



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Verkenning draagkracht Oosterschelde

Onderzoek naar veranderingen en trends
in de Oosterschelde in de periode
1990 t/m 2000

L.P.M.J. Wetsteyn¹, R.N.M. Duin², J.C. Kromkamp³, M.J.
Latuhihin², J. Peene³, A. Pouwer¹ & T.C. Prins¹

¹ Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Postbus 8039,
4330 EA Middelburg

² Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Postbus
20907, 2500 EX Den Haag

³ Nederlands Instituut voor Ecologie, Centrum voor
Estuariene en Mariene Ecologie, Postbus 140,
4400 AC Yerseke

Rapport RIKZ/2003.049

November 2003

Inhoudsopgave

	Voorwoord	5
1.	Samenvatting	7
2.	Inleiding	9
2.1	Ontwikkelingen bij de aanleg van de Oosterschelde-werken	9
2.2	Prognoses van effecten	9
2.3	Evaluatie effecten	10
2.4	Waarom een Verkenning draagkracht Oosterschelde?	10
2.5	Vraagstelling	12
2.6	Leeswijzer	12
2.7	Referenties	12
3.	Monitoring-locaties	15
4.	Synthese	17
4.1	Verminderde nutriëntenbelasting	17
4.2	Veranderende fytoplanktonsamenstelling	17
4.3	Afnemende primaire productie	20
4.4	Mogelijke oorzaken voor de afnemende primaire productie	22
4.5	Neemt de draagkracht van de Oosterschelde af?	25
4.6	Referenties	26
5.	Conclusies	29
6.	Bijlage 1: Meteo (instraling, neerslag en wind)	31
7.	Bijlage 2: Water- en nutriëntenbelasting	33
7.1	Water- en nutriëntenbelasting	33
7.2	Waterbelasting	34
7.3	Nutriëntenbelasting	36
7.4	Referentie	40
8.	Bijlage 3: Trends gemeten variabelen	41
8.1	Inleiding	41
8.2	Trendberekening, beschrijving van de gehanteerde regressiemodellen	42
8.3	Resultaten trendanalyse	44
8.4	Niet lineaire trends	58
8.5	Referenties	63
9.	Bijlage 4: Fytoplanktonsamenstelling	65
9.1	Fytoplankton diversiteit	66
9.2	Dataset	67
9.3	Concentratie fytoplankton	67
9.4	Samenstelling fytoplanktongemeenschap	69
9.5	"Kensoorten"	71
9.6	Fytoplanktonafmetingen	72
9.7	Causaliteiten	76
9.8	<i>Phaeocystis</i>	80
9.9	Referenties	82

10.	Bijlage 5: Primaire productie fytoplankton	85
10.1	Inleiding	85
10.2	Materiaal en methoden	86
10.3	Resultaten	87
10.4	Synthese: redenen voor jaarlijkse variatie in primaire productie	98
10.5	Conclusies	99
10.6	Referenties	100
11.	Bijlage 6: Aanvullende analyse doorzicht en zwevend stof gegevens	103

Voorwoord

De voortzetting van het huidige saneringsbeleid kan op een zeker moment door de afnemende nutriëntenbelasting (oligotrofiëring) leiden tot een verminderde draagkracht voor hogere organismen als vissen en vogels. Dit kan gebruiksfuncties als visserij en natuur beïnvloeden. De discussie over het effect van het saneringsbeleid op de draagkracht speelt zowel in zoete wateren (bijvoorbeeld IJsselmeer) als in zoute wateren. De Oosterschelde is voor de zoute wateren een goede illustratie, omdat voor dat watersysteem zowel in discussies rond de visserij (evaluatie kokkelvisserij) als in discussies rond inrichtingsmaatregelen (herstel zoet-zout gradiënten) actuele vragen leven rond mogelijk verminderde draagkracht als gevolg van de sterk afgenomen zoetwaterbelasting.

Deze verkenning had tot doel beter inzicht te geven in de te verwachten veranderingen in de zoute wateren bij voortzetting van het saneringsbeleid. De resultaten van deze verkenning worden tevens toegepast in advisering rond het beheer van de Oosterschelde (o.a. Evaluatie schelpdiervisserij, bekkenrapportage).

De werkzaamheden die hier gerapporteerd worden zijn gefinancierd door het WONS programma (thema Eutrofiëring en productiviteit), met het Hoofdkantoor RWS als opdrachtgever. De bijdrage van het NIOO-CEME vloeit voort uit de samenwerkingsovereenkomst tussen RIKZ en NIOO-CEME.

Naast de auteurs hebben diverse personen aan de totstandkoming van het rapport bijgedragen. Een belangrijke bijdrage werd geleverd door Gillis Wattel met het beschikbaar stellen van de gegevens over de water- en nutriëntenbelasting van de Oosterschelde van uit het Krammer-Volkerak, via polderwateruitslagen en uit het Veerse Meer. De kaart van het Deltagebied werd gemaakt door Jaap de Ridder.

De fytoplanktonmonsters uit de jaren 1990-1999 werden geanalyseerd door Tripos/AquaSense (Amsterdam/Büsum) en uit 2000 door Koeman & Bijkerk (Haren).

1. Samenvatting

Na de voltooiing van de Oosterscheldewerken in 1987 werd de toevoer van zoetwater, en daarmee van de voor de groei van het fytoplankton benodigde nutriënten stikstof, fosfaat en silicaat, naar de Oosterschelde sterk verminderd. Vanaf dat moment zijn de concentraties stikstof en silicaat gaan afnemen; de afname van de fosfaat-concentraties zette pas vanaf ongeveer 1990 in. Tijdens de negentiger jaren beginnen de stikstof- en silicaat concentraties weer te stijgen, en wel zo sterk, dat voor stikstof en silicaat over de gehele periode 1990 t/m 2000 een significante stijgende trend wordt gevonden. De afname van de fosfaat-concentraties gaat echter door tot in de tweede helft van de jaren negentig en na 1997 nemen ook de fosfaat-concentraties weer langzaam toe; voor de gehele periode 1990 t/m 2000 wordt voor fosfaat nog een significante dalende trend gevonden. Aan het einde van de jaren negentig nemen de concentraties dus weer toe, maar zijn nog aanzienlijk lager dan de concentraties vóór 1987.

De grootteverdeling van het fytoplankton is vanaf 1994 t/m 1998 gewijzigd. Verhoudingsgewijs komen er steeds meer kleine ($<20\ \mu\text{m}$) fytoplanktonsoorten voor dan grote ($>20\ \mu\text{m}$). Dit wordt veroorzaakt door vooral een afname van de grotere soorten en een toename van de kleinere soorten. Er werden geen aanwijzingen gevonden dat deze verandering samenhangt met abiotische factoren (nutriënten, doorzicht, saliniteit en temperatuur). Het ziet er eerder naar uit dat de verandering in de grootteverdeling van het fytoplankton een biotische oorzaak als verklarende factor heeft; mogelijk hangt de verandering samen met de grote toename van Japanse oesters.

De verminderde nutriëntenbelasting heeft niet geleid tot een zichtbare afname van de schuimalg *Phaeocystis*. Het aantal bloeien en de lengte van de voorjaarsbloeien (dagen met meer dan 1 miljoen *Phaeocystis* cellen/l) op de locaties Hammen Oost en Wissenkerke waren in de negentiger jaren van dezelfde orde van grootte als aan het eind van de tachtiger jaren.

De primaire productie van het fytoplankton in het centrale en oostelijke deel van de Oosterschelde is in de tweede helft van de negentiger jaren significant afgenomen. De afname in primaire productie is niet het gevolg van een afname in nutriënten en nutriëntlimitatie komt slechts gedurende een zeer korte periode voor. De afname in primaire productie hangt wel samen met een significante afname van het doorzicht. Op dit moment bestaat het vermoeden dat de afname van het doorzicht veroorzaakt wordt door een toename van humuszuren uit blootliggende veenpakketten, uit een verhoogde aanvoer van polderwater en een toename van de concentraties in aangevoerd water uit het Krammer-Volkerak. Uit deze verkenning blijkt eveneens dat een grotere zoetwatertoevoer, en daarmee een grotere aanvoer van nutriënten nauwelijks zal leiden tot een verhoging van de primaire productie.

Met de afnemende primaire productie is de draagkracht van de Oosterschelde voor het zoöplankton en filterende schelpdieren vermoedelijk wel aan het afnemen. Toch hebben de totale aanwezige kokkelbestanden aan het einde van de jaren negentig weer toe kunnen nemen tot hetzelfde niveau als begin jaren negentig, terwijl ook Japanse oesters in aantal in de jaren negentig eveneens aanzienlijk hebben kunnen

toenemen. Sterk sturende factor voor de primaire productie is nog steeds de snelle regeneratie van nutriënten, samenhangend met de graas door schelpdieren als mossels, kokkels en Japanse oesters. Over de rol van het zoö plankton in de begrazing en regeneratie van nutriënten is voor de huidige situatie niets bekend.

Uit eerdere modelberekeningen is geconcludeerd dat een grotere zoetwatertoevoer naar de Oosterschelde slechts tot een geringe verhoging van de primaire productie van het fytoplankton zou kunnen leiden. Uit de in dit rapport gepresenteerde resultaten blijkt dat een grotere zoetwatertoevoer niet zal leiden tot een hogere primaire productie, omdat licht een belangrijker sturende factor blijkt te zijn dan nutriënten.

De verminderde nutriëntenbelasting heeft dus niet geleid tot een verandering in de samenstelling en productiviteit van het Oosterschelde fytoplankton.

2. Inleiding

2.1 Ontwikkelingen bij de aanleg van de Oosterschelde-werken

Met de sluiting van de Philipsdam in april 1987 waren de Deltawerken voor wat betreft de Oosterschelde voltooid. Vanaf dat moment, en ook al tijdens de bouw, traden er tot het einde van de tachtiger jaren aanzienlijke veranderingen op in de waterkwaliteit van de Oosterschelde (Smaal & Boeije, 1991; Wetsteyn & Bakker, 1991; Wetsteyn & Kromkamp, 1994).

De gemiddelde jaarlijkse totale zoetwaterbelasting op de Oosterschelde nam in 1987 af van 70 tot 25 m³s⁻¹, een vermindering van 64%. Een direct gevolg hiervan was een toename van de saliniteit, met name in het centrale, het oostelijke en het noordelijke deel van de Oosterschelde. De verminderde zoetwaterbelasting leidde ook tot een afname van de nutriëntenbelasting. De nitraat- en silicaat concentraties namen daardoor af, met name in het centrale, het noordelijke en het oostelijke deel van de Oosterschelde. De fosfaat-concentraties daalden evenwel nog niet. De afgenomen zoetwaterbelasting op de Oosterschelde leidde aldus tot een zoutwater getijdesysteem, waarin een aanmerkelijke oligotrofië ring is opgetreden.

Door de afname van de stroomsnelheden met 25 tot 86%, afhankelijk van het deel van de Oosterschelde, daalden de zwevend stof concentraties. Dientengevolge nam het doorzicht in de Oosterschelde toe, met name in het noordelijke en het oostelijke deel van de Oosterschelde.

Uit een analyse van de fytoplanktonsamenstelling in de jaren 1982-1987 bleek dat er een verandering in de soortensamenstelling was opgetreden (Bakker et al., 1990, 1994). Het fytoplankton verkreeg meer en meer een zomersamenstelling en de lengte van het groeiseizoen nam toe, zowel eerder als later in het jaar. Bij deze veranderingen bleek licht de sturende factor te zijn.

Het seizoensverloop van de chlorofyl-a concentraties in het westelijke en het centrale deel van de Oosterschelde was vergelijkbaar gedurende de gehele periode 1980-1989; in het oostelijke en noordelijke deel werden vanaf 1985 hogere chlorofyl-a concentraties gemeten.

De jaarlijkse primaire productie in het westelijke deel bleek afgenomen te zijn, terwijl in het centrale en oostelijke deel de jaarproductie niet veranderde. In het noordelijke deel werden in de jaren 1989 en 1990 hoge jaarproducties gemeten, vergeleken met andere delen van de Oosterschelde; de grootte van de jaarproductie in de jaren daarvoor is niet bekend, maar zal zeer vermoedelijk lager zijn geweest.

2.2 Prognoses van effecten

Na de bouw van de Oosterschelde-werken verscheen de nota "Te verwachten ontwikkelingen in het Oosterscheldebekken na 1987" (Anonymous, 1986), waarin een prognose voor de ontwikkelingen van een aantal abiotische variabelen en het fytoplankton wordt gegeven:

De verminderde nutriëntenbelasting zal leiden tot een afname van DIN met 55%, van PO₄ met 80% en van Si met 65%. Door de lagere nutriëntenconcentraties is er kans op nutriëntenlimitatie van het fytoplankton. Door een lagere troebelheid ontstaat er tevens een beter lichtklimaat voor het fytoplankton. Er wordt daarom geen verandering verwacht in de jaargemiddelde primaire productie, maar mogelijk wel een verschuiving in het seizoen.

2.3 Evaluatie effecten

Met de nota "Veilig getij" (Anonymous, 1991) werd een periode van 10 jaar onderzoek in de Oosterschelde afgesloten en de effecten van de waterbouwkundige werken op het ecosysteem van de Oosterschelde beschreven. Er wordt onder meer beschreven dat het fytoplankton zich heeft aangepast aan de toegenomen helderheid: andere soorten dan voorheen zijn nu belangrijk geworden.

In "De Oosterschelde, van estuarium naar zeearm. Bekkenrapportage 1991-1996" (Van Berchum & Wattel, 1997) worden de ontwikkelingen in de Oosterschelde gedurende de periode 1991-1995 beschreven. In tegenstelling tot vroeger wordt in deze periode de waterhuishouding en waterkwaliteit hoofdzakelijk bepaald door zeewater uit de Voordelta. De verschillen tussen de deelgebieden van de Oosterschelde zijn nu over het algemeen gering. De nitraat- en silicaat concentraties hebben zich aanvankelijk gestabiliseerd, maar aan het einde van deze periode lijken de concentraties toch weer toe te nemen. Wel zijn er lagere zomerminima nitraat en silicaat. Stikstof en silicaat worden als beperkend in de zomer gezien. De fosfaat-concentraties zijn, zoals verwacht, in deze periode gaan afnemen en zijn korte tijd beperkend in het voorjaar. Het doorzicht is in deze periode niet meer toegenomen. De fytoplankton soortensamenstelling in de deelgebieden van de Oosterschelde is nog steeds verschillend. De kleinere soorten in het fytoplankton worden belangrijker en er is minder *Phaeocystis* door fosfaat-limitatie. De jaargemiddelde chlorofyl-a concentraties in de monding en in het middengebied van de Oosterschelde zijn met ongeveer 20% afgenomen ten opzichte van de periode 1980-1985, in het oostelijke deel gelijk gebleven en in het noordelijke deel vrijwel onveranderd hoog gebleven. De fytoplankton jaarproducties zijn per deelgebied in deze periode door een beter lichtklimaat ongeveer gelijk aan die uit de voorafgaande periode; de variatie in jaarproducties is echter nog steeds groot.

2.4 Waarom een Verkenning draagkracht Oosterschelde?

Zoals hierboven geschetst, wordt de Oosterschelde sinds de afronding van de Deltawerken gekenmerkt door een sterk gedaalde nutriëntenbelasting. Met deze sterke mate van 'oligotrofiëring' (het tegengestelde van eutrofiëring) is de Oosterschelde uniek voor de Nederlandse zoute wateren. De gedachte bij de start van deze studie was dan ook dat de ontwikkelingen in de Oosterschelde een beeld zouden kunnen geven van wat, bij verdere uitvoering van het saneringsbeleid, te verwachten valt in de andere zoute wateren.

Waarnemingen in andere watersystemen geven ondersteuning aan de veronderstelling dat bij wijziging van de nutriëntenbelasting veranderingen in de algengemeenschap optreden. In het Marsdiep zijn wijzigingen in de fytoplanktongemeenschap waargenomen in de periode 1974-1994, die in verband konden worden gebracht met veranderende nutriëntenbelasting (Philippart et al., 2000). Ook voor de kustzone van de Noordzee, op de

Noordwijkraai, zijn aanwijzingen voor een verband tussen veranderingen in nutriëntenbelasting en veranderingen in fytoplanktensamenstelling (Philippart & Herman, 1998).

Bij voortgaande sanering valt een effect op de primaire productie te verwachten (De Vries et al., 1998). De fytoplankton primaire productie is bepalend voor de totale biomassa aan bodemdieren die in een estuarium voorkomen (Herman et al., 1999). In de Oosterschelde is aangetoond dat de mosselgroei samenhangt met de primaire productie en de biomassa van fytoplankton (Smaal & Van Stralen, 2001).

Voor de Oosterschelde zijn inmiddels vragen gerezen over de draagkracht van het systeem voor schelpdieren, en mogelijke negatieve effecten van de gedaalde nutriëntenbelasting. Tussen 1985 en 1999 is het kokkelbestand in de Oosterschelde met 70% gedaald. Het aantal overwinterende scholeksters (waarvoor kokkels een belangrijke voedselprooi is) is met 30% afgenomen (Bult et al., 2000). In het kader van de evaluatie van het schelpdiervisserijbeleid) werd een "Korte termijn advies voedselreservering Oosterschelde" uitgebracht (Bult et al., 2000), gevolgd door een vaststelling van vragen voor de langere termijn (Witteveen + Bos, 2001). Een van de te beantwoorden vragen voor de 2^e fase van de evaluatie betrof het effect van de verminderde zoetwatertoevoer op de productiviteit van de Oosterschelde en de draagkracht voor schelpdieren. Daartoe werden de volgende hypothesen geformuleerd:

- 1) de daling van de anorganische nutriëntenconcentraties in de Oosterschelde heeft geleid tot afname van de primaire productie, en
- 2) de daling van de anorganische nutriëntenconcentraties in de Oosterschelde heeft geleid tot veranderingen in de soortensamenstelling van het fytoplankton.

In de tweede helft van de negentiger jaren is de discussie opgekomen over het herstel van zoet-zout gradiënten in het Deltagebied, en verhoging van de zoetwatertoevoer naar de Oosterschelde. In de nota "Zoet water naar de Oosterschelde: een verkenning naar de effecten op natuur en visserij" (Haas, 1998) wordt op basis van modelberekeningen de verwachting uitgesproken dat, bij verhoogde zoetwaterbelasting, de primaire productie van de gehele Oosterschelde met 3-9 % zal toenemen. In het rapport "Balanceren tussen zoet en zout. Ruimte voor veerkracht en veiligheid in de Delta" (Haas & Tosserams, 2001) wordt een aantal scenario's verder uitgewerkt. In het project Delta in Zicht is de visie op het herstel van estuariene dynamiek in de Deltawateren vastgelegd.

De resultaten van deze Verkenning draagkracht Oosterschelde dienen daarom meerdere doelen. Beter inzicht in de relatie tussen nutriëntensanering en de samenstelling en productiviteit van fytoplankton is noodzakelijk om ook voor de andere zoute wateren de te verwachten effecten van het saneringsbeleid nauwkeuriger te kunnen voorspellen. Kennis van de ontwikkelingen in de Oosterschelde sinds de bouw van de stormvloedkering, maakt een voorspelling van de draagkracht voor natuur en schelpdiervisserij in dit estuarium mogelijk. Daarnaast kunnen hiermee de effecten van verhoogde zoetwatertoevoer nauwkeuriger omschreven worden.

In deze Verkenning draagkracht Oosterschelde wordt gebruik gemaakt van de gegevens uit de periode 1990 t/m 2000. Het data-bestand van DONAR bevat voor deze periode tweewekelijkse waarden in tegenstelling tot de periode 1980 t/m 1990, waarvan maandelijkse waarden opgenomen zijn.

Bovendien is de periode 1990 t/m 2000 ook de periode, waarvan uit het biomonitoringsnetwerk van Rijkswaterstaat fytoplankton gegevens bekend zijn. Er is alleen gekeken naar de effecten van licht en nutriënten op het fytoplankton. Er is niet gekeken naar de ontwikkeling van en de rol van het zoö plankton in de begrazing en regeneratie van nutriënten, omdat van deze groep na 1989 geen gegevens beschikbaar zijn. De ontwikkeling van het macrozoö benthos in de periode 1992 t/m 2001 komt aan de orde in de komende Bekkenrapportage Oosterschelde; de ontwikkeling van filtrerende schelpdieren zoals kokkels, mossels en Japanse oesters in de periode 1985 t/m 2001 komt aan de orde in de Evaluatie schelpdiervisserij (EVAII).

2.5 Vraagstelling

Het bovenstaande leidt tot onze vraagstelling: Wat zijn de effecten van een verminderde nutriëntenbelasting op de samenstelling en productiviteit van het Oosterschelde fytoplankton?

2.6 Leeswijzer

In het hiernavolgende wordt allereerst een korte gebiedsbeschrijving gegeven (Hoofdstuk 3). Daarna volgt direct de synthese van alle onderzoeksresultaten (Hoofdstuk 4). Na de synthese volgen de conclusies en aanbevelingen (Hoofdstuk 5), die vooral aangeven waar het echt om gaat. De conclusies ten slotte vormen de basis voor de samenvatting (Hoofdstuk 1).

De volledige bijdragen met betrekking tot de onderzoeksresultaten zijn opgenomen als bijlagen. Achtereenvolgens zijn dit bijdragen over meteo (Hoofdstuk 6: Bijlage 1), water- en nutriëntenbelasting (Hoofdstuk 7: Bijlage 2), trends van de gemeten variabelen (Hoofdstuk 8: Bijlage 3), fytoplanktonsamenstelling (Hoofdstuk 9: Bijlage 4), primaire productie van het fytoplankton (Hoofdstuk 10: Bijlage 5) en een aanvullende analyse van doorzicht- en zwevende stof gegevens (Hoofdstuk 11: Bijlage 6). Aan het begin van deze hoofdstukken zijn steeds de belangrijkste resultaten cursief samengevat.

2.7 Referenties

ANONYMOUS, 1986. Te verwachten ontwikkelingen in het Oosterscheldebekken na 1987. Themagroep "Uitgangssituatie". Nota GWAO-86.106: 1-142.

ANONYMOUS, 1991. Veilig getij. De effecten van de waterbouwkundige werken op het getijdemilieu van de Oosterschelde. Nota GWWS-91.088 / AX-91.091: 1-132.

