft, dan geldt

$$O \cdot \Delta h = (Q_{\text{uit}} - Q_{\text{in}}) \cdot \Delta t \quad (3)$$

met:

Δh = verandering in de waterstand in het bekken in het tijdsinterval Δt
 Δt = tijdsinterval tussen twee opeenvolgende waterstandswaarnemingen

De waterbalans van vergelijking (3) kan worden geschematiseerd tot:

$$\text{in} = \text{uit} + \text{berging} \quad (4)$$

De termen van (4) kunnen voor het PWN- en WRK-bekken als volgt worden onderverdeeld:

- | | | |
|---------|---|---|
| in | : | 1. instroom vanuit het IJsselmeer ($Q_{\text{bekken, in}}$) |
| | | 2. neerslag ($Q_{\text{neerslag, in}}$) |
| | | 3. kwel ($Q_{\text{grondwater, in}}$) |
| uit | : | 4. inname door PSA/WRK ($Q_{\text{bekken, uit}}$) |
| | | 5. verdamping ($Q_{\text{neerslag, uit}}$) |
| | | 6. inzijging ($Q_{\text{grondwater, uit}}$) |
| berging | : | 7. verandering in het watervolume ten gevolge van bovengenoemde processen |

Bij de uitwerking van de balans is gebruik gemaakt van de gegevens van 1985. Dit jaar is representatief voor de parametertrends, zoals beschreven in hoofdstuk 6. De indeling van de jaren in periodes zoals beschreven in hoofdstuk 6 zal ook bij de berekeningen van de balansen worden gehandhaafd. Een overzicht van de berekeningen bij de waterbalans is opgenomen in tabel 7.1 en in bijlage III.

1 en 4. Instroom vanuit het IJsselmeer ($Q_{\text{bekken, in}}$) en inname door PSA/WRK ($Q_{\text{bekken, uit}}$)

De instroom vanuit het IJsselmeer het bekken in, wordt niet gemeten. De bekkens staan onder normale omstandigheden in open verbinding met het IJsselmeer.

Voor eerdere berekeningen met betrekking tot de menging in de bekkens en bij de berekeningen die hier zullen worden uitgevoerd is er van uitgegaan dat de instroom vanuit het IJsselmeer even groot is als de inname door het de zuiveringsstrations en dat de waterspiegel van de bekkens daarbij even hoog ligt als in het IJsselmeer. Dit hoeft niet altijd het geval te zijn. Onder invloed van wind bijvoorbeeld is het mogelijk dat water vanuit het bekken naar het IJsselmeer stroomt.

2 en 5. Neerslag ($Q_{\text{neerslag, in}}$) en verdamping ($Q_{\text{neerslag, uit}}$)

Op basis van maandgegevens van het KNMI zijn de neerslag en verdamping in de bekkens bepaald.

Er wordt aangenomen dat de neerslag en verdamping in beide bekkens (per oppervlakte eenheid) even groot zijn.

3 en 6. Kwel ($Q_{\text{grondwater, in}}$) en inzijging ($Q_{\text{grondwater, uit}}$)

PWN-bekken

De geohydrologisch situatie ter plaatse van het PWN-bekken en haar omgeving is te schematiseren als een systeem bestaande uit drie watervoerende pakketten, twee scheidende lagen en een afdekkend pakket. De schematisatie is weergegeven in figuur 16 (Bijlage IV).

Door IWACO is in 1987 een studie verricht naar de gevolgen van het uitdiepen van het PWN-bekken op de kwel en/of inzijging ter plaatse van het bekken (1987). Deze gegevens zijn gebruikt voor de bepaling van de kwel-/inzijgingsterm in de waterbalans. In de IWACO-studie is het gebied geschematiseerd tot een één-dimensionale situatie; in de gekozen raai liggen achtereenvolgens: het IJsselmeer, het PWN-bekken, het Bergerveld en de achterliggende polder (het Oude Land, figuur 16, bijlage IV). De isohypsenkaart van dit gebied vertoont in de raai een afnemende stijghoogte in de richting van de polder. Op grond van de wet van Darcy:

$$q \quad : \quad k \cdot dh \cdot (dx)^{-1} \quad (5)$$

met:

- q : debiet dat infiltreert per eenheid van oppervlak tussen twee punten op afstand x ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$)
- k : doorlatendheid (m)
- dh : verschil in stijghoogte tussen dezelfde twee punten (m)
- dx : onderlinge afstand deze twee punten (m)

mag worden verwacht dat de grondwaterstroming ook in deze richting zal lopen.

De berekeningen van IWACO geven dit ook aan: in het bekken infiltreert water dat in de polder als kwel weer aan de dag treedt (zie fig. 16).

De hoeveelheid water die per dag infiltreert is $1,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$.

Bij de berekening van de totale infiltratie moet gebruik worden gemaakt van de contactoppervlakte van de bekkens. Deze is niet bekend. Ook is de waterverplaatsing via de dijken is onbekend. In deze berekening is uitgegaan van het gevulde bekkensoppervlak van 48 ha.

Totaal infiltreert er dus $48 \cdot 10^4 \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} = 62 \text{ m}^3 \cdot \text{dag}^{-1} = 22776 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$

Voor het **PWN**-bekken is 22776 m^3 gelijk aan $1,5 \%$ van de totale bekkeninhoud. De invloed van de inzijgingsterm op de waterbalans is daarom verwaarloosbaar.

WRK-bekken

Gegevens van kwel en inzijging ter plaatse van het **WRK**-bekken zijn niet bekend. Evenals bij het **PWN**-bekken wordt verondersteld dat de invloed van kwel c.q. inzijging een verwaarloosbare invloed heeft op de waterbalans. Voor het **WRK**-bekken zijn de termen $Q_{\text{grondwater, in}}$ en $Q_{\text{grondwater, uit}}$ gelijk aan 0 gesteld.

Tabel 7.1 Overzicht gegevens waterbalans

	Termen waterbalans (*10 ⁵ m ³)	PWN-bekken (indeling in periodes)				WRK-bekken (indeling in periodes)			
		A + B	C + D	E	Totaal	A	B + C	D	Totaal
	Lengte periodes (weken)	21,5	21	9,5	52	14,5	23	14,5	52
In	Instream vanuit het IJsselmeer ($Q_{\text{bekken, in}}$)	56,55	55,24	24,99	136,78	98,31	170,42	139,73	408,46
	Neerslag ($Q_{\text{neerslag, in}}$)	1,09	2,12	0,89	4,10	0,77	2,42	1,26	4,45
	Kwel ($Q_{\text{grondwater, in}}$)	0				0			
Uit	Inname door PSA en WRK ($Q_{\text{bekken, uit}}$)	56,55	55,24	24,99	136,78	98,31	170,42	139,73	408,46
	Verdamping ($Q_{\text{neerslag, uit}}$)	1,02	1,86	0,10	2,98	0,38	2,54	0,31	3,23
	Inzijing ($Q_{\text{grondwater, uit}}$)	0,09	0,09	0,04	0,23	0	0	0	0
Berging	In - Uit = Verandering berging	-0,02	0,17	0,75	0,90	0,39	-0,12	0,95	1,22

7.3 Stofbalansen

Zoals in de vorige paragraaf is beschreven wordt de waterbalans weergegeven als:

$$Q_{in} * \Delta t = Q_{uit} * \Delta t + O * \Delta h \quad (3)$$

Voor de stoffenbalans geldt:

$$Q_{in} * c_{in} * \Delta t = Q_{uit} * c_{uit} * \Delta t + (V + \Delta V) * \Delta c_{bekken} \quad (6)$$

met:

c_{in}	:	stofconcentratie instromend water (mg.l ⁻¹)
c_{uit}	:	stofconcentratie uitstromend water (mg.l ⁻¹)
Δc_{bekken}	:	verandering stofconcentratie bekkenwater in tijdsinterval Δt (mg.l ⁻¹)
V	:	volume bekken (m ³)
ΔV	:	verandering volume bekken in tijdsinterval Δt (m ³)

Voor de hier beschouwde bekkens wordt weer aangenomen: $Q_{in} = Q_{uit} = Q$, en $\Delta V = 0$. Met deze aannames wordt (6) voor elke periode Δt waarin Q is constant:

$$c_{in} * c_{uit}^{-1} = 1 * k * \tau \quad (7)$$

met:

$$k = \Delta c_{bekken} * \Delta t^{-1} * c_{uit}^{-1}$$

$$\tau = V * Q^{-1} : \text{verblijftijd van het water in het bekken (week)}$$

De exacte grootte van de restterm van (7) wordt bepaald door veel factoren, zie hoofdstuk 5. Met (7) kan worden bepaald wat per saldo in een periode aan processen plaatvindt, dus of per periode stofconcentraties groter dan wel kleiner worden tijdens het verblijf van het water in het bekken.

Bij het opstellen van de stofbalansen is weer gebruik gemaakt van de perioden vastgesteld in hoofdstuk 6 en van de grafieken in bijlage II.

Overzicht stofbalansen

De berekeningen bij de stofbalansen zijn opgenomen in bijlage III. De uitkomsten van deze berekeningen zijn voor het PWN-bekken samengevat in tabel 7.2 en voor het WRK-bekken in tabel 7.3. Getallen kleiner dan 1.0 geven een toename van de stofconcentratie in het bekken aan. Getallen groter 1 een afname.

Tabel 7.2 Stofbalansen van het PWN-bekken over 1985.

Periode	Δt (weken)	$c_{in} * c_{uit}^{-1}$ Chloride	$c_{in} * c_{uit}^{-1}$ Chlorofyl-a	$c_{in} * c_{uit}^{-1}$ Silicium	$c_{in} * c_{uit}^{-1}$ ortho-P	$c_{in} * c_{uit}^{-1}$ NH ₄ -N
A + B	21,5	1,0	0,8	3,0	1,5	4,0
C + D	21,0	1,0	1,4	0,5	0,4	1,2
E	9,5	0,9	6,4	0,8	0,7	0,4
Totaal	52,0	1,0	1,5	1,1	0,6	1,4

Tabel 7.3 Stofbalansen van het WRK-bekken over 1985.

Periode	Δt (weken)	$c_{in} * c_{uit}^{-1}$ Chloride	$c_{in} * c_{uit}^{-1}$ Chlorofyl-a	$c_{in} * c_{uit}^{-1}$ Silicium	$c_{in} * c_{uit}^{-1}$ ortho-P	$c_{in} * c_{uit}^{-1}$ NH ₄ -N
A	14,5	1,0	1,3	1,7	2,2	1,4
B + C	23,0	1,0	2,1	1,2	1,7	1,0
D	14,5	1,1	2,9	1,2	1,7	0,7
Totaal	52,0	1,0	2,0	1,5	1,8	1,0

7.4 Discussie

Bij de berekeningen is gebruik gemaakt van de gegevens van 1985. In dit jaar zijn de parameter-trends - die ook voor de andere jaren gelden - duidelijk te herkennen. Bij gebruik van de gegevens van de andere jaren zullen soortgelijke resultaten worden verkregen.

De balansen voor chloride - een conservatieve stof - zijn vrijwel sluitend; de bergingstermen zijn gelijk aan nul. Omdat $c_{chloride, in} = c_{chloride, uit}$ mag worden verondersteld dat de bekkens volkomen gemengd zijn. Dit sluit aan op onderzoek dat hiernaar verricht is door het PWN (pers.comm.). Hieruit kan worden geconcludeerd dat de aanname $Q_{bekken, in} = Q_{bekken, uit} = Q$ geen grote onnauwkeurigheden oplevert.

De waterbalans van zowel het PWN- als het WRK-bekken is vrijwel sluitend. De

bergings-term van de waterbalans, waar naast de toe- of afname van het volume van het bekken ook alle restposten onder vallen, is voor beide bekkens klein ten opzichte de totale bekkeninhoud.

Opgemerkt kan worden dat voor een meer exacte bepaling van de grootte van de bergings-termen van de waterbalansen, naast de al gemeten debieten, de debieten vanuit het IJsselmeer het bekken in moeten worden gemeten.

Met de uitkomsten van de chloridebalansen is onderbouwd dat de bijdrage van kwel c.q. inzijing verwaarloosbaar is ten opzichte van de andere termen van de water- en stofbalansen.

De uitkomsten van de stofbalansen zijn als volgt samen te vatten:

Tabel 7.4 Toe- en afname van een aantal parameters in het PWN-bekken ten opzichte van het IJsselmeer.

PWN periode	chl-a	Si	PO ₄ ³⁻ -P	NH ₄ ⁺ -N
A + B	+	-	-	-
C + D	-	+	+	-
E	-	+	+	+

+ = toename
- = afname

Tabel 7.5 Toe- en afname van enkele parameters in het WRK-bekken ten opzichte van het IJsselmeer.

WRK periode	chl-a	Si	PO ₄ ³⁻ -P	NH ₄ ⁺ -N
A	-	-	-	-
B + C	-	-	-	-
D	-	-	-	+

+ = toename
- = afname

Oorzaken van de toe- en afname van parameters in de bekkens ten opzichte van het IJsselmeer kunnen alleen indicatief worden aangegeven. Uit hoofdstuk 5 blijkt dat veel facetten een rol spelen bij de processen in het water.

In het PWN-bekken neemt in periode A + B per saldo de chlorofylconcentratie toe en nemen de voedingsstoffenconcentraties af ten opzichte van het IJsselmeer. Door de meer beschutte ligging van het PWN-bekken is sprake van minder turbulentie en opwerveling van bodemmateriaal waardoor licht dieper door kan dringen in de waterkolom dan in

het **IJsselmeer**. Ook is het mogelijk dat het water in het bekken sneller opwarmt dan in het grotere **IJsselmeer**. Diatomeeën - *Melosira* en *Stephanodiscus* zijn dominant - kunnen hierdoor beter groeien dan in het **IJsselmeer** wat de relatieve toename van chlorofyl en de relatieve afname van de voedingsstofconcentraties in het **PWN**-bekken verklaart.

Hoewel uit de periodiciteit van het **WRK**-bekken blijkt dat hier sprake is van een zomer- (B + C) en een winterperiode (D + A), is toch besloten niet A + D bij het opstellen van deze balansen als een periode te beschouwen. De balans is slechts voor één kalenderjaar opgesteld. Periode A in 1985 wordt beïnvloed door de voorafgaande periode D (1984). Periode D in 1985 vormt met de volgende periode A een winterperiode.

In het **WRK**-bekken vindt in periode A ten opzichte van het **IJsselmeer** per saldo een afname plaats van alle in tabel 7.5 genoemde parameters. Door de grotere diepte van het bekken en de volledige menging bevinden de algen zich minder lang in de eufotische zone dan in het **IJsselmeer** waardoor de groei relatief langzamer verloopt. De afname van de voedingsstoffenconcentraties in het **WRK**-bekken duidt erop dat afbraakprocessen niet de overhand hebben. Ook is het mogelijk dat een deel van de voedingsstoffen in het bekken bezinkt.

In periode C + D neemt per saldo de chlorofylconcentratie in het **PWN**-bekken ten opzichte van die van het **IJsselmeer** af. De toename van Si in het bekken geeft aan dat afbraak van diatomeeën plaatsvindt. De toename van PO_4^{3-} in het bekken wordt met name veroorzaakt door de nalevering van de bodem (hoofdstuk 6). De afname van NH_4^+ suggereert enige groei; wellicht speelt de aan het eind van periode C + D optredende toename van kiezelalgen hierin een rol.

In periode B + C van het **WRK**-bekken nemen alle concentraties van tabel 7.5 af ten opzichte van die van het **IJsselmeer**; de groei die de afname van de voedingsstoffen aangeeft komt niet terug als een toename van het chlorofylgehalte. De veronderstelling dat een verschuiving in de algensamenstelling heeft plaatsgevonden kan niet worden onderbouwd omdat meetgegevens niet beschikbaar waren.

In periode E van het **PWN**-bekken vindt ten opzichte van het **IJsselmeer** een sterkere afbraak van biomassa plaats. Gezien de toename van NH_4^+ geldt voor het **WRK**-bekken hetzelfde. Hierbij kan worden opgemerkt dat per saldo Si en PO_4^{3-} in het bekken achterblijven.

