

Driemaandelijks Bericht
nummer 75, februari 1976

deltawerken



Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Alkemadeaan 400
's-Gravenhage

Abonnementen en verkoop losse nummers:

Staatsuitgeverij
Chr. Plantijnstraat 1,
's-Gravenhage

De prijs bedraagt f 19,- per jaar
of f 5,- per nummer

Met ingang van de nieuwe jaargang is de
abonnementsprijs verhoogd tot f 19,- per jaar
en tot f 5,- per nummer.

Ir. H. A. Ferguson verlaat de Deltadienst 227

Vijf jaar milieu-onderzoek in het
Deltagebied 228

Waterloopkundig onderzoek ten behoeve
van het milieu 233

Aquatisch milieu-onderzoek 237

Terrestrisch milieu-onderzoek 250

Het Veerse Meer en het Grevelingenmeer
sedert hun afsluiting. Een vergelijkend
overzicht van de ontwikkelingen van het
milieu in twee zoute stagnante bekkens 271

Vogels in het Grevelingenmeer 285

Geochemisch onderzoek 290



Ir. H. A. Ferguson verlaat de Deltadienst

Op 1 maart draagt ir. H. A. Ferguson, wegens het bereiken van de pensioengerechtigde leeftijd, zijn functie als Hoofd van de Deltadienst over aan ir. H. Engel.

Ir. Ferguson werd op 1 augustus 1969 met de leiding van de Deltadienst belast, na een waterstaatsloopbaan die hem voortdurend in contact heeft gebracht met ontwikkelingen in het Benedenrivieren- en Deltagebied. Hij leverde een belangrijke bijdrage tot de uitbouw van de studiediensten, tot de droogmaking van Walcheren, het dijkherstel in 1953, de bouw van Europoort en de Schelde-Rijnverbinding.

Het gebied waarbinnen de uitvoering van het Deltaplan zich voltrekt, kent hij hierdoor als weinig anderen.

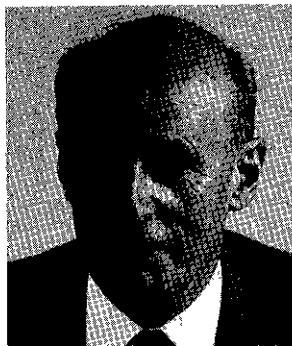
De Volkerakwerken bevonden zich in 1969 in de afbouwfase, de Haringvlietdam naderde het moment van afsluiten, de Brouwersdam was in uitvoering en de Oosterscheldewerken, die volgens de plannen negen jaar later moesten worden voltooid, waren reeds gestart. Bij de succesvolle voltooiing van de eerste drie werken kon nog niet worden voorzien voor welke extra problemen de afsluiting van de grootste en moeilijkst te bedwingen zeearm, de Oosterschelde, de Deltadienst zou plaatsen.

Een beeld van de vele facetten van het denk- en doewerk van de Deltadienst en de haar steunende diensten en instituten vindt men in de Driemaandelijks Berichten. Door de bijzonder grote en persoonlijke betrokkenheid van ir. Ferguson bij het Driemaandelijks Bericht draagt het in de afgelopen zes en half jaar dan ook duidelijk zijn stempel. Hij richtte zijn uitzonderlijke creativiteit op alle facetten van de Deltaproblematiek, maar het milieu-onderzoek ging hem in het bijzonder ter harte. In zijn eerste artikel over dit onderwerp in het Driemaandelijks Bericht van februari 1971 schrijft hij 'Ook bij de Rijkswaterstaat ziet men de noodzakelijkheid, zich rekenschap te geven van de beïnvloeding van het milieu door de uitvoering van infrastructurele werken. Zeker geldt dit voor het Deltagebied, dat immers door de uitvoering van grote Waterstaatswerken een totaal ander aanzien krijgt en waar de ontwikkelingsmogelijkheden in tal van opzichten heel anders zijn komen te liggen dan zonder het Deltaplan het geval zou zijn geweest. Het gaat er thans om de nieuwe mogelijkheden, die voor de ontwikkeling van het Deltagebied worden geschapen, optimaal te benutten met inachtneming van de gevolgen die het stimuleren van bepaalde ontwikkelingen zou kunnen hebben voor het milieu als welzijnsfactor'.

In de daarop volgende berichten werden steeds nieuwe beschouwingen en studies aan de diverse milieu-aspecten gewijd. Hoewel ir. Ferguson door onder meer adviezen in het buitenland internationale erkenning als waterbouwkundige en waterloopkundige kreeg, kan het dan ook geen toeval zijn dat dit nummer van het Driemaandelijks Bericht geheel aan het milieu is gewijd.

Ik wens ir. Ferguson toe, dat hij, bevrijd van de beslommeringen die de leiding van grote werken meebrengt, zich nog vele jaren zal kunnen wijden aan studies en publikaties, tot steun van jongere collega's, die in hem al sinds vele jaren een groot en inspirerend leermeester vonden.

De Directeur-Generaal van de Rijkswaterstaat
ir. J. W. Tops.



Naast de verslaggeving over de eigenlijke civiel-technische werken van het Deltaplan, de afsluitingswerken en alles wat daarbij komt, is in deze Berichten reeds sedert geruime tijd een toenemende plaats ingeruimd voor beschouwingen over de gevolgen die de afsluitingswerken voor hun omgeving – het milieu – hebben. In Bericht 55 van februari 1971 – dus nu 5 jaar geleden – werd de lezer in kennis gesteld van het voornemen 'regelmatig nadere informatie te geven over het milieu-onderzoek in het Deltagebied'. Gevolg gevende aan deze toezegging zijn sindsdien in totaal reeds 35 artikelen in deze Berichten verschenen die aan een of ander aspect van het milieu zijn gewijd. Een overzicht van die artikelen kan men vinden op pagina 296. In deze artikelenreeks weerspiegelt zich in grote lijnen de ontwikkeling van de nieuwe milieus die met het voortschrijden van de Deltawerken geleidelijk zijn ontstaan; zo het Veerse Meer, het noordelijk Deltabekken, het Grevelingenmeer. Daarnaast echter ook de ontwikkeling die de studies en onderzoeksmethoden zelf hebben doorgemaakt – men heeft in die tijd veel geleerd – en die zich onder andere manifesteert in de voorspoedige groei van de Afdeling Milieu-onderzoek van de Deltadienst, die de artikelen over milieustudie grotendeels zelf verzorgt. Aangezien deze artikelen over een aantal jaren en over een groot aantal nummers zijn verspreid en ze bovendien telkens een naar tijd of plaats min of meer geïsoleerde berichtgeving bevatten, zal het de lezer niet gemakkelijk vallen er zelf een duidelijk overzicht uit te verkrijgen van wat in de afgelopen 5 à 6 jaar terzake allemaal is gebeurd. Een samenvatting in overzichtelijke vorm van

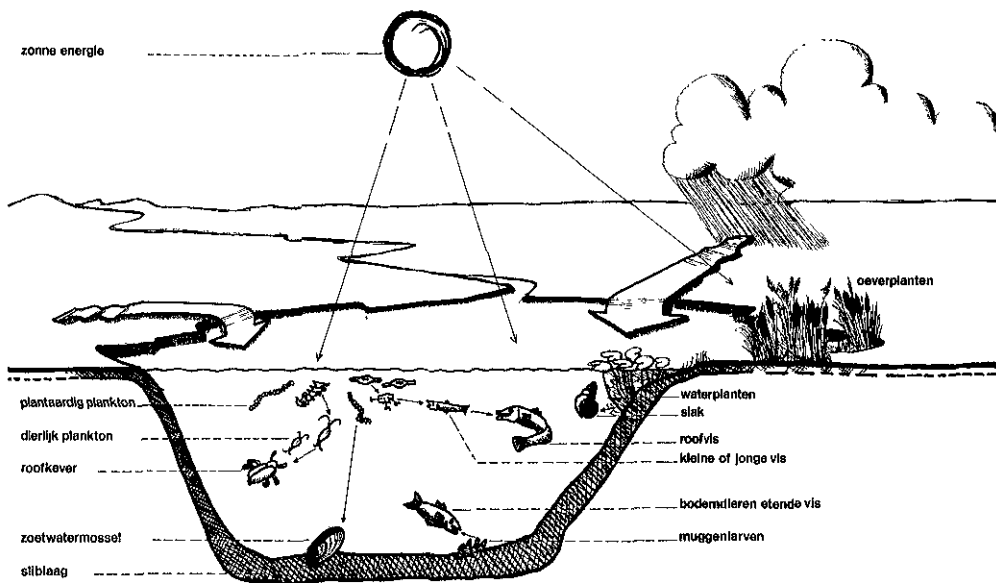
hetgeen gedurende dit eerste lustrum in deze Berichten is medegedeeld, lijkt dan ook wel op zijn plaats. Dit nummer is daarom volledig aan het milieu-onderzoek gewijd. Er wordt een blik teruggeworpen op hetgeen in de afgelopen periode is verricht, maar tevens wordt een blik vooruit geworpen op hetgeen inzake milieu-onderzoek in de toekomst nog te wachten staat.

'Het is duidelijk, dat het bij dit onderzoek, waarbij zeer uiteenlopende disciplines zijn betrokken, niet gaat om een zelfstandige taak van de Rijkswaterstaat, doch veeleer om een gecoördineerde samenwerking met verschillende instituten die bij de bewaking of de verbetering van het milieu ten nauwste zijn betrokken', zo schreven we in Bericht 55, blz. 226. Deze samenwerking is inderdaad onontbeerlijk gebleken en bovendien in de loop der jaren gestaag verder geïntensiveerd; het is van de aanvang af ook steeds als een van de belangrijkste taken van de Afdeling Milieu-onderzoek van de Deltadienst gezien, deze samenwerking zoveel mogelijk te stimuleren en te coördineren en haar vooral zo goed mogelijk in te passen in het kader en het tijdschema van de Deltawerken. De afstemming van het onderzoek op het tempo van de werken vraagt vaak een pragmatische aanpak, die de toegewijde wetenschapper wel eens tegen de haren instrijkt: hij zou een meer principiële benadering wensen en een onbegrensde hoeveelheid tijd. Het is dan ook wel eens moeilijk de zuiver wetenschappelijke en de meer pragmatische, aan de praktijk aangepaste studiemethoden met elkaar te verzoenen, teneinde, zonder dat de wetenschappelijke kwaliteit in het gedrang

komt, toch tijdig over voldoende resultaten te kunnen beschikken.

Behalve een coördinerende taak heeft de Deltadienst bovendien ook een eigen wetenschappelijke inbreng bij het milieu-onderzoek. Dit zal al duidelijk zijn wanneer men bedenkt hoezeer de milieu waar het hier om gaat, beïnvloed worden door het water en de waterloopkundige processen waaraan het onderhevig is. Kennis en onderzoek van het water en zijn dynamica onder invloed van vooral getijkrachten en wind maar ook van bijvoorbeeld verschillen in soortgelijk gewicht tengevolge van verschillen in zoutgehalte, kennis ook van de mogelijkheden om waar nodig deze krachten in de gewenste banen te leiden en te houden, vormt de basis waarop alle milieu-onderzoek in het Deltagebied stoelt. Deze vraagstukken hadden en hebben

dan ook de ruime aandacht die zij verdienen. In deze Berichten werd hier ook aandacht aan besteed; zo moge worden herinnerd aan twee artikelen in Bericht 62 (november 1972) over de golfbeweging op de afgesloten Deltawateren en over de methoden die toegepast kunnen worden om de oevers in de meren tegen afslag te beschermen, voorts naar een artikel in Bericht 71 (februari 1975) betreffende het interne windeffect op afgesloten bekkens, naar een artikel in Bericht 65 (augustus 1973) betreffende de natuurlijke en kunstmatige stratificatie in het Grevelingenmeer, en naar verscheidene artikelen waarin wordt bericht over het geregelde waterkwaliteitsonderzoek en de studies en proeven om die kwaliteit te verbeteren. Maar behalve dit onderzoek naar het abiotische deel van de ecosystemen levert de



Het onderzoek naar het milieu omvat drie hoofdonderdelen: aquatisch, terrestrisch en geo-chemisch milieu-onderzoek. Het geo-chemisch onderzoek betreft vooral de sliblaag op de grens van bodem en water in de bekkens

Afdeling ook een ruime bijdrage aan het onderzoek van de levende natuur die zich ontwikkelt in en om de nieuwe situaties die in de Deltawateren ontstaan. Betrekkelijk veel aanvullend werk was en is hier nodig naast hetgeen terzake door andere instituten – en hier noemen we dan vooral het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek – werd en wordt verricht. We merkten reeds op dat het tempo waarin resultaten in het kader van het tijdschema van de Deltawerken beschikbaar zouden moeten komen soms strijdig kan zijn met het rustiger tempo van de wetenschap, die zich tenslotte ook en vooral op de veel langere termijnen richt. Om het wetenschap-

pelijk onderzoek dat door verscheidene samenwerkende instituten krachtens hun opdracht moet worden bedreven door de haast van de Deltawerken niet te zeer in het gedrang te brengen, moest de Deltadienst zelf wel bijspringen, teneinde ook aan het op wat kortere termijn en vooral op de onmiddellijke praktijk gerichte onderzoek de nodige aandacht en ruimte te kunnen geven. Zo komt het dat de afdeling Milieu-onderzoek van de Deltadienst ook zelf veel onderzoek verricht naar de biotische aspecten van het milieu. Zelfs is het gros van de publikaties over het milieu in deze Berichten daaraan gewijd. Het hoeft dan ook geen

Overzicht van in het Deltagebied gemeten waterkwaliteitsparameters

PARAMETERS	VEERSE MEER	ZEEUWSE MEER	GREVELINGEN- MEER	OOSTVOORNSE MEER	BRIELSE MEER	HOLLANDS DIEP, HARINGVLIET	NOORDZEE	NOORDELIJK DELTABEKKEN	GROTE RUG
saliniteit	x	x	x	x			x		
geleidbaarheid					x	x		x	x
geleidbaarheid chloride					x	x		x	
temperatuur	x	x	x	x	x	x	x	x	x
zuurstof	x	x	x	x	x	x	x	x	x
(winkler)				x	x	x		x	
pH	x	x	x	x	x	x	x	x	x
totaal fosfaat	x	x	x	x	x	x	x	x	x
opgel. org. fosf.					x				
orth. hydr. fosf.					x	x		x	
orthofosfaat	x	x	x	x	x	x	x	x	x
nitraat	x	x	x	x	x	x	x	x	x
nitraat-nitriet	x	x	x	x			x		x
ammonia	x	x	x	x	x	x	x	x	x
N-Kjeldahl					x	x		x	
N-totaal	x	x	x	x			x		x
Sulfaat						x		x	
B.O.D. ²⁰					x	x		x	
T.O.C.					x	x		x	
org. koolstof	x	x	x	x					x
fenolen						x		x	
syndets						x		x	
FE II	x	x	x	x	x		x		x
Fe totaal	x	x	x	x	x	x	x		x
silicaat	x	x	x	x	x	x	x	x	x
zwevende stof	x	x	x	x		x	x		x
gloeirest					x	x		x	
chlorofyl		x	x		x	x	x	x	x
plankton			x		x	x	x		x
bacteriologisch	x		x		x	x		x	
doorzicht	x	x	x	x	x	x		x	
Ca 2+	x	x	x	x			x		

verwondering te wekken dat zich in het wetenschappelijke team van deze afdeling 'vogels van zeer diverse pluimage' bevinden. In de staf van deze afdeling zijn thans opgenomen een sedimentoloog, een bioloog, een limnoloog, een bodemkundige, een geochemicus en een deskundige op het gebied van de waterkwaliteit, terwijl een verdere verbreding en uitbreiding in het voornemen ligt. In het reeds meer aangehaalde Bericht 55 werd gesteld: 'Bij een dergelijk onderzoek ontmoeten de hydroloog, de sedimentoloog, de bodemkundige, de bioloog en milieu-hygiënist elkander en als het goed is komen ze tot een nauwe samenwerking'.

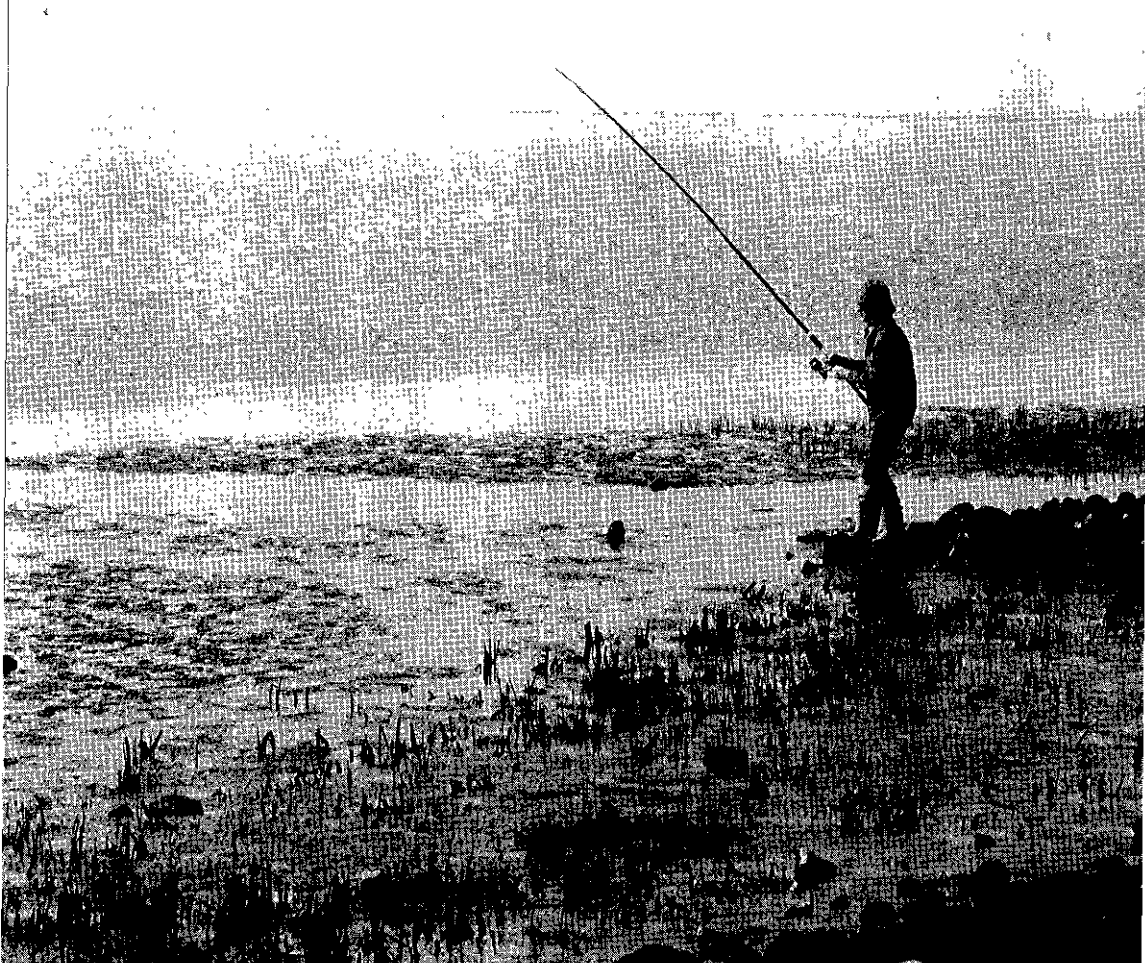
Deze wens is gelukkig in vervulling gegaan. De praktijk heeft geleerd hoe het langdurig samenwerken van verschillende disciplines in het kader van een dergelijk groot project als het Deltaplan met zijn vele geavanceerde problemen vruchten oplevert zowel voor de werken als voor de onderzoeken zelve. Het project fungeert hier als een belangrijke katalisator. Ook de samenwerking van de Afdeling Milieu-onderzoek met de andere afdelingen van de Deltadienst, en dan vooral met de Waterloopkundige afdeling, is gaandeweg versterkt en verinnigd. Ditzelfde kan gezegd worden ten aanzien van de samenwerking met instituten buiten de

PARAMETERS	VEERSE MEER	ZEEUWSE MEER	GREVELINGEN- MEER	OOSTVOORNSE MEER	BRIELSE MEER	HOLLANDS DIEP, HARINGVLIET	NOORDZEE	NOORDELIJK DELTABEKKEN	GROTE RUG
Mg 2+	x	x	x	x			x		
Mn 2+	x	x	x	x			x		
As						x			
Cd						x		x	
Cr						x		x	
Cu						x		x	
Pb						x		x	
Ni						x		x	
Zn						x		x	
Hg						x			
Co						x			
Sb tot. + opg.						x			
Be " "						x			
V " "						x			
Li " "						x			
S " "						x			
aldrin						x		x	
- H.C.B.						x		x	
a - H.C.H.						x		x	
b - H.C.H.						x		x	
olie								x	
fluoride						x		x	
gechl. koolwaterst.								x	
zwevende stof						x		x	
reuk (getal)						x		x	
kleur						x		x	
polycycl. aromaten						x			
hexachl. butadiëen						x		x	
dichloor benzeen						x		x	
tot. hardheid						x		x	
tijd. hardheid						x		x	
bicarbonaat						x		x	

dienst; ook voor hen betekent het Deltaplan met zijn vele problemen een grote stimulans tot onderzoek en studie.

Een overzicht van de werkzaamheden en de resultaten van de Afdeling Milieu-onderzoek van de Deltadienst kan men verschillende vorm geven. Men zou de ontwikkeling kunnen laten zien per geografisch object: Veerse Meer, Grevelingen, enzovoort. Men kan het overzicht echter ook functioneel indelen. Beide indelingen zijn in het hierachter volgende overzicht gehanteerd, zij het dat de nadruk ligt op de functionele indeling, waarbij achtereenvolgens een overzicht zal worden gegeven over het waterlopkundige onderzoek in verband met het milieu, het aquatisch milieuonderzoek, het terrestrisch milieu-onderzoek en het geochemisch onderzoek, dat zich vooral richt op de

verschijnselen die zich voordoen in het bodemslib, op de rand van bodem en water.



Het waterloopkundig onderzoek dat binnen het raam van de Deltawerken wordt verricht is thans evenzeer als voorheen in zeer belangrijke mate gericht op de voorbereiding en de uitvoering van de civieltechnische werken van het Deltaplan: de afsluitdammen en de daarin te bouwen kunstwerken. De aandacht gaat daarom vooral uit naar die waterloopkundige verschijnselen die de werken rechtstreeks beïnvloeden. In hoofdzaak geldt voor het waterloopkundig onderzoek nog steeds de globale omschrijving die ervan werd gegeven in Bericht 1, van augustus 1957.

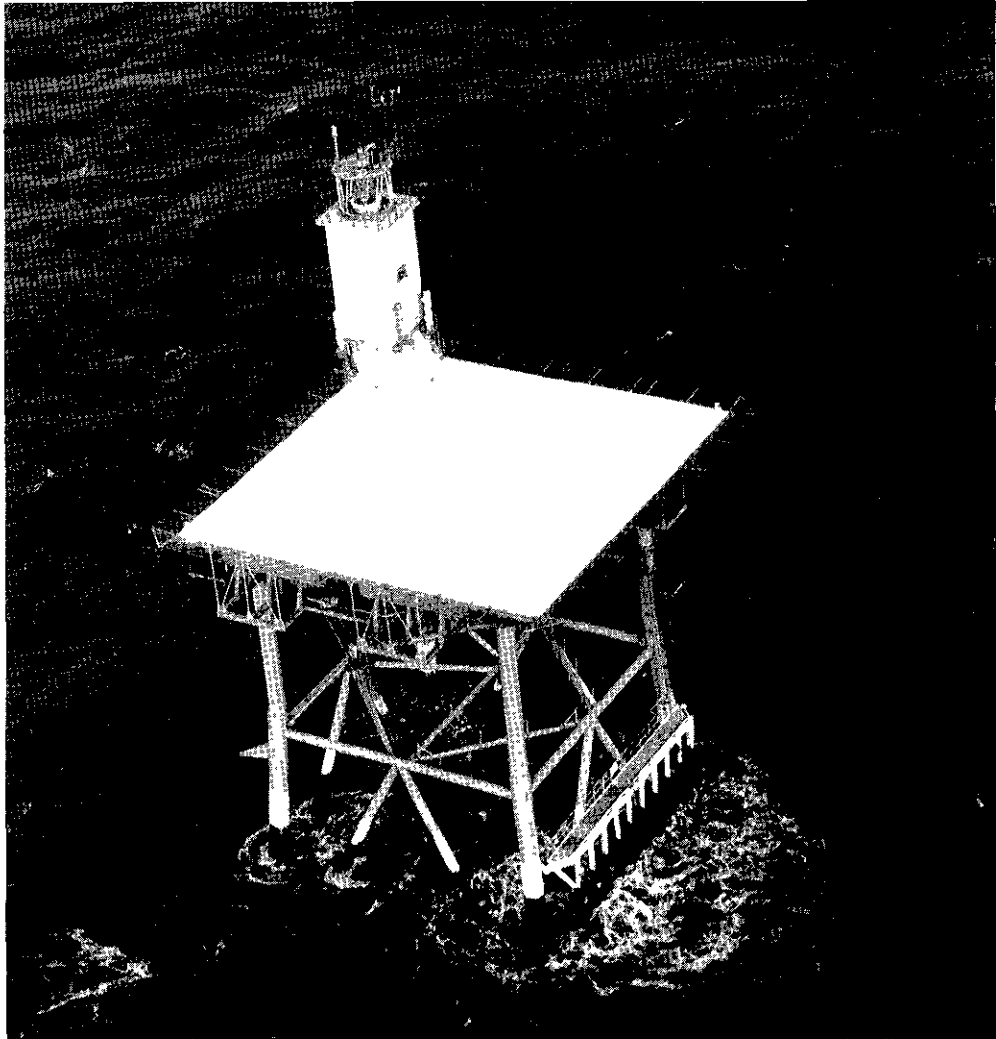
Onderscheidenlijk werden daar genoemd: de studie van de *algemene waterbeweging*; de studie van de *golfbeweging*; het onderzoek naar het *zandtransport* en de studie van het *zoutprobleem*. De korte taakomschrijvingen mogen hier nog eens worden herhaald:

'De algemene waterbeweging in het delta-gebied, tijdens de verschillende fasen van uitvoering van het afsluitingsplan en na volledige realisatie hiervan, vormt een belangrijk onderwerp van studie, evenals de wijze waarop deze het voordeligst zal kunnen worden geregeld. Hierbij spelen verschillende factoren een rol, zoals oever- en kustverdediging, de waterhuishouding en het scheepvaartbelang'; 'de golfbeweging in het delta-gebied, met het oog op de bijzondere eisen die deze stelt aan de geprojecteerde afsluitingsdammen en de daarin te maken kunstwerken Deze studie is mede van belang voor de bepaling van de 'werkbaarheid' in deze gebieden';

'het zandtransport door de getijstroom, waarvan de studie van belang is, zowel ten behoeve van het ontwerpen der kunstwerken als voor het onderzoek naar de veranderin-

gen die zich in het Deltagebied zullen voltrekken; het zoutprobleem en in het bijzonder het moeilijke vraagstuk van de menging van zout en zoet water'. Het woord 'milieu' komt in de taakomschrijving van 1957 nog niet voor. Toch hebben bepaalde vormen van waterloopkundig onderzoek ook toen al, hoewel ze niet zo zeer op het milieu waren gericht, zeer waardevolle gegevens en inzichten opgeleverd, waarvan het milieu-onderzoek thans een nuttig gebruik kan maken.

Het begin van samenwerking van de waterloopkundige studiediensten van de Rijks-waterstaat met biologen – met name hydrobiologen – dateert overigens al van lang voor de aanvang der Deltawerken. Die samenwerking hield in dat de hydrobiologen gebruik konden maken van de meetfaciliteiten van de studiediensten. Ze vond voor het eerst min of meer geregeld plaats met het Zoologisch Station in Den Helder, een instituut dat destijds was opgericht door de Koninklijke Akademie van Wetenschappen met als taak de bestudering van de hydrobiologische gevolgen van de afsluiting van de Zuiderzee op het Waddengebied. Dat was in de jaren dertig, toen de Rijkswaterstaat een begin maakte met de studie van de waterbeweging op de Waddenzee en zijn zeegaten. Het Zoologisch Station te Den Helder kan als voorloper en evenknie worden beschouwd van het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek te Yerseke. Over de oprichting van laatstgenoemd instituut zegt Bericht 19 (februari 1962) onder meer het volgende: 'Reeds voordat de plannen tot het afdammen der zeegaten in Zeeland en Zuid-Holland vaste vorm hadden aangenomen had een



Het meeteiland 'Goeree', waarop
ook meetopstellingen van de
Rijkswaterstaat

commissie van leden der Koninklijke Nederlandse Academie voor Wetenschappen het plan opgevat om het hydrobiologisch onderzoek in Nederland leven in te blazen door het oprichten van een instituut onder auspiciën van de Akademie. Men realiseerde zich namelijk dat in de Zeeuwse wateren een nog gevarieerder biologisch experiment op minstens even grote schaal bestudeerd zou kunnen worden als in de Zuiderzee. Waar de afsluiting der Zuiderzee reeds zo veel kostbare biologische gegevens aan het licht had gebracht, mocht verondersteld worden dat hier zulks nog in meerdere mate het geval zou zijn. Er werd besloten te Yerseke een zelfstandig laboratorium voor wetenschappelijk biologisch werk op te richten, dat in mei 1959 met zijn werkzaamheden begon'. Het spreekt welhaast vanzelf, dat de samen-

werking met de waterloopkundige studiediensten, die in het noorden reeds zijn vruchten had opgeleverd, ook in het zuiden spoedig tot stand kwam. Enerzijds kon het Delta-Instituut reeds dadelijk profiteren van de grote hoeveelheid gegevens die door de Rijkswaterstaat in het veld waren verzameld, anderzijds zou de waterloopkundige afdeling haar meetprogramma ook meer en meer kunnen aanpassen aan de vragen die uit het milieu-onderzoek naar voren kwamen. Nieuwe aspecten vroegen daardoor de aandacht. De waterloopkundige afdeling bleek zich niet meer te kunnen beperken tot het uitvoeren van incidentele metingen op verzoek van het instituut; ook haar eigen onderzoek moest zij in toenemende mate in deze richting leiden. (Zie Bericht 56, mei 1971). De oprichting van de afdeling Milieu-onderzoek bij de Deltadienst gaf nog een extra stimulans aan dergelijke onderzoekingen.

