

DE FOSFAATBALANS VAN HET GREVELINGENMEER IN
DE PERIODE MEI 1971 - DECEMBER 1977

door

P. Kelderman



Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek
Vierstraat 28 4401 EA Yerseke

Rapporten en Verslagen nr. 1979-9

Rechten voorbehouden. Van "Rapporten en Verslagen" is herdruk of
aanhaling slechts toegestaan met uitdrukkelijke toestemming van
de auteur.

INHOUD

pag.

I.	Inleiding	1
II.	Beschrijving van het onderzoek	1
III.	Het opstellen van de fosfaatbalans	2
III.1.	De waterbalans	2
III.2.	De ortho-fosfaatbalans	3
IV.	Jaarbalansen	4
IV.1.	Inleiding	4
IV.2.	De componenten van de waterbalans	5
IV.3.	De fosfaat-massabalans	8
IV.4.	Resultaten jaarbalansen	12
IV.4.1.	Mei 1971/1-1-1972	12
IV.4.2.	Balans over het jaar 1972	14
IV.4.3.	Balans over 1973	15
IV.4.4.	Jaarbalans over 1974	16
IV.4.5.	Jaarbalans over 1975	18
IV.4.6.	Balans over 1976	19
IV.4.7.	Balans over 1977	20
IV.5.	Bespreking van de jaar-fosfaatbalansen	22
V.	Fosfaat-maandbalansen	27
V.1.	Inleiding	27
V.2.	Bespreking	27
VI.	Samenvatting - Summary	29
VII.	Literatuur	30
	Tabellen	32
	Figuren	39
	Bijlage	49

Dankzegging

Zonder het bereidwillig afstaan van meetgegevens door Rijkswaterstaat, Deltadienst zou dit rapport nooit zijn gemaakt. In het bijzonder wil ik hierbij ir. B.A. Bannink, ir. P.B.M. Stortelder en T. Walhout dank zeggen.

Op het Delta Instituut stelde drs. F. Vegter gegevens beschikbaar, en gaf hij waardevolle adviezen, evenals dr. P.H. Nienhuis en dr. E.K. Duursma.

A.A. Bolsius maakte de tekeningen.

Mijn dank gaat tenslotte naar alle medewerkers van het Delta Instituut die op enigerlei wijze aan het tot stand komen van dit rapport hebben bijgedragen.

I. Inleiding

In het kader van de 'TAP'-regeling werd in de periode juni 1978-juni 1979 onderzoek verricht naar de uitwisseling van nutriënten tussen bodem en bovenstaande water in het Grevelingenmeer. De aandacht richtte zich hierbij vooral op het gedrag van fosfaat. Massabalans-studies zijn een onmisbaar hulpmiddel om inzicht in deze uitwisselings-processen te verkrijgen. Dit rapport is een weergave van de fosfaatbalans-studie, gehouden van augustus-oktober 1978.

De meeste basis-gegevens uit dit rapport zijn afkomstig van Rijkswaterstaat, afdeling Deltadienst (RWS-DD). De opzet van dit verslag is - naast het presenteren van de resultaten - vooral ook het aangeven van het nut en de beperkingen van een water- en massabalans.

II. Beschrijving van het onderzoek

In mei 1971 werd het Grevelingenbekken afgesloten van de Noordzee door de Brouwersdam. In 1964 verloor het bekken reeds zijn functie als Rijn/Maas-estuarium, door afsluiting met de Grevelingendam (Fig. 1a, 1b, 1c). In Tabel I zijn enige gegevens van het zo ontstane Grevelingenmeer vermeld. In Fig. 2 is het verloop van het fosfaatgehalte vanaf 1970 te zien; Fig. 3 en Fig. 4 geven het verloop aan van NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- en zichtdiepte. Zie ook bijlage. Het gehalte aan NO_3^- en NH_4^+ is na de afsluiting sterk gedaald. In de zomer naderen deze gehalten nul. Het fosfaatgehalte daarentegen, vertoont sinds de afsluiting - en vooral na 1973 - een duidelijke stijging, van ca. 0,1 mg P/l in 1971 tot ca. 0,6 mg P/l in 1977. Opvallend is de steeds terugkerende jaartrend, waarbij in zomer en herfst maximum P-waarden worden bereikt.

De P-stijging kan de volgende oorzaken hebben:

1) de P-belasting door polder/afvalwater; inlaatwater; spuiwater; grondwater en neerslag op het meer.

2) Een mobilisatie van fosfaat vanuit de bodem naar het bovenstaande water.

Men kan de verschillende bijdragen kwantificeren door het opstellen van nutriëntenbalansen.

In dit onderzoek zal alleen het gedrag van fosfaat worden onderzocht:

- Vanwege de opgetreden P-stijging is fosfaat een zeer interessante parameter;

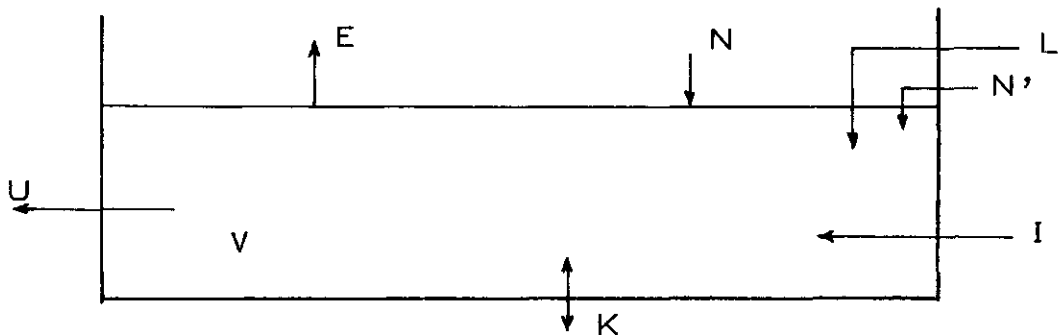
- Van fosfaat kan een sluitende balans worden verkregen, terwijl dit voor stikstof niet mogelijk is. De verschillende stikstofverbindingen worden op vrijwel niet te verifiëren wijze in elkaar overgevoerd (bijv. nitrificatie $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$); zo kunnen ze ook uit het systeem verdwijnen (N_2 , NH_3).

Besproken zullen worden de jaar- en maandbalansen van het orthofosfaat o-P; $\text{PO}_4\text{-P}$), dit is de opgeloste anorganische fosfaat-fractie; en het totaal-fosfaat (t-P; P tot.).

III. Het opstellen van de fosfaatbalans

III.1. De waterbalans

De waterbalans vormt de grondslag van de massa-balans. De verschillende componenten dienen zo nauwkeurig mogelijk bekend te zijn: onnauwkeurigheden werken steeds dóór in de uiteindelijke massabalans.



Voor de waterbalans over een periode Δt geldt de volgende differentievergelijking:

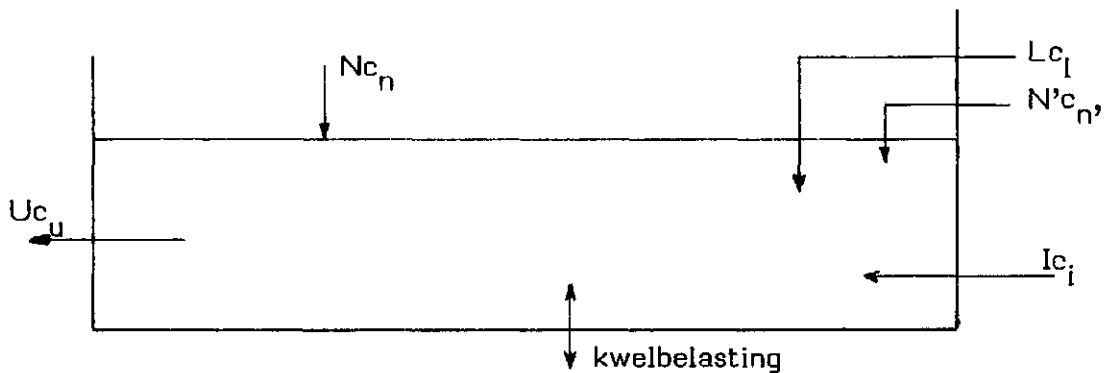
$$V_b + N \Delta t + I \Delta t + L \Delta t + N' \Delta t = V_e + E \Delta t + U \Delta t + K \Delta t \quad (1)$$

waarin V_b , V_e zijn resp. het volume van het meer aan het begin en het eind van de periode Δt (m^3)

- L = geloosde hoeveelheid polder- en afvalwater (m^3/t)
 N = hoeveelheid neerslag op het meer (m^3/t)
 E = hoeveelheid verdamping in het meer (m^3/t)
 N' = afspoeling van de buitendijkse gronden (m^3/t)
 I = hoeveelheid ingelaten- en geschut water (m^3/t)
 U = hoeveelheid gespuid water (m^3/t)
 K = hoeveelheid kwel/afzijging in het meer (grondwaterstroming) (m^3/t)

Voor Δt is hier 15 dagen aangehouden. De waterbalans over een maand, jaar wordt verkregen door sommering van de differentie-vergelijkingen.

III.2. De ortho-fosfaatbalans



De differentie-vergelijking over Δt wordt als volgt:

$$\begin{aligned}
 V_b c_b + N c_n \Delta t + I c_i \Delta t + L c_l \Delta t + N' c_n' \Delta t = \\
 V_e c_e + U c_u \Delta t \pm \text{'kwelbelasting'} \pm R \Delta t
 \end{aligned}
 \quad (2)$$

waarbij c_b, c_e = ortho-fosfaatgehalte aan het begin, resp. einde van Δt

- c_n = ortho-fosfaatgehalte van de neerslag
 c_n' = ortho-fosfaatgehalte van het afgespoelde water
 c_i = ortho-fosfaatgehalte van inlaat/schutwater
 c_l = ortho-fosfaatgehalte van het polder/afvalwater
 c_u = ortho-fosfaatgehalte van het spui-water

De laatste 5 parameters: in g/m^3 , gemiddeld over Δt

De ortho-P belasting door kwel zal nader worden besproken in IV.2.g en IV.3.g.

De term $R \Delta t$ is de netto-sluitpost van de o-P massabalans:

$R \Delta t = (A-Z) \Delta t \pm$ opname door organismen, waarbij

A = accumulatie door de bodem van ortho-fosfaat

Z = mobilisatie uit de bodem van ortho-fosfaat

De term $R \Delta t$ wordt met 'conversie' aangeduid.

III.3. De totaal-fosfaatbalans

Hiervoor geldt dezelfde figuur als bij de ortho-fosfaatbalans.

$$V_b c_b + N c_n \Delta t + I c_i \Delta t + L c_l \Delta t + N' c_{n'} \Delta t =$$

$$V_e c_e + U c_u \Delta t \pm \text{'kwelbelasting'} \pm R' \Delta t \quad (3)$$

Voor c dient hier het totaal-fosfaatgehalte te worden gelezen.

De term $R' \Delta t$ is de netto-sluitpost van de t-P massabalans:

$R' \Delta t = (A-Z) \Delta t$. Hiermee wordt de netto accumulatie in - dan wel netto-mobilisatie uit de bodem aangegeven.

De maand/jaarbalans wordt verkregen door sommering van de differentievergelijkingen (2) en (3).

IV. Jaarbalansen

IV.1. Inleiding

De jaarbalansen in dit rapport beslaan steeds het tijdvak 1 januari-31 december. Deze benadering geeft het volgende probleem: De gehalten aan o-P en t-P zijn vaak op 1/1 en 31/12 niet gemeten. Ze moeten dan door interpolatie worden verkregen (zie bijlage). Dit zal afbreuk doen aan de betrouwbaarheid van de jaarbalansen.

Aan de andere kant: Jaarbalansen die lopen van bijv. 15-1-'74 tot 17-12-'74

geven weliswaar een betrouwbaarder beeld, doch maken vergelijking met andere "jaren" erg moeilijk. Gekozen is voor de iets minder betrouwbare, doch meer toegankelijke zuivere jaarbalansen.

In IV.5. is de fosfaat-balans van 1-1-1973 tot 31-12-1977 opgegeven.