Per saldo nemen over het jaar bekeken alle concentraties - behalve de PO_4^{3-} -concentraties in het **PWN**-bekken - in beide bekkens af. De stoffen worden omgezet in biomassa of bezinken in de bekkens. De chlorofyl concentratie neemt over het jaar bekeken in het **WRK**-bekken sterker af dan in het **PWN**-bekken.

De gemeten concentratie chlorofyl is het resultaat van toename en verlies. In beide bekkens is het verlies aan chlorofyl groter dan de toename, met uitzondering van de voorjaarsperiode (A + B) in het **PWN**-bekken.

Afname van de chlorofylconcentratie kan twee oorzaken hebben:

1. verminderde groei bij een gelijkblijvend verlies
2. vermeerderd verlies bij een gelijkblijvende groei (Sommer, 1989).

In het **PWN**-bekken treedt een vermeerderd verlies op door de vermindering van de turbulentie en daardoor verhoging van de bezinksnelheid van algen.

In het **WRK**-bekken worden de algen door de kunstmatige menging aan lichtbeperking blootgesteld. Hierdoor vermindert hun groei. Door de kunstmatige menging zal de turbulentie weinig verschillen van het **IJsselmeer**. Bezinking zal voor het **WRK**-bekken en het **IJsselmeer** in dezelfde orde van grootte liggen .

De balansperiodes omvatten een aantal weken. Een algengemeenschap zal zich veel dynamischer gedragen. In één of enkele weken kan een sterke toename optreden, terwijl over de gehele periode een afname te zien is. Nagegaan moet worden of de balansperiodes, gekozen op grond van de seizoensperiodiciteit van algen, de dynamiek van de algen in het bekken goed weergeven.

8 Conclusies en aanbevelingen

Het doel van dit onderzoek is met bestaande meetgegevens de chemische en de biologische processen in zowel het PWN- als het WRK-bekken te beschrijven. Beide typen processen hebben invloed op de waterkwaliteit. Deze invloed is niet in beide bekkens gelijk, zoals blijkt uit de hoofdstukken 6 en 7.

Uit de balansberekeningen blijkt dat in het WRK-bekken, op een enkele uitzondering na, in alle periodes van alle parameters een verlaging van de concentraties optreedt. Uitzondering is het NH_4^+ -gehalte in het najaar. Er treedt in het bekken berging op van deze stoffen.

In het PWN-bekken is de afname of toename van de verschillende parameters afhankelijk van het seizoen. In dit bekken is het bergingseffect minder duidelijk. Dit is waarschijnlijk een gevolg van de geringere diepte waardoor resuspensie van nutriënten of nalevering door de bodem een groter effect heeft. Uitdiepen van het PWN-bekken zal het bergend vermogen van het bekken vergroten.

Parameterkeuze

Parameters, te meten in of bij een bekken kan men in twee groepen verdelen:

- van belang voor de bereiding van goed drinkwater (normering!)
- van belang voor de beschrijving van de processen in het bekken.

Deze groepen zullen elkaar ten dele overlappen. De plaats waar en de frequentie waarmee een parameter bepaald moet worden, is afhankelijk van de groep waartoe hij behoort.

Een goede analyse van het doel waarvoor parameters gebruikt worden zal resulteren in veranderingen in het meetnet en de meetfrequentie.

Chlorofyl blijkt een goede parameter te zijn voor de dynamiek van algen in het bekken. Er zijn echter twee redenen om chlorofyl niet te gebruiken als stuurparameter voor het zuiveringsproces. Zowel het optreden van grote aantallen kleine algen als het optreden van blauwalgen hoeft zich niet te weerspiegelen in het chlorofylgehalte. In beide gevallen zal de bijdrage van deze groepen aan het totale chlorofylgehalte laag zijn. Chlorofyl is een somparameter en geeft geen informatie over de afmetingen van algen. Blauwalgen bevatten in verhouding tot groenalgen minder chlorofyl. Daarnaast bezitten ze het pigment fycocyanine.

Een mogelijkheid is naast chlorofyl een andere parameter te gebruiken om snel informatie over de deeltjesgrootte en de vorm te krijgen. Het gebruik van de flowcytometer lijkt een mogelijkheid, omdat dan ook o.a. lengte en breedte gemeten worden.

Menging

In de bekken treedt natuurlijke menging op onder invloed van:

- inname-onttrekking
- wind
- turbulentie
- warmteverschillen

Door de meer beschutte ligging van het PWN-bekken zal de menging minder zijn dan in het IJsselmeer. De zwaardere algen (kiezel-, grote groenalgen) kunnen in dit bekken bezinken.

Naast deze natuurlijke menging vindt in het WRK-bekken ook een kunstmatige menging plaats door middel van beluchting.

Het effect van de combinatie kunstmatige - natuurlijke menging op de bezinking van algen is niet bekend. De mogelijkheid bestaat dat er toch op sommige plaatsen de menging zodanig is dat bezinking kan optreden (dode hoeken).

Bij bezinking van zware algen wordt het aandeel van kleine, lichte algen in de algengemeenschap groter.

Door de kunstmatige menging in een diep bekken neemt de totale algenhoeveelheid af. Dit is gunstig voor het zuiveringsproces.

De vraag is of de deeltjesgrootte verdeling van de algen binnen de biocoenose gelijk blijft. Kleine algensoorten vertonen een snellere groei dan grotere soorten. (Reynolds, 1984) Zij kunnen door de kunstmatige lichtbeperking ten opzichte van grotere soorten in een betere concurrentiepositie komen.

Een verschuiving in de soortsaamenstelling in de richting van de kleine algensoorten ligt voor de hand. Door het ontbreken van fytoplanktonanalyses van het WRK-bekken is bevestiging van dit vermoeden niet mogelijk!

Hoewel de hoeveelheid algen bij verdieping zal verminderen, zal het probleem van de kleine algen blijven bestaan. Dit probleem zal in het zuiveringsproces moeten worden opgelost.

De menging moet ook zo gekozen worden dat het effect heeft op de blauwalgen. Door het bezit van gasvacuolen is *M. aeruginosa* in staat zijn soortelijk gewicht te veranderen en zich vertikaal over de waterkolom te verplaatsen. Dit heeft invloed op zijn gedrag tijdens het mengen.

Voorkomen moet worden dat er aan de oppervlakte niet of slecht gemengde zones ontstaan. Juist in deze zones kan *M. aeruginosa* zich dan ontwikkelen wat de vorming van drijfslagen tot gevolg heeft.

Chlorering

Wanneer in de toekomst de beoogde afname van algen in het bekken plaatsvindt zal als gevolg daarvan het bij afbraak vrijkomende ammonium een belangrijk aandeel in de ammoniumconcentratie vertegenwoordigen. De chlorering waarmee nu het ammonium wordt verwijderd zal aan deze verandering aangepast moeten worden, of er zal een andere oplossing voor dit probleem gezocht moeten worden.

Nawoord

Naar aanleiding van de verkregen resultaten en de hierop gebaseerde conclusies, zijn er weer nieuwe vragen te stellen.

Een verlaging van het chlorofylgehalte kan drie verschillende oorzaken hebben:

- vermindering van het aantal individuen
- vermindering van de gemiddelde biomassa van de algen
- verandering in de verhouding tussen de verschillende algengroepen ten gunste van de blauwalgen.

De relatie tussen deze drie factoren, chlorofylgehalte - deeltjesgrootte - pigmentsamenstelling van de algengroepen, zou verder onderzocht moeten worden. Een goed inzicht in deze relatie zal de informatieve waarde van de aangetroffen chlorofylgehaltenes vergroten.

De gevonden relaties en de daaruit getrokken conclusies ten aanzien van de gevolgen van het verdiepen van het PWN-bekken voor de waterkwaliteit konden niet gecontroleerd worden doordat de biologische gegevens van het diepe WRK-bekken niet beschikbaar waren. In de periode 1990-1991 heeft het PWN echter water uit het WRK-bekken ingenomen. Op dit ingenomen water zijn biologische analyses uitgevoerd. Met de verkregen resultaten kunnen de in dit rapport getrokken conclusies gecontroleerd worden.

Een andere mogelijkheid is als nog met de biologische gegevens van het WRK-bekken uit de geanalyseerde periode 1984-1988 deze controle uit te voeren.

Het indelen van het jaar in periodes en het per periode beschrijven van de processen en het berekenen van de stofbalansen is een goede methode gebleken om de grote hoeveelheid meetgegevens te verwerken en inzicht te krijgen in het gedrag van het water in het bekken. Over het bepalen van de exacte periodegrenzen valt te discussiëren. Dit is echter niet van invloed op de conclusies.

Bij modellering van de processen kan een dergelijke aanpak een goede grondslag vormen voor het doorrekenen van scenario's en het op inzichtelijke wijze interpreteren van de resultaten hiervan.

Literatuurlijst

Boers, P.C.M., 1986

Fosfaatafgifte door het sediment van het spaarbekken bij Andijk.
-Rapport 1986-2, Limnologisch Instituut, Nieuwersluis. 20p.

Burgers-Wiersma, T., 1991.

Oriënterend onderzoek naar stikstoffixatie in Nederlandse meren.
Inventarisatie van de stikstoffixatiecapaciteit in twee ondiepe Nederlandse meren gedurende het groeiseizoen van 1990.
-Rapport 1991-1, Lab. voor Microbiologie, Universiteit van Amsterdam, 51p. en 21 figuren.

Colebrook, J.M., 1960.

Plankton and water movements in Windemere.
-J. of Animal Ecology 29: 217-240.

Van Donk, E., 1989.

The role of fungal parasites in phytoplankton succession.
-in: Plankton Ecology p. 171-194.
ed.: U. Sommer.
publ.: Springer-Verlag, Berlin.

George, D.G. & Edwards, R.W., 1976.

The effect of wind on the distribution of chlorophyll-a and crustacean plankton in a shallow eutrophic reservoir.
-J. of Applied Ecology, 13: 667-690.

Happey-Wood, C.M., 1988.

Ecology of freshwater planktonic green algae.
-in: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. p. 175-226.
ed.: C.D. Sandgren.
publ.: Cambridge University Press, Cambridge.

Harris, G.P., 1986.

Phytoplankton ecology.
Structure, function and fluctuation.
-publ.: Chapman and Hik, London. 384p.

Hoekstra, A.C., J. Bol en W. Seinen, 1991.

Blauwwieren en hun toxinen in voor drinkwaterproductie gebruikt oppervlaktewater.
-H₂O 24: 387-393.

- Hutchinson, G.E., 1967.
A treatise on limnology.
vol. II: Introduction to lake biology and the limnoplankton.
-publ.: John Wiley & Sons, inc., New York. 1115 p.
- IWACO, 1987.
Geohydrologisch onderzoek spaarbekken Andijk.
-Rotterdam, 12 p. met figuren en tabellen.
- Kappers, F.I., 1984.
On population dynamics of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*.
-Amsterdam, proefschrift Universiteit van Amsterdam, 176 p.
- Reynolds, C.S., 1984a.
The ecology of freshwater phytoplankton.
-publ.: Cambridge University Press, Cambridge, 384 p.
- Reynolds, C.S., 1984b.
Plankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability.
-Freshwater Biology, 14: 111-142.
- Reynolds, C.S. & Wiseman, S.W., 1982.
Sinking losses of phytoplankton in closed limnetic systems.
-J. of Plankton Research, 4: 489-522.
- Rigler, F.H., 1968
Further observations inconsistent with the hypothesis that the molybdenum blue method measures orthophosphate in lake water.
-Limnology and Oceanography, 13: 7-13.
- Small, L.F., 1963.
Effect of wind on the distribution of chlorophyll a in Clear lake, Iowa.
-Limnology and Oceanography, 8: 426-432.
- Sommer, U., 1988.
Growth and survival strategies of planktonic diatoms.
-in: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton p. 227-260.
ed.: C.D. Sandgren.
publ.: Cambridge University Press, Cambridge.
- Sommer, U., 1989.
The role of competition for resources.
-in: Plankton Ecology p. 57-106.
ed.: U. Sommer.
publ.: Springer-Verlag, Berlin.

Tilman, D.B., Kiesling, R.L., 1984.

Freshwater algal ecology.

Taxonomic trade-offs in the temperature dependence of nutrient competitive abilities.

-in: Current perspectives in microbial ecology. p. 314-319.

ed.: M.J. Klug and C.A. Reddy.

publ.: Amer.Soc.Microbiol.

Vallentyne, J.R., 1974.

The algal bowl.

Miscellaneous Special publication 22, 186 p.

-publ.: Departm. of the Environment Fisheries and Marine Service, Ottawa.

Van der Veer, B., 1988.

Onderzoek naar de invloed van de mate van verzuring op de groei van diatomeeen.

Delft.

-Technische Universiteit, vakgroep Gezondheidstechniek & Waterbeheersing, Afstudeerverslag. 82 p.

Verduin, J., 1951.

A comparison of phytoplankton data obtained by a mobile sampling method with those obtained from a single station.

-Am. J. of Botany 38: 5-11.

Wetzel, R.G., 1975.

Limnology.

-publ.: W.B. Sanders Company, Philadelphia. 743 p.

Bijlage I Analysemethoden

pH	NEN 6411: Water. Bepaling van de pH
Cl	Titrimetrische analyse.
Chlorofyl	NEN 6520: Water. Spectrofotometrische bepaling van het gehalte aan chlorofyl-a.
NO ₃ ⁻ -N	Analyse met autoanalyser na reductie tot NO ₂ ⁻ met behulp van Cu-Cd en vorming tot diazo-complex dat met nafhylethyleendiamine kleurt tot purper/rood.
NH ₄ ⁺ -N	Analyse met autoanalyser met gebruik van tartraat-citraat, salicylaat- en cyanuraat oplossingen.
P-totaal	Analyse met de autoanalyser volgens de methode van Skalar gebaseerd op het principe van de vorming van een fosformolybdaatblauw complex na destructie met behulp van een sterk zuur tot PO ₄ ³⁻ .
PO ₄ ³⁻	Als P-totaal echter zonder destructiestap.
Si	Analyse met autoanalyser gebaseerd op reductie van silicomolybdaat tot molybdeenblauw met behulp van ascorbinezuur, verstoring door P wordt voorkomen door toediening van oxaalzuur.

Bijlage II Meetgegevens verzameld in de jaren 1984-1988 in het PWN-bekken en het WRK-bekken.

