

Fosfaatbalans voor het Wolderwijd en het Nulder nauw

Voordracht uit de 13de vakantiecursus in behandeling van afvalwater: 'De belasting van het milieu door fosfaten en verspreide lozingen', die op 30 en 31 maart 1978 werd gehouden aan de TH Delft.

1. Inleiding

Het Wolderwijd en het Nulder nauw maken deel uit van de randmeren, gelegen tussen Oostelijk en Zuidelijk Flevoland en het oude land. Deze randmeren vervullen een groot aantal functies waarvan de ecologische en de recreatieve functie als de belangrijkste functies in relatie met de waterkwaliteit zijn te beschouwen. In alle randmeren heeft zich ten gevolge van de hoge belasting met plantenvoedingsstoffen (met name fosfor (P) en stikstof (N) verbindingen) een intensieve blauwalgen-



IR. E. J. B. UUNK
Rijksdienst voor de
IJsselmeerpolders

groei ontwikkeld, waardoor diverse andere soorten van plantaardig en dierlijk leven zijn verdreven. Vooral 's zomers is het water erg troebel en groen van kleur ten gevolge van de hoge algendichtheden. De Werkgroep Sanering Randmeren heeft een uitgebreide studie verricht naar de wijze waarop de waterkwaliteit van de randmeren kan worden verbeterd. Zij komt in haar rapport, dat medio 1980 aan de Minister van Verkeer en Waterstaat zal worden aangeboden, tot de conclusie dat verbetering kan worden bereikt door de eutrofiëring van de meren terug te dringen. Het terugdringen van de eutrofiëring kan, aldus deze werkgroep, technisch het beste worden gerealiseerd door de belasting met fosfaat drastisch te beperken, van de huidige belasting tot belastingen in de grootte-orde van 0,5 - 2 gram P/m² jaar. Naar verwachting zullen ten gevolge van een dergelijke aanpak de thans in de randmeren overheersende blauwalgen plaats moeten maken voor groenalgen, waardoor de waterkwaliteit in het algemeen en de helderheid van het water in het bijzonder in gunstige zin zullen veranderen. De fosfaatbelasting van het Wolderwijd en het Nulder nauw werd door de Werkgroep Sanering Randmeren geschat op 0,5 - 1,7 gram P/m² jaar, waarmee deze reeds globaal overeenkomt met de door de werkgroep opgestelde grenswaarden; de waterkwaliteit is in dit meerpand ook, zij het helaas slechts weinig, beter dan in de aangrenzende meren. Op grond van deze constatering en op grond van de verwachting, dat na het nemen van saneringsmaatregelen een verdere waterkwaliteitsverbetering het eerste in dit randmeer zal plaatsvinden, werd besloten om in het Wolderwijd/Nulder nauw een intensief

eutrofiëringsonderzoek op te zetten om het saneringsbeleid voor de randmeren te kunnen onderbouwen.

Doel van het onderzoek is: het verkrijgen van inzicht in de nutriënten- (= plantenvoedingsstoffen) huishouding van het meer en in de relatie tussen nutriëntenhuishouding en algengroei.

Het onderzoek ging in het voorjaar van 1976 van start als een gezamenlijk project van de drie Rijkswaterstaatsdiensten RIZA, directie Zuiderzeewerken en directie Waterhuishouding en Waterbeweging, in samenwerking met de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. In deze publikatie wordt eerst getracht een indruk te geven van de opzet en de wijze van uitvoering van dit onderzoek; daarop aansluitend wordt nader ingegaan op (resultaten van) opgestelde water- en fosfaatbalansen. Voor een meer volledige beschrijving van het onderzoek en haar resultaten zij verwezen naar het eerste interim-rapport van de projectgroep [1].

2. Opzet van het onderzoek

Het onderzoek tracht aan de in de inleiding genoemde doelstellingen te voldoen door middel van het opstellen van water- en stoffenbalansen en het bestuderen van de nutriënten- en algensituatie in het meer zelf.

Waarom worden nu juist water- en stoffenbalansen gebruikt en op welke wijze kunnen deze balansen ons iets leren over de nutriëntenhuishouding?

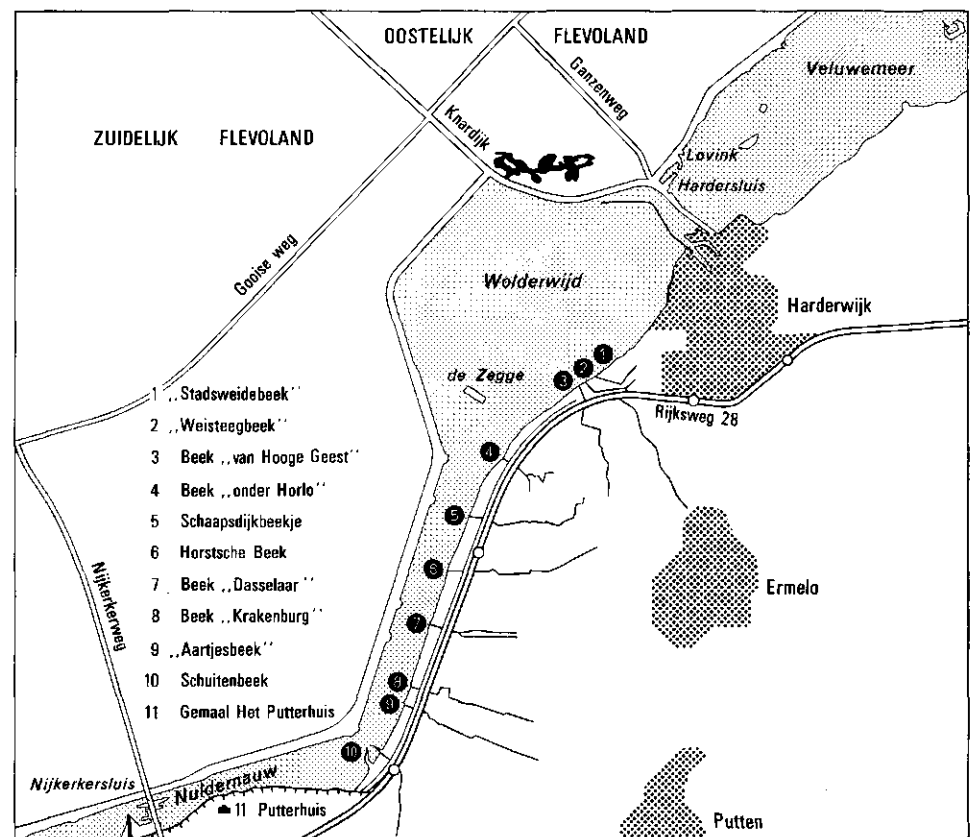
Welnu, het gehalte aan een bepaald nutriënt in het meerwater wordt enerzijds bepaald door de externe belasting van het meer met dat nutriënt en anderzijds door de vele processen, die in het meer zelf plaatsvinden.