IV.2. De componenten van de waterbalans

a) Het volume van het meer bij begin/eind van het jaar

Tot 1 september 1974 werd het volume bepaald d.m.v. een peilschaal bij Bruinisse. Bij een harde, aanhoudende wind zal door op- of afwaaiing een verschil in waterstand optreden tussen verschillende plaatsen van het meer; de peilschaal geeft dan niet de correcte, gemiddelde waterstand aan. Naar schatting bedraagt de maximale afwijking ± 1 dm. Dit correspondeert met een maximale fout in de volume-bepaling van $\pm 10 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Sinds september 1974 zijn in de Grevelingen zes peilschrijvers opgesteld. De waterstand wordt elke vier uur afgelezen (bij storm elk half uur). Maximale fout in de volume-bepaling: $\pm 2 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Bronnen gegevens

mei 1971	Schatting
1 januari '72/'73/'74	Klomp en Speksnijder (1973, 1974)
1 januari '75/'76/'77	Rijkswaterstaat (1977)
1 januari '78	RWS-Zierikzee - mededeling

b) Neerslag

Van het KNMI werden de maandelijkse neerslag-gegevens verkregen. In de jaren 1972, 1973 en 1974 werden de gegevens van het station "Hompelvoet" gebruikt. In 1975, 1976 en 1977 is uitgegaan van het gemiddelde van de stations rondom de Grevelingen:

- Ouddorp
- Dirksland
- Anna Jacoba

- Noordgouwe
- Brouwershaven

Inderdaad is kennis van de juiste lokale neerslagsom gewenst, en kan niet worden volstaan met invulling van de cijfers van het meetstation Vlissingen. Ter vergelijking, in 1976 bedroegen de neerslag-cijfers:

	Vlissingen	Grevelingen
1976	440 mm	529 mm

Helaas laat de betrouwbaarheid van regenmeters te wensen over. Waarschijnlijk zijn de neerslagcijfers in dit rapport systematisch 5-10% te laag (de Zeeuw, 1975).

$$\text{Jaarsom neerslag} = \text{gemiddelde oppervlakte Grevelingen} \times \frac{\sum_{1}^{12} \text{maandsom neerslag}}{12}$$

c) Verdamping

Voor het verdampingscijfer ontwikkelde Penman (1948) een semi-empirische formule. Hierin opgenomen: Temperatuur; relatieve vochtigheid; zonnestraling; windsnelheid. De formule is ontwikkeld voor zoete wateren. De correctie (-1%) voor de brakke Grevelingen kan worden verwaarloosd. De verdampingshoeveelheden zijn een overschatting van de werkelijke cijfers van 5-10% (ter Hoeve, 1978).

$$\text{Jaarsom verdamping} = \text{Gemiddelde oppervlakte Grevelingen} \times \frac{\sum_{1}^{12} \text{maandsom verdamping}}{12}$$

Bron gegevens: KNMI, station Hompelvoet (mededeling)

d) Afspoeling

Op het buitendijkse land is de verdamping geringer dan op het meer, dit vanwege de aanwezige begroeiing. Per maand bedraagt de afspoeling van de buitendijkse gronden:

neerslag (f x verdamping), waarbij

f = 0,75 april t/m sept.

f = 0,9 in de overige maanden

Bovengenoemde surplus zal door afspoeling in het meer terecht komen.

$$\text{Jaarsom neerslagoverschot} = \text{Gemiddelde oppervlakte buitendijks land} \times \sum_{1}^{12} \text{maandsom neerslagoverschot}$$

d) Polder/afvalwater

Er wordt door 7 belastingsbronnen op de Grevelingen geloosd: 5 poldergemalen en 2 rioolwater-persleidingen, zie fig. 5.

- P₁ Gemaal Battenoord
- P₂ Gemaal Herkingen
- P₃ Gemaal de Kille
- P₄ Gemaal Dreischor
- P₅ Gemaal den Osse

+ rioolwater-lozingen van Scharendijke en Ouddorp.

Bij iedere maalbeurt wordt door de machinist de uitgeslagen hoeveelheid water genoteerd. Van het debiet van de 2 rioolwater-persleidingen kan een goede schatting worden gemaakt.

Bronnen gegevens

1971	Ruwe schatting
1972 t/m 1976:	Ongepubliceerde gegevens polderwater-onderzoek RWS (opgave in maand-cijfers)
1977:	Schatting aan de hand van analoge jaren

e) Inlaat/schut-water

In droge perioden wordt via de schut/spui-sluis bij Bruinisse water vanuit het Zijpe ingelaten. Rapportage vindt plaats door de sluismeester, die de draai-uren en het aantal schuttingen noteert.

De hoeveelheden inlaat/schut-water zijn door RWS in de afgelopen jaren ca. 10% te hoog geschat (mondelinge mededeling T. Walhout, RWS/DD). In dit rapport is hiervoor een correctie: -10% toegepast.

Bronnen gegevens:

1971	Niet in berekening betrokken
1972, 1973	Klomp en Speksnijder (1973, 1974) (jaarcijfers)
1974 t/m 1976	Rijkswaterstaat (1977) (15-daagse opgave)
1977	Ongepubliceerde gegevens RWS (15-daagse opgave)

f) Spui-water

In natte perioden wordt water op het Zijpe uitgeslagen. Ook hier werd een correctie toegepast op de RWS-cijfers: -10%.

Bronnen gegevens: zie e).

g) Kwel/afzijging

De laatste post van de waterbalans is het moeilijkst te kwantificeren; deze fungeert daarom meestal als sluitpost.

Veroorzaakt door het verschil in hoogte tussen het meer en de omliggende polders treden grondwaterstromingen op. Ligt de polder hoger dan het meer, dan treedt kwel op: Er wordt grondwater in het meer gebracht. Ligt de polder lager, dan vloeit water van het meer naar de bodem: Afzijging.

Het proces wordt sterk beïnvloed door de bodemsoort, geologische gelaagdheid, etc.

Het grondwaterniveau van het meeste polderland rond de Grevelingen ligt (iets) lager dan het meer-niveau; men kan dus een geringe afzijging verwachten.

Door de Grevelingendam en Brouwersdam treedt daarentegen enige kwel op: $1,6 \text{ à } 6,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$ (onderzoek RWS/DD, ongepubliceerd).

Aangenomen is hier nu dat kwel en afzijging elkaar ongeveer opheffen.

IV.3. De fosfaat-massabalans

De waterbalans vormt de basis van de massabalans.

Bij dit onderzoek is het Grevelingenmeer beschouwd als zijnde ideaal gemengd.

Dit houdt in, dat is aangenomen, dat overal in het meer uniforme condities heersen wat betreft nutriënten-gehalten. Bij controle bleek dat, binnen het raam van dit onderzoek, aan deze aanname wordt voldaan.

a) Hoeveelheid fosfaat in de Grevelingen aan het begin/eind van het jaar

De P-gehalten c_b , c_e (zie formule 2 + 3) werden verkregen door lineaire interpolatie aan de hand van de gegevens in fig. 2. De ortho-P gehalten werden in de afgelopen jaren ruwweg twee-wekelijks gemeten. Deze frequentie is evenwel nogal wisselend; vooral rond de jaarwisseling komen lange tussenpozen voor.

Voor P-tot. is de metings-frequentie veel geringer, zie fig. 2. De betrouwbaarheid van de P tot.-balans zal daarom geringer zijn dan van de o-P balans. Dit valt te betreuren: Het belang van de Ptot -balans is minstens even groot als van de o-P balans.

b) Fosfaat-belasting door neerslag

Dikwijls wordt bij massabalans-onderzoekingen het aandeel van de neerslag verwaarloosd. De laatste jaren is in snel tempo onderzoek gestart naar de chemie van het regenwater. In het Delta-gebied is door RWS-DD van 1975 t/m 1977 een dergelijk onderzoek verricht. De voorlopige resultaten zijn mij ter hand gesteld.

Op vier plaatsen werd 1 à 2-maandelijks de neerslag geanalyseerd. In dit rapport zijn de resultaten van het meetpunt "Zierikzee" aangehouden.

Voor de jaren 1975, 1976, 1977 kan de P-belasting direct worden berekend volgens:

$$P\text{-jaarbelasting} = \sum_{j=1}^{12} N_j \bar{c}_j$$

waarbij $N_j, \bar{c}_j$ resp. zijn de neerslag-hoeveelheid van de maand j, en het gemiddelde P-gehalte van de neerslag in maand j.

Het gewogen-gemiddelde P-gehalte over 1975, 1976, 1977 werd voor de overige jaren gebruikt:

	o-P	t-P
1972, 1973	0,065 mg P/l	0,135 mg P/l
1974 (extreem nat jaar)	0,06 mg P/l	0,13 mg P/l
1971	ruwe schatting	

c) Fosfaat-belasting door afspoeling buitendijkse gronden

Deze post is niet goed bekend. Zeker is wel, dat het een geringe bijdrage is. Schmidt van Dorp (1978) geeft een indicatie: $40 \text{ kg P km}^{-2} \text{ j}^{-1}$.

Er is hier een waarde aangehouden van:

0-1 ton voor ortho-P

0-2 ton voor t-P

Opm. Bij een negatief afspoelings-cijfer is een negatieve P-belasting aangenomen.

d) P-belasting door polder- en afvalwater

Via de gemalen P_1 t/m P_5 (zie fig. 5) wordt afgevoerd:

- overtollig polderwater
- afvalwater van de omliggende woonkernen, al dan niet gezuiverd

Door de persleidingen bij Ouddorp en Scharendijke wordt het afvalwater van de gelijknamige plaatsen op de Grevelingen geloosd. Inmiddels zijn deze lozingen grotendeels gestaakt. Door Dek en Speksnijder (1976) worden de verschillende lozingen uitgebreid behandeld.

Er is door RWS in de periode 1972 t/m 1976 een intensief onderzoeksprogramma uitgevoerd naar de polderwater-lozingen in het Delta-gebied. De poldergemalen P_1 t/m P_5 zijn steeds maandelijks bemonsterd. Statistisch onderzoek van Dolfing (1977) laat zien dat een hogere bemonsterings-frequentie geen zin heeft; hiervoor is de spreiding binnen één bemalingsperiode al te groot.

Er kan een schatting worden gemaakt van de lozingen door de twee afvalwaterpersleidingen, en wel aan de hand van het aantal inwoners-equivalenten (i.e. = geloosde hoeveelheid afvalstoffen per inwoner per dag).

Bronnen gegevens:

1971	Schatting aan de hand van analoge jaren
1972 t/m 1976	Ongepubliceerde gegevens polderwater-onderzoek RWS
1977	Schatting aan de hand van analoge jaren

e) Inlaat/schutwater-belasting

Deze vormt slechts een geringe bijdrage tot de P-belasting van het meer. De samenstelling van het inlaat-water is niet geanalyseerd. Aangenomen is hier een samenstelling:

$$3/4P_4 + 1/4P_3, \text{ waarbij } \begin{aligned} P_3 &= \text{P-gehalte op } Z_3 \\ P_4 &= \text{P-gehalte op } Z_4 \quad (\text{zie fig. 1}) \end{aligned}$$

$$\text{Jaarsom P-belasting door inlaat/schutwater} = \sum_{k=1}^4 I_k \bar{c}_k,$$

waarbij I_k , $\bar{c}_k$ resp. de kwartaal-hoeveelheid, en het over een kwartaal gemiddelde P-gehalte van het inlaat/schutwater zijn.

De P-belasting in 1971 werd geschat.

f) P-belasting door spui-water

$$\text{Jaarsom} = \sum_{k=1}^4 U_k \bar{c}_k$$

waarin $\bar{c}_k$, U_k resp. zijn het over het kwartaal gemiddelde P-gehalte, van het Grevelingenmeer en de kwartaalhoeveelheid gespuid water. De spui-hoeveelheid over 1971 werd geschat.

g) P-belasting door kwel/afzijging

Een schatting van deze bijdrage in de fosfaat-balans is moeilijk te geven. Er zijn twee gezichtspunten:

Eenzijds kan stringent de waterbalans worden gevolgd. Hieruit volgt voor de massabalans:

- Komt uit de waterbalans een post "kwel" voort (= opwellend grondwater), dan dient de hoeveelheid kwel-water te worden vermenigvuldigd met de concentratie van het fosfaat in het interstitiële water van de bodem
- Vindt men een post "afzijging", dan moet deze waterhoeveelheid worden vermenigvuldigd met de fosfaat-concentratie in het Grevelingenmeer.

Aan de andere kant: In IV.2.g. werd beredeneerd, dat kwel en afzijging elkaar, om hydro-grafische redenen, opheffen. De resulterende post in de fosfaat-massabalans kan in dit geval worden verwaarloosd

In dit verslag is het tweede gezichtspunt als het meest zinnige aangehouden: De kwel/afzijgingsterm in de fosfaat-massabalans wordt verwaarloosd.

Een niet-sluitende waterbalans wordt vooral veroorzaakt door gebrekkige kennis van de volume-, neerslag- en verdampingsterm. Deze termen werken in niet sterke mate dóór in de massabalans (zie IV.5. voor fouten-analyse).

h) De sluitpost van de fosfaat-massabalans

Met deze term wordt de accumulatie in-, dan wel de mobilisatie uit de bodem gevonden. Een goede kennis van deze bijdrage is voor dit onderzoek van groot belang. De nauwkeurigheid ervan hangt geheel af van die van de andere bijdragen (zie IV.5.).

IV.4. Resultaten jaarbalansen

IV.4.1. Mei 1971/ 1-1-1972

In deze periode trad een grote stijging van het fosfaat-gehalte in de Grevelingen op. Opgemerkt moet worden , dat vele posten onvoldoende bekend waren, en dus moesten worden geschat.

a) Ortho-fosfaatbalans

	waterbalans	massabalans
Volume 12-5-'71	ca $550 \times 10^6 \text{ m}^3$	ca $550 \times 0,017 = 9 \text{ ton}$
Neerslag	- - -	ca 3 "
Polder/afvalwater	- - -	" <u>14</u> "
		ca 26 ton
Volume 1-1-'72	$534 \times 10^6 \text{ m}^3$	$534 \times 0,25 = 134 \text{ ton}$
Spui minus inlaat	- - -	ca 2 "
		Conversie ca - <u>110</u> "
		ca 26 ton

Na de afsluiting trad in 1971 een mobilisatie $\pm$ opname door organismen op van circa 110 ton ortho-fosfaat.

b) Totaal-P balans:

	waterbalans	massabalans
Volume 12-5-'71	ca $550 \times 10^6 \text{ m}^3$	ca $550 \times 0,078 =$
		ca 43 ton
Neerslag	- - -	ca 6,5 "
Polder/afvalwater		ca <u>18</u> "
		67,5 ton
Volume 1-1-'72	$534 \times 10^6 \text{ m}^3$	$534 \times 0,28 = 150 \text{ ton}$
Spui minus inlaat		ca 2 "
		Mobilisatie - <u>84,5</u> "
		67,5 ton

Er trad na de afsluiting in 1971 een mobilisatie op van circa 85 ton t- P

IV.4.2. Balans over het jaar 1972

a) Ortho-fosfaatbalans

Deze balans stemt voor een groot deel overeen met dewelke door Klomp en Speksnijder (1973) werd opgesteld. Een opmerkelijk verschilpunt: Het toekennen van een bijdrage van de neerslag aan de massabalans. De balans loopt van 1-1-1972 tot 1-1-1973.

