

Zeegras en bodem

Uit figuur 18 blijkt dat er een relatie is tussen de mate van voorkomen van Groot en Klein zeegras en de gemiddelde korrelgrootte (de fijnheid van de bodem), het slibgehalte en de bulk-density (= bodemdichtheid \approx stevigheid van de bodem). Kort samengevat is deze relatie: binnen zeegrasvelden is de bodem fijner, kleirijker en zachter dan er buiten.

Het feit dat dit ook al bij lage bedekkingen zo is, duidt erop dat de zeegrassen zich pas kunnen vestigen in een relatief rustiger milieu. Uit vergelijking van de twee soorten onderling blijkt dat de beide soorten min of meer vergelijkbare bodems hebben. De gemiddelden kunnen enigszins van elkaar verschillen, maar de spreiding is zodanig, dat niet gesproken kan worden van significante verschillen.

Uit de figuur voor de gemiddelde korrelgrootte lijkt het erop dat als de hydro-dynamische omstandigheden eenmaal voldoende gunstig zijn voor vestiging van Klein zeegras, deze soort dan geleidelijk verder in dichtheid kan toenemen. Bij Groot zeegras daarentegen lijkt het erop, dat voor grotere bedekkingen het milieu nog weer rustiger moet zijn. Dit verschil is waarschijnlijk een gevolg van de leefwijze van de twee soorten: Klein zeegras is meerjarig en overwintert als wortelstok; is de soort eenmaal gevestigd dan kan hij zich geleidelijk met vegetatieve uitlopers uitbreiden. Groot zeegras is echter éénjarig en moet zich ieder jaar opnieuw vestigen uit zaad; naarmate het milieu rustiger is, is er een grotere kans dat er zaad blijft liggen (van elders aangevoerd, danwel ter plaatse overgebleven van de planten van de zomer ervoor).

Voor het hogere slibgehalte bij de grotere bedekkingen van Klein en Groot zeegras kunnen verschillende oorzaken worden genoemd:

- de planten hebben een groot slibvangend vermogen. Dit invangen van slib vindt plaats gedurende het groeiseizoen als de plant bovengronds aanwezig is. Dat het slib in de winterperiode blijft liggen komt bij Klein zeegras omdat deze met wortelstokken overblijft; deze wortelstokken houden de bodem met daarin het slib vast. Dat ook bij het éénjarige Groot zeegras het slib veelvuldig in de bodem achterblijft komt, omdat deze soort vaak groeit op heel rustige plaatsen, waar het slib ook zonder verder vastgelegd te zijn kan blijven liggen.
- belangrijke groeiplaatsen van Groot zeegras zijn onder andere (tijdelijk) niet gebruikte mosselpercelen; deze hebben vaak een hoog slibgehalte als gevolg van de mosselactiviteiten. Het Groot zeegras treedt daar min of meer op als kolonist voordat Klein zeegras verschijnt.
- Klein zeegras groeit op diverse plaatsen waar zich oude kleibanken in de bodem bevinden. Op dergelijke plaatsen kan de begrenzing van het zeegrasveld in hoge mate worden bepaald door de ligging van deze kleibanken (zie ook hiernaast: zeegras in de Zandkreek). Deze drie oorzaken kunnen zowel afzonderlijk als in combinatie optreden, bv een kleibank waarin zich Klein zeegras vestigt, waarna er sedimentatie van fijn materiaal optreedt. In dergelijke 'combinatiesituaties' kan de vraag gesteld worden 'wat was er eerder: een hoger slibgehalte in de bodem of zeegras' (het dilemma van de kip of het ei).

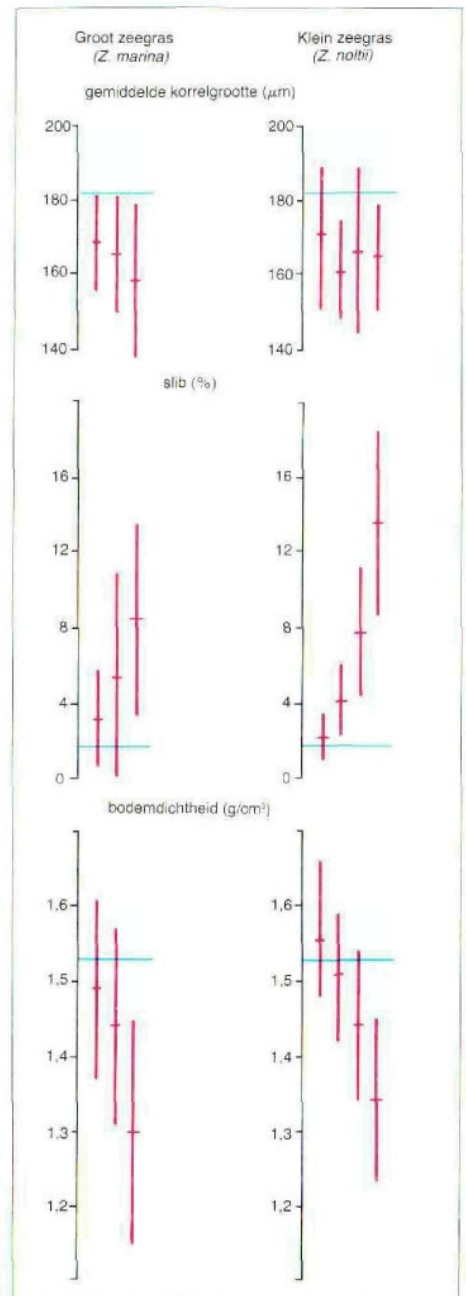
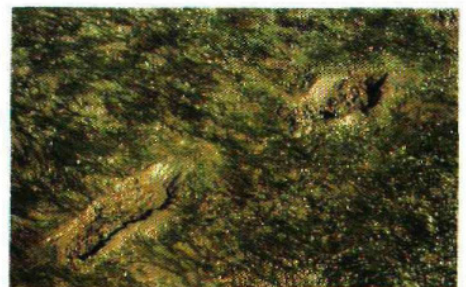


Fig 18. Relatie tussen het voorkomen van Groot zeegras en Klein zeegras en enkele bodemparameters. De verticale lijnen geven het gemiddelde en de standaardafwijking per bedekkingsklasse, van links naar rechts: Groot zeegras: $\leq 0,1$, $0,5-5$ en $\geq 5\%$, Klein zeegras: $\leq 0,1$, $0,5-10$, $11-50$ en $\geq 50\%$. De blauwe lijn en zone geven het gemiddelde en de standaardafwijking voor alle bemonsterde punten.



.... binnen zeegrasvelden is de bodem zachter dan er buiten.

Zeegras en jaarcyclus

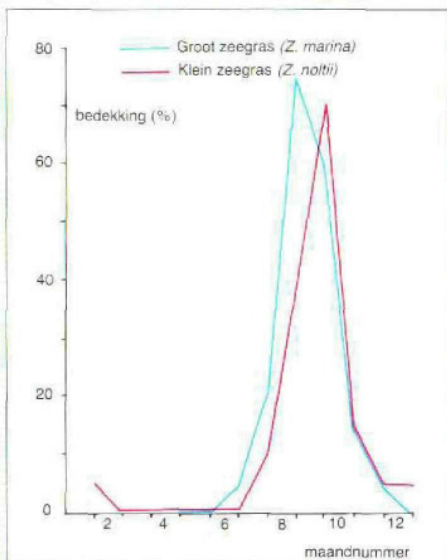


Fig 19. Jaarcyclus van Groot zeegras (*Zostera marina*) en Klein zeegras (*Z. noltii*) in de Oosterschelde.

Zeegras en slikopbouw

In de zomerperiode hebben de bovengrondse delen van zeegras een remmend effect op stroming en golfslag. Als gevolg hiervan kan op dergelijke plaatsen veel fijn materiaal (slib en fijn zand) uit het overspoelende water bezinken.