Waarom is het waterloopkundig onderzoek nu van zo veel belang voor het milieu-onderzoek in het Deltagebied? We kunnen dit enigszins verduidelijken aan de hand van de definitie van ecologie. Ecologie is de studie van de interactie tussen levende organismen en de niet levende omgeving in een bepaald gebied. Het ecosysteem in een estuarien gebied als het Deltagebied is aangepast aan het a-biotische milieu, dat voortdurend verandert onder invloed van het getij, de golven en de daardoor opgewekte sedimentverplaatsingen. Als men dit bedenkt, is het wel duidelijk dat de hydraulische en hydrografische randvoorwaarden voor het estuariene eco-systeem van het Deltagebied bekend moeten zijn voordat zinvol milieu-onderzoek kan worden verricht. Ook de voortdurende veranderingen in de randvoorwaarden onder invloed van de natuur en de eventuele gevolgen van ingrepen door de mens zijn daarbij van belang. Het waterloopkundig onderzoek nu is vooral gericht geweest op de wisselwerking tussen de media water, grond en lucht in dit gebied. Aanvankelijk werden sedimentatieprocessen, geulverplaatsingen, de erosie van oevers en dergelijke verschijnselen vooral bestudeerd in verband met hun belang voor de veiligheid van de kust en van de werken die moesten worden uitgevoerd. Hiertoe was het nodig om over een lange reeks van jaren over voldoende gegevens te beschikken betreffende de bodemligging en de veranderingen die daarin optraden. Ook de waterbeweging moest daarbij grondig worden onderzocht. De Rijkswaterstaat is met het oog hierop voorzien van meetdiensten, met personeel

dat getraind is in het doen van metingen en waarnemingen in de natuur. Ze beschikken over geavanceerde meetapparatuur en over een vloot van meetschepen. Met behulp daarvan worden metingen verricht betreffende het getij, de golven, het materiaaltransport, de waterkwaliteit en de hydrografie en geologie van het meetgebied. Men voert stroomsnelheidsmetingen uit, metingen van het gehalte aan in het water zwevende sedimenten, van het zoutgehalte en van de temperatuur. Daarnaast verricht men lodingen, waterpassingen en boringen en neemt men grijpermonsters, met behulp waarvan een snel inzicht kan worden verkregen in de bodemsamenstelling over een groot gebied. Daarnaast kan worden beschikt over de meetresultaten van de vaste meetopstellingen, die tot nog toe overwegend golven en getij meten, maar die in beginsel geschikt gemaakt kunnen worden voor het meten van allerlei andere waterparameters zoals het zoutgehalte en het gehalte aan bepaalde andere stoffen. Tenslotte mogen de metingen met behulp van vliegtuigen en helicopters niet onvermeld blijven. Vooral sommige moderne waarnemingstechnieken zoals bijvoorbeeld false colour-opnamen kunnen van veel belang zijn voor het milieu-onderzoek. (Zie Bericht 64, mei 1973). In het Deltagebied bestond nu de unieke situatie, dat het bestaande meetpotentieel in zijn geheel beschikbaar kon worden gesteld aan het milieu-onderzoek bij het uitvoeren van gecombineerde metingen, terwijl bovendien van een groot aantal parameters over een lange reeks van jaren al meetresultaten beschikbaar waren. Wel moest de diversiteit en het karakter van de metingen ten behoeve van het milieu-onderzoek enigszins uitgebreid en veranderd worden. Voor de dimensionering van afsluitingswerken bijvoorbeeld zijn vooral extreme stroomsnelheden van belang. Voor het milieu zijn ook en soms in veel sterkere mate de kleinere snelheden van betekenis. Omdat vermoed werd dat ook bij de erosie van oevers door golven betrekkelijk kleine snelheden een rol kunnen spelen is kortgeleden een onderzoek uitgevoerd naar de afslag van plaatoevers in het Grevelingenbekken. Daarbij was het noodzakelijk om golven en soms geringe stroomsnelheden te meten in zeer kleine waterdiepten. Het blijkt nu noodzakelijk om verder te experimenteren met meer verfijnde apparatuur, waarmee ook geringe snelheden met een grote mate van nauwkeurigheid kunnen worden gemeten. Een andere vorm van samenwerking komt tot uiting in de bestudering van de wisselwer-

king tussen grond en water, waarbij geen belangrijke morfologische veranderingen optreden, maar die wel van invloed is op de kwaliteit van het milieu; we doelen met name op de grondwaterbewegingen die van invloed zijn op het milieu in de grenslagen. Ook deze grondwaterbeweging is reeds lang onderwerp van studie geweest. Dergelijke studies werden oorspronkelijk enerzijds verricht in verband met het berekenen van waterdrukken onder constructies en anderzijds om problemen op te lossen van waterhuishoudkundige aard, zoals de verplaatsing van de zout-zoetgrens in het grondwater en het optreden van zoute of zoete kwel.

Als men een belangrijke verandering in het a-biotische systeem gaat aanbrengen moet er vooraf een inzicht bestaan in de situatie vóór de verandering, tijdens de wellicht relatief kortdurende ingreep en daarna, wanneer het systeem naar een nieuw evenwicht streeft. Het waterloopkundig onderzoek is steeds gericht geweest op het beantwoorden van deze vragen. Zo is het door de ontwikkeling van het getij-onderzoek mogelijk geworden om met behulp van waterloopkundige modellen en met rekenmodellen inzicht te verkrijgen in de veranderingen die in het getij zullen optreden als gevolg van het geheel of gedeeltelijk afsluiten van zeegaten. Er is daarbij een ontwikkeling gaande naar steeds gedetailleerder modellen, die op den duur bijvoorbeeld ook over de waterkwaliteit gegevens gaan verstrekken.

Echter, ook met de nu reeds bestaande modellen kunnen voor het milieu belangrijke gegevens worden verkregen. Damping van het verticale getij in de Oosterschelde, om maar eens een duidelijk voorbeeld te noemen van de betekenis die waterloopkundige verschijnselen kunnen hebben voor het milieu, zal invloed hebben op de schorren en op het intergetijdegebied. Bij gedeeltelijke afsluiting van het estuarium zullen hoog- en laagwaters zich op een niveau gaan bevinden, dat met vrij grote mate van nauwkeurigheid uit de berekeningen kan worden afgeleid. Ook de golfaanval zal zich op een ander waterpeil gaan richten. Er zal een nieuwe zone zijn aan te wijzen waarin een langduriger en meer geconcentreerde golfaanval zal plaatshebben dan in de huidige toestand. Modelonderzoeken en wiskundige berekeningen aangaande de nieuwe situatie zullen van eminent belang zijn voor het geven van prognoses over de kans op voortbestaan van de voor het milieu zo belangrijke schorren- en slikkengebieden.

Ook het al eerder genoemde onderzoek naar

de erosie onder invloed van golven van de platen en oevers in afgesloten bekkens is in dit verband van belang. Behalve door erosie kunnen in het milieu ook belangrijke veranderingen voorkomen tengevolge van sedimentatie, bijvoorbeeld wanneer een oevergebied na een geulverplaatsing geheel door een laag zand bedekt wordt, maar ook door gewone slibafzetting. In het eerste geval kan een rijk natuurgebied als het ware worden begraven, in het tweede geval kunnen zich ook andere processen gaan afspelen, met name als het slib sterk is verontreinigd. De accumulatie van verontreinigingen in de biologisch zo belangrijke bovenste bodemiaag kan tot in lengte van jaren gevolgen hebben voor het ecosysteem. (zie Bericht 57, augustus 1971).

In samenwerking met het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid in Groningen is onderzoek gedaan naar de herkomst van het slib in de Deltabekkens, met behulp van de verschillen in de gehalten van de aan het slib gehechte zware metalen. Hierbij moet wel worden opgemerkt, dat het geven van voorspellingen over sedimentbewegingen onder invloed van veranderende stroom- en golfcondities in het algemeen slechts met een geringe mate van nauwkeurigheid mogelijk is. Voortdurende controle van de voorspellingen aan de hand van metingen in de natuur is dan ook onmisbaar. In dit artikel is getracht, deels aan de hand van een aantal voorbeelden, aan te geven in welke mate het waterloopkundig onderzoek en het milieu-onderzoek met elkaar samenhangen. Hoe deze interactie van verschillende onderzoekingsmethoden in de toekomst verder zal uitgroeien, is nu nog niet nauwkeurig aan te geven. Wel kan worden gesteld dat dit gecombineerde onderzoek behalve het voorspellen van de gevolgen van uit te voeren werken in toenemende mate behulpzaam zal moeten zijn bij het beheer van de wateren en de oeverlanden in het Delta-gebied. In dit verband kan wellicht ten overvloede nogmaals gewezen worden op de betekenis van het waterkwaliteitsbeheer (Bericht 69, augustus 1974) en het ecologisch modelonderzoek waarover in Bericht 71 (februari 1975) mededelingen zijn gedaan.

De chemische en biologische kwaliteit van water bepaalt in belangrijke mate wat men er mee kan doen. Een optimaal functionerend aquatisch ecosysteem, waarvan de voornaamste kenmerken werden beschreven in Bericht 69 (augustus 1974), veronderstelt een goede kwaliteit van het water, gezien de *dominerende rol die dit element in zo'n systeem speelt*. Vandaar dat onderzoek naar de waterkwaliteit een belangrijk onderdeel vormt van de studies van de Afdeling Milieu-onderzoek. Om bepaalde functies aan het water te kunnen toekennen is het allereerst nodig om de waterkwaliteit te inventariseren. Daarna dient de huidige situatie vergeleken te worden met de kwaliteitsnormen die uit de functiebestemmingen volgen. Als er een negatief verschil bestaat tussen de huidige toestand en de norm, kan worden nagegaan welke maatregelen er moeten worden genomen om de waterkwaliteit zodanig te verbeteren dat de gewenste normen worden bereikt.

De inventarisatie van de huidige waterkwaliteitssituatie geschiedt met behulp van een uitgebreid meetnet (figuur 1). In de meetpunten wordt periodiek door verschillende Rijksdiensten een groot aantal waterkwaliteitsparameters bepaald. Deze gegevens gaan naar een databank, waarin alle meetwaarden worden ingevoerd die door onderscheidene Rijksdiensten in het Rijkswater zijn verzameld. Elk kwartaal worden die gegevens gepubliceerd in een verslag: 'Kwaliteitsonderzoek in de Rijkswateren'.

In het Deltagebied gebruikt men deze gegevens om een boekhouding op te zetten van de aan- en afvoer van de verschillende stof-

fen die de waterkwaliteit bepalen; dit zijn de zogenaamde stofbalansen der verschillende bekkens. Uit deze balansen kan worden opgemaakt waar de voornaamste stofbronnen liggen. Bovendien kunnen er sommige processen uit worden afgeleid. Aangezien sommige van de aanwezige stoffen voedingsstoffen zijn voor verschillende organismen en andere gifstoffen, hebben de gehalten aan zulke stoffen invloed op de levensgemeenschap in het water.

In figuur 3 zijn de jaarlijkse gemiddelde fosfaatgehalten aangegeven. Het feitelijke verloop is echter naar tijd en plaats sterk aan variatie onderhevig.

In het voorjaar en zomer gebruiken de waterorganismen veel van de aanwezige voedingsstoffen. De gehalten nemen dan af. In het najaar en de winter is de biologische activiteit veel geringer, er worden dan minder voedingsstoffen gebruikt en de gehalten nemen toe.

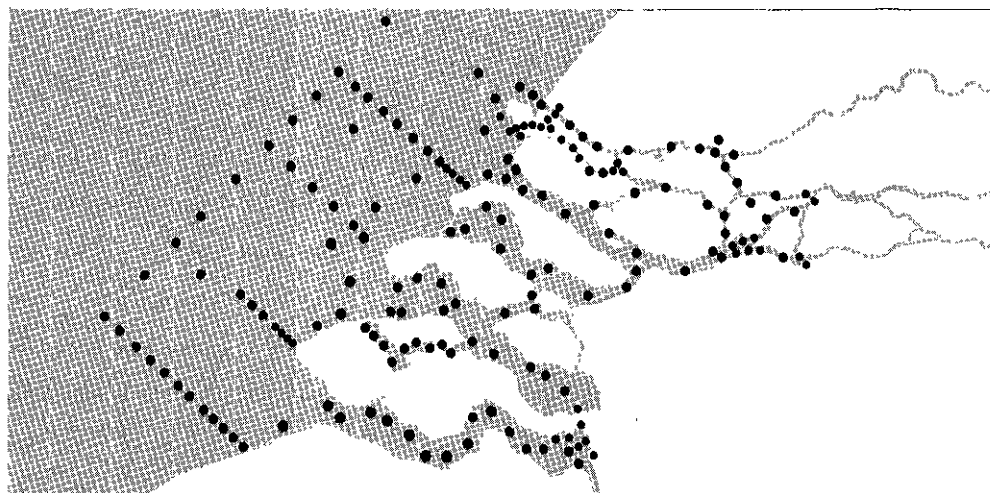
De gehalten variëren in sommige bekkens ook met de plaats. Dit kan een gevolg zijn van menging, bezinking, omzetting of zelfreiniging. Tegenover de gegevens waaruit de waterkwaliteit blijkt, kan men de normen stellen, die men voor de bekkens wil laten gelden. De waterkwaliteitsnormen voor het oppervlaktewater zijn te vinden in het recentelijk verschenen Indicatief Meerjaren Programma 1975-1979 'De bestrijding van de verontreiniging van het oppervlaktewater'. In dat rapport worden voor verschillende waterkwaliteitsparameters zogenaamde voorlopige grenswaarden en streefwaarden aangegeven. De voorlopige grenswaarden zijn de minimaal na te streven waterkwaliteitsnormen op korte termijn; de streefwaarden zijn ge-

richt op de wat langere termijn en ze zijn ook lager. Voor het zoutgehalte is er een hydrobiologische normering voorhanden, die de relatie aangeeft tussen de diversiteit van de organismen in het water en het zoutgehalte. Dit is in principe de reeds enige malen in deze Berichten getoonde 'Kromme van Rømane' (fig. 6).

Indien men maatregelen zou willen overwegen om de waterkwaliteit in een bepaald bekken in overeenstemming te brengen met de norm, dan zal men toch op voorhand een inzicht willen hebben in de effecten van zulke maatregelen. Dit inzicht kan slechts gebaseerd zijn op kennis van de optredende processen. Deze processen verschillen per bekken in belangrijke mate. In het onderstaande zal getracht worden voor de verschillende typen bekkens – zoet stagnant, zout

voor. De primaire produktie is dan relatief laag en dat mag eerder gunstig dan ongunstig worden genoemd. Het aantal soorten is onder deze omstandigheden groot; het water is helder. Bij zeer hoge voedingsstoffenconcentraties daarentegen behoort een zeer grote produktie; bovendien gaat dan een beperkt aantal soorten sterk domineren, voornamelijk blauwalgen, zodat vele andere afnemen. Het water wordt troebel en krijgt een onaantrekkelijke geur; de waterflora- en fauna verarmen aanzienlijk. Ook krijgt het water een slechte smaak, waardoor het minder bruikbaar wordt als grondstof van drinkwater. Na de bloeiperiode treedt massale algensterfte op, hetgeen ongunstig werkt op de zuurstofgehalten in het water en daardoor ook op de waterfauna. Vooral vissen hebben te lijden van dit zuurstofgebrek. Blauwalgen-

1.



stagnant en zout met getij – de probleemvelden te verkennen, de processen aan te geven en de mogelijke maatregelen te beschrijven.

Zoete bekkens

De probleemvelden die zich in zoete bekkens ten aanzien van de waterkwaliteit kunnen voordoen zijn behalve het voedingsstoffenniveau, het zoutgehalte en de zuurstoftoestand, de hygiënische kwaliteitsaspecten, de gifstoffen, de visserij en tenslotte de mogelijkheid van calamiteiten en de wijze van ontzilting.

Het *voedingsstoffenniveau* bepaalt de zogenaamde primaire produktie, ofwel de vorming en groei van planten onder invloed van het zonlicht. Is het voedingsstoffenniveau bescheiden, dan doen zich geen problemen

bloeit als hier beschreven wordt jaarlijks in verschillende zoete bekkens geconstateerd, onder andere in het Brielse Meer.

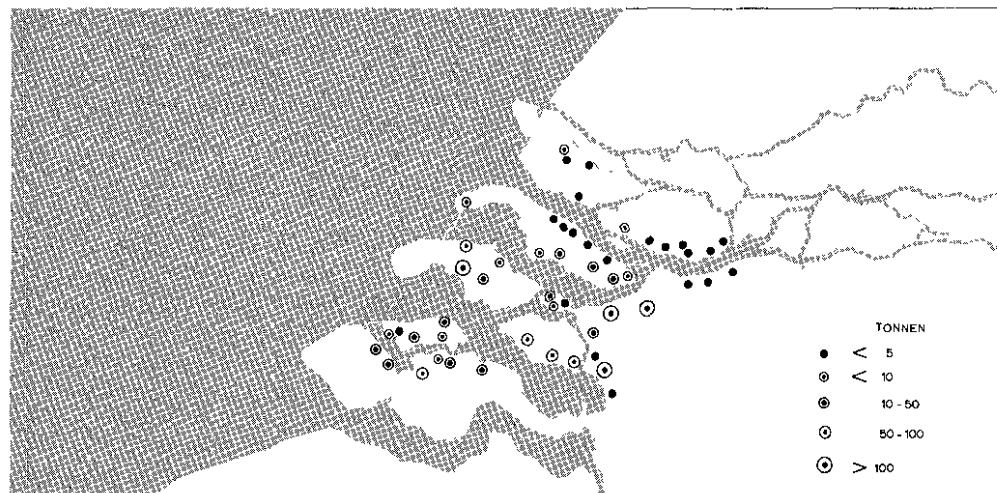
De waterbeweging in het bekken speelt een belangrijke rol in het proces van groei, afsterving en zuurstofconsumptie der algen. Is er een aanzienlijke verticale waterbeweging, dan wordt er telkens nieuw water met veel voedingsstoffen in de zone gebracht waar het zonlicht kan doordringen. Er worden dan veel algen geproduceerd, maar door de menging over de diepte leidt dat nauwelijks tot zichtbare verandering van de waterkwaliteit. Is de verticale beweging gering, dan worden de algen alleen gevormd in de bovenste waterlaag, de zogenaamde fotosynthetische zone, waar het zonlicht doordringt. De aan de oppervlakte geconcentreerde bloei leidt tot schuimvorming en het optreden van

Fig. 1. Meetpunten voor de waterkwaliteit in het Deltagebied

wordt in hoofdzaak veroorzaakt door de wind. Daardoor ontstaan winddriftstromen. Een andere belangrijke factor kan de spoelstroom zijn, wanneer het bekken wordt doorgespoeld. Van minder betekenis is de waterbeweging door temperatuurverschillen. Van groot belang voor de zuurstofhuishouding is ook het bezinkgedrag van de algen. Tijdens het bezinken van dood materiaal begint de afbraak reeds en daarbij wordt zuurstof gebruikt. Het onderzoek naar het bezinkgedrag is een gecombineerd hydraulisch-biologisch probleem.

Wil men excessieve algenbloei vermijden dan staan verschillende wegen open. Het doel kan bijvoorbeeld worden bereikt door verlaging van het voedingsstoffenniveau. Dit kan op verschillende manieren. Allereerst kan men de zijdelingse belastingen reduceren

Fig. 2. Bronnen van fosfaatbelasting in het Deltagebied



een doorzichtige groene kleur. Omdat algen voedingsstoffen consumeren, nemen de gehalten van deze stoffen af. Het is zelfs mogelijk, dat een essentiële voedingsstof volledig is opgebruikt en dus de verdere algenbloei stopt. Deze voedingsstof wordt dan beperkend genoemd voor de algengroei. Het komt ook voor, zoals in het Brielse Meer bleek, dat de algen zulke concentraties bereiken, dat het zonlicht minder diep kan doordringen. Dan wordt niet de uitputting van een stof maar de reductie van de fotosynthetische zone de beperkende factor voor de algenbloei. Anderzijds zal bij geringe verticale waterbeweging ook de toevoer van zuurstof vanuit de lucht naar het water en omgekeerd afnemen. Dat resulteert in sterke dagschommelingen van het zuurstofgehalte. De waterbeweging in een stagnant bekken

door zuivering of afleiding van het afval en polderwater. Uit figuur 2 blijkt, dat dit voor een aantal grote lozingen duidelijk soulaas kan bieden. Een andere mogelijkheid is het bekken regelmatig grondig door te spoelen. Hierdoor bereikt men, dat veel algen worden weggespoeld, zodat excessieve bloei op één plaats vermeden wordt. Een derde mogelijkheid is, de voedingsstoffen bij voorbaat te verwijderen uit het in te laten water. Dit kan gebeuren door een beperkende voedingsstof – in zoet water kan dat bijvoorbeeld fosfaat zijn – met behulp van een andere chemische stof te doen neerslaan en te laten bezinken. Defosfatering is voor dit doel op praktisch schaal beproefd in het Brielse Meer. De resultaten van deze proef, die uitvoerig beschreven wordt in Bericht 61 (augustus 1972), waren bemoedigend. Met name werd een

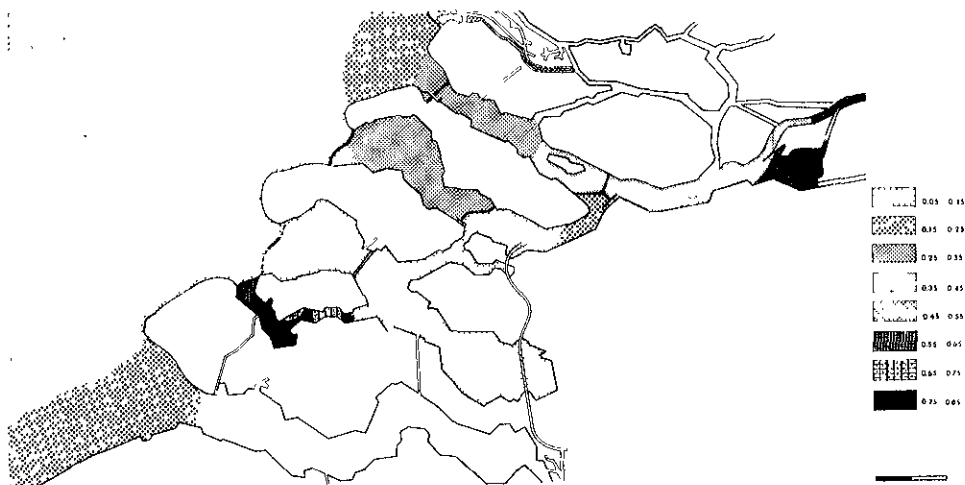


Fig. 3. Jaarlijks gemiddelde gehalten aan totaal-fosfaat op de bekkens van het Deltagebied

redelijke verlaging gevonden van het fosfaat-gehalte in het toeleidingskanaal naar het Brielse Meer (figuur 7). Het daar toegepaste procédé van defosfatering wordt thans onder meer geconditioneerde omstandigheden verder onderzocht, waarbij niet alleen de chemicaliën en de doseringshoeveelheden worden gevarieerd, maar ook het effect op de algengroei wordt nagegaan. Deze proeven, die worden uitgevoerd in samenwerking met het Rijksinstituut voor de Drinkwatervoorziening, spelen zich af in het drinkwaterspaarbekken 'De Grote Rug' bij Dordrecht.

Een probleem apart bij de reductie van het voedingsstoffenniveau is de uitwisseling van stoffen tussen water en bodem. Door bezinking worden stoffen naar de bodem toegevoerd. Als voorbeeld nemen we weer fosfaten die in dode algen zijn vastgelegd. In feite worden de ongewenste stoffen dus niet uit het bekken, maar alleen uit het water verwijderd. Ditzelfde geldt voor de neerslag die bij defosfatering wordt gevormd. Door allerlei processen in de bodem kunnen de fosfaten later weer vrijkomen en weer teruggevoerd worden naar het water. Dit geschiedt met name onder zuurstofloze omstandigheden. Men spreekt dan van 'interne fosfaatbelasting'. Over de omvang en de betekenis van dit verschijnsel is nog niet veel bekend. Er zijn twee mogelijkheden bekend om dit secundaire effect zo nodig te minimaliseren. Men kan allereerst de vervuilde sliblaag wegbaggeren en de specie op een ongevaarlijke plaats dumpen. Een andere mogelijkheid is het toedekken van de vervuilde bodem met schoon materiaal. Bij de defosfateringsproeven wordt thans ook onderzocht of er een stof gevonden kan worden, die de fosfaten zo

bindt dat ze na bezinking niet meer los kunnen komen

Alle mogelijkheden die men kent voor de terugdringing van het voedingsstoffenniveau worden in belangrijke mate begrensd door de beschikbaarheid en de kwaliteit van het in te laten water. Het kan zijn, dat er in perioden van droogte niet voldoende doorspoelwater beschikbaar is. In bekkens zoals het Haringvliet wordt de verblijftijd bepaald door het niet-beïnvloedbare afvoerregime van de Rijn. Bij hoge afvoeren wordt het bekken doorspoeld met als gevolg korte verblijftijden, bij lage afvoeren is de verblijftijd daarentegen lang. Bij sommige bekkens is het mogelijk alleen water in te laten als de kwaliteit goed is. De defosfateringskosten kunnen dan worden beperkt.

Deze voorbeelden geven een denkbeeld van

Fig. 4. Jaarschommeling van het nitraat-gehalte in het Veerse Meer en het Grevelingenmeer

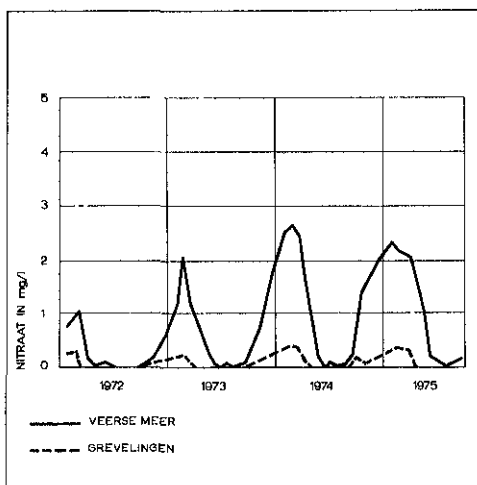
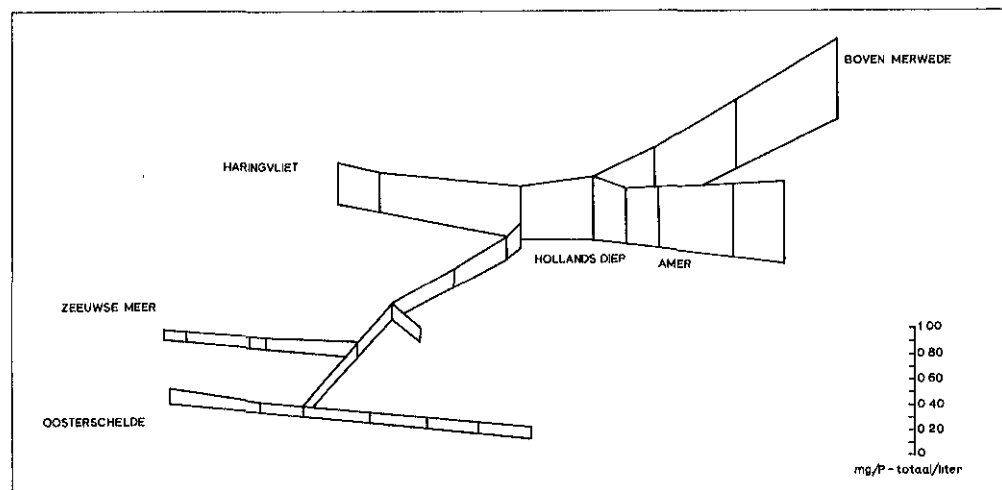


Fig. 5. Verloop van het gemiddelde gehalte aan totaal-fosfaat in het Hollands Diep/Haringvliet en op het Zeeuwse Meer



de nauwe samenhang die er bestaat tussen de waterhuishouding en de waterkwaliteit van de bekkens. Een beheersplan zal er in moeten slagen, de beide componenten te laten samenwerken.

Een ander probleem is het *zoutgehalte*. Voor een goede drinkwaterbereiding is een zoutgehalte gewenst van minder dan 200 mg chloride per liter. Flora en fauna eisen water van ongeveer hetzelfde chloridegehalte. De zoutlast op zoute bekkens kan afkomstig zijn van uitgeslagen brak polderwater, van zoute kwel uit de ondergrond en van zout water dat via schiepvaartsluizen het bekken binnenkomt. Om de zoutbelasting te bestrijden staan twee wegen open: men kan het brakke polderwater afleiden naar elders, bijvoorbeeld naar zee; of men kan het belaste bekken doorspoelen met zoet water, als er

tenminste voldoende water beschikbaar is. De *zuurstofhuishouding* is een volgend probleemveld in een zoet bekken. Als het zuurstofgehalte te laag wordt zullen waterorganismen als bodemdieren en vissen sterven. Een toestand van zuurstofloosheid versterkt bovendien de hiervoor beschreven omzettingprocessen van bodemfosfaten, waardoor extra fosfaatbelasting ontstaat. Zuurstoftoevoer vanuit de lucht wordt bevorderd naarmate grotere volumes water met de lucht in contact komen. Bij de fotosynthese produceren ook de algen zuurstof. Zuurstof wordt daarentegen verbruikt voor de levensprocessen van de organismen in het water; – ook de algen verbruiken tijdens de nacht, als de fotosynthese stilstaat, zuurstof – en bij omzettingprocessen van dode organische stof. Naarmate er meer organismen in het water

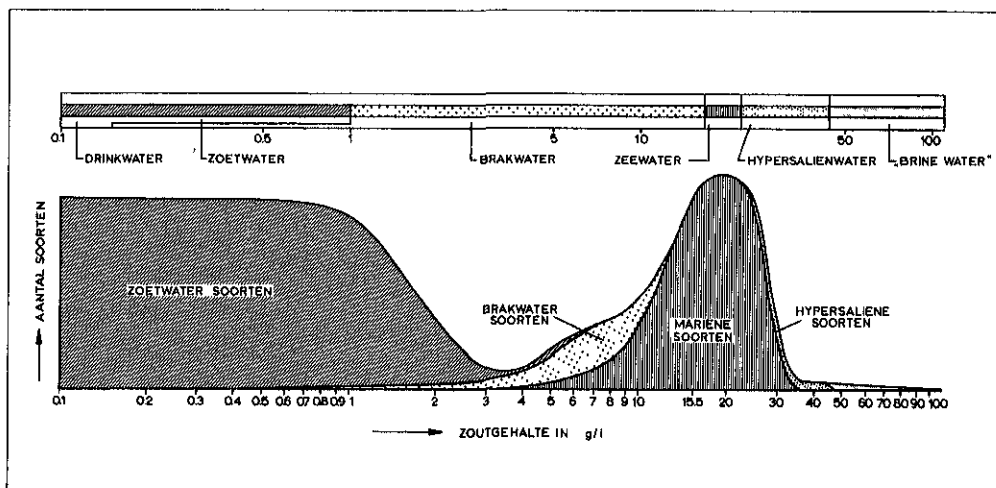


Fig. 6. De Kromme van Remane

aanwezig zijn en er meer dood organisch materiaal is, zal de zuurstofconsumptie groter zijn. De consumptie neemt nog toe als er extra hoeveelheden organische stoffen, afkomstig van huishoudelijk of industrieel afvalwater, worden geloosd op het bekken. Een goede zuurstofbalans kan worden bereikt door zuivering van het geloosde water en door beperking van de algenbloei.