Parameters:	chlorofyl a	chl-a
	orthofosfaat	o-PO ₄ ³⁻
	silicium	Si
	ammonium	NH ₄ ⁺
	pH	pH

Op grond van het verloop van deze parameters zijn de jaren in periodes ingedeeld. De lengte van een periode kan per jaar sterk verschillen. Combinatie van periodes hebben daarentegen steeds een constante lengte:

voor het PWN-bekken	periodes	A + B	week 0 - 20
		C + D	week 20 - 41
		E	week 41 - 52
voor het WRK-bekken	periodes	D + A	week 37 - 15
		B + C	week 15 - 37

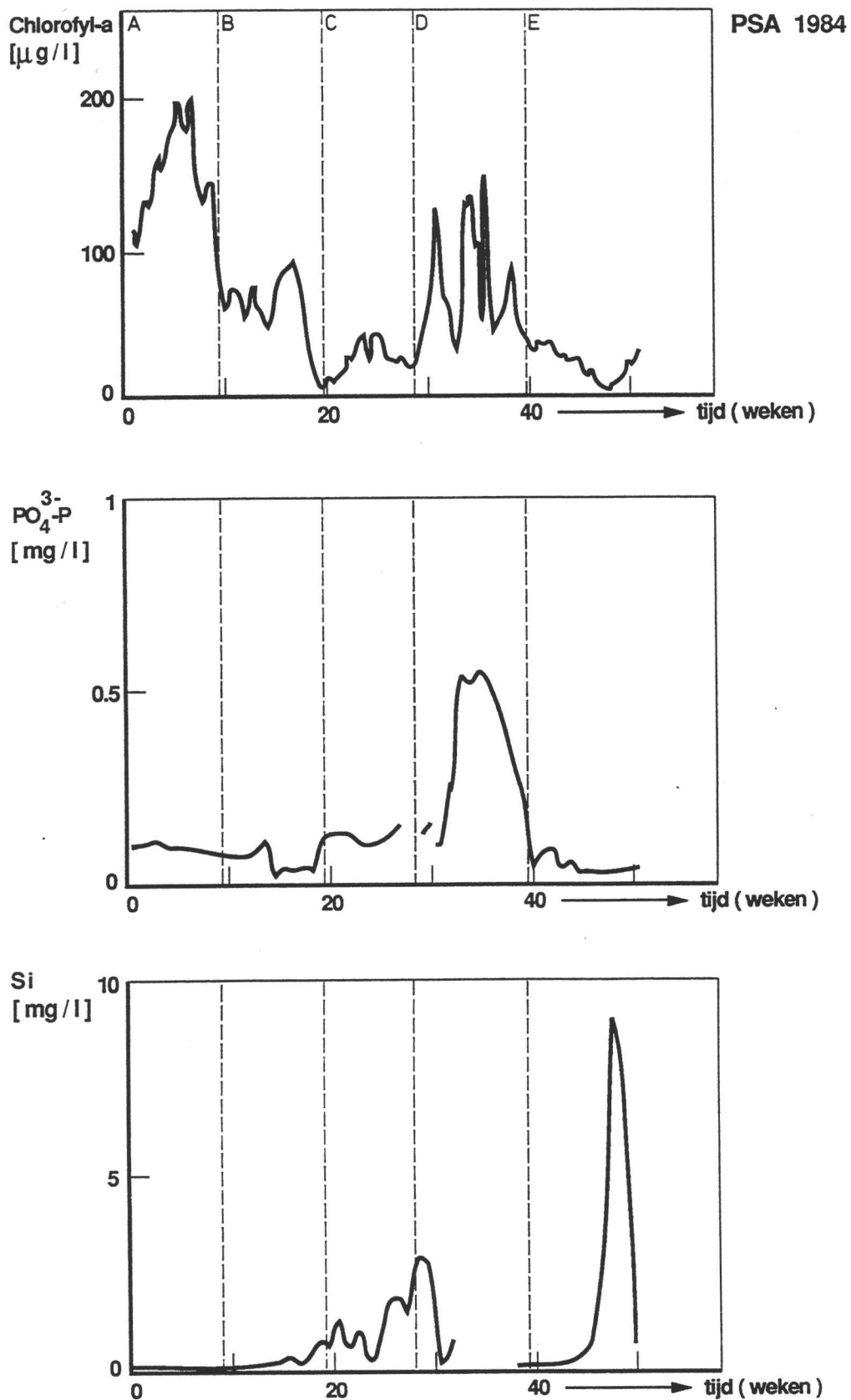
Om de relaties tussen het chlorofyl-gehalte en de andere chemische parameters te verduidelijken zijn per jaar de chlorofylgegevens weergegeven in combinatie met ortho-PO₄³⁻ en Si en met NH₄⁺ en pH.

Voor het PWN-bekken kan de fytoplanktongemeenschap gekarakteriseerd worden op grond van de dominante groepen:

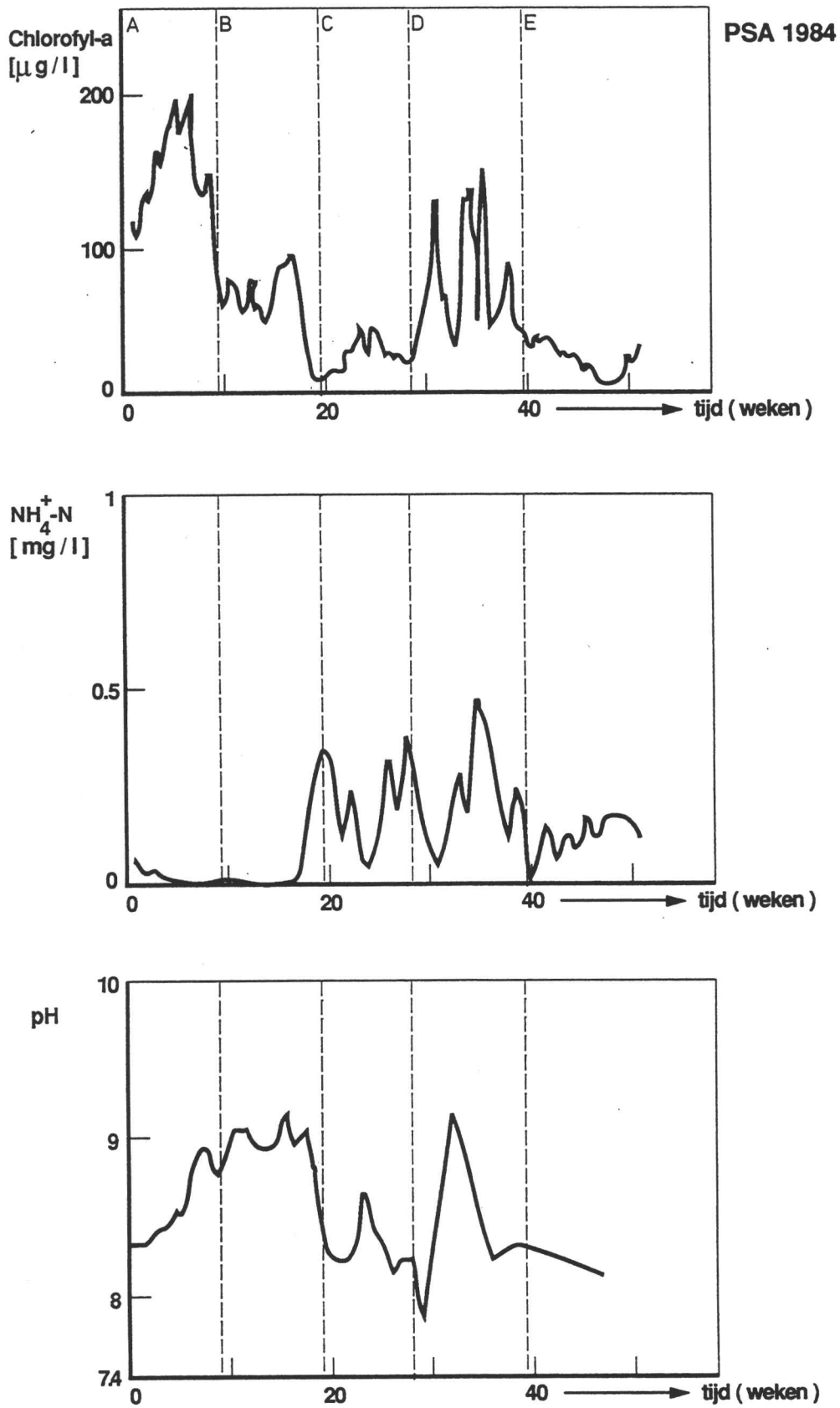
in periode	A	kiezelalgen
	B	kiezelalgen
	C	Cryptophyten, overgaand in groenalgen
	D	groenalgen, overgaand in blauwalgen
	E	meestal kiezelalgen, blauwalgen vaak nog duidelijk aanwezig

Fig. 6 t/m 10 Verloop van de parameters in het PWN-bekken meetpunt pompstation Andijk (PSA)

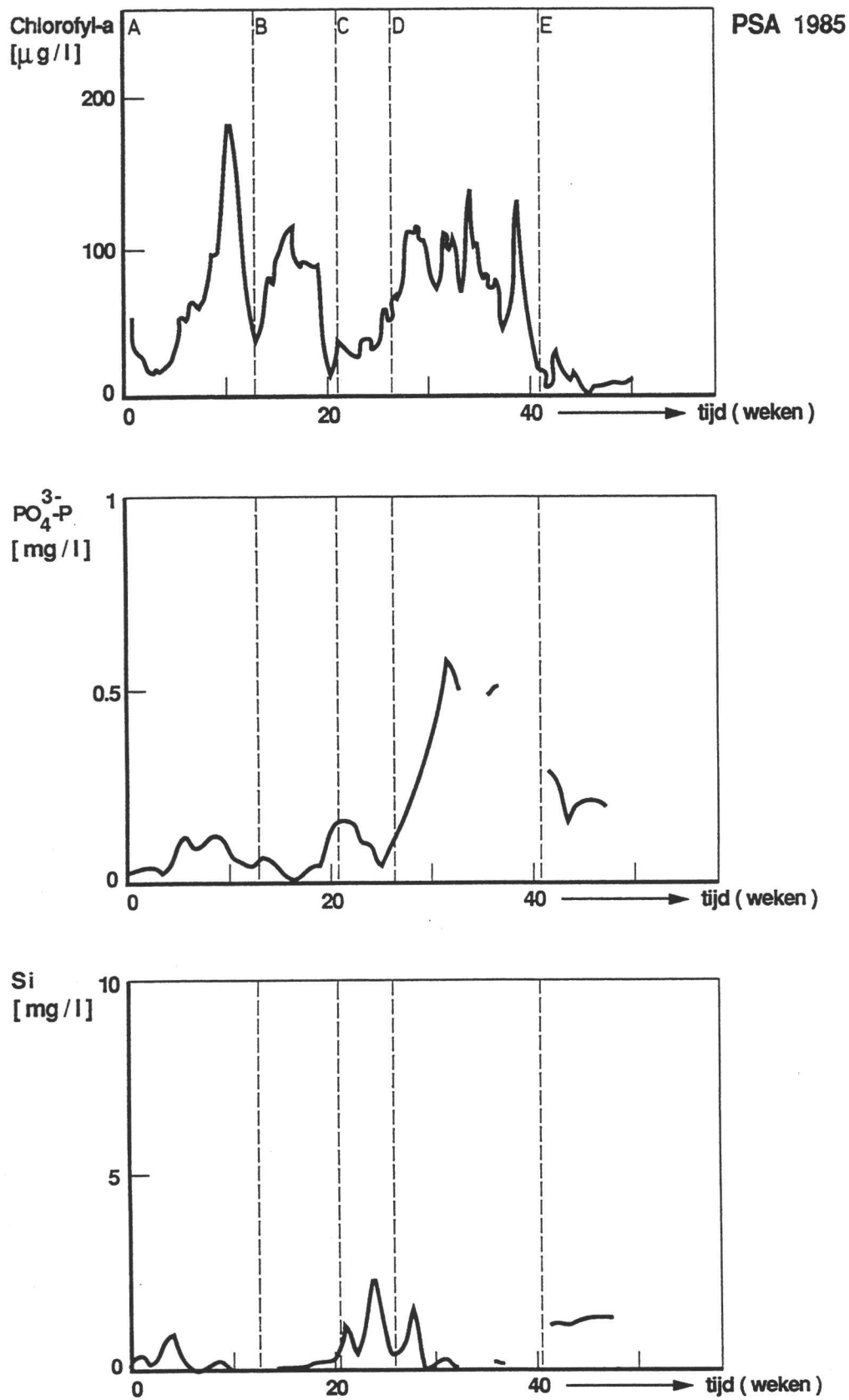
Fig. 11 t/m 15 Verloop van de parameters in het WRK-bekken



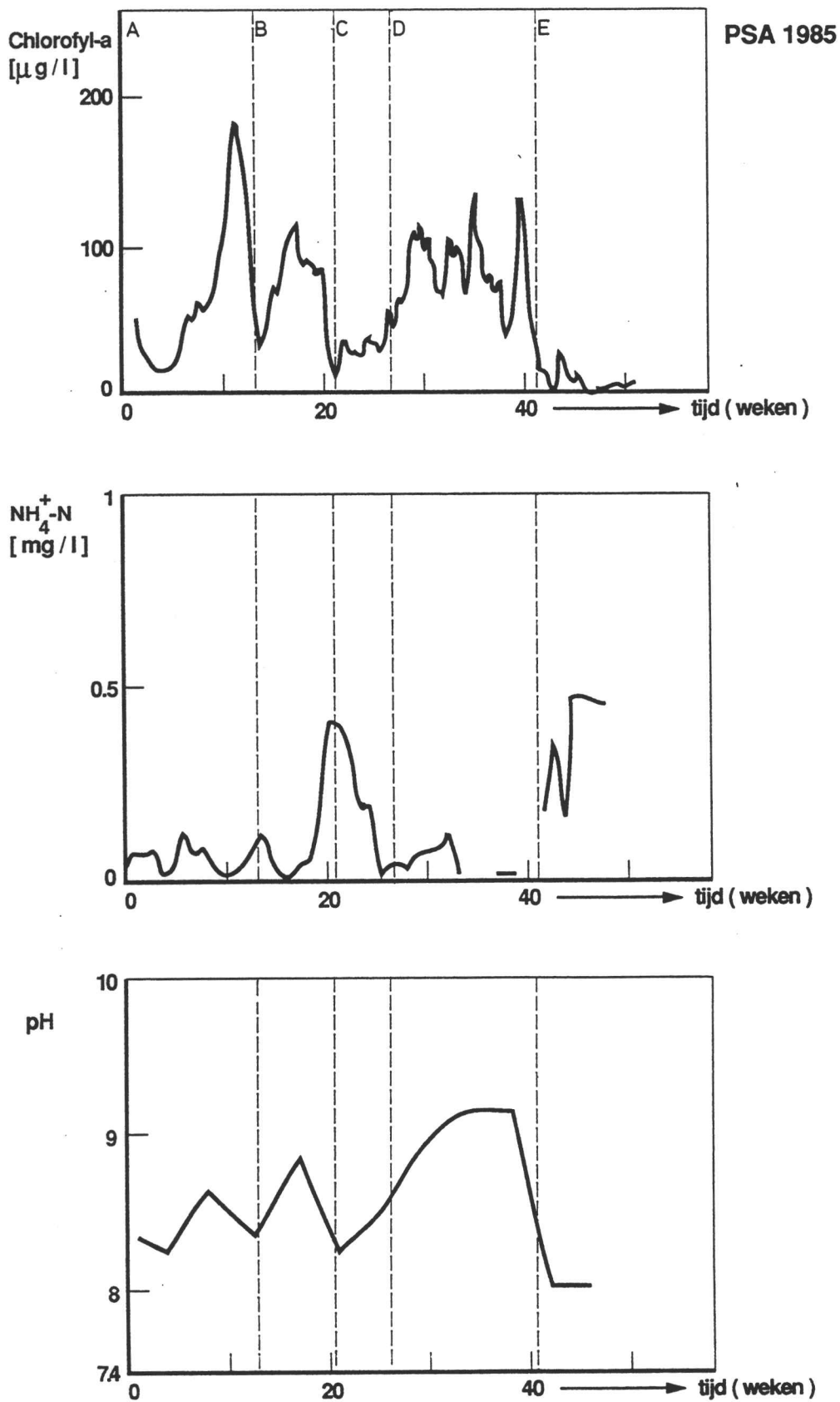
Figuur 6a. PWN-bekken 1984.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, orthofosfaat en silicium.