Volume 1-1-'72	$534 \times 10^6 \text{ m}^3$	$534 \times 0,25 =$	134 ton
Inlaat/schutten	43,3 "		1,9 "
Polder/afvalwater	9,3 "		12,5 "
Neerslag	63,9 "		4,2 "
Afspoeling	4,8 "		0,5 "
	655 "		153 ton o-P

Volume 1-1-'73	$551 \times 10^6 \text{ m}^3$	$551 \times 0,21 =$	116 ton
Verdamping	66,2 "		-
Spui	19,2 "		5,0 "
Afzijing	19 "		0 "
	655 "	Conversie	+ 32 "
			153 ton o-P

In 1972 heeft een opname in de bodem $\pm$ opname organismen plaatsgevonden van 32 ton ortho-P.

b) Totaal-fosfaatbalans

Totaal-P werd in de eerste helft van 1972 niet gemeten. Toch is hier een schatting gemaakt van de t-P balans over 1972.

Volume 1-1-'72	$534 \times 10^6 \text{ m}^3$	$534 \times \text{ca } 0,28 =$	ca 150 ton t-P
Inlaat/schutten	43,3 "		4 "
Polder/afvalwater	9,3 "		16 "
Neerslag	63,9 "		8,6 "
Afspoeling	<u>4,8 "</u>		<u>1 "</u>
	655 "		ca 180 ton t-P

Volume 1-1-'73	$551 \times 10^6 \text{ m}^3$	$551 \times 0,22 =$	121 ton t-P
Verdamping	66,2 "		- "
Spui	19,2 "	ca	6 "
Afzijging	19 "		0 "
	<u> </u>	Accumulatie ca	<u>53 "</u>
	655 "	ca	180 ton t-P

In 1972 is er, naar schatting, een accumulatie in de bodem opgetreden van 53 ton totaal-fosfaat.

IV.4.3. Balans over 1973

Deze is gebaseerd op de nota van Klomp en Speksnijder (1974).

a) Ortho-fosfaatbalans

Volume 1-1-'73	$551 \times 10^6 \text{ m}^3$	$551 \times 0,21 =$	116 ton
Inlaat/schutten	32,9 "		2,1 "
Polders incl.afspoeling	25,9 "		18,5 "
Afvalwater	0,4 "		3,2 "
Neerslag	69,4 "		4,5 "
Kwel	<u>15 "</u>		<u>0 "</u>
	695 "		144 ton
	<u> </u>	Conversie	<u>-22 "</u>
	695 "		144 ton o-P

Volume 1-1-'74	$579 \times 10^6 \text{ m}^3$	$579 \times 0,27 =$	156 ton
Verdamping	77,0 "		- "
Spuien	39,2 "		9,7 "
		Conversie	-22 "
	695 "		144 ton o-p

In 1973 een negatieve conversie van 22 ton o-P (mobilisatie uit de bodem ± opname organismen).

b) Totaal-fosfaatbalans:

Volume 1-1-'73	$551 \times 10^6 \text{ m}^3$	$551 \times 0,22 =$	121 ton t-P
Inlaat/schutten	32,9 "		3,5 "
Polder incl.afspoel.	25,9 "		21,8 "
Afvalwater	0,4 "		6,3 "
Neerslag	69,4 "		9,4 "
Kwel	15 "		0 "
	695 "		162 ton t-P

Volume 1-1-'74	$579 \times 10^6 \text{ m}^3$	$579 \times 0,31 =$	179 ton t-P
Verdamping	77,0 "		- "
Spuien	39,2 "		10,1 "
		Mobilisatie	-27 "
	695 "		162 ton t-P

In 1973 trad een mobilisatie op van 27 ton P-totaal uit de bodem.

IV.4.4. Jaarbalans over 1974

a) Ortho-fosfaatbalans:

Volume 1-1-'74	$579 \times 10^6 \text{ m}^3$	$579 \times 0,27 =$	156 ton o-P
Inlaat/schutten	25,6 "		1 "
Polder/afvalwater	34,2 "		22,3 "
Neerslag	95,6 "		5,7 "
Afspoeling	10 "		1 "
Kwel	<u>10</u> "		<u>0</u> "
	754 "		186 ton o-P

Volume 1-1-'75	$586,7 \times 10^6 \text{ m}^3$	$586,7 \times 0,27 =$	158 ton o-P
Spuien	88,7 "		25,6 "
Verdamping	78,2 "		- "
	<u> </u>	Conversie	<u>2</u> "
	754 "		186 ton o-P

In 1974 een opslag $\pm$ opname organismen van 2 ton ortho-P.

b) Totaal-fosfaatbalans:

Volume 1-1-'74	$579 \times 10^6 \text{ m}^3$	$579 \times 0,31 =$	179 ton t-P
Inlaat/schutten	25,6 "		1,8 "
Polder/afvalwater	34,2 "		31,8 "
Neerslag	95,6 "		12,4 "
Afspoeling	10 "		2 "
Kwel	<u>10</u> "		<u>0</u> "
	754 "		227 ton t-P

Volume 1-1-'75	$586,7 \times 10^6 \text{ m}^3$	$586,7 \times 0,30 =$	176 ton t-P
Spuien	88,7 "		27,9 "
Verdamping	78,2 "		- "
	<u> </u>	Accumulatie	<u>+23</u> "
	754 "		227 ton t-P

In 1974 heeft de bodem 23 ton totaal-P geaccumuleerd

IV.4.5. Jaarbalans over 1975

a) Ortho-fosfaatbalans

Volume 1-1-'75	$586,7 \times 10^6 \text{ m}^3$	$586,7 \times 0,27 = 158 \text{ ton O-P}$
Inlaat/schutten	19,3 "	1,8 "
Polder/afvalwater	19,7 "	18,4 "
Neerslag	77,5 "	3,1 "
Afspoeling	5,9 "	0,5 "
Kwel	<u>10</u> "	<u>0</u> "
	719 "	182 ton o-P

Volume 1-1-'76	$582,4 \times 10^6 \text{ m}^3$	$582,4 \times 0,35 = 204 \text{ ton o-P}$
Spuien	62,5 "	19,1 "
Verdamping	74 "	-
	<u> </u>	Conversie <u>-41</u> "
	719 "	182 ton o-P

In 1975 een mobilisatie uit de bodem $\pm$ opname organismen van 41 ton ortho-P.

b) Totaal-fosfaatbalans

Volume 1-1-75	$586,7 \times 10^6 \text{ m}^3$	$586,7 \times 0,30 = 176 \text{ ton t-P}$
Inlaat/schutten	19,3 "	2,9 "
Polder/afvalwater	19,7 "	25,7 "
Neerslag	77,5 "	10,8 "
Afspoeling	5,9 "	1 "
Kwel	<u>10</u> "	<u>0</u> "
	719 "	216 ton t-P

Volume 1-1-76	$582,4 \times 10^6 \text{ m}^3$	$582,4 \times 0,37 = 215 \text{ ton t-P}$
Spuien	62,5 "	20,6 "
Verdamping	74 "	-
		Mobilisatie
	<u>719</u> "	<u>-20</u> "
		216 ton t-P

In 1976 is een mobilisatie vanuit de bodem opgetreden van 20 ton totaal-fosfaat.

IV.4.6. Balans over 1976

a) Ortho-fosfaatbalans:

Volume 1-1-'76	$582,4 \times 10^6 \text{ m}^3$	$582,4 \times 0,35 = 204 \text{ ton o-P}$
Inlaat/schutten	39,4 "	4,0 "
Polder/afvalwater	12,7 "	11,7 "
Neerslag	56,1 "	4,5 "
Afspoeling	<u>- 2,1</u> "	<u>- 0,5</u> "
	689 "	224 ton o-P

Volume 1-1-'77	$589,0 \times 10^6 \text{ m}^3$	$589,0 \times 0,42 = 247 \text{ ton o-P}$
Spuien	13,8 "	5,2 "
Verdamping	82,0 "	-
Afzijing	4 "	0
		Conversie
	<u>689</u> "	<u>-28</u> "
		224 ton o-P

Mobilisatie uit de bodem + opname organismen van 28 ton o-P.

b) Totaal-fosfaatbalans:

b) Totaal-fosfaatbalans:

Volume 1-1-'76	$582,4 \times 10^6 \text{ m}^3$	$582,4 \times 0,37 = 215 \text{ ton t-P}$
Inlaat/schutten	39,4 "	4,9 "
Polder/afvalwater	12,7 "	17,1 "
Neerslag	56,1 "	7,9 "
Afspoeling	<u>- 2,1 "</u>	<u>- 1 "</u>
	689 "	244 ton t-P

Volume 1-1-'77	$589,0 \times 10^6 \text{ m}^3$	$589,0 \times 0,45 = 265 \text{ ton t-P}$
Spuien	13,8 "	5,6 "
Verdamping	82,0 "	-
Afzijing	4 "	0
	<u> </u>	Mobilisatie <u>- 27 "</u>
	689 "	244 ton t-P

In 1976 is 27 ton P-totaal uit de bodem gemobiliseerd.

IV.4.7. Balans over 1977:

a) Ortho-fosfaatbalans:

Volume 1-1-'77	$589,0 \times 10^6 \text{ m}^3$	$589,0 \times 0,42 = 247 \text{ ton o-P}$
Inlaat/schutten	12,4 "	0,9 "
Neerslag	80,2 "	6,2 "
Polder/afvalwater ca.	24 "	ca 20 "
Afspoeling	6 "	0,5 "
Kwel	<u>27 "</u>	<u>0 "</u>
	739 "	275 ton o-P

Volume 1-1-'78	589,0 x 10 ⁶ m ³	589,0 x 0,45 = 265 ton o-P
Verdamping	71,4 "	- "
Spui	78,8 "	30,8 "
		Conversie - 21 "
	739 "	275 ton o-P

Er is in 1977 door de bodem afgestaan ± opname organismen: 21 ton ortho-fosfaat

b) Totaal-fosfaatbalans:

Volume 1-1-'77	589,0 x 10 ⁶ m ³	589,0 x 0,45 = 265 ton t-P
Inlaat/schutten	12,4 "	1,4 "
Neerslag	80,2 "	11,3 "
Polder/afvalwater ca.	24 "	circa 28 "
Afspoeling	6 "	1 "
Kwel	27 "	0 "
	739 "	307 "

Volume 1-1-'78	589,0 x 10 ⁶ m ³	589,0 x 0,50 = 295 ton t-P
Verdamping	71,4 "	-
Spui	78,8 "	34,7 "
		Mobilisatie - 23 "
	739 "	307 ton t-P

Er is in 1977 mobilisatie uit de bodem opgetreden van 23 ton totaal-fosfaat.

IV.5. Bespreking van de jaar-fosfaatbalansen

In tabel II is een overzicht gegeven van de resultaten. Er zal nu eerst een schatting worden gegeven van de nauwkeurigheid van de verschillende balans-parameters (Wijvekate, 1976).

Bij de waterbalans over 1972 t/m 1976 overtreft de kwel de afzijging gesommeerd: $+ 62 \times 10^6 \text{ m}^3$ en $-23 \times 10^6 \text{ m}^3$. Waarschijnlijk is de oorzaak een te lage opgave van de hoeveelheid neerslag en/of te hoge schatting van de verdamping. Dit vermoeden werd al eerder uitgesproken.

Afwijkingen in genoemde componenten beïnvloeden slechts in geringe mate de fosfaat-massabalans.

Wanneer we de waterbalans-sluitpost in grootte vergelijken met het totaal van de waterbalans-posten, dan vinden we de discrepantie t.o.v. een "ideaal sluitende waterbalans". De discrepantie blijkt te zijn: In 1972 3%; 1973 2,1%; in 1974 1,3%; 1975 1,4%; 1976 0,1% en in 1977 3,7%.

Riemann (in Claassen, 1978) noemt een discrepantie van 5% "acceptabel". In alle jaren is hier dus sprake van een goed sluitende waterbalans.

Schematisch wordt de o-P/t-P balans als volgt weergegeven:

(A)	(B)	(C)
Inhoud d.d. 1/1 x P-gehalte	d.d. 1/1 = P-belasting	d.d. 1/1
Inlaat/schutwater x P-gehalte	inlaat/schutwater = P-belasting	inlaat/schutwater
(D)		
Polder/afvalwater x P-gehalte	inlaat/afvalwater = P-belasting	polder/afvalwater
(E)		
Neerslag x P-gehalte	neerslag = P-belasting door	neerslag (F)

(A')	(B')	(C')
Inhoud d.d. 31/12 x P-gehalte	d.d. 31/12 = P-belasting	d.d. 31/12
Spui-water x P-gehalte	spui-water = P-belasting door	spuiwater (G)
Conversie-term; mobilisatie/accumulatie	(H)	

$$H = C - C' + D + E + F - G$$

Voor de standaardafwijking in H: $s(H)$ geldt dan:

$$\left[s(H) \right]^2 = \left[s(C) \right]^2 + \left[s(C') \right]^2 + \left[s(D) \right]^2 + \left[s(E) \right]^2 + \left[s(F) \right]^2 + \left[s(G) \right]^2$$

a)

$$C = A \times B, \text{ dan: } \left[\frac{s(C)}{C} \right]^2 = \left[\frac{s(A)}{A} \right]^2 + \left[\frac{s(B)}{B} \right]^2$$

Idem $s(C')$.