De *hygiënische waterkwaliteit* kan worden bevorderd door het desinfecteren van lozingen en het terugdringen van de vervuiling door recreanten.

In sommige zoete meren waarin zeer diepe gedeelten voorkomen, doet zich een specifiek probleem voor en wel het verschijnsel van stratificatie (Zie Bericht 69, augustus 1974). Stratificatie komt tot stand doordat de bovenste waterlagen in de zomer meer verwarmd

worden. De toegevoerde warmte wordt in de bovenlagen goed gemengd, tot die diepte waar de invloed van de wind reikt. Daarbeneden is de warmtetoevoer klein. Het zwaardere koudere water ligt opgesloten in de diepere delen van het meer: er ontstaat een temperatuurgelaagdheid van een warme bovenlaag en een koude onderlaag, gescheiden door een scherpe begrenzing, de zogenaamde spronglaag. Dit tweelagensysteem wisselt onderling zeer weinig uit. Er is bijvoorbeeld in de diepere laag nauwelijks zuurstoftoevoer, maar wel zuurstofverbruik vanwege de rottingsprocessen van organisch materiaal die er optreden.

Het diepe water wordt dan ook al gauw zuurstofloos, met alle gevolgen van dien: allerlei voedingsstoffen worden verhevigd vrijgemaakt, terwijl de rottingsprocessen van organisch materiaal onder zuurstofloze omstandigheden bovendien anders verlopen, zodat onder andere het giftige en stinkende zwavelwaterstof wordt gevormd. In het najaar koelt het water in de bovenlaag weer af en wordt de stratificatie opgeheven. De kwalijke stoffen uit de onderlaag kunnen zich dan in het meerwater verspreiden.

Onder normale omstandigheden is het effect van de stratificatie in de diepe delen van het meer gering, omdat het oppervlak waarover de stratificatie kan optreden ten opzichte van het gehele oppervlak van de meerbodem klein is en ook het volume water dat bij stratificatie is betrokken, gering is in vergelijking met de meer-inhoud.

Wanneer echter in de omgeving van dergelijke diepe delen een geconcentreerde zoutbelasting plaatsvindt, kan het zwaardere zoute water zich eveneens in de diepere delen gaan

verzamelen. Er ontstaat dan een zoutgelaagdheid, die veel moeilijker op te heffen is dan de temperatuurstratificatie of anders gezegd veel stabiel is, maar overigens dezelfde gevolgen heeft.

Het is van belang na te gaan waar in de verschillende Deltabekkens zulke gestratificeerde gedeelten kunnen ontstaan. Boven is reeds gesteld dat de wind hierbij een belangrijke rol speelt. De wind wekt driftstromen en golven op. Beide veroorzaken menging van de bovenste waterlagen. Het gaat er nu om vast te stellen hoe dik deze laag is in relatie tot de windkracht- en richting. Het is overigens technisch zeer wel uitvoerbaar, zo'n stratificatie op te heffen. In Bericht 65 (augustus 1973) is reeds beschreven welke methode hierbij kan worden toegepast. Het inblazen van luchtbellen in de

onderlaag bleek een effectief middel om de stratificatie te doen verdwijnen.

Zoete bekkens hebben ook te lijden onder een belasting met *gifstoffen*. De meest in het oog springende zijn de zware metalen, pesticiden en de nog nader te bespreken toxinen, die bijvoorbeeld botulisme veroorzaken. Er is nog weinig duidelijkheid over de uitwerking van deze stoffen op de verschillende soorten organismen in het water en op de bodem.

Sommige diersoorten zijn gevoelig voor bepaalde zware metalen maar ongevoelig voor andere. Ook is er weinig zekerheid over de concentraties van gifstoffen waarbij geen, duidelijke of belangrijke schade aan organismen optreedt.

Een belangrijke complicatie vormt het feit, dat sommige organismen gifstoffen kunnen verzamelen in hun weefsel zonder daar zelf

Fig. 7. Fosfaatgehalte in het Brielse Meer zonder en met defosfatering

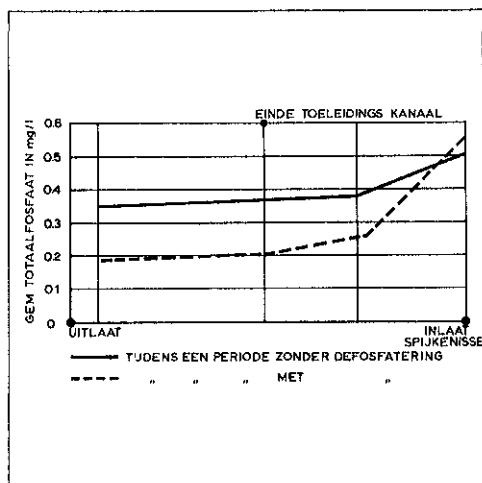
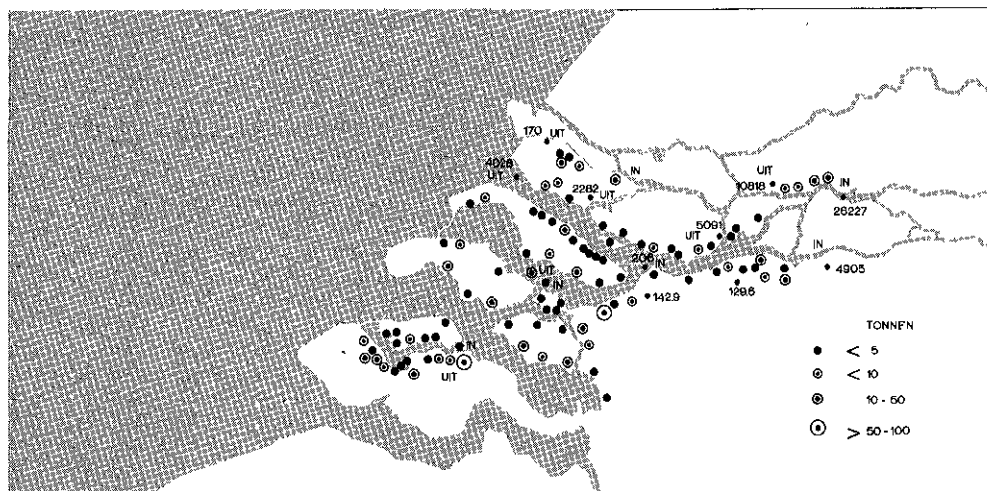
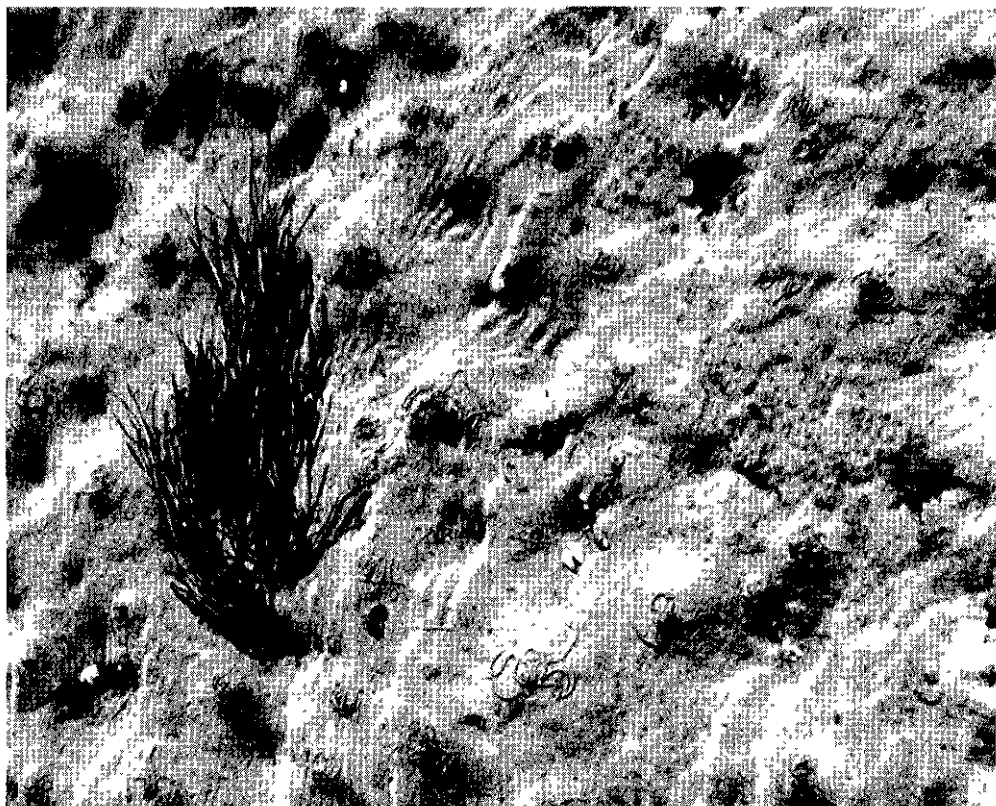


Fig. 8. Zoutuitslag van poldergemalen in het Deltagebied





direct last van te hebben. Dit geldt met name voor pesticiden. Worden dergelijke organismen door andere opgegeten, dan kunnen hoge concentraties gifstoffen worden overgedragen, met wel degelijk schadelijk gevolg. Naar deze ecologische effecten wordt in opdracht van de Rijkswaterstaat onderzoek verricht door de Biologische Afdeling van TNO. Hierbij wordt voorlopig een aantal representatieve organismensoorten bestudeerd voor wat betreft hun reactie op zware metalen. Zware metalen kunnen voorkomen opgelost in het water, en in fijn verdeelde toestand gehecht aan zwevende slibdeeltjes. De grotere slibdeeltjes kunnen bezinken in gebieden waar het water langzaam stroomt. Met de slibdeeltjes worden dan ook de aangehechte stoffen naar de bodem gevoerd. Dit kan tot gevolg hebben, dat de concentratie in het water afneemt. Bij zware metalen is het zo, dat aan de fijnste slibdeeltjes de hoogste concentraties metalen gehecht kunnen worden. Zulke fijne deeltjes – men denke aan een grootte van $1/1000$ mm – bezinken bijna niet, maar worden wel door zoetwatermosselen en andere organismen die water filtreren, met het voedsel opge-

Zeepierehoopjes en zeegras op een ondiepe bodem onder water

nomen; en zo kunnen ze deze diersoorten beïnvloeden. Figuur 10 geeft de gemeten gehalten aan zware metalen in het water en de bodem in het traject Nieuwe Merwede/Hollands Diep/Haringvliet. Na afsluiting van het Haringvliet is door de verlaging van de stroomsnelheden een belangrijke sedimentatie van zand en slib opgetreden in het traject Nieuwe Merwede/Hollands Diep. Uit de metingen blijkt, dat sommige opgeloste zware metalen zoals arseen in het gehele beschouwde traject even sterk voorkomen. Andere nemen in zeewaartse richting af, sommige, zoals zink, door bezinking, andere, zoals kwik, door verdamping. Ook in de bodem nemen de gehalten af in zeewaartse richting. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de Haringvlietbodem vóór de afsluiting relatief lage zware-metaalgehalten

had. Na de afsluiting is in het oostelijke deel van het bekken, op het traject Nieuwe Merwede/Hollands Diep, zwaar belast Rijslib afgezet. Deze afzetting heeft zich nog niet over het gehele Haringvliet uitgestrekt; maar in de toekomst zal dit wel gebeuren.

De laatste gegevens wijzen reeds in deze richting. Wat is namelijk het geval? Bij hoge rivierafvoeren bezinkt het door de rivier aangevoerde slib niet of nauwelijks op het traject Merwede/Hollands Diep; het wordt meegenomen naar het Haringvlietbekken. Zelfs kan in de Merwede slib geërodeerd worden.

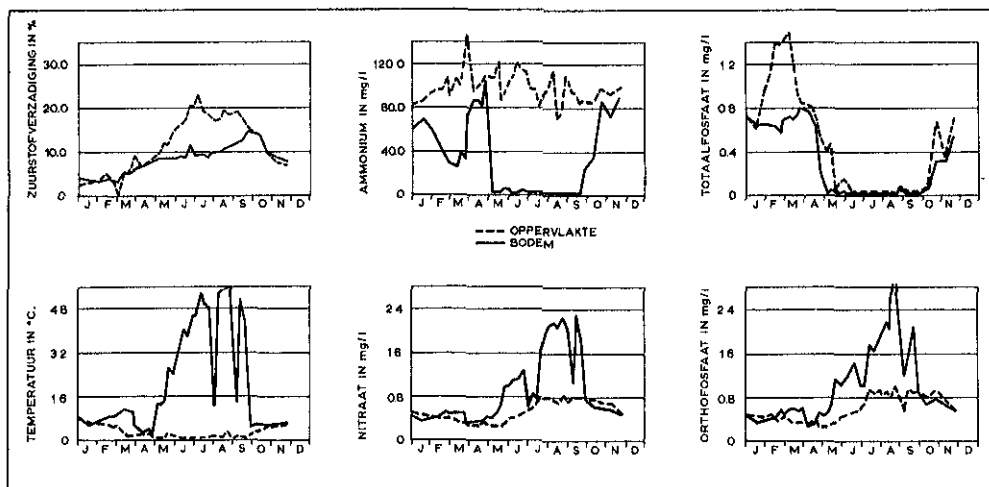
In het Haringvliet echter staat het water ook bij hoge rivierafvoeren elke dag minstens 12 uur geheel stil, namelijk als het op zee hoge vloed is, en er geen water gespuid kan worden. In die periode kan het slib op het Haringvliet bezinken. Het onderzoek naar de zware-metaalgehalten in het fijn verdeelde zwevende slib en in het bodemslib wordt in opdracht van de Rijkswaterstaat verricht door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid en het Waterloopkundig Laboratorium.

Eenmaal afgezet kunnen de zware metalen in de bodem allerlei veranderingen ondergaan. Vlak onder het bodemoppervlak blijkt het slib zuurstofloos te worden. Dit is een gevolg van het feit dat de zuurstoftoevoer uit het boven-

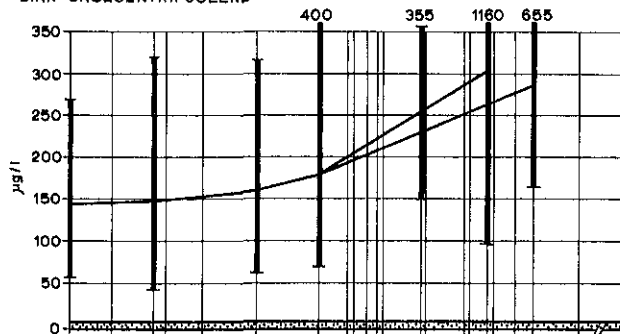
staande water gering is, terwijl anderzijds de omzetting van organische stof in het slib veel zuurstof vergt. Onder zuurstofloze omstandigheden kunnen de bindingen waarmee de zware metalen deeltjes aan het slib gehecht zijn, worden verbroken. De zware metalen komen dan weer vrij en worden toegevoegd aan het poriënwater dat zich tussen de slibdeeltjes bevindt. Dit proces wordt mobilisatie genoemd. In het poriënwater kunnen dan hoge concentraties aan zware metalen ontstaan, zoals uit een recent onderzoek van het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee is gebleken.

Bodemdieren en met name slijkvreter kunnen hierdoor met relatief hoge gehalten aan zware metalen in aanraking komen. Of dit ecologische consequenties heeft, wordt ook door de Biologische Afdeling van TNO onderzocht. Wanneer bodemslib wordt geërodeerd of weggebaggerd, kan het poriënwater met zware metalen weer in het bekkenwater terecht komen. De geërodeerde of gebaggerde bodem verliest dan zware metalen, maar die komen weer in het bekkenwater terecht, kunnen weer aangehecht worden aan het fijne slib en elders weer worden afgezet. De metalen blijven dus circuleren in het systeem. Omtrent deze loskoppelingsprocessen, die overigens niet alleen bij zware metalen, maar ook bij fosfaten een rol spelen, wordt door de Afdeling Milieu-Onderzoek thans een uitgebreid onderzoeksprogramma uitgevoerd, in samenwerking met het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, het Waterloopkundig Laboratorium, de Technische Hogeschool Twente, Afdeling Chemische Technologie, de Rijksuniversiteit te Utrecht, Vakgroep Geochemie, en tenslotte het Rijks Instituut

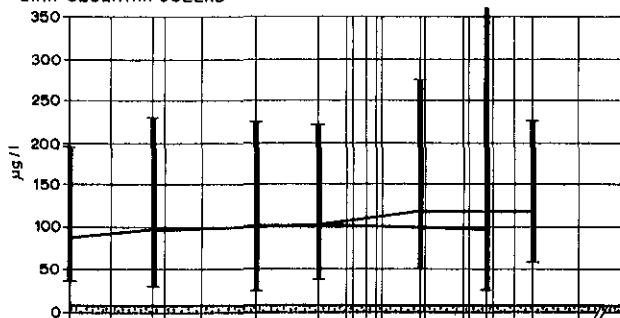
Fig. 9. Temperatuurgelaagdheid in een diepe put in het Veeze Meer en de gevolgen daarvan voor de waterkwaliteit



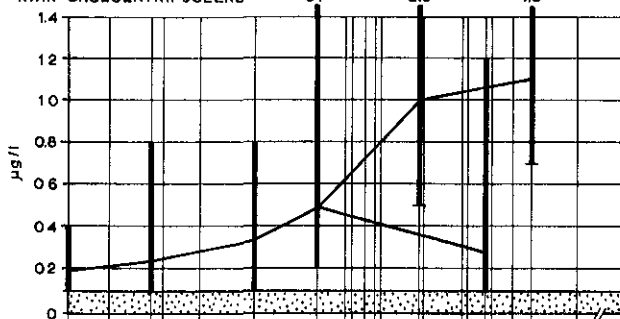
ZINK ONGECENTRIFUGEERD



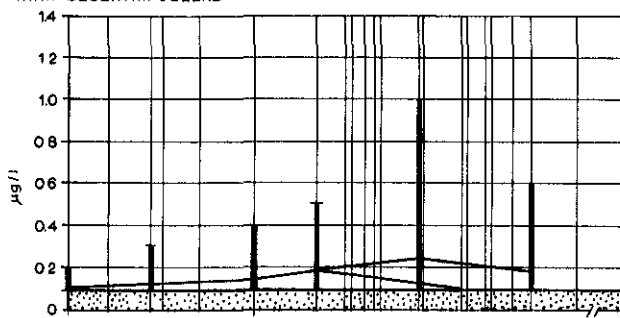
ZINK GECENTRIFUGEERD



KWIK ONGECENTRIFUGEERD



KWIK GECENTRIFUGEERD



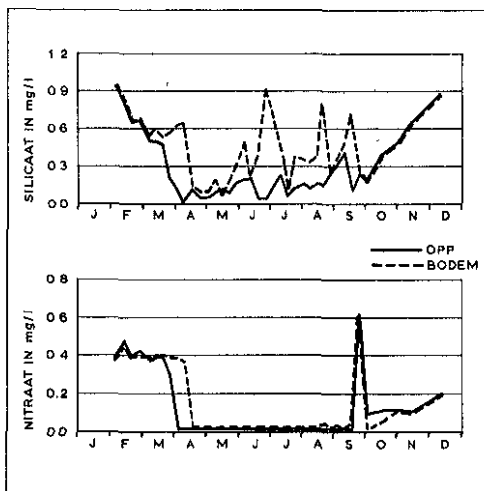
HARINGVLIET-SLUIZEN

VOLKERAKSLUIZEN

BENEDEN MERWEDE

Fig. 10. Gehalte aan zware metalen op het traject Hollands Diep/Haringvliet in respectievelijk natuurlijk en afgecentrifugeerd water, waaruit het slib verwijderd is

Fig. 11. Verloop van het gehalte aan silicaat en nitraat in het Grevelingenmeer gedurende het jaar 1974



voor de Zuivering van Afvalwater. Bestrijding van de gifstoffen kan allereerst gevonden worden in verbod of beperking van de lozing ervan. Blijkens het eerder genoemde Indicatief Meerjaren Programma is het Nederlandse beleid op verboden gericht. Onderwerp van studie is ook, op welke wijze de reeds in de bekken opgeslagen zware metalen eruit verwijderd kunnen worden als dat noodzakelijk mocht blijken. In dit verband is het van belang te weten welke verdunningen er optreden wanneer de zware metalen vanuit de bodem aan het bekkenwater worden toegevoegd. In zoete bekken moet ook aandacht worden geschonken aan de *sport- en de beroepsvisserij*. De visstand in een zoet bekken wordt in belangrijke mate beïnvloed door de waterkwaliteit: – zuurstofgehalte, zoutgehalte, gehalte aan gifstoffen, hygiënische situatie – en het voedselbestand voor vissen: plankton, bodemdieren en dergelijke. In een bekken kunnen zich ook *calamiteiten* voordoen. Olie en gifstoffen kunnen door scheepsbotsingen of door ongelukken op het aangrenzende land die een onvrijwillige en onverwachte afvloeï van stoffen veroorzaken, in het water terecht komen. Dergelijke calamiteiten hebben mogelijk grote gevolgen voor het aquatisch systeem. Er kan een ernstige ontregeling optreden, waarvan de invloed nog lang merkbaar blijft. Er kan veel gedaan worden om de effecten van zulke rampen reeds bij voorbaat zo veel mogelijk te beperken. Men denke aan inventarisatie van de mogelijke gevarengedieden en gevaarlijke stoffen, het vooraf organiseren van bestrijdingsplannen en van de benodigde materialen en mankracht. Opgemerkt wordt, dat inperking

van het werkingsgebied van calamiteiten eenvoudiger is in stilstaand, dan in stromend water.

Een specifiek probleem van relatief korte duur, maar wel van groot belang voor het bekkenbeheer is de wijze van *ontziltting* van een oorspronkelijk zout getijdebekken zodat het een zoet stagnant bekken wordt. Dit probleem zal zich bijvoorbeeld aandienen bij een eventueel zoet Oostmeer of een zoet Zeeuwse Meer of indien men de Grevelingen of het Veerse Meer zoet zou willen maken. Ontziltting kan slechts geschieden door het zoute water uit te spoelen middels de invoer van zoet water. Dit roept een serie problemen op die deels van waterhuishoudkundige, deels van waterloopkundige en deels van milieukundige aard zijn.

Het spoelwater zal afkomstig moeten zijn uit het Noordelijk Deltabekken. De vraag is of dit bekken op de gewenste tijdstippen wel voldoende water kan leveren. In diepe delen van het te ontzilten bekken zal het zwaardere zoute water moeilijk langs natuurlijke weg te verwijderen zijn. Er zal daar een stabiele zout-zoet-stratificatie kunnen ontstaan, met de in het voorgaande beschreven gevolgen. Waar en op welke diepten zoutwaterresten verwacht kunnen worden, zal waterloopkundig onderzoek moeten uitwijzen. Dit geldt ook voor de manier waarop zulke zoutwaterresten ten slotte toch verwijderd kunnen worden. Met de invoer van het zoete water zullen de zoutminnende organismen afsterven; tijdelijk ontstaat er een groot quantum dood organisch materiaal, dat een grote aanslag doet op de zuurstofhuishouding. Uitgebreide studies zijn daarom nodig om de optimale wijze van ontziltting te vinden.

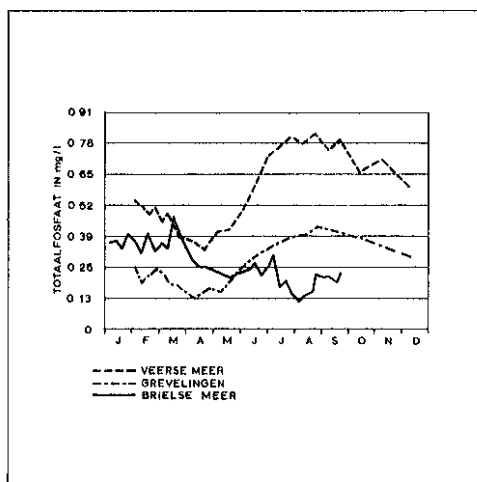


Fig. 12. Verloop van het fosfaatgehalte in het Veerse Meer, de Grevelingen en het Brielse Meer in 1974

Fig. 13. Gehalten aan nitraat ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$) in de Oosterschelde en de Grevelingen over de periode 1972-1975

Fig. 14. Verloop van het nitraat-, het ammoniak- en het zoutgehalte op het traject Volkerak/Oosterschelde in het eerste kwartaal van 1974

Stagnante zoute bekkens

Nu we zo uitgebreid op de problematiek van stagnante zoete bekkens zijn ingegaan kan de behandeling van de twee andere typen korter zijn, omdat de problemen in vele opzichten analoog zijn.

Een opvallend verschil met zoete bekkens is te vinden in de relatie tussen de algengroei en het voedingsstoffenniveau. Als in een zout bekken de algengroei begint, worden de aanwezige hoeveelheden nitraat en silicium snel opgebruikt. Deze stoffen worden dan beperkend voor verdere algengroei. De concentratie aan fosfaat speelt dus geen rol. Dit verschijnsel is terug te voeren tot het feit dat in zoute bekkens andere algensoorten voorkomen met een andere voedingsstoffen-behoefte. In zoute stagnante bekkens zijn er dan ook geen grote problemen met de algenpopulatie. Excessieve groei kan er gemakkelijker vermeden worden dan in zoete bekkens. Fosfaatverwijdering heeft in deze bekkens geen zin, ook al stijgt het fosfaatgehalte in de zomer soms aanzienlijk. (figuur 12). Opmerkelijk is dat de fosfaatgehalten in het Veerse Meer en het Grevelingenmeer belangrijk hoger zijn dan in het zoete Brielse Meer, waar wel excessieve algenbloei voorkomt. Het beheer zal erop gericht zijn te zorgen dat deze gunstige situatie wordt bevorderd. Van groot belang voor de levensgemeenschap is de regulering van het zoutgehalte. Uit de Kromme van Remane blijkt, dat een grote soortenrijkdom aan organismen als voorwaarde een hoog zoutgehalte heeft, boven de 15,5 g Cl/liter.

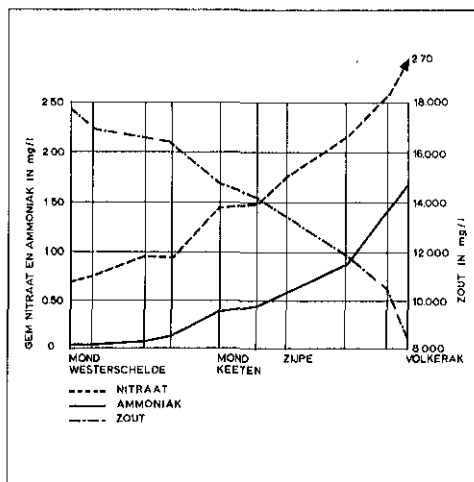
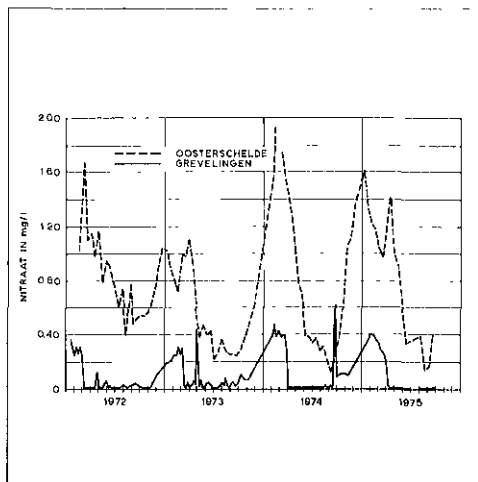
Onder natuurlijke omstandigheden zou een stagnant zout meer op den duur verzoeten

door regen en afvloeiing van zoet water vanuit de randen, zoals polderuitslag en lozingen. Wil men een hoog zoutgehalte handhaven dan is doorspoelen met zeewater noodzakelijk. Voor de doorspoeling van het Grevelingenmeer wordt een doorlaatwerk in de Brouwersdam gebouwd. Overigens is dit doorlaatwerk ook als spui-inrichting ontworpen, zodat er eventueel ook water vanuit het Grevelingenmeer naar zee kan worden afgelaten. Doorspoeling heeft tot gevolg dat de verblijftijd van het water in het bekken geringer wordt en dit heeft beneden een zekere grenswaarde ongunstige gevolgen voor de levensgemeenschap.

Anderzijds komen met het spoelwater ook veel organismen uit zee het bekken binnen, hetgeen positieve gevolgen kan hebben voor de levensgemeenschap.

In het Veerse Meer en het Grevelingenmeer zijn de gehalten aan gifstoffen zowel in het water als in de bodem zeer laag, bijna even laag als in het getijgebied van de Oosterschelde. Dat komt omdat deze bekkens er slechts in geringe mate mee belast worden. Het is echter wel zaak deze gunstige situatie te handhaven en met name de kwaliteit van de polder- en afvalwaterlozingen in dit opzicht nauwlettend te volgen. Evenals in zoete bekkens kan in zoute bekkens in diepe delen temperatuur-stratificatie optreden. De effecten zijn in wezen dezelfde en de te nemen maatregelen navenant. Ditzelfde geldt voor de hygiënische waterkwaliteit en de calamiteitenbestrijding.