Op plaatsen waar de plant ook in de winter bovengronds aanwezig is, kan dit fijne materiaal blijvend worden vastgehouden, waardoor de slikbodem langzaam opgehoogd wordt. Op den duur kan de bodem zo hoog komen, dat het zeegras afsterft, waarna het gesedimenteerde materiaal erodeert en het proces in principe weer van voren af aan kan beginnen. Er ontstaat dan een meerjarig, cyclisch proces van opbouw en afbraak; dit komt onder meer in Bretagne voor.

In Nederland verdwijnt het zeegras bovengronds, zodat het gesedimenteerde materiaal hier weer grotendeels verdwijnt; een dergelijk cyclisch proces van opbouw en afbraak komt hier dan ook niet voor.



Fig 20. Fragment vegetatiekaart, met globaal de verspreiding van zeegras (boven), en bodemkaart, met de ligging van klei en zand aan het oppervlak (onder), van de Zandkreek.

Zeegras in de Zandkreek

Een opvallend verschijnsel is dat de begrenzing van de zeegrasvelden vaak erg scherp is. Als voorbeeld hiervan is in figuur 20 een kaartfragment weergegeven van de zuidelijke Zandkreek, waar zich een belangrijk Klein zeegrasveld bevindt.

De noordwestelijke begrenzing van het veld wordt gevormd door de aanwezigheid van in gebruik zijnde mosselpercelen langs de geulrand; door het regelmatig korren van deze percelen krijgt het zeegras geen kans zich hier blijvend te vestigen.

Naar het oosten heeft het zeegrasveld een specifiek patroon van een gebied langs de dijk met oostelijk daarvan een soort scherp omgrenste tong, waartussen een bijna kale zone. Dit patroon komt overeen met de kleibanken in de bodem (restanten van vroegere schorren), waarin het zeegras wortelt; de bijna kale zone ertussenin daarentegen heeft een zandige bodem. Hoewel er ook in andere gebieden vaak vrij scherpe grenzen zijn tussen kleilagen aan het oppervlak en een zeegrasveld is deze correlatie in de zuidelijke Zandkreek het sterkst.

Zeesla en Blaaswier en abiotische factoren

Zeesla

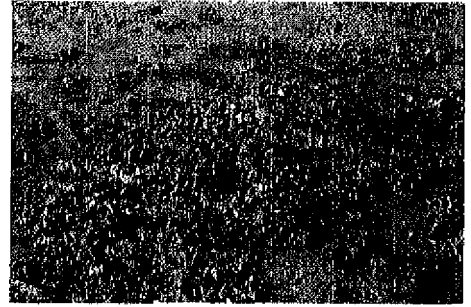
Zeesla komt in het intergetijdengebied veelal los aangespoeld voor, hetzij in geringe hoeveelheden ($<0,5\%$), hetzij opgehoopt in aanspoelselzones. Verder wordt het soms 'ingevangen' door mossels op de mosselpercelen. Om die reden wordt zeesla dan ook in principe op wat slibrijkere en zachtere bodems aangetroffen: mosselpercelen en beschutte hoeken.

De hoogteligging van zeesla wordt voornamelijk bepaald door het voorkomen in mosselpercelen, onder NAP, of in de aanspoelselzones, tegen de hoogwaterlijn.

Blaaswier

Het voorkomen van Blaaswier loopt min of meer parallel met de mosselpercelen, waardoor deze soort met name lijkt voor te komen op plaatsen met fijner zand, een hoger slibgehalte en een lagere bulkdensity; dit komt echter geheel voor rekening van de mosselpercelen. Immers, Blaaswier komt nog veel meer voor op de steenglooiingen van de dijken, waar het slibgehalte 0% is en de bodem geheel van steen is; kortom een 100% afwijkend biotoop, behalve voor de voornaamste vestigingsfactor: de aanwezigheid van hardsubstraat, dat daar juist volop aanwezig is.

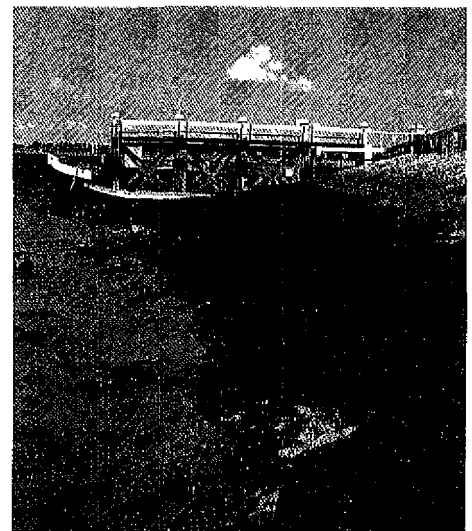
De hoogteligging van Blaaswier in het intergetijdengebied wordt geheel bepaald door de hoogteligging van de mosselpercelen: vanaf NAP naar de laagwaterlijn.



Zeesla ... wordt soms ingevangen door mossels op de mosselpercelen.



Het voorkomen van Blaaswier loopt min of meer parallel met de mosselpercelen,



Immers Blaaswier komt nog veel meer voor op de steenglooiingen ...

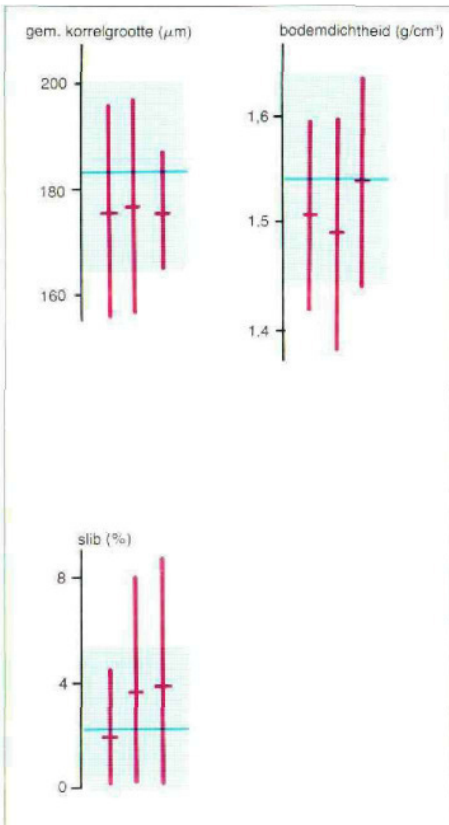


Fig 21. Relatie tussen het voorkomen van groenwieren (excl zeesla) en enkele bodemparameters. De verticale lijnen geven het gemiddelde en de standaardafwijking per bedekkingsklassen, van links naar rechts: $\leq 0,1$, 0,5-10 en $>10\%$. De blauwe lijn en zone geven het gemiddelde en de standaardafwijking voor alle bemonsterde punten.

Groenwieren en abiotische factoren

Groenwieren wortelen niet in de bodem zoals bv de zeegrassen. De aard van de bodem zal dan ook niet direct van invloed zijn op het voorkomen ervan. Wel zijn veel groenwieren ergens op vastgehecht, zodat ze niet wegspoelen; deze aanhechting is vaak op schelpen (in of op de bodem of in schelpenruggen), maar het kan ook op bv stenen of harde (fossiele) kleilagen. Een eventuele relatie met bodemfactoren zal dan ook in veel gevallen van indirecte aard zijn; de aard van de bodem weerspiegelt dan nl de mate van hydro-dynamiek ter plaatse en die bepaalt weer of een schelp met daarop een groenwier, danwel een losliggend groenwier kan blijven liggen. Uit figuur 21 blijkt dan ook dat de groenwieren in principe voorkomen in de iets minder dynamische gebieden, maar dat de verschillen met de gemiddelde waarden voor alle waarnemingspunten niet echt groot zijn. Omdat groenwieren in principe ook in de echt rustige gebieden zouden kunnen groeien, maar daar slechts weinig voorkomen, is er in die gebieden wellicht sprake van concurrentie met de zeegrassen.