Tot 1-1-1975 bedraagt $s(A)/A$ circa 0,01; voor de overige data is deze term te verwaarlozen. Voor $s(B)$ is aangenomen: De uitkomst van de lineaire interpolatie van de standaardafwijkingen op de twee dichtstbijgelegen data rond de jaarwisseling (zie Fig. 2 en bijlage).

Steeds geldt: $s(C)/C \approx s(B)/B$

b) Overige bijdragen

Het P-gehalte van het polderwater zal gedurende een maand sterke (niet bekende) fluctuaties vertonen.

Elk gemaal werd één's per maand bemonsterd. Stellen we bij zo'n meting een relatieve standaardafwijking $s(E)/E = 100\%$, t.o.v. het gemiddelde P-maandgehalte.

Door sommering over een jaar, en over de vijf polders, zal $s(E)/E$ worden verkleind tot circa 15%. In 1971 en 1977 is voor $s(E)/E$: 25 % aangehouden.

De hoeveelheid P die via neerslag, en via spui wordt getransporteerd is steeds goed bekend. Aangenomen is een relatieve standaardafwijking van 5%. De fout in de P-belasting door schut/inlaat kan worden verwaarloosd.

In Tabel III zijn de standaardafwijkingen over de verschillende jaren aangegeven. Hiermee is de $s(H)$ berekend. De grootte van deze term blijkt sterk gecorreleerd te zijn met de standaardafwijkingen $s(C)$ en $s(C')$.

Er kan worden gesteld: De nauwkeurigheid waarmee de conversie-en mobilisatie/accumulatietermen bekend zijn, kan vooral worden verhoogd door de P-gehalte-bepaling aan het begin/eind van het jaar zo betrouwbaar mogelijk uit te voeren. Op een datum dicht bij de jaarwisseling dienen daartoe steeds een groot aantal (15-20) punten in de Grevelingen bemonsterd te worden.

In tabel IV zijn de conversie- en mobilisatie/bergingfactoren per jaar opgegeven, steeds met het bijbehorende 95%-waarschijnlijkheidsgebied.

In de periode mei 1971-dec. 1971 vond een sterke mobilisatie uit de bodem plaats. Door afsterving van bodem-organismen na de afsluiting, kan hoogstens 17 ton P in het water zijn gebracht (Vegter 1977). De uitzonderlijk hoge restterm (mobilisatie > 68 ton P) kan slechts aannemelijk worden gemaakt bij bestudering van de fosfaatmaandbalansen; zie hoofdstuk V.

In 1972 vond een sterke accumulatie plaats; deze term bezit een grote onnauwkeurigheid.

Er was in 1973 sprake van mobilisatie, en in 1974 van accumulatie.

In 1975, 1976 en 1977 trad een mobilisatie uit de bodem op van gemiddeld 23 ton P/jaar.

Voor het verklaren van bovengenoemde gedragingen blijkt de jaarbalans een te grof instrument te zijn. Een verdere bespreking zal in hoofdstuk V: Maandbalansen, worden gehouden.

Er zal nu worden getracht antwoord te geven op de volgende vraag:

"Welk aandeel hebben de verschillende balanscomponenten tot de P-huishouding gedurende een voor de afgesloten Grevelingen representatief jaar"?

Uit de vraagstelling volgt, dat de jaren 1971 en 1972 niet in deze beschouwing dienen te worden opgenomen. In de periode na de afsluiting traden abnormale verschijnselen op. Vooral door het wegvallen van de getijdebeweging vond een afbraak van oude- en een opbouw van nieuwe levensgemeenschappen plaats. Dit verschijnsel van instabiliteit weerspiegelt zich in het verloop van het ortho-P gehalte, zie bijv. in december 1971 en februari 1972. Tevens moet worden opgemerkt, dat het totaal-P gehalte in de eerste helft van 1972 niet is gemeten.

Voor het gedrag in een representatief jaar is hier aangenomen, het over 1973 t/m 1977 gemiddelde gedrag. In Tabel V is een overzicht gegeven van de P-belasting door de massabalans-componenten, met het 95%-waarschijnlijkheidsgebied.

Als opvallende punten in tabel V kunnen worden genoemd:

- De relatief grote bijdrage van de neerslag aan de P-belasting
- De grote bijdrage door de termen conversie, mobilisatie/accumulatie.

In Tabel VI is het schema van de gemiddelde fosfaatbalans over 1973-1977 op een zodanige wijze opgezet, dat de verschillende relaties tussen ortho-P enerzijds, en part. P + d.org.P^{*)} anderzijds, tot uitdrukking komen. De onbekende parameters in deze tabel kunnen worden berekend dan wel geschat.

a) Sedimentatie.

De term S geeft de jaarlijkse hoeveelheid P aan, die als gevolg van sedimentatie in de bodem achterblijft. Over de rol van de sedimentatie en re-mineralisatie in de nutriënten-kringloop van de Grevelingen is weinig bekend. De bijdrage S moet daarom ruw worden geschat.

Aan de hand van gegevens van Wolff et al (1975) kan een schatting worden gemaakt van de hoeveelheid sedimenterend P in de Grevelingen: 100 ton P/jaar. Hiervan zal een zeer groot deel na mineralisatie terugkeren in de waterfase (Andersen et al, 1979). Aangenomen is dat 5% (: 5 ton P/jaar) in de bodem achterblijft.

b) Mobilisatie; decompositie/vorming

In tabel V werd de mobilisatie van t-P vermeld: 14,8 ton P/jaar. Dit getal is de resultante van de sedimentatie: 5 ton P/jaar, en de bruto mobilisatie: 19,8 ton t-P/jaar.

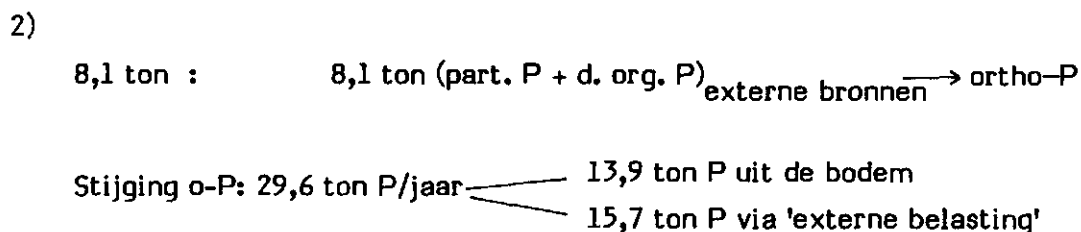
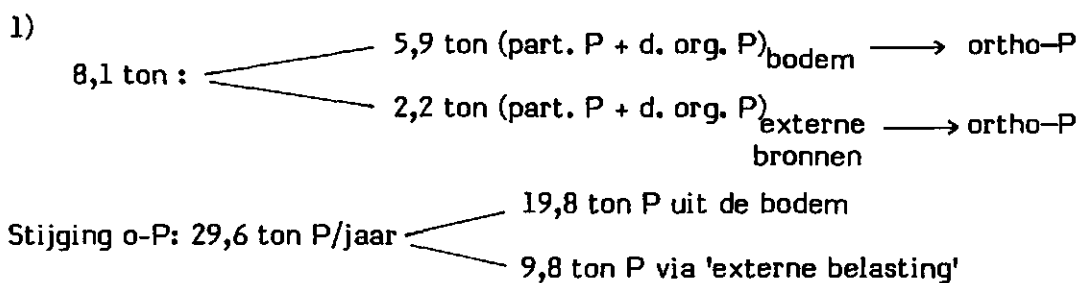
Deze 19,8 ton P mobiliseerde voor circa 70% in de vorm van ortho-P. (Ongepubliceerde gegevens interstitieel-water onderzoek P. Kelderman).

$$\begin{array}{rcl} & & 13,9 \text{ ton t-P} \\ 19,8 \text{ ton t-P} & \swarrow & \\ & \searrow & 5,9 \text{ ton part.P + d.org. P} \end{array}$$

*) particular P + dissolved organic P = $P_{\text{tot}} - \text{ortho-P}$

De decompositie/vorming, die de omzetting tussen o-P en part. P + d. org. P aangeeft, kan dan als sluitpost worden gevonden. Zie tabel VII. Tabel VII dient met de nodige reserves te worden bekeken. Aan de lezer wordt overgelaten, een anders-gekozen sedimentatie-term in de tabel dóór te berekenen.

Per jaar wordt 8,1 ton part. P + d. org. P omgezet in ortho-P. Er zijn twee uitersten:



De in de periode 1973-1977 opgetreden ortho-P stijging werd dus veroorzaakt door:

Mobilisatie uit de bodem: ca. 57% (47-67%)

Externe P-belasting (polder/afvalwater, neerslag, etc): ca. 43% (33-53%)

Hieruit blijkt wel de grote invloed van het uitwisselingsproces tussen bodem en bovenstaande water op de P-huishouding van het Grevelingenmeer.

Een jaarlijkse mobilisatie van 20 ton P (= 0,55 mg P/m² dag) is in vergelijking met andere onderzoeken een 'gemiddeld' getal. Het Greve-

lingenmeer is echter betrekkelijk ondiep ($\bar{z} = 5,3$ m); om deze reden kon de mobilisatie zich in een spectaculaire stijging manifesteren.

Uit fig. 2 blijkt de sterke seizoens-afhankelijkheid van het fosfaat-verloop. Om hier meer inzicht in te verkrijgen dienen maandbalansen te worden opgesteld.

V. Fosfaat-maandbalansen

V.1. Inleiding

De maandbalansen geven een helder beeld van de accumulatie/mobilisatie in de loop van een jaar. Voor het opzetten van de maandbalansen werd dezelfde procedure gevolgd als bij de jaarbalansen. Er werd gebruik gemaakt van dezelfde bronnen voor de gegevens. De balansparameters zijn vanaf 1974 met een goede nauwkeurigheid bekend.

V.2. Bespreking

In fig. 6 t/m 12 is de maand-accumulatie/mobilisatie voor de jaren 1971-1977 opgegeven. De o-P balansen vertonen een analoog beeld.

De uitkomsten over 1971, 1972 en 1973 zijn niet erg betrouwbaar.

Ongeveer in de periode mei-augustus vindt steeds een grote P-mobilisatie plaats; de rest van het jaar is er een accumulatie. In de meeste jaren overtreft de mobilisatie de accumulatie.

Uit deze trend kan onmiddellijk de uitzonderlijk hoge mobilisatie in de periode mei 1971-december 1971 aannemelijk worden gemaakt. De "accumulatie-maanden" januari-april ontbraken in 1971, zodat er een grote netto-mobilisatie overbleef. Deze resulteerde in een forse P-stijging: $0,08 \rightarrow 0,28$ mg/l. De geschetste trend in het P-verloop heeft zich direct na afsluiting ingezet. Zeer waarschijnlijk trad in het open Grevelingen-bekken eenzelfde verschijnsel op. Vanwege de eb/vloed-beweging was hiervan echter niets te merken.

Het Grevelingenmeer gedraagt zich niet uitzonderlijk. In de literatuur worden vele gevallen genoemd van meren, waarvan de bodem in het zomer-halfjaar fosfaat mobiliseert, en in het winter-halfjaar accumuleert. Enkele voorbeelden: Veerse Meer, Brielse Meer (Bannink, 1979); Sodra Meer (Bengtsson, et al 1975); Norrviken Meer (Ahlgren, 1977). Een afdoende verklaring is nog niet gevonden. Het mechanisme voorgesteld door Mortimer (1941, 1942), nl. een P-mobilisatie bij zuurstof-loosheid van het sediment, is hier niet van toepassing: De bodem van het Grevelingenmeer wordt in de zomer over een oppervlakte van hoogstens 3% anoxisch (berekend uit ongepubliceerde gegevens F. Vegter).

In het volgende zullen de jaren 1971, 1972 en 1973 buiten beschouwing worden gelaten, dit vanwege de onvoldoende nauwkeurigheid.

In figuur 13 is de P-mobilisatie/accumulatie weergegeven als functie van de watertemperatuur voor de jaren 1974 t/m 1977 (zie Tabel VIII). De maximale fout in de mobilisatie/accumulatie is, over de vier jaar genomen, circa 10 ton/maand. Er bestaat een zeer significante correlatie ($r = 0,78$). Bij beschouwing van de figuur zien we echter, dat deze correlatie wordt veroorzaakt door twee gescheiden punten-wolken: 'mei t/m augustus' tegen 'rest van het jaar'. In de twee punten-wolken zelf is correlatie niet aanwezig.

Om op de jaarbalansen terug te komen, we zagen, dat in 1974 een accumulatie: in 1975, 1976 en 1977 een netto P-mobilisatie optrad (tabel IV). Ook op dit punt is er een opvallende correlatie met de watertemperatuur. De gemiddelde watertemperatuur was in 1974: $10,6^{\circ}\text{C}$; 1975: $11,3^{\circ}\text{C}$; 1976: $11,1^{\circ}\text{C}$; 1977: $11,0^{\circ}\text{C}$.