Kwantificering van het resultaat van afzonderlijke processen, dat veelal van tal van milieufactoren afhankelijk is, zou zeer veel onderzoek vergen.

Water- en stoffenbalansen over niet te grote tijdsintervallen maken het mogelijk om, naast de grootte van de externe nutriëntenbelasting, ook het gezamenlijke effect van verschillende groepen processen vast te stellen en daaruit vervolgens conclusies te trekken ten aanzien van het relatieve belang van afzonderlijke processen.

Het meer wordt daarbij onderverdeeld in de waterfase en de, voor de nutriëntenhuishouding veelal belangrijke, bovenste laag van de meerbodem, het sediment. Evaluatie van de uit de balansstudies verkregen kennis over nutriëntenbelastingen en over processen, te zamen met de vergaarde informatie over de waterkwaliteit in hydrobiologisch opzicht, kan inzicht verschaffen in de relatie tussen de nutriëntenhuishouding en de algengroei en,

Afb. 1 - Situatieschets Wolderwijd en Nulder nauw.



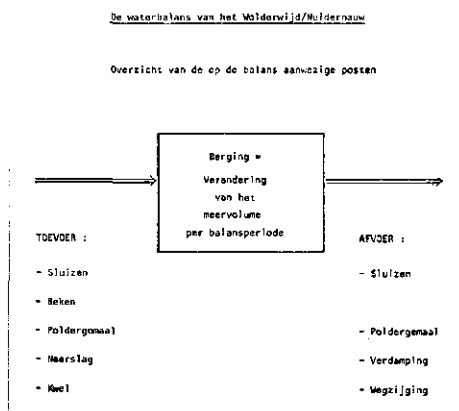
daarmee, in de mogelijke effecten van voorgenomen saneringsmaatregelen.

3. Uitvoering van het onderzoek

Het beschouwde randmeer (zie afb. 1) bestaat uit een wijde kom, het Wolderwijd, en, ten zuidwesten daarvan, een smal, lang, gedeelte, het Nulderneau. Het totale meeroppervlak bedraagt iets minder dan 27 km². Het meer heeft, met name vanwege haar waterhuishoudkundige en recreatieve functie, een relatief laag winterpeil (40 cm — NAP) en hoog zomerpeil (10 cm — NAP). Bij een peil van 20 cm — NAP bedraagt de gemiddelde waterdiepte 1.50 meter, hetgeen bij de genoemde oppervlakte een meerinhoud van 40 miljoen m³ oplevert.

De Hardersluis en de Nijkerkersluis maken de verbinding van het meer met respectievelijk het Veluwemeer en het Nijkerkerneau/Eemmeer mogelijk. Het meer ontvangt, behalve via deze sluisen, oppervlaktewater vanaf het oude land via een tiental beken en door middel van een gemaal 'Het Puttehuis', dat overtollig water van de Arnhemse polder uitslaat. Daarnaast dragen neerslag en grondwaterstroming (kwel) bij tot de watertoevoer. Water wordt afgevoerd via de sluisen, via verdamping en grondwatertransport (wegzijing) en 's zomers via het gemaal, wanneer de Arnhemse polder een watertekort heeft. Met de zojuist beschreven grootheden is tevens de waterbalans van het meer gekarakteriseerd (afb. 2). Aan de hand van de op deze balans vermelde posten zal in het onderstaande in het kort worden aangegeven op welke wijze in het kader van dit onderzoek de diverse benodigde kwantiteits- en kwaliteitsgegevens worden verzameld. De balansen zelf worden per maand opgesteld. Deze periode vormt een compromis tussen gewenste nauwkeurigheid en beschikbare onderzoekscapaciteit.

a. De berging. Aangezien het meer vrijwel overal door steile oevers wordt omgeven, is het meeroppervlak nagenoeg onafhankelijk van de waterstand en daardoor de meerinhoud een directe functie van het meerpeil. Het meerpeil wordt op de laatste dag van elke maand bepaald als het rekenkundig gemiddelde van de peilen ter hoogte van de Nijkerker- en Hardersluis. De kwaliteitsgegevens van het meerwater worden voornamelijk ontleend aan de resultaten van het door het RIZA uitgevoerde routinematig waterkwaliteitsonderzoek in de randmeren. In het kader van dit onderzoek worden drie plekken in het Wolderwijd/Nulderneau 1 x per 14 dagen bemonsterd.