Ten aanzien van de hoogteligging kan worden gesteld dat de groenwieren voorkomen van de hoogwaterlijn tot de laagwaterlijn; hier zijn geen directe beperkingen in het voorkomen.



.... deze aanhechting is vaak op schelpen



.... maar het kan ook op bijvoorbeeld harde kleilagen.

5. GEVOLGEN AFBOUW OOSTERSCHELDEKERING

De 'afwerkfase'

Tijdens de laatste fase van de bouw van de Oosterscheldekering (1986 t/m voorjaar 1987) is het getijverschil in de Oosterschelde geleidelijk afgenomen. Dit was het gevolg van het kleiner worden van de doorstroomopening van de Oosterscheldekering (door de plaatsing van de onderdorpelbalken), terwijl de dammen in het oostelijk deel van de Oosterschelde nog niet gesloten waren.

Verder heeft men de kering (tijdens de winter 1986/87) gedurende langere periodes gedeeltelijk gesloten, opdat men de bestortingen van de keringdrempel eenvoudiger kon aanbrengen.

Tenslotte is ook bij de sluiting van de twee compartimenteringsdammen (oktober 1986 en april 1987) gebruik gemaakt van de Oosterscheldekering. Door de kering tijdens de laatste sluitingsfase van de dammen gedurende enige weken steeds verder dicht te doen en op het laatst zelfs enige getijden geheel te sluiten, verminderden de stroomsnelheden in de Oosterschelde zodanig, dat men de dammen volledig kon sluiten door het opspuiten van zand.



.... dat men de dammen volledig kon sluiten door het opspuiten van zand.

Door deze activiteiten is in de periode begin 1986 - april 1987 het getijverschil geleidelijk minder geworden en gedurende enige maanden ca 30 - 40% minder geweest dan voor 1986 en ca 20 -30% minder dan het uiteindelijk zou worden (fig 22). Dit heeft uiteraard invloed gehad op de hoog- en laagwaterstanden, maar ook op de stroomsnelheden, die meestal sterk verminderd waren.

Daardoor is de golf- en stromingsinvloed op de hogere delen van de slikken en platen in deze periode anders geweest. Afhankelijk van de plaats was deze dynamiek groter of kleiner, met als gevolg onder andere het plaatselijk veranderen van de slibgehalten in de bodem (uitwassen/inspoelen). Op sommige plaatsen, vooral in zeegrasvelden en buiten gebruik zijnde mosselpercelen, werd bv de bodem door slibuitwassing aanzienlijk slibbarmer en steviger.

Naast deze antropogene veranderingen werden de winters van 1984/85, 1985/86 en 1986/87 nog gekenmerkt door hun strenge karakter met veel vorstdagen en lage temperaturen (fig 23). Door de verlaagde hoogwaterstanden in de laatste winter kon de vorst een veel groter effect hebben op de levensgemeenschap van de hogere slikken en platen dan normaal; immers in die periode had het water een veel minder sterk temperend effect op de hogere delen.



.... werden de winters van 1984/85 gekenmerkt door hun strenge karakter

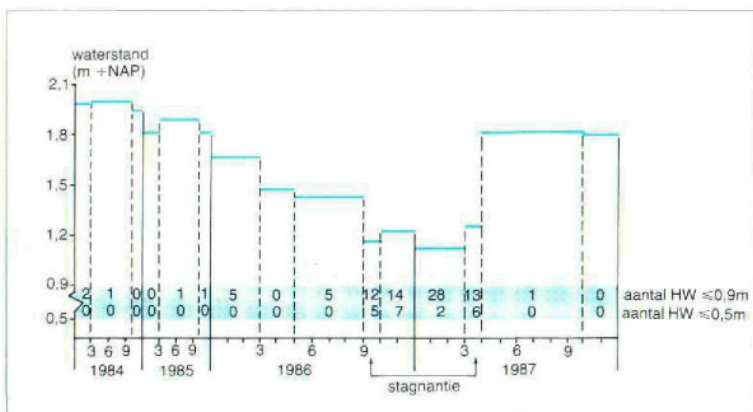


Fig 22. Gemiddeld hoogwater in de periode 1984 t/m 1987; tevens is in de blauwe zone per periode aangegeven hoeveel hoogwaters er beneden 0,9m, resp. 0,5m zijn gebleven. In de met een pijl aangegeven maanden zijn de stagnante perioden opgetreden.

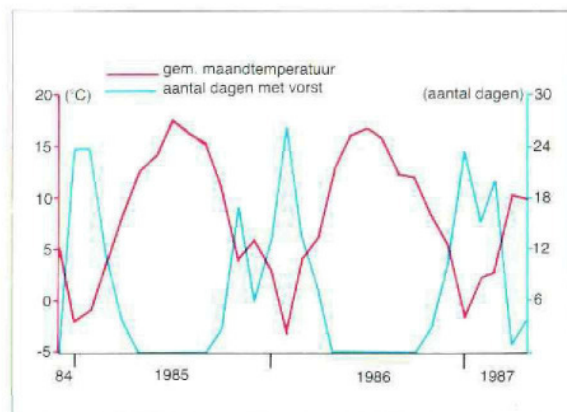


Fig 23. Aantal dagen met vorst per maand en de gemiddelde maandtemperatuur voor de periode december 1984 - mei 1987.

'Afwerk' en groenwieren/zeesla/Blaaswier

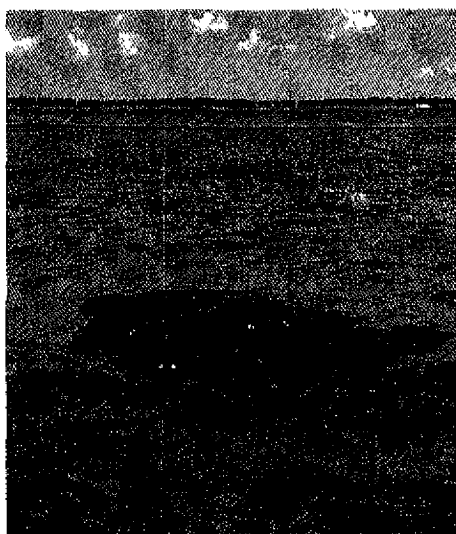
Groenwieren (excl. zeesla)

Op de Roggenplaat hebben de groenwieren in 1986 geprofiteerd van het rustiger milieu tijdens de 'afwerk'-fase van de Deltawerken; over de hele plaat kwamen groenwieren voor, zij het meestal in zeer lage dichtheden. In 1987 heeft deze uitbreiding zich grotendeels gehandhaafd en plaatselijk is het groenwier nog verder uitgebreid; vooral op de noordoostelijke helft komen nu vrij dichte velden groenwier voor.

Ook in de Krabbenkreek zijn de groenwieren plaatselijk sterk toegenomen. Het betreft hier vooral wieren die zijn aangespoeld op het hoge 'plateau' aan de noordzijde en tegen de schorrand aan de zuidzijde. Dit is waarschijnlijk een gevolg van enerzijds een sterkere groei van groenwieren in de Oosterschelde, waardoor er meer kon aanspoelen, en van anderzijds het lagere hoogwater, waardoor de wieren nu (meer) op het slik bleven liggen, terwijl ze in de voorgaande jaren meer op de dijk en op het schor terechtkwamen. In 1987 zijn de groenwieren afgenomen, mn op het plateau, waarschijnlijk omdat ze nu weer vooral op de dijk terechtkwamen.