We kunnen ook de maanden mei t/m augustus afzonderlijk beschouwen. In deze periode vindt de jaarlijkse mobilisatie plaats (april 1974 vertoonde ook mobilisatie, doch dit was een "bijsturing" van de accumulatie in maart 1974).

In tabel IX is duidelijk te zien, dat de uiteindelijke P-accumulatie over 1974 (: 23 ton) kan worden teruggevoerd naar de relatief geringe mobilisatie gedurende mei-augustus van dat jaar. De lage watertemperatuur heeft hierop een duidelijke invloed gehad.

Bovengenoemde resultaten bieden een aanwijzing, dat bij onderzoek naar de bodem/wateruitwisseling in het Grevelingenmeer veel aandacht zal moeten worden besteed aan de biologische processen in de bodem. Deze vertonen een (indirecte) afhankelijkheid met de temperatuur. Gedacht wordt

bijv. aan *Zostera* groei en -afbraak, aan microbiologische processen, en aan bioturbatie. Deze, en andere aspecten van de bodem/water uitwisseling zullen in het kader van het ZOWEC-project* de komende drie jaar worden onderzocht.

VI. Samenvatting

In dit verslag worden de jaar- en maandbalansen van fosfaat gepresenteerd van mei 1971 t/m december 1977 in het Grevelingenmeer. Stap voor stap worden de verschillende componenten van de balans behandeld. Er wordt een fouten-analyse gegeven. Het blijkt mogelijk, redelijk nauwkeurige balansen op te stellen. Bij een gericht onderzoeksprogramma (keuze meetplaatsen, -data, etc.) kunnen nog nauwkeuriger resultaten worden verkregen.

Uit de jaarbalansen blijkt, dat de P-stijging in de periode 1973-1977 voor circa 60% kan worden toegeschreven aan P-mobilisatie uit de bodem. Voor de overige 40% zijn polder/afvalwaterlozingen op het meer, neerslag, inlaat/schutwater en spui-water verantwoordelijk. Opmerkelijk is de hoge P-belasting van de neerslag.

De P-maandbalansen laten zien, dat in de periode mei-augustus een P-mobilisatie van 130-180 ton uit de bodem optreedt. De rest van het jaar is er accumulatie. Deze trend vertoont een duidelijke correlatie met de watertemperatuur. De P-uitwisseling tussen bodem en bovenstaande water, over een geheel jaar genomen, wordt sterk beïnvloed door de watertemperatuur van mei-augustus. Onderzoek naar dit gedrag is noodzakelijk. Vooral microbiologische processen in de bodem dienen te worden onderzocht.

In het Grevelingenmeer is zeer weinig bekend van de rol van sedimentatie en resuspensie in de nutriënten-kringloop. Ook hier is gericht onderzoek nodig.

Summary

Phosphate-budgets are presented from May 1971 (closure) till December 1977 in lake Grevelingen. Year-budgets show, that P-increase from

* ZOWEC = zoutwaterecologie: een vijf-tal samenwerkings-projecten tussen het Delta Instituut en de Deltadienst van Rijkswaterstaat.

1973-1977 can be attributed to P-mobilisation from the sediment for around 60%. Polder/waste water, rain etc. are responsible for the remaining 40%.

Month-budgets are useful in revealing seasonal trends. From May to August mobilisation of 130-180 tonnes P was found. Accumulation takes place during the rest of the year. Mobilisation shows significant correlation with water temperature.

VII. Literatuur

- Ahlgren, I., 1977. Role of sediments in the process of recovery of an eutrophicated lake. In H.L. Golterman, Interactions between sediments and fresh water. Junk, Den Haag: 372-377.
- Andersen, J.M. & O.S. Jacobsen, 1979. Production and decomposition of organic matter in eutrophic Frederiksborg Slotssø, Denmark. Arch. Hydrobiol. 85: 511-542.
- Bannink, B.A., 1979. Het Deltagebied. H₂O 12: 52-56.
- Bengtsson, L., S. Fleischer, G. Lindmark & W. Ripl, 1975. Lake Trummen restoration project. I: Water and sediment chemistry. Verh. Int. Verein. Limnol. 19: 1080-1087.
- Claassen, T.H.L., 1979. Globale fosfaatbalans van Frieslands boezem. H₂O 12: 6-10.
- Dek, W.J. & J.C. Speksnijder, 1976. De kwaliteit van het polderwater rondom het Grevelingenmeer, gedurende de periode 1972-1974. RWS Nota 76-43: 1-29.
- Dolfing, J., 1977. Spreiding en samenhang in de poldermetingen van het Deltagebied. RWS Studentenverslag: 1-31.
- Hoeve, J. ter, 1978. Nadere gegevens over de relatie tussen neerslag en neerslagoverschot in bosgebieden. H₂O 11: 364-368.
- Klomp, R. & J.C. Speksnijder, 1973. De waterkwaliteit van het Grevelingenmeer in 1972. RWS Nota 73-22: 1-56.
- Klomp, R. & J.C. Speksnijder, 1974. De waterkwaliteit van het Grevelingenmeer in 1973. RWS Nota 74-12: 1-57.
- Mortimer, C.H., 1941, 1942. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. I (1941): J. Ecol. 29: 280-329. II (1942): J. Ecol. 30: 147-201.

- Nienhuis, P.H., 1978. De Grevelingen, een afgesloten zeearm. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek. Rapporten en Verslagen 1978-3: 1-85.
- Penman, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London, A 193: 120-145.
- Rijkswaterstaat, 1977. Nota 77-27.
- Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor de Volksgezondheid & Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1972 t/m 1978. Kwaliteitsonderzoek in de Rijkswateren, kwartaalrapporten.
- Schmidt-van Dorp, A.D., 1978. De eutrofiëring van ondiepe meren in Rijnland. Technische dienst van het Hoogheemraadschap van Rijnland, Leiden: 1-253.
- Vegter, F., 1977. The closure of the Grevelingen estuary. Its influence on phytoplankton production and nutrient content. Hydrobiologia 52: 67-71.
- Vegter, F. & A.G. Vlasblom, 1978. Statistische berekeningen betreffende het NH_3 , NO_2 , NO_3 , en PO_4 gehalte in de Grevelingen in de jaren 1969, 1970 en 1971 in verband met de tijd van het jaar, de plaats van monsterring, de diepte en de afsluiting in mei 1971. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek. Rapporten en Verslagen 1978-1: 1-52.
- Wolff, W.J., F. Vegter, H. Mulder & T. Meijs, 1975. The production of benthic animals in relation to the phytoplankton production. Observations in the saline lake Grevelingen, the Netherlands. 10th European Symp. on Marine Biology, Ostend, Belgium, Vol. 2: 653-672.
- Wijvekate, M.L., 1976, Verklarende Statistiek. Spectrum, Utrecht: 1-251.
- Zeeuw, J.W. de, 1975. Over de werkelijksbenadering van gemeten neerslagen. Landbouwkundig Tijdschrift 14: 815-832.

Legenda Tabellen

- Tabel I : Samenvatting van een aantal milieufactoren in het Grevelingenmeer.
- Tabel II : Overzicht der balans-parameters in de Grevelingen over het tijdvak: mei 1971 (afsluiting) - dec. 1977.
- Tabel III : Standaardafwijkingen P-balans
- Tabel IV : Conversie- en mobilisatie/accumulatiefactoren van fosfaat 1971-1977, met 95%-waarschijnlijkheidsgebied.
- Tabel V : P-belasting door de massabalans-componenten; gemiddeld over 1973-1977, met 95%-waarschijnlijkheidsgebied.
- Tabel VI : Schema aanvoer- en afvoercijfers van P, uitgedrukt in 10^3 kg per jaar (gemiddelde over 1973-1977).
- Tabel VII : Aanvoer- en afvoercijfers van P, uitgedrukt in 10^3 kg per jaar (gemiddelde over 1973-1977).
- Tabel VIII : Watertemperatuur in de Grevelingen 1974-1977.
- Tabel IX : P-mobilisatie en watertemperatuur mei-augustus.

Tabel 1. Samenvatting van een aantal milieufactoren in het Grevelingenmeer.

Oppervlakte	10800	ha
Inhoud	$575 \cdot 10^6$	m ³
Gemiddelde diepte	5,3	m
Maximum diepte	48	m
Lengte	23	km
Breedte	4-10	km
Zichtbaarheid Secchi schijf	1- 7	m
Zwevende stof	> 0-30	mg/l
Chloridegehalte	13-16	‰
N-NH ₄	0,0- 0,3	mg/l
N-NO ₃	0,0- 0,4	mg/l
P-PO ₄	0,1- 0,6	mg/l
Si	> 0- 1	mg/l

Bron: Nienhuis (1978)

Tabel II. Overzicht der balans-parameters in de Grevelingen over het tijdvak: mei 1971 (afsluiting) - dec. 1977.

A) Waterbalans.

$\times 10^6 \text{ m}^3$	(mei)	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Volume begin v/h jaar			534	551	579	586,7	582,4	589,0
Neerslag			63,9	69,4	95,6	77,5	56,1	80,2
Verdamping			66,2	77,0	78,2	74,0	82,0	71,4
Inlaat/schutten			43,3	32,9	25,6	19,3	39,4	12,4
Polder/afvalwater			9,3	23,4	34,2	19,7	12,7	24
Spuien			19,2	39,2	88,7	62,5	13,8	78,8
Kwel (+): afzijging (-)		-	19	+ 15	+ 10	+ 10	- 4	+ 27
Afspoeling			4,8	3,1	10,0	5,9	- 2,1	6

B) Massabalans ($\times 10^3 \text{ kg}$).

	$\text{PO}_4\text{-P t-P}$	$\text{PO}_4\text{-P t-P}$	$\text{PO}_4\text{-P t-P}$	$\text{PO}_4\text{-P t-P}$	$\text{PO}_4\text{-P t-P}$	$\text{PO}_4\text{-P t-P}$	$\text{PO}_4\text{-P t-P}$	$\text{PO}_4\text{-P t-P}$
Polder/afvalwater	14	18	12,5	16,0	21,7	28,1	22,3	31,8
Inlaat/schutwater	-	-	1,9	4,0	2,1	3,5	1,0	1,8
Neerslag	3,0	6,5	4,2	8,6	4,5	9,4	5,7	12,4
Spui	2	2	5,0	6	9,7	10,1	25,6	27,9
Conversie $\text{PO}_4\text{-P}$	-110		+ 32	- 22	- 22	- 41	- 28	- 21
Conversie P-totaal (*)	-85		+ 53	- 27	- 27	- 20	- 27	- 23
gemiddelde $\text{PO}_4\text{-P conc.}$			0,23	0,22	0,26	0,33	0,38	0,43
gemiddelde P-totaal conc.			0,25	0,24	0,30	0,36	0,42	0,49

(*) + = accumulatie in de bodem
 - = mobilisatie vanuit de bodem

Tabel III. Standaardafwijkingen P-balans

Jaar	S(C)		S(C')		S(E)		S(F)		S(G)		S(H)	
	o-P	t-P	o-P	t-P	o-P	t-P	o-P	t-P	o-P	t-P	o-P	t-P
1971*	2,8	3,9	11	17	3,5	4,5	0,2	0,3	1	1	11,9	18,0
1972	11	17	5,0	4,4	1,9	2,4	0,2	0,4	0,3	0,3	12,2	17,7
1973	5,0	4,4	8,9	6,0	3,3	4,2	0,2	0,5	0,5	0,5	10,7	8,6
1974	8,9	6,0	2,9	2,9	3,3	4,8	0,3	0,6	1,3	1,4	10,0	8,4
1975	2,9	2,9	4,2	4,6	2,8	3,9	0,2	0,5	1,0	1,0	5,9	6,8
1976	4,2	4,6	2,9	5,3	1,8	2,6	0,2	0,4	0,3	0,3	5,4	7,5
1977	2,9	5,3	2,9	3,0	5,0	7,0	0,3	0,6	1,5	1,7	6,6	9,5

* 12/5 - 31/12

Tabel IV. Conversie- en mobilisatie/accumulatiefactoren van fosfaat 1971-1977, met 95%-waarschijnlijkheidsgebied.

Jaar	conversiefactor ortho-fosfaat	mobilisatie(-)/accumulatie(+) totaal fosfaat
1971	-110 $\pm$ 25	-85 $\pm$ 38
1972	+ 32 $\pm$ 25	+53 $\pm$ 35
1973	- 22 $\pm$ 22	-27 $\pm$ 16
1974	+ 2 $\pm$ 20	+23 $\pm$ 16
1975	- 41 $\pm$ 12	-20 $\pm$ 13
1976	- 28 $\pm$ 11	-27 $\pm$ 15
1977	- 21 $\pm$ 13	-23 $\pm$ 19

Tabel V. P-belasting door de massabalans-componenten; gemiddeld over 1973-1977, met 95%-waarschijnlijkheidsgebied.

Bron P-belasting	Belasting	
	ortho-P	totaal-P
Polder/afvalwater	18,9 $\pm$ 3,0	26,1 $\pm$ 4,1
Inlaat/schutwater	2,0	2,9
Neerslag	4,8 $\pm$ 0,2	10,4 $\pm$ 0,5
Spui	18,1 $\pm$ 0,9	19,8 $\pm$ 0,9
Conversie; mobilisatie/ accumulatie	-22 $\pm$ 7,0	-14,8 $\pm$ 7,2

Tabel VI. Schema aanvoer- en afvoercijfers van P, uitgedrukt in 10^3 kg per jaar (gemiddelde over 1973-1977).