Afb. 2 - De waterbalans van het Wolderwijd/Nulderneau. Overzicht van op de balans aanwezige posten.

b. De sluisen. Het watertransport door de schutsluis te Nijkerk en door de Hardersluis wordt bepaald aan de hand van het aantal kolkvullingen en de peilen aan weerszijden van de sluis. Voor de kwaliteit van het getransporteerde water wordt uitgegaan van de waterkwaliteit op de meest nabij gelegen daarvoor in aanmerking komende monsterplek van het RIZA. De door de spuisluis te Nijkerk gespuide, danwel ingelaten hoeveelheden water worden opgenomen door een zelfregistrerende debietmeter. Sedert eind 1976 wordt op de tijden dat de spuisluis wordt gebruikt tevens automatisch een monster van het getransporteerde water genomen.

c. De beken. Aanvankelijk werd, in verband met de mogelijk snel wisselende kwaliteit en kwantiteit van de beekafvoeren en het verwachte grote aandeel van de beken in de nutriëntenbelasting van het meer, in alle in het randmeer uitstromende beken wekelijks op sterk variërende tijdstippen een monster genomen en de afvoer vastgesteld. Momenteel wordt in enkele kleinere beken met een lagere frequentie gemeten, in sommige grote beken zou daarentegen feitelijk met een hogere frequentie moeten worden gemeten, hetgeen voornamelijk om praktische redenen niet mogelijk is. De afvoermetingen worden, zoveel mogelijk in betonnen duikers, uitgevoerd met behulp van Ott-flügel apparatuur; incidenteel wordt gebruik gemaakt van drijvermetingen.

d. Het (vijzel)gemaal 'Het Putterhuis'. De hoeveelheid uitgeslagen water wordt berekend aan de hand van het aantal draaiuren en het toerental van de vijzel. De kwaliteit van dit water wordt afgeleid uit de analyseresultaten van het eveneens wekelijks bemonsterde polderwater. De hoeveelheden water die 's zomers worden ingelaten, worden berekend uit gegevens betreffende de afmetingen van de

inlaatbuis, het peilverschil tussen randmeerwater en polderwater en de tijdsduur, gedurende welke is ingelaten.

Ten aanzien van de kwaliteit van het ingelaten water wordt uitgegaan van de waterkwaliteit op de meest nabij gelegen RIZA-monsterplek in het Nulderneau.

e. Neerslag en verdamping. Ter bepaling van de hoeveelheden neerslag wordt gebruik gemaakt van de gegevens van nabij de Harder en Nijkerkersluis en in de omgeving van Putten aanwezige KNMI-neerslagstations en van de meetresultaten van een zelfregistrerende regenmeter van de RIJP. Voor de bepaling van de invloedssfeer van deze meetstations op het Wolderwijd en het Nulderneau wordt gebruik gemaakt van het Thiessennet, behorend bij de gegeven situatie. De in de balansen ingevoerde gegevens betreffende de kwaliteit van regenwater zijn ontleend aan meerjarige metingen van de RIJP. De verdamping, die in de waterbalans wordt ingevoerd, is het gemiddelde van de volgens de methode Penman berekende verdamping van Lelystad en De Bilt. Aangenomen wordt dat in verdampend water geen chloride, stikstof of fosfor aanwezig is.

f. Kwel en wegzijing. Deze grondwatertransporten vormen veelal de sluitposten op de waterbalans. Dit houdt in dat slechts de netto kwel, het verschil tussen kwel en wegzijing, kan worden gekwantificeerd. Afzonderlijke kwantificering van de kwel en van de wegzijing kan vervolgens in principe op twee manieren plaatsvinden:

- 1e. met behulp van de chloridebalans. Water- en chloridebalans leveren dan twee vergelijkingen waaruit de twee onbekenden, kwel en wegzijing, kunnen worden opgelost;
- 2e. met behulp van geohydrologische gegevens. Via deze methode kunnen kwel en wegzijing afzonderlijk rechtstreeks worden bepaald.

In het eerste interim-rapport van de projectgroep wordt uitgebreid op deze twee methoden ingegaan. Hier wordt volstaan met de constatering dat beide methoden tot nog toe geen bevredigende resultaten hebben opgeleverd. Ten aanzien van de eerste methode wordt dit voornamelijk veroorzaakt door het feit dat in de beschouwde onderzoeksperiode niet geregistreerde water- (en chloride!) transporten door de sluisen hebben plaatsgevonden (oa. door lekkage).

De voor de tweede methode vereiste bodemkundige en grondwaterstandsgegevens waren helaas slechts in beperkte mate aanwezig, zodat de nauwkeurigheid van de

berekende kwel en wegwijzing niet al te groot was. Er wordt momenteel gewerkt aan een verfijning van deze berekeningswijze. Zolang de resultaten van deze studies nog niet beschikbaar zijn wordt uitgegaan van de oorspronkelijke waterbalansen met de netto kwel als sluitpost.

Kwel en wegzijging worden uit de netto kwel berekend met behulp van de aanname dat kweldebiet en wegzijgingsdebiet zich verhouden als 4 : 1. Deze aanname is gebaseerd op vroeger geohydrologisch onderzoek in dit gebied.

Voor de waterkwaliteit van de kwel en de wegzijging is uitgegaan van de resultaten van in 1976 door directie Zuiderzeewerken bemonsterde en door de RIJP geanalyseerde monsters van het ondiepe grondwater rond het Wolderwijd/Nuldernaauw.

4. De waterbalans

Waterbalansen zijn erg belangrijk voor het hier besproken soort onderzoek: ze leveren als het ware de kapstok waaraan allerlei stofbalansen kunnen worden opgehangen. In het voorgaande is reeds aangegeven welke posten op de waterbalans van het Wolderwijd/Nuldernaauw voorkomen en op welke wijze de balansposten worden gekwantificeerd. Tabel I toont de aldus opgestelde waterbalans over de periode mei 1976 tot en met februari 1977.