In de Zandkreek zijn de groenwieren in 1986 afgenomen en in 1987 weer wat toegenomen; oorzaken zijn niet duidelijk aan te geven.

Op de Galgeplaat zijn de groenwieren in 1986 langs de randen over het algemeen wat toegenomen (verminderde dynamiek) en in het centrum (de mosselpercelen) wat afgenomen. In 1987 is er als regel weer sprake van enige achteruitgang (toename dynamiek).



Het betreft hier vooral wieren die zijn aangespoeld

Zeesla

Over Zeesla is weinig te zeggen. Het is een lastig te onderzoeken soort, omdat deze in het intergetijdengebied vooral aangespoeld voorkomt. De bedekkingen zijn als regel erg laag en in de tijd variërend, of, wanneer er sprake is van ophoping van materiaal, plaatselijk vrij hoog. Deze situatie is in 1986 en 1987 vergelijkbaar met 1985. Wel lijkt het er op dat plaatselijk in de mosselpercelen de zeesla zich sterker heeft kunnen ontwikkelen dan in de voorgaande jaren, waarschijnlijk omdat de percelen niet bevist zijn (zie ook hieronder), waardoor er 'rust' heerste.

Blaaswier

Blaaswier komt in 1986 en 1987 over het algemeen minder voor dan voorheen. Dit is echter een indirect gevolg van de veranderde getijdensituatie. Immers Blaaswier kwam mn voor op mosselschelpen in de mosselpercelen; tijdens de 'afwerk'-fase waren de intergetijdelpercelen echter nauwelijks in gebruik (omdat de vissersboten er niet konden varen), waardoor er ook maar weinig mossels op de platen en slikken lagen. Het substraat was dus weg, waardoor het Blaaswier er ook niet kon groeien. Alleen op de weinige percelen waar mossels zijn achtergebleven komt nog Blaaswier voor, en daar vaak in grotere hoeveelheden dan daarvoor, omdat het nu niet door de visserij werd losgerukt en 'verstoord'.



.... tijdens de 'afwerk'-fase waren de intergetijdelpercelen echter nauwelijks in gebruik ...

'Afwerk' en zeegras I

De grote afwijkingen in de waterstanden tijdens de afbouw van de Oosterscheldekering hebben grote consequenties gehad voor de zeegrassen in de Oosterschelde. Vooral de sterke verlaging van de hoogwaterstanden is van invloed geweest, waarbij gevoegd moet worden de strenge winter van 1986/87.

De veranderingen in de zeegrasbedekking kunnen globaal in drie typen worden verdeeld:

- een drastische afname in de Krabbenkreek,
- een matige afname in de zuidelijke Zandkreek en
- een toename op de platen en in de noordelijke Zandkreek.

In de **Krabbenkreek** (fig 24a) is het zeegras (mn Klein zeegras) in 1986 enigszins achteruit gegaan en in 1987 nagenoeg verdwenen. Dit komt omdat in de Krabbenkreek het zeegras over het algemeen hoog voorkomt (globaal tussen -0,2 en +0,9m). Uit figuur 22 blijkt dat in de zomer van 1986 in deze zone een aantal overspoelingen is uitgebleven, terwijl het ook duidelijk zal zijn dat de gemiddelde overspoelingsduur in deze zone aanzienlijk korter is geweest. Hierdoor is het Klein zeegras op de hoogste delen (centraal noord) in zekere mate door uitdroging doodgegaan. Vervolgens is in de winter van 1986/87 het aantal overspoelingen en de overspoelingsduur in de zeegraszone nog verder afgenomen, juist in een periode met strenge vorst, waardoor bijna alle wortelstokken doodgevroren zijn. Alleen in een paar lage prielen is dan nog zeegras van betekenis overgebleven. Deze achteruitgang blijkt behalve uit de kaartjes ook zeer duidelijk uit de biomassa cijfers:

1983 - ca 40 ton ADG* (ook ongeveer in 1984 en 1985),
 1986 - ca 25 ton ADG en
 1987 - ca 5 ton ADG.

Dat het juist de combinatie van lage hoogwaters + strenge vorst is en niet alleen de strenge vorst waardoor het zeegras bijna verdwenen is, blijkt uit het feit dat er in de voorgaande winter, waarin de temperaturen vergelijkbaar laag waren maar het hoogwater nog ongeveer normaal, geen excessieve sterfte is opgetreden.

In de **Zandkreek** (fig 24b) komt het zeegras over het algemeen op lager gelegen delen voor. Het gevolg van de verminderde overspoelingsfrequentie en -duur is hier wel zichtbaar, maar in veel geringere mate dan in de Krabbenkreek; alleen op enkele hogere delen aan de zuidzijde is het Klein zeegras achteruitgegaan. Door de lagere ligging is ook de invloed van de strenge vorst in de winter van 1986/87 op de wortelstokken veel minder geweest, zodat in 1987 de consequenties van deze vorst in veel mindere mate merkbaar zijn.

Aan de noordzijde heeft zich bij de 'haven van Kats' in 1986 en 1987 een vrij sterke uitbreiding voorgedaan van mn Groot zeegras en op het 'eilandgedeelte' in 1986 een uitbreiding, die in 1987 weer verdwenen was. Dit is waarschijnlijk een gevolg van een combinatie van een lagere dynamiek op het slik en het tijdelijk buiten gebruik zijn van de mosselpercelen.

In biomassa cijfers:

in 1984 - ca 44 ton ADG*,
 in 1986 - ca 50 ton ADG en
 in 1987 - ca 34 ton ADG.

(*: ADG = asvrij drooggewicht)

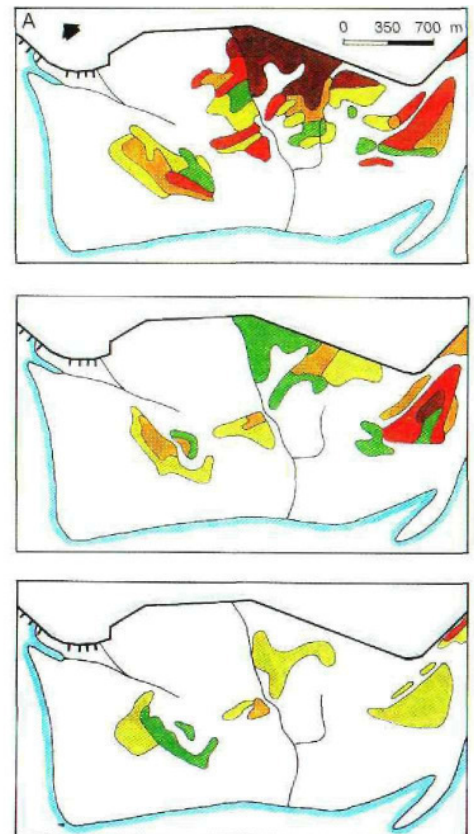
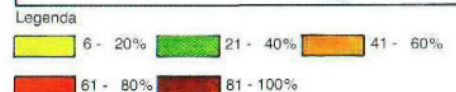
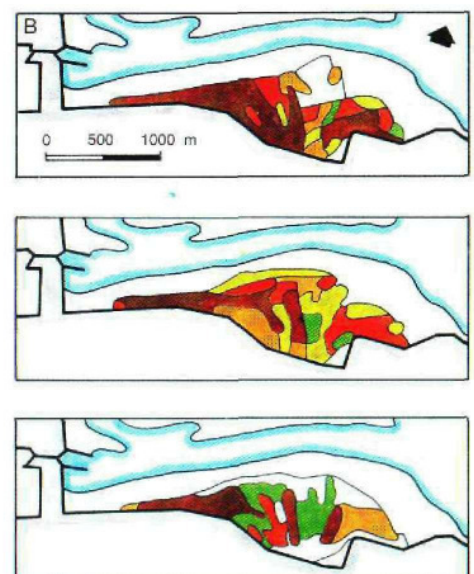
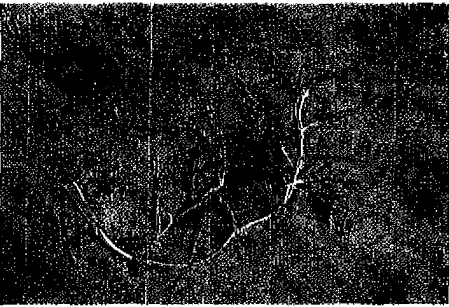


Fig 24. Verspreiding zeegras (*Zostera spec*) in een deel van de Krabbenkreek (A) en Zandkreek (B) in 1984, 1986 en 1987.