De visfauna in een stagnant zout bekken, dat praktisch van de zee is afgesloten, is arm. Voor beroeps- en sportvisserij aantrekkelijke soorten blijken zich in zo'n bekken niet voort



te planten. Mogelijk dat met een in te stellen zoute spoelstroom vislarven uit de Noordzee naar de bekkens meegevoerd kunnen worden. Of dat kwantitatief iets te betekenen zal hebben, dient echter te worden afgewacht. Zodra de sluis in de Brouwersdam in werking kan treden, zal dit moeten blijken.

Uit het bovenstaande kan worden afgeleid dat een goed beheersplan voor zoute stagnante bekkens, waarin met alle bovengenoemde aspecten rekening wordt gehouden, geen onoverkomelijke problemen zal opleveren. Met de bestaande kennis kan een beheersplan worden opgezet met de redelijke zekerheid dat een goede waterkwaliteit kan worden verkregen.

Zoute getijbekkens

Evenals in zoute stagnante wateren is in zoute getijbekkens het nitraat- en siliciumgehalte in het water maatgevend voor de algengroei. Blijkens fig. 13 dalen de nitraatgehaltes zowel in de Oosterschelde als in het Grevelingenmeer in het voorjaar tengevolge van de dan optredende algenvloei. Het nitraat kan dan een beperkende voedingsstof worden. De intense waterbeweging in een getijdebekken is er de oorzaak van dat alleen zeer krachtige impulsen van buiten het systeem het regiem van het getijdebekken kunnen verstoren. Kleine lokale beïnvloedingen, bijvoorbeeld polderwaterlozingen, worden snel verdund en beïnvloeden het gehele systeem niet. Een grote externe impuls is bijvoorbeeld een zoetwaterbelasting zoals door de Volkeraken de Kreekraksluizen of eventueel in de toekomst door de sluizen in de Philips- en Oosterdam wordt geleverd. Deze zoetlast kan

zo groot worden, dat er in uitgestrekte gebieden een merkbare verlaging van het zoutgehalte optreedt, terwijl ook de toevoer van voedingsstoffen aanwijsbaar is. Dit wordt geïllustreerd in figuur 14, waaruit het effect van de zoetwaterlast via de Volkeraksluizen duidelijk blijkt, alsook de uitgestrektheid van deze beïnvloeding. Zo'n verschijnsel behoeft niet negatief te worden beoordeeld, als het gehele systeem er maar geen schade van ondervindt. Bij de prognoses dienaangaande kan het waterloopkundig onderzoek een belangrijke rol spelen, vanwege de overheersende rol van de waterbeweging en van allerlei mengingsprocessen.

Over de Oosterschelde zijn tot nu toe geen negatieve berichten ontvangen wat betreft de gifstoffenniveaus in water en bodem, of ten aanzien van de milieuhygiënische waterkwaliteit en het voedingsstoffenniveau. Bij demping van het getij, stel met ongeveer de helft, wordt de situatie belangrijk gewijzigd. De stroomsnelheden zullen zeker verminderen, hetgeen het effect van de lokale beïnvloedingen vergroot. Vermindering van de stroomsnelheden betekent ook dat er meer materiaal zal bezinken. Het water zal helderder worden, de fotosynthetische laag dikker, en dus zal de algengroei toenemen. Op de bodem zal sedimentatie optreden. Van de mate waarin dat gebeurt, zal afhangen of dat verschijnsel positief of negatief moet worden beoordeeld. Al de genoemde problemen en vooral de uitwerking ervan op de levensgemeenschappen, zijn slechts zeer globaal verkend. Ze zijn thans nog geenszins adequaat bestudeerd, waardoor uitspraken over de mogelijke gevolgen van de instelling van een gedempt getij een speculatief karakter hebben.

De Afdeling Milieu-onderzoek houdt zich voornamelijk bezig met terrestrische ecosystemen die direct grenzen aan aquatische milieus, en die dan ook in meer of mindere mate door die milieus worden beïnvloed, zoals ze omgekeerd ook een zekere uitwerking hebben op het aangrenzende water. Het terrestrisch milieu wordt niet, zoals het aquatische, vrijwel geheel aan het oog van de mens onttrokken. De mens maakt er meer direct deel van uit, en het heeft voor hem een grotere beleevingswaarde. Aan de ontwikkeling van dit milieu moet dan ook grote aandacht worden besteed.

Gedurende de lange wordingsgeschiedenis van Z.W.-Nederland, bepaald door mens en natuur samen, is een grote verscheidenheid aan landschappen ontstaan, terwijl het gebied als geheel toch een uitgesproken eigen karakter verkreeg.

Dit komt onder meer tot uiting in het landschapsbeeld, dat wordt beheerst door enerzijds het bedijkte land en anderzijds de getijwateren, een twee-eenheid die men het sterkst ervaart langs de oevers, waar land en water elkaar ontmoeten. Sommige delen – steden en industriegebieden – zijn door menselijk ingrijpen zo sterk veranderd, dat het natuurlijk element praktisch verdween.

In andere delen is de natuur daarentegen nog steeds aspect-bepalend. Dat laatste geldt vooral voor duinen en buitendijkse gronden. Door de uitvoering van de Deltawerken zal het landschap van Zuid-West-Nederland, dat vroeger als geheel gekenmerkt kon worden als een getijde-landschap, veranderen in een landschap waarin eb en vloed veel minder domineren. Poldergebieden en grote semi-stagnante zoute of zoete meren

zullen het beeld bepalen naast geheel of deels intact gebleven zoute zee-armen.

De veranderingen laten zich het meest onmiddellijk gevoelen in de afgesloten zee-armen, terwijl de duinen en het oude polderland veeleer indirect zullen worden beïnvloed. Ook in het gebied vóór de deltadammen, de voor-delta genoemd, zullen zich belangrijke veranderingen voordoen.

In de afgesloten zee-armen komen grote gebieden permanent droog te liggen, die onderling echter sterk in karakter verschillen: oude zandplaten, flauw hellende oeverlanden, voormalige slikken en schorren, oude duinen en pas opgespoten terreinen.

Aan deze gebieden zullen van plaats tot plaats verschillende bestemmingen kunnen worden gegeven. Het gebied als geheel zal vele functies kunnen vervullen. Ervan uitgaande dat de onderdelen het grotere geheel bepalen en diens volgorde een zekere onderlinge relatie hebben, dienen zowel de inrichting als het beheer gebaseerd te zijn op een ruimtelijk totaalplan waarin een uitspraak wordt gedaan over de primaire functies die het gebied zal dienen te vervullen.

Het centrale deel van het Deltagebied zal, voor zover het zich thans laat aanzien, worden bestemd tot recreatie- en natuurgebied. Het ligt voor de hand bij het toekennen van bestemmingen en bij de daarop volgende inrichting zoveel mogelijk uit te gaan van de mogelijkheden van het landschap zelf. Nieuwe mogelijkheden moeten optimaal benut worden. Waar mogelijk zal men daarbij de patronen, processen en waarden van het oude systeem pogen te handhaven, echter niet tot elke prijs. De verdeling van de ruimte voor natuur- en recreatie-functies vormt op zich al een pro-

bleem. Soms zal men bepaalde gebieden exclusief willen bestemmen ofwel voor recreatie ofwel als natuurgebied. Maar in vele andere gevallen kan men komen tot integratie van beide, omdat er een grote verscheidenheid aan milieu-typen en ontwikkelingsmogelijkheden aanwezig is. Dan kan er een harmonie tot stand gebracht worden, die aan de mens voldoende ontplooiingsruimte geeft, zonder dat aan de ontwikkeling van de natuurmogelijkheden tekort wordt gedaan. In het algemeen is het verstandig bij de opzet van inrichtingsplannen te streven naar een zelfregulerend en divers systeem, waarin bijsturen meer uitzondering dan regel is. Dit kan het best gerealiseerd worden door waar mogelijk spontane ontwikkeling toe te laten, en zo min mogelijk in te grijpen. Dit houdt tevens in dat een hoge mate van natuurlijk-

heid verwacht mag worden. Wel moet worden opgemerkt dat een soortenrijk systeem niet per se stabiel is. Eerder is het zo, dat een stabiel systeem veel soorten kan herbergen. Nodig voor de inrichting van gebieden op de bovenomschreven manier is een adequaat inzicht in de aard en verscheidenheid van de afgesloten estuaria als geheel en van de onderdelen ervan, en in de ontwikkelingsmogelijkheden van ieder deel. Daarbij moet men zich afvragen welke de kenmerken van het landschap zijn, hoe zij zijn ontstaan en hoe zij zich in de nieuwe situatie zullen ontwikkelen.

Het blijkt al dadelijk dat verschillende kenmerken van een landschap niet los van elkaar staan, maar onderling sterk samenhangen: welke vogelsoorten er voorkomen hangt onder meer af van de bodem-

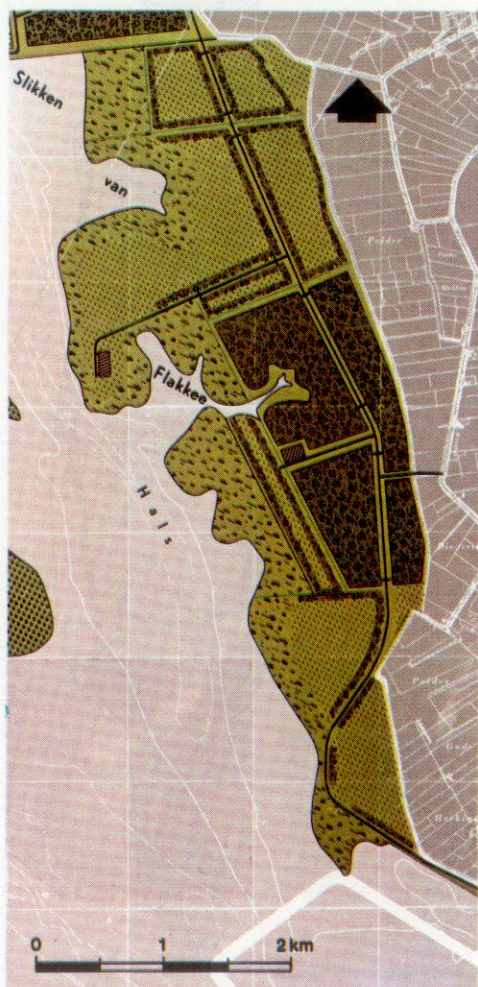


Fig. 1a. Slikken van Flakkee. Fragment van de inrichtingschets 1975. Vergelijk deze schets met de kaarten op de volgende bladzijden

gesteldheid en van de vegetatie; de vegetatie wordt beïnvloed door de bodemsamenstelling, en deze varieert weer met het reliëf; bodemsamenstelling en reliëf beïnvloeden de vocht-huishouding in de bodem, en zo verder. Men zal van een bepaald landschapsonderdeel dus zowel de kenmerken als ook de relatie tussen de kenmerken moeten kennen. Het landschapsoecologisch onderzoek, dat al de genoemde aspecten in samenhang zoekt te beschrijven en te waarderen, heeft zich vooral geconcentreerd op de inventarisatie van de door de Deltawerken beïnvloede milieus. Zo zijn in samenwerking met vele andere instellingen en instituten landschapsoecologische inventarisaties gemaakt van de volgende gebieden: het Grevelingenmeer (vanaf 1972), de Oosterschelde (vanaf 1973), het duingebied van Goeree, Schouwen en Walcheren (vanaf 1973),

Fig. 1b en c. Slikken van Flakkee. Integratiekaart volgens grote landschapsecologische eenheden (b) en volgens de inrichtingsschets 1967 (c). (Gegevens uit de rapporten van de commissie inrichting Deltawateren, 1967 en van de werkgroep herziene inrichtingsschets Grevelingenbekken, 1975.)

LEGENDA

WATER

VOORMALIG SLIK

ZANDDEPOT

VOORMALIG SCHOR

DIJKLICHAAM



(MEER) ONDIEPE VOOROEVER



OEVERZONE



GEULEN EN PRIEFLEN



VLAK SLIK, RELATIEF LAAG



VLAK SLIK, RELATIEF HOOG



INGEZAARD DEEL, HOOG



DUINTJES EN PRIMAIR SCHOR



RESTEN VAN ZANDDEPOT



JONG, SCHORRAND



MIDDENSCHOR, KOMMEN, KREKEN



OUD HOOG VOORMALIG SCHOR



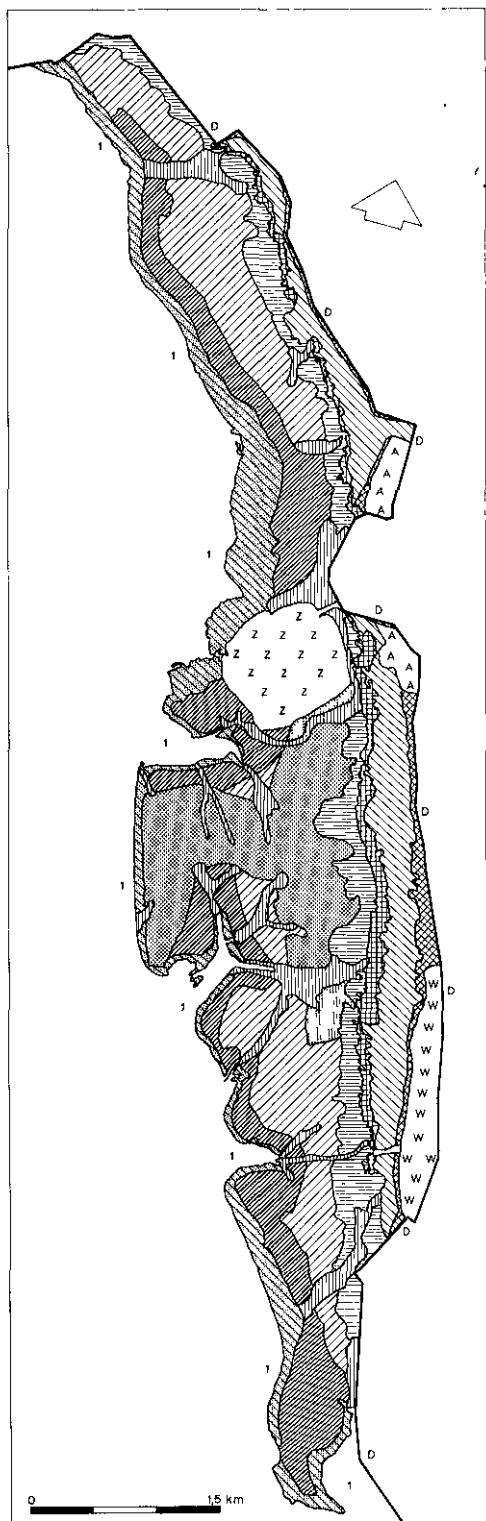
AKKER (BEKAAD)



WEIDE (BEKAAD)



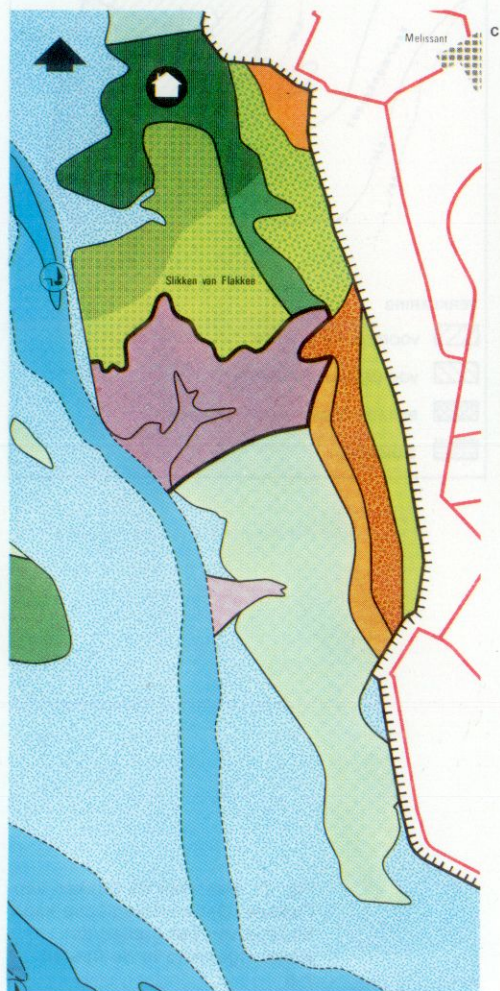
DIJKLICHAAM



het Hollands Diep en Haringvliet (vanaf 1973), De Biesbosch (vanaf 1972), de voordelta (vanaf 1975) en een aantal oude maar vergelijkbare natuurlijke gebieden in Zeeland, zoals verlande kreek-systemen en inlagen (vanaf 1974). Bij deze studies werd nauw samengewerkt met de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, het Staatsbosbeheer, het Rijks Instituut voor Natuurbeheer, het Geografisch Instituut van de Rijksuniversiteit te Utrecht en de Afdeling Bodemkunde en Landschapsarchitectuur van de Landbouw Hogeschool te Wageningen. Bij deze studies wordt gestreefd naar het verkrijgen van een zo groot mogelijk inzicht in de oecologische structuur en functie van landschappen door middel van geïntegreerd onderzoek zowel naar patroon als proces. De landschappen worden geïnventariseerd,

getypeerd en geëvalueerd. Het verworven inzicht wordt ten dienste gesteld aan verantwoorde natuurbouw en verantwoord milieubeheer, en de concrete resultaten toe-
pasbaar gemaakt voor de inrichting en het beheer van de ruimte, met name voor wat betreft het behoud, de bouw en de ontwikkeling van landschappen.

Om criteria aan te dragen waarop de inrichting kan worden gebaseerd, moet eerst worden nagegaan welke mogelijkheden een gebied heeft. Inzicht daarin wordt in eerste instantie verkregen door onderzoek naar de huidige ruimtelijke variatie in het landschap. Aanvankelijk beperkte dit landschapsoecologisch onderzoek zich tot de Slikken van Flakkee, grenzend aan Goeree-Overflakkee. In een later stadium is het onderzoek uitgebreid over het gehele Grevelingenmeer en



- | | |
|---|---|
|  | diepte 10 m beneden N.A.P. |
|  | diepte 20 m beneden N.A.P. |
|  | diepte 2,5 m beneden N.A.P. met hoge biomassa-productie |
|  | vlak overspoelingsgebied met korte vegetatie |
|  | overgang struweel naar grassige vegetatie |
|  | structuurrijk bos en struweel |
|  | parklandschap ontstaan door beweiding |
|  | parklandschap (aan te leggen) |
|  | natuurbouwgebied |
|  | geomorfologisch waardevolle geulen |
|  | geomorfologisch waardevolle geulen en omgeving, striktreservaat |
|  | grasland met normale beweiding |
|  | akkerbouw |

de Oosterschelde, en vanwege de vele belangen en activiteiten van de Rijkswaterstaat in de duingebieden, ook tot de duinen van Goeree, Schouwen en Walcheren. Het landschapsoecologisch onderzoek in het gebied van Hollands Diep en Haringvliet is nog in het stadium van voorbereiding en gedeeltelijk van inventarisatie.

In een dergelijk onderzoek zijn een aantal fasen te onderscheiden. De eerste fase is het inventariseren van verschillende onderdelen van het landschap, zoals de geomorfologie, de bodem, de hydrologie, de flora, de vegetatie en de fauna. Hierop volgt een fase van integratie, met als doel een synthese tot stand te brengen tussen de deelonderzoeken, zodat landschapsoecologische eenheden kunnen worden onderscheiden. Zulke eenheden kunnen als basis dienen bij het vervaardigen van een inrichtingsschets en daarna bij het uitwerken van inrichtingsplannen voor de deelgebieden. Voorts kunnen ze een rol spelen bij de evaluatie van gebieden, of bij de vervaardiging van gebruikskarten voor specifieke doeleinden, evenals voor het maken van beheersplannen voor de deelgebieden.

Als voorbeeld van de manier waarop bij de bestemming en inrichting rekening is gehouden met de potenties, de patronen en de ontwikkeling van het gegeven landschap, mag de nieuwe inrichtingsschets van het Grevelingenbekken gelden.

De op het landschapsoecologisch onderzoek gebaseerde indeling in landschapstypen van het Grevelingenmeer vormt de basis voor de begrenzingen van de landschapsonderdelen die bij de herziene inrichtingsschets zijn gebruikt, en waaraan een waardering is gegeven ten aanzien van de verschillende vormen van recreatie- en natuurbelang. Om een en ander duidelijk te illustreren zijn zowel uit de nieuwe inrichtingsschets als uit het landschapsoecologisch onderzoek kaarten bijgevoegd die betrekking hebben op de Noordelijke Slikken van Flakkee. Ter vergelijking is ook een kaart van hetzelfde gebied uit de oude inrichtingsschets bijgevoegd. Hoe de inzichten en de toepassing ervan zijn veranderd, wordt vooral uit die kaarten duidelijk.

Om een maat te vinden voor de relatieve waardering der landschapseenheden zijn ten aanzien van de natuurfunctie de criteria formaat, samenhang, isolatie, beschutting, complexiteit, voedselrijkdom en vogels gebruikt, waarbij nog onderscheid is gemaakt tussen grootschalige en kleinschalige natuurgebieden. Deze criteria zijn gebaseerd op

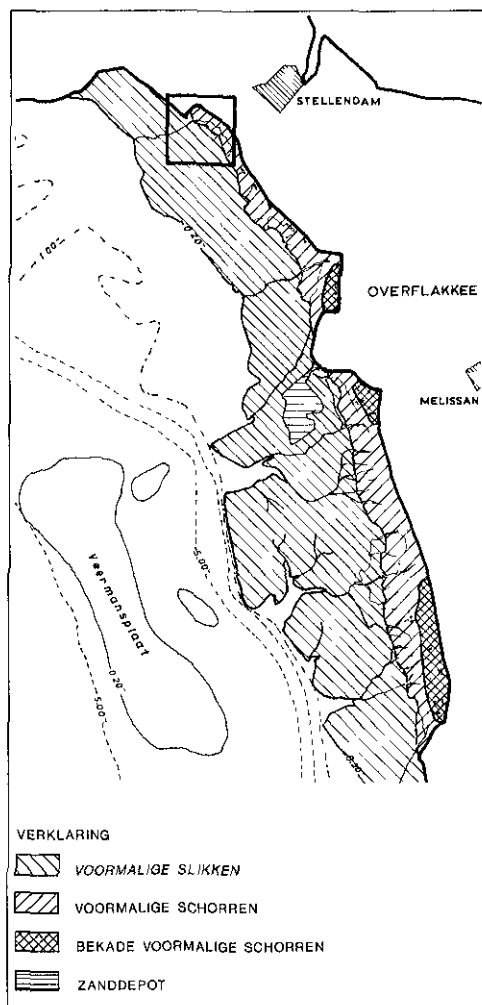


Fig. 2. Deel van de Slikken van Flakkee. Geomorfologische kaart
Situatie van het gebied dat
wordt afgebeeld in de figuren
2-6

Voormalig schor



relatief oud, hoog voormalig schor



helling hoog schor – laag schor

Relatief jong, laag voormalig schor



kom



kleiput



schorrand, overgang naar kom



oeverwal



schorrand, relatief hoog, zeer reliëf-rijk



primair schor



gebied met spartinaduintjes



spartinaduintjes

Voormalig slik



gebied zonder microreliëf



gebied met golfribbels, niet meer als reliëf aanwezig

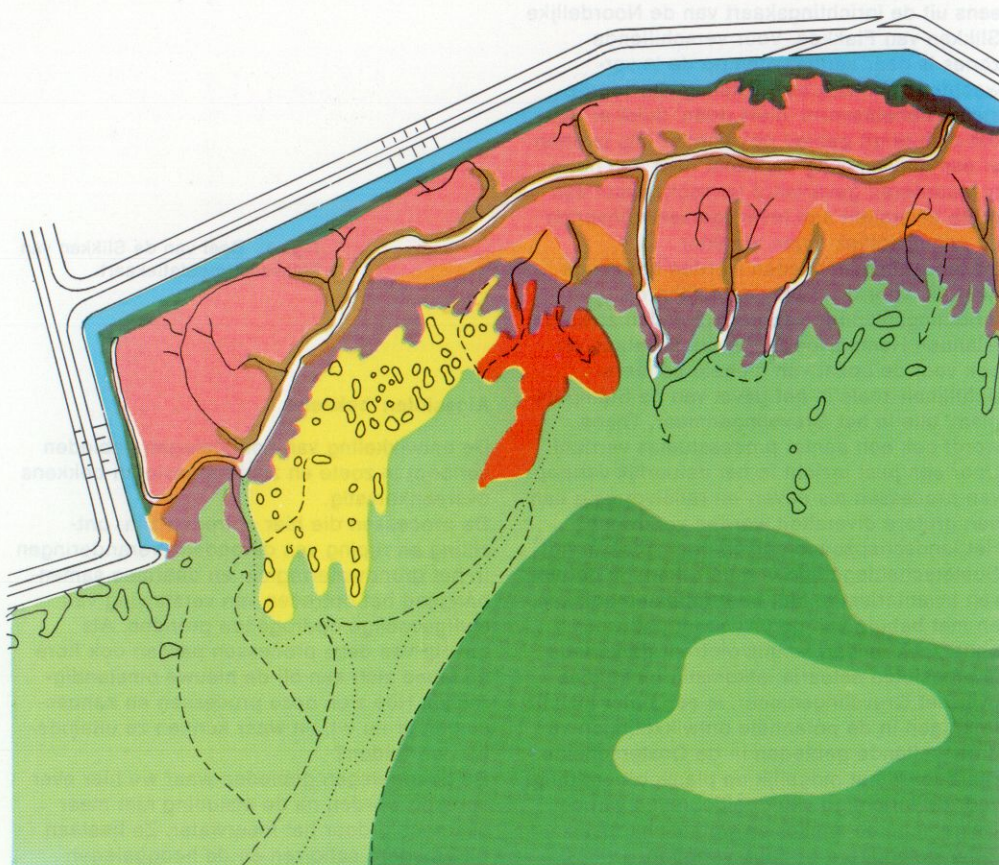
Overige symbolen



priel met stroomdraad



krekens





kennis per deelgebied. Dat bij de bestemming der landschapseenheden sterk rekening gehouden is met de spontane potenties en processen van het gebied zelf, blijkt eveneens uit de inrichtingskaart van de Noordelijke Slikken van Flakkee. Voor verschillende zones is daar aangesloten op de te verwachten spontane ontwikkeling. De voorgestelde beheersvorm 'niets doen' duidt er op, dat men in dit gebied ook zonder iets te doen al een ontwikkeling verwacht naar een hoog te waarden gevarieerd landschap met een grote diversiteit aan levensgemeenschappen en een specifiek eigen karakter.

De landschapseenheden worden thans ook gebruikt voor de meer gedetailleerde inrichtingsplannen van deelgebieden zoals de eilanden Hompelvoet en Veermansplaat, en ook voor de opzet van globale beheersrichtlijnen zoals in het geval van de Stampersplaat, alle in het Grevelingenmeer. Thans wordt ook een aantal processtudies verricht. Door een juist inzicht in het natuurlijk verloop van processen als oever- en reliëfvorming kan een grotere diversiteit worden verkregen. Het landschapsoecologisch onderzoek in het Oosterscheldegebied verkeert thans in de fase van inventarisatie. Met integratiemethodieken, en met behulp van gegevens uit het procesonderzoek en van kennis omtrent de variatie in afgesloten estuaria, afkomstig uit studies over het Grevelingenmeer, is een beter inzicht te krijgen in de potentiële ontwikkelingen van droogvallende gebieden in de Oosterschelde. Hierdoor is het mogelijk de planvoorbereiding voor de inrichting van deelgebieden van de Oosterschelde sneller en wetenschappelijk beter gefundeerd te doen verlopen.

Spontane oevervegetatie in een zoetwaterbekken met peilwisselingen. Hellegatsplaten, Haringvliet

Fig. 3. Deel van de Slikken van Flakkee. Vegetatiekaart

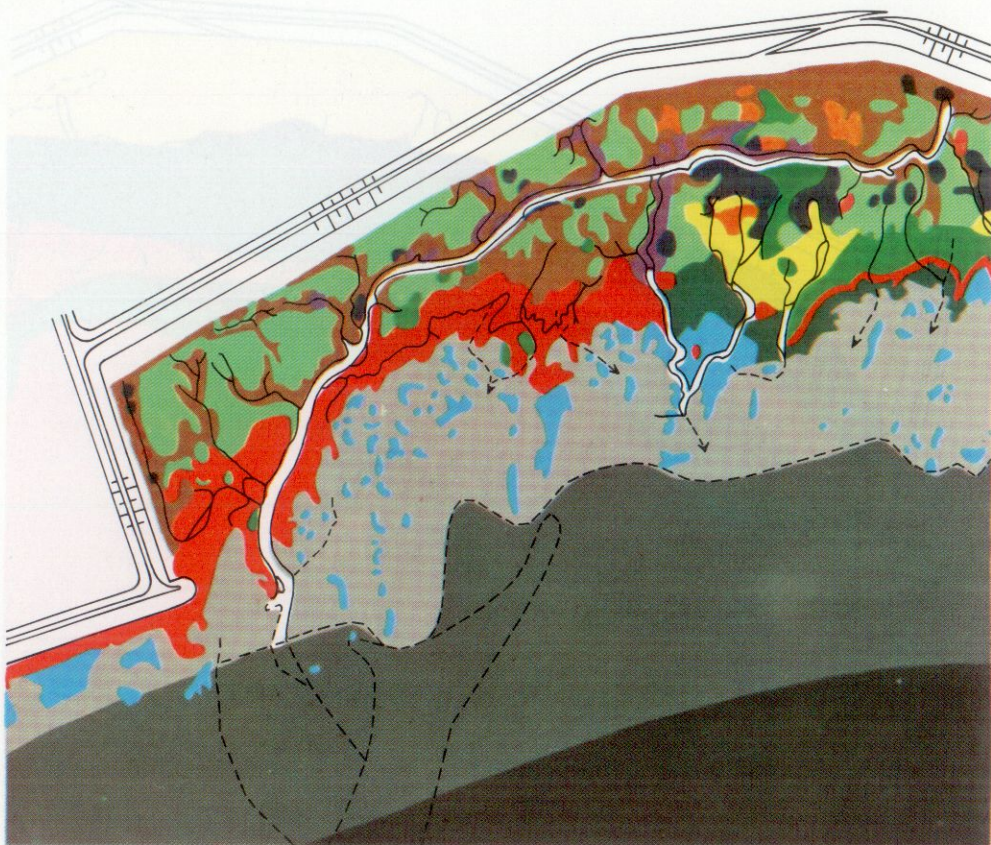
Afgesloten bekkens

De ontwikkeling van hooggelegen gebieden verloopt in zoete en zoute afgesloten bekkens overeenkomstig.