TABEL I - De waterbalans van het Wolderwijd/Nuldernaauw over de periode mei 1976 tot en met februari 1977.

IN		UIT	
Sluizen *	9	Sluizen	11,5
Beken	4,5	Verdamping	17,5
Kwel	12	Wegzijging	7
Neerslag	11,5	Berging	1
	37		37

(Alle debieten in 10⁶ m³)

* Incl. het poldergemaal Het Putterhuis.

Opvallend is de hoge verblijftijd van het water, die uit deze cijfers volgt. Zelfs wanneer een extra doorspoeling van circa 10 miljoen m³ water ten gevolge van de niet geregistreerde transporten door de sluizen in rekening wordt gebracht, bedraagt de gemiddelde verblijftijd (bij het meervolume van circa 40 miljoen m³) nog 8 à 9 maanden. Dit betekent dat eenmaal ingebrachte verontreinigingen pas na zeer lange tijd weer uit het meerwater verdwijnen, voor zover ze niet worden afgebroken of bezinken.

Het geregistreerde transport door de sluizen blijkt aanzienlijk groter te zijn dan de gezamenlijke beekafvoer.

Ongeveer 50 % van de watertoevoer via de sluizen betreft het inlaten van water uit het

Nijkerkernauw in mei 1976. Deze inlaat vond plaats ten behoeve van het opzetten van het meerpeil van winterpeil naar zomerpeil. Daarnaast speelt de op deze balanspost geboekte, in de wintermaanden plaatsvindende, uitslag van polderwater via het gemaal Het Putterhuis een belangrijke rol. De afvoer via de sluizen bestaat voornamelijk uit het ten behoeve van de peilverlaging in het najaar afgelaten water en de spui van overtollig water in de wintermaanden.

Het neerslagdebiet is opmerkelijk laag in vergelijking met de verdamping. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het feit dat de droge, warme zomer van 1976 geheel binnen de onderzoeksperiode viel.

5. De fosfaatbalans

Naast de waterbalansen zijn in het kader van dit onderzoek ook chloride-, stikstof- en fosfaatbalansen opgesteld. In deze publikatie wordt slechts op de fosfaatbalans nader ingegaan. Deze balans heeft betrekking op totaal-fosfor, dat is de som van alle in het water voorkomende vormen van fosfor, waaronder organisch fosfor, aan kleideeltjes gebonden fosfor, orthofosfaat en polyfosfaten. Alle vermelde fosforhoeveelheden en fosfaatbelastingen zijn uitgedrukt in elementaire fosfor, P. Achtereenvolgens zal worden ingegaan op:

- de grootte en de opbouw van de fosfaatbelasting van het meer;
- de cyclus, die de in het meerwater opgeslagen fosfor doorloopt;
- de volledige fosfaatbalans, maand voor maand.

a. De fosfaatbelasting

In tabel II is de fosfaatbelasting opgesplitst in de belasting over de acht in 1976 onderzochte maanden en de belasting over de eerste acht maanden van 1977.

In beide gevallen bleek de bruto P-belasting lager dan de laagste schatting van de Werkgroep Sanering Randmeren (0,5 gram P/m² jaar).

Wanneer een schatting van de omvang van

de niet geregistreerde transporten door de sluizen in rekening wordt gebracht, vallen de bruto en netto fosfaatbelastingen hoger uit (voor 1976 respectievelijk 60 en 100 %). Ook dan echter is de fosfaatbelasting van het Wolderwijd/Nuldernaauw in beide perioden laag geweest. Hierbij heeft voor wat betreft 1976 het feit dat zowel het voorjaar als de zomer erg droog waren, een belangrijke rol gespeeld. De beekafvoeren waren daardoor namelijk gedurende een groot deel van het jaar uiterst gering, zodat de totale bijdrage van de beken veel lager uitviel dan was verwacht. De grootste fosfaatbronnen waren, mede daardoor, de sluizen, waarbij met name de grote toevoer van water uit het Nijkerkernauw ten behoeve van het opzetten van het meerpeil een belangrijke invloed heeft gehad op de verdere ontwikkeling van de waterkwaliteit in 1976.

In het voorjaar van 1976 vertoonde de waterkwaliteit van het Wolderwijd/Nuldernaauw een, in vergelijking met voorgaande jaren, opmerkelijk gunstig beeld met lage algendichtheden en nutriëntengehalten en een grote helderheid.

De genoemde grote inlaat van algen- en nutriëntenrijk water, die in mei plaatsvond, zette een drastische verslechtering van de waterkwaliteit in gang, die zich als een golf voortplantte vanuit het zuidwestelijk deel van het meer, waar deze inlaat had plaatsgevonden, naar de wijde kom in het noorden.

Ten einde dergelijke inlaten tot een minimum te kunnen beperken tracht de waterbeheerder, directie Zuiderzeewerken, sindsdien de verhoging van het meerpeil tot zomerpeil zoveel mogelijk te realiseren met behulp van het van nature in winter en voorjaar aanwezige wateroverschot.

In de lente van 1977 kon op deze wijze de inlaat van water uit de aangrenzende meren geheel achterwege blijven en liep de bijdrage van via de sluizen aangevoerd water blijkens het rechterdeel van tabel II terug tot 1 % van de totale fosfaatbelasting.

De totale fosfaatbelasting van het Wolderwijd/Nuldernaauw was niettemin over de

TABEL II - De fosfaatbelasting van het Wolderwijd/Nuldernaauw.