	Aanvoer		Afvoer	
	PO_4 -P	part.P + d.org.P	PO_4 -P	part.P + d.org. P
Sluis Bruinisse	2,0	0,9	18,1	1,7
Polder/afvalwater	18,9	7,2		
Neerslag	4,8	5,6		
Decompositie/vorming	d_1	d_2	d_2	d_1
Mobilisatie uit de bodem	m_1	m_2		
Sedimentatie				S
Jaarlijkse toename			29,6	4,8

Tabel VII. Aanvoer- en afvoercijfers van P, uitgedrukt in 10^3 kg per jaar (gemiddelde over 1973-1977)

	Aanvoer		Afvoer	
	PO_4 -P	part.P + d.org.P	PO_4 -P	part.P + d.org.P
Sluis Bruinisse	2,0	0,9	18,1	1,7
Polder/afvalwater	18,9	7,2		
Neerslag	4,8	5,6		
Decompositie/vorming	8,1			8,1
Mobilisatie uit de bodem	13,9	5,9		
Sedimentatie				5
Jaarlijkse toename	<u> </u> ⁺	<u> </u> ⁺	<u>29,6</u> ⁺	<u>4,8</u> ⁺
	47,7	19,6	47,7	19,6

Tabel VIII. Watertemperatuur in de Grevelingen 1974-1977.

temp. in:	1974	1975	1976	1977	gemiddeld over '74-'77
januari	3,5	6,0	3,7	ca. 1,2	3,6
februari	5,0	4,3	4,7	" 4,5	4,6
maart	5,5	5,9	5,7	" 7,2	6,1
april	9,8	7,8	8,7	" 10	9,1
mei	12,3	12,9	12,6	" 13	12,7
juni	16,2	16,4	17,8	" 17	16,9
juli	17,0	19	20,6	" 20,5	19,3
augustus	18,3	21,0	18,5	" 19	19,2
september	14,9	17,7	16,4	" 16	16,3
oktober	9,7	12,2	11,9	" 13,5	11,8
november	7,0	6,9	8,1	" 7	7,3
december	8,0	5,3	4,5	" 4	5,5

Bron: Rijkswaterstaat (1972 t/m 1978)

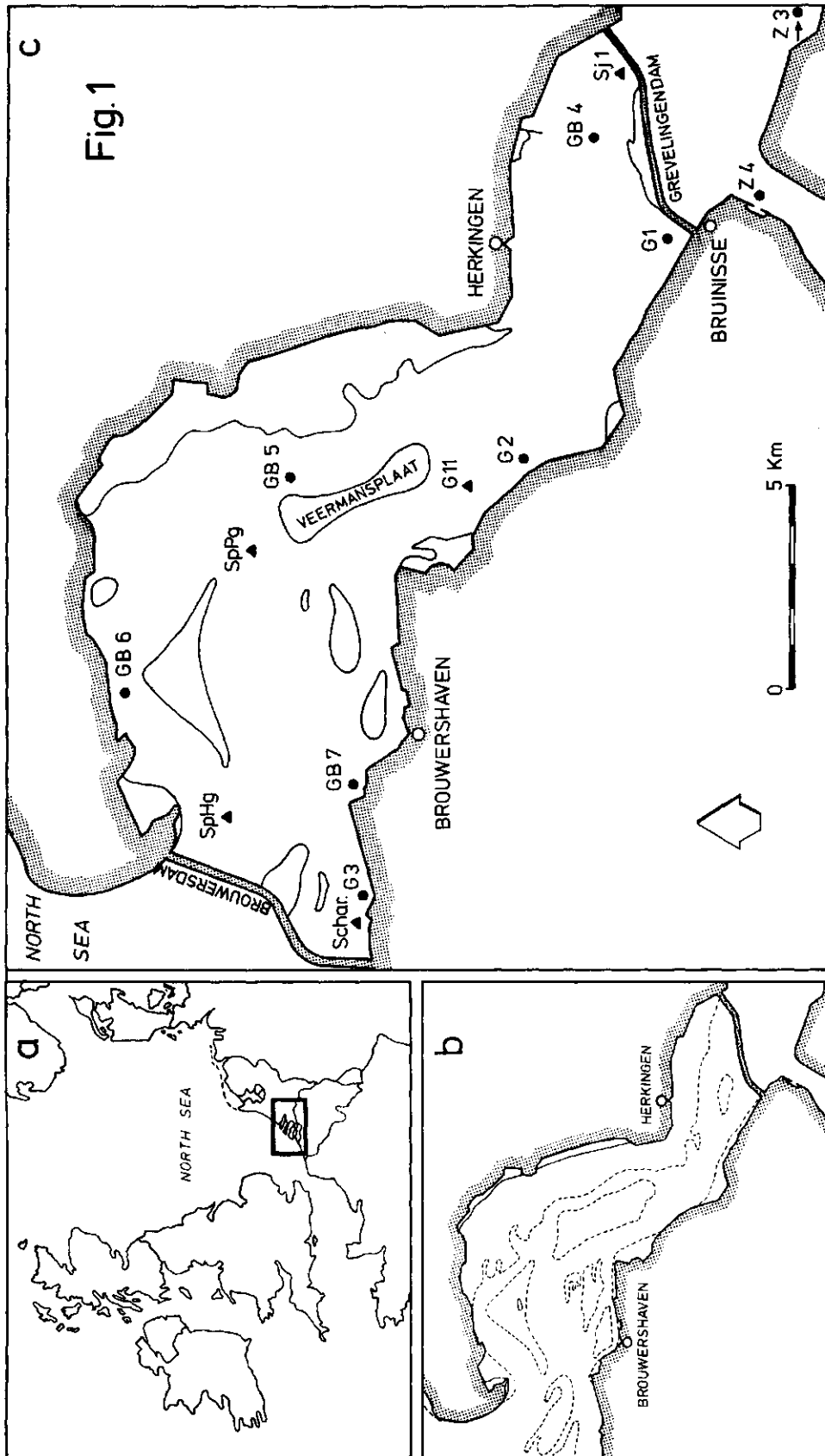
Tabel IX. P-mobilisatie en watertemperatuur mei-augustus

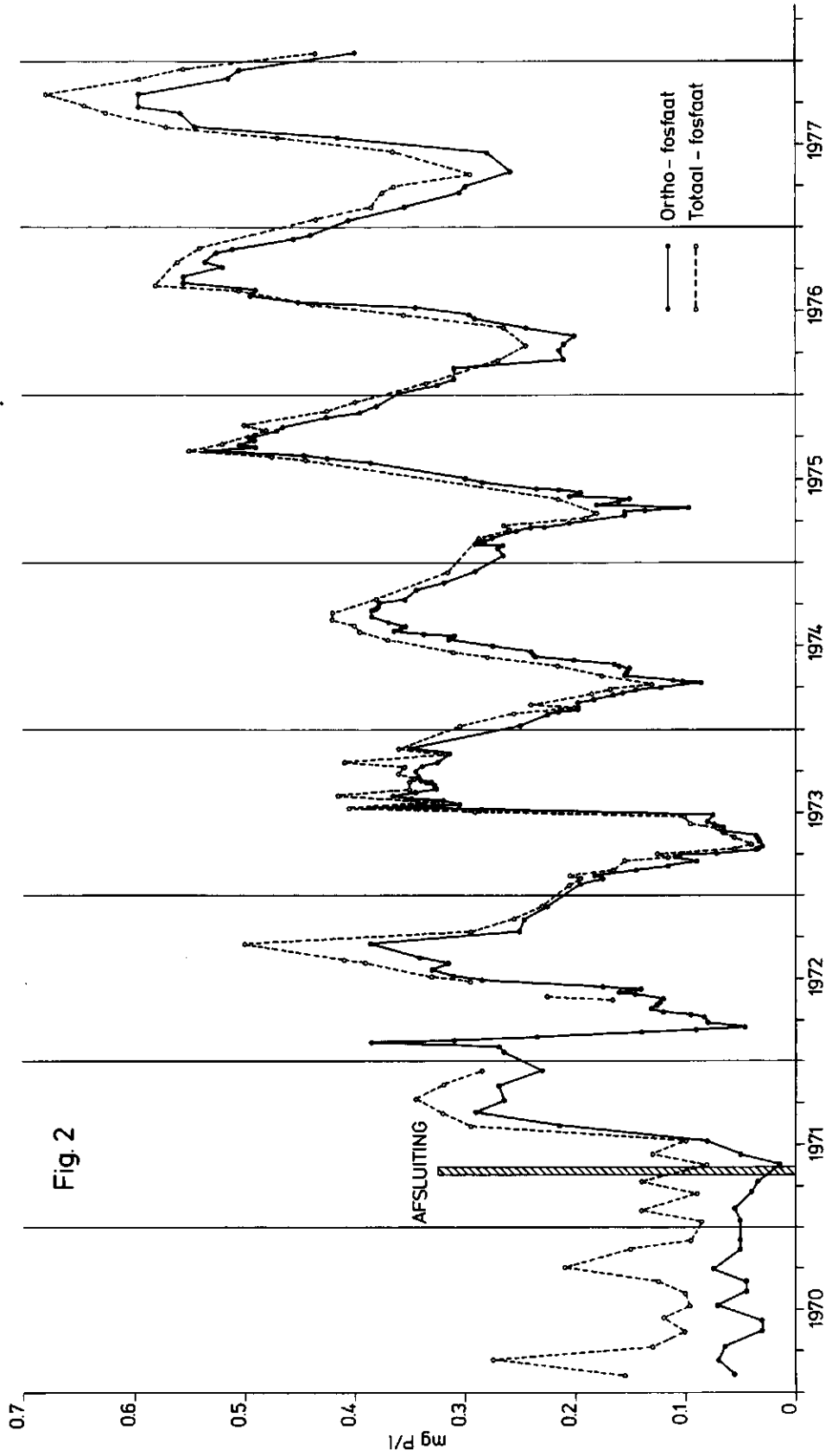
Periode	Mobilisatie P(ton)	gemiddelde watertemp.
mei-augustus 1974	135	16,0°C
" 1975	180	17,3°C
" 1976	180	17,4°C
" 1977	177	17,3°C

Legenda Figuren

- Fig. 1a: De positie van Z.W.-Nederland aan de Noordzee; 1b. De Grevelingen tussen 1964 en 1971 in open verbinding met de Noordzee; 1c. Het Grevelingenmeer na de afsluiting in 1971. Ingetekend zijn de meetpunten van Rijkswaterstaat (●), en van Vegter (▲) (zie bijlage).
- Fig. 2 : P-verloop in het Grevelingenmeer 1970-1977. Zie bijlage. De gearceerde balk geeft de periode aan waarin de Grevelingen werd afgedamd.
- Fig. 3 : Nitraat- en ammoniumconcentraties op G2. De gearceerde balk geeft de periode aan waarin de Grevelingen werd afgedamd.
- Fig. 4 : Chloridegehalten en zichtdieptes (gemeten met de Secchi schijf) op G2. De gearceerde balk geeft de periode aan waarin de Grevelingen werd afgedamd.
- Fig. 5 : Lozingen van polder/afvalwater op de Grevelingen. Ortho-P belasting op de Grevelingen in 1973. ($\times 10^3$ kg). (Bron: Klomp & Speksnijder, 1974).
- Fig. 6 : Totaal-P maand-accumulatie/mobilisatie van mei 1971-december 1972. (Gegevens ontleend aan: Vegter & Vlasblom, 1978).
- Fig. 7 : Totaal-P maand-accumulatie/mobilisatie over 1972. (Bron: Klomp & Speksnijder, 1973).
- Fig. 8 : Totaal-P maand-accumulatie/mobilisatie over 1973. (Bron: Klomp & Speksnijder, 1974).
- Fig. 9 : Totaal-P maand-accumulatie/mobilisatie over 1974. Maximale fout ± 20 ton P/maand.
- Fig. 10 : Totaal-P maand-accumulatie/mobilisatie over 1975. Maximale fout ± 20 ton P/maand.
- Fig. 11 : Totaal-P maand-accumulatie/mobilisatie over 1976. Maximale fout ± 20 ton P/maand.
- Fig. 12 : Totaal-P maand-accumulatie/mobilisatie over 1977. Maximale fout ± 20 ton P/maand.

Fig. 13a : Watertemperatuur en maand-mobilisatie/accumulatie van totaal-P; gemiddelde over 1974-1977. Maximale fout accumulatie/mobilisatie ± 10 ton P/maand. 13b: Maand-mobilisatie/accumulatie van totaal-P als functie van watertemperatuur; gemiddelde over 1974-1977.