De processen die hier optreden zijn: ontzilting en rijping van de bodem, veranderingen in het grondwaterregiem en daarmee samenhangend het optreden van verstuiving van stuifgevoelige opdrogende gronden. Als gevolg van deze processen passen ook flora en fauna zich aan bij de nieuwe omstandigheden. Hoe zien deze processen en aanpassingen er nu uit, en waar kunnen ze uiteindelijk toe leiden?

De hooggelegen gebieden waar we hier over spreken worden na de afsluiting niet meer overspoeld door het meerwater. Ze bestaan uit vroegere schorren en de hooggelegen

- | | | | |
|---|---|---|--|
|  | gesloten vegetaties met <i>Puccinellia maritima</i> |  | open of gesloten vegetaties met <i>Elytrigia pungens</i> |
|  | mozaïeken van gesloten vegetaties van <i>Puccinellia maritima</i> <i>Cirsium arvense</i> en <i>Epilobium</i> spp. |  | open vegetaties met <i>Epilobium</i> spp. |
|  | mozaïeken van gesloten vegetaties van <i>Puccinellia maritima</i> en <i>Epilobium</i> spp. |  | open vegetaties met <i>Funaria hygrometrica</i> |
|  | gesloten vegetaties van <i>Epilobium</i> spp. |  | open vegetaties van <i>Suaeda maritima</i> |
|  | gesloten vegetaties van <i>Epilobium</i> spp. en <i>Cirsium arvense</i> |  | open vegetaties met <i>Spergularia marina</i> |
|  | gesloten vegetaties van <i>Cirsium arvense</i> |  | open vegetaties van <i>Suaeda maritima</i> en <i>Salicornia europaea</i> |
|  | gesloten vegetaties met <i>Matricaria maritima</i> subsp. <i>inodora</i> |  | open vegetaties van <i>Salicornia europaea</i> |
|  | gesloten vegetaties van <i>Halimione portulacoides</i> | | |



code	profieltypen	profielverloop begindiepte zand in cm onder m.v.	lutumgehalte en indeling van klei-zavellaag	bijzonderheden
23	middenschor	20 – 30		
26		40 – 50	25 – 30 klei A	naar beneden over- gaand in lichte zavel
31	schorrand	20 – 40	5 – 8 l.zavel A	
32		20 – 40	8 – 12 l.zavel B	
33		20 – 40	12 – 17 zw.zavel A	
37		0 – 10	5 – 12 l.zavel	beginnend schor
42	oeverwallen	50 – 75	8 – 12 l.zavel B	
7	slikken		1,5 – 3 klei-arm zand B	



Fig. 4. Deel van de Slikken van Flakkee. Bodemkaart (naar gegevens van het interim-rapport Landschapsecologisch Onderzoek Slikken van Flakkee (1973), deelrapport bodemgesteldheid, hydrologie en zouthuishouding)

Fig. 5. Deel van de Slikken van Flakkee. Hydrologiekaart (naar gegevens van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders)

overschrijding van het referentieniveau (m.v. - 0.20 m) over een jaarperiode			overschrijden van het referentieniveau (m.v. - 0.10 m) over de zomerperiode	
klasse	duur (dagen)	aantal keren van bereiken of overschrijden van het referentieniveau	duur (dagen)	
	4	>130	≤4	≤4
	6	≤130	≤4	≤4



Klasse-indeling naar C-cijfer
 (= NaCl-gehalte van het bodemvocht in g. NaCl per liter bodemvocht)

laag	klasse	m.v. – 0–5 cm	m.v. – 5–80 cm
	1	≤ 2	≤ 2
	2	≤ 2	$> 2 \leq 20$
	6	$> 2 \leq 20$	> 20
	9	> 20	> 20





Uitbouw van een landtong of 'spit'. Voorbeeld van een waardevol proces van oevervorming

Fig. 6. Deel van de Slikken van Flakkee. Kaart van het zoutgehalte van het bodemvocht (naar gegevens van de Rijksdienst voor de IJsselmeer-polders)

delen van voormalige slikken en zandplaten. Direct na de afsluiting van het zeegat waren het grondwater en het bodemvocht in deze gebieden bromzout. Door zoet regenwater neemt het zoutgehalte op den duur af. De snelheid van ontzilting hangt af van de neerslag, maar ook van de samenstelling, de hoogteligging en de helling van de bodem. Het zoete water verdringt het zoute. Door het verschil in soortelijk gewicht vormt zich een zoetwaterlens op het zoute grondwater, die mettertijd toeneemt in dikte.

Met het wegvallen van het getij en de instelling van een vast meerpeil gaat vooral in de hoger gelegen gebieden de grondwaterstand omlaag. In de bovenste bodemlagen kan daardoor meer lucht toetreden. Dit heeft gevolgen voor hun eigenschappen. Er treedt een zogenaamd rijpingsproces op. Met

name kleirijke gronden zullen door de ontwatering en beluchting indrogen. Hierbij ontstaan scheuren, en krijgt de bodem een meer kruimelige structuur. Door het waterverlies treedt bovendien zakking van de bodemlagen op. De toetreding van lucht veroorzaakt een oxiderend milieu, waardoor allerlei chemische omzettingen plaatsvinden, die de bodem een ander karakter geven.

Natuurlijk wordt de mate van rijping bepaald door de ontwateringstoestand, die nauw samenhangt met de hoogteligging van het gebied. De hooggelegen delen van de voormalige schorren zullen dus goed rijpen, maar de lagere delen in de omgeving van het meerwater niet of nauwelijks. Op zandige gebieden kan door het verdrogen van de bovenste bodemlagen verstuiving gaan optreden. Gaat men die verstuiving niet kunstmatig tegen, dan kunnen in enkele jaren stuifduinen van enige meters hoogte ontstaan, zoals bijvoorbeeld is gebleken op het oostelijk deel van de Stampersplaat en het westelijk deel van de Veermansplaat in de Grevelingen. Op vele plaatsen is het verstuivingsproces vanzelf tot stilstand gekomen, omdat de dichtheid van schelpen aan de oppervlakte naarmate de verstuiving voortschreed, zo groot werd, dat verdere verstuiving niet meer mogelijk was.

De bovenbeschreven veranderingen moeten invloed hebben op de vegetatie. Door de toenemende ontzilting en bodemrijping kunnen een aantal schorplanten zich niet handhaven; die verdwijnen dan ook snel, terwijl andere sterk teruglopen, maar nog vrij lang als relict overblijven. Er ontstaat een zoetwatervegetatie, die gedomineerd wordt door



vlieren in de oude kommen op het schor en door wilgen op de kreekkruggen en langs de schorranden. Ze ontwikkelen zich snel tot een struweel. Wanneer de vegetatie de kans krijgt om zich volledig spontaan te ontwikkelen, zal zich in deze gebieden uiteindelijk een bos ontwikkelen. In zoete bekkens kan dit struweel/bos in de richting van het water overgaan in een vloedbos, in zoute bekkens zal het eventueel via duindoornstruwelen naar de oevers toe overgaan in een zilte vegetatie. In beweide gebieden zullen de meeste houtige gewassen worden weggevreten, zodat zich daar niet gemakkelijk een bos kan vormen. Als men het beheer er op richt kan een waardevol parklandschap worden gevormd. Op de schorrand doen zich interessante ontwikkelingen voor. Dit zijn de gebieden waarin de meeste soorten hogere planten worden

Terrasvormige oeverafslag op
plaatrand

Rechts: spontane vegetatie-
ontwikkeling in de Braakman

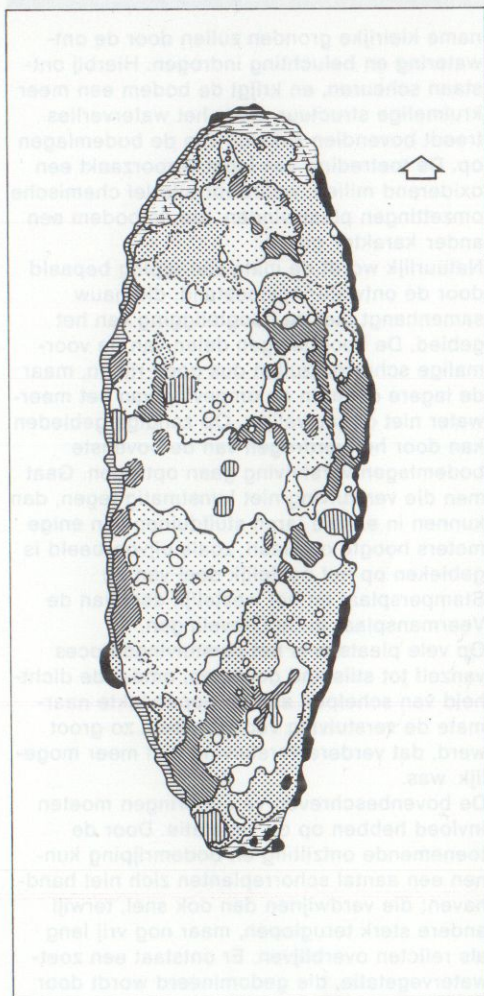


Fig. 7. Vegetatie op het
Aardbeieneiland

GROEP VAN RIETVEGETATIES

- RIET
- RIET BEGELEID DOOR ZOUTMINNENDE KRUIDEN
- RIET BEGELEID DOOR ANDEREDAN ZOUTMINNENDE KRUIDEN

GROEP VAN LAGE ZILTE OEVERVEGETATIES

- LAGE ZILTE OEVERVEGETATIES

GROEP VAN LAGE GRASACHTIGE VEGETATIES

- GRASSENVEGETATIES MET GRASSEN EN KRUIDEN IN DE ONDERGROEI

GROEP VAN VEGETATIES MET STRUWELN

- DUINDOORNHORSTEN
- KRUIPWILGSTRUWELN
- RELATIEF LAAG OPEN WILGENSTRUWEEL
- RELATIEF HOOG WILGENSTRUWEEL

- MIN OF MEER DUIDELIJKE GRENS, OP FOTO ZICHTBAAR

- VAGE GRENS, OP FOTO NIET ZICHTBAAR



aangetroffen en waar men keer op keer voor verrassingen kan worden gesteld. Zo heeft zich in deze zone bijvoorbeeld de adelaarsvaren gevestigd, die zich thans over het gebied uitbreidt.

In de voormalige kreken, die heel langzaam ontzilten, komen nog lange tijd verscheidene planten voor die op het hoge schor zijn verdwenen. In de vlieren en wilgen worden al allerlei kleine zangvogels vernomen, onder andere de blauwborst. Nu de schorren niet meer onder water komen, kunnen er zich ook knaagdieren vestigen, zoals woelmuizen, konijnen en hazen. Door de komst van de knaagdieren ontstaat er in dit vlakke open gebied ook een goede biotoop voor Torenavalk en Kiekendief. Inzicht in al deze veranderingen en hun oorzaken levert belangrijke gegevens op, die bij de inrichting van de bekkens gebruikt kunnen worden. Om het belang van dit inzicht te onderstrepen kan worden gewezen op de oude inrichtingsschets van het Grevelingenbekken uit 1967. Op de Slikken van Flakkee zijn daar grote oppervlakten bestemd voor de aanleg van bos. De gekozen plaatsen blijken echter op grond van recente studies slechts ten dele geschikt te zijn voor bos. Kostbare ingrepen zouden nodig geweest zijn om datgene te bereiken wat men beoogde, terwijl men een waardevolle milieudifferentiatie ter plaatse had moeten vernietigen. Veel goedkoper en beter is het een gewenst bos langs spontane weg te laten ontstaan; zoals hiervoor is beschreven, gebeurt dat ook inderdaad op geschikte plaatsen. Weliswaar zal de samenstelling verschillen van die van ingeplante bossen, doch wat er groeit hoor er thuis. Zo blijkt uit onderzoek aan het Aardbeien-eiland in het

Veerse Meer, dat na twaalf jaar reeds een struweel is ontstaan dat 23 soorten houtachtige plantensoorten herbergt, voornamelijk wilgen, doch ook populieren en berken en zo'n 131 soorten hogere planten.

Een tweede voorbeeld levert de geschiedenis van de verstuivingsbestrijding op de drooggevallen platen in het Grevelingenmeer. Het streven was er destijds op gericht het zand door inzaaien en het plaatsen van stuifschermen zo snel mogelijk vast te leggen. Het alternatief, gebruik te maken van de wind om een interessant reliëf te creëren in reliëfarme gebieden, was echter geheel niet overwogen. Door snelle inzaai werd de verstuiving al spoedig aan banden gelegd; de stuifschermen konden daardoor maar weinig zand invangen, zodat de gevormde zandregels erg laag zijn gebleven. Door de manier van plaatsen van de schermen is bovendien een kunstmatig en weinig fraai patroon ontstaan. Soortgelijke kritiek kan gegeven worden op de wijze waarop het stuifmengsel is ingezaaid. Die heeft namelijk betrekkelijk grote gebieden doen ontstaan met een kunstmatig en eenvormig microreliëf in de vorm van richels en ruiten waarop de vegetatie staat, maar waar-tussen nog erg weinig plantengroei is. Deze vegetatie is na enkele jaren nog steeds weinig gevarieerd en bestaat nog voornamelijk uit de ingezaaide grassoorten, die 80% van de bedekking voor hun rekening nemen. De resterende 20% bestaat voor de helft uit krulmos en voor de helft uit andere planten, een 40 soorten. Vergelijkt men deze vegetaties met die van gebieden die niet zijn ingezaaid, dan blijken de spontaan ontwikkelde vegetaties op vergelijkbare gebieden veel gevarieerder te zijn.

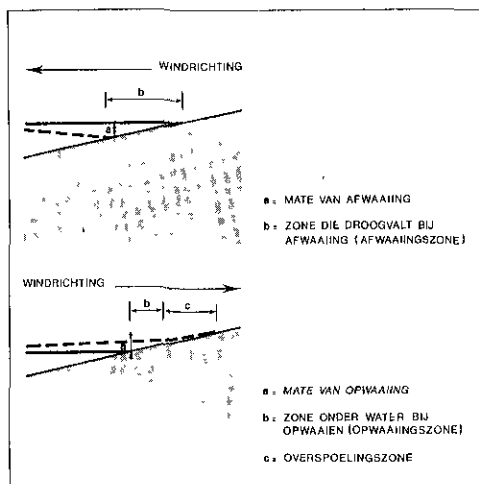
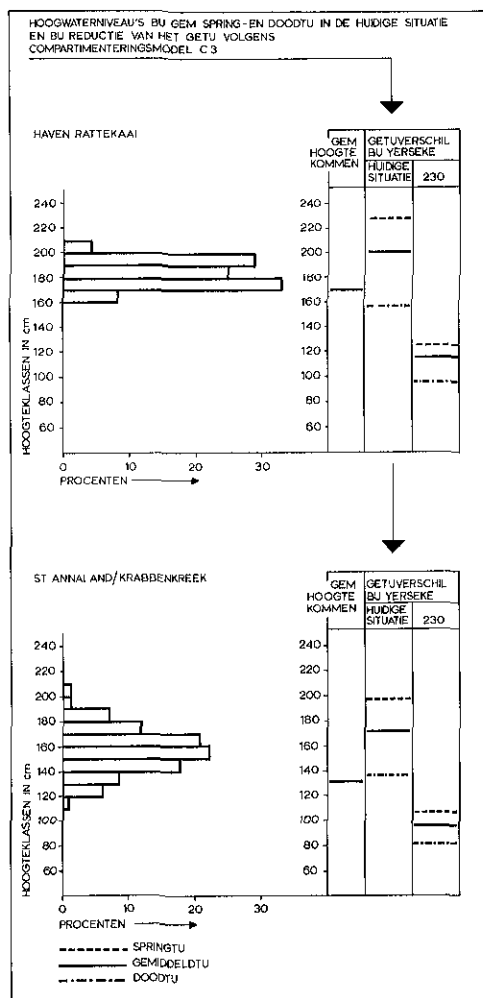


Fig. 8. Schematische voorstelling van op- en afwaaiing

Fig. 9. Beeld van de hoogteligging van enkele schorren in de Oosterschelde ten opzichte van de hoogwaterstanden

Fig. 10. Vereenvoudigde geomorfologische kaart van een deel van de schorren ten oosten van St.-Annaland; zie ook de volgende pag.

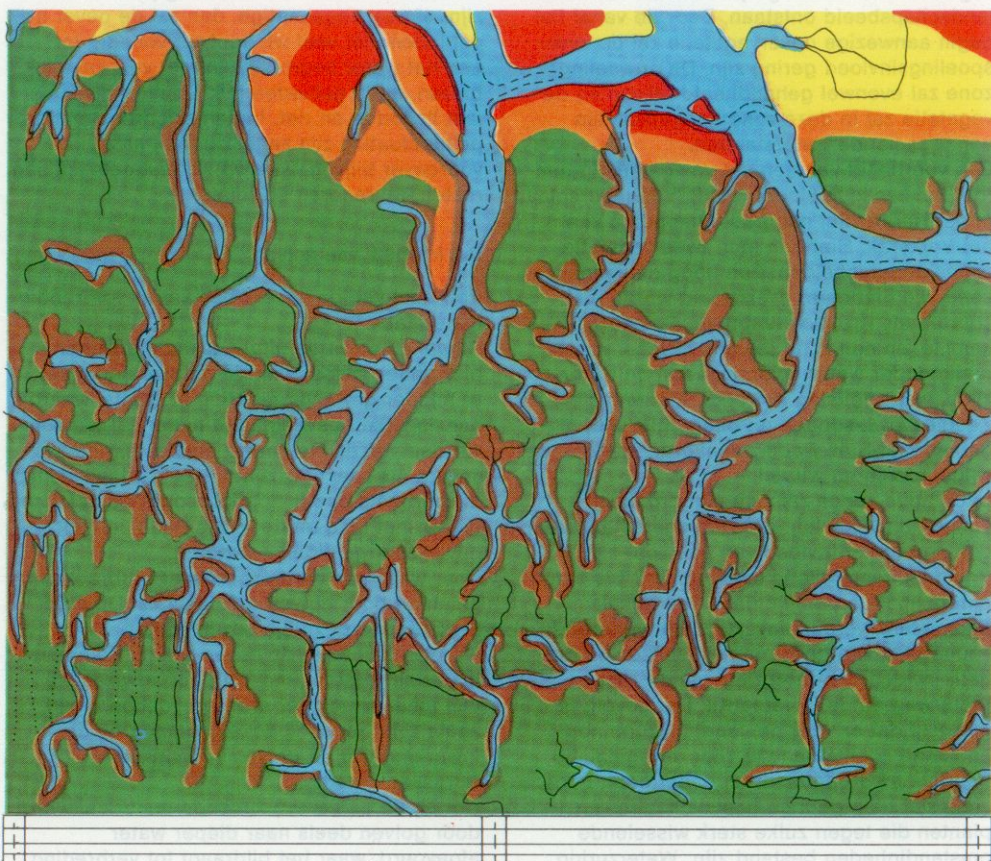
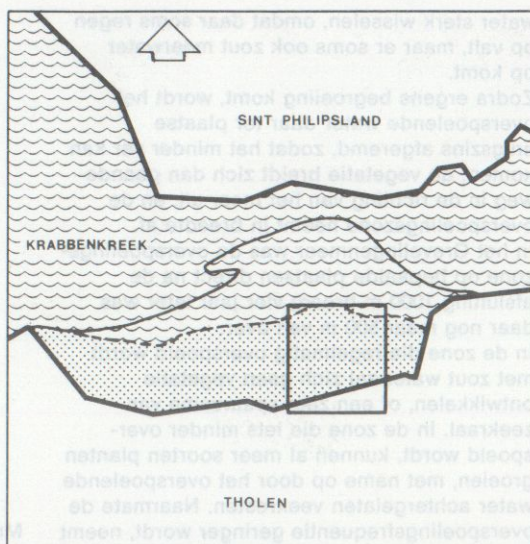


Met de huidige inzichten kan vóór de afsluiting op basis van een dan reeds goedgekeurde inrichtingsschets bepaald worden, welke ontwikkelingen verwacht kunnen worden en hoe kan worden ingespeeld op de potenties en de functies van het gebied. Hierdoor voorkomt men dat bepaalde processen, die direct na de afsluiting op gang komen en die men als nadelig beschouwt, worden tegengegaan zonder dat wordt overwogen of de daarbij gebezigde methode niet betekent dat andere mogelijke ontwikkelingen worden geblokkeerd.

Overgangsgebieden die periodiek worden overspoeld

Op grond van het feit dat het water in de afgesloten zee-armen op een min of meer constant peil wordt gehouden met peilschommelingen van niet meer dan 10 à 20 cm, zou men wellicht veronderstellen, dat er een scherpe en harde begrenzing tot stand is gekomen tussen het water- en het land-systeem. Dit is echter geenszins het geval. Op die plaatsen waar zeer flauw hellende lage slikken voorkomen, die zeer geleidelijk overgaan in ondiepe vooroevers, kan de oeverlijn zich door op- en afwaaiing soms honderden meters meerwaarts of landinwaarts verplaatsen.

Grote delen van de voormalige slikken staan dus nog onder invloed van het meerwater. De bodemrijping zal in deze gebieden dan ook gering zijn. Wel zal de ontzilting betrekkelijk snel verlopen, als het meerwater tenminste zoet is. In zoutwaterbekkens zal het laagste deel van de oeverzone in het geheel niet ontzilt worden; op de hogere delen zullen de zoutgehalten van het grond-



water sterk wisselen, omdat daar soms regen op valt, maar er soms ook zout meerwater op komt.

Zodra ergens begroeiing komt, wordt het overspoelende water daar ter plaatse enigszins afgeremd, zodat het minder ver kan komen; de vegetatie breidt zich dan gaandeweg in de richting van het meer uit, en de overspoelingszone neemt in breedte af. In het Grevelingenmeer was de overspoelingszone op bepaalde plaatsen direct na de afsluiting 1000 m breed; vier jaar later was daar nog maar 500 m van over.

In de zone die regelmatig overspoeld wordt met zout water zal zich geen vegetatie ontwikkelen, of een zeer spaarzame van zeekraal. In de zone die iets minder overspoeld wordt, kunnen al meer soorten planten groeien, met name op door het overspoelende water achtergelaten veekrassen. Naarmate de overspoelingsfrequentie geringer wordt, neemt de diversiteit en de dichtheid van de vegetatie toe.

In de zoete bekkens zal een geheel andere vegetatie-ontwikkeling optreden en een ander landschapsbeeld ontstaan. Door de vanaf het begin aanwezige oevervegetatie zal de overspoelingsinvloed gering zijn. De opwaaiingszone zal evenwel gehandhaafd blijven en de vegetatie zal in deze zone aangepast zijn aan wisselende waterstanden.

Een voorbeeld van een oevervegetatie in een zoet bekkens is te vinden op de Ventjagersplaat in het Haringvliet nabij de uitmonding van het Volkerak. Hier kan men twee vegetatiezones onderscheiden. Een hoog gelegen zone, die niet meer overspoeld wordt, met soorten als *Krulmos*, *Vetmuur*, *Reukloze kamille*, en een zone die min of meer regelmatig onder water komt, met aan de waterzijde, waar golfslag optreedt, *Mattenbies*, *Zeebies* en *Lisdodde* en daarachter een gebied met *Riet*, *Rood zwenkgras*, *Harig wilgenroosje* en *wilgen*.

In de hoge zones zal zich een broekbos kunnen ontwikkelen. De Ventjagersplaat staat ook nog onder invloed van een voor het Volkerak kenmerkend schijngetij. Dit is een onregelmatige peilfluctuatie van enkele decimeters, veroorzaakt door het variërende spuiregiem van de Haringvlietsluizen en de getij-invloed die doordringt via de Nieuwe Waterweg en de Dordtse Kil. Het gevolg is geweest dat er vóór de vegetatiezone nog een zone is ontstaan die zeer onregelmatig beurtelings droog staat en onderloopt. In deze zone ziet men geringe hoeveelheden van planten die tegen zulke sterk wisselende omstandigheden bestand zijn: *Waterzuring*,

Verticale luchtfoto in false colour van een deel van de schorren van St.-Annaland, hetzelfde gebied als op pag. 265

Moerasandijvie en enkele *wieren*. Meerwaarts van die vegetatie is de bodem volledig kaal. In een eventueel toekomstig Oostmeer zal zich in de oeverzone een soortgelijke vegetatie ontwikkelen. Als er weinig peilfluctuaties zijn, of zeer regelmatige, dan zal de oever in gebieden met veel windgolven volledig tot aan het water begroeid zijn met voornamelijk *biezen*, en in gebieden met weinig golven met *lisdodde* en *riet*. Indien er onregelmatige peilfluctuaties zijn zal er een vrij kale vooroever blijven, waarop *watervogels* kunnen rusten, *fourageren* en *ruilen*.

De invloed van golven

Een deel van de oevers bestaat uit los zandig materiaal.

Afhankelijk van de uitgangssituatie vinden hier onder invloed van de golfwerking meer of minder grote veranderingen plaats, waarbij aanzienlijke hoeveelheden materiaal kunnen worden verzet. Het meest stabiel zijn die oevers die zeer vlak zijn of slechts flauw hellen, bijvoorbeeld onder 1 : 1000, zodat de overgang tussen het land en de brede ondiepe vooroever zeer geleidelijk verloopt.

Daar waar een brede vooroever ontbreekt, ontstaan door golven erosiekliffes. Dit duidt erop, dat de oeverlijn terugschrijdt.

Op plaatsen waar de oever niet uit homogeen materiaal bestaat, maar uit een afwisseling van meer en minder erosiegevoelige lagen, zoals zand- en kleibanken, kunnen bij de inwerking van de golven verschillende terrassen ontstaan.

Het bij de erosie vrijkomende materiaal wordt door golven deels naar dieper water afgevoerd, waar het bijdraagt tot verbreding





van de ondiepe vooroever, en deels langs de oevers getransporteerd. Dit laatste zal vooral gebeuren wanneer de golven schuin op de kust aanlopen. Het erosiemateriaal kan dan elders weer worden afgezet en uitgroeien tot landtongen en schoorwallen, die vaak zeer complexe vormen hebben en waarachter zich grotere of kleine hafjes kunnen vormen. Op deze manier kunnen verschillende oevervormen ontstaan, die bijdragen aan de diversiteit van het landschap.

De bovengenoemde processen zullen het sterkst optreden in de beginfase na de afsluiting, als de oevers nog onbegroeid zijn. Naarmate de oevers begroeid raken, zal de vegetatie als nieuwe factor het proces van oevervorming mee gaan bepalen en de erosie doen afnemen of beëindigen.

In stagnante zoute en brakke wateren zal de vegetatie in de oeverzone evenwel gering zijn, zodat het bovenbeschreven proces van oevervorming, zij het vertraagd, zal doorgaan. In zoete meren zal op luwe plaatsen na enige tijd geen erosie meer optreden; er zal zelfs verlandings mogelijk zijn.

Op vele plaatsen waar de oever een erosief karakter heeft, zijn in zoete of zoute meren oeververdedigingen aangebracht. In enkele gevallen bestaat die uit een constructie op de oeverlijn, zoals in het Veerse Meer, doch veel vaker uit een grinddam die op enige afstand uit de oeverlijn op een diepte van N.A.P. – 1 m is aangelegd, en wel zo dat de kruin ervan ongeveer gelijk ligt met de waterspiegel of daar iets bovenuit komt.

Spontane zilte vegetatie achter een strandwal op een hooggelegen oever in het Veerse Meer

Rechts: oeververdediging met grinddammen in het Grevelingmeer

Men onderzoekt thans of zulke noodzakelijke oeververdedigingen niet op een meer in het landschap passende wijze kunnen worden uitgevoerd.

De ondiepe gebieden in de meren

Onder ondiepe gebieden verstaat men gebieden tot 2,5 m beneden de waterspiegel. In zoute meren komen in de bovenste oeverzone veel bodemorganismen voor, voornamelijk sedimenteters en filtreerders. Deze bodemfauna kan, evenals mogelijk voorkomende wieren en zeegras, als voedsel dienen voor vele soorten steltlopers, eenden, ganzen en zwanen. De zeer uitgestrekte oeverzones dienen bovendien vaak als rustplaats voor ganzen. Het dieper gelegen deel van de vooroever wordt gekenmerkt door



het voorkomen – tot een diepte van 7 m – van zeegrasvelden, wieren en veel bodem-organismen, waarop weer vogels fourageren, zoals duikeenden, sterns en futen. Het water is hier naar verhouding helder, zodat zowel wieren als bodemfauna in aanzienlijk grotere voedseldichtheden voorkomen dan in dieper water. Grotere voedseldichtheden trekken weer grotere aantallen vissen aan. In ondiepe gebieden in zoete bekkens zullen planten voorkomen als Waterlelie, Watergentiaan, Gele plomp en onder water kranswieren en fonteinkruiden. Hierin zullen allerlei vissen leven zoals Karper, Snoekbaars, Bot, Stekelbaars en Blei. In de bodem komen voornamelijk wormen, driehoeksmossels, muggenlarven en vlokreeften voor. Deze dienen weer als voedsel voor Slobeend, Knobbelswaan en Wilde eend.

De soortensamenstelling zal echter door het naar verwachting eutrofe water vrij arm zijn. In de ondiepe gebieden en langs de oevers van vooral zoete meren komt nogal veel botulisme voor. Dit is een vergiftiging die ontstaat na de opname van de vergiftigde stof botulinum, die wordt afgescheiden door de bacterie *Clostridium botulinum* onder omstandigheden van zuurstofloosheid bij een temperatuur hoger dan 20° C en op een eiwitrijke voedingsbodem, bijvoorbeeld een kadaver. Aan deze voorwaarden wordt voldaan in gebieden met veel vogels, bijvoorbeeld ruipaalsen, waar regelmatig kadavers voorkomen en met ondiep stagnerend water, zodat gemakkelijk zuurstofloosheid kan optreden,

evenals opwarming van het water of slijk. In de ondiepe delen van zoete stagnante bekkens is de kans dus groot dat er gebieden zullen ontstaan die gunstig zijn voor de ontwikkeling van het botulisme.