BAKKER, C., P.M.J. HERMAN & M. VINK, 1990. Changes in seasonal succession of phytoplankton induced by the storm-surge barrier in the Oosterschelde (S.W. Netherlands). *Journal of Plankton Research* 12: 947-972.

BAKKER, C., P.M.J. HERMAN & M. VINK, 1994. A new trend in the development of the phytoplankton in the Oosterschelde (SW Netherlands) during and after the construction of a storm-surge barrier. *Hydrobiologia* 282/283: 79-100.

BULT, T.P., B.J. ENS, R.L.P. LANTERS, A.C. SMAAL & L. ZWARTS, 2000. Korte termijn advies voedselreservering Oosterschelde. Samenvattende rapportage in het kader van EVAII. Rapport RIKZ/2000.042: 1-60.

DE VRIES, I., R.N.M. DUIN, J.C.H. PEETERS, F.J. LOS, M. BOKHORST & R.W.P.M. LAANE, 2000. Patterns and trends in nutrients and phytoplankton in Dutch coastal waters: comparison of time-series analysis, ecological model simulation, and mesocosm experiments. *ICES Journal of Marine Science* 55: 620-634.

HAAS, H.A., 1998. Zoet water naar de Oosterschelde: een verkenning naar de effecten op natuur en visserij. Rapport RIKZ-98.036: 1-77.

HAAS, H.A. & M. TOSSERAMS, 2001. Balanceren tussen zoet en zout. Ruimte voor veerkracht en veiligheid in de Delta. Rapport RIKZ/2001.18: 1-100 + bijlagen.

HERMAN, P.M.J., J.J. MIDDELBURG, J. VAN DE KOPPEL & C.H.R. HEIP, 1999. Ecology of estuarine macrobenthos. *Advanced Ecological Research* 29: 195-240.

PHILIPPART, C.J.M. & P.M.J. HERMAN, 1998. Multivariate analyse van fytoplankton tijdseries; een pilot-study naar de geschiktheid van de structuur van de algengemeenschap als graadmeter voor het ecologisch functioneren van de Noordzee. GONZ-rapport: 1-36.

PHILIPPART, C.J.M., G.C. CADÉ E, W. VAN RAAPHORST & R. RIEGMAN, 2000. Long-term phytoplankton-nutrient interactions in a shallow coastal sea : Algal community structure, nutrient budgets, and denitrification potential. *Limnology and Oceanography* 45: 131-144.

SMAAL, A.C. & R.C. BOEIJ, 1991. Veilig getij, de effecten van de waterbouwkundige werken op het getijdemilieu van de Oosterschelde. Nota GWWS 91.088 / AX 91.091, DGW/Directie Zeeland, Middelburg: 1-132.

SMAAL, A. & M. VAN STRALEN, 2001. The interaction between shellfish culture and ecosystem processes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 991-1002.

VAN BERCHUM, A.M. & G. WATTEL, 1997. De Oosterschelde, van estuarium naar zeearm. Bekkenrapportage 1991-1996. Rapport RIKZ-97.034: 1-95.

WETSTEYN, L.P.M.J. & C. BAKKER, 1991. Abiotic characteristics and phytoplankton primary production in relation to a large-scale coastal engineering project in the Oosterschelde (The Netherlands): a preliminary evaluation. In: M. Elliott & J.-P. Ducrotoy (eds). *Estuaries and Coasts: Spatial and Temporal Intercomparisons. Proceedings of the ECSA 19 Symposium, Caen 1989*. Olsen & Olsen, Fredensborg, Denmark: 365-373.

WETSTEYN, L.P.M.J. & J.C. KROMKAMP, 1994. Turbidity, nutrients and phytoplankton primary production in the Oosterschelde (The Netherlands) before, during and after a large-scale coastal engineering project (1980-1990). *Hydrobiologia* 282/283: 61-78.

WITTEVEEN + BOS, 2001. Lange termijn onderzoekprogramma
voedselreservering Oosterschelde. Rapport Rw1029.1: 1-24 + bijlagen.

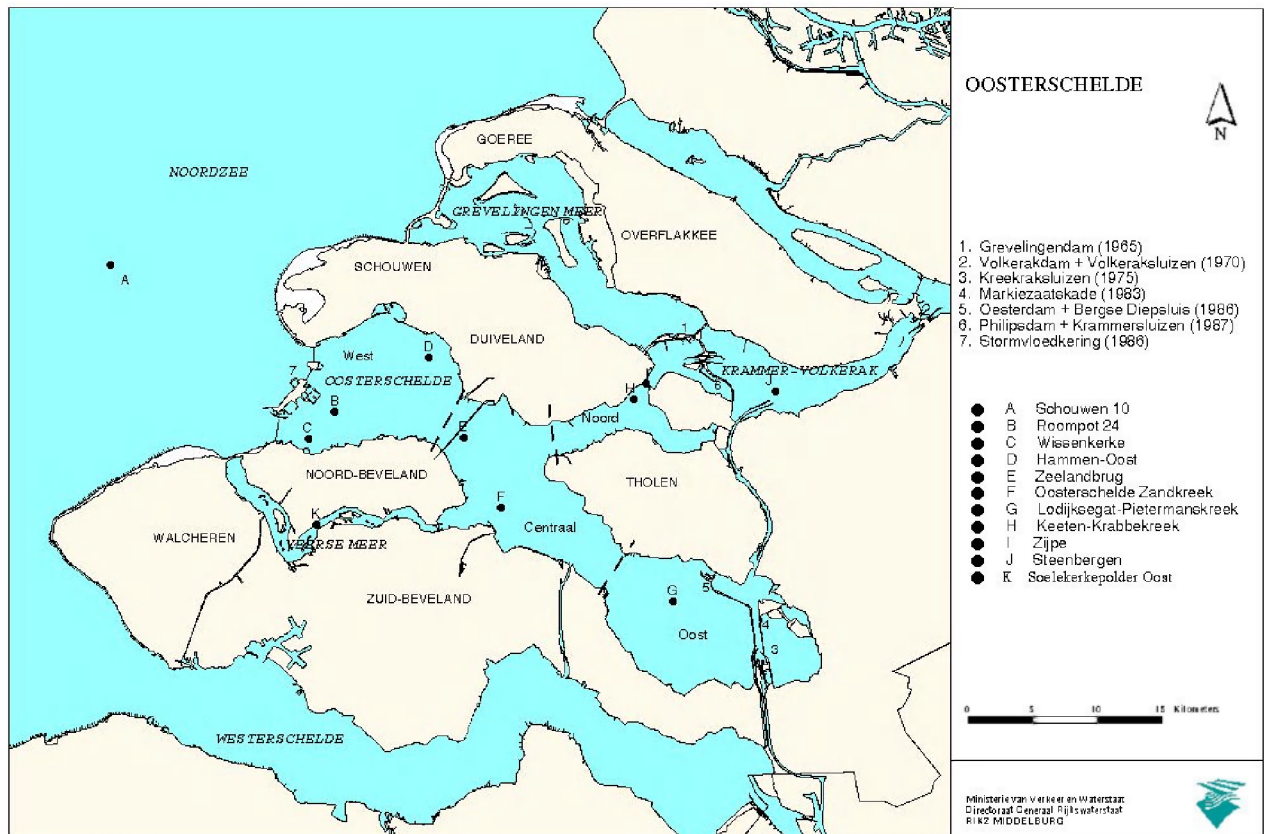
3. Monitoring-locaties

Er is gekeken naar de ontwikkelingen in de periode 1990 t/m 2000 op de 4 monitoring-locaties (MWTL = Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands) in de Oosterschelde: Wissenkerke en Hammen-Oost in het westelijke deel, Lodijsche Gat in het oostelijke deel en Zijpe in het noordelijke deel. De door het NIOO-CEME gebruikte locaties voor primaire productie metingen (Roompot 24 in het westelijke deel, Zeelandbrug en Zandkreek in het centrale deel, Lodijsche Gat in het oostelijke deel en Keeten Krabbekreek in het noordelijke deel van de Oosterschelde) zijn eveneens aangegeven.

Als referentie-locatie zal Schouwen 10 op de Noordzee gebruikt worden en Steenberg en als dichtstbijzijnde zoetwaterlocatie in verband met de zoetwater- en nutriëntenbelasting van uit het Krammer-Volkerak.

Voor de schatting van de nutriëntenbelasting van uit het Veerse Meer is gebruik gemaakt van gegevens van de locatie Soelekerkepolder Oost.

Alle genoemde locaties worden aangegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1

Kaart van het Deltagebied met de RWS-MWTL monitoring-locaties Wissenkerke, Hammen-Oost, Lodijsche Gat en Zijpe en de NIOO-CEME monitoring-locaties in de Oosterschelde. Tevens zijn aangegeven de referentie locatie Schouwen 10 op de Noordzee, de zoetwater locatie Steenberg in het Krammer-Volkerak en de Veerse Meer locatie Soelekerkepolder Oost.

4. Synthese

Als leidraad bij de synthese van de resultaten van dit onderzoek naar veranderingen en trends in de Oosterschelde in de periode 1990 t/m 2000 geldt de vraagstelling: Wat zijn de effecten van een verminderde nutriëntenbelasting op de samenstelling en productiviteit van het Oosterschelde fytoplankton?

4.1 Verminderde nutriëntenbelasting

Na de voltooiing van de Oosterscheldewerken in 1987 werd de toevoer van zoetwater, en daarmee van nutriënten, naar de Oosterschelde sterk verminderd. Vanaf dat moment zijn de concentraties stikstof en silicaat gaan afnemen; deze afname duurde tot begin jaren negentig. Na 1987 was er nog niet direct een afname van de fosfaat-concentraties; die afname zette pas vanaf ongeveer 1990 in.

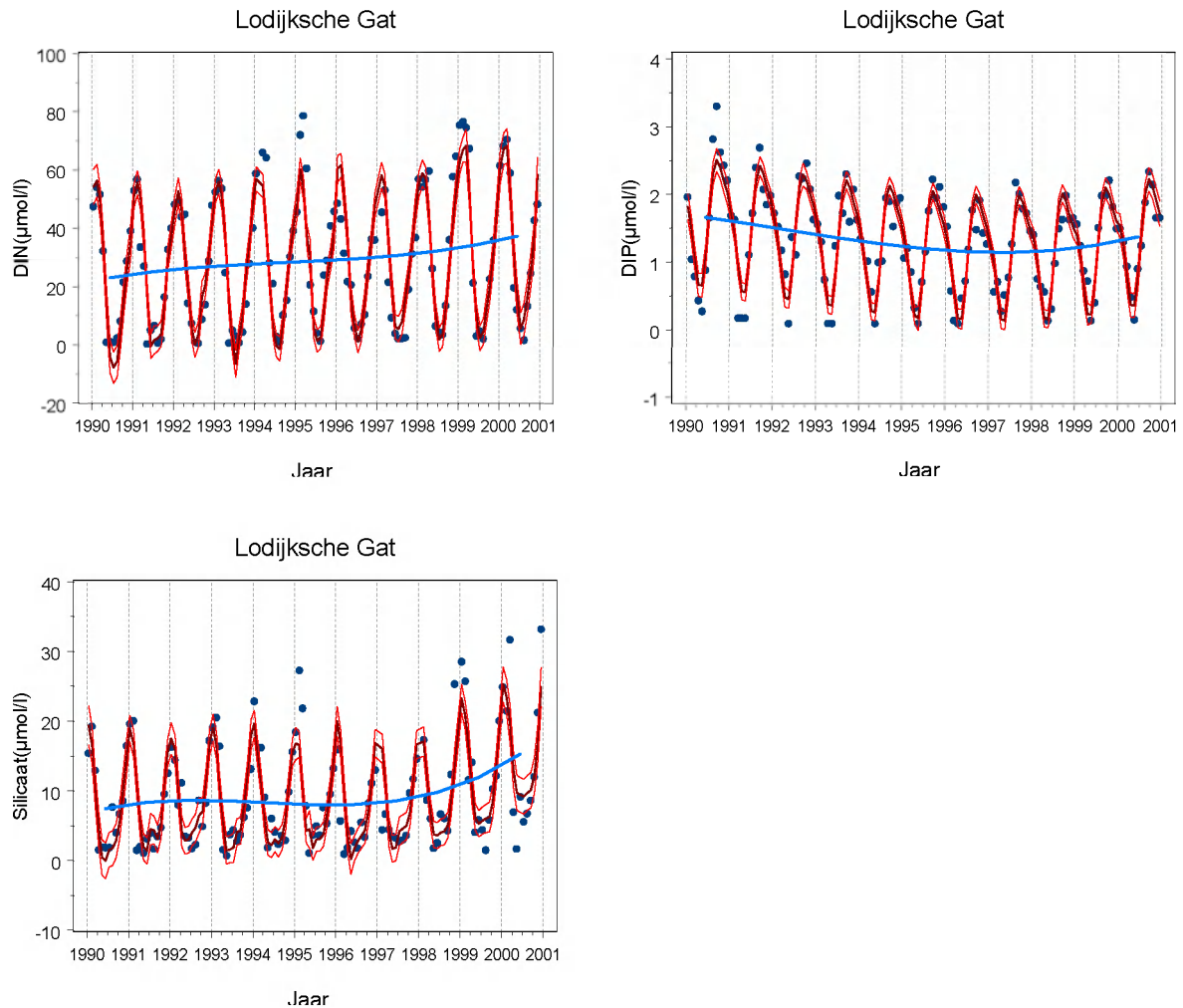
Tijdens de negentiger jaren beginnen de stikstof- en silicaat concentraties weer te stijgen, en wel zo sterk, dat voor stikstof en silicaat over de gehele periode 1990 t/m 2000 een significante stijgende trend wordt gevonden. De afname van de fosfaat-concentraties gaat door tot in de tweede helft van de jaren negentig en na 1997 nemen ook de fosfaat-concentraties weer langzaam toe; voor de gehele periode 1990 t/m 2000 wordt voor fosfaat nog een significante dalende trend gevonden. Aan het einde van de jaren negentig nemen de concentraties van de voor de groei van het fytoplankton benodigde nutriënten stikstof, fosfaat en silicaat dus weer toe, maar zijn nog aanzienlijk lager dan de concentraties vóór 1987.

Als voorbeeld van het hierboven geschetste verloop van de nutriënten concentraties vanaf 1990 geeft Figuur 4.1 het verloop in het oostelijke deel van de Oosterschelde.

4.2 Veranderende fytoplanktonsamenstelling

Er is vooral gezocht naar veranderingen in aantallen en soorten fytoplankton op de vier Oosterschelde locaties. Van een aantal "kensoorten" hebben de aan het einde van de tachtiger jaren ingezette trends zich gestabiliseerd in de zin dat deze "kensoorten" zich nog steeds op hetzelfde niveau handhaven. Met behulp van een tweedimensionale ordinatie methode (nMDS) bleek het evenwel moeilijk om eventuele veranderingen in de fytoplanktonsoortensamenstelling op te sporen. Daarvoor vielen deze veranderingen teveel samen met veranderingen van analyserende bureaus.

Niet alleen het soort fytoplankton, maar ook de afmeting van het fytoplankton speelt een rol bij de eetbaarheid voor grazers als schelpdieren en zoöplankton. Om een onderscheid te maken tussen klein en groot fytoplankton zijn de soorten uit de Oosterschelde dataset opgedeeld in soorten $<20\ \mu\text{m}$ (klein) en $>20\ \mu\text{m}$ (groot). Het blijkt dat in de periode 1993 t/m 1998 de verhouding fytoplankton $<20\ \mu\text{m}$ tot fytoplankton $>20\ \mu\text{m}$ van 0.5 toenam tot waarden tussen 1.0 en 1.5, waarbij de grootste veranderingen optraden in het oostelijke deel (LODSGT) en in het noordelijke deel (ZIJPE) van de Oosterschelde (zie Figuur 4.2).

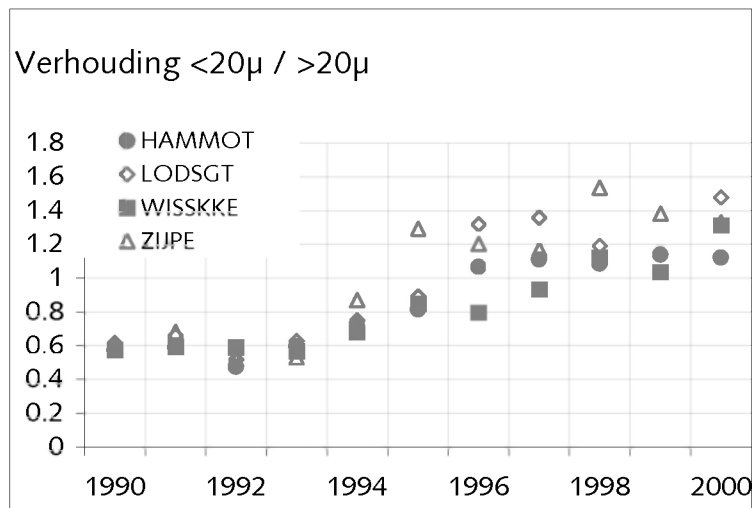


Figuur 4.1

Het verloop van de stikstof-, fosfaat- en silicaat concentraties (μM) in het oostelijke deel (Lodijsche Gat) van de Oosterschelde in de jaren 1990 t/m 2000. De blauwe stippen geven de waarnemingen weer, de rode lijnen de voorspellingen van het gebruikte regressiemodel met het 95% betrouwbaarheidsinterval en de derde graads polynoom trendlijn wordt met de blauwe lijn aangegeven.

Daarbij bleek dat na 1993 de diatomeeën $>20 \mu m$ en de dinoflagellaten $>20 \mu m$ sterk in aantal afnamen, terwijl de groep overige soorten $<20 \mu m$ (deze groep bestaat vooral uit kleine soorten flagellaten), sterk in aantal toenam. Van de kleinere fytoplanktonsoorten lijken zeker de Cryptophyceae en *Skeletonema costatum* in aantal toe te nemen. De toename van *Skeletonema costatum* is opmerkelijk, aangezien deze soort in de jaren 1982 t/m 1990 juist aan het afnemen was (zie Figuur 8 in Bakker et al., 1994).

Met behulp van multivariate technieken kon geen verklarende abiotische factor (nutriënten, doorzicht, saliniteit en temperatuur) voor bovengenoemde veranderingen in de fytoplanktonsamenvatting gevonden worden. Het ligt daarom meer voor de hand dat deze veranderingen samenhangen met een biotische factor, bijvoorbeeld graas door zoö plankton of schelpdieren (zie laatste paragraaf over draagkracht).

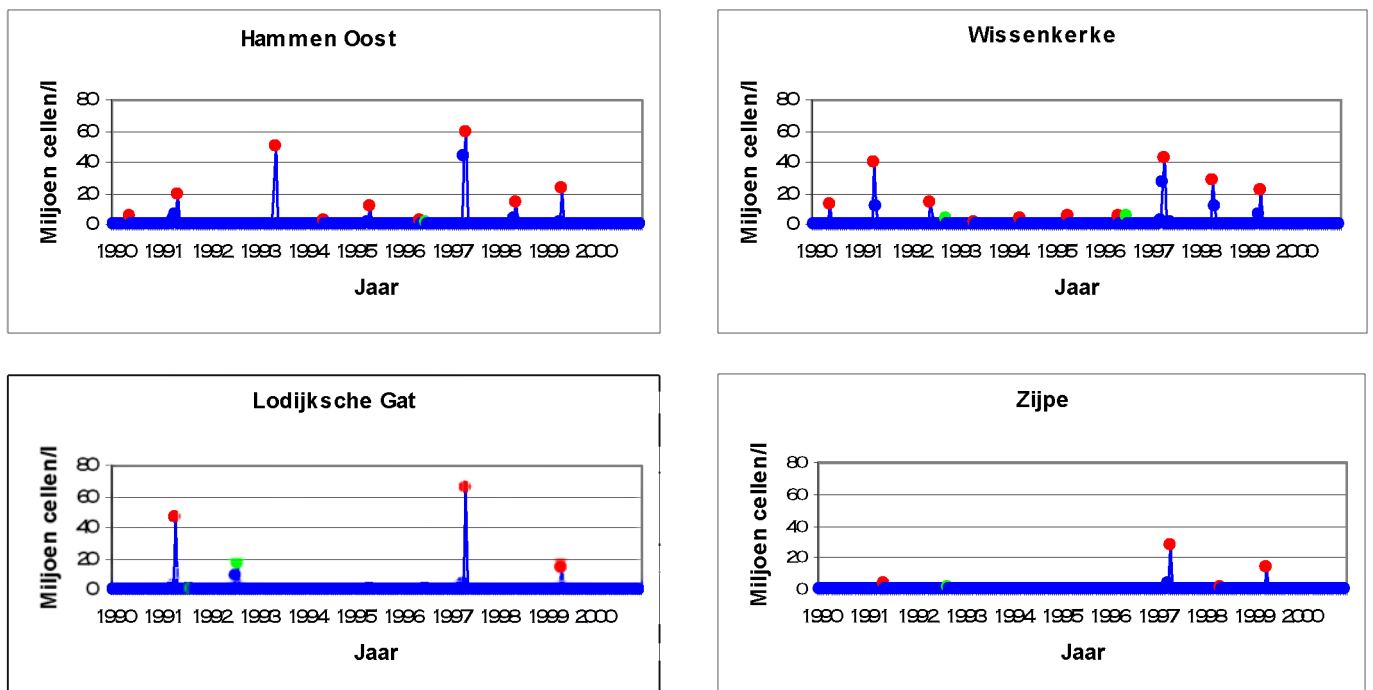


Figuur 4.2

Verhouding fytoplankton <20 μm tot fytoplankton >20 μm (ln getransformeerde en gestandaardiseerde aantallen) op de vier Oosterschelde locaties.

Aan het voorkomen van de kolonievormende flagellaat *Phaeocystis* is speciale aandacht besteed omdat de soort beschouwd wordt als een eutrofie ringsindicator en in kolonievorm slecht eetbaar is voor zoö plankton en schelpdieren.

De neergaande trend in het voorkomen van *Phaeocystis* in de monding van de Oosterschelde (Bakker et al., 1994) in de jaren 1987 t/m 1990 heeft



Figuur 4.3

Aantal *Phaeocystis* cellen/l op de monitoring-locaties Hammen-Oost, Wissenkerke, Lodijsche Gat en Zijpe in de periode 1990 t/m 2000. ●=voorjaarsbloei en ●=zomerbloei met meer dan 1 miljoen cellen/l.