Hierdoor kan zich in 1986 op de rustige percelen een soms uitbundige zeegrasbegroeiing ontwikkelen.



Klein zeegras heeft als meerjarige soort

'Afwerk' en zeegras II

Op de **Galgeplaat** en in mindere mate ook op de **Roggenplaat** is het Groot zeegras in bedekking (en biomassa) toegenomen. Dit komt in belangrijke mate, omdat in deze gebieden tijdens de 'afwerk'-fase de mosselpercelen niet zijn gebruikt; ze waren nl niet bevaarbaar voor de vissersboten door het te lage hoogwater. Hierdoor kon zich in 1986 op de 'rustige' percelen een, soms uitbundige, zeegrasbegroeiing ontwikkelen. Daarnaast heeft het Groot zeegras zich ook kunnen vestigen op andere delen van de platen, omdat de stroomsnelheden sterk verminderd zijn. In 1987 hebben deze zeegrasvestigingen zich gehandhaafd en vaak zelfs nog verder uitgebreid. Bij het ontbreken van kaartmateriaal van deze platen uit 1986 wordt dit hier in tabel 3 geïllustreerd met de gemiddelde bedekking van het zeegras in de vaste bemonsteringspunten in beide gebieden (ter illustratie zijn de cijfers voor de Zandkreek en Krabbenkreek er aan toegevoegd).

Van de andere zeegrasgebieden is geen kaartmateriaal beschikbaar. Wel is uit losse veldwaarnemingen duidelijk geworden, dat het Groot en Klein zeegras zich daar over het algemeen vergelijkbaar heeft gedragen met het zeegras in de Zandkreek. Dat wil zeggen op de hoogste delen een lichte afname van Klein zeegras en op kale delen plaatselijk enige toename van Groot zeegras.

Dat juist Groot zeegras zich heeft uitgebreid in de nieuw geschikt geworden gebieden komt, omdat deze soort, als éénjarige plant, ieder jaar een grote zaadproductie heeft en daardoor snel kan reageren op nieuwe gunstige ontwikkelingen. Klein zeegras heeft als meerjarige soort een veel geringere zaadproductie dan Groot zeegras en reageert daarom trager. Daarnaast is de laatste soort, doordat hij als wortelstok overwintert, ook in de winterperiode kwetsbaarder, hetgeen hier tot uitdrukking is gekomen in de achteruitgang door de strenge vorst.

Tab 3 Gemiddelde bedekking (in %) van Groot en Klein zeegras in vaste bemonsteringspunten in vier gebieden in 1984, 1986 en 1987.

	Groot zeegras			Klein zeegras		
	1984	1986	1987	1984	1986	1987
Roggenplaat	0.1	1.0	1.3	0	0	0
Galgeplaat	0.2	1.0	2.8	0.1	0.1	0.1
Zandkreek	2.2	7.6	10.4	31.3	23.9	8.9*
Krabbenkreek	0.2	0.1	0.0	11.0	10.4	1.1

*: gemiddelde is extra laag omdat enkele punten door opschuiven van de grens van het zeegrasveld net buiten het zeegrasveld zijn komen te liggen.

6. TOEKOMSTVERWACHTING

Oosterschelde vanaf 1987

Met het gereedkomen van de Oosterscheldedekering en de compartimenteringsdammen in april 1987 is er in de Oosterschelde een nieuwe fase aangebroken.

Het verticale getij (hoog- en laagwater) is met ca 10 - 15% afgenomen, waardoor het gemiddeld hoogwaterniveau ca 0,2m is verlaagd en het gemiddeld laagwaterniveau ca 0,2m verhoogd (fig 25). De drooglig-/overspoelingsduur van de zone waarin tot en met 1985 het zeegras voorkwam, is slechts weinig veranderd.

Het horizontale getij (de stromingen) is eveneens afgenomen, maar niet overal op dezelfde wijze. In de directe omgeving van de kering zijn de snelheden toegenomen of gelijk gebleven, maar verderop in het bekken zijn ze in meer of mindere mate afgenomen; in de Oosterschelde als geheel tot zo'n 80 - 90% en in het Keeten - Zijpe is de stroming zelfs tot zo'n 20 - 30% gereduceerd. Door deze reductie van de waterstromingen is het sedimenttransporterend vermogen van het water sterk verminderd, waardoor een groot deel van het zwevend sediment uit het water is verdwenen; het water is dan ook helderder geworden, vooral in de winter en het vroege voorjaar (fig 26).

Behalve in de geulen is ook boven de slikken en platen op veel plaatsen de stroomsnelheid afgenomen (fig 27); hoewel de golfinvloed min of meer gelijk gebleven is, is over het algemeen het milieu toch minder dynamisch geworden.

Prognose wieren

Groenwieren

Door de verminderde dynamiek zullen de groenwieren zich in de toekomst op grotere schaal kunnen manifesteren. Daarbij moet primair gedacht worden aan vergroting van de bedekking en biomassa in de reeds (in 1986/87) begroeide gebieden. Daarnaast kan er zich ook nog enige uitbreiding naar nieuwe plaatsen voordoen.

Blaaswier

De mogelijkheden voor Blaaswier worden voornamelijk bepaald door de mate waarin er mosselcultuur in het intergetijdengebied blijft plaatsvinden. Daarbij spelen twee mechanismen een rol; enerzijds krijgen de gebruikte vissersschepen een steeds geringere diepgang, waardoor in gebruikname mogelijk is, anderzijds wordt de predatiedruk van scholeksters en zilvermeeuwen op de mossels te sterk geacht, waardoor het minder aantrekkelijk is om de intergetijdenpercelen ook daadwerkelijk te gaan gebruiken. Hoewel het hierdoor moeilijk is een prognose te maken, lijkt het niet waarschijnlijk, dat deze soort zich sterk zal uitbreiden.

Zeesla

Ook voor zeesla is het moeilijk een prognose te maken. Het lijkt echter aannemelijk, dat deze soort het door de vergrote helderheid van het water beter zal gaan doen onder de laagwaterlijn. Daardoor kan er meer zeesla loslaan en aanspoelen op de intergetijdengebieden. Een zekere toename lijkt dan ook voor de hand te liggen.

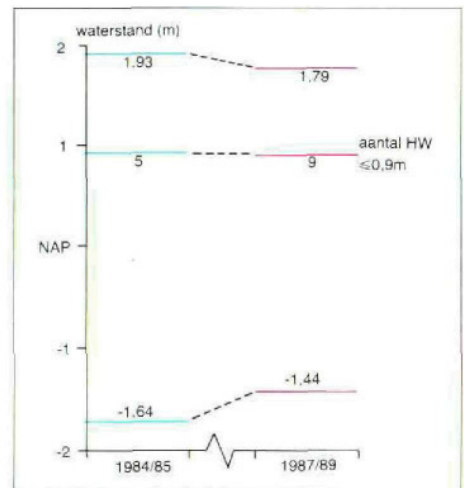


Fig 25. Gemiddeld hoog- en laagwater bij Yerseke in 1984/85 (januari - december) en 1987/89 (mei - april); tevens is voor de beide perioden van twee jaar het aantal hoogwaters $\leq 0,9\text{m}$ aangegeven.