Het getijgebied

Om een prognose te maken van de veranderingen die zullen optreden bij reductie van het getij tot 2,30 m bij Yerseke, zijn inventarisaties gemaakt van de aan het getij gebonden kenmerken. Hoewel dit inventariserend onderzoek zeker nog niet is afgesloten, was het toch mogelijk de verkregen inzichten te gebruiken voor het gestelde doel. Afhankelijk van de te kiezen oplossing omtrent de wijze van afsluiting zijn de verkregen gegevens voor het grootste deel bruikbaar voor het inventariserend land-schapsoecologisch onderzoek dat momenteel voor het Oosterscheldegebied wordt uitgevoerd.

De hoogstgelegen randgebieden in het getijgebied, ongeveer op de H.W.-lijn, zijn de schorren.

Hun typische morfologie bestaat uit kreken, waarlangs hogere zogenaamde oeverwallen liggen. Deze kreken omsluiten lager gelegen kommen. Wallen en kommen hebben een zeer specifieke vegetatie, die weliswaar niet soortenrijk is – men telt er 55 soorten hogere planten – maar vanwege het zoute karakter wel zeldzaam.



Aangeplant bos, waarin gekapt is

De resterende schorgebieden in het Delta-gebied vertonen onderling duidelijke verschillen, afhankelijk van hun ontwikkelingsstadium, de bodemsamenstelling, de zoutinvloeden en andere factoren. Het verdwijnen of ingrijpend van karakter veranderen van elk schorgebied moet als een natuurwetenschappelijk verlies worden beschouwd. Schorren hebben ook belangrijke functies voor vogels; voor kleine zangvogels, roofvogels en uilen hebben ze een broed- en fourageerfunctie, voor meeuwen en sterns en verschillende soorten steltlopers zoals Scholekster, Kluut, Bontbekplevier, Strandplevier en andere zijn ze van belang als broedplaats.

Als het water hoog is, wijken de vogels uit naar het land achter de dijken en zoeken hun heil op zogenaamde hoogwater-vluchtplaatsen, vaak in lage of zilte polderdelen.

Elke vegetatiezone op het schor heeft zijn eigen bestaansvoorwaarden voor wat betreft overspoelingsfrequentie, overspoelingsduur, zoutgehalte, bodemrijping en slibaanvoer. Bij demping van het getij, wanneer de hoogwaterstand wordt verlaagd en de amplitude van het springtij afneemt, zullen deze vegetatiezones smaller worden en lager komen te liggen. De hoogste delen zullen verzoeten en een heel andere vegetatie krijgen. Het ontstaan van nieuwe schorren bij een gedempt getij wordt slechts op een

kleine schaal verwacht, voornamelijk in het oostelijk deel van het bekken.

Tussen hoog- en laagwater ligt het intertijdsgebied, dat tweemaal daags droog valt. Dit gebied wordt morfologisch gekenmerkt door grote hoeveelheden stroomribsels op zandige gebieden waar grote stroomsnelheden voorkomen, of door een slibrijk vlak oppervlak, waar de stroomsnelheden lager zijn. Deze laatste gebieden hebben een rijkere levensgemeenschap. Als het gebied droogvalt fourageren de vogels hier op bodemdieren; staat het onder water, dan jagen ze op vissen en garnalen.

De intergetijdszone zal door de reductie van het getij afnemen. Aangezien de hoeveelheid levend organisch materiaal van bodemdieren in deze zone afhangt van het oppervlak, kan men uitrekenen hoeveel biomassa er zal verdwijnen, en zo een indruk krijgen, welke gevolgen dit heeft voor de vogels die voor hun voedsel op deze bodemdieren zijn aangewezen.

Tenslotte noemen we de inlagen als specifiek onderdeel van het getijdsgebied. Het zijn zilte stukken polderland, die vlak achter de zeedijken liggen. Meestal liggen ze zo laag, dat ze zout zijn door kwelwater. Er staat dan een zoutminnende vegetatie op. De waarde van deze inlagen is gelegen in hun functie als hoogwater-vluchtplaats, of als broedgebied voor vele vaak zeldzame vogelsoorten, als fouragegebied voor weer andere soorten en in de meeste gevallen ook door hun kenmerkende vegetatie.

De inlagen langs de Oosterschelde danken hun waarde grotendeels aan de zoute kwel. Demping van het getij zal deze kwel doen verminderen. Dit heeft tot gevolg, dat de inlagen in meerdere of mindere mate zullen verzoeten en een ander vegetatie-karakter zullen krijgen.

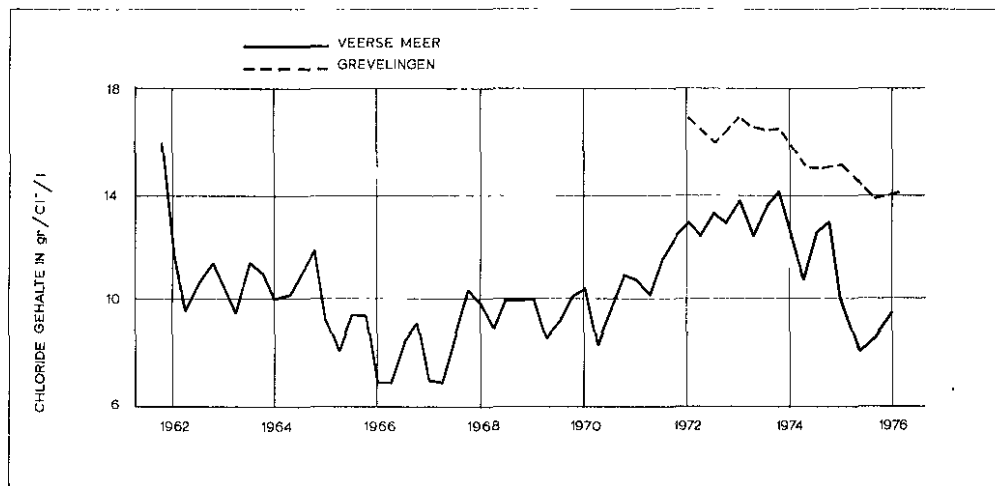
Het Veerse Meer en het Grevelingenmeer sedert hun afsluiting.

Een vergelijkend overzicht van de ontwikkelingen van het milieu in twee zoute stagnante bekkens

De afsluiting van het Veerse Gat en het Brouwershavense Gat, respectievelijk in 1961 en 1971, veroorzaakte een belangrijke wijziging in het bestaande milieu. Naast verschillen vertonen de ontwikkelingen in deze twee bekkens ook overeenkomsten. Het is daarom interessant om de ecologische ontwikkeling in de beide bekkens niet afzonderlijk, maar in onderlinge vergelijking te behandelen. Tabel I geeft een aantal hydrografische eigenschappen van beide bekkens. Uit deze tabel valt af te leiden, dat het Grevelingenmeer niet alleen groter is, maar ook dieper, terwijl er bovendien in het Grevelingenmeer een aantal gebieden zijn met een diepte groter dan 25 m, wat in het Veerse Meer niet voorkomt. De grotere diepte van de Grevelingen heeft tot gevolg dat windeffecten er meer tot gelding kunnen komen, zoals winddriftstromingen en golfwerking. Winddriftstromen ontstaan doordat harde wind het water als het ware meetrekt en opstuwt tegen de benedenwindse oever.

Het opgestuwde water stroomt gedeeltelijk langs de oevers, en gedeeltelijk op grotere diepte weer weg. Zie Bericht 71 (februari 1975). Zulke driftstromen kunnen van grote betekenis zijn voor de menging van verschillende watersoorten en daarmee voor de waterkwaliteit. Het water van het Grevelingenmeer wordt dus intenser en frequenter gemengd dan dat in het Veerse Meer. Over de opwekking van golven op een meer werden mededelingen gedaan in Bericht 62 (november 1972). De grootte en de effectiviteit van de opgewekte golven hangt onder meer af van de strijklengte over het water. Hoe groter het meer, hoe hoger de golven kunnen worden. Deze golven kunnen tevens in belangrijke mate erosie veroorzaken op sommige delen van oevers en plaatranden. Uit tabel I blijkt ook een belangrijk verschil tussen het Veerse Meer en het Grevelingenmeer in het waterpeil. In de Grevelingen wordt een vast peil nagestreefd, ongeveer op N.A.P. - 20 cm. In het Veerse Meer wordt

Tabel I	Veerse Meer	Grevelingen
oppervlakte in ha	2035	10 787
waterinhoud (miljoen m ³)	88	600,5
gemiddelde diepte in m	4,32	5,75
maximale diepte in m	24	58
peil	N.A.P.	N.A.P. - 20 cm
zomer	N.A.P. - 70 cm	N.A.P. - 20 cm
winter		
grootste breedte in km	2	8
kleinste breedte in km	0,5	3
grootste lengte in km	20,5	23



's zomers een peil van N.A.P. gehandhaafd, in het najaar wordt het peil verlaagd tot N.A.P. - 70 cm. Dit doet men om de afwatering van de verschillende polders die op het meer lozen te vergemakkelijken. In het voorjaar wordt het peil weer op N.A.P. gebracht door zout Oosterscheldewater in te laten via de sluizen bij Kats. Deze peilvariatie heeft belangrijke gevolgen voor de oeverlanden. Niet alleen is een gedeelte daarvan afwisselend wel en niet onder water gelegen, maar ook de golfaanval strekt zich over een bredere zone uit.

Alhoewel het Veerse Meer minder diep is dan de Grevelingen komt in beide bekkens in de diepere delen stratificatie voor. Zo'n gelaagdheid in het water onder invloed van temperatuur en/of zoutgehalte-verschillen veroorzaakt in de zomer een zuurstoftekort en zelfs zuurstofloosheid in het onderste deel van de diepste troggen. Het gebied waarin dit voorkomt en het watervolume dat erbij betrokken is, zijn in beide bekkens slechts van geringe omvang en betekenis.

Een hydrobiologisch zeer belangrijk verschil tussen de beide meren is het zoutgehaltere-giem. (Fig. 1).

Het Veerse Meer had in 1961 hetzelfde zoutgehalte als zeewater, namelijk 16 g Cl⁻/l. In de eerste winter na de afsluiting daalde het zoutgehalte aanzienlijk, en wel tot 10 g Cl⁻/l. In de jaren 1966/67 daalde het zoutgehalte zelfs tot minder dan 8 g Cl⁻/l; hetzelfde gebeurde in het natte najaar en de winter van 1974/75. In de periode 1972/74 steeg het zoutgehalte boven de 12 g Cl⁻/l. Ook in de Grevelingen trad na de afsluiting een daling in het zoutgehalte op, maar in veel geringere mate en veel gelijkmatiger.

Fig. 1. Verloop van het zoutgehalte, gemiddeld per kwartaal, in het Veerse Meer en het Grevelingenmeer, sinds de afsluitingen

Fig. 2. Zoetwaterbelasting in een gemiddeld en in een nat jaar, op het Veerse Meer en op de Grevelingen

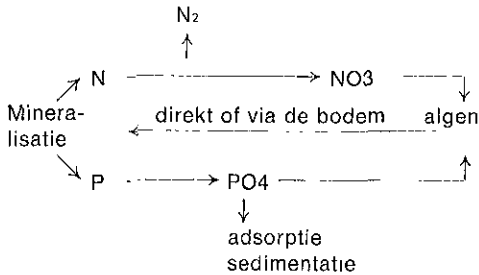
De verklaring van dit opvallende verschil is gelegen in de zoetwatertoevoer naar beide meren. Figuur 3 toont de hoeveelheid zoet of brak water, dat door polders op het meer wordt uitgeslagen of via scheepvaartsluizen of andere lozingsbronnen op het meer gebracht wordt. We moeten deze zoetwaterbelasting relateren aan het totale volume water in het meer. Het blijkt dat de verhouding tussen de gemiddelde jaarlijkse zoetwatertoevoer en de waterinhoud van het bekken in het Veerse Meer ruwweg 1 : 1 is. In de Grevelingen is dat 1 : 6. Het Veerse Meer wordt dus verhoudingsgewijs veel meer met zoet water belast. Dit verklaart de snelle daling van het zoutgehalte na de afsluiting. Het meer zou waarschijnlijk snel verzoeten als er niet elk voorjaar bij het verhogen van het peil een grote hoeveelheid zout Ooster-

scheldewater op werd gebracht. Variaties in de zoetwaterbelasting onder invloed van droge of natte jaren hebben onmiddellijk invloed op de zoutgehaltes in het meer, die dan ook sterk fluctueren.

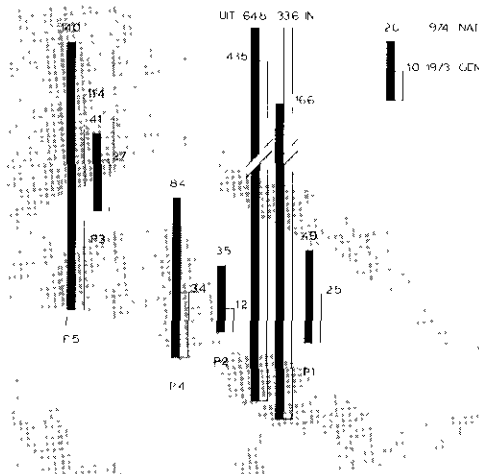
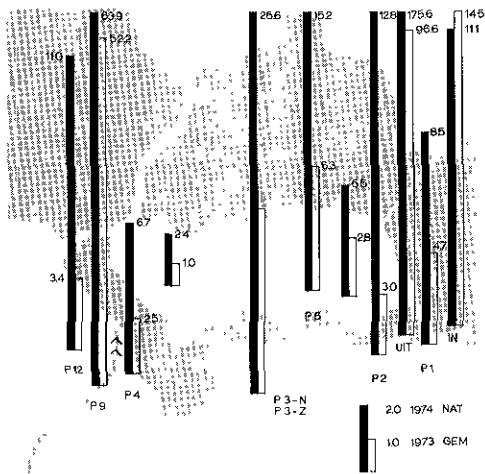
In de Grevelingen fluctueert het zoutgehalte minder sterk, maar ook daar is een geleidelijke tendens merkbaar tot versoeting. Hier tracht men om redenen van milieubehoud een zo hoog mogelijk zoutgehalte te handhaven. De mogelijkheden daartoe zijn vooralsnog beperkt. Door de sluizen bij Bruinisse wordt zouter water ingelaten, maar niet in grote hoeveelheden, omdat een zo vast mogelijk peil wordt nagestreefd. Bovendien zijn de zoutgehaltes van dit ingelaten water maar weinig hoger dan die in het meer zelf. Pas wanneer de sluis in de Brouwersdam gereed is, kan zeewater met een hoog zoutgehalte door het bekken gespoeld worden en kan het zoutgehalte op het meer afdoende op peil worden gehouden.

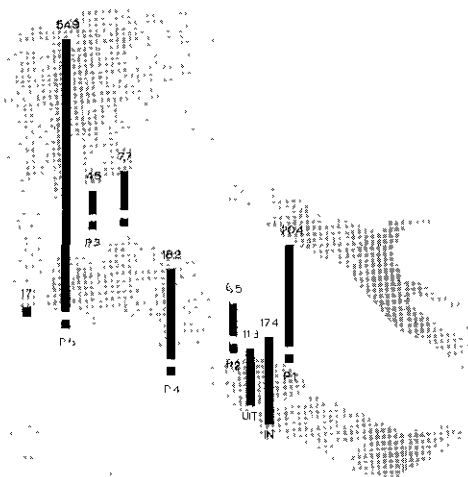
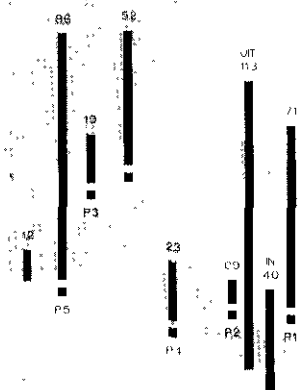
Met het zoete water worden er ook andere stoffen op het bekken gebracht, waaronder voedingsstoffen, die een rol spelen in het aquatische systeem. De belangrijkste hiervan zijn de fosfaten en nitraten. (Figuur 3). Sedert de afsluiting worden deze stoffen niet meer onder invloed van het getij verdund zodat hun effect op het voedingsstoffenniveau in het bekken veel groter is geworden. Dit wordt geïllustreerd in figuur 4 en 5. Opvallend is, dat de gehalten in beide meren met de tijd fluctueren. Het nitraatgehalte daalt in beide meren 's zomers ongeveer tot nul. Het opgelost-fosfaatgehalte stijgt vanaf het voorjaar gedurende de zomer en daalt geleidelijk vanaf september. Dit gedrag kan

verklaard worden volgens onderstaand schema



In het voorjaar, als de watertemperatuur gaat stijgen, neemt ook de snelheid van de omzetting van organische stof toe. Deze omzetting houdt in dat afgestorven organische stoffen worden afgebroken en overgaan in andere stoffen. Hierbij worden stikstof- en fosfaatverbindingen vrij gemaakt en aan het water toegevoegd of ze ontwijken in gasvorm naar de atmosfeer. In het voorjaar beginnen echter ook de algen te groeien, die de in het water aanwezige voedingsstoffen in hun celmateriaal vastleggen, totdat al het aanwezige nitraat in het water is opgebruikt. In de voorzomer lopen de gehalten terug tot nul. Door gebrek aan nitraat wordt de algengroei beperkt. Dit wil overigens niet zeggen dat excessieve algenvloei niet voorkomt in deze meren. In het Veerse Meer is vlak na de afsluiting en ook in 1966 en 1967 een excessieve bloei van algen, met name flagellaten, opgetreden. In het Grevelingenmeer met zijn lagere voedingsstoffenniveau is dit echter niet geconstateerd.





Bij het toenemen van de watertemperatuur en de daarmee gepaard gaande vergroting van de mineralisatie komt ook steeds meer fosfaat vrij. Ook dat wordt in het voorjaar gedeeltelijk door algen verbruikt. Neemt de algenbloei echter af als gevolg van nitraatgebrek, dan wordt er ook minder fosfaat in de algen vastgelegd, gevolglijk zal het gehalte in het water gaan stijgen. Dit zien we dan ook in beide meren in het zomerseizoen gebeuren. In het najaar, als de algen verdwijnen en de watertemperatuur afneemt, gaat de mineralisatie, zij het in een langzamer tempo, wel door. Omdat het nitraat niet meer in algen wordt vastgelegd, stijgt het gehalte in het water weer. De oorzaak van de afname van het fosfaatgehalte in de winter, die in beide meren op ongeveer identieke wijze optreedt, is voornamelijk niet duidelijk. Het is mogelijk, dat dan meer fosfaat gehecht kan worden aan sedimenteerend materiaal; maar het is nog een onopgeloste vraag waarom de adsorptie in de winter groter zou zijn dan in de andere jaargetijden.

In beide meren is direct na de afsluiting een belangrijke verhoging geconstateerd van de gehalten aan opgelost fosfaat. In het Veerse Meer nam het fosfaatgehalte toe met ongeveer een factor 10, en in de Grevelingen met een factor 5. Deze snelle stijging kan mogelijk worden toegeschreven aan de enorme hoeveelheid dode organische stof die ontstond als gevolg van het wegvallen van de getijbeweging. Hierdoor trad sedimentatie op van de zwaardere in het water zwevende organismen, en van andere afgestorven dieren en planten uit de vroegere getijdezone. Al dit organische materiaal werd gemineraliseerd, waardoor de gehalten aan nitraten en

fosfaten in het water plotseling stegen. Bij de mineralisatie werd ook veel zuurstof gebruikt. In beide meren is dan ook in de eerste zomer na de afsluiting een zeer laag zuurstofgehalte in het water geconstateerd. In het Veerse Meer waren de gehalten zo laag, dat er ernstige vissterfte is opgetreden. Ook in de Grevelingen heeft zich dit voorgedaan. In de volgende jaren bleek herstel op te treden van de zuurstoftoestand. De minimale waarden in de zomer stegen geleidelijk tot een normaal niveau. (Figuur 6).

Vergelijken we het zoutgehalte en de voedingsstoffengegevens van het Veerse Meer en de Grevelingen met elkaar, dan blijkt het Veerse Meer een lager zoutgehalte te bezitten en hogere gehalten aan voedingsstoffen. Bovendien zijn de fluctuaties in deze gehalten er belangrijk groter. Het Veerse Meer is instabieler dan de Grevelingen.

De levensgemeenschap in het water is sterk afhankelijk van de fysische en chemische eigenschappen. Interessant in dit verband zijn de resultaten van een onderzoek van het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, gepubliceerd in de Mededelingen van de Hydrobiologische Vereniging in 1972, waarin een verband werd gelegd tussen het zoutgehalte in het Veerse Meer en de aantallen soorten van enkele groepen planktonorganismen (Figuur 7). Na de afsluiting daalde het aantal soorten sterk, maar geleidelijk nam het weer toe. Daalde het zoutgehalte sterk zoals in 1965-1966, dan nam ook het aantal planktonsoorten af. Wanneer de zoutgehalten 's zomers boven de 10 g Cl-/l uit kwamen, dan nam het soorten-aantal wat toe. Uit onderzoekingen van het Delta Instituut bleek dat de situatie in het

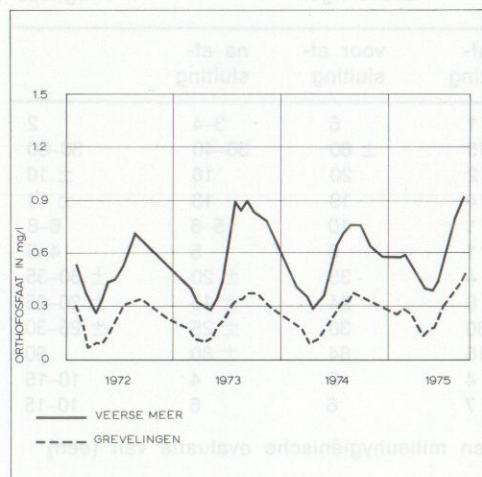


Ingeplant bos en zilte oevervegetatie, gemaaid en beweide

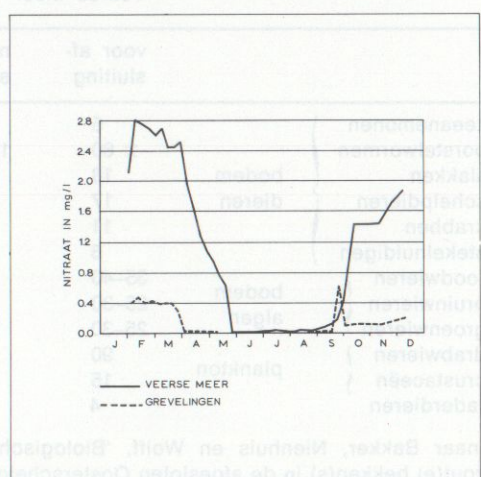
Fig. 3. Belasting aan fosfaat en nitraat op het Grevelingenmeer in 1973

Fig. 4. Verloop van het gehalte aan opgelost fosfaat in het Veerse Meer en de Grevelingen. Periode 1972-1975

Fig. 5. Verloop van het nitraatgehalte in het Veerse Meer en de Grevelingen in 1974



Veerse Meer ongunstig afsteekt bij die in de Grevelingen, ook voor andere soorten organismen. Het in 1973 verschenen rapport 'Biologische en milieuhygiënische evaluatie van (een) zout(e) bekken(s) in de afgesloten Oosterschelde' geeft een overzicht van de aantallen soorten van bepaalde groepen organismen voor en na de afsluiting van het Veerse Meer en de Grevelingen. Tevens wordt een prognose gegeven van de eindtoestand voor een zout stagnant meer met een hoog zoutgehalte. Tabel II is aan deze publikatie ontleend. Uit deze tabel blijkt, dat het effect van de afsluiting op het aantal soorten waterorganismen in het Veerse Meer aanzienlijk groter is dan in de Grevelingen. Dit wordt vooral veroorzaakt door de lage zoutgehalten op het Veerse Meer. Tevens blijkt, dat bij voldoende hoog zoutgehalte in



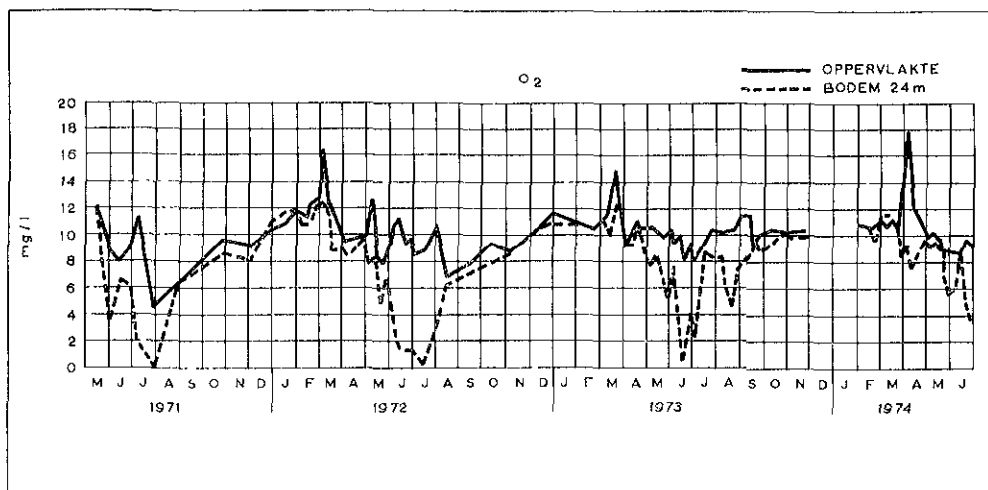


Fig. 6 Verloop van het zuurstofgehalte in de Grevelingen sedert de afsluiting

Fig. 7. Zoutgehalte en soortenrijkdom aan planktonorganismen in het Veerse Meer, 1961-1971 (naar Bakker, 1972)

een zout stagnant bekken uiteindelijk 60% van de soorten bodemdieren, 90% van de zeewieren en 100% van de fyto- en zooplanktonsoorten overblijven. Het aantal soorten vissen zal met 20-50% afnemen, waarbij vooral de economisch of recreatief aantrekkelijke zullen verdwijnen. Zowel in het Veerse Meer als in de Grevelingen zijn goede ervaringen opgedaan met de uitzet van jonge forel voor de sportvisserij. De forel bleek heel goed te groeien evenals de paling. (Zie Bericht 61, augustus 1972)

Samenvattend kan gesteld worden, dat het aquatische milieu in de Grevelingen, vooral onder invloed van het hogere zoutgehalte, rijker geschakeerd is dan dat in het Veerse

Tabel II Aantal soorten voor verschillende groepen organismen

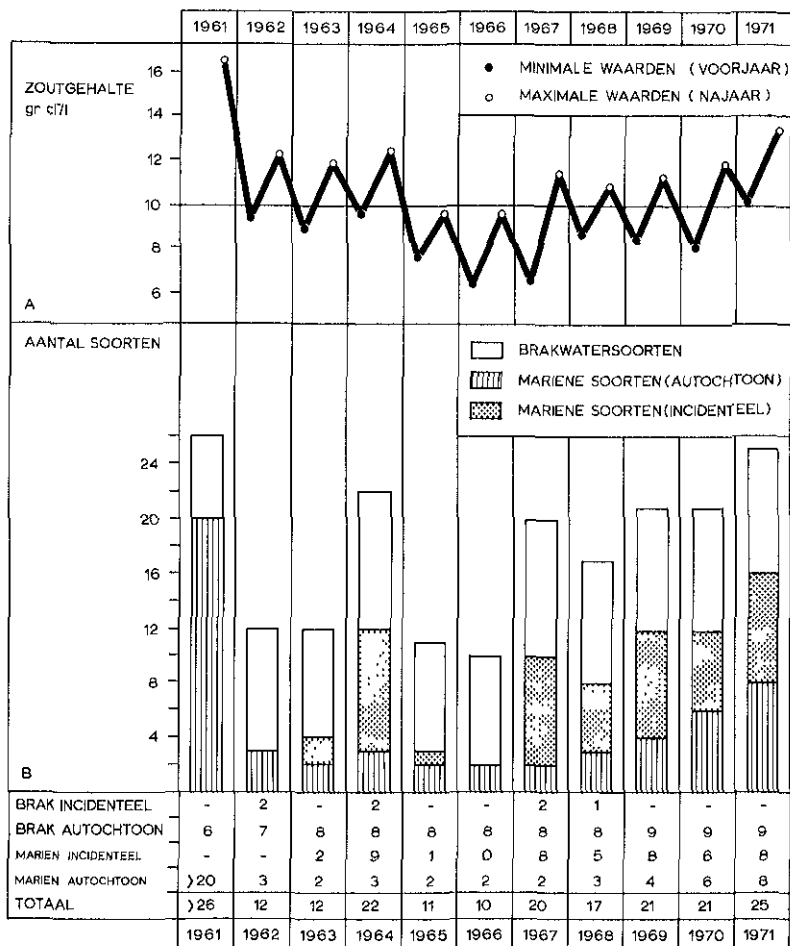
		Veerse Meer		Grevelingen		Prognose
		voor afsluiting	na afsluiting	voor afsluiting	na afsluiting	
zeeanemonen	bodem	5	1	6	3-4	2
borstelwormen		± 60	10-15	± 60	30-40	30-60
slakken		18	2	20	16	± 10
schelpdieren		17	4	19	18	± 11
krabben		11	1	10	5-6	6-8
stekelhuidigen	bodem	6	1	6	5	4-5
roodwieren		35-40	4	35	± 20	± 30-35
bruinwieren		25-30	6	24	± 15	± 20-25
groenwieren		25-30	± 30	30	± 25	± 25-30
drabwieren		90	16	84	± 80	80
crustaceën	plankton	15	4	6	4	10-15
raderdieren		4	7	6	6	10-15

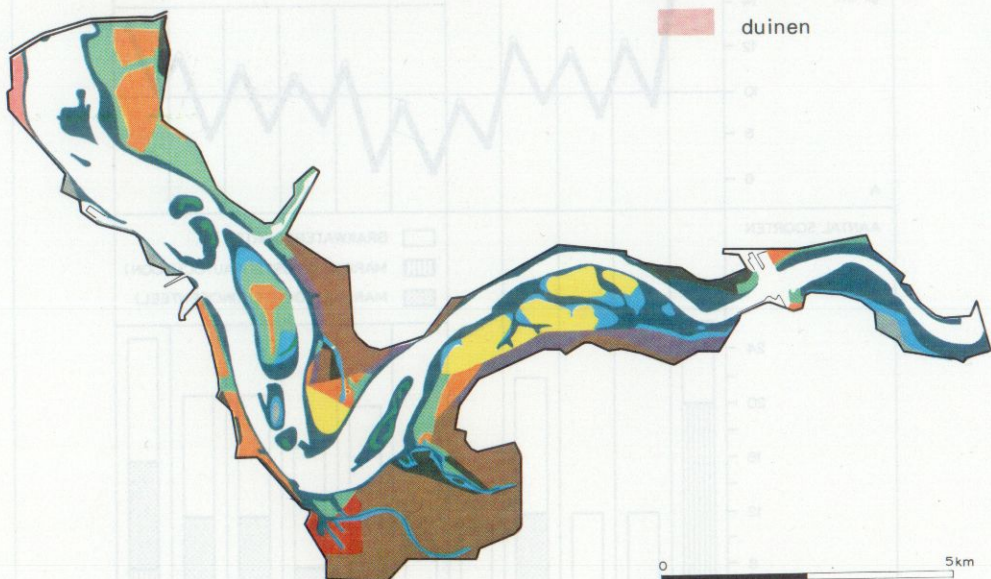
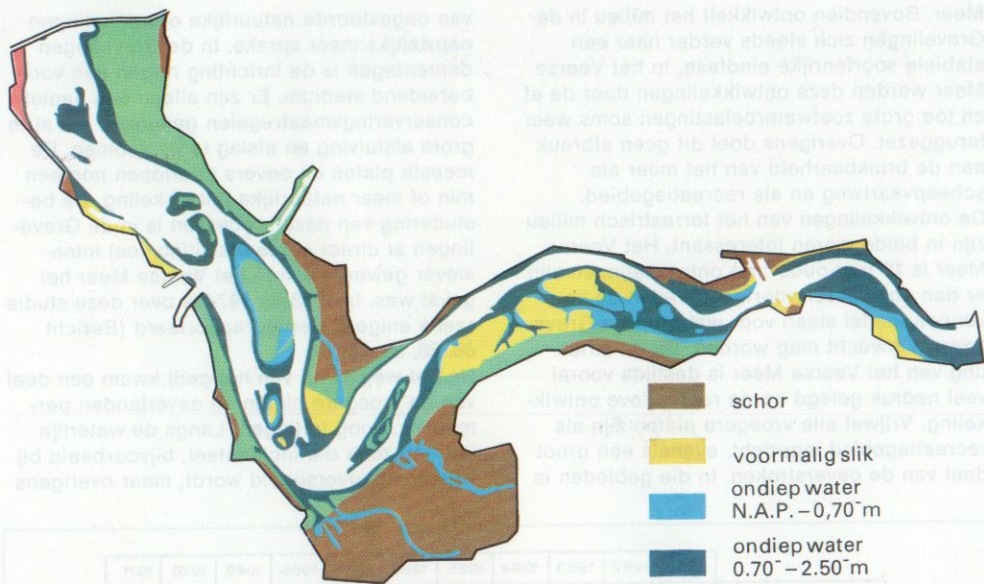
(naar Bakker, Nienhuis en Wolff, 'Biologische en milieuhygiënische evaluatie van (een) zout(e) bekken(s) in de afgesloten Oosterschelde'.