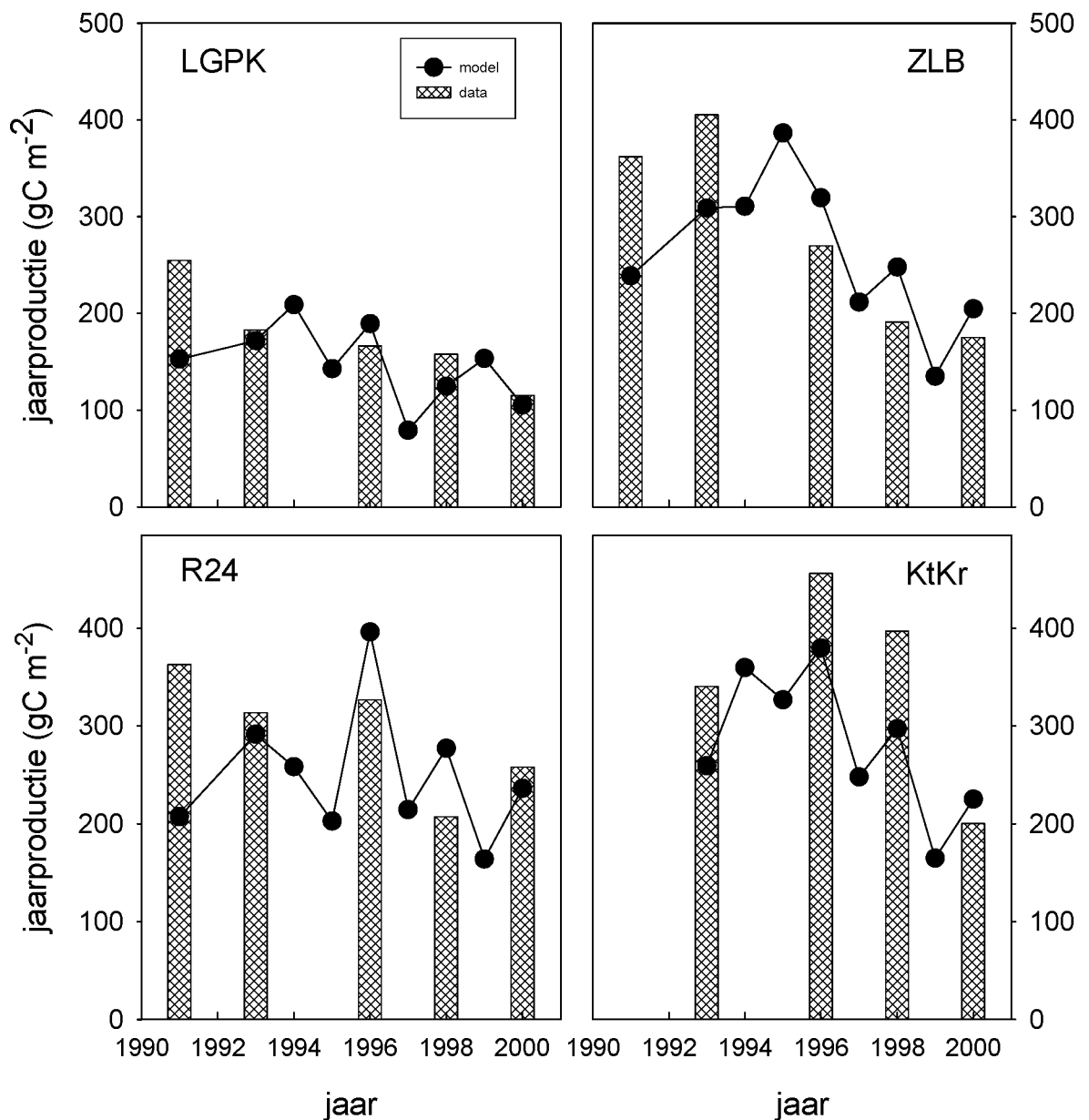
zich niet doorgezet in het begin van de negentiger jaren. Daarna, in de jaren 1993 t/m 1996, waren er geen grote voorjaarsbloeiën van *Phaeocystis*. Echter, ook vóór 1987 waren er jaren, waarin geen grote voorjaarsbloei van *Phaeocystis* in de monding optrad. In het oostelijke deel van de Oosterschelde lijkt *Phaeocystis* wel wat meer afwezig te zijn, net zo als aan het einde van de tachtiger jaren (Bakker et al., 1994). Als oorzaak voor het vrijwel afwezig zijn van *Phaeocystis* in het oostelijke deel in de jaren 1989 en 1990 werden de lage nitraatconcentraties vermoed (Bakker et al., 1994). In 2000 was er zelfs helemaal geen *Phaeocystis* in de Oosterschelde (zie Figuur 4.3), terwijl de nitraatconcentraties al weer aan het toenemen waren en zelfs hoger waren dan in de jaren 1989 en 1990. Ook in de Nederlandse kustwateren werd in 2000 geen voorjaarsbloei van *Phaeocystis* waargenomen (Koeman et al., 2001). Er zijn echter ook andere factoren, die voor de ontwikkeling van een *Phaeocystis* voorjaarsbloei in het oostelijke deel van de Oosterschelde nodig zijn, zoals transport van *Phaeocystis* van uit de monding. Ook zoöplankton zou in jaren met afwezigheid van een *Phaeocystis*-bloei een rol gespeeld kunnen hebben. Na de voltooiing van de Oosterscheldewerken waren er aanwijzingen voor een toename van de zoöplanktonbiomassa in het oostelijke deel van de Oosterschelde (Bakker & van Rijswijk, 1994). Verder heeft recent onderzoek uitgewezen dat ook zoöplankton een rol kan spelen bij de ontwikkeling van een *Phaeocystis*-bloei (Escaravage et al., 2001). Over de situatie met betrekking tot zoöplankton in de Oosterschelde is evenwel niets bekend.

4.3 Afnemende primaire productie

Als maat voor de aanwezige hoeveelheid biomassa van het fytoplankton wordt vaak de chlorofyl-a concentratie genomen. Voor de gehele periode 1990 t/m 2000 werden geen significante trends in de chlorofyl-a concentraties gevonden, maar er is wel een tendens dat na 1996 de chlorofyl-a concentraties in het oostelijke en noordelijke deel van de Oosterschelde beginnen af te nemen.

Belangrijker is echter de snelheid waarmee fytoplanktonbiomassa aangemaakt wordt, de primaire productie. Er zijn grote verschillen in de gemeten jaarproducties tussen de diverse Oosterschelde locaties gevonden. Deze verschillen worden vooral veroorzaakt door verschillen in diepte. De gemiddelde diepte van het oostelijke deel is ongeveer 4 meter en daarmee veel minder dan in de rest van de Oosterschelde. De diepte tot waar primaire productie van het fytoplankton mogelijk is, is echter groter dan 4 meter. Anderzijds betekent dit dat er in het oostelijke deel ook bij hoog water primaire productie door bodemdiatomeën mogelijk is.

Op alle locaties, met uitzondering van de noordelijke tak, wordt een afname in gemeten jaarproducties gevonden. Voor de locatie Lodijsche Gat (oostelijke deel) en de locatie Zeelandbrug (centrale deel) is deze afname significant. Voor het westelijke deel is de afname niet significant. Voor de gemodelleerde jaarproducties wordt alleen een significante afname gevonden voor het centrale deel van de Oosterschelde. De afname in primaire productie treedt vooral op tijdens de tweede helft van de jaren negentig. Zie Figuur 4.4 voor de gemeten en gemodelleerde jaarproducties (de gemodelleerde jaarproducties zijn schattingen voor de jaren waarin geen primaire productie is gemeten).

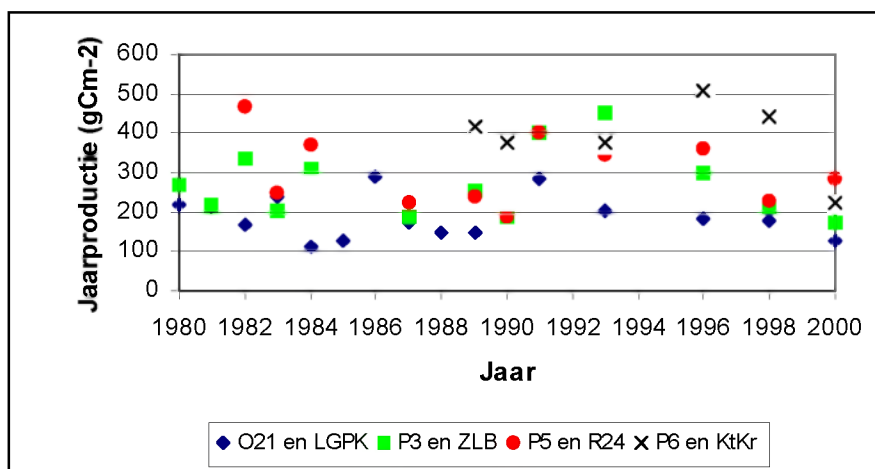


Figuur 4.4

Gemeten (balken) en gemodelleerde (lijnen) jaarproducties (als particuliere kombergingsproductie) in het oostelijke (LGPK), in het centrale (ZLB), in het westelijke (R24) en in het noordelijke (KtKr) deel van de Oosterschelde in de periode 1991 t/m 2000.

In de periode 1980 t/m 1990 is door een tweetal instituten (RIKZ en NIOO-CEME) op diverse locaties in de Oosterschelde de primaire productie van het fytoplankton gemeten. Omdat over de gehele periode 1980 t/m 2000 de gebruikte methoden verschillend waren (zie Wetsteyn & Kromkamp, 1994), is een directe vergelijking van alle gemeten waarden niet mogelijk. Om toch een enigszins verantwoord historisch vergelijk te kunnen maken, zijn alle metingen voor het westelijke deel (P5 en R24), voor het centrale deel (P3 en ZLB), voor het oostelijke deel (O21 en LGPK) en het noordelijke deel (P6 en KtKr) op het niveau van totale

kombergingsproductie* gebracht. Figuur 4.5 geeft een beeld van de aldus geschatte jaarproducties.



Figuur 4.5

Geschatte jaarproducties voor de periode 1980 t/m 2000 in het oostelijke (O21 en LGPK), in het centrale (P3 en ZLB), in het westelijke (P5 en R24) en in het noordelijke (P6 en KtKr) deel van de Oosterschelde. Zie Figuur 3.1 voor de locaties.

De jaarlijkse variatie in jaarproducties is zeer groot en voor de perioden 1980 t/m 2000 en 1980 t/m 1990 worden geen significante trends gevonden. In het algemeen was voor de periode 1980 t/m 1990 de redenering dat ten aanzien van de primaire productie de afname in nutriënten gecompenseerd werd door de toename van het doorzicht (als gevolg van de afname van het zwevend stof). Voor de periode 1990 t/m 2000 worden significant dalende trends (de trendlijnen zijn niet in de figuur aangegeven) gevonden voor het oostelijke deel ($r^2=0.878$, $p=0.019$) en het centrale deel ($r^2=0.865$, $p=0.022$) (zie ook Hoofdstuk 10 en hierboven), al vallen de waarden nog wel in de range van gemeten waarden in de periode voor 1990. Vergeleken met de tachtiger jaren, met afnemende nutriënten concentraties en toenemend doorzicht, is de abiotische situatie aan het einde van de negentiger jaren echter wel veranderd: de nutriënten concentraties stijgen weer en het doorzicht neemt na 2000 nog steeds verder af.

Samengevat is de conclusie dat de primaire productie in het oostelijke en centrale deel aan het afnemen is, en dan vooral in de tweede helft van de jaren negentig, maar de waarden vallen in deze periode nog wel in de range van gemeten waarden in de periode voor 1990.

4.4 Mogelijke oorzaken voor de afnemende primaire productie

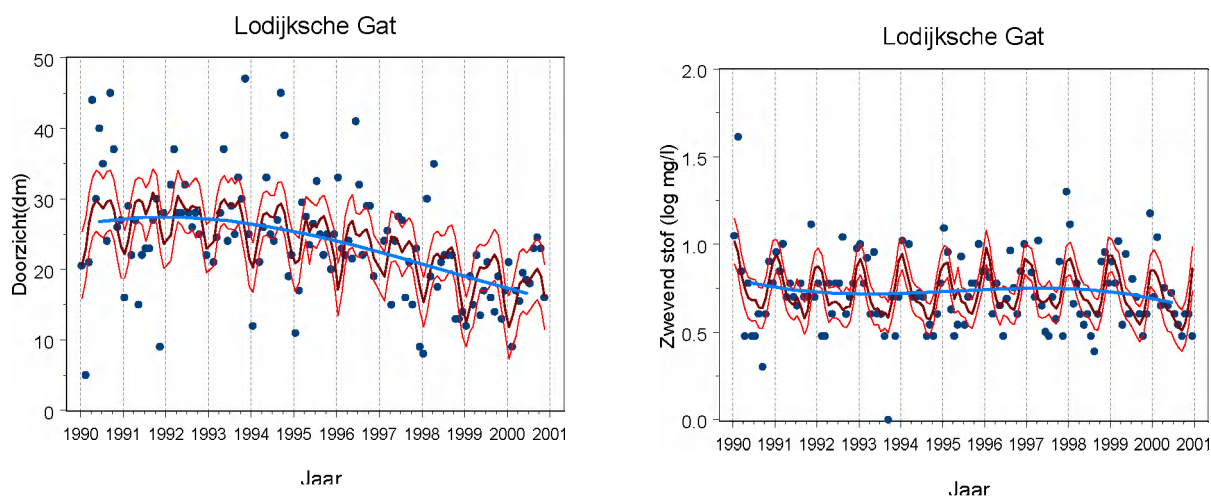
Een eerste belangrijke factor voor de grootte van de primaire productie van het fytoplankton is de beschikbaarheid van nutriënten. Uit de nutriëntengegevens blijkt dat er het gehele jaar voldoende stikstof (in de vorm van nitraat of ammonium) aanwezig is. De concentraties fosfaat en silicaat zijn aan het einde van de voorjaarsbloei mogelijk limiterend voor

*Totale productie = particuliere + opgeloste productie; kombergingsproductie is de productie per m^2 van het gehele deelgebied.

het fytoplankton, maar die limitatie is slechts van korte duur. Uit metingen van de fotosynthese-efficiëntie wordt aan het einde van de voorjaarsbloei een lichte limitatie gevonden voor het oostelijke en noordelijke deel. Verder blijkt dat vanaf het einde van de negentiger jaren de nutriënten concentraties weer aan het toenemen zijn. Omdat de periode van limitatie maar heel kort is, kan de beschikbaarheid van nutriënten niet de belangrijkste factor zijn die verantwoordelijk is voor de variatie en afname van de primaire productie over het hele jaar. De afgenomen toevoer van nutriënten naar de Oosterschelde heeft dus niet geleid tot de waargenomen afname in primaire productie van het fytoplankton.

Een tweede belangrijke factor voor de grootte van de primaire productie is de beschikbaarheid van licht. Uit de gemeten instraling op het KNMI-station Vlissingen blijkt dat er een licht afnemende, maar niet significante trend is voor de negentiger jaren. De waargenomen afname in primaire productie van het fytoplankton wordt dus niet veroorzaakt door veranderingen in de instraling.

Een belangrijke uitkomst van de trend-analyses is de significante afname van het doorzicht op alle Oosterschelde locaties; als voorbeeld wordt in Figuur 4.6 de situatie in het oostelijke deel getoond. De afname van het doorzicht op de Oosterschelde locaties treedt vooral op sinds de tweede helft van de jaren negentig en de huidige situatie is dat deze afname zich nog steeds doorzet.



Figuur 4.6

Het verloop van het doorzicht (in dm, links) en de zwevende stof concentraties (in mg/l, rechts) in het oostelijke (Lodijsche Gat) deel van de Oosterschelde in de jaren 1990 t/m 2000. De blauwe stippen geven de waarnemingen weer, de rode lijnen de voorspellingen van het gebruikte regressiemodel met het 95% betrouwbaarheidsinterval en de derde graads polynoom trendlijn wordt met de blauwe lijn aangegeven.

Deze afname van het doorzicht wordt niet veroorzaakt door een toename in het zwevend stof gehalte op de Oosterschelde locaties; als voorbeeld wordt in Figuur 4.6 de situatie in het oostelijke deel getoond. Voor de periode 1990 t/m 2000 zijn voor de Oosterschelde locaties ook geen trends in andere particuliere variabelen als POC, PN en PP gevonden. Omdat de gevonden significante afname van het doorzicht niet gepaard gaat met toenemende trends in particuliere stoffen, zal de oorzaak van de afname

van het doorzicht dus gezocht moeten worden in de opgeloste stoffen. De verandering in het lichtklimaat van de waterkolom blijkt ook uit het feit dat, vooral in de tweede helft van de negentiger jaren, hogere extincties gemeten zijn.

De meest waarschijnlijke oorzaak lijkt een toename van de in het Oosterscheldewater aanwezige humuszuren te zijn. Van humuszuren is bekend dat ze een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de extinctie (Laane, 1980; Christensen et al., 1996). Voor de Oosterschelde zijn verschillende bronnen van humuszuren aan te wijzen.

Humuszuren kunnen langs verschillende wegen in het ecosysteem terechtkomen, vooral door uitspoeling vanaf het land. Bij een toename van de neerslag zal er op het land ook meer water naar de rivieren afgevoerd worden. Daardoor zullen er ook meer uitgespoelde humuszuren door de rivieren naar de estuaria (en de Noordzee) afgevoerd worden. Gedurende de negentiger jaren is een duidelijke toename in de gemiddelde hoeveelheid neerslag in Nederland opgetreden (KNMI, 1999). Voor de negentiger jaren is voor de Rijn de trend een regelmatige toename in de gemiddelde afvoer en zijn zelfs de hoogste gemiddelde afvoeren van de vorige eeuw gemeten (KNMI, 1999). In overeenkomst met voorgaande is op de zoetwater locatie Steenbergse polder een significante toename van DOC (gaat samen met verhoogde afspoeling van regenwater vanaf het land) gemeten.

De hoeveelheid uitgeslagen polderwater op de Oosterschelde blijkt zeer significant samen te hangen met de hoeveelheid neerslag. Verder zal ook een groot deel van de waterbelasting van uit het Veerse Meer uit uitgeslagen polderwater bestaan. Ook het uitgeslagen polderwater is een mogelijke bron van humuszuren, vooral door afspoeling van regenwater vanaf het land.

Op veel plaatsen in Zeeland komt in de ondergrond veen voor, het zogenaamde Hollandveen. Uit een recente studie (Hesselink et al., 2003) is gebleken dat als gevolg van de zandhonger van de Oosterschelde er met name in de Kom, maar ook in het centrale deel en in het Zijpe, veel veen bloot is komen te liggen. Het is niet bekend vanaf wanneer dit proces al aan de gang is. Het lijkt goed mogelijk dat de vrijliggende pakketten veen in de Oosterschelde een aanzienlijke bron van humuszuren zijn doordat de bovenliggende zandlaag verdwenen is.

Humuszuren worden niet snel afgebroken en kunnen daarom lang achterblijven in een estuarien systeem met lange verblijftijd (Jackson & Hecky, 1980; Carpenter et al., 1998), zoals de Oosterschelde.

Humuszuren leveren een belangrijk aandeel aan het DOC. Bij het RIKZ (en ook bij het RIZA) wordt DOC bepaald volgens een methode ontwikkeld door Schreurs (1978). Deze methode meet echter slechts een klein deel van de aanwezige humuszuren (mond. meded. W. Schreurs). In Nederland worden geen routinematige metingen van totaal humuszuren gedaan (mond. meded. R. Laane), en ook de absorptiespectra van gefiltreerd water worden niet routinematig bepaald om de aanwezigheid van humuszuren aan te tonen.

4.5 Neemt de draagkracht van de Oosterschelde af?

De primaire productie van het fytoplankton is vooral in de tweede helft van de negentiger jaren afgenomen. Met de afnemende primaire productie is de draagkracht van de Oosterschelde voor filtrerende schelpdieren (en zoö plankton) vermoedelijk wel aan het afnemen. Toch hebben de totale aanwezige kokkelbestanden aan het einde van de jaren negentig weer toe kunnen nemen tot hetzelfde niveau als begin jaren negentig, terwijl ook Japanse oesters in aantal in de jaren negentig eveneens aanzienlijk hebben kunnen toenemen.

Sterke sturende factor voor de primaire productie is nog steeds de snelle regeneratie van nutriënten, samenhangend met de graas door schelpdieren als mossels, kokkels en Japanse oesters. Omdat er niets bekend is over het aanwezige zoö plankton, is ook niet bekend hoe groot de rol van het zoö plankton in de begrazing en regeneratie van nutriënten is.

De biomassa in asvrij drooggewicht van Japanse wilde (= litorale en sublitorale) oesters in de gehele Oosterschelde is rond 2000 ongeveer 2.5 keer zo groot als aan het begin van de jaren negentig (Kater, 2003). In alle gebieden is er een toename van het aandeel in de filtratie door oesters in de totale filtratie ten koste van kokkels en mosselen. Met name in het oostelijke deel is de toename van filtratie door oesters en de afname door kokkels relatief gezien verreweg het grootst. Omdat oesters een voorkeur blijken te hebben voor groter fytoplankton (lit. in Kater, 2003), zou de verschuiving binnen de grootteklassen van het fytoplankton heel goed het resultaat kunnen zijn van selectieve graas door Japanse oesters.

Om een onderbouwde uitspraak te doen over draagkracht voor filtrerende schelpdieren is het noodzakelijk om compartimentsgewijs te kijken. Door de grote verschillen in gemiddelde diepte zullen factoren als verblijftijd en de hoeveelheid aanwezige schelpdieren in de ondiepere oostelijke en noordelijke delen van de Oosterschelde een belangrijker rol spelen dan in de diepere centrale en westelijke delen. Zolang de groei van het fytoplankton de graas door filtrerende schelpdieren (en zoö plankton) nog kan bijhouden, zal er voldoende voedsel voor de schelpdieren zijn. Zodra die grens bij een nog grotere graas door schelpdieren (en zoö plankton) gepasseerd wordt, zal dit onvermijdelijk ten koste gaan van de groei van de schelpdieren. Combinatie van filtratietijd, turnover van het fytoplankton en de verblijftijd van het water in de verschillende deelgebieden van de Oosterschelde liet zien dat de kans op voedselcompetitie inderdaad het grootst is in de oostelijke en noordelijke delen van de Oosterschelde (Geurts van Kessel et al., 2003). Over de situatie met betrekking tot het zoö plankton is op dit moment helaas niets bekend.