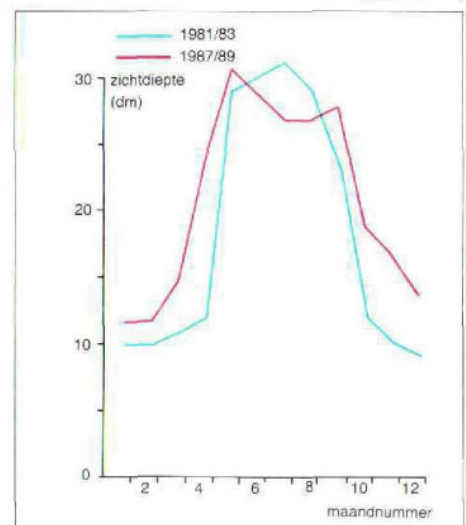
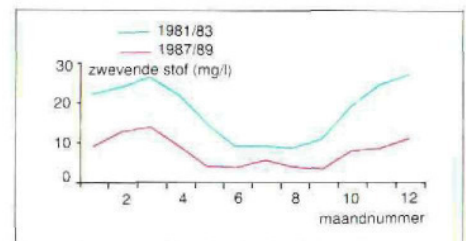


Fig 26. Gehalte zwevende stof (boven) en gemiddelde zichtdiepte (onder) in het middendeel van de Oosterschelde in de periode 1981 - 1983 en juni 1987 - mei 1989.

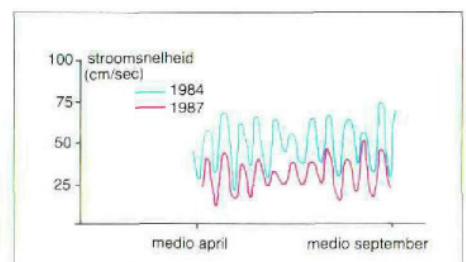
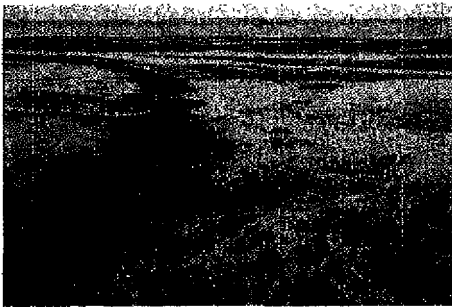


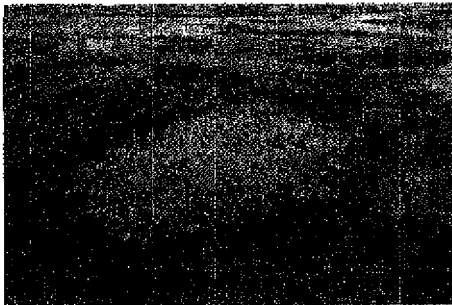
Fig 27. Waterstroomsnelheden boven een plaatrand (Galgeplaat) in de zomerperiode in 1984 en 1987 (vereenvoudigd); duidelijk te zien zijn de springtij - doodtij cycli.



Door de verminderde dynamiek zullen de groenwieren zich in de toekomst op groter schaal kunnen manifesteren.



De mogelijkheden voor Blaaswier en zeesla worden voornamelijk bepaald door de mate waarin er mosselcultuur in het intergetijdegebied blijft plaatsvinden.



Twee belangrijke bedreigingen voor de vestiging en handhaving van zee gras zijn ... en het pierenspitten.

Prognose zee gras

Door de vergrote helderheid van het water in winter en voorjaar kan zee gras nu in principe vroeger in het jaar beginnen met zijn groei. Daarnaast zal de verminderde golf- en stromingsdynamiek op de slikken en platen eveneens een positieve invloed hebben op de vestigingsmogelijkheden van de zee grassen. Dit betekent, dat op bestaande groeiplaatsen het zee gras in bedekking/biomassa kan toenemen en zich enigermate kan uitbreiden naar lagere niveaus, maar ook dat zich uitbreiding naar nieuwe plaatsen kan voordoen. Hiervan zal het eerst Groot zee gras profiteren, later op daartoe geschikte plaatsen gevolgd door Klein zee gras.

Het lijkt echter niet waarschijnlijk, dat Groot zee gras zich tot onder de laagwaterlijn kan uitbreiden. Weliswaar is het water in voor- en najaar helderder geworden, maar 's zomer is het verschil met vroeger marginaal. De uitbreiding naar beneden zal dan ook vooral een gevolg zijn van de verlaging van het gemiddeld hoogwaterniveau. Rond het niveau van gemiddeld laagwater zal de droogvalduur te kort zijn om de sterke lichtuitdoving als gevolg van de gemiddeld aanwezige waterkolom te kunnen compenseren (hierbij moet bedacht worden dat vroeger in de westelijke Waddenzee het getijverschil slechts ca 1,3m was tegen in de huidige Oosterschelde ca 3,2m). Het ontstaan van een sublitorale populatie, zoals die vroeger in de Waddenzee voorkwam, is dan ook onwaarschijnlijk.

Het in de Krabbenkreek bijna verdwenen zee gras zal zich uiteindelijk weer nagenoeg geheel herstellen, waarbij een zekere uitbreiding mogelijk lijkt. In de Zandkreek lijkt het niet zo waarschijnlijk dat het areaal zich nog veel verder zal kunnen uitbreiden; het in 1987 aanwezige areaal lijkt ongeveer maximaal te zijn. Wel zal de dichtheid (= de biomassa) nog wat kunnen toenemen.

Een eventuele uitbreiding op de platen is sterk afhankelijk van de mate waarin de mosselpercelen in de toekomst gebruikt zullen worden (zie ook bij Blaaswier). Indien de percelen daadwerkelijk gebruikt gaan worden, zal er hooguit sprake zijn van een bescheiden vestiging van Groot zee gras; zo niet dan zal zee gras zich op grotere schaal kunnen vestigen, incl Klein zee gras.

Twee belangrijke actuele, maar ook potentiële bedreigingen voor de vestiging en handhaving van zee gras buiten de percelen zijn de kokkelvisserij en het pierenspitten. Op plaatsen waar deze worden uitgeoefend wordt de bodem zodanig omgewoeld dat het eventueel aanwezige zee gras verdwijnt; hooguit zal zich enig Groot zee gras kunnen vestigen.

Alles bijeen genomen lijkt het mogelijk dat uiteindelijk het areaal zee gras in de Oosterschelde met zo'n 25 - 50% zal kunnen toenemen, dwz tot zo'n 1400 - 1700ha.

Consequenties voor de rest van het ecosysteem

De over het algemeen verwachte toename van het macrofytobenthos in areaal en dichtheid zal er toe leiden, dat ook de dieren die erop en ertussen leven zowel in areaal als in dichtheid zullen toenemen. Dit betekent weer dat vogels, die tussen het macrofytobenthos naar voedsel zoeken, enigszins in aantal kunnen toenemen. De Rotgans, die van het macrofytobenthos zelf leeft, zal in najaar en winter langer op de slikken en platen kunnen fourageren, en daardoor wellicht minder schade veroorzaken op bouw- en weilanden rond de Oosterschelde.

SAMENVATTING

Door het gereed komen van de oosterscheldewerken vermindert het getijverschil in het bekken met zo'n 10 - 15%, terwijl daarnaast ook de stroomsnelheden over het algemeen verminderen (10 - 80%). Deze veranderingen hebben effecten voor de verspreiding en biomassa van het macrofytobenthos in de Oosterschelde. Teneinde deze effecten te kunnen volgen is er door de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat een methode ontwikkeld om met behulp van false-colourfoto's en een beperkte hoeveelheid veldwerk de verspreiding en de biomassa van het macrofytobenthos te kunnen bepalen.