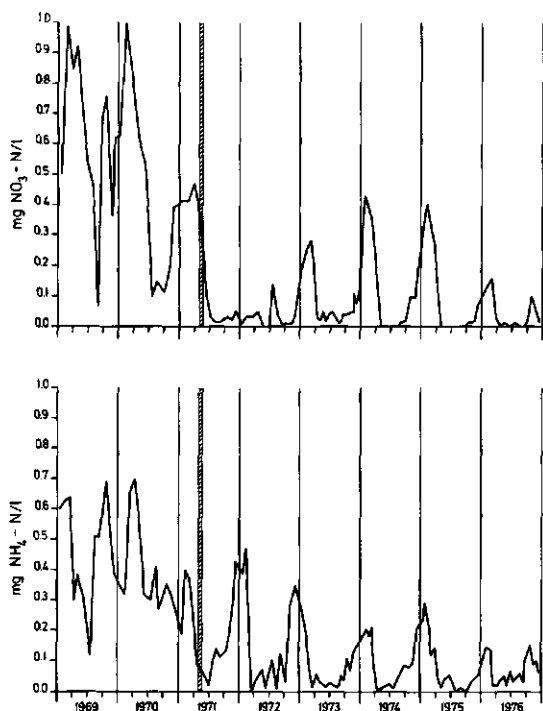


Fig. 3

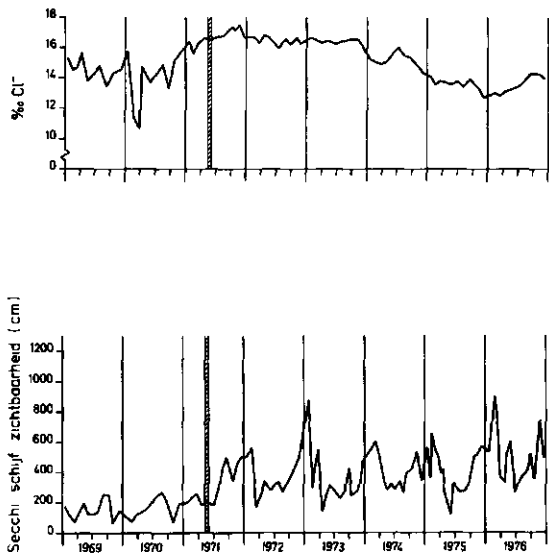
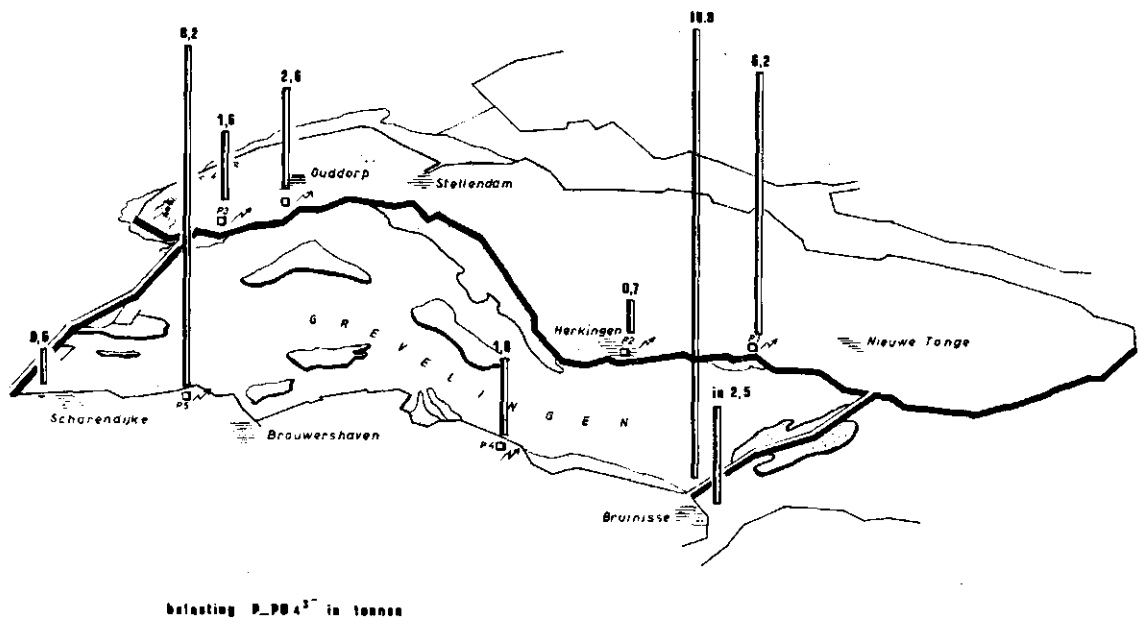
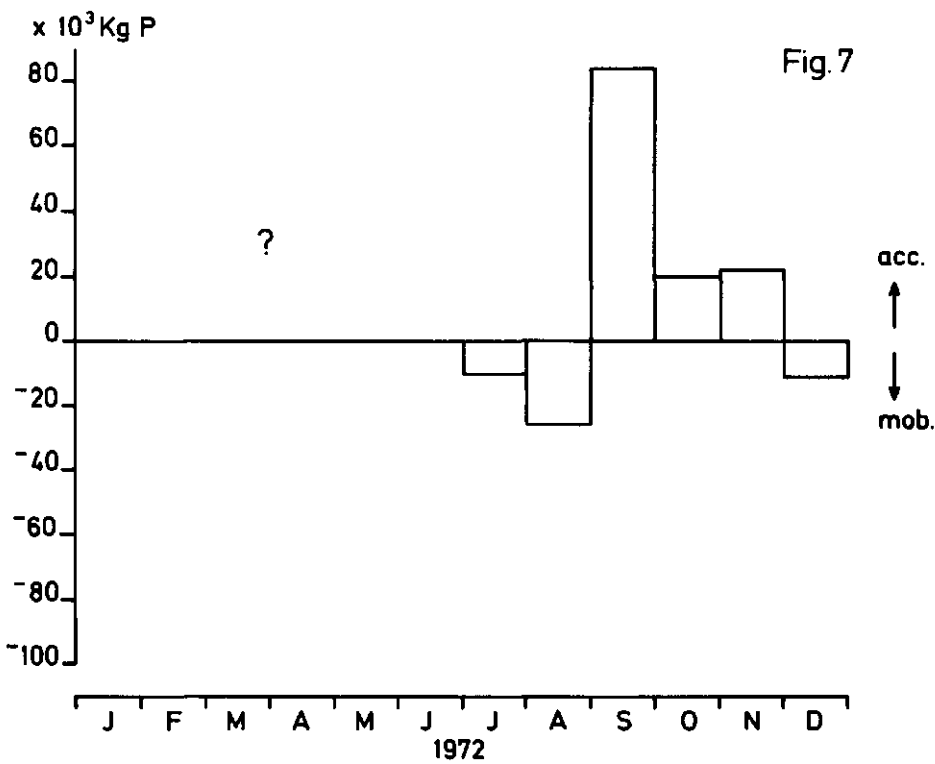
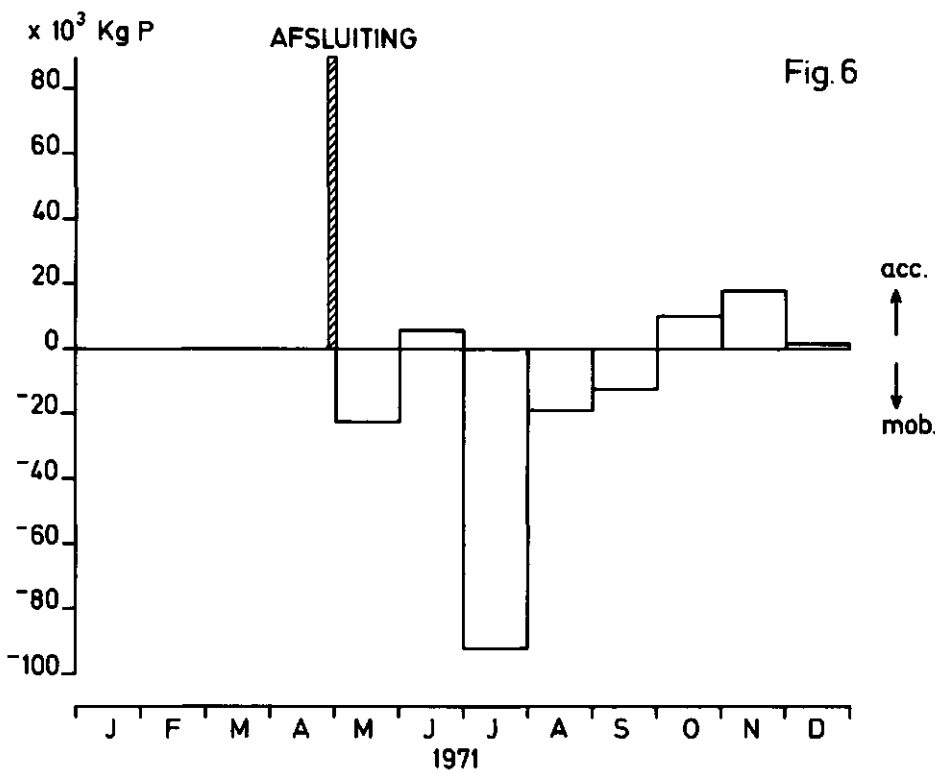


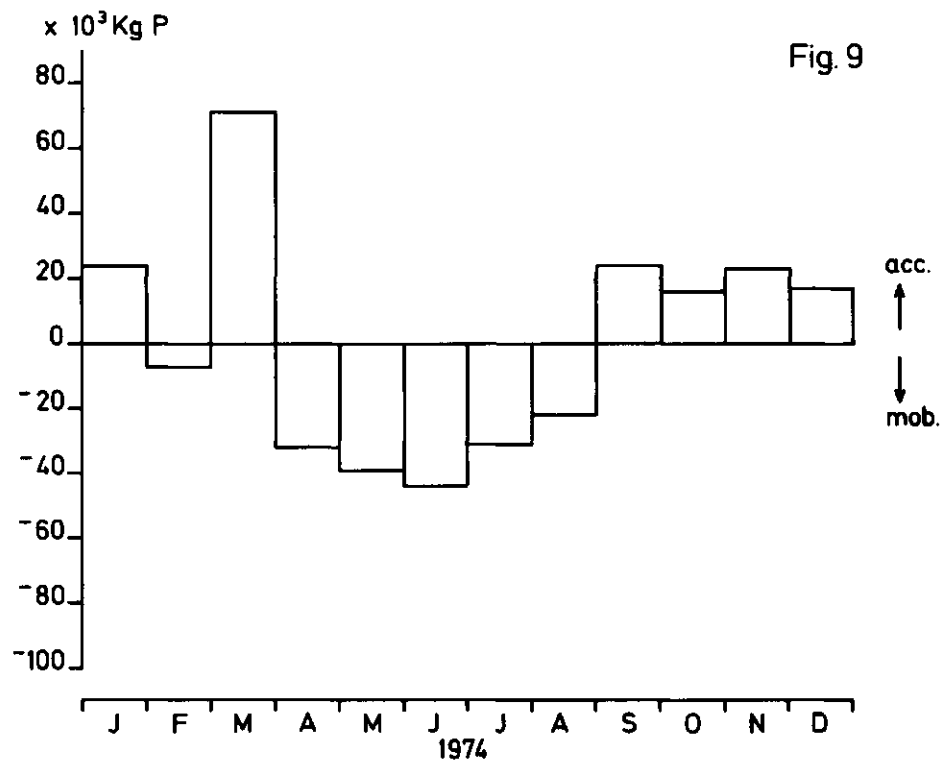
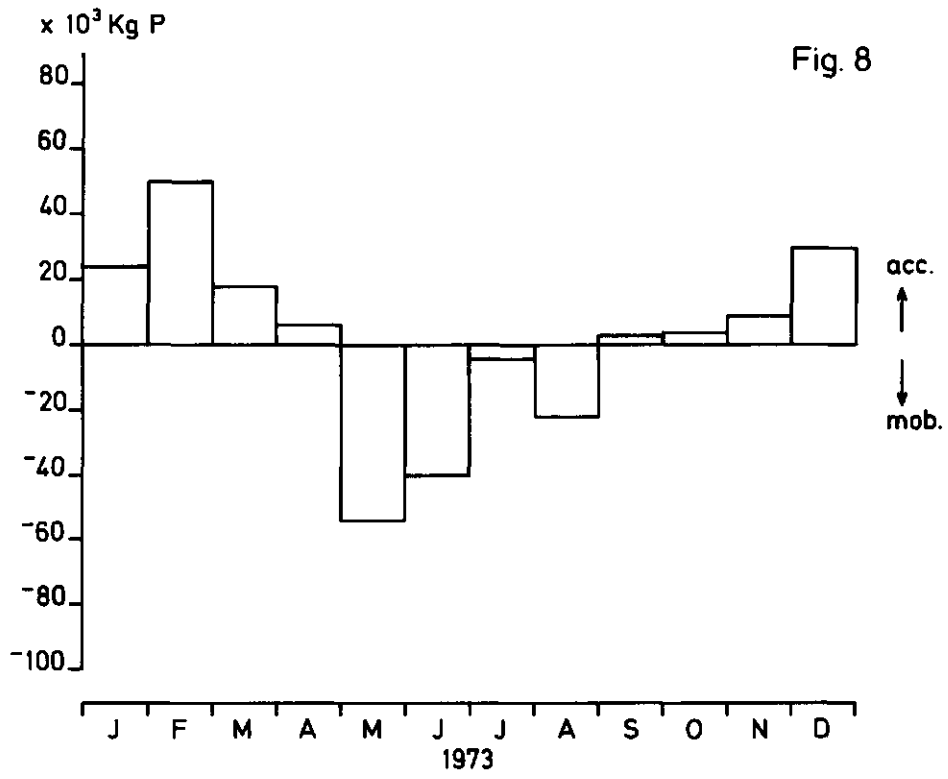
Fig. 4