Fosfaatbron	mei t/m december 1976		januari t/m augustus 1977	
	absoluut (ton P)	relatief (%)	absoluut (ton P)	relatief (%)
1. Sluizen	2,8	44	0,1	1
2. Beken	2,0	33	4,5	63
3. Poldergemaal	0,3	4	1,3	18
4. Neerslag	0,5	8	0,7	11
5. Kwel	0,7	11	0,5	7
totale toevoer	6,3 ton P		7,1 ton P	
bruto P-belasting	0,35 gram P/m ² jaar		0,40 gram P/m ² jaar	
netto P-belasting	0,17 gram P/m ² jaar		0,30 gram P/m ² jaar	

acht in 1977 beschouwde maanden iets hoger dan in het droge 1976 het geval was, voornamelijk ten gevolge van de veel hogere belasting met beek- en polderwater. De netto belasting lijkt op het eerste gezicht sterk te zijn toegenomen ten opzichte van die in 1976. Ten aanzien van de gepresenteerde cijfers moet echter worden bedacht dat de afvoer van water en nutriënten, die in het kader van de peilverlaging in het najaar plaatsvindt, wel tot uiting komt in de netto belasting van 1976, maar nog niet in die van 1977. De in het Wolderwijd/Nulder nauw uitmondende beken alleen zorgden in 1977 voor liefst meer dan 60 % van de fosfaatbelasting van het randmeer.

Drie beken bleken primair verantwoordelijk voor deze vuilast: de Weisteegbeek, gevoed door het afvalwater van eendemesterijen, de Horstsche Beek, belast met de lozingen van een verenspoelbedrijf en de Schuitenbeek.

Bij de laatste beek, die een relatief groot stroomgebied bezit, zijn geen afzonderlijke vervuilingbronnen bekend. Het fosfaatgehalte van het afgevoerde water is in tegenstelling tot wat men zou verwachten, juist in perioden met grote afvoer hoog. Blijkbaar wordt dan veel niet vastgelegd P uit het sterk agrarische achterland meegevoerd.

b. De in het meer aanwezige fosfor

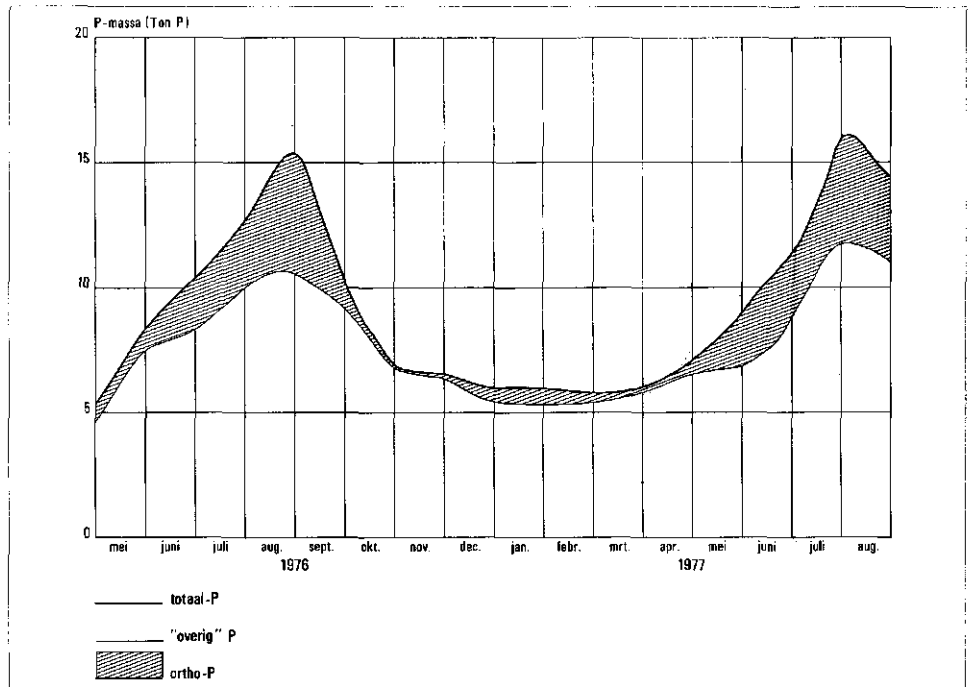
De totale hoeveelheid in het meerwater aanwezige fosfor doorloopt een seizoen-cyclus met een duidelijk zomermaximum en winterminimum (afb. 3).

Het zomermaximum bedroeg in 1976 en 1977 ruim 15 ton P, hetgeen bij het toen aanwezige watervolume overeenkwam met een gehalte van 0,4 mg P/l.

In de winter van 1976/1977 daalde de totale fosformassa tot ca. 5 ton P, oftewel een gehalte van ca. 0,15 mg P/l.

Naast het totaal-fosfaat is in deze afbeelding ook het orthofosfaat en het verschil tussen totaal- en orthofosfaat, verder aan te duiden als 'overig fosfaat', weergegeven. Orthofosfaat is de belangrijkste fosforvoedselbron voor algen, met name doordat het direct opneembaar is.

Uit de afbeelding, waarin het orthofosfaat is aangegeven door middel van het gearceerde gebied, blijkt dat het orthofosfaat 's winters slechts in geringe hoeveelheden aanwezig was. 's Zomers nam het gehalte in het water toe tot ca. 0,1 mg P/l; de algen hebben bij die concentratie voor hun groei meer dan voldoende P ter beschikking. De enige perioden, waarin de algengroei in het Wolderwijd/Nulder nauw mogelijk door gebrek aan fosfaat werd beperkt, lagen in het najaar en in het voorjaar.



Afb. 3 - De in het meerwater aanwezige hoeveelheid fosfor voor de periode mei 1976 tot en met augustus 1977.