Met behulp van deze methode is in 1984/85 de uitgangssituatie vastgelegd voor bijna de hele Oosterschelde. Tevens is er in die periode onderzoek gedaan naar een aantal abiotische randvoorwaarden, die van invloed zijn op de verspreiding van het macrofytobenthos, enkele bodemkundige parameters en hoogteligging. In het algemeen komen zeegrassen in rustige gebieden voor met een fijnere, zachtere en kleirijkere bodem. Groenwieren (excl zeesla) komen in bijna de hele Oosterschelde voor, zij het meestal in zeer geringe hoeveelheden; slechts plaatselijk komen grotere hoeveelheden voor, vooral op kleibanken en als aanspoelsel. Zeesla en Blaaswier komen met name voor in mosselpercelen.

Tijdens de laatste bouwphase van de Oosterscheldewerken (1986 - april 1987) zijn in enkele gebieden de effecten van het tijdelijk extra gereduceerde getijverschil gevolgd. De voornaamste gevolgen waren:

- op de hogere delen stierf het zeegras af (massaal in de Krabbenkreek, minder in de Zandkreek); oorzaak was de combinatie van strenge vorst en sterk verlaagde hoogwaterstanden.
- plaatselijk (vooral op de platen) breidde Groot zeegras zich uit; belangrijk hierbij was het (tijdelijk) buiten gebruik zijn van de mosselpercelen.
- de groenwieren en zeesla breidden zich over het algemeen wat uit, als gevolg van de verminderde hydrodynamiek op de platen.
- Blaaswier kwam over het algemeen wat minder voor, vooral doordat veel mosselpercelen niet of nauwelijks bezaaid waren met mossels.

Tenslotte is een globale prognose gemaakt voor de ontwikkelingen in de nieuwe situatie (vanaf 1987). Belangrijkste conclusies zijn:

- de groenwieren zullen zich plaatselijk kunnen uitbreiden.
- het voorkomen van Blaaswier zal in hoge mate worden bepaald door de mate waarin de percelen op het intergetijdengebied in de toekomst zullen worden gebruikt.
- de zeegrassen zullen zich in principe kunnen uitbreiden naar wat lagere zones, vooral door de verlaging van het gemiddeld hoogwater-niveau. Uitbreiding tot onder de laagwaterlijn lijkt niet waarschijnlijk. Het bestand in de Krabbenkreek zal zich de komende jaren weer herstellen.

Deze uitbreidingen zullen positieve effecten hebben op de dieren die van en tussen de wieren en zeegrassen leven en op de vogels die weer van deze dieren leven; de Rotgans zal langer buitendijks kunnen fourageren en daardoor wellicht minder schade veroorzaken op bouwen weilanden rond de Oosterschelde.

Mossel- en kokkelvisserij alsmede pierenspitten hebben echter een negatief effect op het voorkomen van de zeegrassen.

SUMMARY

(on page 39 captions in english are given of the figures)

Introduction

The Oosterschelde is a tidal basin with an average tidal range of 3.5m and with a total area of 35,000ha, of which 11,800ha are tidal flats. In this basin a storm surch barrier was constructed as part of the Delta-project. As a result of the completion of the Oosterschelde barrier in 1987 the tidal situation in the Oosterschelde basin has been changed. Both the tidal range and current velocities have decreased. These changes affect the distribution and biomass of the macrophytobenthos of the Oosterschelde. In order to track out these effects a method was developed to determine the distribution and biomass of the macrophytobenthos by means of false-colour aerial photographs and a limited quantity of field research. With the aid of this method the situation in 1984, ie before the completion of the works, has been determined. A supplementary field research has been carried out into the relations to abiotic parameters such as soilcomposition and soilstructure, surface morphology and height. Afterwards in the period of 1986-1987 (during the final building period of the project) the effects of a period with an extra reduced tide have been tracked out in a few areas. Finally a prognosis has been made about possible developments from 1987.

Method

Stereoscopic aerial photographs (scale 1:10,000 and 1:20,000) have been used to map the vegetation and to determine biomass. On these photos four seperate groups of macrophytobenthos can be distinguished: seagrasses (**Zostera spec**), sea lettuce (**Ulva spec**), the remaining green algae (**Enteromorpha spec**, **Chaetomorpha spec** and **Cladophora spec**) and Bladder wrack (**Fucus vesiculosus**). Within these species groups no seperate species can be singled out.

The distribution of the vegetation can be determined on the photos likewise. By combining the information from the photos with information from the field of known locations a vegetation map can be drawn in the usual way (see also fig 4 and the photo on pag 8). To find the biomass the relation is used between the quantity of biomass in the field and the ratio of the quantity of by the plants reflected radiation in red and near-infrared (on false colour photos visible as green and red). The reflected quantities of radiation are measured by a transmission-densitometer, that, placed on certain spots on the photo, measures the colour density of the film in the red and green (fig 5), after which the density ratio can be calculated (see formula on page 10).

In figure 8 on page 11 the procedure is pictured as follows: In the field the relation between vegetation cover and biomass is determined (I, II and fig 6). By means of this relation the vegetation cover (IV) in sample plots with known coordinates (III) can be turned into the biomass/m² (V). These sample plots are drawn on the photographs (VI), in order to measure the density in red and green (VII). From this the density ratio can be calculated (VIII), whereupon, with the aid of V, the relation between density ratio and biomass/m² may be determined (fig 7). As a result of this the coefficients a and b in the formula of page 10 can be fixed (IX). Afterwards the average density ratio of every desired parcel can be determined (X and XI) and with that the biomass/m² (XII). By multiplying with the area of the parcel (XIII, XIV) the biomass of the whole parcel is calculated (XV).

Results

With the aid of this method the situation of 1984/85 has been determined for almost the whole Oosterschelde basin (table 1 on page 22 and fig 11-14 on page 14-21). In this period also research has been carried out into a number of abiotic limiting conditions that may influence the distribution of macrophytobenthos, such as soilparameters and height (page 24-29).

In general seagrasses occur in quieter areas with a finer, less cohesive soil that is richer in clay. As for height the seagrasses are limited at the top to the level of continual flooding (\approx MSL + 0.9m) and on the other side to the level at which during the growing season there is sufficient light (\approx MSL - 0.8m). Green algae (except for sea lettuce) occur through almost the whole basin, generally in very small quantities; only locally larger quantities do occur, especially on claybanks, shell ridges and as wrack. As for height they occur between mean high tide and mean low tide. Sea lettuce and Bladder wrack occur in mussel nursery grounds; this occurrence also determines the height: below MSL.

During the final stage of the building of the Oosterschelde project (1986 - april 1987) the effects of a temporary extra reduction of the tidal range has been studied in a few areas (page 30-33). The main consequences have been:

- on the higher parts the seagrass **Zostera noltii** died off (wholesale in the Krabbenkreek, less in the Zandkreek); this was caused by a combination of severe frost and extra reduced tides, leading to a die off of the roots/rhizomes.
- locally (especially on the bars) **Zostera marina** extended; the temporary disuse of the mussel nursery grounds being the main cause.
- green algae, incl sea lettuce, extended in general, because of a decrease in hydrodynamic conditions on the bars.
- Bladder wrack showed a decrease because of the temporary disuse of mussel nursery grounds that caused less mussels (that act as hard substratum to the Bladder wrack) to grow.

Prognosis

Finally a rough prognosis has been made to predict the developments in the new situation (from 1987). The most important conclusions are that the green algae will extend locally, but the occurrence of Bladder wrack will be highly determined by the measure in which the mussel nursery grounds in the intertidal area will be used in the future.

Seagrasses will be extending to somewhat lower zones, especially by the lowering of the mean high water level. Extension beneath the mean low water level does not seem probable, mainly because of the height of the column of water during high water, resulting in a lack of light. The reduced seagrass population in the Krabbenkreek will recover in the near future.