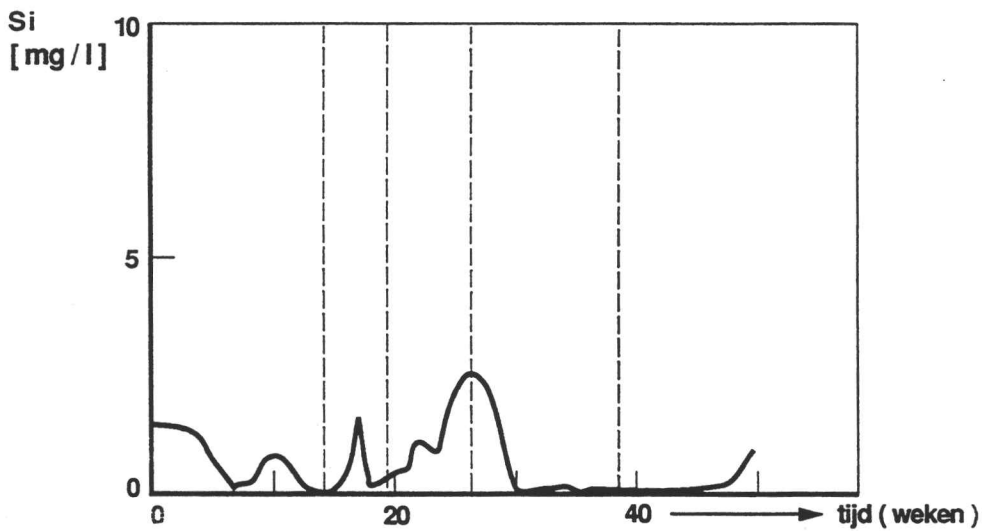
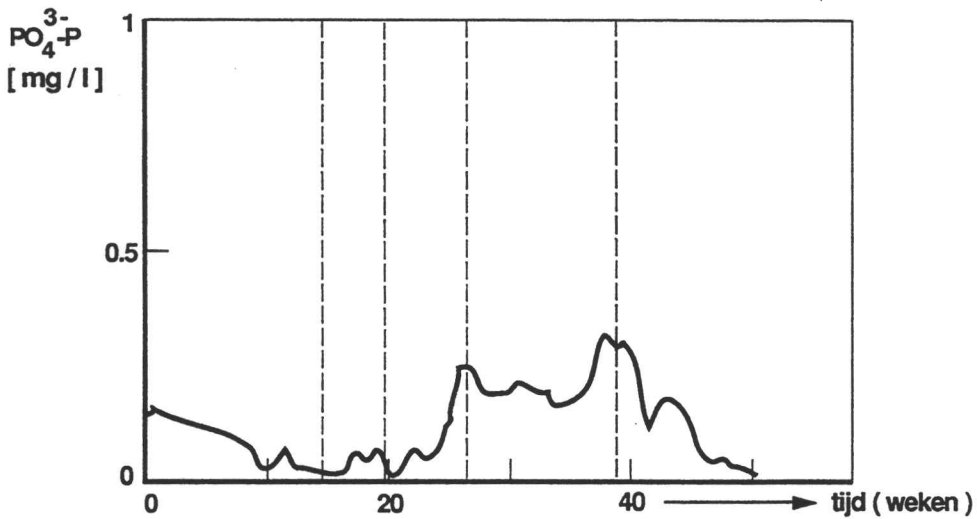
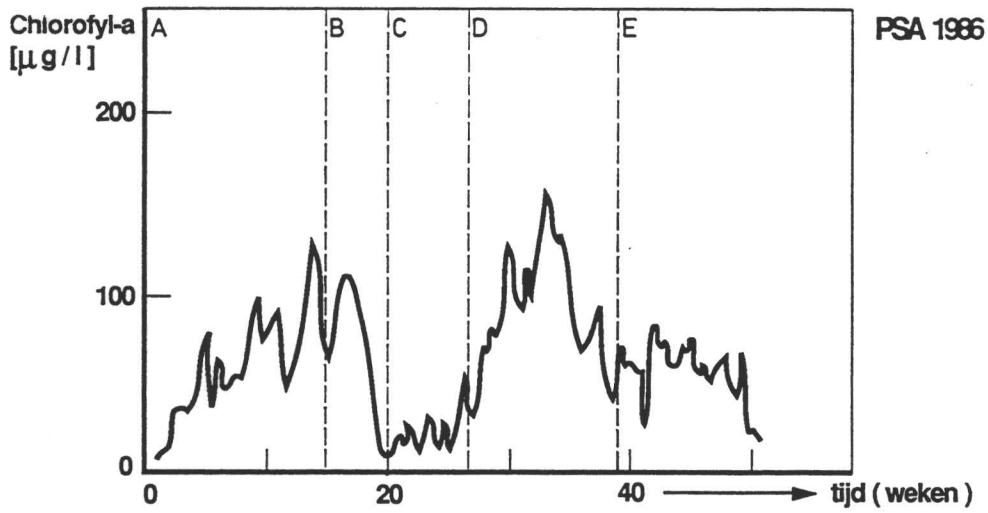
Figuur 6b. PWN-bekken 1984.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, ammonium en pH.



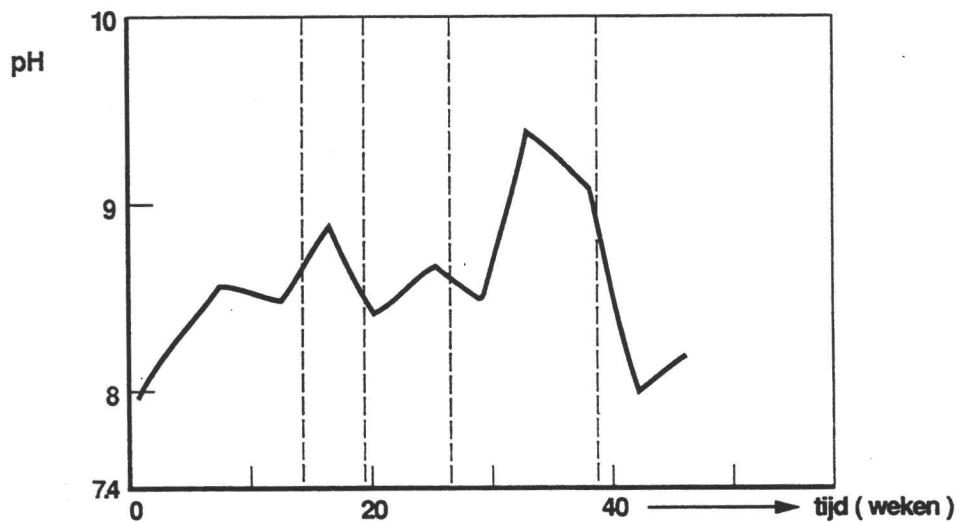
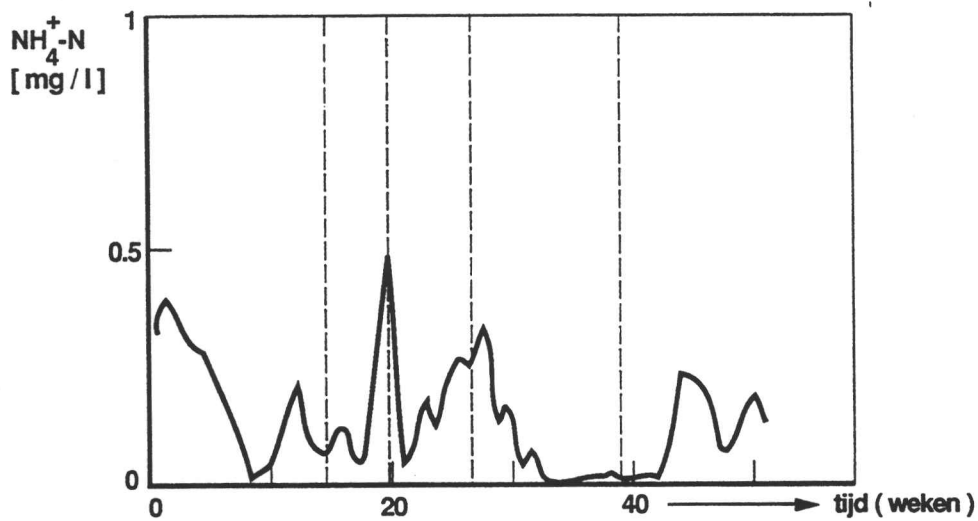
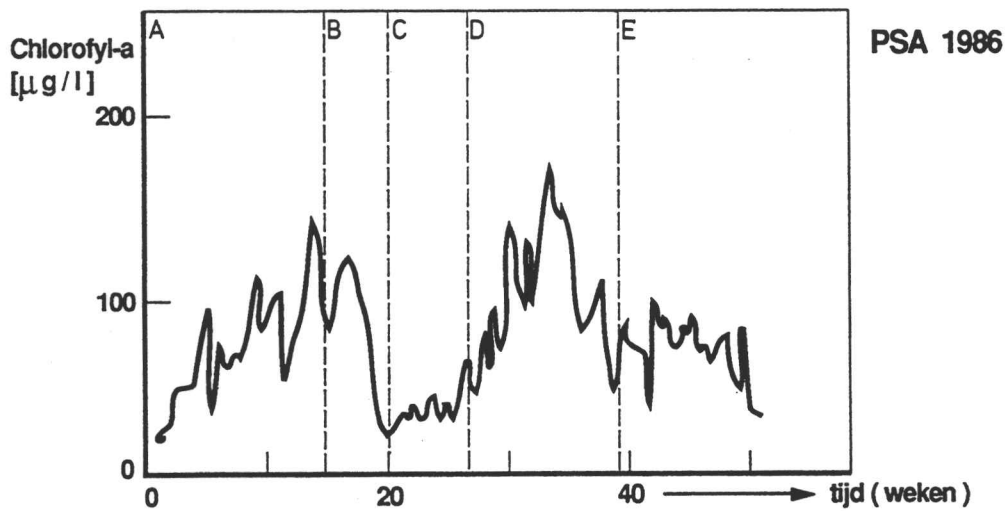
Figuur 7a. PWN-bekken 1985.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, orthofosfaat en silicium.



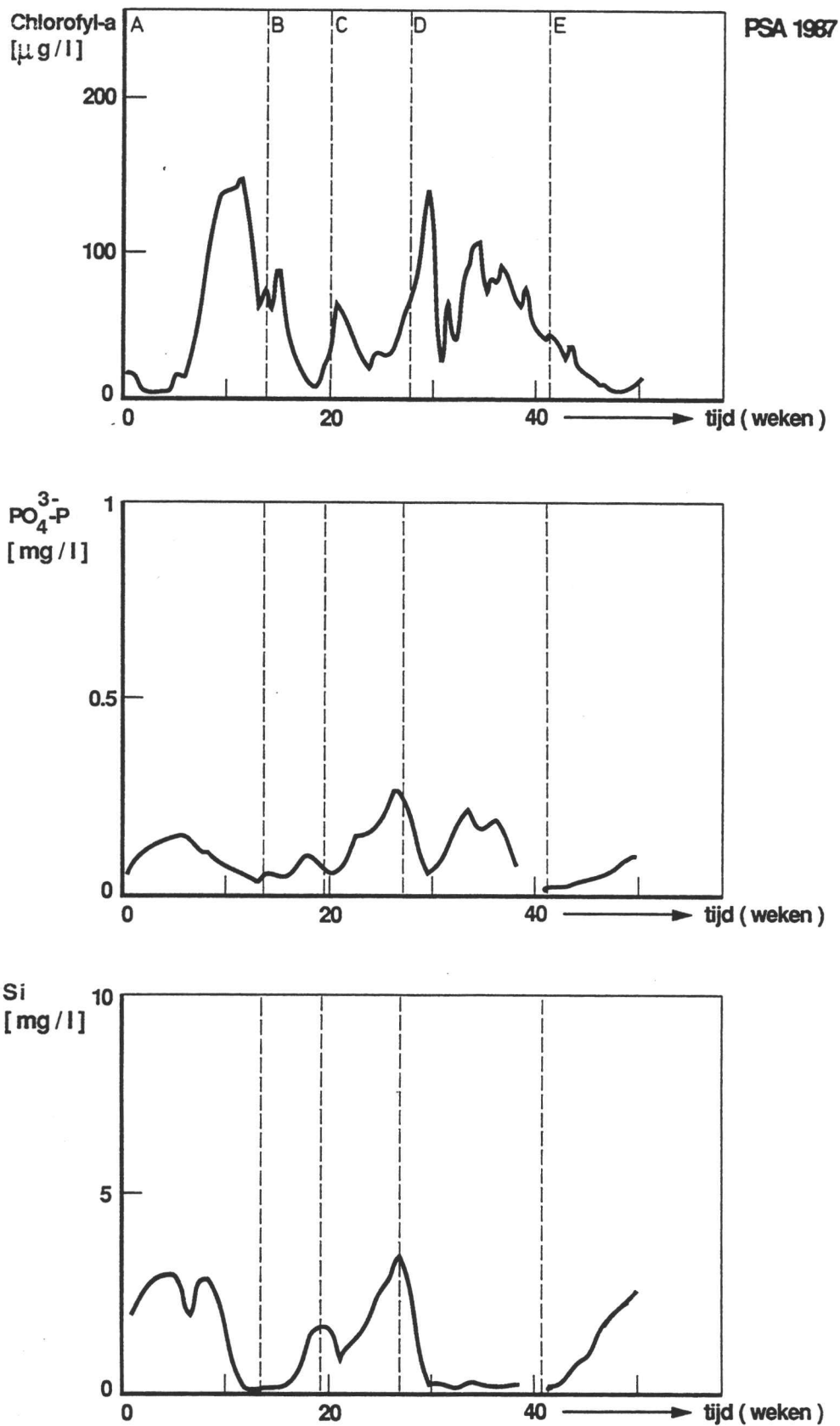
Figuur 7b. **PWN-bekken 1985.**
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, ammonium en pH.



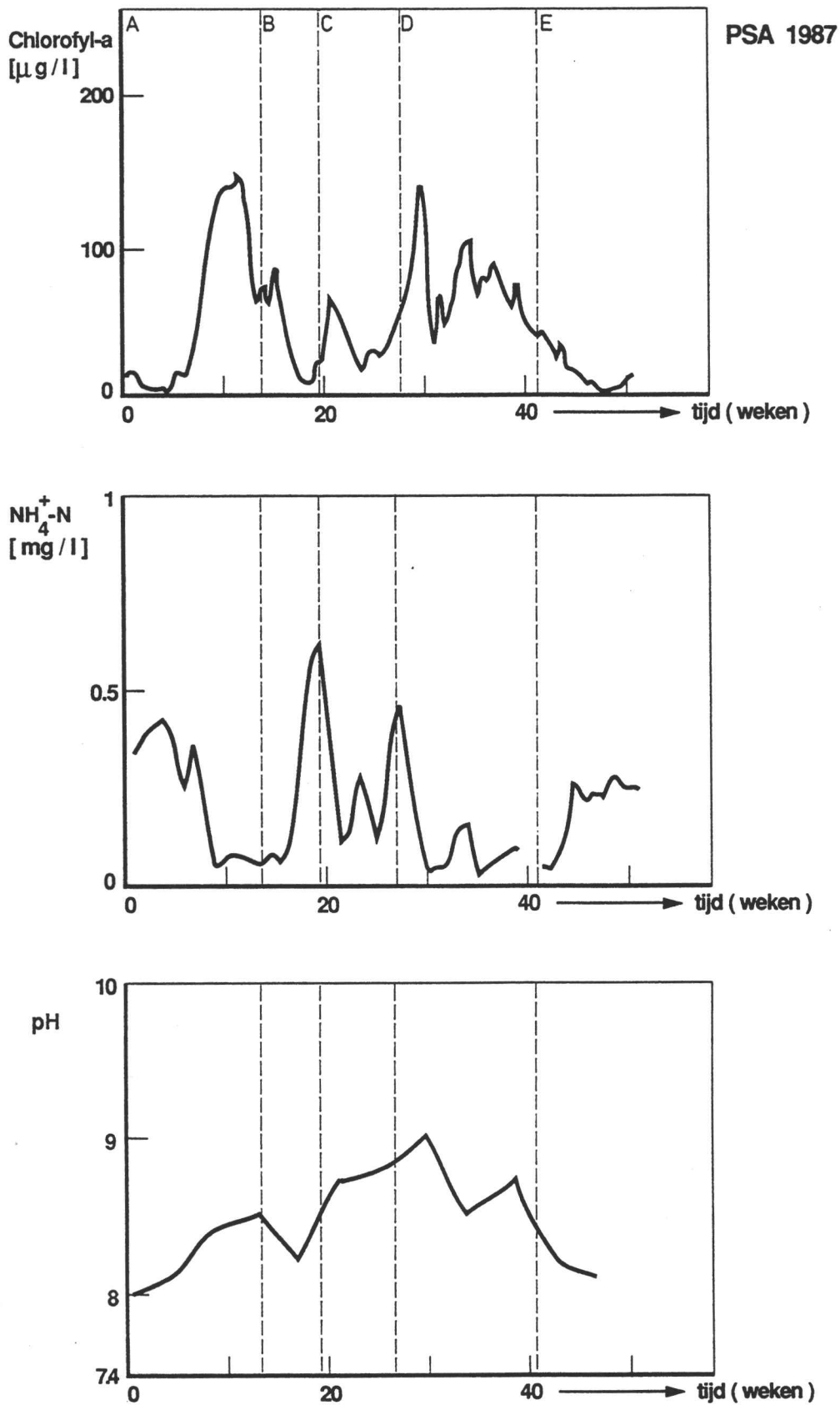
Figuur 8a. PWN-bekken 1986.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, orthofosfaat en silicium.