Uit modelberekeningen is geconcludeerd dat een grotere zoetwatertoevoer naar de Oosterschelde slechts tot een geringe verhoging van de primaire productie van het fytoplankton zou kunnen leiden (Haas, 1998). Uit de in dit rapport gepresenteerde resultaten blijkt dat een grotere zoetwatertoevoer niet zal leiden tot een hogere primaire productie, omdat licht een belangrijker sturende factor blijkt te zijn dan nutriënten. Indien de humuszuren hypothese zou kloppen, dan is het zelfs mogelijk dat de gunstige invloed van meer nutriënten teniet wordt gedaan door een afname van de lichtdoordringing in het water door de aanwezige humuszuren.

4.6 Referenties

- BAKKER, C., P.M.J. HERMAN & M. VINK, 1994. A new trend in the development of the phytoplankton in the Oosterschelde (SW Netherlands) during and after the construction of a storm-surge barrier. *Hydrobiologia* 282/283: 79-100.
- BAKKER, C. & P. VAN RIJSWIJK, 1994. Zooplankton biomass in the Oosterschelde (SW Netherlands) before, during and after the construction of a storm-surge barrier. *Hydrobiologia* 282/283: 127-143.
- CARPENTER, S.R., J.J. COLE, J.F. KITCHELL & M.L. PACE, 1998. Impact of dissolved organic carbon, phosphorus, and grazing on phytoplankton biomass and production in experimental lakes. *Limnology & Oceanography* 43: 73-80.
- CHRISTENSEN, D.L., S.R. CARPENTER, K.L. COTTINGHAM, S.E. KNIGHT, J.P. LEBOUTON, D.E. SCHINDLER, N. VOICHICK, J.J. COLE & M.L. PACE, 1996. Pelagic responses to changes in dissolved organic carbon following division of a seepage lake. *Limnology & Oceanography* 41: 553-559.
- ESCARAVAGE, V., P.P. DE VRIES & C.M. VAN DER VOORN, 2001. Potential effect of mesozooplankton grazing on the appearance of harmful algal blooms. Report 2001-03, NIOO-CEMO, Yerseke: 1-96.
- GEURTS VAN KESSEL, J., B.J. KATER & T.C. PRINS, 2003. Veranderende draagkracht van de Oosterschelde voor kokkels. Rapportage van Thema's 2 en 3 uit het 'Lange Termijn Onderzoeksprogramma Voedselreservering Oosterschelde', in het kader van de Tweede Evaluatie van het Nederlands Kustvisserijbeleid, EVA II. Rapport RIKZ/2003.043.
- HAAS, H.A., 1998. Zoet water naar de Oosterschelde: een verkenning naar de effecten op natuur en visserij. Rapport RIKZ-98.036: 1-77.
- HESELINK, A.W., D.C. VAN MALDEGEM, K. VAN DER MALE & B. SCHOUWENAAR, 2003. Verandering van de morfologie van de Oosterschelde door de aanleg van de stormvloedkering. Werkdocument RIKZ/OS/2003.810x.
- JACKSON, T.A. & R.E. HECKY, 1980. Depression of primary productivity by humic matter in lake and reservoir waters of the boreal forest zone. *Canadian Journal Fisheries Aquatic Science* 37: 2300-2317.
- KATER, B.J., 2003. De voedselsituatie voor kokkels in de Oosterschelde. RIVO-rapport C018/03, Yerseke.
- KNMI, 1999. De toestand van het klimaat in Nederland 1999: 1-64.
- KOEMAN, R.P.T., R. BIJKERK, K. FOCKENS, A.L. DE HAAN & P. ESSELINK, 2001. Biomonitoring van fytoplankton in de Nederlandse zoute wateren 2000. Koeman & Bijkerk, Rapport 2001-21: 1-116.
- LAANE, R.W.P.M., 1980. Conservative behaviour of dissolved organic carbon in the Eems-Dollard estuary and the western Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research* 14: 192-199.

SCHREURS, W., 1978. An automated colorimetric method for the determination of dissolved organic carbon in sea water by U.V. destruction. *Hydrobiological Bulletin* 12: 137-142.

WETSTEYN, L.P.M.J. & J.C. KROMKAMP, 1994. Turbidity, nutrients and phytoplankton primary production in the Oosterschelde (The Netherlands) before, during and after a large-scale coastal engineering project (1980-1990). *Hydrobiologia* 282/283: 61-78.

5. Conclusies

- Tijdens de negentiger jaren wordt voor de concentraties van de nutriënten stikstof en silicaat een significante stijgende trend gevonden. Voor fosfaat wordt voor dezelfde periode een significante dalende trend gevonden, maar na 1997 nemen de concentraties fosfaat weer langzaam toe.
- De verminderde nutriëntenbelasting heeft niet geleid tot een verandering in de samenstelling en productiviteit van het Oosterschelde fytoplankton.
- Er zijn geen grote veranderingen in de soortensamenstelling van het fytoplankton aangetoond. De grootteverdeling van het fytoplankton is vanaf 1994 t/m 1998 wel gewijzigd. Verhoudingsgewijs komen er steeds meer kleine ($<20\ \mu\text{m}$) fytoplanktonsoorten voor dan grote ($>20\ \mu\text{m}$). Dit wordt veroorzaakt door vooral een afname van de grotere soorten en een toename van de grotere soorten. De verandering in de grootteverdeling van het fytoplankton zou een gevolg kunnen zijn van de grote toename van Japanse oesters.
- De primaire productie van het fytoplankton in de Oosterschelde is vooral in de tweede helft van de negentiger jaren afgenomen. De jaarlijkse primaire productie door het fytoplankton lijkt op basis van de gemeten data af te nemen in het centrale en oostelijk deel van de Oosterschelde. Dit wordt deels (voor het centrale deel) ondersteund door modelberekeningen.
- De afname in primaire productie lijkt niet het gevolg te zijn van een afname in nutriënten en nutriëntenlimitatie komt slechts gedurende een zeer korte periode voor. In het OZZO rapport (Haas, 1998) wordt beschreven dat verrijking met nutriënten (bijvoorbeeld door een verhoogde zoetwatertoevoer) slechts een geringe verhoging van de productie zal geven. De afname in primaire productie wordt veroorzaakt door een significante afname van het doorzicht. Uit deze verkenning blijkt eveneens dat een grotere zoetwatertoevoer nauwelijks zal leiden tot een verhoging van de primaire productie, omdat licht de sturende factor voor de primaire productie blijkt te zijn en niet nutriënten.
- De waargenomen veranderingen in primaire productie lijken dus niet het gevolg van het feit dat er nog steeds een effect is van de Oosterschelde werken, maar lijken meer samen te hangen met andere processen: het bloot komen te liggen van veenpakketten als gevolg van de zandhonger en klimaatverandering. Op dit moment bestaat het vermoeden dat de veenpakketten en de verhoogde regenval een verhoging geeft in de concentratie humuszuren, en dat dit de afname in het doorzicht veroorzaakt, waardoor de primaire productie beperkt wordt door de hoeveelheid licht in de waterkolom.

- De continuïteit in de kwaliteit van plankton analyses wordt nadelig beïnvloed door verandering van analyserend bureau tijdens een langjarig lopend monitoring programma.

6. Bijlage 1: Meteo (instraling, neerslag en wind)

L.P.M.J. Wetsteyn & A. Pouwer

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Postbus 8039, 4330 EA Middelburg

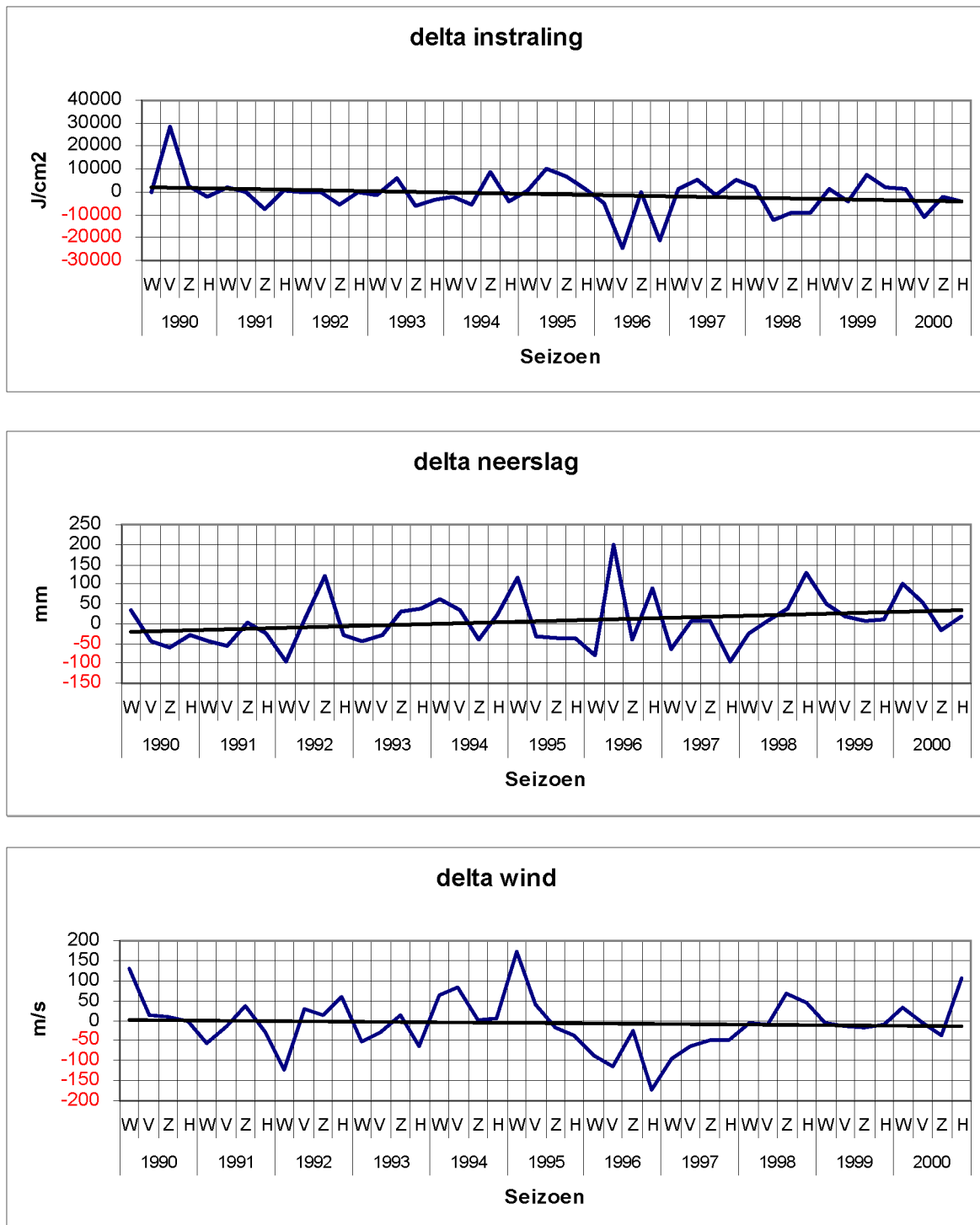
Voor de periode 1990 t/m 2000 laat de delta instraling (zie tekst voor de wijze van berekenen) een licht dalende en de delta neerslag een licht stijgende trend zien; in beide gevallen is de trend niet significant.

Om ook de effecten van het weer in deze verkenning te betrekken, werden de instralings-, neerslag- en windgegevens van het KNMI-station Vlissingen gebruikt. Voor elke weersvariabele werd het daggemiddelde van de periode 1990 t/m 2000 bepaald; daarna werd een gemiddeld jaar bepaald met een 10-dagelijks voortschrijdend gemiddelde. Elk jaar uit de periode 1990 t/m 2000, eveneens met een 10-dagelijks voortschrijdend gemiddelde, werd vergeleken met het gemiddelde jaar. Ten slotte werd per seizoen het residu bepaald voor elke weersvariabele, verder delta instraling, delta neerslag en delta wind genoemd. De resultaten worden gegeven in Figuur 6.1.

De delta instraling deelfiguur laat zien dat tijdens de tweede helft van de negentiger jaren de instraling vaker en dieper, en vooral in 1996 en 1997, onder het jaargemiddelde komt dan tijdens de eerste helft. De regressielijn laat ook een licht dalende trend zien ten opzichte het gemiddelde jaar uit de periode 1990 t/m 2000; de trend is evenwel niet significant. Door op te splitsen naar seizoensgegevens is gekeken of er wellicht voor één of meer van de seizoenen een trend gevonden kan worden. Voor het voorjaar blijkt dan de grootste (dalende) trend gevonden te worden, die echter net niet significant is ($r^2=0.350$, $p=0.055$); de trends voor de andere seizoenen zijn nog minder significant.

Voor de delta neerslag deelfiguur wordt gevonden dat in de jaren 1990 t/m 2000 de hoeveelheid neerslag een licht stijgende trend vertoont, die echter niet significant is. Voor de seizoenen wordt een stijgende trend gevonden voor het voorjaar, de herfst en de winter, die echter niet significant zijn.

De gevonden trends voor delta wind zijn nog minder significant dan die voor delta instraling en delta neerslag.



Figuur 6.1

Residuen per seizoen voor delta instraling, delta neerslag en delta wind (zie tekst voor de wijze van berekenen) voor de jaren 1990 t/m 2000, gebaseerd op meteo-gegevens van het KNMI-station Vlissingen. W = winter (december t/m februari), V = voorjaar (maart t/m mei), Z = zomer (juni t/m augustus) en H = herfst (september t/m november). In elke deelfiguur is tevens de lineaire trend ten opzichte van een gemiddeld jaar (zie tekst) over de periode 1990 t/m 2000 aangegeven. De lineaire trends zijn niet significant (delta instraling: $r^2=0.050$, $p=0.139$; delta neerslag: $r^2=0.061$, $p=0.103$; delta wind: $r^2=0.004$, $p=0.688$).

7. Bijlage 2: Water- en nutriëntenbelasting

L.P.M.J. Wetsteyn

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Postbus 8039, 4330 EA Middelburg

De waterbelasting is berekend als de som van de belastingen via de Krammersluizen, uit polderwateruitslagen, uit het Veerse Meer en de hoeveelheid neerslag. De jaren 1996 en 1997 waren relatief droog en 1998 was een relatief nat jaar. De grootste waterbelasting vindt elk jaar gedurende de herfst en de winter plaats, de kleinste in het voorjaar en in de zomer; de hoogste waterbelasting vond plaats tijdens de zeer natte herfst van 1998. Er werd geen significante trend gevonden in de waterbelasting van de Oosterschelde, niet op jaarbasis en ook niet op seizoensbasis. De hoeveelheid uitgeslagen polderwater op de Oosterschelde hangt significant samen met de hoeveelheid neerslag.

De nutriëntenbelasting is berekend als de som van Ntotaal en Ptotaal via de Krammersluizen, uit polderwateruitslagen en uit het Veerse Meer. De nutriëntenbelasting weerspiegelt het verloop van de waterbelasting. De Ntotaal belasting is vooral afkomstig uit het Krammer-Volkerak en de polderwateruitslagen; de Ptotaal belasting vooral uit de polderwateruitslagen en uit het Veerse Meer. Er werd geen significante trend gevonden in de nutriëntenbelasting van de Oosterschelde, niet op jaarbasis en ook niet op seizoensbasis.

7.1 Water- en nutriëntenbelasting

De water- en nutriëntenbelasting van de Oosterschelde is afkomstig van de aanvoer uit het Krammer-Volkerak via de Krammersluizen in de Philipsdam, polderwateruitslagen uit de omringende polders, aanvoer uit het Veerse Meer via de Zandkreekdijk en neerslag. Bewust wordt de term waterbelasting gehanteerd en niet zoetwaterbelasting, omdat het niet alleen gaat om toegevoerd zoet water uit het Krammer-Volkerak, maar ook toegevoerd brak water uit de polders rondom de Oosterschelde en het Veerse Meer. De belangrijkste nutriënten uit de verschillende belastingsbronnen zijn stikstof en fosfaat.

Om aan te sluiten bij oudere gegevens over de water- en nutriëntenbelasting van de Oosterschelde zijn dezelfde eenheden voor debieten en nutriëntenvrachten aangehouden als in Van Berchum & Wattel (1997).

Krammer-Volkerak

De waterbelasting van uit het Krammer-Volkerak is afkomstig van het schutten van schepen en het debiet dat wordt gebruikt door het zoet/zout scheidingssysteem bij de Krammersluizen, dat gebruikt wordt om de zoutindringing op het Volkerak-Zoommeer tegen te gaan.

De water- en nutriëntenbelasting uit het Krammer-Volkerak via de Krammersluizen werd geschat uit gegevens over het debiet en nutriëntenconcentraties.

Voor de schatting van het debiet via de Krammersluizen wordt $9 \text{ m}^3/\text{s}$ aangehouden (mond. meded. Gillis Wattel). Echter, tijdens een zeer natte

periode in de winter van 1995 zijn de Krammersluizen kortstondig gebruikt om overtollig water van het Volkerak-Zoommeer te spuien; omgerekend naar etmaalgemiddelden was het debiet op 31 januari $50 \text{ m}^3/\text{s}$ en op 1 februari $25 \text{ m}^3/\text{s}$ (van Berchum & Wattel, 1997). Op jaarbasis steeg het debiet aldus van 9 naar $9.2 \text{ m}^3/\text{s}$ en op seizoensbasis (winter) van 9 naar $9.6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Voor de nutriëntenconcentraties werden de gemeten concentraties van de locatie Steenberg gebruikt. Dit is de dichtstbijzijnde zoetwater locatie in het Volkerak, waarvan een complete meetreeks beschikbaar is. Bovendien verschillen de concentraties niet van die vlak voor de Krammersluizen (mond. meded. Gillis Wattel). Van de beschikbare gegevens werden N_{totaal} en P_{totaal} berekend. Hierbij werd gebruik gemaakt van een lineaire interpolatietechniek, waarbij uit de gemeten waarden voor elke tussenliggende dag een waarde werd geschat.

Polderwateruitslagen

In de huidige situatie wordt polderwater op de Oosterschelde uitgeslagen door 11 gemalen. In totaal wordt via deze gemalen overtollig water uit ca. 28700 ha polderland uitgeslagen; meer gedetailleerde informatie over de gemalen is te vinden in van Berchum & Wattel (1997). Alle informatie over polderwater in het hiernavolgende heeft betrekking op de 11 gemalen, die voor de afronding van de Oosterscheldewerken op de Oosterschelde uitsloegen en ook erna.

De water- en nutriëntenbelasting uit het de omringende polders van de Oosterschelde werd geschat uit gegevens over de debieten en nutriëntenconcentraties van de 11 gemalen.

Veerse Meer

Voor de peilbeheersing van het Veerse Meer wordt gebruik gemaakt van de gecombineerde schut- en uitwateringssluizen in de Zandkreekdijk (Wattel, 1994). De waterbelasting is geschat als schutwater uit + uitwisseling + spui (gegevens van Gillis Wattel).

De nutriëntenbelasting is geschat met behulp van het bovengenoemde debiet en de waterkwaliteitsgegevens (N_{totaal} en P_{totaal}) van de locatie Soelekerkepolder Oost. Alleen van deze locatie zijn voor het Veerse Meer voor de gehele periode 1990 t/m 2000 waterkwaliteitsgegevens beschikbaar. Van de dichterbij de Zandkreekdijk gelegen voormalige locatie Wolphaartsdijk zijn alleen gegevens tot 1996 voorhanden.

Neerslag en verdamping

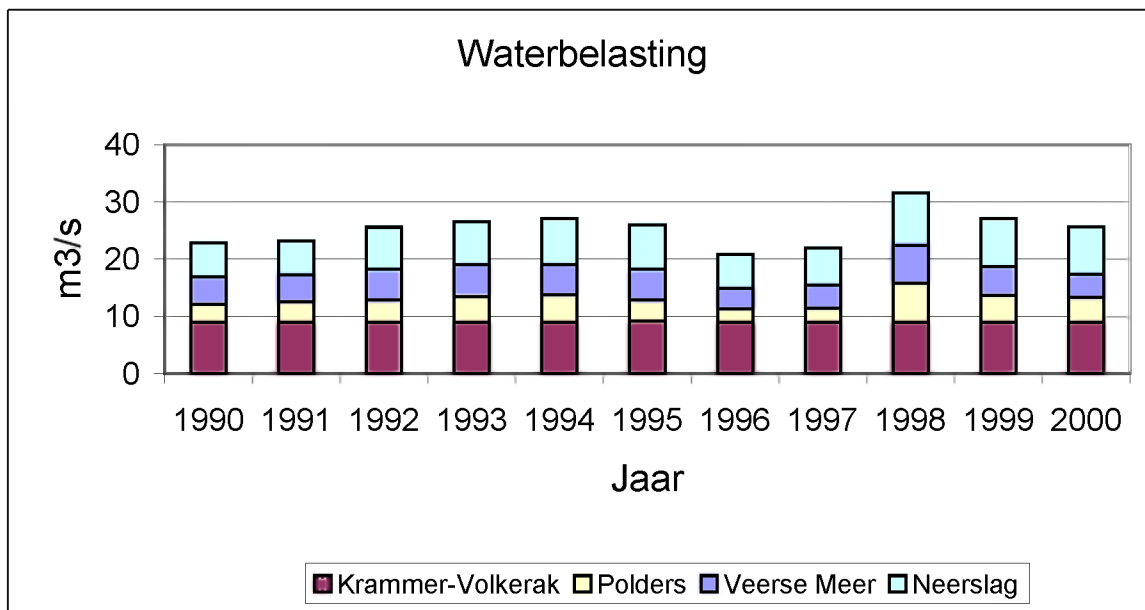
De hoeveelheid neerslag is geschat uit KNMI-gegevens over de neerslag in Wilhelminadorp (gegevens Gillis Wattel) en de oppervlakte van de Oosterschelde (30000 ha bij NAP).

De verdamping is niet geschat. In m^3/s gerekend is de hoeveelheid verdamping elk jaar ongeveer even groot als de hoeveelheid neerslag (vergelijk van Berchum & Wattel, 1997). Neerslag en verdamping zijn in elk seizoen echter niet met elkaar in evenwicht, in de herfst en winter is de hoeveelheid neerslag groter dan de verdamping, terwijl in de zomer de verdamping overheerst.