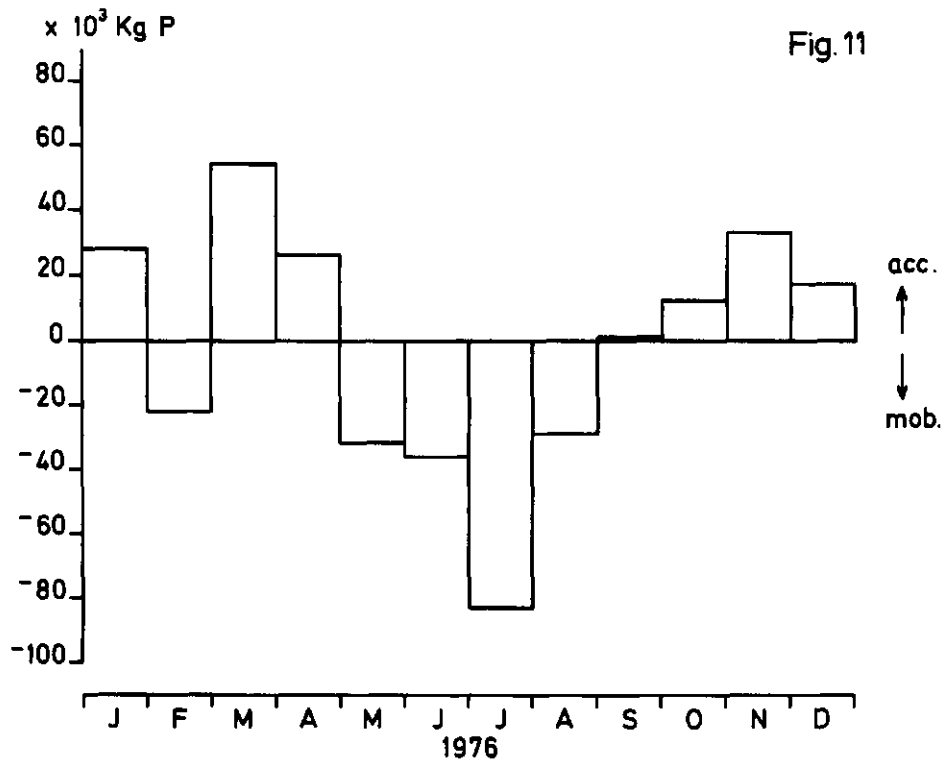
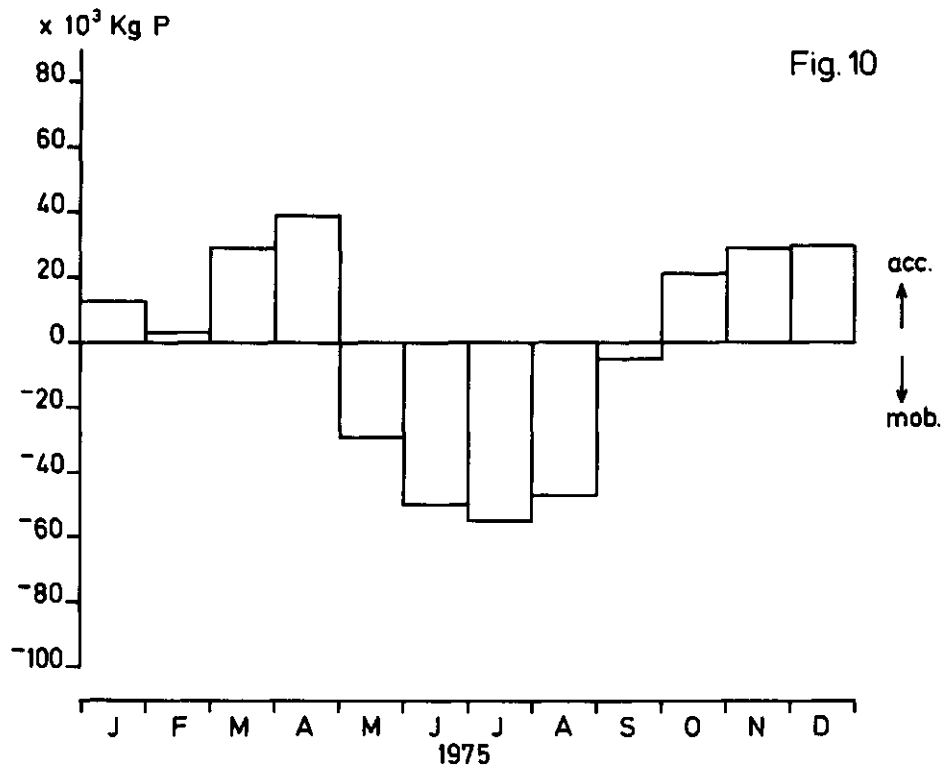
Fig. 5

1973









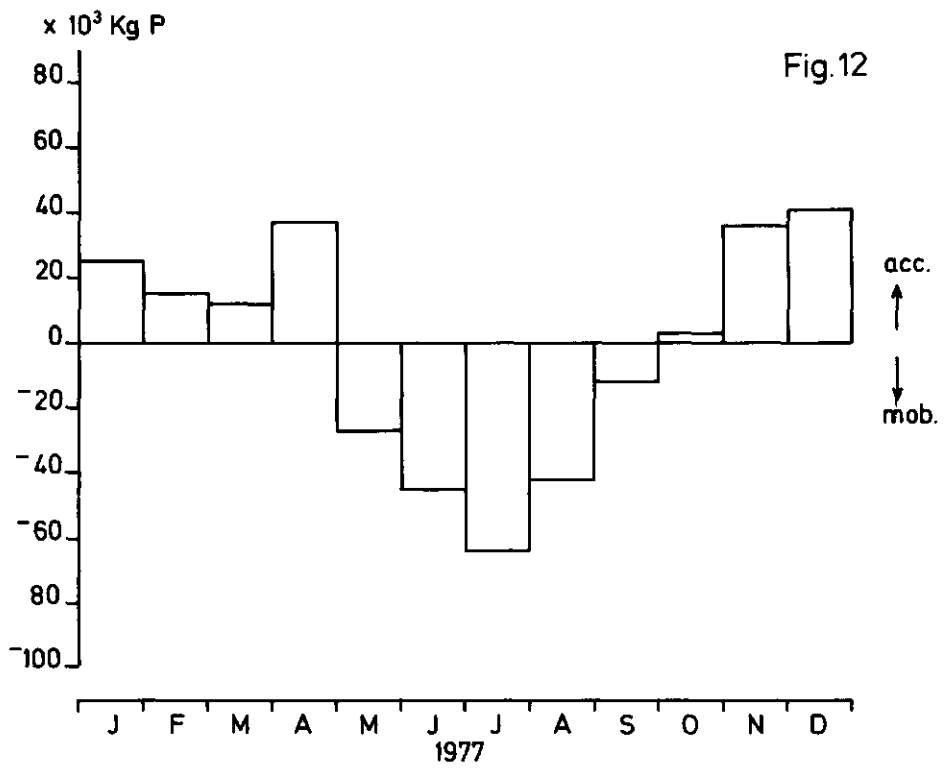


Fig.13A

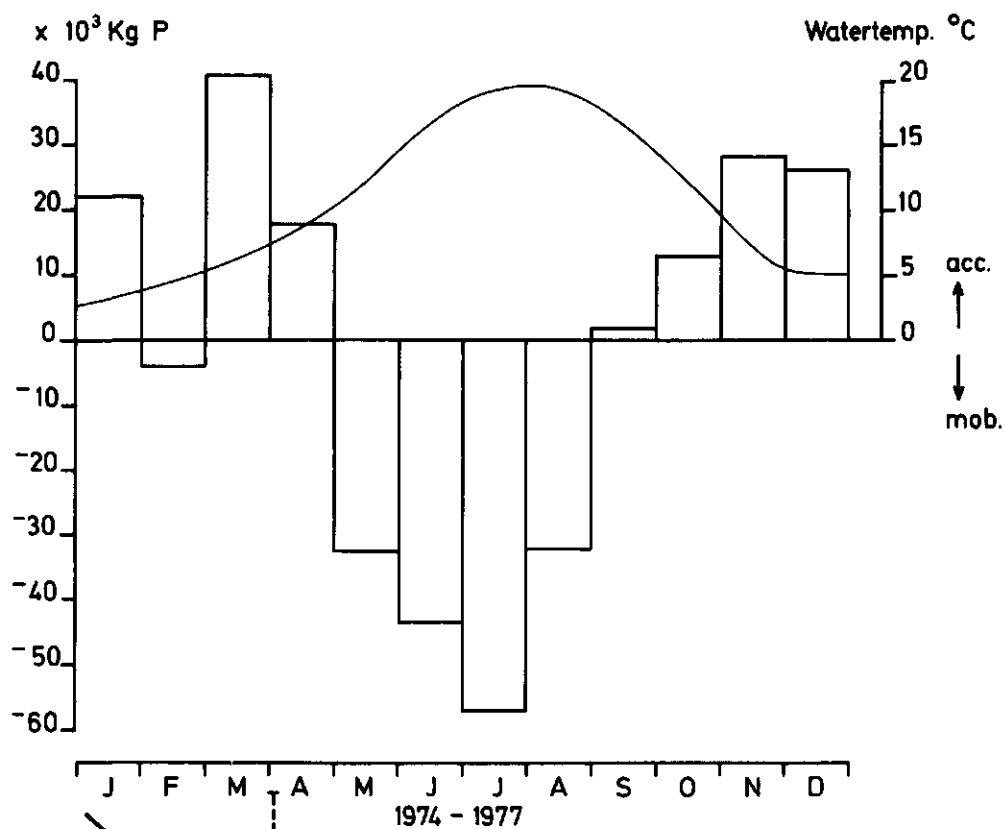
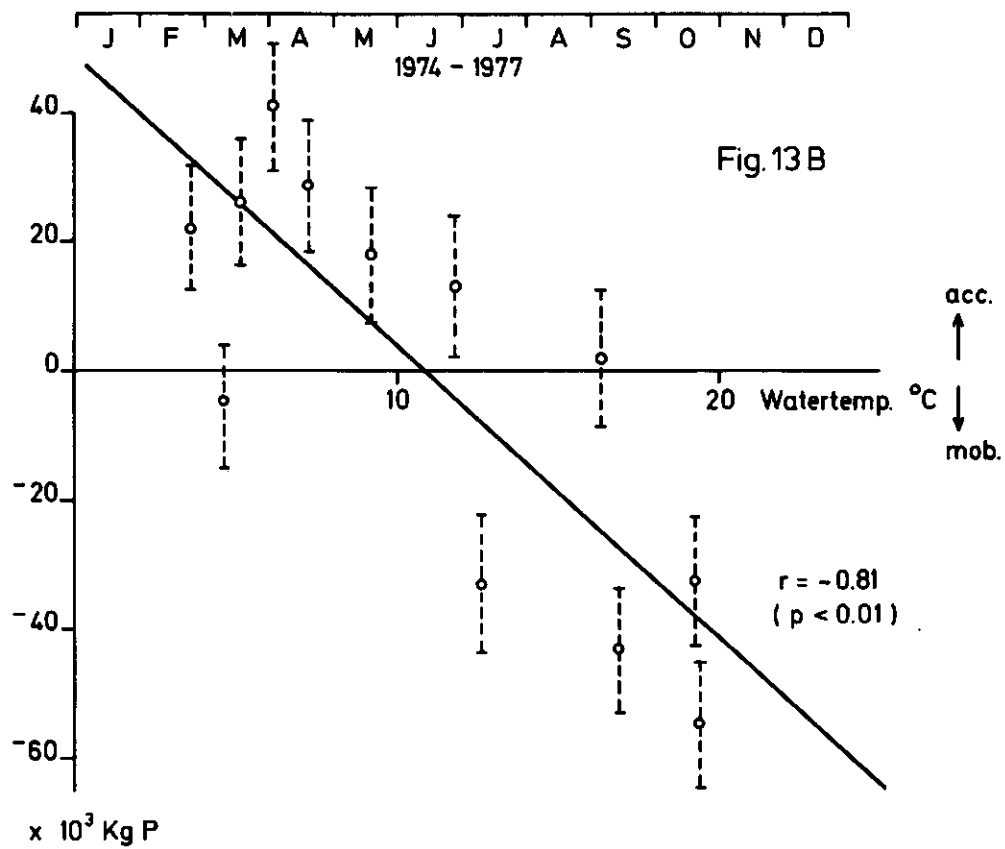


Fig.13 B



Bijlage

Voor de gegevens van Fig. 2 werd gebruik gemaakt van de volgende bronnen:

1970, 1971 : Vegter & Vlasblom, 1978

1972-1977 : RWS/RIV/RID - Kwartaalrapporten; + Vegter (niet gepubliceerde meet-resultaten, in totaal: 3 data).

In het algemeen werd een P-gehalte gevonden, door het gemiddelde gehalte te nemen over de bemonsterde meetpunten.

- Vegter: 5 meetpunten (Sj1: 12 m; G11: 21 m; SpPg: 10 m; SpHg: 11 m en Schar: 44 m.

- RWS/RIV/RID: 7 meetpunten (G1: 8 m; G2: 24 m; G3: 48 m; GB4: 12 m; GB5: 13 m; GB6: 29 m en, vanaf 1973, GB7: 40 m).

Alle meetpunten werden aan het wateroppervlak bemonsterd.

Bij bovengenoemde procedure werd een 95%-waarschijnlijkheidsgebied in acht genomen, dit om uitbijters weg te zuiveren.