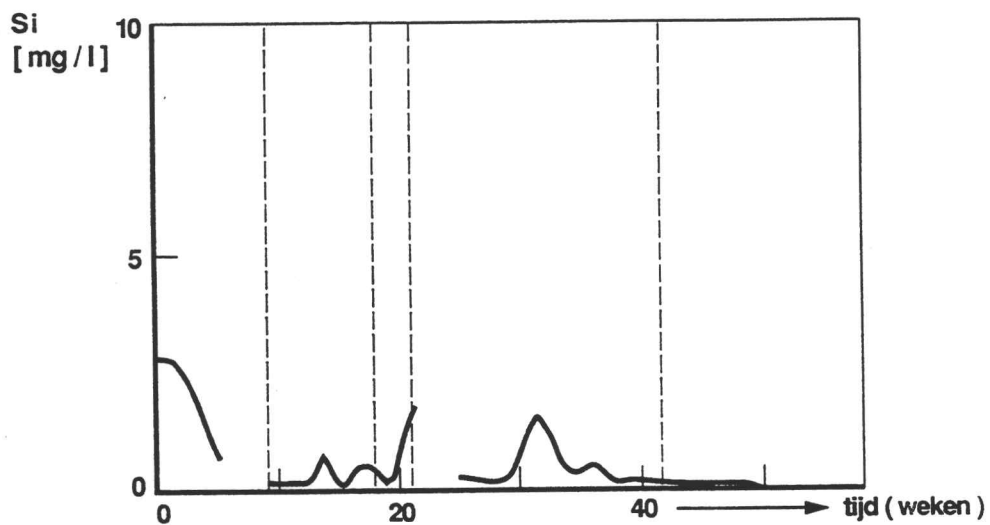
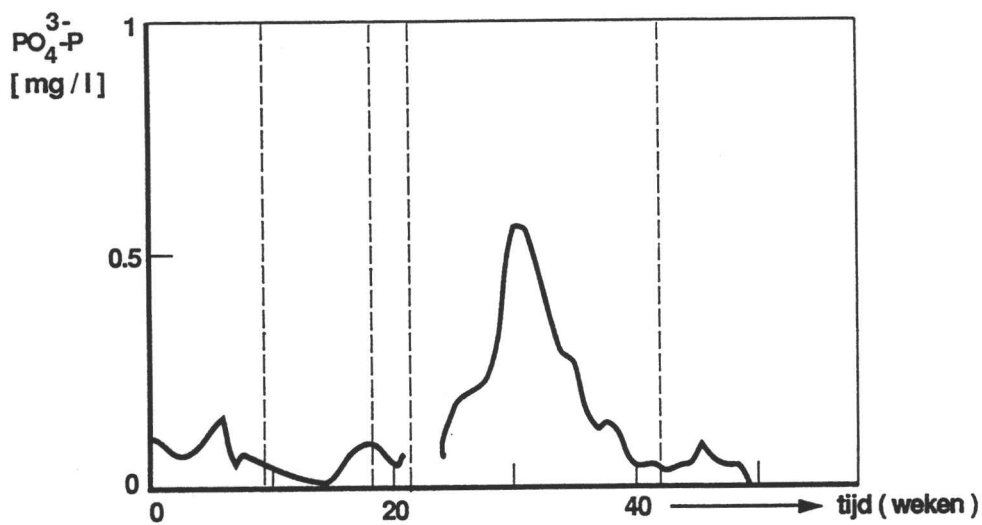
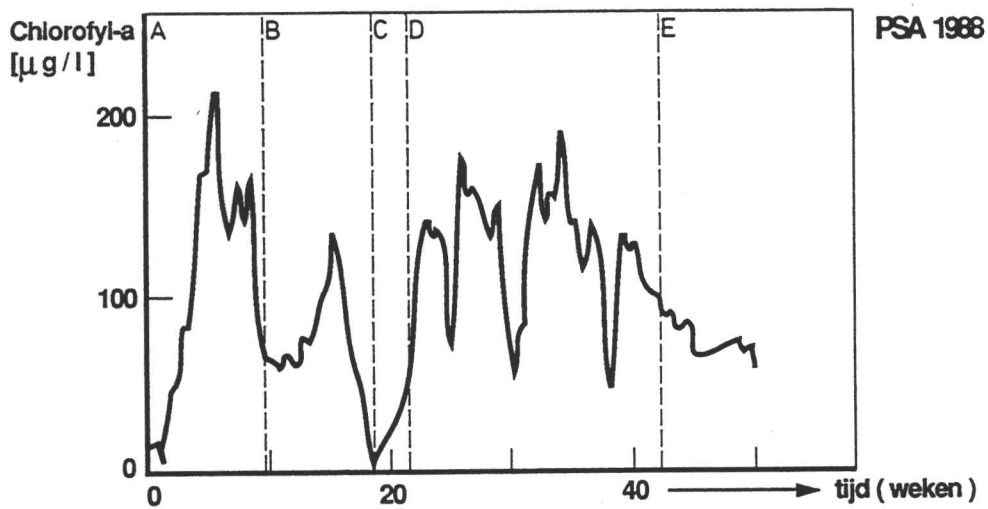
Figuur 8b. PWN-bekken 1986.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, ammonium en pH.



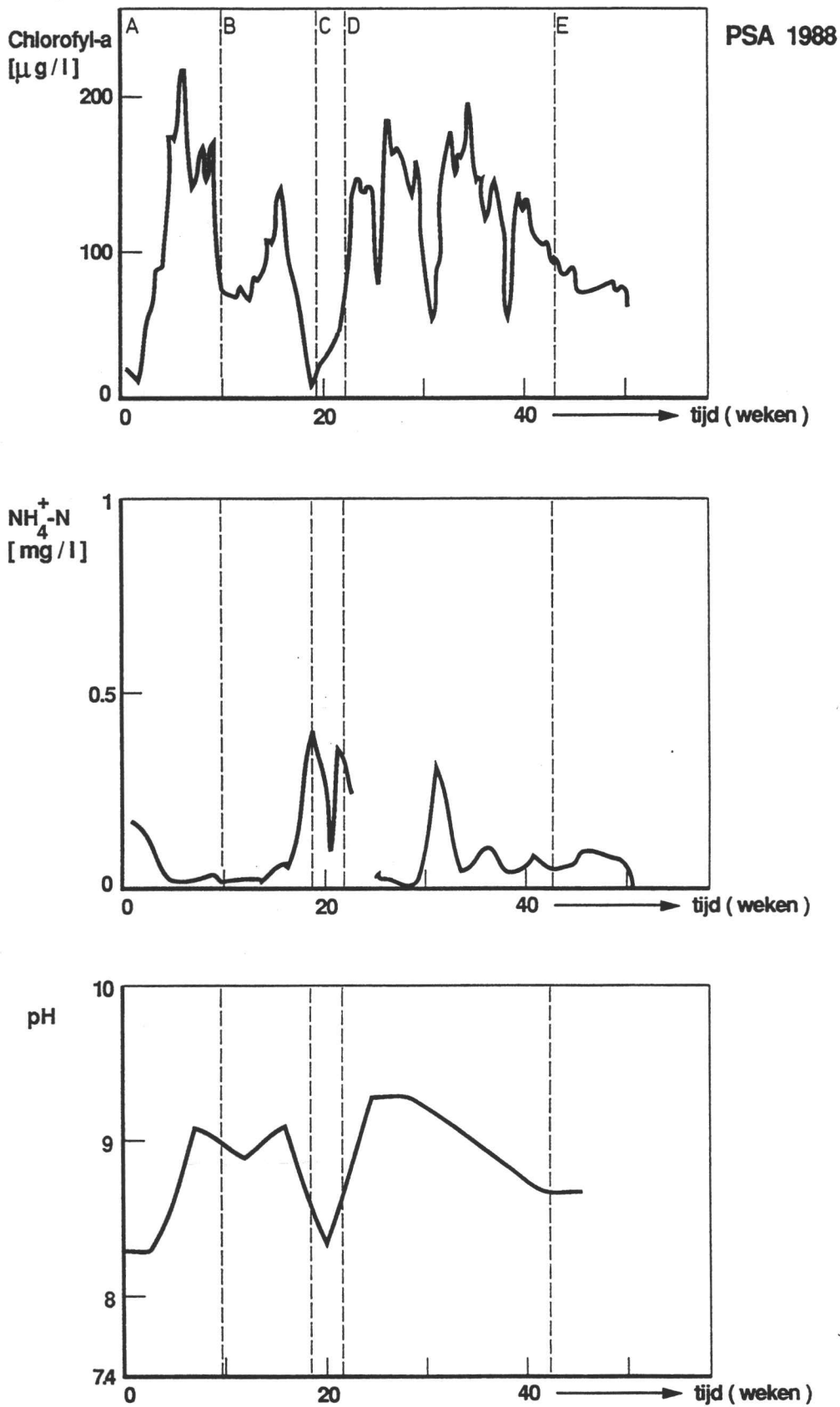
Figuur 9a. PWN-bekken 1987.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, orthofosfaat en silicium.



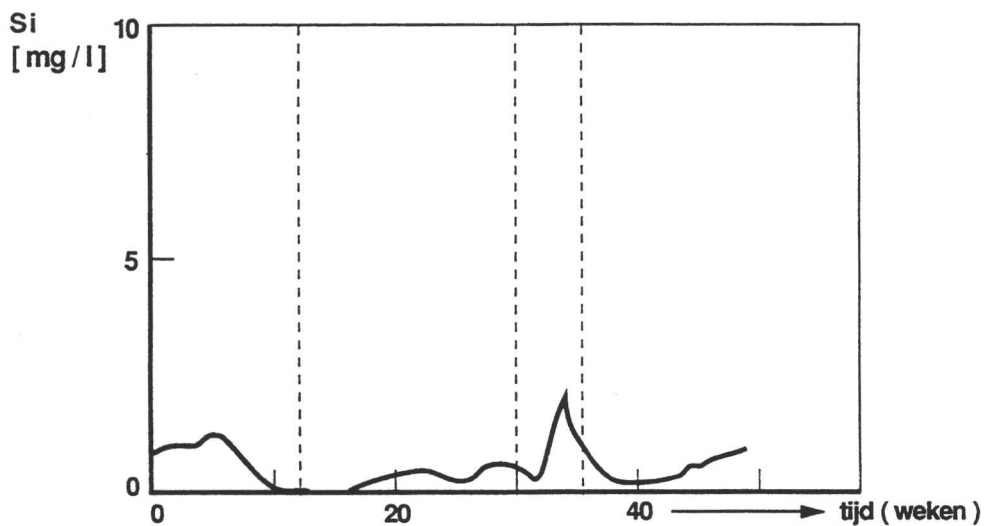
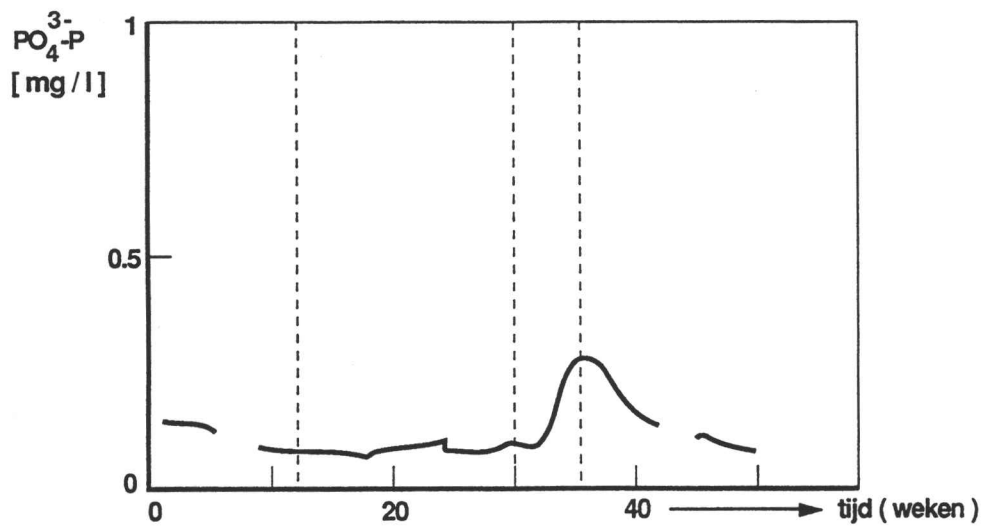
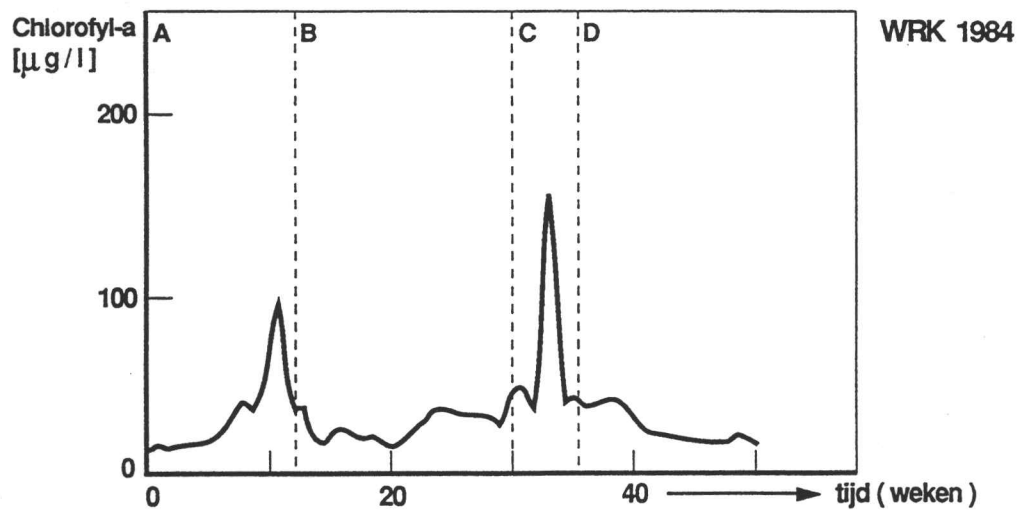
Figuur 9b. PWN-bekken 1987.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, ammonium en pH.



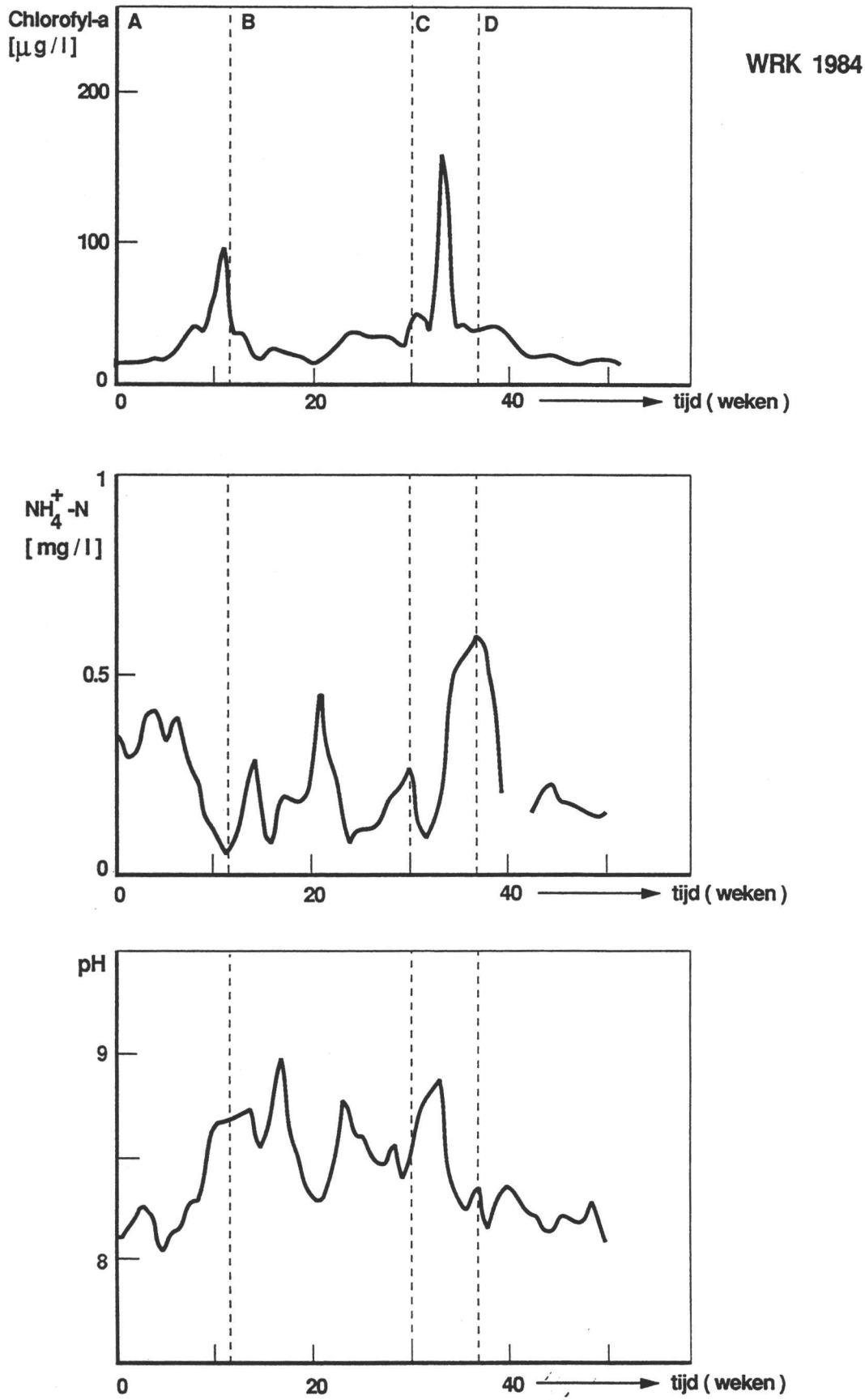
Figuur 10a. PWN-bekken 1988.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, orthofosfaat en silicium.