7.2 Waterbelasting

De waterbelasting op de Oosterschelde in m^3/s op jaarbasis wordt gegeven in Figuur 7.1 als de som van de belastingen via de Krammersluizen, uit

polderwateruitslagen, uit het Veerse Meer en de hoeveelheid neerslag. De hoeveelheid verdamping is niet geschat (zie boven).



Figuur 7.1

Waterbelasting op de Oosterschelde als jaardebiet in m³/s van uit het Krammer-Volkerak, uit de omringende polders, uit het Veerse Meer en via neerslag in de periode 1990 t/m 2000.

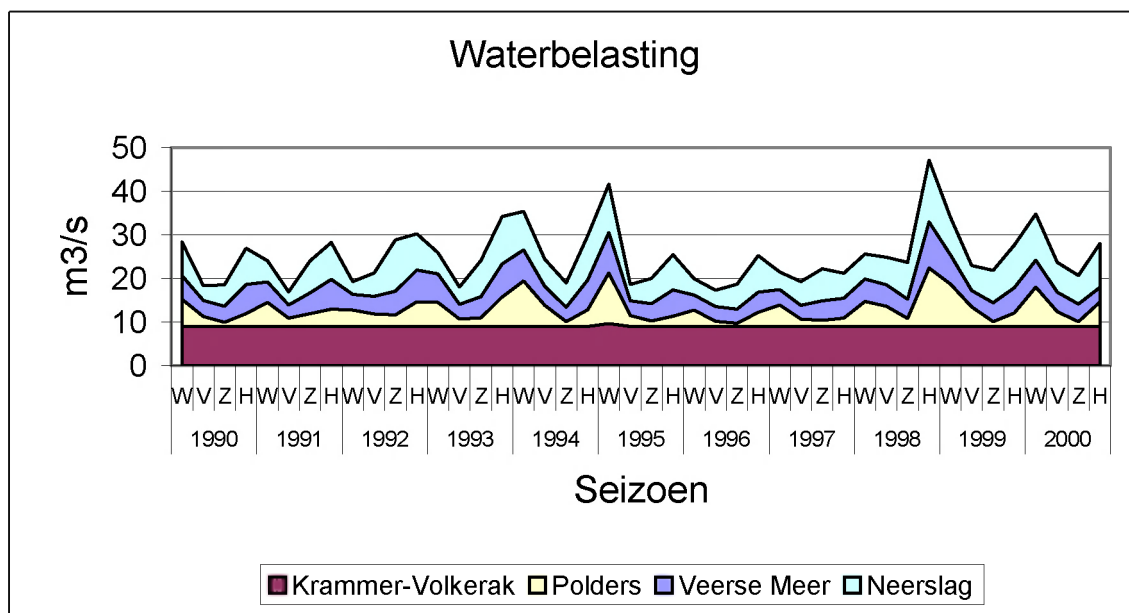
Op jaarbasis was de waterbelasting in de perioden 1990 t/m 1995 en 1999 t/m 2000 redelijk constant, 1996 en 1997 waren jaren met een kleinere waterbelasting en 1998 had de grootste waterbelasting in de periode 1990 t/m 2000.

In de meeste jaren is ongeveer 35 tot 40% van de waterbelasting afkomstig uit het Krammer-Volkerak, in de jaren 1996 t/m 1997 ruim 40% en in 1998 ongeveer 30%, hetgeen veroorzaakt wordt door vooral de kleinere, respectievelijk grotere polderwateruitslagen en afvoer uit het Veerse Meer.

Gemiddeld over de periode 1990 t/m 2000 was het debiet voor de polderwateruitslagen 4.0 m³/s en uit het Veerse Meer 5.0 m³/s. De gemiddelde debieten voor de polderwateruitslagen en afvoer uit het Veerse Meer voor de periode 1980 t/m 1989 waren ongeveer 10% hoger: 4.3 m³/s, respectievelijk 5.5 m³/s (uit onderliggende gegevens van Van Berchum & Wattel, 1997). Het debiet voor de afvoer uit het Krammer-Volkerak wordt geschat als gemiddeld ongeveer 9 m³/s. Voor jaren 1988 en 1989 werd de afvoer geschat op 8 m³/s, en voor de sluiting van de Philipsdam in 1987 was de afvoer uit het Krammer-Volkerak uiteraard veel hoger (zie Van Berchum & Wattel, 1997).

Opsplitsing van de waterbelasting naar seizoenen laat de volgende dynamiek zien (Figuur 7.2). De grootste afvoer vindt elk jaar gedurende de herfst en de winter plaats, de kleinste in het voorjaar en in de zomer. Hoge afvoeren zijn er vooral in de winters van 1994, 1995, 1999 en 2000; de

hoogste afvoer vond plaats tijdens de zeer natte herfst van 1998. De jaren 1996 en 1997 laten de laagste waterafvoer zien.



Figuur 7.2

Waterbelasting op de Oosterschelde als seizoensdebiet in m³/s van uit het Krammer-Volkerak, uit de omringende polders, uit het Veerse Meer en via neerslag in de periode 1990 t/m 2000. W = winter (december t/m februari), V = voorjaar (maart t/m mei), Z = zomer (juni t/m augustus) en H = herfst (september t/m november).

De aanvoer uit het Krammer-Volkerak is zeer constant. De aanvoer van polderwater, afvoer uit het Veerse Meer en neerslag dragen vooral tijdens de genoemde perioden met veel afvoer bij aan de totale waterbelasting. Over de gehele periode 1990 t/m 2000 werden echter geen significante trends gevonden worden in de waterbelasting van de Oosterschelde, niet op jaarbasis, en ook niet voor de afzonderlijke seizoenen.

De hoeveelheid uitgeslagen polderwater op de Oosterschelde blijkt samen te hangen met de hoeveelheid neerslag. Voor de periode 1990 t/m 2000 werd een zeer significant verband ($r^2=0.752$, $p=0.001$) gevonden tussen de jaargemiddelde hoeveelheid neerslag en de jaargemiddelde afvoer van polderwater. Dit was ook het geval voor de perioden 1980 t/m 1990 ($r^2=0.717$, $p=0.001$) en 1980 t/m 2000 ($r^2=0.673$, $p=0.000$). Er was evenwel geen verschil tussen de gemiddelde hoeveelheid neerslag op de Oosterschelde in de periode 1980 t/m 1990 en in de periode 1990 t/m 2000 ($t=-0.346$, $p=0.737$).

7.3 Nutriëntenbelasting

De nutriëntenbelasting als N_{totaal} en P_{totaal} per jaar uit het Krammer-Volkerak, uit polderwateruitslagen en uit het Veerse Meer wordt gegeven in Figuur 7.3. Het verloop van de jaarlijkse belasting als N_{totaal} en P_{totaal} weerspiegelt het verloop van de waterbelasting (Figuur 7.1).

Er is geen schatting gemaakt van de nutriëntenbelasting via het regenwater. De reden hiervoor is dat het wel mogelijk is om de hoeveelheid

neerslag te berekenen (uit KNMI-gegevens over de neerslag in Wilhelminadorp en de oppervlakte van de Oosterschelde, ca. 30000 ha), maar dat geen gegevens voorhanden zijn over de nutriënten concentraties in regenwater.

Het Krammer-Volkerak en de polderwateruitslagen dragen vooral en in gelijke mate bij aan de Ntotaal belasting. De Ptotaal belasting daarentegen vindt vooral en in de meeste jaren plaats van uit de polderwateruitslagen en uit het Veerse Meer.

Op seizoensbasis worden de grootste Ntotaal- en Ptotaal belastingen aangevoerd in de herfst en in de winter, de laagste in het voorjaar en in de zomer (Figuur 7.4). De aandelen van Ntotaal en Ptotaal zijn het hoogst in de winter en het voorjaar en het laagst in de zomer en in de herfst. Ntotaal is vooral weer afkomstig van uit het Krammer-Volkerak en de polderwateruitslagen en Ptotaal van uit de polderwateruitslagen en het Veerse Meer.

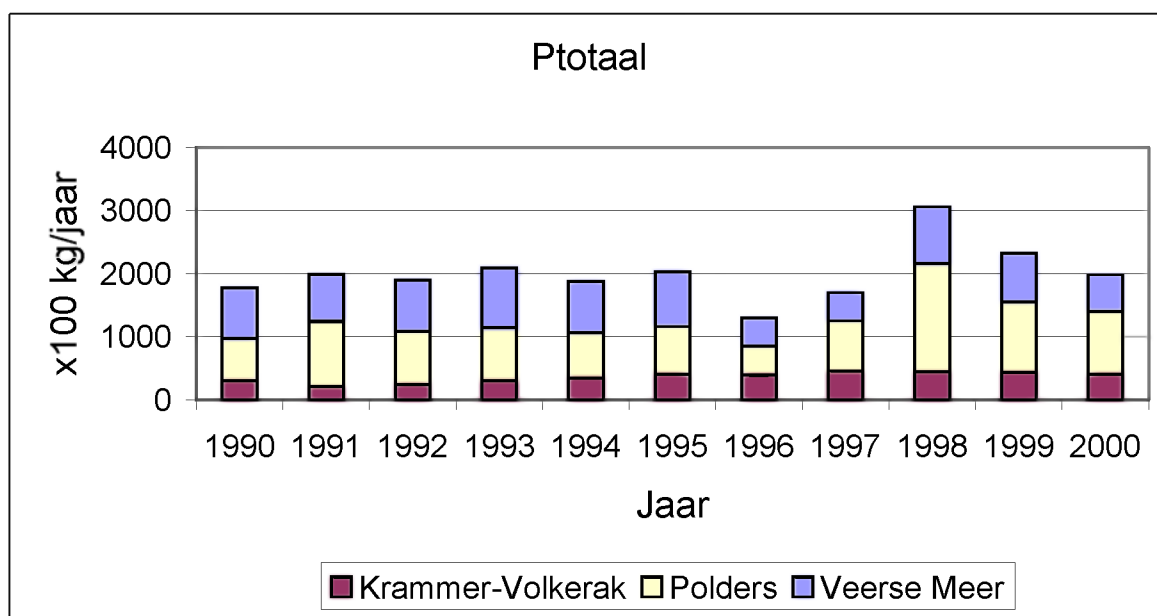
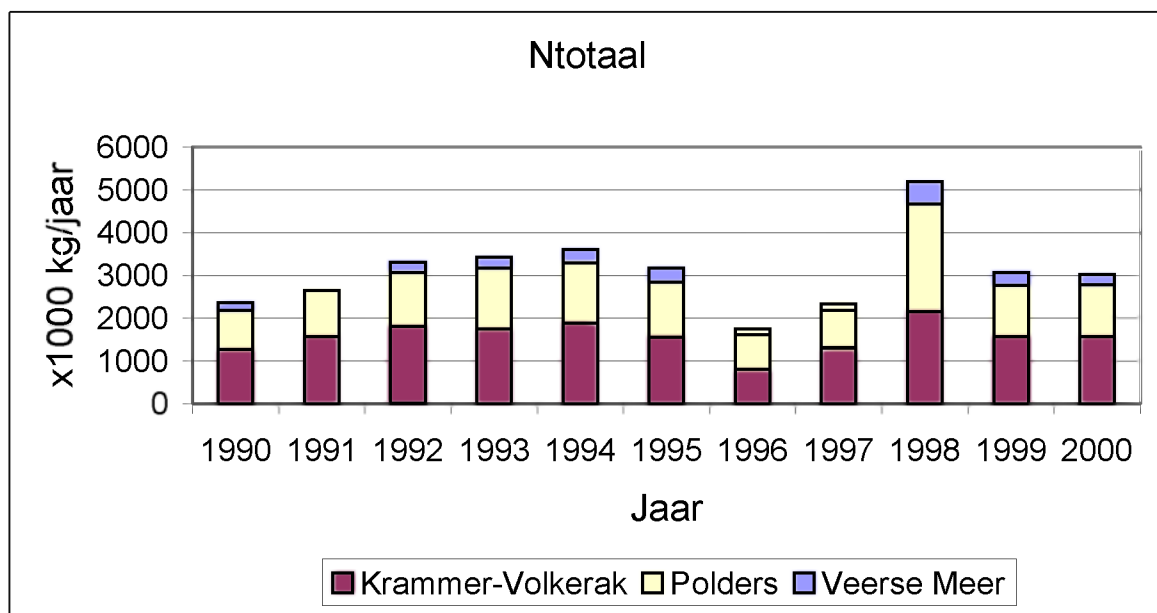
Over de gehele periode 1990 t/m 2000 kon geen trend gevonden worden in de Ntotaal- en Ptotaal belasting van de Oosterschelde, niet op jaarbasis, en ook niet voor alle seizoenswaarden of voor de afzonderlijke seizoenen (Tabel 7.1).

Tabel 7.1

Resultaten lineaire regressie-analyse tussen jaar, alle seizoenswaarden, afzonderlijke seizoenen en de Ntotaal- en Ptotaal belasting in de periode 1990 t/m 2000 op de Oosterschelde.

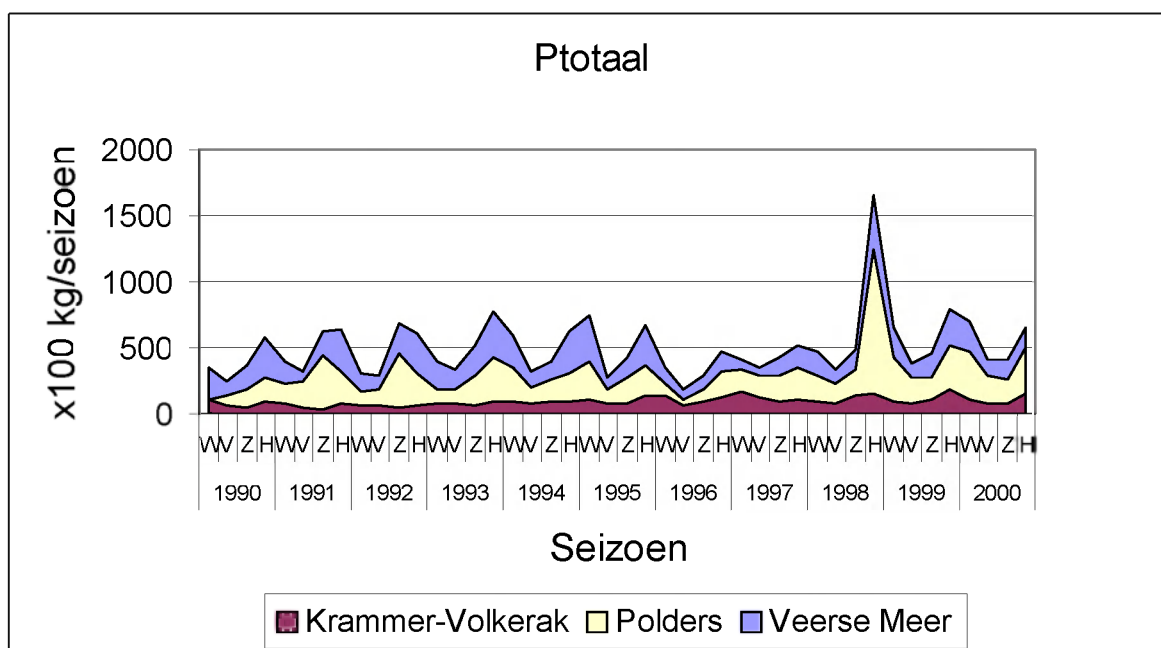
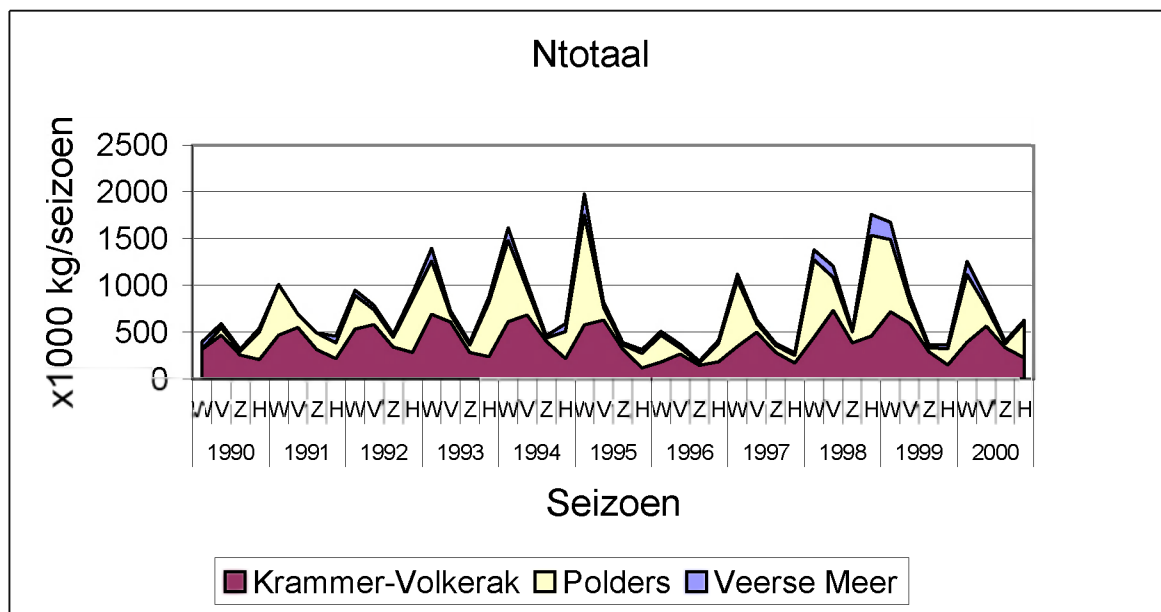
Ntotaal	Trend	r ²	F	p
Jaar	+	0.031	0.259	0.625
Seizoen	+	0.008	0.314	0.579
Voorjaar	-	0.018	0.149	0.710
Zomer	+	0.005	0.038	0.850
Herfst	+	0.008	0.069	0.799
Winter	+	0.006	0.043	0.842

Ptotaal	Trend	r ²	F	p
Jaar	+	0.097	0.967	0.351
Seizoen	+	0.044	1.883	0.177
Voorjaar	+	0.258	3.127	0.111
Zomer	-	0.124	1.272	0.289
Herfst	+	0.103	1.030	0.337
Winter	+	0.286	3.201	0.111



Figuur 7.3

Ntotaal- en Ptotaal belasting per jaar op de Oosterschelde van uit het Krammer-Volkerak, de omringende polders en het Veerse Meer.



Figuur 7.4

Ntotaal- en Ptotaal belasting per seizoen op de Oosterschelde van uit het Krammer-Volkerak, de omringende polders en het Veerse Meer. W = winter (december t/m februari), V = voorjaar (maart t/m mei), Z = zomer (juni t/m augustus) en H = herfst (september t/m november).

7.4 Referentie

VAN BERCHUM, A.M. & G. WATTEL, 1997. De Oosterschelde, van estuarium naar zeearm. Bekkenrapportage 1991-1996. Rapport RIKZ-97.034: 1-95.

8. Bijlage 3: Trends gemeten variabelen*

R.N.M. Duin

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Postbus 20907, 2500 EX Den Haag

Van een zestal locaties (Hammen Oost, Wissenkerke, Lodijsche Gat en Zijpe in de Oosterschelde, de zoute locatie Schouwen 10 en de zoete locatie Steenberg) is met een aantal modellen onderzoek gedaan naar aanwezige trends in diverse monitoring variabelen voor de periode 1990 t/m 2000. In eerste instantie werd een lineair regressiemodel gehanteerd. De belangrijkste resultaten voor de Oosterschelde locaties (tenzij anders vermeld) worden hierna samengevat.

Voor DIN wordt een toename in de trend van meer dan 20% gevonden, voor DIP een neergaande trend van meer dan 20% en voor Si een toename van meer dan 40%; op de locatie Steenberg wordt voor DIP een toename van meer dan 60% geconstateerd en voor Si een toename van meer dan 40%. TotaalN neemt toe met meer dan 20% en TotaalP neemt af met meer dan 20%; op de locatie Steenberg neemt TotaalP met meer dan 60% toe. Als gevolg van deze veranderingen werd een toename van meer dan 40% gevonden in de trend voor de nutriëntenratio's DIN/DIP en TotaalN/TotaalP; voor Steenberg afnames van 40 tot meer dan 60%.

Voor wat betreft de particuliere stoffen werd geen trend gevonden voor chlorofyl-a (met uitzondering van een toename van 60% voor Steenberg), nagenoeg geen trend voor POC en geen trend voor zwevend stof (met uitzondering van een negatieve trend van 20-40% voor de locatie Zijpe en een positieve trend van meer dan 60% voor Steenberg).

Voor DOC wordt alleen voor de locatie Zijpe een positieve trend van minder dan 20% gevonden en op de zoete locatie Steenberg zelfs een positieve trend van meer dan 60%.

Op alle Oosterschelde locaties en Steenberg wordt een afname in het doorzicht van 20-40% geconstateerd; voor de locaties Hammen Oost en Zijpe wordt voor de extinctie een toename van meer dan 40% gevonden.

Op alle locaties wordt een verzoeting van minder dan 20% geconstateerd; op de locatie Steenberg een verzoeting van 20-40%.

Voor een aantal variabelen zijn ook niet lineaire trends gevonden en daarbij behorende knikpunten van de tweede of derde graads polynoom; in met name 1994 en 1997 zijn er veranderingen in de richting van de trends. Voor het doorzicht werd gevonden dat de reeds genoemde afname sinds 1995 ingezet heeft.

8.1 Inleiding

Voor onderzoek naar trends in diverse monitoring parameters van de Oosterschelde zijn van een zestal locaties over de periode 1990 t/m 2000 gegevens verzameld. De locaties van de Oosterschelde waren: Hammen Oost, Wissenkerke, Lodijsche Gat en Zijpe. Tevens zijn de gegevens gebruikt van twee referentie locaties, te weten een zoute locatie: Schouwen 10 en een zoete: Steenberg.

*Van de trendberekeningen zijn niet voor elke variabele en locatie de figuren in dit hoofdstuk opgenomen; voor geïnteresseerden zijn ze opvraagbaar bij de auteur van dit hoofdstuk.