Het 'overig fosfaat', weergegeven door de onderste curve in de afbeelding, correleert, naar is gebleken, goed met het in het water aanwezige zwevende stof. 's Zomers bereikt de zwevende stof en, daarmee ook het 'overig fosfaat', een duidelijk maximum; meer dan 80 % van de zwevende stof bestaat dan uit algen. Ondanks de lage nutriëntenbelasting komt in het Wolderwijd en het Nulder nauw 's zomers een intensieve blauwalgengroei voor die het water groen kleurt en het doorzicht doet teruglopen tot ca. 25 cm. 's Winters is overigens i.h.a. de algendichtheid ook nog vrij hoog, enerzijds doordat de dominante blauwalg *Oscillatoria agardhii*, zich ook onder de dan heersende omstandigheden (weinig licht) vrij goed kan handhaven. Deze eigenschap van *Oscillatoria ag.* is met name uit onderzoek van Mur c.s. 'aan het licht' gekomen [2]. Bovendien worden de algen ten gevolge van de ook 's winters geringe waterverversing slechts voor een klein deel uitgespoeld.

c. De volledige fosfaatbalans

In het bovenstaande is aandacht besteed aan de fosfaatbelasting oftewel de toe- en afvoer van P, en aan de in het meerwater opgeslagen hoeveelheden P. Niet alle aangevoerde P komt echter in het meerwater terecht. Dit kan als volgt worden toegelicht.

Er is geconstateerd (zie ook tabel II) dat het randmeer een positieve netto fosfaatbelasting ondervindt, d.w.z. dat er een hoeveelheid fosfor in het meer achterblijft.

Dan zal het meer op een bepaald tijdstip van het jaar i.h.a. meer fosfor moeten bevatten dan op datzelfde tijdstip in het voorgaande jaar het geval was (opslag van fosfor in het water). De op vergelijkbare tijdstippen gemeten gehalten in het meerwater blijken echter over de afgelopen jaren ongeveer op hetzelfde niveau te zijn gebleven. Er rest dan slechts één conclusie: het surplus aan P is naar de meerbodem en met name het bovenste laagje daarvan, het sediment, getransporteerd. * Derhalve kan de volgende balansvergelijking voor de fosfor worden opgesteld. Netto toevoer — (min) opslag in het water = netto transport naar het sediment.

In het kader van het onderzoek in het Wolderwijd/Nulder nauw wordt maandelijks de netto externe toevoer en de opslag bepaald en wordt volgens bovenstaande vergelijking de uitwisseling tussen bodem en water berekend als het verschil tussen beide grootheden. In de linker grafiek van afb. 4 is de netto fosfortoevoer, maand voor maand, aangegeven voor de periode mei 1976 tot en met augustus 1977. Het verloop weerspiegelt de volgende reeds eerder gememoreerde gebeurtenissen:

— de grote inlaat van nutriëntenrijk en dus ook fosfaatrijk, water uit het Nijkerker nauw, die in mei 1976 plaatsvond ten behoeve van het opzetten van het meerpeil.

*) De opslag van nutriënten in hogere waterplanten speelt in de randmeren, ook in het groeiseizoen, een zeer ondergeschikte rol [3].

In 1977 ontbrak een dergelijke inlaat. Daar staat tegenover dat de toevoer van P via met name de beken in het voorjaar van 1977 vrij groot was, vooral in de (natte) maand februari;

— de relatief lage water- en dus P-toevoer in de zomer van 1976 (vergelijk: zomer 1976 en zomer 1977);

— het aflaten van water ten behoeve van het weer verlagen van het meerpeil in oktober 1976;

— het spuien van overtollig water in de wintermaanden, met name te constateren in december 1976.

De middelste grafiek van afb. 4 laat de opslag van fosfor in het meerwater zien. Deze curve geeft als het ware maandelijks de grootte weer van de raaklijn aan de curve voor de in het meerwater aanwezige fosformassa (afb. 3); de maandelijks opslag is dan ook positief in de periode, waarin de hoeveelheid fosfor in het meerwater toenam tot het zomermaximum en negatief na het bereiken van dit maximum.

's Winters gebeurde er, gezien het verloop van de opslagterm, weinig met de in het meerwater aanwezige fosforvoorraad. Wanneer de linker en de middelste grafiek van afb. 4 met elkaar worden vergeleken, blijkt dat van enige overeenkomst geen sprake is: verhoogde toevoer leidt niet automatisch tot een toename van de opslag

en bij gelijkblijvende toevoer kan niettemin een progressief toenemende opslag optreden. Hiermee is al direct het belang aange- toond van 'der Dritte im Bunde', de uitwisseling van fosfor tussen water en bodem, die is berekend als het verschil tussen toevoer en opslag.

In de rechter grafiek van afb. 4 is, maand voor maand, de grootte van deze sluitpost van de fosfaatbalans weergegeven. De volgende opmerkingen kunnen naar aanleiding van het verloop van de uitwisselingsterm worden gemaakt:

— In de loop van de voorzomer blijkt in toenemende mate een transport van P vanuit het sediment naar het meerwater op te zijn getreden. Fosfaat kan, behalve door de periodieke opwoeling van fosfaathoudende slibdeeltjes, uit het sediment vrijkomen door de desorptie van aan bodemmateriaal geadsorbeerd fosfaat, door de in het sediment plaatsvindende afbraak van organische stof, de zgn. mineralisatie, en door de reductie van in het sediment aanwezig ijzerfosfaat onder zuurstofloze omstandigheden.