The expected increase in macrophytobenthos will also affect in a positive way the animals living in and from the macrophytes. For instance the number of waders foraging between the macrophytobenthos may increase in a way, while Brentgeese can forage for a longer period on the intertidal areas and thus do less damage to agricultural interests.

Captions of the figures and tables
(if necessary also terms in the figures are translated)

Fig 1. Reflection curves of three plantspecies: grasses, birch and spruce-fir resp. [X-axis: wave length (nm), Y-axis: reflection (%)]

Fig 2. Principle of a false-colour film: making near-infra red visible by means of shifting of the colours.

Fig 3. Principle of stereoscopic aerial photographs by means of overlapping photo's.

Fig 4. Exemple of a vegetation map of the macrophytobenthos in a part of the Oosterschelde; to compare with the aerial photograph above some large vegetation types are mentioned. ['mosselparcelen' = mussel nursery grounds, 'Blaaswier' = *Fucus vesiculosus*, 'zeesla' = *Ulva spec.*, 'groenwieren' = green algae, 'zeegras' = *Zostera spec.*]

Fig 5. Scheme of a transmission densitometer. [inscriptions from top to bottom: lightintensity meter, coloured filters, measured spot, light source]

Fig 6. Relation vegetation cover - biomass in the field (see II in fig 8) for seagrasses (above) and green algae (below). [X-axis: log(coverage) (in %), Y-axis: log(biomass) (in ash-free dry weight g/0.04m²)]

Fig 7. Relation density ratio - biomass (see IX in fig 8). [X-axis: log(density ratio + 1), Y-axis: biomass (in ash-free dry weight g/0.04m²)]

Fig 8. Working procedure for the determination of the biomass of the macrophytobenthos in the Oosterschelde (see tekst on page 37).

Fig 9. Map of the Oosterschelde with areal names.

Fig 10. Situation of mussel nursery grounds in the Oosterschelde.

Fig 11. Distribution of seagrasses (*Zostera spec.*) as %-cover in the Oosterschelde in 1984.

Fig 12. Distribution of green algae (excl *Ulva spec.*) as %-cover in the Oosterschelde in 1984.

Fig 13. Distribution of sea lettuce (*Ulva spec.*) as %-cover in the Oosterschelde in 1984.

Fig 14. Distribution of Bladder wrack (*Fucus vesiculosus*) as %-cover in the Oosterschelde in 1984.

Fig 15. Presence of seagrasses in the Waddensea (A), Lake Grevelingen (B) and Lake Veere (C) in ± 1985.

Fig 16 a. Light quantity during the year for three depths in the Oosterschelde. [X-axis: month number; Y-axis: quantity of light]
b. Day length and light attenuation coefficient (monthly averaged) during the year (as used for the computation of fig 16a) [Y-axes: day light (left), light attenuation coefficient (right)]

Fig 17. Relation vegetation cover - vertical position of *Zostera marina* (right) and *Zostera noltii* (left). (. : Krabbenkreek, o : Zandkreek, Galgeplaat) [X-axis: cover (%), Y-axis: height (m + MSL)]

Fig 18. Relation between presence of *Zostera marina* (left), resp. *Z. noltii* (right) and some soil parameters; from above to below: mean grainsize (m), clay content (%) and bulk density (g/cm³). The average and standard deviation for some coverage classes are given, from left to right: *Zostera marina*: ≤0.1, 0.5-5 and ≥5%, *Zostera noltii*: ≤0.1, 0.5-10, 11-50 and ≥50%. (the blue line and area indicate the average and standard deviation of all sampled plots (±300))

Fig 19. Annual cycle of *Zostera marina* and *Zostera noltii* in the Oosterschelde. [X-axis: month number, Y-axis: vegetation cover (%)]

Fig 20. Part of a vegetation map and a soil map of the Zandkreek, indicating the sharp boundaries of the seagrasses in relation to the sand - clay distribution and the position of the mussel nursery grounds. ['kloi' = clay, 'mosselparcelen' = mussel nursery grounds]

Fig 21. Relation between presence of green algae (excl *Ulva spec.*) and some soilparameters; from above to below: mean grainsize (µm), bulk density (g/cm³) and clay content (%).

The average and standard deviation for some coverage classes are given, from left to right: ≤0.1, 0.5-10 and ≥10%. (the blue line and area indicate the average and standard deviation of all sampled plots (±300))

Fig 22. Mean high water in the period 1984 - 1987; in the blue zone is indicated the number of high waters staying below 0.9m and 0.5m resp (arrows indicate the months in which stagnation of the tides occurred).

Fig 23. Average monthly temperatures (°C)(left) and number of days with frost (right) in the period December 1984 - May 1987.

Fig 24. Distribution of *Zostera spec.* in the Krabbenkreek (above) and Zandkreek (below) in 1984, 1986 and 1987

Fig 25. Average high water and low water (at Yerseke) in 1984/85 and 1987/89, also is indicated the number of high waters staying below ≤0.9m.

Fig 26. Content of suspended matter (above) and average visibility depth (below) in the middle part of the Oosterschelde in the period 1981/1983 and 1987/1989.

Fig 27. Watercurrent velocity at the margin of a sandflat (Galgeplaat) in the summerperiod in 1984 and 1987 (simplified).

Tab 1. Area (ha) and biomass (ton dryweight) of the macrophytobenthos in the Oosterschelde in 1984; all coverage classes except green algae and *Ulva spec.* 0-5%
Nota Bene. the 1100ha in table 2 is the sum of 623ha *Zostera spec.* + a part of the mixed vegetations. ('zeegras' = *Zostera spec.*, 'groenwier' = green algae, 'Blaaswier' = *Fucus vesiculosus*, 'zeesla' = *Ulva spec.*, 'opp' = area)

Tab 2. Area (ha) of *Zostera spec.* in the Netherlands in ± 1930 en ± 1985.

Tab 3. Averaged cover (%) of *Zostera marina* (right) and *Zostera noltii* (left) in permanent sampling plots in four areas in 1984, 1986 and 1987.

LITERATUUR

Algemeen

In de tekst wordt geen literatuur genoemd; hier wordt een beperkt aantal rapporten en artikelen vermeld, namelijk diegene die direct betrekking hebben op dit rapport.

Tot slot wordt één titel genoemd, een literatuuronderzoek over zee-gras met meer algemene informatie; hieruit is regelmatig informatie gebruikt. Voor verdere literatuur over zeegrassen wordt hiernaar verwezen.

Meulstee, C. en H.T.C. van Stokkom, 1985. Het gebruik van false-colour luchtfoto's bij de schatting van de macrofytenbiomassa in de Oosterschelde. Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst, intern rapport MDLK-R-8509.

Meulstee, C. en H.T.C. van Stokkom, 1985. Biomassaschatting van het macrofytobenthos in de Oosterschelde. Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst, intern rapport MDLK-R-8551.

Meulstee, C., P.H. Nienhuis en H.T.C. van Stokkom, 1986. Biomass assessment of estuarine macrophytobenthos using aerial photography. *Marine Biology* 91, 331-335.

Meulstee, C., P.H. Nienhuis en H.T.C. van Stokkom, 1988. Aerial photography for biomass assessment in the intertidal zone. *Int. J. Remote Sensing*, vol 9, nr 10 and 11: p 1859-1867.

Meulstee, C., 1988. Biomassaschatting Oosterschelde 1986; een nadere analyse van de methodiek. Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst, intern rapport MDLK-RS-R-8828.

Jong, D.J.de, en V.N. de Jonge, 1989. Zeegras (*Zostera marina*, *Zostera noltii*); een ecologisch profiel en het voorkomen in Nederland. Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, nota GWAO-89.1003.