De volgende stoffen komen voor de analyse in aanmerking: CHL_{Fa} (µg/l), DIN (de som van NH₄, NO₃ en NO₂, µm), DIP (PO₄, µm), Si (SiO₂, µm), Particulair organisch koolstof (POC, mg/l), Zwevend stof (ZS, mg/l), Totaal P (TOTP, µm), Totaal N (TOTN, µm), Opgelost organisch koolstof (DOC, mg/l), Verhouding DIN en DIP (DIN/DIP, µm/µm), Verhouding Totaal N en Totaal P (N/P, µm/µm), Zichtdiepte (ZICHT, dm), Extinctie (EXT, 1/m), Zuurstof (O₂, mg/l), Temperatuur (T, °C) en Saliniteit (SALNTT, psu). Van extinctie zijn alleen de gegevens van de locaties Hammen Oost, Lodijsche Gat, Wissenkerke en Zijpe beschikbaar.

Voor het berekenen van een trend zijn verschillende modellen mogelijk, maar bij deze analyse wordt uitgegaan van een lineaire trend, wat voor een periode van 10 jaar een eerste goede aanname is. Er wordt wel gekeken naar mogelijke andere ontwikkelingen binnen deze periode door met behulp van zogenaamde gladde regressielijnen het verloop nader te bekijken.

8.2 Trendberekening, beschrijving van de gehanteerde regressiemodellen

Voor de berekening van de trends in de gegevens zijn de volgende modellen gehanteerd:

Alle gegevens

Bij gebruik van **alle gegevens** wordt het *lineaire regressiemodel met seizoen* gehanteerd, volgens:

$$y_{it} = \text{constante} + \beta(\text{jaar} - 1990) + \text{seizoen}_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$\text{seizoen} = \alpha_1 \sin\left(\frac{2\pi \text{maand}}{12}\right) + \alpha_2 \cos\left(\frac{2\pi \text{maand}}{12}\right) + \alpha_3 \sin\left(\frac{4\pi \text{maand}}{12}\right) + \alpha_4 \cos\left(\frac{4\pi \text{maand}}{12}\right)$$

waarin y_{it} de meetwaarde van een parameter op locatie i en datum t is, constante: het intercept is indien jaar 1990 (het beginjaar) en seizoen_i op lokatie i is, β de lineaire trendcoëfficiënt in concentratie/jaar en ε_{it} het residu is na correctie van de meetwaarde voor het seizoen en de lineaire trend. Het seizoen is gemodelleerd met vier harmonische componenten, waarvan de eerste een periode van 12 maanden en de tweede van een periode van 6 maanden heeft. Hiermee kunnen iets complexer seizoenspatronen worden beschreven. Het residu, ε_{it} , wordt geacht normaal verdeeld te zijn volgens $N(0, \sigma^2)$ en onafhankelijk in de tijd. Gegevens waarvan de meetwaarde beneden de detectiegrens ligt worden vervangen door de halve detectiewaarde.

Het probleem met bovengenoemd model kan zijn met de voorwaarde dat het residu niet onafhankelijk in de tijd is, maar een zogenaamde autocorrelatie vertoont. Een aanpassing van model (1) is om een zogenaamd *autoregressie model* te hanteren, waarbij het residu gemodelleerd wordt als een AR-proces volgens:

$$\varepsilon_{it} = \theta_1 \varepsilon_{i(t-1)} + \theta_2 \varepsilon_{i(t-2)} + \dots + \theta_p \varepsilon_{i(t-p)} + v_{it} \quad (2)$$

waarin θ_i de i -de autoregressieve coëfficiënt is bij lag i , $\varepsilon_{i(t-i)}$ het residu van lokatie i op tijdstip $t-i$ is, en v_{it} normaal verdeeld volgens $N(0, \sigma_v^2)$ en onafhankelijk verdeeld is. Dit model vereist wel dat de waarden equidistant in de tijd verzameld zijn. De frequentie van de meetreeks is hiervoor

omgezet naar één meting per maand door bij meerdere metingen per maand de mediane waarde te berekenen. Dit verhelpt meteen het verschil in aantal metingen per maand per jaar.

Als met model (1) een significante trend wordt geconstateerd die na berekening met model (2) niet meer significant is, wordt dit veroorzaakt door de autocorrelatie in de residuen. Dit kan o.a. worden veroorzaakt doordat een lineair model geen goed beschrijvend model is voor de gegevens. Het kan zo zijn dat een sterk kwadratisch verband aanwezig is. Het niet goed fitten van het lineair model op een onderliggend kwadratisch verband leidt tot introductie van in de tijd afhankelijke residuen. Bij de beoordeling van een significante trend wordt dan ook de nadruk gelegd op de resultaten van het autoregressieve model.

Periode gegevens

Voor parameters met een duidelijk seizoensverloop is het gebruikelijk om een bepaalde periode in het jaar te kiezen die interessant is. Zo is bijvoorbeeld voor nutriënten als DIN gebruikelijk om de wintermaanden december, januari en februari te kiezen. Deze periode wordt gekenmerkt door hoge concentraties en de concentraties worden nagenoeg niet beïnvloed door biologische processen. Naast de winter zijn nog andere perioden binnen gedefinieerd, waarbij als overweging een bepaald nutriënt is die in die periode in de Oosterschelde het laagst is. Dit is terug te vinden in de naamgeving van de periode. Zie hiervoor Tabel 8.1. Indien een dergelijke periode is gebruikt, dan wordt model (1) gehanteerd en het seizoen is dan gemodelleerd met voor iedere maand een dummy-variabele (dec is 1 voor december en 0 voor de andere maanden, etc.). In dit geval zal de maandwaarde een langjarig gemiddelde voor die maand zijn. Door toepassing van een dummy-variabele zal de constante of het intercept in model (1) afhankelijk van de gekozen periode refereren naar de eerste maand van deze periode. Dus als de periode winter is, zal het intercept de gemiddelde decemberwaarde voor 1990 voorstellen. In het regressiemodel staan dan dummy-variabelen voor januari februari. Voor de periode regressie worden alle gegevens binnen die periode gebruikt.

Tabel 8.1

De gebruikte periode waarop de trendanalyse is uitgevoerd. De zomer perioden zijn de perioden waarin de genoemde parameters de laagste concentratie hebben in de Oosterschelde.

Naam periode	Maanden	Opmerking
Alles	Alle	
Winter	December, Januari, Februari	Gedefinieerd in Jaarboek
Zomer	April t/m September	Gedefinieerd in Jaarboek
Zomer Si	Juni t/m Augustus	Geldt ook voor NO ₃ , NO ₂ en NH ₄
Voorjaars DIP	April t/m Mei	Gebaseerd op laagste concentratie PO ₄

Saliniteit

Model (1) is nog verder te verfijnen door nog een co-variabele als saliniteit toe te voegen. De achterliggende gedachte is dat mogelijke veranderingen in concentraties te maken hebben met de zoet- of zoutwaterbelasting. Hiervoor luidt het aangepaste model (1):

$$y_{it} = \text{constante} + \beta(\text{jaar} - 1990) + \text{seizoen}_i + \gamma(\text{saliniteit}_{it} - \text{sal}_{1990-2000}) + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

waarin γ de afhankelijkheid met de saliniteit voorstelt, $sal_{i,t}$ de gemeten saliniteit in psu is en $sal_{1990\ t/m\ 2000}$ het langjarig saliniteitsgemiddelde voor de jaren 1990 t/m 2000. Mogelijke lineaire veranderingen in de concentratie ten gevolge van de zoet- en zoutwaterbelasting kunnen hiermee worden gecorrigeerd.

Relatieve trend

Van alle parameters worden de relatieve veranderingen ten opzichte van het beginjaar 1990 gepresenteerd. De 'particulare' stoffen als POC, CHLFA, Zwevende stof (ZS), Totaal N (TOTN) en totaal P (TOTP) en de verhouding DIN/DIP en N/P zijn na logaritmische transformatie met basis 10 (namen krijgen als uitgang _log) geanalyseerd met de hiervoor genoemde modellen. De reden van deze transformatie is dat particulare stoffen en de verhouding zeer uiteenlopende waarden kunnen hebben. Om de invloed van zeer grote en zeer kleine waarden te verminderen en om aan de voorwaarden van de residu-component van de lineaire regressie (normaal verdeeld, gelijke variantie over de gehele periode) te voldoen is de log-transformatie een goede transformatie.

Voor de berekening van de procentuele af- of toename worden de volgende formules gehanteerd:

- de basisformule is: $r = 100 * \frac{y_t - y_1}{y_1} = 100 * (\frac{y_t}{y_1} - 1)$
- geen logtransformatie: $100 * \frac{\hat{y}_t - \hat{y}_1}{\hat{y}_1} = 100 * \frac{\beta * (\Delta t)}{cons \tan te}$
- log₁₀-transformatie: $100 * \frac{\log y_t - \log y_1}{\log y_1} = 100 * (10^{(\beta * \Delta t)} - 1)$

In deze formules staan $\hat{y}_t$ en $\hat{y}_1$ voor de met behulp van de regressielijn berekende waarde voor het begin respectievelijk het einde van de periode.

De significante trends voor de gebruikte parameters staan vermeld in Tabel 8.2 en 8.3. De significantie heeft een drietal gradaties: zeer sterk significant: P (overschrijdingskans) < 0.001 , sterk significant $0.001 < P < 0.01$, significant : $0.01 < P < 0.05$.

8.3 Resultaten trendanalyse

De resultaten van de trendanalyse staan vermeld in Tabel 8.2. De tabellen met de berekende procentuele trends van alle modellen worden in Tabel 8.3 (zonder correctie voor saliniteit) en Tabel 8.4 (met correctie voor saliniteit) getoond. De correctie voor saliniteit blijkt een minder groot effect te hebben als werd verwacht. Uit de tabellen blijkt dat in het algemeen een trend van 20% of meer over de 10 jarige periode voor alle parameters goed kan worden aangetoond. Hieronder wordt een korte beschrijving per parametergroep gegeven.

DIN, DIP en Si

DIN: Slechts op drie plaatsen (Hammen Oost, Lodijsche Gat en Zijpe) wordt een toename van meer dan 20% gesignaleerd als alle gegevens worden gebruikt. Lodijsche Gat heeft de hoogste trend als alle gegevens van het jaar worden gebruikt en een lagere voor de winter en de zomer. Correctie voor saliniteit heeft geen effect.

DIP: Op alle locaties, behalve Steenberg, is een neergaande trend van meer dan 20% geconstateerd, met de hoogste trend in de zomer. Op Steenberg is een toename van meer dan 60% geconstateerd. Opvallend is dat zowel voor Schouwen 10 als voor Steenberg geen trend kon worden aangetoond in de winter. Correctie voor saliniteit heeft geen effect.

Si: Indien alle gegevens worden gebruikt is er behalve op Schouwen 10 een toename van meer dan 40% aangetoond. Deze toename is voor Steenberg in alle seizoenen. Voor Wissenkerke en Zijpe ook in de winter; Hammen Oost in de winter als er niet gecorrigeerd wordt voor saliniteit en voor Lodijsche Gat in de zomer. Op Schouwen is een afname in de Zomer Si periode (Juni tot en met Augustus). Opvallend is dat correctie voor saliniteitwisselingen nagenoeg geen effect heeft. Vooral voor silicaat was dit wel de verwachting.

Totaal N en P

Totaal N: Totaal N neemt op een drietal locaties (Hammen Oost, Lodijsche Gat en Zijpe) in de Oosterschelde toe met meer dan 20%. Dit geldt voor het gehele jaar als voor de winter. Op Wissenkerke zien we ook een toename in de winter en een afname in de zomer Si periode. Op Hammen Oost, Wissenkerke en Lodijsche Gat wordt ook in het voorjaar een toename vastgesteld die met meer dan 60% op de Lodijsche Gat het hoogst is. Geen invloed van de zoutcorrectie.

Totaal P: Op alle locaties, behalve Steenberg, wordt een afname van meer dan 20% en minder dan 40% geconstateerd. Dit geldt nagenoeg voor alle periode in het jaar. Op Schouwen 10 kan geen trend worden aangetoond in de winter en in het voorjaar. Dit laatste geldt ook voor Steenberg. Op deze locatie wordt een toename van meer dan 60% waargenomen.

Nutriëntenratio's DIN/DIP en N/P

DIN/DIP: Doordat DIN toeneemt en DIP afneemt op alle locaties, behalve Steenberg, wordt een toename geconstateerd voor het hele jaar als de winterperiode. Deze toename is meer dan 40%. Op Lodijsche Gat en Zijpe is deze toename ook te zien in de zomer perioden. Op Steenberg wordt een afname gesignaleerd die niet meer kan worden aangetoond met het autoregressieve model. In dit geval is de trend complexer dan een lineaire trend (zie 8.4). De autocorrelatie gooit roet in het eten en trends van meer dan 60% worden niet significant aangetoond. Voor de zomer valt op deze locatie wel een duidelijke afname van meer dan 60% aan te tonen.

N/P: Hetzelfde verhaal als bij DIN/DIP alleen nu is ook een toename van meer dan 60% aan te tonen in de zomer, zomer Si en de voorjaars perioden. Blijkbaar is de NP ratio onderscheidender in de verschillende perioden dan de opgeloste stoffen.

CHLfa, POC, ZS en DOC

Chlorofyl a (CHLfa): Behalve op Steenberg is er geen trend aangetoond. De trend voor Steenberg is met name in de zomermaanden. Als alle gegevens van het jaar worden gebruikt is het lineaire model te simpel (significantie verdwijnt bij het autoregressieve model).

Particulair Organisch Koolstof (POC): Nagenoeg geen trend aanwezig. Alleen voor de locatie Hammen Oost is voor de zomer Si periode een daling van meer dan 20-40% aangetoond.

Opgelost organisch koolstof (DOC): Vooral op Steenberg en wordt een positieve trend van meer dan 60% voor alle perioden van het jaar aangetoond. Zijpe heeft een positieve trend van minder dan 20%.

Zwevende stof (ZS): Op Zijpe is, als alle gegevens worden gebruikt, een negatieve trend van 20-40% aangetoond. Een bepaalde periode valt niet aan te wijzen. Blijkbaar zijn er veel gegevens nodig om een trend aan te tonen. Op Steenberg en wordt een positieve trend van meer dan 60% gezien. Deze trend valt overigens niet in de winter en in het voorjaar te bespeuren.

Extinctie, Zicht, Saliniteit, Temperatuur en Zuurstof

Extinctie: Op Hammen Oost en Zijpe wordt een toename in de extinctie aangetoond van meer dan 40%. Op Hammen Oost, Wissenkerke en Zijpe is deze toename ook in de zomermaanden aan te tonen. Het betekent dus dat deze locaties troebeler worden.

Zicht: Het troebeler worden van het water is duidelijker met deze parameter aan te tonen. Op alle Oosterschelde locaties en Steenberg en is voor nagenoeg alle perioden, behalve de winter, een afname in de zichtdiepte te constateren van meer dan 20% en minder dan 40%.

Saliniteit: Op alle locaties valt er een verzoeting te constateren, waarbij op Wissenkerke en Steenberg en een iets complexere trend aanwezig is dan op de andere locaties (zie ook 8.4).

Temperatuur: Behalve op Schouwen 10 voor de zomer is er op de andere locaties en perioden geen trend aanwezig.

Zuurstof (O₂): Op Steenberg en is sprake van een lichte daling. Op nagenoeg alle locaties is sprake van een lichte stijging in één van de perioden.

Tabel 8.2

Overzicht van de significante trends in de parameters op de verschillende locaties. De percentage stijgende trend is weergegeven in +, 0-20=+; 20-40=++; 40-60=+++; >60=++++. Voor een dalende trend is dezelfde indeling maar dan met – aangehouden. Tevens is die geaccentueerd met een gele kleur. N.a. betekent niet aanwezig. De kolom methode staat voor de diverse regressiemethoden waarbij het achtervoegsel s aangeeft of er sprake is van een zoutcorrectie (zie paragraaf 8.1-8.3). Tevens staat in deze kolom de mediane waarde van het beginjaar 1990 (Med1990) en het eindjaar 2000 (Med2000) vermeld.

Variabele	Methode	Schouwen10	Hammen Oost	Wissenkerke	Lodijksche Gat	Zijpe	Steenbergen
CHLfa_log	all						++++
CHLfa_log	alls						++++
CHLfa_log	autor						
CHLfa_log	autors						
CHLfa_log	med						++++
CHLfa_log	meds						++++
CHLfa_log	winter						
CHLfa_log	winters						
CHLfa_log	zomer						++++
CHLfa_log	zomers						++++
CHLfa_log	zomersi						++++
CHLfa_log	zomersis						++++
CHLfa_log	voorjr						
CHLfa_log	voorjrs						
CHLfa_log	Med1990	1.80	2.15	2.22	2.75	2.65	3.00
CHLfa_log	Med2000	Tot 1995	1.77	2.70	1.68	2.20	9.38
DIN	all		+		+++	++	
DIN	alls				+++	++	
DIN	autor		++		+++	++	
DIN	autors		++		+++		
DIN	med		++	++	+++	++	
DIN	meds		++	+	+++	+++	
DIN	winter		++		++		
DIN	winters				++		
DIN	zomer				+		
DIN	zomers				++		
DIN	zomersi						
DIN	zomersis						
DIN	voorjr						
DIN	voorjrs						

Variabele	Methode	Schouwen10	Hammen Oost	Wissenkerke	Lodijksche Gat	Zijpe	Steenbergen
DIN	Med1990	16.21	20.28	17.60	24.81	28.06	257.0
DIN	Med2000	20.53	30.06	28.77	33.41	42.84	325.0
DIN/DIP_log	all	++++	+++	+++	++++	++++	----
DIN/DIP_log	alls	++++	+++	+++	++++	++++	---
DIN/DIP_log	autor	++++	++++	++++	++++	++++	
DIN/DIP_log	autors	++++	++++	++++	++++	++++	
DIN/DIP_log	med	++++	++++	++++	++++	++++	----
DIN/DIP_log	meds	++++	++++	+++	++++	++++	---
DIN/DIP_log	winter	+++	++++	++++	++++	+++	
DIN/DIP_log	winters	+++	+++	++++	++++	++++	
DIN/DIP_log	zomer				++++	++++	----
DIN/DIP_log	zomers			+++	++++	++++	----
DIN/DIP_log	zomersi				++++	++++	----
DIN/DIP_log	zomersis				++++	++++	----
DIN/DIP_log	voorjr						
DIN/DIP_log	voorjrs						
DIN/DIP_log	Med1990	18.65	12.44	14.25	9.76	13.32	102.4
DIN/DIP_log	Med2000	29.10	28.39	27.37	27.43	28.32	128.5
DIP	all	--	--	--	--	--	++++
DIP	alls	--	--	--	--	--	++++
DIP	autor	--	--	--	--	--	++++
DIP	autors	--	--	--	--	--	++++
DIP	med	--	--	--	--	--	++++
DIP	meds	--	--	--	--	--	++++
DIP	winter		--	--	--	--	
DIP	winters		--	--	--	--	
DIP	zomer	---	----	----	----	----	++++
DIP	zomers	---	----	----	----	----	++++
DIP	zomersi	----	---	---	---	----	++++
DIP	zomersis	----	---	---	---	----	++++
DIP	voorjr						
DIP	voorjrs						
DIP	Med1990	1.23	1.61	1.32	1.80	1.91	1.52
DIP	Med2000	0.69	1.11	1.15	1.39	1.51	2.20
DOC	all					+	++++
DOC	alls					+	++++

Variabele	Methode	Schouwen10	Hammen Oost	Wissenkerke	Lodijksche Gat	Zijpe	Steenbergen
DOC	autor					+	++++
DOC	autors					+	++++
DOC	med					+	++++
DOC	meds					+	++++
DOC	winter					++	++++
DOC	winters					++	++++
DOC	zomer					+	++++
DOC	zomers					++	++++
DOC	zomersi					+	++++
DOC	zomersis		+			+	++++
DOC	voorjr						++++
DOC	voorjrs						++++
DOC	Med1990	1.40	1.78	1.60	2.18	2.33	5.30
DOC	Med2000	1.15	1.72	1.53	2.14	2.21	9.00
Extinctie	all	n.a	+++			+	n.a
Extinctie	alls	n.a	++++			+++	n.a
Extinctie	autor	n.a	++++			++	n.a
Extinctie	autors	n.a	++++			++	n.a
Extinctie	med	n.a	++++			++	n.a
Extinctie	meds	n.a	++++			++	n.a
Extinctie	winter	n.a					n.a
Extinctie	winters	n.a					n.a
Extinctie	zomer	n.a	+++	++		++	n.a
Extinctie	zomers	n.a	+++			++++	n.a
Extinctie	zomersi	n.a					n.a
Extinctie	zomersis	n.a					n.a
Extinctie	voorjr	n.a					n.a
Extinctie	voorjrs	n.a					n.a
Extinctie	Med1990	n.a	Sinds 1992	0.88	0.62	0.55	.
Extinctie	Med2000	n.a	0.85	0.98	0.70	0.74	.
N/P_log	all	++++	++++	++++	++++	++++	---
N/P_log	alls	++++	++++	++++	++++	++++	---
N/P_log	autor	++++	++++	++++	++++	++++	
N/P_log	autors	++++	++++	++++	++++	++++	
N/P_log	med	++++	++++	++++	++++	++++	---
N/P_log	meds	++++	++++	++++	++++	++++	---

Variabele	Methode	Schouwen10	Hammen Oost	Wissenkerke	Lodijksche Gat	Zijpe	Steenbergen
N/P_log	winter	+++	++++	++++	++++	++++	
N/P_log	winters	+++	++++	++++	++++	++++	
N/P_log	zomer	++++	++++	++++	++++	++++	---
N/P_log	zomers	++++	++++	++++	++++	++++	---
N/P_log	zomersi	++++	+++	+++	+++	++++	----
N/P_log	zomersis		+++	+++	++++	++++	---
N/P_log	voorjr		++++	++++	++++	++++	
N/P_log	voorjrs		++++	++++	++++	++++	
N/P_log	Med1990	16.94	13.92	14.29	13.00	15.42	85.13
N/P_log	Med2000	21.60	27.49	25.03	28.52	28.82	82.18
POC_log	all						
POC_log	alls						
POC_log	autor						
POC_log	autors						
POC_log	med						
POC_log	meds						
POC_log	winter						
POC_log	winters						
POC_log	zomer						
POC_log	zomers						
POC_log	zomersi		--				
POC_log	zomersis		--				
POC_log	voorjr						
POC_log	voorjrs						
POC_log	Med1990	0.77	0.47	0.52	0.44	0.38	.
POC_log	Med2000	0.61	0.35	0.53	0.40	0.32	.
SALNTT	all	-	-	-	-	-	--
SALNTT	alls	-	-	-	-	-	--
SALNTT	autor	-	-		-	-	
SALNTT	autors	-	-	-	-	-	--
SALNTT	med	-	-	-	-	-	
SALNTT	meds	-	-	-	-	-	--
SALNTT	winter		-	-	-	-	--
SALNTT	winters	-	-	-	-	-	--
SALNTT	zomer	-	-		-	-	
SALNTT	zomers	-	-	-	-	-	--