Alle drie genoemde processen kunnen bij de geconstateerde fosfaatafgifte in het Wolderwijd/Nuldernauw een rol spelen, want:

de toename van de algenactiviteit en algenbiomassa in de lenteperiode resulteert in een verhoging van de zuurgraad van het meerwater tot boven de 8,5, waardoor

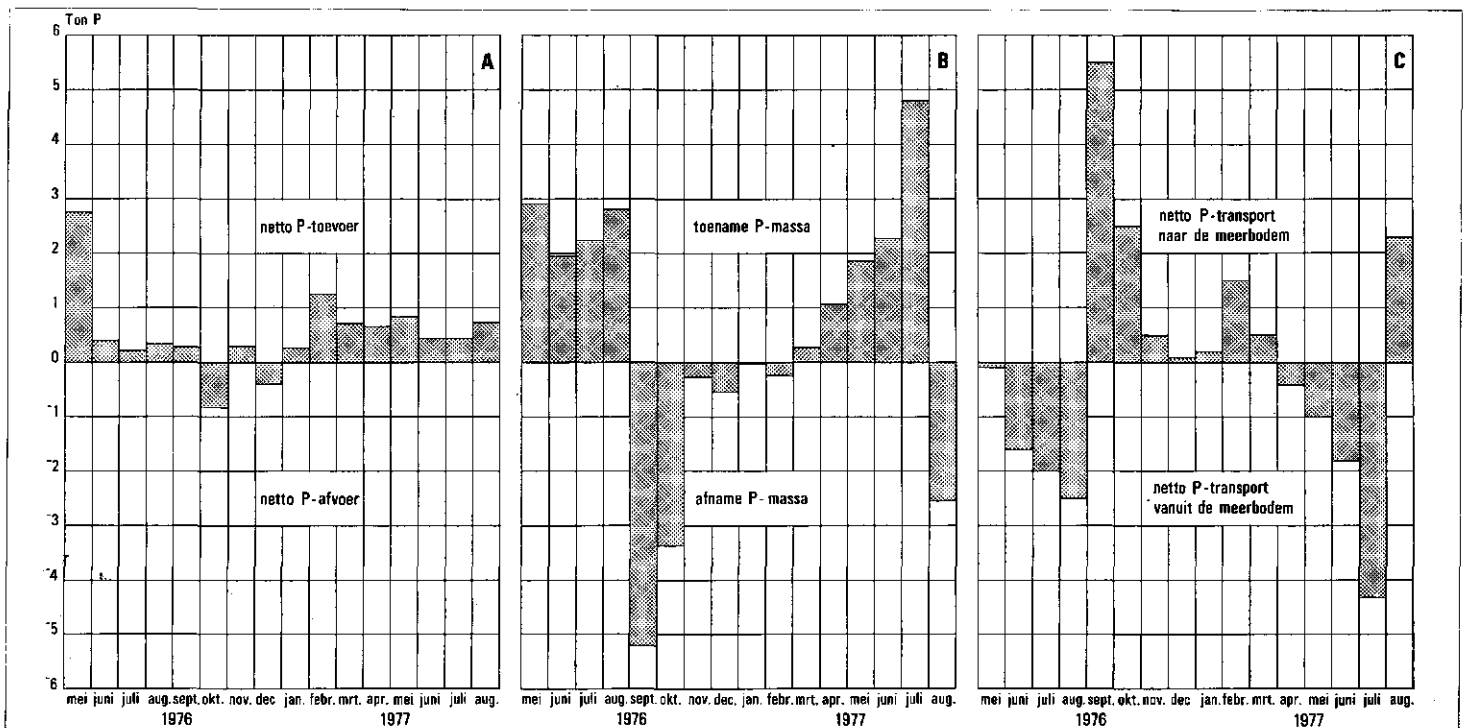
desorptie van aan ijzer gebonden fosfaat mogelijk wordt; in de zomer is in het algemeen sprake van een sterk verhoogde mineralisatie-activiteit onder invloed van de hogere temperaturen; niet alleen bij de mineralisatie zelf kunnen fosfaten vrijkomen, maar ook indirect ten gevolge van het zuurstofverbruik ten behoeve van de mineralisatie en de ademhaling van de algen. Dit zuurstofverbruik kan namelijk onder bepaalde omstandigheden, ook in de randmeren, leiden tot het optreden van zuurstofloosheid nabij de meerbodem, met als mogelijk gevolg de reductie van het onoplosbare ijzer (III)-fosfaat tot het oplosbare ijzer (II)-fosfaat.

De toename van de algendichtheden bleek in beide onderzoeksjaren vooraf te gaan aan de toename van de orthofosfaatconcentraties in het meerwater; afb. 3 geeft hiervan een indruk (met 'overig' fosfaat als indicator voor de algendichtheid). Dit wijst op een beïnvloeding van de fosfaatafgifte door de algengroei.

— Zodra de algendichtheid en de orthofosfaatconcentraties in het water gelijktijdig hun respectievelijke zomermaxima waren gepasseerd, keerde de uitwisselingsterm van teken om en vond netto transport naar de bodem plaats van, naar valt aan te nemen, sedimentierend dood algenmateriaal en ten gevolge van met name de weer verlaagde zuurgraad precipiterend orthofosfaat.

Afb. 4 - Fosfaatbalansen voor het Wolderwijd|Nuldernauw voor de periode mei 1976 tot en met augustus 1977.

- A. Maandelijks netto fosfortoevoer naar het meer.
- B. Maandelijks opslag van fosfor in het meerwater.
- C. Maandelijks fosforuitwisseling tussen het meerwater en de meerbodem.



— 's Winters vond slechts een transport van geringe omvang naar de bodem plaats. Het ging hierbij om een teveel aan extern aangevoerd fosfaat. Zo blijkt bijvoorbeeld de relatief grote P-toevoer in februari 1977 helemaal naar het sediment te zijn verdwenen omdat de algen er blijkbaar op dat ogenblik nog geen gebruik van konden maken.

In het interimrapport van de projectgroep wordt aangetoond, dat het in afb. 4 geschetste verloop van de uitwisselingsterm kwalitatief hetzelfde blijft, wanneer, in plaats van de netto kwel, de transporten door de sluisen als sluitpost op de waterbalans worden gehanteerd. In kwantitatief opzicht is het voornaamste verschil dat een deel van de nu als afgifte berekende fosfaattransporten dan aan toevoer door de sluisen worden toegeschreven.