Meer. Bovendien ontwikkelt het milieu in de Grevelingen zich steeds verder naar een stabiele soortenrijke eindfase. In het Veerse Meer worden deze ontwikkelingen door de af en toe grote zoetwaterbelastingen soms weer teruggezet. Overigens doet dit geen afbreuk aan de bruikbaarheid van het meer als *scheepvaartweg en als recreatiegebied*. De ontwikkelingen van het terrestrisch milieu zijn in beide meren interessant. Het Veerse Meer is 10 jaar ouder; de ontwikkelingen zijn er dan ook verder voortgeschreden en ze kunnen model staan voor wat er in de Grevelingen verwacht mag worden. Bij de inrichting van het Veerse Meer is destijds vooral veel nadruk gelegd op de recreatieve ontwikkeling. Vrijwel alle vroegere platen zijn als recreatiegebied ingericht, evenals een groot deel van de oeverstroken. In die gebieden is

van ongestoorde natuurlijke ontwikkelingen nauwelijks meer sprake. In de Grevelingen daarentegen is de inrichting nog in een voorbereidend stadium. Er zijn alleen een aantal conserveringsmaatregelen genomen, om al te grote afsluiting en afslag te voorkomen. De meeste platen en oevers doorlopen nog een *min of meer natuurlijke ontwikkeling*. De bestudering van deze processen is in de Grevelingen al direct na de afsluiting veel intensiever geweest dan in het Veerse Meer het geval was. In 1973 en 1974 is over deze studie reeds enige malen gerapporteerd (Bericht 66, 68, 69, 70)

Na het wegvallen van het getij kwam een deel van de vroegere platen en oeverlanden permanent droog te liggen. Langs de waterlijn ligt een zone die incidenteel, bijvoorbeeld bij windopzet, overspoeld wordt, maar overigens





- landbouw
- bossen
- recreatie
jachthavens
- natuurgebied

- landbouw
- spontane ontwik.
(natuurgebied)
- spontane ontwikkeling
- bossen

- 0 5km
- ingezaaid, bestemd
voor recreatie
 - duinen
 - kunstmatige eilanden
 - ondiep water
0,70 - 2,50 m
 - ondiep water
N.A.P. - 0,70 m

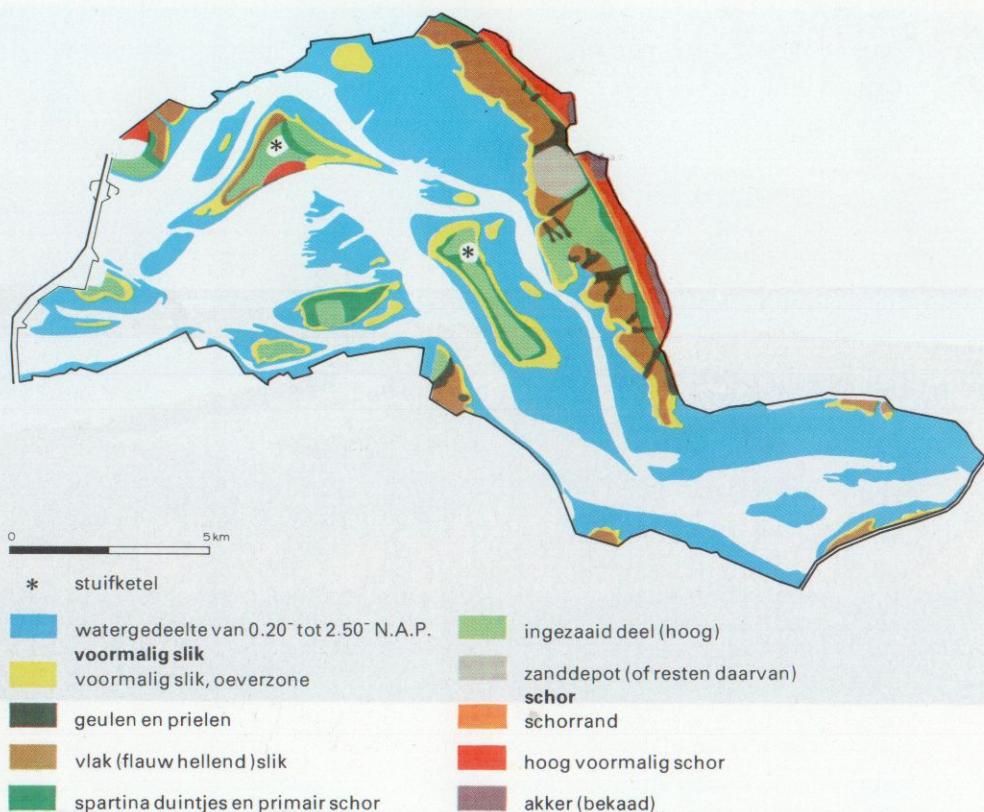


Fig. 8. Landschapseenheden in het Veerse Meer in 1962 en 1975

droog blijft. In het Veerse Meer is er ook nog een gebied dat 's zomers bij het hogere meerpeil onder water ligt, maar dat 's winters droog komt. Beneden de waterlijn ligt een veelal ondiep gebied, waar de stromingen in vergelijking met voor de afsluiting belangrijk minder zijn en waar het water daardoor veel helderder is dan vroeger.

Er zijn dus verschillende zones of gebieden ofwel verschillende landschapseenheden te onderscheiden. Figuur 8 en 9 geven een overzicht van de landschapseenheden in de Grevelingen en het Veerse Meer.

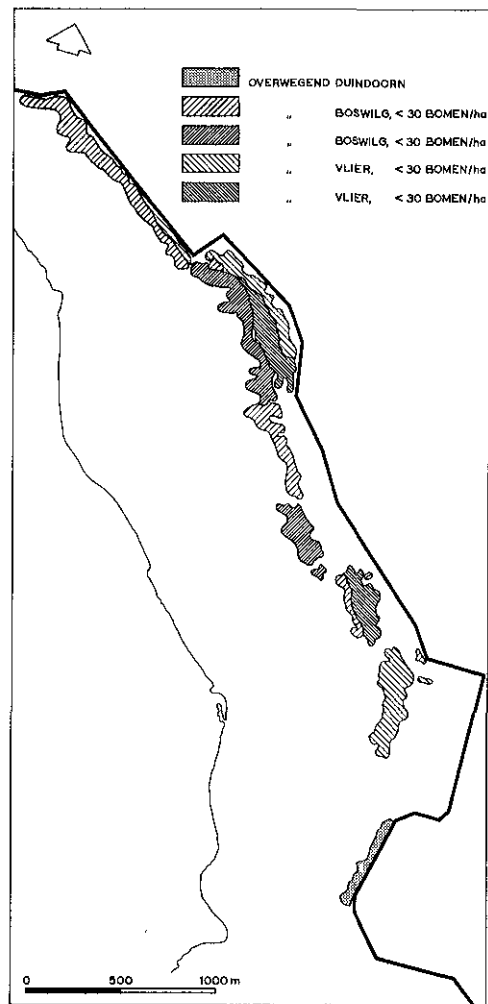
Bezien we eerst de voormalige schorren.

Zulke gebieden komen in het Veerse Meer slechts sporadisch voor, maar in de Grevelingen op belangrijke schaal. Van nature zijn ze gekenmerkt door een groot reliëf van prielen, oevers met hogere oeverwallen, kom-

Fig. 9. Landschapseenheden in de Grevelingen, kort na de afsluiting



De zilte en niet-zilte moeras-vegetaties (bovenste foto) en het open wilgestruuweel op het Aardbeieneiland (rechts) in contrast met het aangeplante bos met 'recreatiesingel' (foto hierboven); alles in het Veerse Meer

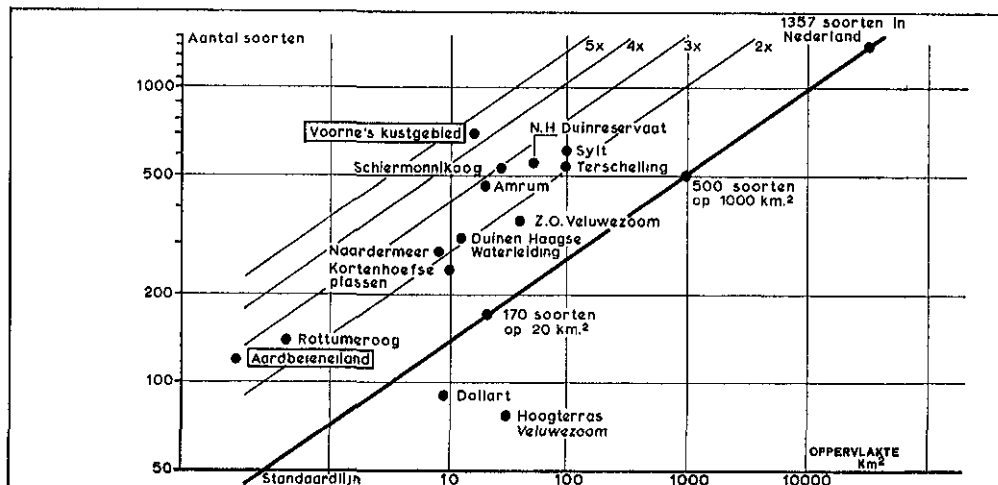


men, steile schorranden of flauw hellende overgangen naar lagere gebieden. De verschillende geomorfologische eenheden op het oude schor hebben elk een karakteristieke bodemsamenstelling, vochthuishouding en zouthuishouding. Als gevolg daarvan waren er vroeger kenmerkende verschillen in de vegetatie. Na het wegvallen van het getij reageerde elk van deze zones op een eigen wijze op de nieuwe toestand. Er zijn daardoor verschillen ontstaan in ontziltingstoestand, bodemeigenschappen en hydrologische situatie.

Die verschillen leveren een grote variatie in milieutypen op. De ontwikkelingen kunnen op korte afstand van elkaar belangrijk afwijken. In dergelijke gebieden kunnen dan ook in de toekomst zeer gevarieerde vegetatietypen ontstaan. Geleidelijk zal de oorspronkelijke zoutvegetatie plaatsmaken voor zouttolerante en daarna voor zoutmijdende soorten. In de Grevelingen kunnen thans reeds aanwijzingen gevonden worden waarop prognoses van de

Fig. 10. Bomenkaart van het noordelijk deel van de Slikken van Flakkee. Inventarisatie van de spontaan opgeslagen begroeiing

Fig. 11. Soortenrijkdom van verscheidene natuurgebieden vergeleken met de soort/oppervlakterelatie in de Nederlandse flora. (Uit: 'Voorne in de branding', 1968)







toekomstige ontwikkelingen kunnen worden gebaseerd. Op kalkrijke vochtige en enigszins humeuze zandgronden zullen wilgenbossen kunnen ontstaan waarin kruipwilg, bellewilg en vliersoorten kunnen voorkomen. In de stikstofrijke kleiige kommen zullen zich struwelen kunnen ontwikkelen met liguster en ratelpopulier. (Figuur 9).

Figuur 10 toont een kaart van de thans reeds aangetroffen boomsoorten op het Noordelijke deel van de Slikken van Flakkee.

Richten we nu de aandacht op de hoge open aanwassen, dat zijn de vroegere slikken en platen, die thans permanent boven de invloed van het meerwater gelegen zijn. Deze gebieden zullen spoedig ontziltten, zeker als de ondergrond goed doorlatend is. Ook de vochtigheidsgraad neemt af. Op zandige gebieden kan dan verstuiving optreden. Op de meeste plaatsen komt de verstuiving vanzelf tot stilstand, doordat wel het zand wegwaait, maar niet de schelpen die in de bodem zitten. Het stuivende zand kan op gewenste plaatsen met stuifschermen worden opgevangen. Er ontstaan dan kunstmatige duintjes, die op grote vlakke platen een landschappelijk aantrekkelijk element vormen en bovendien allerlei gradienten doen ontstaan naar hoogte en vochtigheid, die een gunstig effect kunnen hebben op de variatie in de begroeiing. Voorheen placht men in de Grevelingen het stuiven tegen te gaan door inzaaien. De ervaringen met deze methode zijn niet erg gunstig. Er ontstaan namelijk zeer eentonige vlakten met een zeer spaarzame begroeiing. Bijna al het zand wordt vastgelegd, zodat nauwelijks duinvorming kan plaatsvinden. Op sommige plaatsen in de Grevelingen zijn ingezaaide stukken later met bulldozers weer omgewerkt om alsnog verstuiving te bevorderen.

Door hoge op- en aanwassen kunnen op den duur, afhankelijk van inrichting en beheer, groot- of kleinschalige landschappen ontstaan met een open of parkachtig karakter met bijvoorbeeld lage kruidachtige, struweelachtige of bosachtige vegetaties. In het Veerse Meer zijn na 15 jaar goede voorbeelden van de verschillende mogelijkheden te geven.

Een voorbeeld van een kleinschalig gebied, dat zich op geheel natuurlijke wijze ontwikkeld heeft is het Aardbeieneiland, waar na 10 jaar natuurlijke ontwikkeling 125 soorten zaadplanten aangetroffen worden. Figuur 11 toont dat de vegetatie van dit eiland een belangrijke plaats inneemt in de Nederlandse natuurgebieden. Ook op de Goudplaat en de Middelpaat heeft zich een natuurlijke vegetatie-ontwikkeling voorgedaan, maar hier is er naar gestreefd de vegetatie laag te houden door middel van beweiden en maaien. Op de Haringvleter, de Schotsman en de Ruitersplaat zijn gebieden ingezaaid en in andere zones bossen ingeplant. (Zie de foto's op p. 280). Er zijn dus, afhankelijk van de bestemmingen van de diverse gebieden, vele mogelijkheden de onderscheiden gebieden een landschappelijke vorm te geven. Het is zeer wel mogelijk daarbij gebruik te maken van de natuurlijke ontwikkelingen.

De lage op- en aanwassen zijn de gebieden die periodiek met zout meerwater overspoeld worden. Het zoutgehalte in de bovenste laag van de bodem is daardoor aan sterke wisselingen onderhevig. De oeverzone is veelal onbegroeid. Het aanwezige sediment kan vooral door golven bewogen worden. Er kan op geëxponeerde plaatsen afslag ontstaan, maar op andere punten kunnen zich ook nieuwvormingen ontwikkelen zoals strandwallen en ruggen. (Zie Bericht 69, augustus 1974). Hoger landopwaarts vinden we aanvankelijk een spaarzame begroeiing, die echter in de loop van de tijd dichter wordt. Er ontstaat een vegetatie van een laag en kruidachtig karakter met veel zoutminnende en zouttolerante soorten (foto blz. 268).

De jaarlijkse peilwisseling in het Veerse Meer heeft op zulke gebieden een grote invloed. Meerwaarts van de lage op- en aanwassen liggen veelal ondiepe gebieden, die permanent onder water blijven. In Bericht 70 (november 1974) werd reeds gewezen op de grote natuurwetenschappelijke waarde van deze gebieden. De flora en fauna in, op en boven de bodem vormt een belangrijk voedselgebied voor vogels en vissen en andere organismen.

Het deltagebied van Zuid-West Nederland is altijd een zeer vogelrijk gebied geweest. De grootschalige polderlandschappen en estuaria bieden de geschikte levensomstandigheden voor vogelsoorten die hoge eisen stellen aan ruimte en rust zoals ganzen, eenden en steltlopers. Met name voor de steltlopers is het gebied van zeer groot belang. Langs de Atlantische kust van Europa en Noord-West Afrika, het overwinteringsgebied van de West-paleareetische steltlopers zijn slechts 47 gebieden aan te wijzen waar ze in enig aantal kunnen overwinteren.

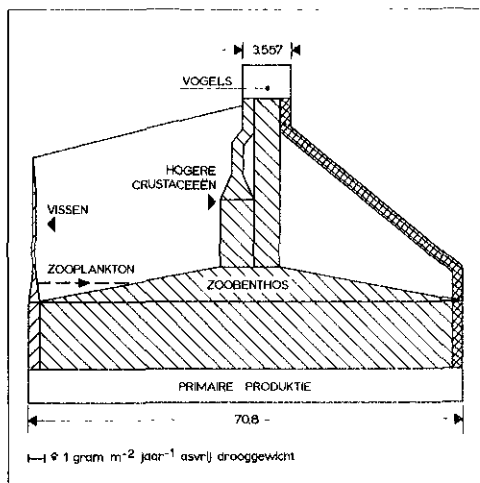
In deze lijst van overwinteringsgebieden staat het deltagebied van Zuid-West Nederland qua aantal steltlopers op de derde plaats. De aantallen hier worden slechts overtroffen in de Banc d'Arguin in Mauretanië en in de Waddenzee.

Een andere zeer belangrijke functie van de estuaria in Zuid-West Nederland is die van doortrekgebied. Het aantal vogels dat van het gebied als doortrekgebied gebruik maakt is niet bekend; maar het kan een veelvoud bedragen van de 200 000 stuks die op één dag zijn geteld. (Zie Bericht 67, februari 1974).

Estuaria zijn in het algemeen zeer voedselrijke milieus, omdat op de bodem, voornamelijk van de ondiepe delen, grote dichtheden van velerlei lagere diersoorten voorkomen. Op de intergetijdeslikken is de situatie zeer gunstig voor de groei van deze dieren, en bij laag water kunnen ze gemakkelijk door vogels worden verschalkt. Meer dan 90% van al het door vogels geconsumeerde voedsel in een estuarium is dan ook afkomstig van de intergetijdegebieden. Verschillende soorten vogels zijn hier ook ware voedselspecialisten.

De Scholekster bijvoorbeeld kent speciale technieken om schelpdieren te openen. In een gedempt getijdregiem, zo luidt de verwachting, zullen de huidige levensgemeenschappen van de getijddevogels zich kunnen handhaven indien althans aan bepaalde randvoorwaarden zoals bijvoorbeeld de saliniteit van het water wordt voldaan, doch de aantallen steltlopers zullen in evenredigheid met de beschikbare oppervlakte aan intergetijdeslik afnemen. Door de geringere getijamplitude en de compartimentering zal het verlies echter ten allen tijde aanzienlijk zijn en 40 tot 60% bedragen van het huidige bestand.

In een afgesloten estuarium blijken de aantallen steltlopers met ongeveer 90% te zijn gereduceerd. Als het zoutgehalte van het water hoog genoeg is, blijven de voedseldieren weliswaar aanwezig, maar ze zijn niet meer zo goed als voorheen bereikbaar voor de steltlopers, die slechts een oeverstrook tot een diepte ongeveer gelijk aan de pootlengte over hebben om te fourageren. Andere bodemdieren etende vogelsoorten worden minder sterk beïnvloed. De Bergeend bijvoorbeeld kan grondelend tot ongeveer 50 cm diep reiken en is daardoor betrekkelijk onafhankelijk van de gunst van het getij. De Brilduiker, een duikend die tot enkele meters diep kan fourageren, neemt onder zulke omstandigheden in aantal toe. De wiergroei en de groei van zeegras in het ondiepe water van het Grevelingenmeer blijken zich voor de vogels zeer gunstig te ontwikkelen, waardoor verschillende vogelsoorten nog steeds in aantal toenemen. Dit geldt bijvoorbeeld voor de Rotgans, een vogelsoort waarvan we tot nu toe dachten



dat hij uitsluitend in marene getijdemilieus thuishoorde, voor de Knobbelzwaan, die meestal in plantenrijke zoetwatermilieus voorkomt en voor de Smient, een vogel die zijn voedsel doorgaans zoekt in zilte oevervegetaties. De soortensamenstelling van de vogelpopulatie in de ondiepe gebieden van het Grevelingenmeer is dan ook een combinatie die nergens anders voorkomt. Ook de visetende vogels in het Grevelingenmeer, zoals de Fuut, de Aalscholver en de Middelste Zaagbek blijken zich zeer gunstig te ontwikkelen. De oorzaak is waarschijnlijk de toenemende helderheid van het water, waardoor de prooidieren als Koornaarvis, Zeegrondeel en Sprot beter zichtbaar zijn. Het totale consumptieniveau van de vogels op het Grevelingenmeer ligt momenteel in ongeveer dezelfde orde van grootte als voor de afsluiting.

In een estuarium blijkt het grootste gedeelte van het dierlijk voedsel dat uiteindelijk door vogels wordt geconsumeerd door middel van een of meer tussenschakels afkomstig te zijn van de primaire produktie, in wezen de enige werkelijke voedselproducent.

Elke tussenschakel geeft een aanzienlijk verlies in de orde van grootte van 90%, doordat het dier dat de tussenschakel vormt, zelf de meeste energie verbruikt en slechts een deel omzet in groei.

Zulke voedselketens vormen een nogal kwetsbaar systeem: zodra een tussenschakel uitvalt of minder goed functioneert, heeft dat direct gevolgen voor de hogere dieren die de lagere als voedsel gebruiken. In het meersysteem blijkt dat het grootste gedeelte van het voedsel dat door vogels wordt geconsumeerd, de primaire produktie

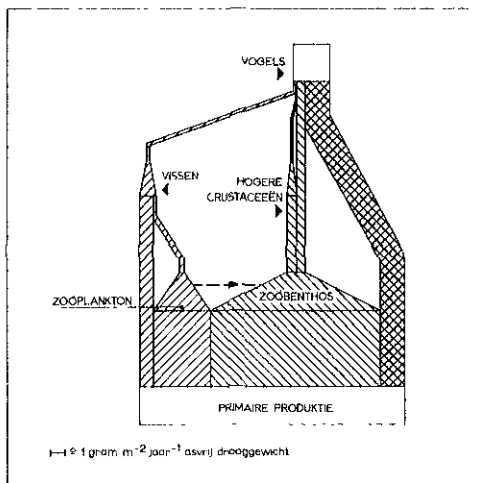


Fig 1 Herkomst van het voedsel voor vogels in de Grevelingen, voor en na de afsluiting

Bergeend

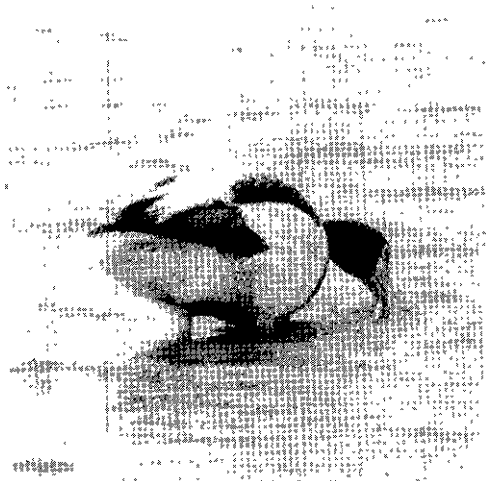
Steenlopers

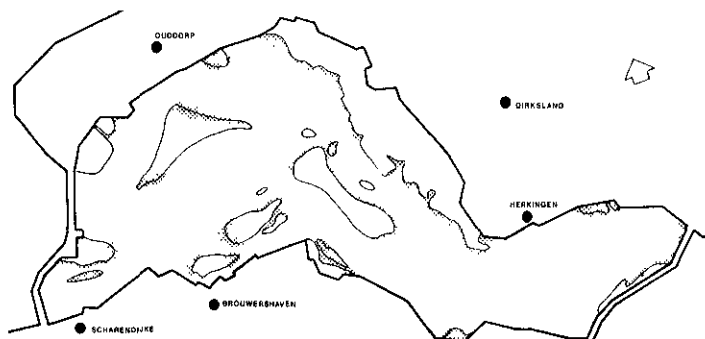
zelf is. Het verlies door tussenschakels wordt dus beperkt, de voedseloverdracht geschiedt meer rechtstreeks van producent naar consument en het systeem is dus minder kwetsbaar. Het aandeel dat de vogels nemen van de totale primaire produktie is bij gelijkblijvende consumptie van voedsel momenteel veel geringer dan voor de afsluiting; het accent ligt in het Grevelingenmeer op 't ogenblik meer op plantetende vogelsoorten. Indien in een bekken wordt gestreefd naar het behoud en de optimalisering van de nieuwe natuurwaarden, dienen de gedragingen van de vogels in het bekken nauwkeurig te worden bestudeerd.

Om te illustreren dat het gedrag van vogelsoorten gebruikt kan worden bij het maken van een inrichtingsschets en bij de uitwerking van de plannen, worden hierbij 4 kaartjes toegevoegd, waarop van 4 vogelsoorten staat aangegeven welke gebieden in welke tijd van het jaar voor hen van belang zijn.

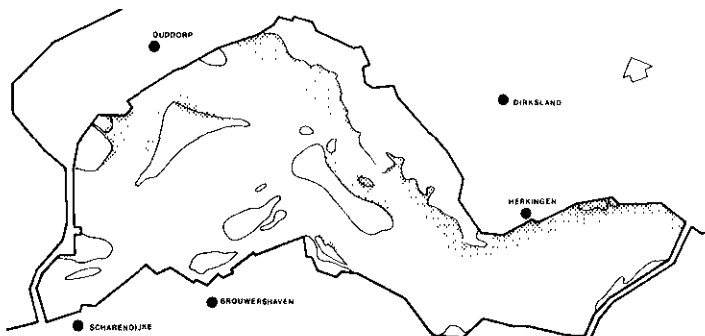
De integratie van de gegevens van alle vogelsoorten leert ons welke gebieden voor welke vogelsoorten in welke tijd van het jaar een functie vervullen. Dit levert ons de mogelijkheid bestemmingsadviezen te geven naar

ruimte, doch ook naar tijd. Het vogelonderzoek kan bijvoorbeeld leiden tot de ontdekking dat er in bepaalde gebieden geen feitelijke competitie bestaat tussen de recreanten en de vogels, omdat ze het gebied elk in een andere tijd van het jaar opzoeken. Het gedrag van de vogels leert ons ook dat de grens land-water in de natuur geen scherpe grens vormt. Een vogel fourageert in het diepe water, rust in het ondiepe en broedt op de oever; een andere vogel fourageert in het ondiepe water of juist uitsluitend op de grens land-water. Verreweg het grootste gedeelte van de vogels in het Grevelingenmeer is afhankelijk van een oeverlandschap, in de ruimste zin van het woord; slechts in zo'n biotoop vindt hij voedsel, ruimte en rust in de specifieke condities die voor hem de levensvoorwaarden vormen.