Variabele	Method	Schouwen10	Hammen Oost	Wissenkerke	Lodijksche Gat	Zijpe	Steenbergen
SALNTT	zomersi				-	-	-
SALNTT	zomersis	-	-	-	-	-	--
SALNTT	voorjr	-		-	-	-	--
SALNTT	voorjrs	-		-	-	-	--
SALNTT	Med1990	33.60	32.54	32.83	32.42	30.78	0.59
SALNTT	Med2000	32.51	30.96	31.36	29.53	28.28	0.48
Si	all		+++	++	++++	++++	++++
Si	alls		++	++	++++	++++	++++
Si	autor	++	++++	+++	++++	++++	++++
Si	autors	++	++++	+++	++++	++++	++++
Si	med		++++	+++	++++	++++	++++
Si	meds		++++	+++	++++	++++	++++
Si	winter		++++	+++		+++	++++
Si	winters			++		+++	++++
Si	zomer				+++	++	++++
Si	zomers				+++	++	++++
Si	zomersi	---					++++
Si	zomersis	---			++++		++++
Si	voorjr						++++
Si	voorjrs						++++
Si	Med1990	7.01	7.03	6.91	7.17	6.60	35.60
Si	Med2000	6.59	13.20	11.87	10.56	17.35	111.0
T	all						
T	alls						
T	autor						
T	autors						
T	med						
T	meds						
T	winter						
T	winters						
T	zomer	+					
T	zomers	+					
T	zomersi						
T	zomersis						
T	voorjr						
T	voorjrs						

Variabele	Methode	Schouwen10	Hammen Oost	Wissenkerke	Lodijksche Gat	Zijpe	Steenbergen
T	Med1990	10.30	12.75	12.60	11.90	12.25	10.75
T	Med2000	10.99	11.40	11.35	11.29	11.47	10.63
TOTN_log	all		+		++	+	
TOTN_log	alls		+		++	++	
TOTN_log	autor		++		++	++	
TOTN_log	autors		+	+	++	++	
TOTN_log	med		++	+	++	++	
TOTN_log	meds		+	+	++	++	
TOTN_log	winter		++	++	++		
TOTN_log	winters		++	++	++		
TOTN_log	zomer				++		
TOTN_log	zomers				++	+	
TOTN_log	zomersi			-			
TOTN_log	zomersis			-			
TOTN_log	voorjr		++	++	++++		
TOTN_log	voorjrs		++	++	++++		
TOTN_log	Med1990	32.13	37.28	35.97	41.25	48.55	310.9
TOTN_log	Med2000	34.52	47.01	49.13	52.41	64.97	388.1
TOTP_log	all	--	--	--	--	--	++++
TOTP_log	alls	--	--	--	--	--	++++
TOTP_log	autor	--	--	---	--	--	++++
TOTP_log	autors	--	--	---	--	--	++++
TOTP_log	med	--	--	---	--	--	++++
TOTP_log	meds	--	--	---	--	--	++++
TOTP_log	winter		--	--	--	--	
TOTP_log	winters		--	--	--	--	
TOTP_log	zomer	---	--	--	--	--	++++
TOTP_log	zomers	---	--	--	--	--	++++
TOTP_log	zomersi	---	---	---	--	---	++++
TOTP_log	zomersis	---	---	---	--	---	++++
TOTP_log	voorjr		--	--	--		
TOTP_log	voorjrs		--	--	--		
TOTP_log	Med1990	2.07	2.58	2.56	3.17	3.01	3.87
TOTP_log	Med2000	1.39	1.82	1.88	2.13	2.07	4.20
ZICHT	all	n.a	--	--	--	--	---
ZICHT	alls	n.a	--	--	--	--	----

Variabele	Methode	Schouwen10	Hammen Oost	Wissenkerke	Lodijksche Gat	Zijpe	Steenbergen
ZICHT	autor	n.a	--	--	--	--	---
ZICHT	autors	n.a	--	--	--	--	---
ZICHT	med	n.a	--	--	--	--	---
ZICHT	meds	n.a	--	--	--	--	---
ZICHT	winter	n.a					---
ZICHT	winters	n.a					--
ZICHT	zomer	n.a	---	---	--	--	----
ZICHT	zomers	n.a	---	---	---	--	----
ZICHT	zomersi	n.a	--	--	--	--	----
ZICHT	zomersis	n.a	--	--	--	--	----
ZICHT	voorjr	n.a	---	---	---	--	---
ZICHT	voorjrs	n.a	---	---	---	--	---
ZICHT	Med1990	n.a.	21.50	19.00	28.50	26.00	21.00
ZICHT	Med2000	n.a.	15.25	9.75	18.50	18.50	9.00
ZS_log	all					--	++++
ZS_log	alls					--	++++
ZS_log	autor					--	++++
ZS_log	autors					--	++++
ZS_log	med					--	++++
ZS_log	meds					--	++++
ZS_log	winter						
ZS_log	winters						
ZS_log	zomer						++++
ZS_log	zomers						++++
ZS_log	zomersi						++++
ZS_log	zomersis						++++
ZS_log	voorjr						
ZS_log	voorjrs						
ZS_log	Med1990	15.00	8.00	7.94	4.90	4.00	2.45
ZS_log	Med2000	11.96	6.71	11.83	4.23	3.46	8.49
O2	all						-
O2	alls						-
O2	autor		+	+			-
O2	autors		+	+			-
O2	med		+	+			-
O2	meds		+	+			-

Variabele	Methode	Schouwen10	Hammen Oost	Wissenkerke	Lodijksche Gat	Zijpe	Steenbergen
O2	winter		+	+	+	+	
O2	winters	+	+	+	+	+	
O2	zomer						-
O2	zomers						
O2	zomersi	+					
O2	zomersis	+					
O2	voorjr						
O2	voorjrs						
O2	Med1990	8.48	8.29	8.08	8.94	9.18	11.25
O2	Med2000	8.98	9.38	9.42	9.48	9.78	10.65

Tabel 8.3

De significante relatieve trends over de periode 1990 t/m 2000 zonder correctie voor saliniteit. Wit is zeer sterk significant, geel is sterk significant en oranje is significant. In geval van lege cellen is er geen significantie. Zie paragraaf 2.4 voor meer informatie. Trend%AR staat voor autoregressie op mediane waarden, Trend%MA voor regressie op mediane waarden, Trend%AL voor regressie met alle gegevens, Trend%WR voor regressie op de winterwaarden (dec-feb), Trend%Zr voor regressie op de zomer maanden (april-sept), Trend%Vj voor regressie op de voorjaarsmaanden (april-mei) en Trend%ZSi voor regressie op maanden juni-aug. Bij de variabelen met de naam _log is de regressie uitgevoerd op de logaritmisch getransformeerde waarden.

Variable	Locatie	Trend%AR	Trend%MA	Trend%Al	Trend%Wr	Trend%Zr	Trend%Vj	Trend%ZSi
CHLfa_log	Steenbergen		88	71		137		206
DIN	Hammen Oost	29	28	19	31			
DIN	Wissenkerke		21					
DIN	Lodijksche Gat	55	56	45	30	19		
DIN	Zijpe	34	34	28				
DINDIP_log	Schouwen 10	61	61	61	46			
DINDIP_log	Hammen Oost	75	75	55	63			
DINDIP_log	Wissenkerke	63	61	45	65			
DINDIP_log	Lodijksche Gat	191	191	143	77	224		168
DINDIP_log	Zijpe	100	98	79	57	113		177
DINDIP_log	Steenbergen		-60	-60		-65		-72
DIP	Schouwen 10	-37	-37	-37		-48		-105
DIP	Hammen Oost	-28	-28	-29	-23	-62		-50
DIP	Wissenkerke	-31	-32	-32	-27	-64		-58
DIP	Lodijksche Gat	-25	-25	-24	-25	-61		-50
DIP	Zijpe	-26	-29	-29	-22	-60		-69
DIP	Steenbergen	84	87	87		89		205
DOC	Zijpe	12	12	13	25	15		12
DOC	Steenbergen	82	82	80	124	68	63	80
Extinctie	Hammen Oost	64	66	56		45		
Extinctie	Wissenkerke					22		
Extinctie	Zijpe	34	28	18		22		
NP_log	Schouwen 10	66	64	64	43	80		65
NP_log	Hammen Oost	82	85	72	73	71	96	54
NP_log	Wissenkerke	91	101	82	92	62	97	43
NP_log	Lodijksche Gat	91	99	83	93	82	130	58
NP_log	Zijpe	86	89	80	65	85	92	83
NP_log	Steenbergen		-50	-48		-49		-62
POC_log	Hammen Oost							-31

Variable	Locatie	Trend%AR	Trend%MA	Trend%AI	Trend%Wr	Trend%Zr	Trend%Vj	Trend%ZSi
SALNTT	Schouwen 10	-3	-3	-3		-3	-3	
SALNTT	Hammen Oost	-5	-4	-3	-5	-2		
SALNTT	Wissenkerke		-4	-3	-5		-3	
SALNTT	Lodijksche Gat	-6	-6	-5	-6	-5	-4	-4
SALNTT	Zijpe	-5	-5	-4	-5	-3	-5	-3
SALNTT	Steenbergen			-25	-29		-27	-19
SiO2Si	Schouwen 10	24						-56
SiO2Si	Hammen Oost	121	76	60	91			
SiO2Si	Wissenkerke	60	50	39	55			
SiO2Si	Lodijksche Gat	89	80	68		52		
SiO2Si	Zijpe	74	72	60	44	35		
SiO2Si	Steenbergen	149	150	141	133	76	90	175
T	Schouwen 10					13		
TOTN_log	Hammen Oost	21	21	13	24		38	
TOTN_log	Wissenkerke		19		30		30	-19
TOTN_log	Lodijksche Gat	31	34	26	22	27	75	
TOTN_log	Zijpe	24	24	18				
TOTP_log	Schouwen 10	-34	-34	-34		-41		-43
TOTP_log	Hammen Oost	-34	-34	-33	-28	-37	-29	-43
TOTP_log	Wissenkerke	-40	-41	-39	-32	-39	-34	-42
TOTP_log	Lodijksche Gat	-32	-33	-32	-38	-31	-24	-35
TOTP_log	Zijpe	-35	-35	-35	-30	-38		-46
TOTP_log	Steenbergen	91	88	83		94		151
ZICHT	Hammen Oost	-35	-35	-38		-42	-55	-34
ZICHT	Wissenkerke	-36	-36	-39		-46	-45	-40
ZICHT	Lodijksche Gat	-38	-38	-39		-40	-46	-34
ZICHT	Zijpe	-35	-35	-35		-31	-34	-34
ZICHT	Steenbergen	-57	-58	-60	-41	-68	-52	-67
ZS_log	Zijpe	-29	-29	-30				
ZS_log	Steenbergen	157	157	152		193		211
O2	Schouwen 10							14
O2	Hammen Oost	5	5		8			
O2	Wissenkerke	6	6		9			
O2	Lodijksche Gat				9			
O2	Zijpe				10			
O2	Steenbergen	-8	-8	-8		-8		

Tabel 8.4

De significante relatieve trends over de periode 1990 t/m 2000 met correctie voor saliniteit. Wit is zeer sterk significant, geel is sterk significant en oranje is significant. In geval van lege cellen is er geen significantie. Zie paragraaf 2.4 voor meer informatie. Trend%AR staat voor autoregressie op mediane waarden, Trend%MA voor regressie op mediane waarden, Trend%AL voor regressie met alle gegevens, Trend%WR voor regressie op de winterwaarden (dec-feb), Trend%Zr voor regressie op de zomer maanden (april-sept), Trend%Vj voor regressie op de voorjaarsmaanden (april-mei) en Trend%ZSi voor regressie op maanden juni-aug. Bij de variabelen met de naam _log is de regressie uitgevoerd op de logaritmisches getransformeerde waarden.

Variable	Locatie	Trend%AR	Trend%MA	Trend%AL	Trend%Wr	Trend%Zr	Trend%Vj	Trend%ZSi
CHLfa_log	Steenbergen		88	70		141		189
DIN	Hammen Oost	24	22					
DIN	Wissenkerke		19					
DIN	Lodijksche Gat	54	54	43	31	20		
DIN	Zijpe		40	33				
DINDIP_log	Schouwen 10	62	62	62	50			
DINDIP_log	Hammen Oost	69	72	53	58			
DINDIP_log	Wissenkerke	60	59	49	63	44		
DINDIP_log	Lodijksche Gat	188	188	144	78	232		211
DINDIP_log	Zijpe	114	113	93	63	134		265
DINDIP_log	Steenbergen		-60	-60		-65		-72
DIP	Schouwen 10	-37	-37	-37		-48		-105
DIP	Hammen Oost	-29	-29	-29	-23	-67		-45
DIP	Wissenkerke	-31	-32	-33	-30	-68		-59
DIP	Lodijksche Gat	-25	-25	-24	-25	-63		-50
DIP	Zijpe	-28	-29	-30	-23	-63		-72
DIP	Steenbergen	84	87	88		88		198
DOC	Hammen Oost							12
DOC	Zijpe	13	13	16	26	21		19
DOC	Steenbergen	85	82	80	98	69	63	82
Extinctie	Hammen Oost	66	67	65		48		
Extinctie	Zijpe	32	27	52		65		
NP_log	Schouwen 10	69	67	66	42	82		
NP_log	Hammen Oost	81	83	68	69	71	96	56
NP_log	Wissenkerke	89	99	81	89	65	97	46
NP_log	Lodijksche Gat	93	98	82	93	81	130	66
NP_log	Zijpe	93	98	86	70	92	92	97
NP_log	Steenbergen		-49	-47		-49		-59
POC_log	Hammen Oost							-33

Variable	Locatie	Trend%AR	Trend%MA	Trend%AL	Trend%Wr	Trend%Zr	Trend%Vj	Trend%ZSi
SiO2Si	Schouwen 10	25						-57
SiO2Si	Hammen Oost	118	72	35				
SiO2Si	Wissenkerke	56	48	40	40			
SiO2Si	Lodijksche Gat	91	78	68		56		80
SiO2Si	Zijpe	78	77	64	44	35		
SiO2Si	Steenbergen	149	150	140	109	78	90	182
T	Schouwen 10					13		
TOTN_log	Hammen Oost	19	19	12	22		38	
TOTN_log	Wissenkerke	18	18		24		30	-19
TOTN_log	Lodijksche Gat	32	34	26	23	27	75	
TOTN_log	Zijpe	25	29	22		17		
TOTP_log	Schouwen 10	-33	-33	-34		-41		-40
TOTP_log	Hammen Oost	-34	-35	-33	-28	-36	-29	-42
TOTP_log	Wissenkerke	-40	-41	-39	-34	-40	-34	-44
TOTP_log	Lodijksche Gat	-32	-33	-32	-37	-31	-24	-36
TOTP_log	Zijpe	-35	-35	-35	-30	-39		-46
TOTP_log	Steenbergen	90	88	83		95		133
ZICHT	Hammen Oost	-35	-36	-38		-43	-55	-35
ZICHT	Wissenkerke	-36	-36	-39		-47	-45	-38
ZICHT	Lodijksche Gat	-38	-38	-39		-40	-46	-35
ZICHT	Zijpe	-36	-35	-36		-32	-34	-37
ZICHT	Steenbergen	-56	-59	-60	-40	-69	-52	-67
ZS_log	Zijpe	-30	-30	-30				
ZS_log	Steenbergen	158	158	148		187		177
O2	Schouwen 10				5			15
O2	Hammen Oost	5	5		8			
O2	Wissenkerke	5	5		8			
O2	Lodijksche Gat				9			
O2	Zijpe				10			
O2	Steenbergen	-8	-8	-8				

8.4 Niet lineaire trends

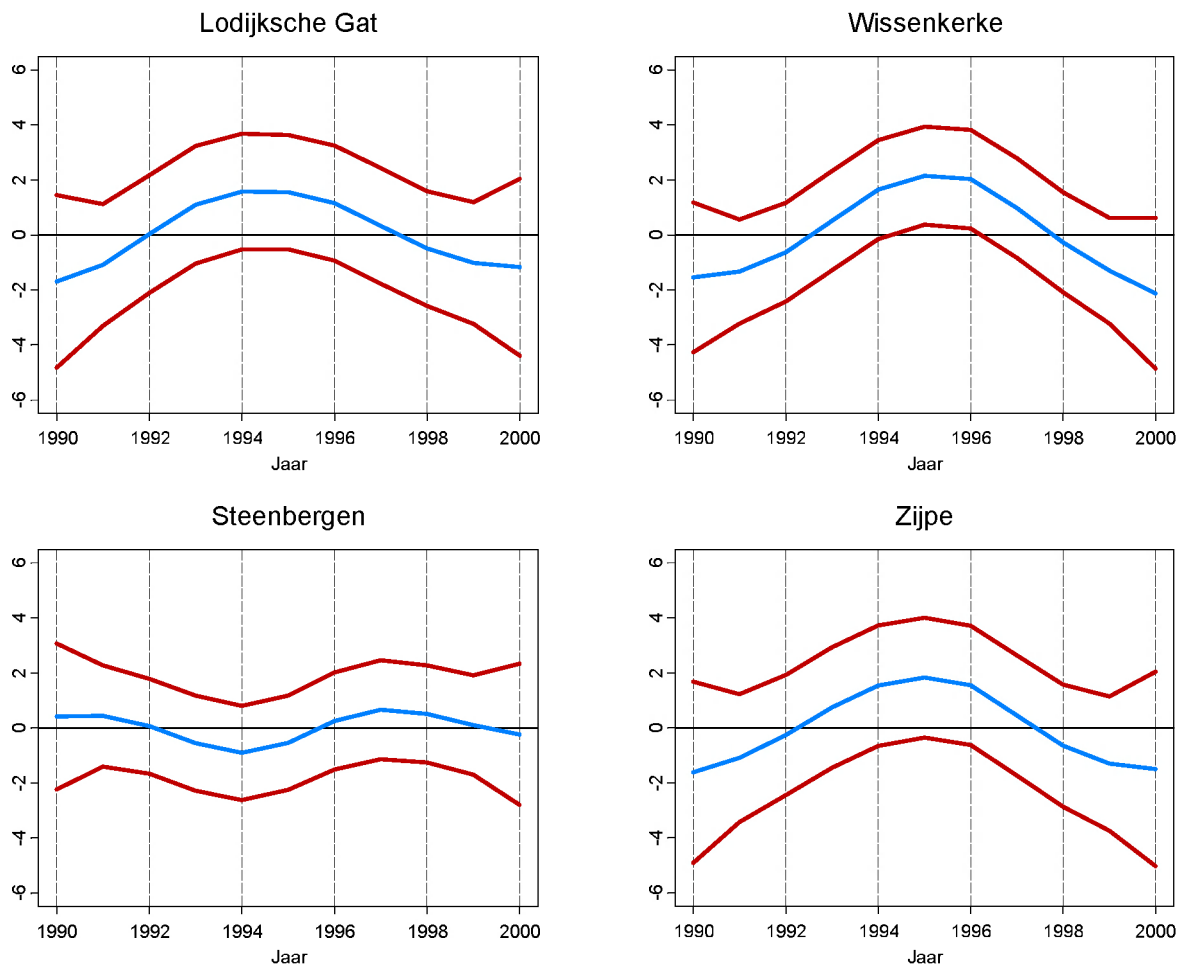
Zoals gesteld in inleiding wordt voor een trendmatige ontwikkeling over de 10-jarige periode een lineaire trend verondersteld. Voor een aantal parameters op verschillende locaties zijn toch duidelijke niet lineaire patronen aanwezig die voor een goede beschrijving van de ontwikkelingen vermeldenswaard zijn.

Het onderzoek van de niet-lineaire trends is gedaan met zogenaamde gladde regressielijnen met de mediane maandwaarden:

$$y_{it} = \text{constante} + s(\text{jaar} - 1990) + \text{seizoen}_i + \gamma(\text{saliniteit}_{it} - \text{sal}_{1990-2000}) + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

waarin s staat voor een gladde (of smooth) functie. Voor de analyse is uitgegaan van een spline functie met 3 vrijheidsgraden. Het aantal vrijheidsgraden bepaalt de mate van gladheid en door de korte periode van 10 jaar wordt nu verondersteld dat de hoogste orde van de polynoom 3 is (SAS, 2001; Hastie & Tibshirani, 1996).

Vervolgens is getest of het niet-lineaire deel significant (overschrijdskans kleiner dan 0.05) is t.o.v. het lineaire deel (dus model 3). Indien sprake is van een significantie, is gekeken of de niet lineaire trend te beschrijven is met een kwadratische (polynoom van orde 2, één top of dal) of een kubische relatie (polynoom van orde 3, één top en één dal). De gladde functie geeft hier al een bepaalde aanwijzing voor. Als voorbeeld is in



Figuur 8.1

Het trendverloop van de zichtdiepte op de locaties Lodijsche Gat (linksboven), Steenberg (rechtsboven), Wissenkerke (linksonder) en Zijpe (rechtsonder). De trend is getoond t.o.v. het algemeen gemiddelde per locatie. De blauwe lijn geeft de trendlijn aan; de rode lijnen het 95% betrouwbaarheidsinterval van deze trendlijn.

Figuur 8.1 de zichtdiepte weergegeven op vier locaties. Duidelijk is te zien dat op de drie locaties van de Oosterschelde sprake is van een stijging tot 1995 en dat daarna een daling is ingezet. Op de locatie Steenbergen is van een dergelijk verloop geen sprake.