6. Discussie

In het voorgaande is gebleken dat in het Wolderwijd/Nulder nauw sprake is van de combinatie van een lage externe fosfaatbelasting met een intensieve, niet door fosfaatgebrek geremde, blauwalgengroei. De vraag rijst, op welke wijze in deze situatie, die wellicht ook in andere Nederlandse meren bestaat, een sanering van de waterkwaliteit zou kunnen worden aangevat. In het navolgende wordt getracht een antwoord op deze vraag te vinden. Zoals reeds aan de hand van afb. 4 is aangegeven, treedt in de voorzomer in het Wolderwijd en het Nulder nauw een afgifte van fosfaten vanuit de meerbodem op, die de fosfaatbelasting van het meer in deze periode belangrijk vergroot.

De onderzoeksresultaten over de beschouwde periode duiden erop dat de in het voorjaar aanwezige algenbiomassa en algenactiviteit in belangrijke mate het aanvangstijdstip en de daarna mogelijke totale omvang van de fosfaatafgifte bepalen. Door een bepaalde dichtheid en groei te realiseren zorgen de algen dus a.h.w. zelf voor de opheffing van een eventuele groei-beperking door fosfaat in het voorjaar. Zo leek in 1976 de waterkwaliteit zich aanvankelijk in gunstige zin te ontwikkelen, totdat de inlaat van nutriënten- en algenrijk water uit het Nijkerkernauw (ten behoeve van het peilbeheer!) niet alleen een directe verhoging van de nutriënten- en algendichtheden veroorzaakte, maar daarmee de weg effende voor een verdere, niet door fosfaatgebrek belemmerde, toename van de algendichtheden tot een, waarschijnlijk door licht en/of stikstof bepaald, maximum. Een dergelijke waterinlaat wordt sindsdien, indien maar enigszins mogelijk, vermeden. Weliswaar is in de nazomer van 1976 een deel

van de algen afgestorven en gesedimenteerd, maar een vrij groot deel van de algenbiomassa bleef in de winter 1976/1977 aanwezig, mede doordat in deze winter slechts zeer weinig verversing van het meerwater met algenarm water plaatsvond.

In het voorjaar van 1977 was zodoende reeds een relatief grote algenbiomassa aanwezig waardoor vroeger dan in 1976 de fosfaatafgifte en de verdere toename van de algenbiomassa tot het eerder genoemde plafond op gang kwam.

Een verlaging van de in het voorjaar aanwezige algenbiomassa lijkt in deze situatie een belangrijke voorwaarde voor het beperken van de interne P-belasting en van de verdere toename van de algendichtheden later in het jaar.

Belangrijke saneringsmaatregelen in meren, die een met het Wolderwijd/Nulder nauw vergelijkbaar beeld opleveren, kunnen dan zijn: enerzijds het 's winters verversen van het meerwater, waardoor de algen worden uitgespoeld en anderzijds het weren van algenrijk water, vooral in voorjaar en zomer. Daarnaast kan, ten minste in de in het Wolderwijd/Nulder nauw aanwezige situatie, een verdere verlaging van de fosfaatbelasting van het meer bijdragen tot de beperking van de algenbiomassa. Deze reductie zal met name in het voorjaar, wanneer fosfaat in het Wolderwijd reeds de beperkende factor voor de algengroei is, dan wel dat kan worden, effectief kunnen blijken.

Aangezien juist in de voorjaarsperiode de beken de voornaamste fosfaatbron vormen, lijkt het gewenst om zich bij een dergelijke sanering te concentreren op de beken.

7. Conclusies

1. De fosfaatbelasting van het Wolderwijd/Nulder nauw is over de in 1976 en 1977 onderzochte periode laag geweest (< 0.5 gram P/m² jaar).
2. In de zomerperiode was sprake van een intensieve, niet door fosfaatgebrek beperkte, algengroei.
3. Naast de externe belasting met fosfaten trad in de voorzomer in het Wolderwijd/Nulder nauw een aanzienlijke interne belasting met fosfaten op die een eventuele beperking van de algengroei door fosfaatgebrek ongedaan maakte. De indruk bestaat dat deze interne fosfaatbelasting in verband staat met de aanwezige algenbiomassa en de algenactiviteit.
4. In de beschouwde onderzoeksperiode is de omvang van de in het water aanwezige algenbiomassa in ongunstige zin beïnvloed door enerzijds de toestroming van algen- en nutriëntenrijk water uit aangrenzende meren

en anderzijds de geringe verversing met algenarm water.

5. In aanmerking komende saneringsmaatregelen lijken te zijn:
 - verversing van het meerwater met algenarm water (in het Wolderwijd/Nulder nauw slechts in beperkte mate realiseerbaar);
 - weren van algenrijk water;
 - (met name in het Wolderwijd/Nulder nauw): verdere verlaging van de externe fosfaatbelasting.

Literatuur

1. Eutrofiëringsonderzoek Wolderwijd en Nulder nauw; interim-rapportage over de periode mei 1976 tot en met februari 1977 (projectgroep eutrofiëringsonderzoek randmeren). Lelystad, oktober 1978. Te bestellen bij: Rijkswaterstaat, Directie Zuiderzeewerken, Maerlant 1, Lelystad.
2. Mur, L. R., H. J. Gons en E. v. Liere. Licht als regulerende factor bij het optreden van waterbloei van het blauwwier *Oscillatoria agardhii*, *H₂O* 13, 309 - 313 (1977).
3. Loenen, M. en A. H. Koridon. Role of the littoral vegetation in the phosphorus and nitrogen balance of the Lake Drontermeer, *Verh. Intern. Verein Limnol.* 20, 935 - 938.