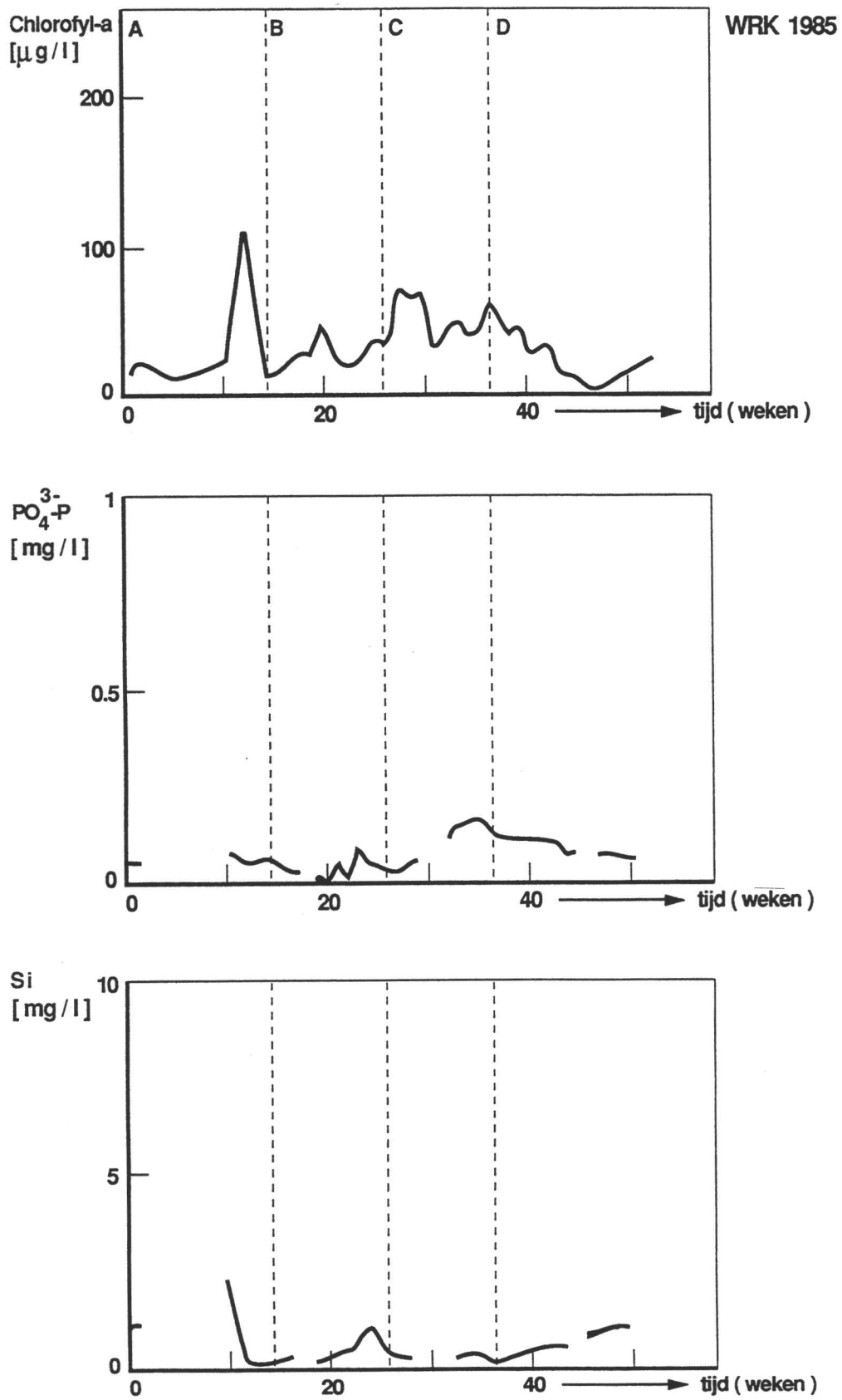
Figuur 10b. PWN-bekken 1988.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, ammonium en pH.



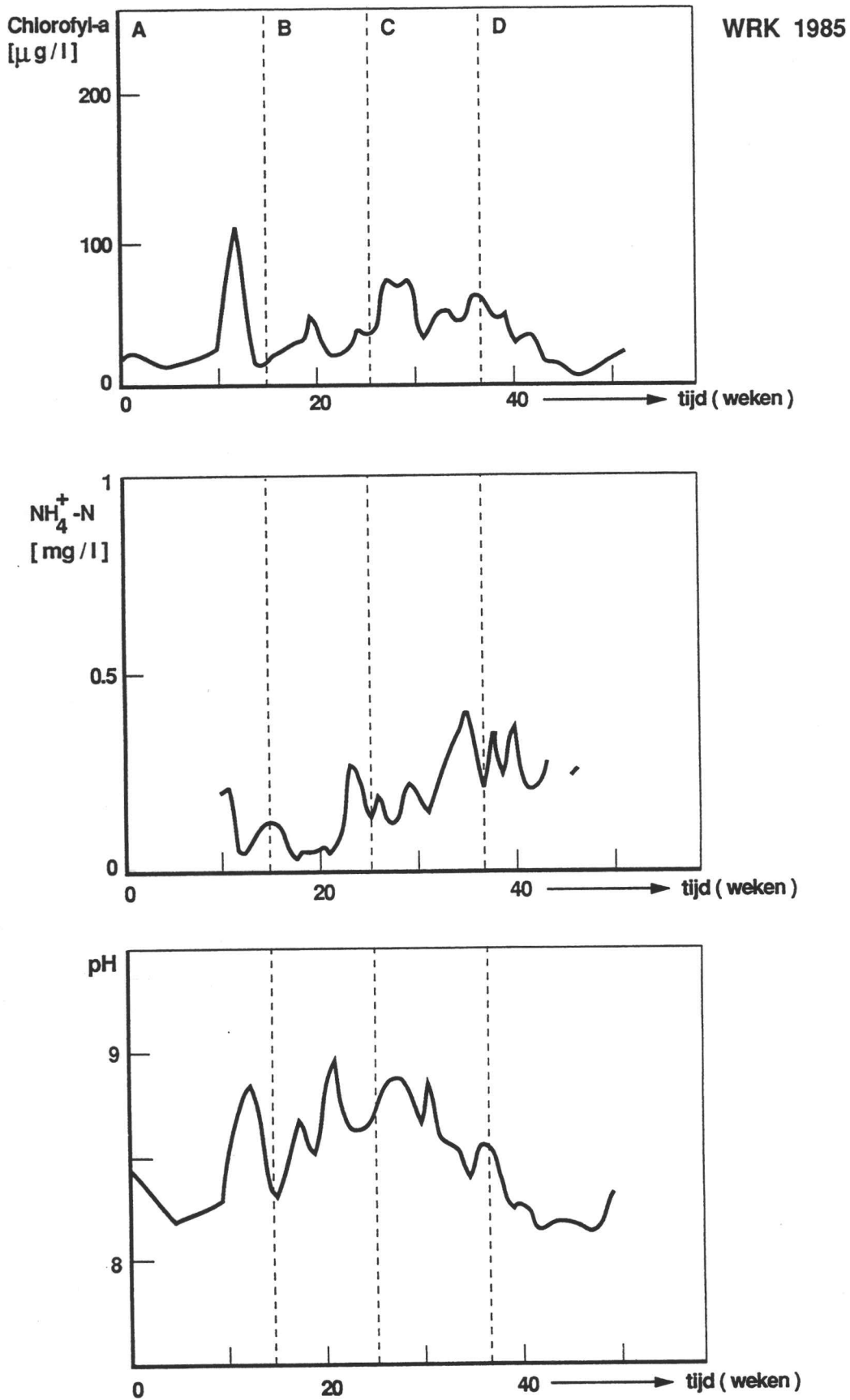
Figuur 11a. WRK-bekken 1984.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, orthofosfaat en silicium.



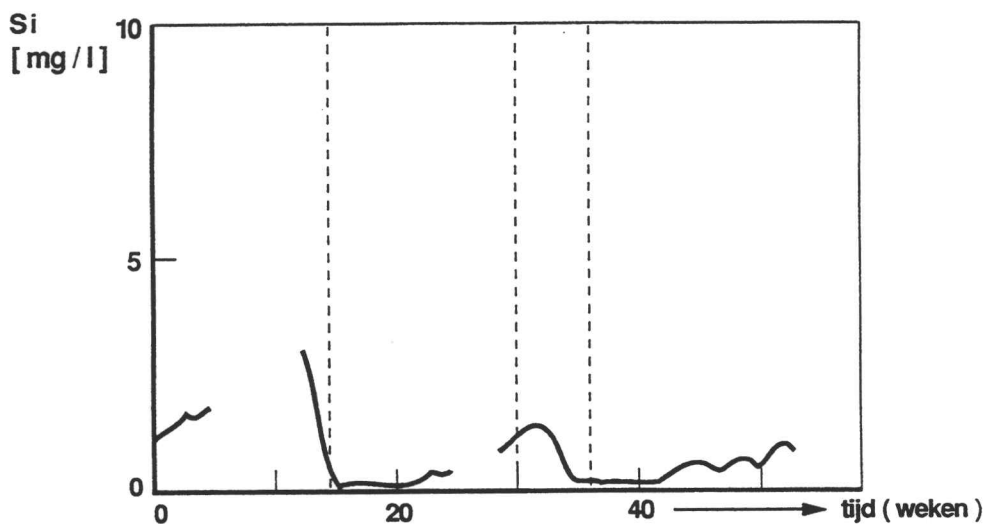
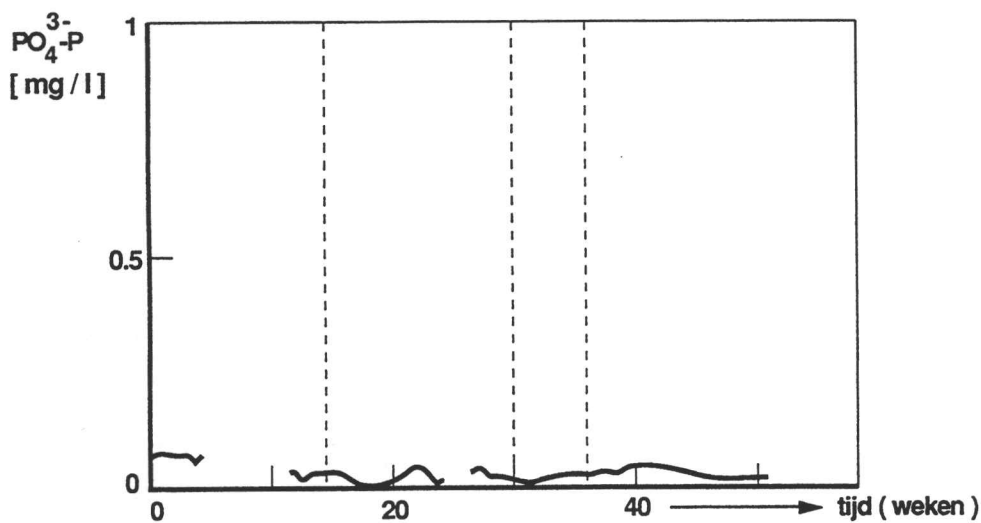
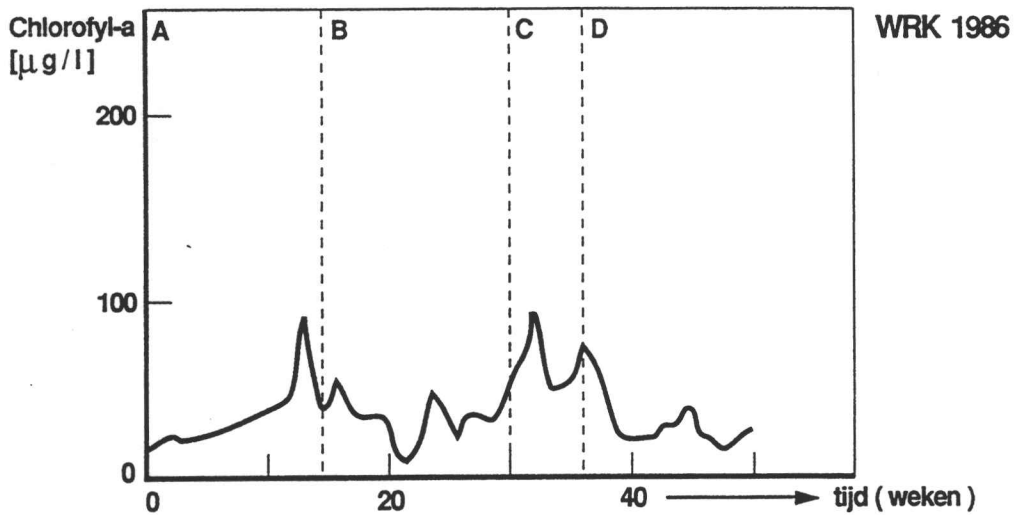
Figuur 11b. WRK-bekken 1984.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, ammonium en pH.