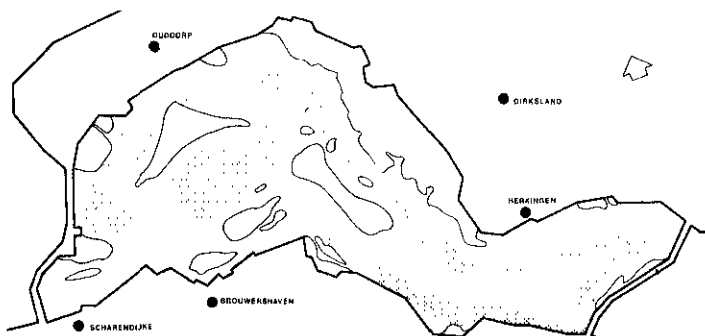




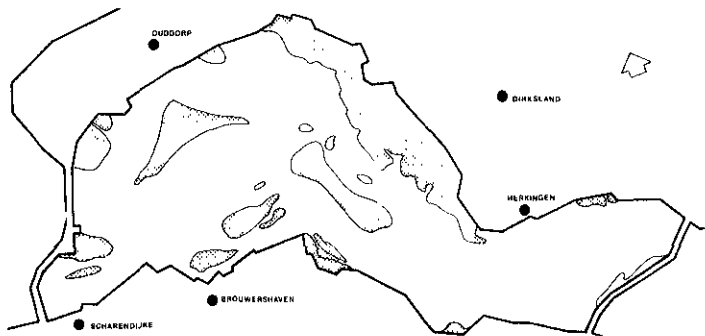
GEBIEDEN VOOR DE WULP
GEHELE JAAR,
VOORNAMELIJK VOOR- EN NAJAAR



GEBIEDEN VOOR DE ROTGANS
WINTER,
MAAR OOK VOOR- EN NAJAAR



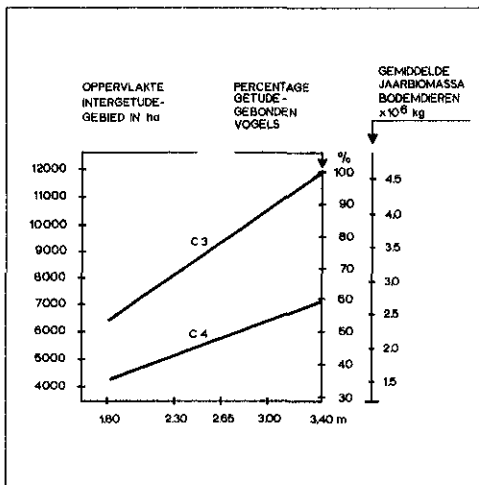
GEBIEDEN VOOR DE FUUT
VOORNAMELIJK VOOR- EN NAJAAR,
MAAR OOK WINTER



GEBIEDEN VOOR DE STRANDPLEVIER
ZOMER

Fig. 2. Gebieden in de Grevelingen die van belang zijn voor verschillende vogels in verschillende jaargetijden

Fig. 3. Relatie tussen de oppervlakte aan intergetijdegebied en de voedselmogelijkheden voor getijgebonden vogels



Op de drooggevallen platen is er een duidelijke samenhang tussen de vogelbevolking en de vegetatie. De kale, vroeger, onbegroeide platen zijn momenteel grotendeels begroeid met pioniervegetaties. Dat zijn nu de belangrijkste broedgebieden voor de vogels. In 1975 hebben er in totaal 310 Kluten, 215 Bontbekplevieren, 410 Strandplevieren en 225 Scholteksters op deze plaats gebroed. Bovendien hebben zich op enkele plaatsen enige meer zeldzame soorten vertoond. Op de Hompelvoet vestigden zich 130 Visdiefjes, 3 Noordse Sterns en 70 paar Dwergsterns. De grote moeilijkheid is, dat een dergelijke broedbiotoop uitsluitend optimaal kan blijven functioneren wanneer er 's winters tijdens stormen zout water overheen wordt gejaagd. Gelukkig zijn zulke plaatsen nog in ruime mate voorhanden en wordt er zorg voor gedragen ze te behouden.

In de gebieden die niet onder blijvende invloed van het meerwater staan, zullen zich afhankelijk van inrichting en beheer vegetaties ontwikkelen die variëren van open weidelandschap tot bos. Een speciaal probleem vormt de Grote-Sternkolonie van 2100 paar op de Hompelvoet. De mogelijkheid bestaat, dat de broedmogelijkheden van de Grote Stern door een te welige vegetatie zullen worden aangetast. Thans wordt onderzocht welke beheersvorm moet worden gekozen om deze kolonie toch te kunnen handhaven. In de overige gebieden wordt gestreefd naar een zo natuurlijk mogelijke beheersvorm, die kan variëren van intensieve beweiding tot 'niets doen'. Als gevolg van deze veelheid aan beheersvormen en de al vrij grote differentiatie in uitgangssituatie van de verschillende gebieden - : oud schor, oud slik, kreekresten,

zand of kleibodem - zal er een veelheid van biotopen en daardoor van vogelgemeenschappen ontstaan, die reikt van Kievit, Tureluur, Grutto, Leeuwerik tot bosvogelgemeenschappen als Merel, Zwartkop en Wielewaal. De weidevogelgemeenschappen hebben zich al op de geschikte plaatsen gevestigd; in 1975 hebben zich ook al de eerste zangvogels in de struikvegetaties gevestigd. Buiten het broedseizoen kunnen de 'weiden' ook van belang zijn voor ganzen. Gedurende de afgelopen winters kwamen er telkens al meer dan 2000 Brandganzen op de ingezaaide delen voor. Tot nu toe zijn op de Grevelingen na de afsluiting al ongeveer 150 verschillende vogelsoorten waargenomen. Wanneer de ontwikkelingen zich voortzetten zal dit aantal ongetwijfeld nog veel groter worden.



De processen die zich afspelen in een bodem onder water zijn van invloed op de waterkwaliteit. Geochemisch onderzoek kan inzicht verschaffen in deze processen.

Geochemisch onderzoek

Sinds 1972 wordt er door de Afdeling Milieu-onderzoek van de Deltadienst onderzoek verricht naar de waterkwaliteit in de verschillende Deltabekkens. Dit onderzoek richt zich voornamelijk op de biologisch werkzame stoffen in het water, waarvan fosfaat een van de belangrijkste is. Op basis van de gemeten hoeveelheden fosfaat en in- en uitstromend water kan voor elk bekken een zogenaamde fosfaat-balans worden opgesteld: een boekhouding van de hoeveelheden fosfaat die het bekken binnenkomen en er uit verdwijnen. Het verschil tussen deze twee levert, na aftrek van een eventueel verschil in fosfaatgehalte in de waterfase tussen twee jaren, de hoeveelheid fosfaat die in de bodem van het bekken terecht komt of, als de uitkomst negatief is, uit de bodem in het water komt. Uit de verkregen balansen blijkt dat er een wisselende hoeveelheid fosfaat in de bekkens achterblijft, en dat er soms meer fosfaat uit een bekken verdwijnt dan er in komt. Men spreekt in het eerste geval van accumulatie, en in het tegenovergestelde geval van mobilisatie van fosfaat. Men rekent altijd met totale fosfaatgehalten, dat wil zeggen dat men al het organische en anorganische fosfaat in ongefiltreerd water meet, dus in opgeloste én niet-opgeloste vorm. Accumulatie van totaalfosfaat betekent dan ook dat er fosfaat, in welke vorm dan ook, in de onderwaterbodem verdwijnt. Daarnaast wordt het orthofosfaatgehalte gemeten, dat is het gehalte aan anorganisch fosfaat in gefiltreerd water, dus in opgeloste toestand. Dit gehalte is van groot belang, omdat alleen orthofosfaat als voedingsstof kan worden opgenomen door algen en andere organismen. Organisch fosfaat en niet-opge-

lost fosfaat in zwevende slibvlokken kunnen niet als voedingsstof dienen. Van het orthofosfaat zijn eveneens balansen opgesteld voor de diverse bekkens. In plaats van accumulatie en mobilisatie wordt daarbij gesproken over conversie, omdat verdwijnen van opgelost orthofosfaat niet noodzakelijkerwijs hoeft te betekenen dat het in het sediment verdwijnt; opname van orthofosfaat door algen en bacteriën houdt alleen in, dat het wordt omgezet – geconverteerd – in anderssoortig fosfaat, waarbij het totale fosfaatgehalte constant blijft. Pas als de algen afsterven en naar de bodem zinken treedt accumulatie van totaalfosfaat op. Aangezien algen een levenscyclus hebben van enkele dagen tot een week doet het bovenbeschreven proces zich 's zomers gedurende lange tijd telkens opnieuw voor.

In fig. 1 staan als voorbeeld veertiendaagse balansen uitgezet voor de accumulatie, repectievelijk mobilisatie van totaalfosfaat en de conversie van orthofosfaat in het Veerse Meer in 1973. Elke afwijking van de nul-lijn in de bovenste grafiek wordt veroorzaakt door de bodem. De uitgezette waarden zijn slechts globaal juist, omdat ze deels door schattingen zijn verkregen. Maar ze zijn voldoende sprekend als men bedenkt dat de totale hoeveelheid fosfaat in het Veerse Meer 's zomers ongeveer 100 ton bedraagt, en 's winters 20 ton. Dit wordt veroorzaakt door allerlei processen in de bodem, in het omgevende water in de holten tussen de bodemdeeltjes – zogenaamd poriënwater – en tussen dit water en het bovenliggende oppervlaktewater. Deze processen zijn in hoofdzaak van chemische aard en behoren tot het studiegebied van de geochemie.

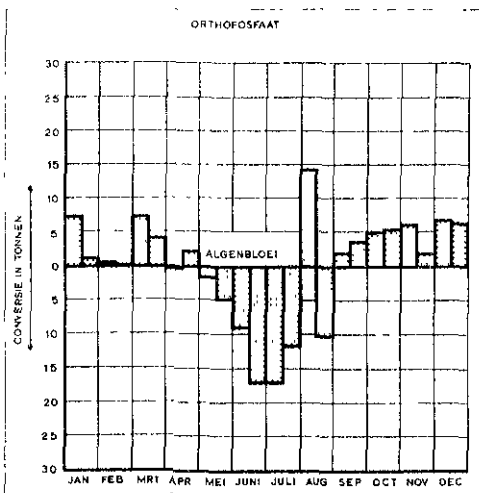
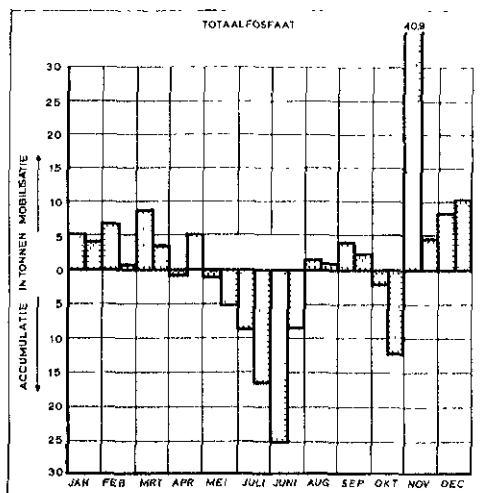
Geochemisch fosfaatonderzoek is naast hydrobiologisch onderzoek naar de algenbloei noodzakelijk om meer te weten te komen over de uitwisseling van fosfaat tussen bodem en water. Immers, mineralisatie en mobilisatie van fosfaat vanuit de bodem leiden tot extra belasting van het oppervlaktewater. Als men de Nederlandse wateren op grote schaal kunstmatig gaat defosfateren, waarbij een zo groot mogelijk deel van het orthofosfaat door chemische binding tot neerslag wordt gebracht, zal de algenbloei en daarmee de biologische fosfaataccumulatie afnemen, omdat er minder orthofosfaat overblijft voor de algen. Geochemisch onderzoek moet dan een antwoord geven op de vraag of en, zo ja, hoe de mobilisatieprocessen daardoor zullen veranderen. Speciale aandacht zal daarbij geschonken moeten worden aan het gedrag

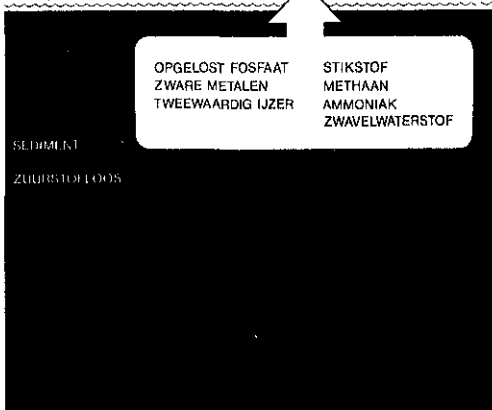
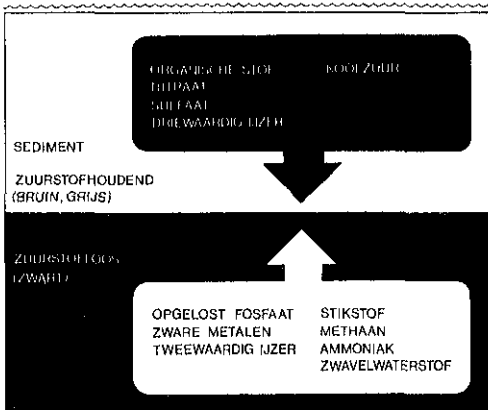
van een fosfaatrijke bodem ten opzichte van fosfaatarm water, omdat het defosfaterings-effect eventueel teniet gedaan kan worden door extra mobilisatie van fosfaat dat vooral in de laatste decennia in de bodem is opgeslagen. Dit onderzoek wordt uitgevoerd in samenwerking met de afdeling Chemische Technologie van de T.H. Twente en het Geochemisch Instituut van de Universiteit te Utrecht.

Behalve in de fosfaatproblematiek kan de geochemie inzicht verschaffen in het gedrag van zware metalen nabij en in de bodem. Zware metalen - kwik, koper, cadmium, zink en andere - zijn boven bepaalde concentraties giftig voor organismen. Evenals fosfaat kunnen zware metalen accumuleren in de onderwaterbodem, hetgeen tot uitdrukking komt in de concentraties ervan in het poriënwater in de holten van de bodem. In dit poriënwater leven vele belangrijke organismen; denk alleen al aan de mosselen. Het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren verricht op verzoek van de Rijkswaterstaat sedert enige tijd geochemisch onderzoek naar het gedrag van zware metalen in slib. Onlangs is dit onderzoek nog uitgebreid, waarbij ook het Waterloopkundig Laboratorium werd ingeschakeld. Daarnaast is het Cultuurtechnisch Instituut van T.N.O. bezig om ter plaatse de vergiftigende uitwerking van zware metalen op bepaalde bodemorganismen te meten. Er zijn daartoe op verschillende plaatsen in het Deltagebied bodemdieren uitgezet, die na enige maanden onderzocht worden op groei, zware-metalengehalte en dergelijke meer.

Het nagaan van de invloed die het baggeren en dumpen van slib heeft op de water-

Fig. 1. Gedrag van fosfaten in het Veerse Meer gedurende 1973





kwiteit is een derde werkterrein van de geochemie. Het omwoelen van slib verstoort het gecompliceerde evenwicht tussen bovenstaand water, poriënwater en sediment, waardoor extra mobilisatie kan optreden van fosfaten en zware metalen. Naar de omvang van dit effect wordt thans onderzoek verricht in samenwerking met verscheidene diensten en instellingen.

Een vierde studiegebied wordt gevormd door het gedrag van de bodem onder bovenstaand zuurstofloos water. Dit verschijnsel treedt onder meer op in zogenaamde diepe putten van bekkens, waar de waterdiepte zo groot is, dat onder bepaalde condities stratificatie plaatsvindt, waarbij aanzienlijke hoeveelheden van bepaalde stoffen door de bodem worden afgegeven (zie Bericht 65, augustus 1973).

Het zuurstofgehalte in de bodem

Het zuurstofgehalte in de onderwaterbodem is van groot belang voor alle vier de bovengenoemde processen. Het lijkt dan ook nuttig hier wat dieper op in te gaan. Bepaalde belangrijke elementen kunnen in het sediment in verschillende vormen voorkomen, afhankelijk van de aanwezigheid van zuurstof (zie tabel 1).

De verschillen in voorkomensvorm van die elementen komen tot uiting in verschillend chemisch gedrag, wat op zijn beurt de oorzaak is van een verschillend gedrag van andere belangrijke elementen, waaronder fosfaat en zware metalen. In het kort komt het erop neer, dat de elementen geneigd zijn bij aanwezigheid van zuurstof aan het sediment vast te gaan zitten, terwijl dezelfde elementen bij afwezigheid van zuurstof van de bodemdeeltjes los kunnen laten. Daardoor zal hun concentratie in het poriënwater tussen de bodemdeeltjes toenemen. Als er contact mogelijk is tussen dit verrijkte poriënwater en het bovenliggende oppervlaktewater is uitwisseling mogelijk. Behalve als gevolg van zuurstofloosheid kunnen dergelijke verschijnselen ook optreden door verstoring van de zuurstofrijke bodemlaag tengevolge van baggerwerkzaamheden of door opwerpingen van slib. Het zuurstofrijke water doet dan echter een deel van de gevolgen teniet.

Accumulatie van fosfaat

Al eerder in dit artikel is gesproken over de verschillende soorten accumulatie van fosfaat. Dat dit grootschalige processen zijn, blijkt uit tabel 2, waarin de percentages voor verschei-

Tabel 1

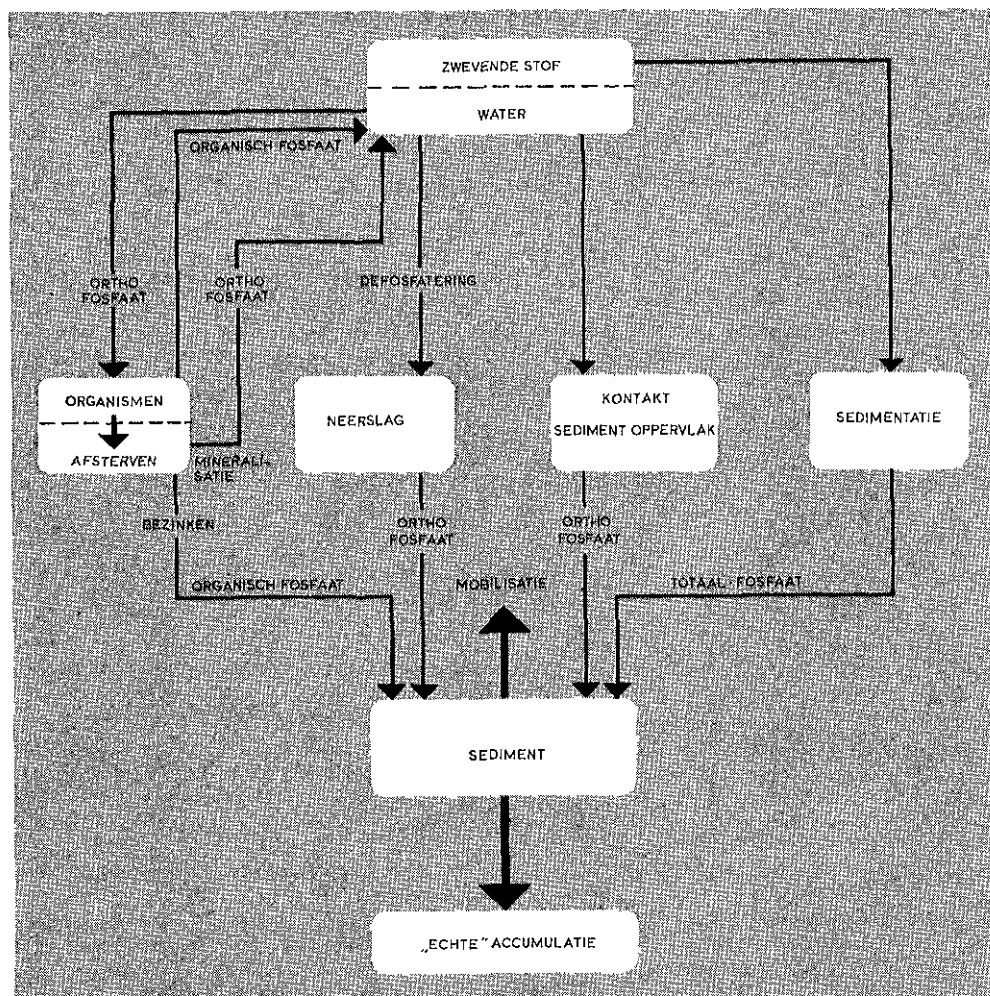
Voorkomensvormen van elementen in sediment

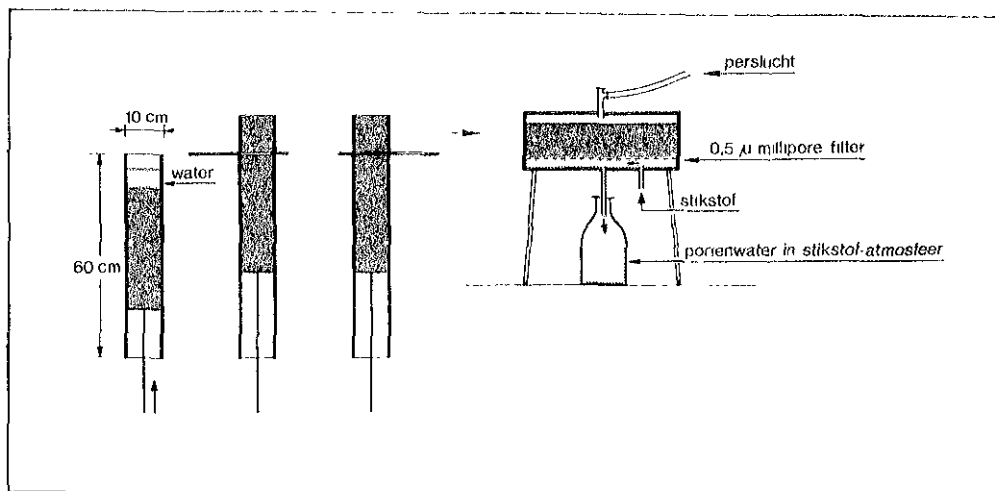
Element	Zuurstof aanwezig	Zuurstof afwezig
koolstof	organische stof, koolzuur	koolmonoxyde, methaan
stikstof	nitraat	stikstofgas, ammoniak
zwavel	sulfaat	zwavel, sulfide
ijzer	driewaardig ijzer	tweewaardig ijzer

Fig. 2. Invloed van zuurstof op het gedrag van andere elementen

dene bekkens over een aantal jaren staan vermeld. Tevens zijn in de tabel de conversiepercentages van orthofosfaat opgenomen, die voor het grootste deel toegeschreven kunnen worden aan biologische processen zoals algenbloei. In het Brielse Meer is vanaf maart 1972 een gedeeltelijke chemische defosfatering toegepast, waardoor een extra hoeveelheid orthofosfaat in de bodem is verdwenen, wat dan weer tot gevolg heeft, dat ook de accumulatie van totaal-fosfaat verhoogd is. Fig. 3 geeft een aantal manieren aan waarop fosfaat kan worden verwijderd. In de eerste plaats biologisch. Algen en andere organismen hebben fosfaat nodig voor hun groei, en na hun afsterven zinkt dit fosfaat naar de bodem. Dit accumulatieproces wordt echter vaak tenietgedaan door mineralisatie – omzetting van organisch in anorganisch fosfaat –

Fig. 3. De accumulatie van totaalfosfaat





van de dode algen. Als deze mineralisatie eenmaal op gang is, kan ook andere organische stof op de bodem worden omgezet, zeker als het zuurstofgehalte laag is, en de temperatuur hoog. Het eindresultaat is dan vaak mobilisatie van totaal-fosfaat en verhoging van de orthofosfaatconcentratie in het water. Dit komt bijvoorbeeld tot uiting in fig. 1, waar 's zomers tijdens de algenbloei het fosfaatgehalte toeneemt

Het tweede verwijderingsmechanisme bestaat in de vorming van een neerslag, wanneer orthofosfaat in contact komt met ijzer, calcium of aluminium. Dit proces kan langs natuurlijke en langs kunstmatige weg tot stand komen. Behalve door biologische en chemische

Fig 4 Het scheiden en uitpersen van sedimentmonsters

Opname van slib met een scanning elektronenmicroscop; vergroting 4200 x

Tabel 2

Accumulatie van totaal-fosfaat en conversie van orthofosfaat

bekken	periode		accumulatie totaal fosfaat in ‰	conversie ortho- fosfaat in ‰
Haringvliet-Hollands Diep	jan.-juni 1972		33	22
	jan.-dec. 1972		57	44
	jan.-dec. 1973		44	28
Grevelingen	jan.-dec. 1972		—	22
	juli-dec. 1972		36	12
	jan.-dec. 1973		-10	-13
Veerse Meer	jan.-dec. 1972		—	15
	juli-dec. 1972		54	22
	jan.-dec. 1973		26	6
Brielse Meer	juli-dec. 1971		44	43
	jan.-dec. 1972 *		61	68
	jan.-dec. 1973 *		58	66

* Vanaf maart 1972 werd het inlaatwater kunstmatig gedefosfateerd.

verwijdering van orthofosfaat kan het fosfaatgehalte ook nog verminderen doordat de bodem zelf door adsorptie orthofosfaat invangt uit het bovenstaande water. Dit mechanisme berust op de aantrekkingskracht tussen positieve en negatieve ladingen. De adsorptie is des te groter naarmate er meer klei en organische stof in het sediment aanwezig is. Een vierde verwijderingsmechanisme is de sedimentatie van onopgeloste fosfaatdeeltjes bij vermindering van de stroomsnelheid of de turbulentie van het water. Dit vierde mechanisme is waarschijnlijk de belangrijkste oorzaak voor de gesignaleerde accumulatie. Een deel van het fosfaat zal voor 'eeuwig' in het sediment blijven. Het is uiteraard van groot belang om via geochemisch onderzoek uit te vinden, hoe groot dat deel is en hoe het wordt vastgehouden. Van nog groter belang is echter het deel van het bodemfosfaat, dat via allerlei mobilisatieprocessen los raakt van de slibdeeltjes waar het aan vastgehecht was. Het fosfaat komt dan terecht in het poriënwater en vandaar uit terug in het bovenstaande water. Het poriënwater heeft een sleutelrol in de processen tussen water en bodem, zodat hier bij het onderzoek veel aandacht aan wordt gegeven.

Onderzoeksmethodiek

Het op juiste wijze nemen van een slibmonster is veel moeilijker en tijdrovender dan het nemen van een watermonster. Het gecompliceerde evenwichtssysteem in de verticaal, met name de overgang tussen zuurstofrijk en zuurstofloos sediment, moet ongestoord blijven bij de monsterneming. Daartoe is een speciale sedimentverzamelaar ontworpen, een variant van de zogenaamde 'Jenkin mud sampler', bestaande uit een perspexbuis, die voorzichtig voor een deel de bodem wordt ingebracht en vervolgens van boven en van onder wordt gesloten met twee kleppen. Na het ophalen wordt de bovenste klep geopend en het bovenstaande water langzaam afgezogen. Dan wordt de onderste klep geopend en een zuiger ingebracht om de kolom omhoog te kunnen drukken. Het slib moet nu gescheiden worden op de grens zuurstofrijk - zuurstofloos. Deze overgang is meestal voldoende abrupt, en met het oog waarneembaar door een verschil in kleur. In andere gevallen kan de grens bepaald worden met behulp van een potentiaalmeting. De scheiding gaat als volgt. Op de perspexbuis wordt een plaat gelegd met een gat van dezelfde diameter als de buis. Daarbovenop komt een extra stuk buis.



Nu wordt de kolom voorzichtig omhoog gedrukt tot het scheidingsvlak tussen zuurstofhoudend en zuurstofloos slib zich ter hoogte van de plaat bevindt. Door induwen van deze plaat worden de delen gescheiden en ieder afzonderlijk overgebracht naar een poriënwaterpers. Hierin wordt het poriënwater uit het sediment door een zeer fijn filter van vijf tienduizendste mm geperst en opgevangen in een monsterflesje. Daarbij wordt stikstof doorgeleid om te voorkomen, dat de luchtzuurstof de vorm waarin de elementen voorkomen, kan veranderen. Zowel het verkregen poriënwater als de uitgeperste slibkoek worden, ten dele aan boord van het schip en ten dele in het laboratorium, nader geanalyseerd.

De hoedanigheid van een onderwaterbodem is in hoge mate afhankelijk van de plaats, de voorgeschiedenis, de waterkwaliteit en de rijkdom aan organismen. Daarom vormen de bemonsteringen in situ een belangrijk onderdeel van het op de praktijk gericht onderzoek. Samenwerking met andere takken van wetenschap is daarbij een eerste vereiste.

55	1. Milieu-onderzoek in het Deltagebied
56	2. Klimatologisch onderzoek in het Deltagebied
"	3. Duinbemestingsproeven
"	4. Het biologisch station 'Weevers' duin' te Oostvoorne
"	5. Contacten van het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek met de Rijkswaterstaat
"	6. Waterkwaliteit
57	7. Milieuvraagstukken in het noordelijk Deltabekken
59	8. De afdeling Milieu-onderzoek van de Deltadienst
"	9. Enkele overwegingen bij de inrichting van nieuwe gebieden in de Delta
61	10. Vastlegging van drooggevallen staatsgronden in het Grevelingenmeer
"	11. Het gebruik van automatische analyse-apparatuur bij het onderzoek naar de waterkwaliteit in het Deltagebied
"	12. Een jaar onderzoek van de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer
"	13. De Waterkwaliteit van het Brielse Meer
62	14. De oevers van de Deltameren
"	15. Golfbeweging op de Deltameren
"	16. Natuurbouw op de drooggevallen gronden in het Grevelingenbekken
64	17. Fotografische technieken als hulpmiddel bij het milieu-onderzoek
65	18. De waterkwaliteit in het Hollands Diep en het Haringvliet in het eerste halfjaar van 1972
"	19. Het verloop van de waterkwaliteit in het Hollands Diep/Haringvliet in de periode van hoge rivierafvoeren
"	20. Natuurlijke en kunstmatige stratificatie in de diepe gedeelten van het Grevelingenmeer
66	21. Twee jaar onderzoek naar het aquatisch milieu in het Grevelingenmeer
"	22. Vegetatiegordels op en langs drooggevallen oeverstroken
"	23. Broedplaatsen voor sterns, pluvieren en kluten in het Deltagebied
"	24. Landschapsecologisch onderzoek op de Slikken van Flakkee I
67	25. Onderzoek naar de primaire produktie van fytoplankton in de wateren van het Deltagebied
"	26. Watervogels in het Deltagebied, verslag van drie totaal-tellingen
68	27. Landschapsecologisch onderzoek op de Slikken van Flakkee II
69	28. Aquatische ecosystemen
"	29. Waterkwaliteitsbeheer en saneringsbeleid in het Deltagebied
"	30. Het Aardbeieneiland, spontane ontwikkeling in een veranderend milieu
"	31. Oevertypen in het Grevelingenmeer
70	32. Aquatisch milieubeheer in het Deltagebied
"	33. Drie jaar Grevelingenmeer
"	34. De natuurwetenschappelijke waarde van de ondiepe gebieden in het Grevelingenmeer
71	35. Ecologisch modelonderzoek bij de Deltawerken
"	36. Berekening van het interne windeffect op afgesloten bekkens

Verantwoording van de foto's

Hofmeester 226 282

TPD Delft 234

H. L. F. Saeijes 244 256 268 270 275 280

J. Visser 261 262 269

T. van Beek 263

A. Andriessen 287 289

Waterlooplekundig Laboratorium 295