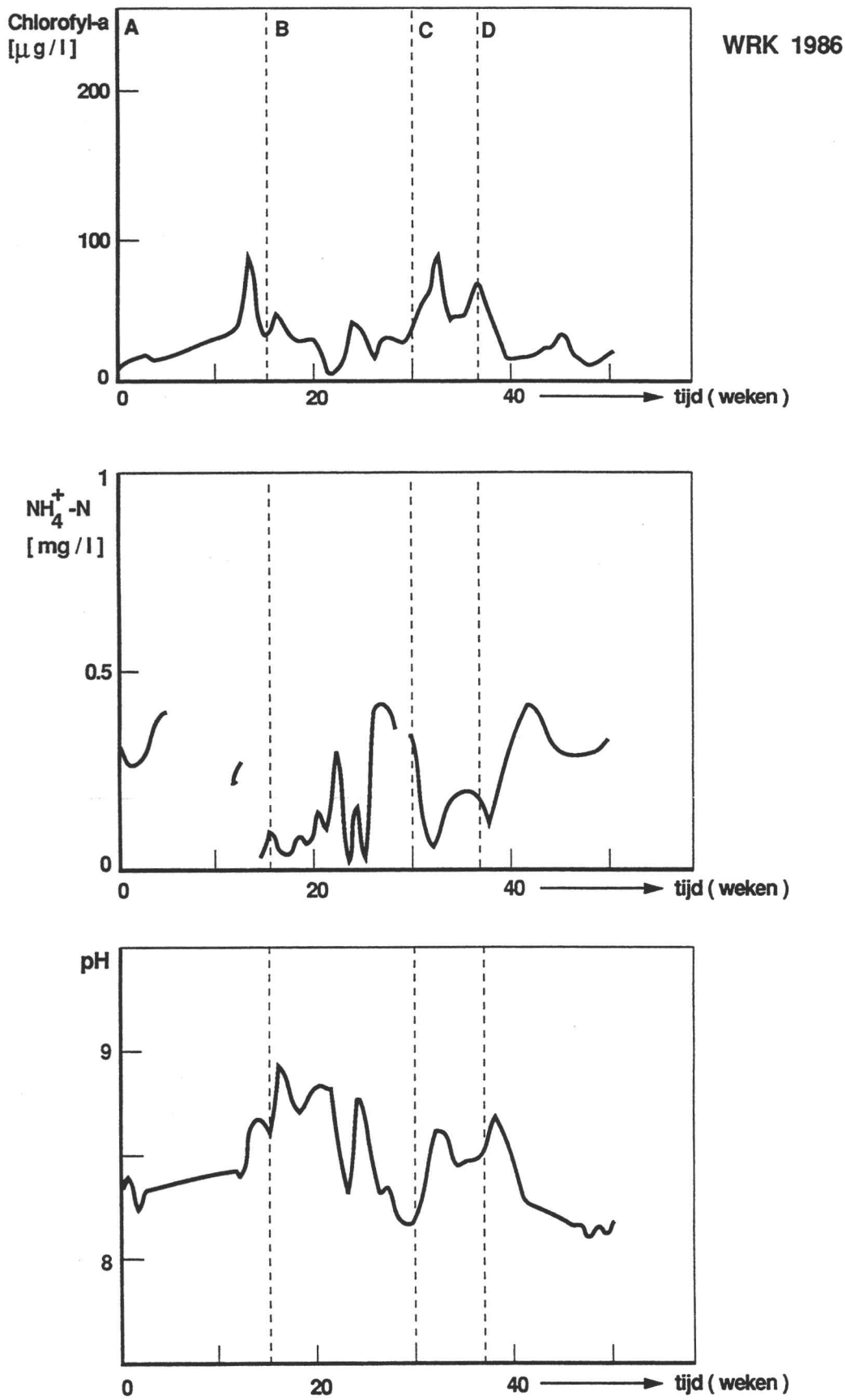
Figuur 12a. WRK-bekken 1985.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, orthofosfaat en silicium.



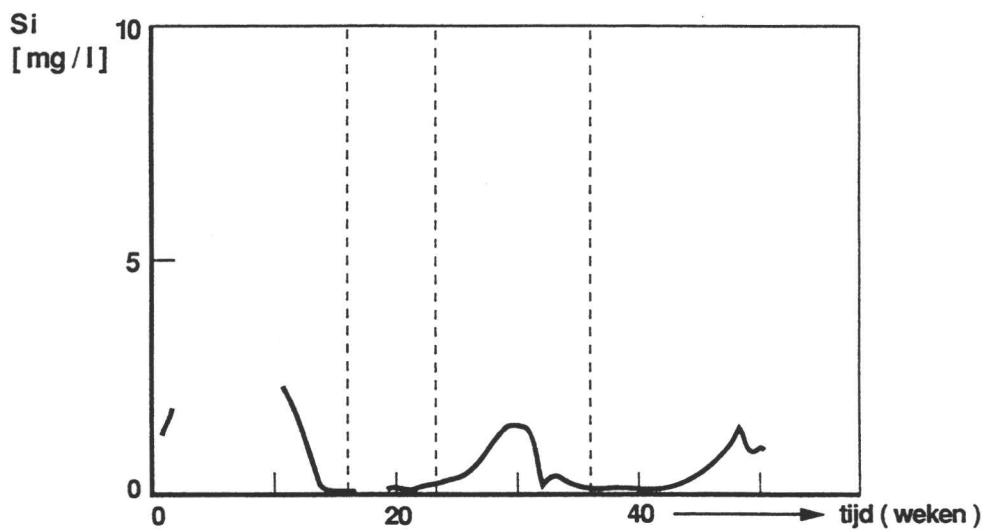
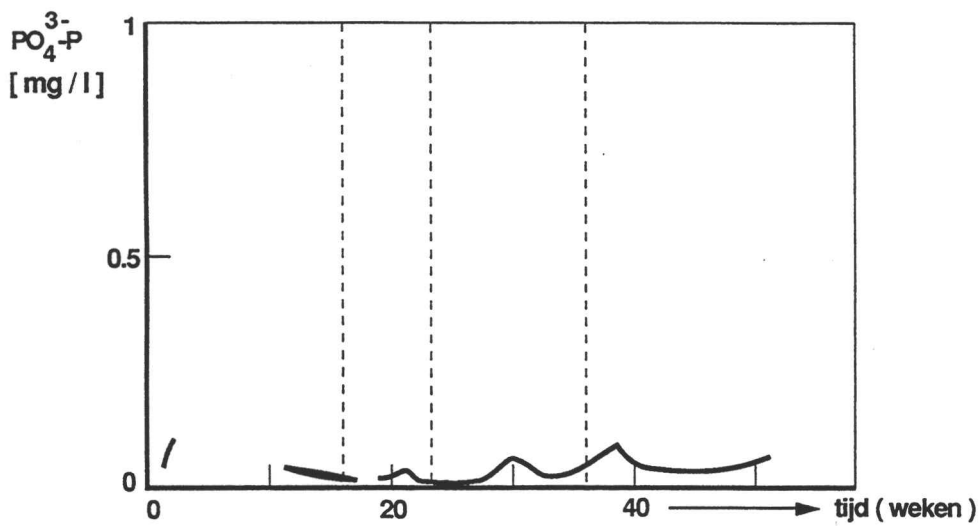
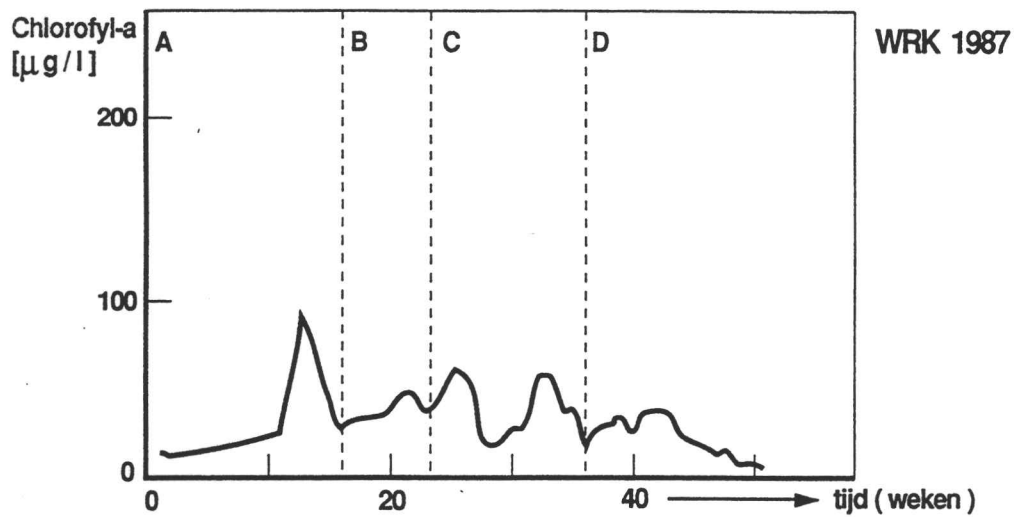
Figuur 12b. **WRK**-bekken 1985.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, ammonium en pH.



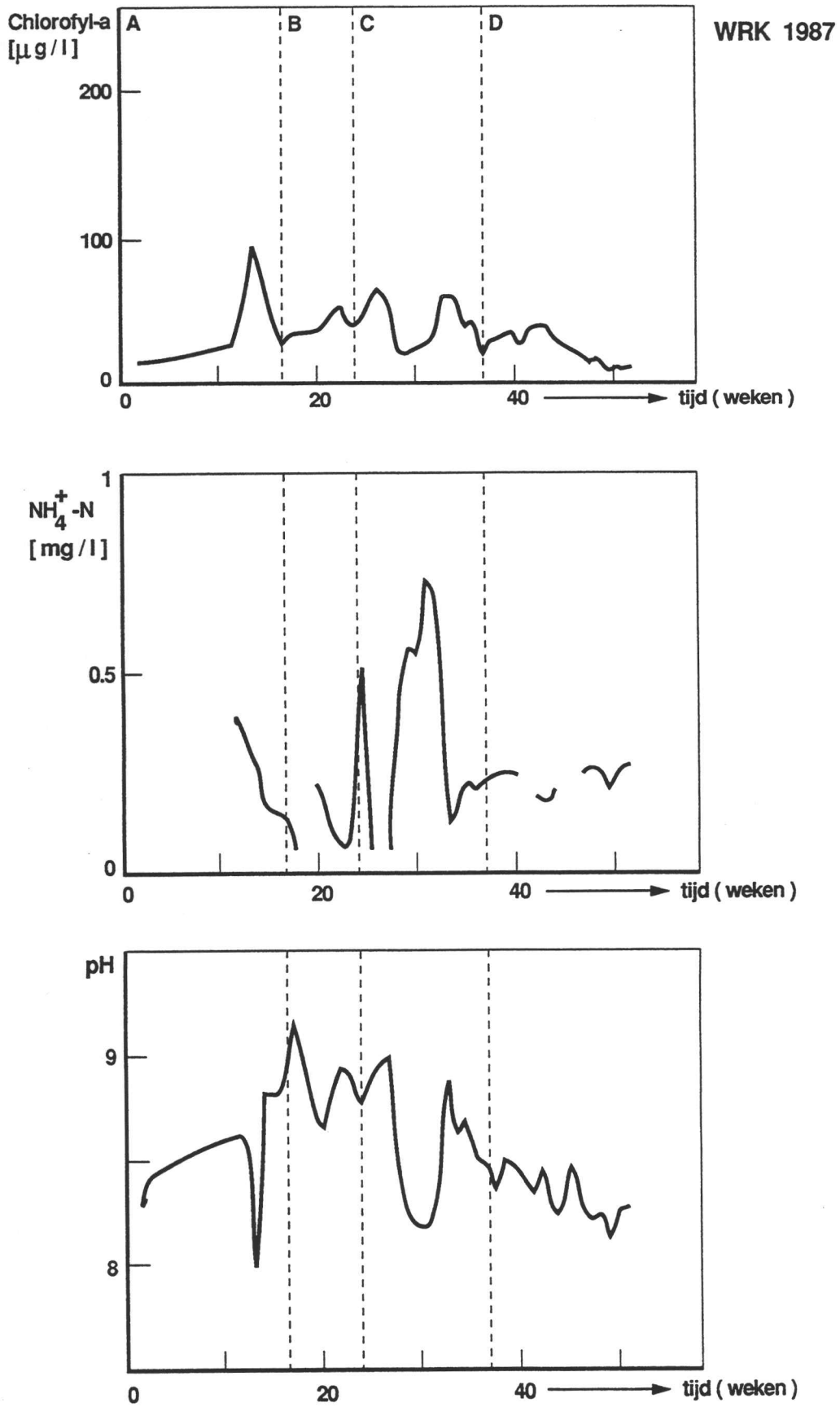
Figuur 13a. WRK-bekken 1986.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, orthofosfaat en silicium.



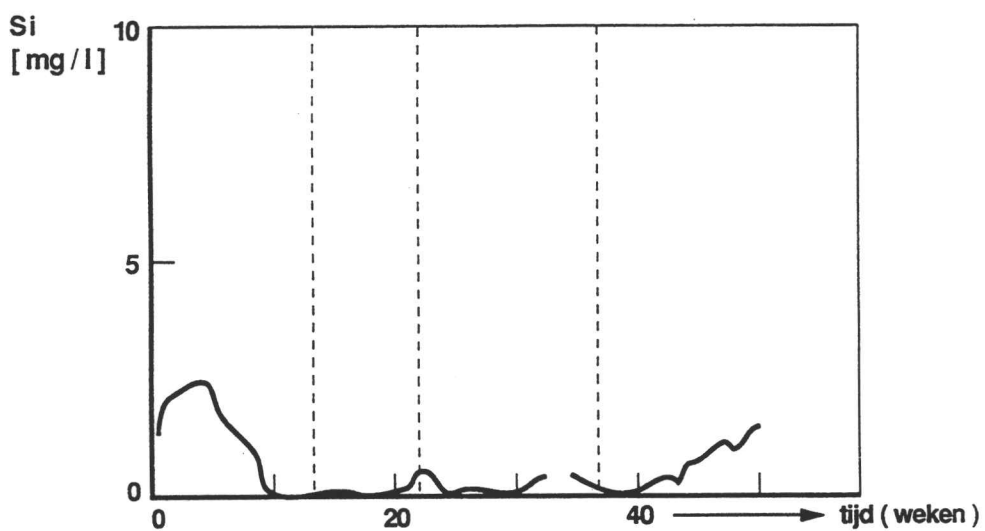
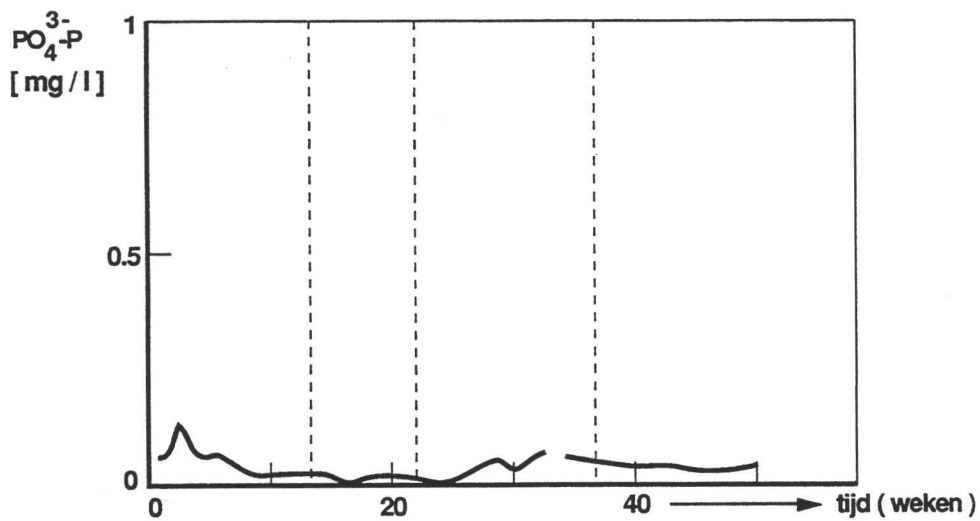
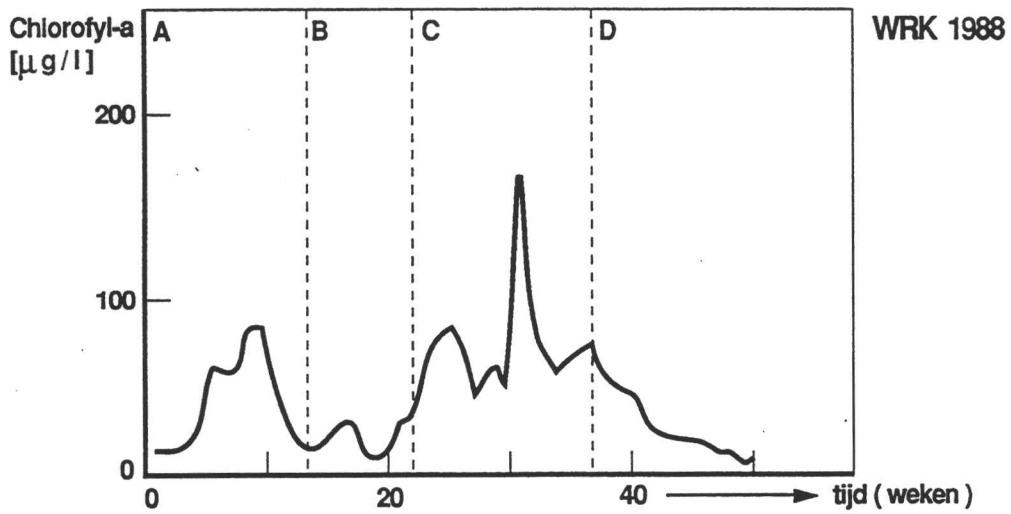
Figuur 13b. WRK-bekken 1986.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, ammonium en pH.



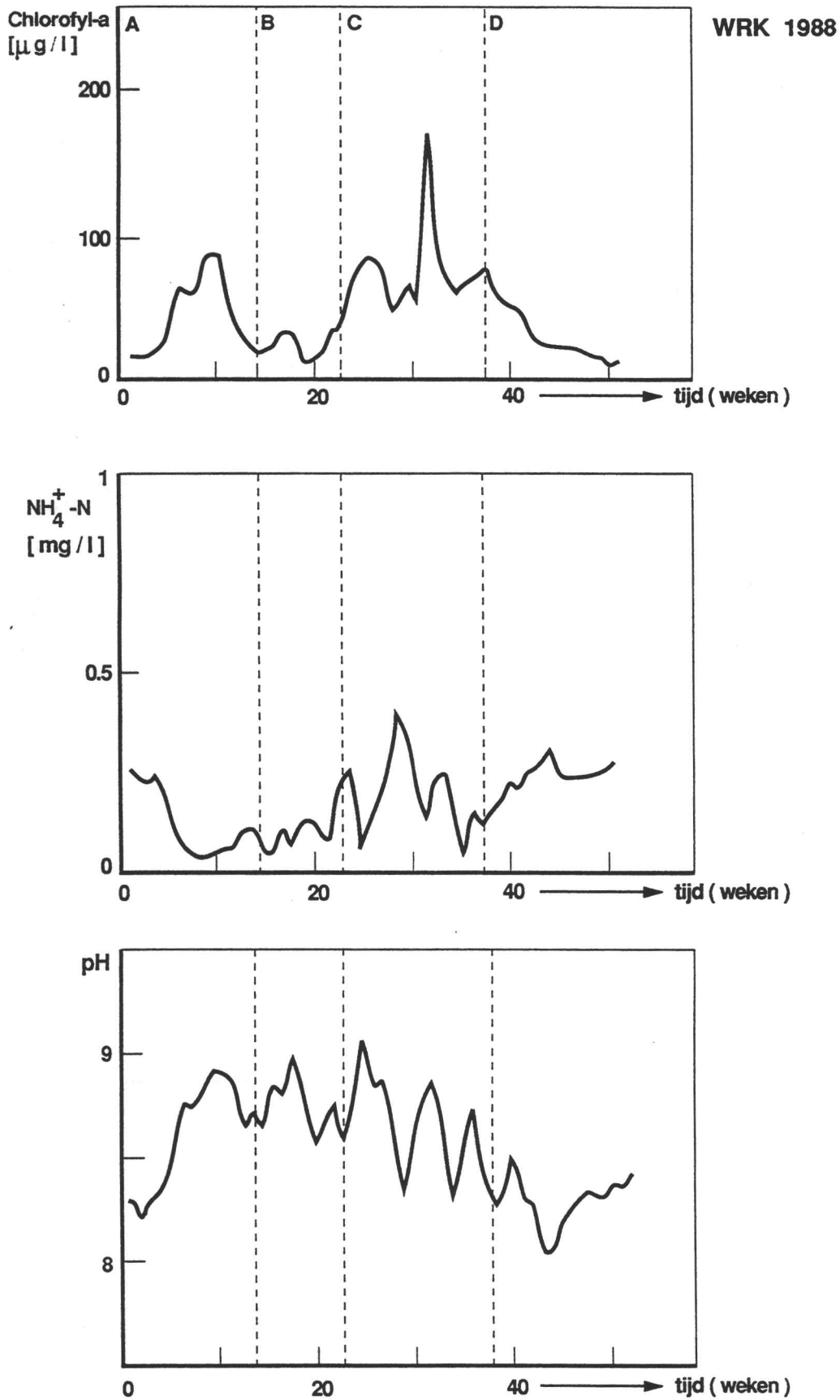
Figuur 14a. WRK-bekken 1987.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, orthofosfaat en silicium.



Figuur 14b. WRK-bekken 1987.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, ammonium en pH.



Figuur 15a. WRK-bekken 1988.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, orthofosfaat en silicium.



Figuur 15b. WRK-bekken 1988.
Verloop van het gehalte aan chlorofyl-a, ammonium en pH.

Bijlage III Berekening bij balansen

A Berekeningen bij de waterbalans

Tabel III.1 Neerslaggegevens 1985 voor PWN-bekken

PWN	lengte periode (weken)	hoeveelheid neerslag per periode (mm)	neerslagterm per periode (*10 ⁵ m ³)
A + B	21,5	228	1,09
C + D	21	442	2,12
E	9,5	185	0,89
Totaal	52	855	4,10

*) Uitgaande van een oppervlakte van het bekken van 48 ha.

Tabel III.2 Neerslaggegevens 1985 voor het WRK-bekken

WRK	lengte periode (weken)	hoeveelheid neerslag per periode (mm)	neerslagterm per periode (*10 ⁵ m ³)
A	14,5	148	0,77
B + C	23	465	2,42
D	14,5	242	1,26
Totaal	52	855	4,45

*) Uitgaande van een oppervlakte van het bekken van 52 ha.

4. Inname door **PSA/WRK** ($Q_{\text{bekken,uit}}$)

De inname door beide zuiveringsstations wordt gemeten.

Voor het **PSA** geldt in 1985 dat het innamedebiet constant is gebleven door het hele jaar heen: $Q_{\text{bekken, uit}} = 37.576 \text{ m}^3/\text{dag}$.

Voor het **WRK** geldt in 1985, dat het innamedebiet niet constant is. Met behulp van de gemeten innamedebieten per dag is de totale ingenomen hoeveelheid water per periode bepaald. Hierbij is uitgegaan van de hoeveelheid reinwater.

De totale hoeveelheden ingenomen water per periode worden hiermee voor het **WRK**-bekken:

Tabel III.3 Innamedebiet 1985 **WRK**

Periode	Lengte (weken)	Inname debiet ($Q_{\text{bekken,uit}}$) ($*10^5 \cdot \text{m}^3$)
A	14,5	98,31
B + C	23	170,42
D	14,5	139,73
Totaal	52	408,46

5. Verdamping ($Q_{\text{neerslag, uit}}$)

Op basis van maandgegevens van het KNMI is de verdamping uit de bekken bepaald. Er is vanuit gegaan dat de verdamping uit beide bekken (per oppervlakte eenheid) even groot is.

Tabel III.4 Verdampingsgegevens 1985 voor het PWN-bekken

PWN	lengte (weken)	verdamping per periode (mm)	verdampingsterm per periode (*10 ⁵ m ³)*
A + B	21,5	212	1,02
C + D	21	388	1,86
E	9,5	20	0,10
Totaal	52	620	2,98

*) Uitgaande van een oppervlakte van het bekken van 48 ha.

Tabel III.5 Verdampingsgegevens 1985 in het WRK-bekken

WRK	lengte (weken)	verdamping per periode (mm)	verdampingsterm per periode (*10 ⁵ m ³)*
A	14,5	73	0,38
B + C	23	488	2,54
D	14,5	59	0,31
Totaal	52	620	3,23

*) Uitgaande van een oppervlakte van het bekken van 52 ha.

B Berekeningen bij stofbalansen

Tabel III.6 Chloridebalans van het PWN-bekken in 1985

Periode	Lengte (weken)	Bekken: $Q_{uit} * c_{uit} * \Delta t$ (* 10 ³ kg)	IJsselmeer: $Q_{in} * c_{in} * \Delta t$ (* 10 ³ kg)	Bekken - IJsselmeer (* 10 ³ kg) (- : afbraak)
A + B	21,5	3738	3914	-176
C + D	21	3599	3515	84
E	9,5	1828	1713	115
Totaal	52	9145	9142	23

Tabel III.7 Chloridebalans van het WRK-bekken in 1985

Periode	Lengte (weken)	Bekken: $Q_{uit} * c_{uit} * \Delta t$ (* 10 ³ kg)	IJsselmeer: $Q_{in} * c_{in} * \Delta t$ (* 10 ³ kg)	Bekken- IJsselmeer (* 10 ³ kg) (- : afbraak)
A	14,5	2342	2316	27
B + C	23	3773	3721	52
D	14,5	2563	2729	-167
Totaal	52	8678	8766	- 88

Tabel III.8 Chorofyl-a-balans van het PWN-bekken in 1985

Periode	Lengte Δt (weken)	Bekken: $Q_{uit} * c_{uit} * \Delta t$ (kg)	IJsselmeer: $Q_{in} * c_{in} * \Delta t$ (kg)	Bekken - IJsselmeer (kg)
A + B	21,5	63,2	48,9*	14,3
C + D	21	69,0	96,2	-27,2
E	9,5	10,2	65,5	-55,3
Totaal	52	142,4	210,6	-68,2

*) In deze periode ontbreken een aantal meetwaarden. Er is gebruik gemaakt van interpolatie om deze waarden aan te vullen.

Tabel III.9: Chlorofyl-a-balans van het WRK-bekken in 1985

Periode	Lengte Δt (weken)	Bekken: $Q_{uit} * c_{uit} * \Delta t$ (kg)	IJsselmeer: $Q_{in} * c_{in} * \Delta t$ (kg)	Bekken - IJsselmeer (kg)
A	14,5	34,6	44,0	- 9,4
B + C	23	41,1	84,5	- 43,4
D	14,5	25,7	75,5	- 49,8
Totaal	52	101,4	204,0	-102,6

Tabel III.10 Silicium-balans van het PWN-bekken in 1985

Periode	Lengte Δt (weken)	Bekken: $Q_{uit} * c_{uit} * \Delta t$ (* 10^3 kg)	IJsselmeer: $Q_{in} * c_{in} * \Delta t$ (* 10^3 kg)	Bekken - IJsselmeer (* 10^3 kg)
A + B	21,5	6,88	20,74*	-13,86
C + D	21	15,10*	8,16*	6,94
E	9,5	12,16*	10,03	2,13
Totaal	52	34,14	38,93	- 4,79

*) In deze periode ontbreken een aantal meetwaarden. Er is gebruik gemaakt van interpolatie om deze waarden aan te vullen.

Tabel III.11 Silicium-balans van het WRK-bekken in 1985

Periode	Lengte Δt (weken)	Bekken: $Q_{uit} * c_{uit} * \Delta t$ (* 10^3 kg)	IJsselmeer: $Q_{in} * c_{in} * \Delta t$ (* 10^3 kg)	Bekken - IJsselmeer (* 10^3 kg)
A	14,5	19,25*	33,07*	-13,82
B + C	23	6,26*	7,29*	- 1,03
D	14,5	7,83*	9,61	- 1,78
Totaal	52	33,34	49,97	-16,63

*) In deze periode ontbreken een aantal meetwaarden. Er is gebruik gemaakt van interpolatie om deze waarden aan te vullen.

Tabel III.12 Orthofosfaat-balans van het PWN-bekken in 1985

Periode	Lengte Δt (weken)	Bekken: $Q_{uit} * c_{uit} * \Delta t$ (* 10^3 kg)	IJsselmeer: $Q_{in} * c_{in} * \Delta t$ (* 10^3 kg)	Bekken - IJsselmeer (* 10^3 kg)
A + B	21,5	1,57	2,28*	-0,71
C + D	21	6,76*	2,65*	4,11
E	9,5	1,98*	1,52*	0,46
Totaal	52	10,31	6,45	3,86

*) In deze periode ontbreken een aantal meetwaarden. Er is gebruik gemaakt van interpolatie om deze waarden aan te vullen.

Tabel III.13 Orthofosfaat-balans van het WRK-bekken in 1985

Periode	Lengte Δt (weken)	Bekken: $Q_{uit} * c_{uit} * \Delta t$ (* 10^3 kg)	IJsselmeer: $Q_{in} * c_{in} * \Delta t$ (* 10^3 kg)	Bekken - IJsselmeer (* 10^3 kg)
A	14,5	1,08*	2,40*	-1,32
B + C	23	1,72*	2,92*	-1,2
D	14,5	1,35*	2,25	-0,9
Totaal	52	4,15	7,57	-3,42

*) In deze periode ontbreken een aantal meetwaarden. Er is gebruik gemaakt van interpolatie om deze waarden aan te vullen.

Tabel III.14 Ammonium-balans van het PWN-bekken in 1985

Periode	Lengte Δt (weken)	Bekken: $Q_{uit} * c_{uit} * \Delta t$ (* 10^3 kg)	IJsselmeer: $Q_{in} * c_{in} * \Delta t$ (* 10^3 kg)	Bekken - IJsselmeer (* 10^3 kg)
A + B	21,5	1,55	6,15*	-4,6
C + D	21	2,13*	2,64	-0,51
E	9,5	3,42*	1,24	2,18
Totaal	52	7,1	10,03	-2,93

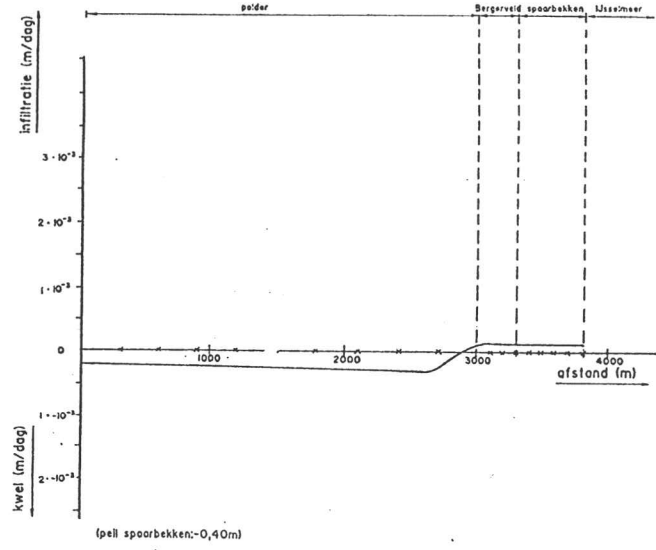
*) In deze periode ontbreken een aantal meetwaarden. Er is gebruik gemaakt van interpolatie om deze waarden aan te vullen.

Tabel III.15 Ammonium-balans van het WRK-bekken in 1985

Periode	Lengte Δt (weken)	Bekken: $Q_{uit} * c_{uit} * \Delta t$ (* 10^3 kg)	IJsselmeer: $Q_{in} * c_{in} * \Delta t$ (* 10^3 kg)	Bekken - IJsselmeer (* 10^3 kg)
A	14,5	2,57*	3,66*	-1,09
B + C	23	3,90	4,01	-0,11
D	14,5	3,76*	2,50	1,26
Totaal	52	10,23	10,17	0,06

*) In deze periode ontbreken een aantal meetwaarden. Er is gebruik gemaakt van interpolatie om deze waarden aan te vullen.

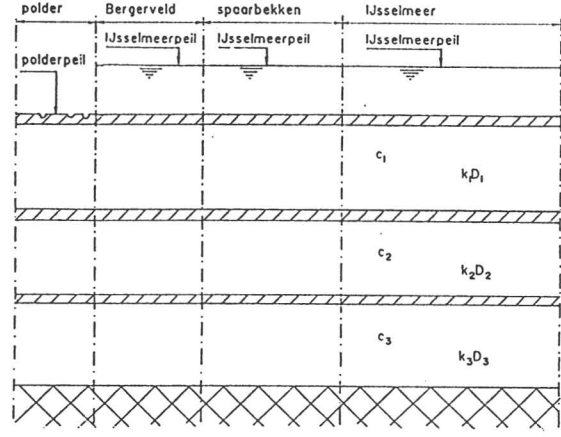
Bijlage IV Resultaten geohydrologisch onderzoek IWACO voor PWN-bekken



Project
Geohydrologisch onderzoek
spaarbekken Andijk

Omschrijving
Kwel- en infiltratiesituatie initiël

IWACO
Adviesbureau voor water en milieu
Postbus 183, 3000 AD Rotterdam



$k_1D_1 = 450\text{m}^2/\text{dag}$ $c_1 = 7500$ dagen
 $k_2D_2 = 2500\text{m}^2/\text{dag}$ $c_2 = 1000$ dagen
 $k_3D_3 = 5500\text{m}^2/\text{dag}$ $c_3 = 1500$ dagen

Project
Geohydrologisch onderzoek
spaarbekken Andijk

Omschrijving
Geohydrologisch profiel over beschouwde raai

Figuur 16. Kwel vanuit het PWN-bekken naar de achterliggende polder: het Oude Land

Bibliotheek TU Delft
Fac. CiTG subfac. Civiele Techniek



c3101780