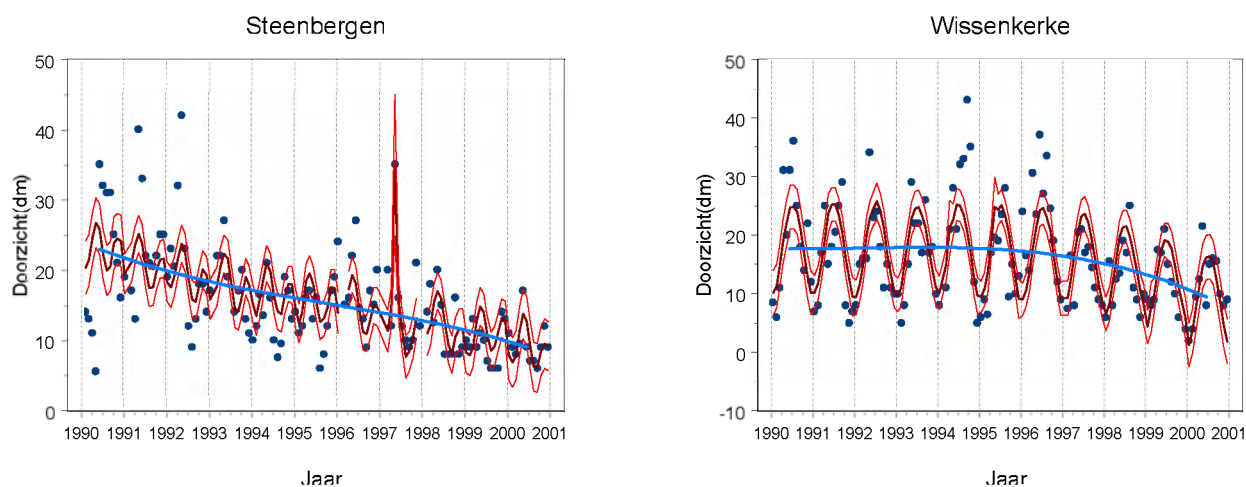
Voor het bepalen van de orde van de polynoom wordt de volgende procedure gevolgd. Eerst wordt een 3^e graads polynoom door de gegevens gefit en m.b.v. de Type I (de sequential) sums of squares wordt bij een overschrijdingswaarde van de F-toets van 0.20 gekeken welke orde nog 'significant' is. Deze hoge waarde is ingegeven om zo robuust mogelijk een keuze te maken voor het model en niet te snel te beslissen of een hogere orde niet zinvol is. Deze Type I hypothese toets wordt sequentieel genoemd omdat getoetst wordt of de toevoeging van kwadratisch boven lineair en kubisch t.o.v. kwadratisch zinvol is. Als de kubische term nog significant is op 0.20 dan wordt een polynoom van orde 3 gefit op de gegevens. Is de kubische term niet significant op dat niveau en de kwadratische wel dan wordt een polynoom van orde 2 gefit. Zijn beide niet significant dan is lineaire trend een goede aanname geweest. Vervolgens worden de coëfficiënten van één van de gekozen polynomen onderzocht of ze significant van nul verschillen en deze significantie is weer op een overschrijdings kans van 0.05 gesteld. In Tabel 8.5 worden de overschrijdingskansen van de lineaire trends getoond.

Tabel 8.5

De significante overschrijdingskansen (< 0.05) van de niet lineaire trends van de diverse variabelen op de 6 locaties.

Variabele	Schouwen 10	Hammen Oost	Wissenkerke	Lodijksche Gat	Zijpe	Steenbergen
CHLfa_log						.0325
DIN				.0151	.0184	.0007
DINDIP_log		.0054	.0001	.0259	.0429	.0004
DIP		.0003	.0000	.0000	.0074	
DOC	.0002				.0082	.0009
NP_log	.0008	.0000	.0000	.0000	.0006	.0004
SALNTT	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
SiO2Si		.0071	.0079	.0001	.0402	
T					.0446	
TOTN_log	.0047	.0015	.0285	.0002	.0004	.0002
TOTP_log		.0000	.0001	.0000	.0198	
ZICHT		.0189	.0056			

Figuur 8.2 laat van de parameter Zicht op de locaties Steenbergen en Wissenkerke het resultaat zien. Op Steenbergen (zie ook Figuur 8.1) is geen sprake van een niet lineaire trend in tegenstelling tot wat op Wissenkerke te zien is. Op Steenbergen kan dus volstaan worden met een lineair regressiemodel, terwijl op Wissenkerke een kwadratisch model beter zal volstaan. In tegenstelling tot Figuur 8.1 laat Wissenkerke geen duidelijke stijging zien. Het moment van verandering is in beide figuren na 1995. Op welke locaties en voor welke parameters een hogere dynamiek aanwezig is wordt weergegeven in Tabel 8.6. In deze tabellen staan de jaartallen waarop een verandering in de trend optreedt.

**Figuur 8.2**

Het regressiemodel voor Zicht op de locaties Steenberg en Wissenkerke. De blauwe stippen geven de waarnemingen weer, de rode lijnen de voorspellingen van het gebruikte regressiemodel met het 95% betrouwbaarheidsinterval en de derde graads polynoom trendlijn wordt met de blauwe lijn aangegeven.

Uit Tabel 8.6 blijkt dat fosfaat (DIP) op alle Oosterschelde locaties sinds 1997 aan het stijgen is (alle jaren zijn roodgekleurd: in deze jaren is een minimum waarde geconstateerd). Dit heeft consequenties voor de DIN/DIP verhouding. Op alle Oosterschelde locaties wordt in 1997 en 1998 een optimum gevonden en daalt deze parameter na 1998. Op Steenberg wordt daarentegen voor DIN/DIP een stijging gevonden. Dit heeft te maken met een lichte daling van DIP en een stijging van DIN na 1998.

Tabel 8.6

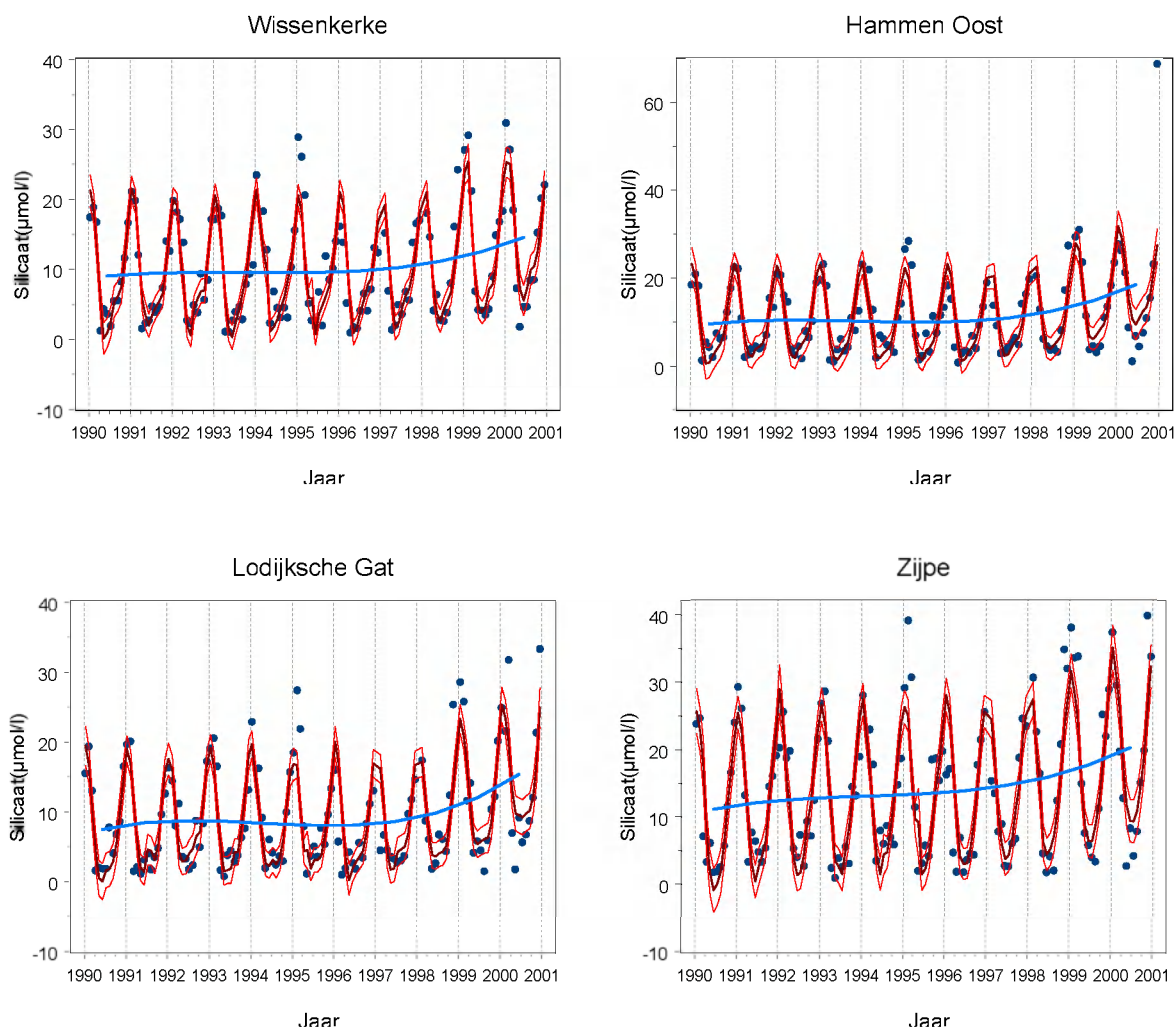
De knikpunten van de tweede of derde graads polynoom indien de parameters van deze polynomen significant (overschrijdingskans $P < 0.05$) waren. De met rood aangegeven jaren zijn de minima van de polynoom.

Variabele	Schouwen 10	Hammen Oost	Wissenkerke	Lodijksche Gat	Zijpe	Steenbergen
CHLfa_log				1995		1994;1998
DINDIP_log	1997	1997	1997	1998	1998	1992;1998
DIP		1997	1997	1997	1997	
DOC	1995			1995		
NP_log	1998	1997	1998	1998	1999	1992;1998
O2						1993
SALNTT	1997	1994;1998	1994;1998	1994;1997	1994;1997	Nb
SiO2Si		1993	1993	1992;1996		
TOTN_log	1996	1997		1998	1994;1997	1992;1997
TOTP_log		1997	1997	1989;1997	2000	1992;1998
ZICHT		1992	1993			
ZS_log						1994;1996

Eenzelfde beeld is ook te zien bij TOTN en TOTP die respectievelijk dalen en stijgen na 1997, met voor Steenberg een tegenovergesteld beeld. De

verhouding van TOTN en TOTP, NP, heeft vanuit zeewaartse kant een optimum die begint 1997 en eindigt in 1999 voor Zijpe. De Si-concentratie neemt sinds 1993 toe op de locaties Hammen Oost en Wissenkerke. Op de locatie Lodijsche Gat daarentegen wordt sinds 1996 een toename manifest.

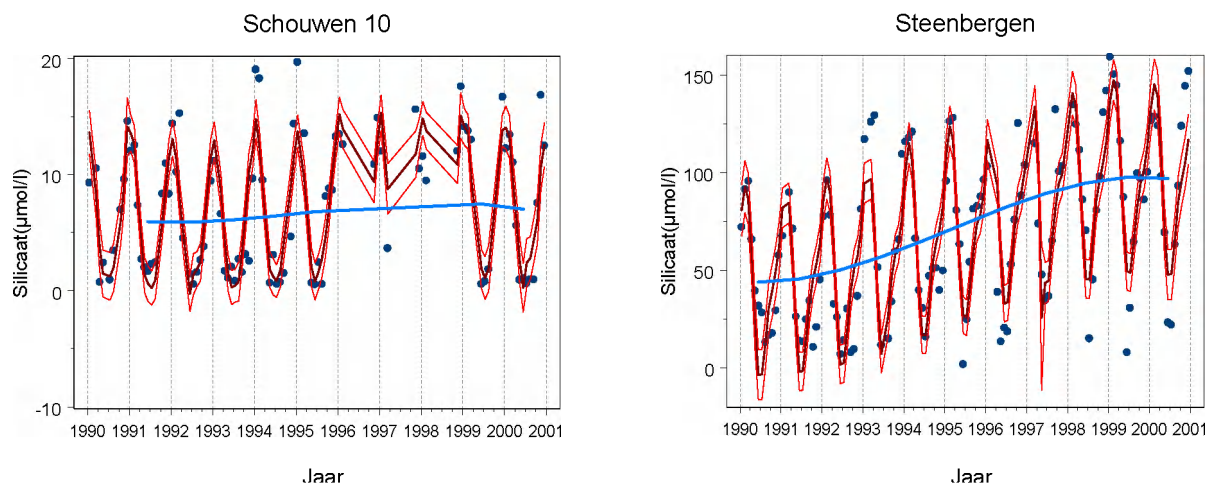
Voor de locaties zonder jaartallen kon geen significante kwadratische of kubische relatie worden aangetoond. Het is overigens wel interessant om naast de significante polynomen ook naar de figuren te kijken. Zo zien we voor de Si- concentratie (Figuur 8.3) dat de ontwikkeling voor de Oosterschelde punten nagenoeg gelijk is. Een derde graads polynoom werd niet voor alle punten aangetoond, maar het is wel duidelijk te zien dat na 1996 een stijging te zien is in de concentratie.



Figuur 8.3

De Si-concentratie in μm voor de locaties Wissenkerke, Hammen Oost, Lodijsche Gat en Zijpe. De blauwe stippen geven de waarnemingen weer, de rode lijnen de voorspellingen van het gebruikte regressiemodel met het 95% betrouwbaarheidsinterval en de derde graads polynoom trendlijn wordt met de blauwe lijn aangegeven.

In het zoete water (Steenbergen) zien we na een aanvankelijke stijging vanaf 1992 een daling sinds 2000 en in het zoute water (Schouwen 10) is een soortgelijk beeld te zien (zie Figuur 8.4).



Figuur 8.4

De Si-concentratie in μm voor de locaties Schouwen 10 (links) en Steenberg (rechts). De blauwe stippen geven de waarnemingen weer, de rode lijnen de voorspellingen van het gebruikte regressiemodel met het 95% betrouwbaarheidsinterval en de derde graads polynoom trendlijn wordt met de blauwe lijn aangegeven.

8.5 Referenties

HASTIE, T.J & R.J. TIBSHIRANI, 1996. Generalized Additive Models. Chapman and Hall, New York.

SAS, 2001. Details of the procedure GAM. Carey.

9. Bijlage 4: Fytoplanktonsamenstelling

M. J. Latuhihin² & L.P.M.J. Wetsteyn¹

¹ Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Postbus 8039, 4330 EA Middelburg

² Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Postbus 20907, 2500 EX Den Haag

Op de vier Oosterschelde locaties samen werden tijdens de monitoring periode 1990 t/m 2000 in totaal 242 soorten fytoplankton waargenomen. In vergelijking met de andere Deltawateren is de Oosterschelde hiermee een zeer soortenrijk systeem.

Het meeste fytoplankton (84%) ontwikkelt zich in het voorjaar (maart t/m mei) en in de zomer (juni t/m augustus). Vooral in de zomer is op de relatief zoete en heldere locaties Lodijsche Gat en vooral Zijpe de fytoplanktondichtheid vaak hoger dan op de locaties Hammen Oost en Wissenkerke. De numeriek belangrijkste groep binnen het fytoplankton in de Oosterschelde wordt gevormd door de diatomeeën.

Tussen 1993 en 1994 en tussen 1999 en 2000 zijn de veranderingen in de fytoplankton klassen relatief groot. Nader onderzoek wees uit dat deze verschillen voornamelijk te maken hebben met de klassen diatomeeën en dinoflagellaten.

Van een aantal "kensoorten" is nagegaan hoe de ingezette veranderingen in de jaren 1980 t/m 1990 zich doorgezet hebben in de jaren 1990 t/m 2000. Voor een aantal diatomeeënsoorten hebben de ingezette trends zich gestabiliseerd in de negentiger jaren. De kleine fytoplanktonsoorten Cryptophyceae en Skeletonema costatum lijken in aantal toe te nemen. Voor een aantal "kensoorten" was het beeld minder duidelijk.

Uit een nadere analyse, na opsplitsing van de fytoplankton soorten in soorten < en > 20 µm, bleek dat vanaf 1994 de grotere soorten in aantal sterk gingen afnemen, terwijl dat met de kleinere soorten niet het geval was. Met name de groep overige soorten < 20 µm nam in de periode 1994 t/m 1998 in aantal sterk toe. De ratio kleine soorten/grote soorten nam daardoor vanaf 1994 aanzienlijk toe en lijkt zich vanaf 1998 te stabiliseren.

Met behulp van een tweedimensionale ordinatiemethode (MDS) en multivariate analyse (CANOCO) konden geen abiotische factoren (nutriënten, doorzicht, saliniteit en temperatuur) als verklarende factor gevonden worden.

Van de schuimalg Phaeocystis sp was er vrijwel elk jaar een voorjaarsbloei op de locaties Hammen Oost en Wissenkerke, in een aantal jaren ook op de locatie Lodijsche Gat en soms op de locatie Zijpe. Het aantal bloeien op de locatie Lodijsche Gat is daarmee in de negentiger jaren van dezelfde orde van grootte als aan het eind van de tachtiger jaren. De voorjaarsbloeien in de jaren 1990 t/m 2000 hadden vergelijkbare piekwaarden als in de jaren 1980 t/m 1990. In 1992 en 1996 kwamen ook (kleinere) zomerbloeien voor. De lengte van de voorjaarsbloeien (dagen met meer dan 1 miljoen Phaeocystis cellen/l) op de locaties Hammen Oost en Wissenkerke bedroeg in de meeste jaren tussen de 20 en 50 à 60 dagen. De neergaande trend voor de monding aan het einde van de jaren tachtig heeft zich dus niet voortgezet in de negentiger jaren. In 2000 werd Phaeocystis zelfs nauwelijks waargenomen in de Oosterschelde (evenals op andere locaties in de kustzone).

9.1 Fytoplankton diversiteit

Het totaal aantal geanalyseerde fytoplanktonmonsters in de periode 1990 t/m 2000 van de vier Oosterschelde locaties bedroeg 812. Bij de analyses van de fytoplankton monsters was analyse tot op de soort binnen elke onderscheiden taxonomische groep niet altijd mogelijk. Veel van deze soorten konden echter wel tot op genusniveau gedetermineerd worden. Was zelfs dit niet mogelijk, dan werd ingedeeld in de categorie groep. Er werd dus onderscheid gemaakt in drie verschillende niveaus van determinatie: soort (bijvoorbeeld *Ceratium furca*), genus (bijvoorbeeld *Gyrosigma* sp) en groep (bijvoorbeeld Cryptophyceae < 10 µm).

Op alle vier Oosterschelde locaties samen werden in de monitoring periode 1990 t/m 2000 in totaal 242 soorten tot op de soort gedetermineerd (Tabel 9.1), waaronder 143 soorten diatomeeën en 84 soorten dinoflagellaten. Soorten, waarbij niet tot op de soort gedetermineerd kon worden, behoorden tot 80 genera en 79 groepen. In vergelijking met de andere Deltawateren is de Oosterschelde hiermee een zeer soortenrijk systeem.

Tabel 9.1

Overzicht van de waargenomen fytoplankton groepen en aantal soorten, genera en groepen daarbinnen in monitoring monsters van vier Oosterschelde locaties in de periode 1990 t/m 2000.

Fytoplankton groep	Soort	Genus	Groep
Diatomeeën	143	32	20
Dinoflagellaten	84	21	23
Overige groepen	15	27	36
Totaal	242	80	79

Wat aantal waargenomen soorten, genera en groepen betreft, ontlopen de vier Oosterschelde locaties in de monitoring periode 1990 t/m 2000 elkaar niet zo veel. Het totaal aantal tot op de soort gedetermineerde soorten ligt voor de vier locaties tussen 183 en 195 soorten. In deze rapportage zal heel specifieke informatie over de soortensamenstelling verder niet aan de orde komen; deze zal wel opgenomen worden in de eerstvolgende Bekkenrapportage Oosterschelde.

Tijdens en na de bouw van de Oosterschelde-werken werden binnen het fytoplankton op soortsniveau een aantal veranderingen waargenomen of kwamen een aantal veranderingen op gang (Bakker et al., 1990, 1994). Het ging daarbij vooral om soorten die beter groeien onder minder turbulente en betere doorzicht condities ("Grevelingen-soorten"). Daarnaast werden afnemende abundanties van een paar diatomeeënsoorten vanwege langere "zomer"-omstandigheden (waardoor o.a. het voorjaar bekort wordt) of als gevolg van zachte winters genoemd. Bovendien werden tijdens de aanleg van de werken een aantal soorten voor het eerst in de Oosterschelde waargenomen. En er werden uitspraken gedaan over de schuimalg *Phaeocystis*, zoals zomerbloeien tijdens de bouw van de stormvloedkering door de toegenomen helderheid en, in latere jaren, een afnemende hoeveelheid tot afwezigheid in het oostelijke deel van de Oosterschelde als gevolg van de lage nitraat-concentraties. Teneinde een beeld te vormen van de fytoplanktongemeenschap in de periode 1990 t/m 2000 worden in dit hoofdstuk een aantal parameters onderzocht die samenhangen met de draagkracht van de Oosterschelde: totale concentratie aan fytoplankton, de soortensamenstelling, de

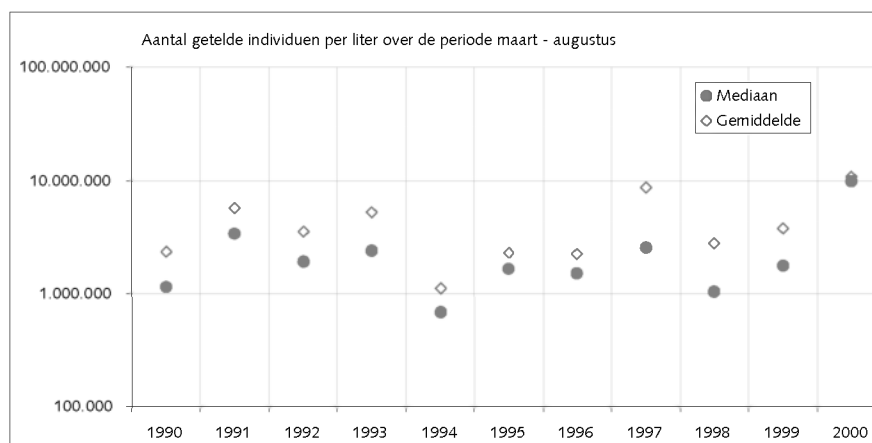
ontwikkeling van specifieke indicatorsoorten en soortengroepen. De primaire productie van het fytoplankton komt in 9 Bijlage 3: Primaire productie fytoplankton aan de orde. Als zich in de jaren negentig een verandering in de fytoplanktongemeenschap heeft voorgedaan, dan dient zich uiteraard vervolgens de vraag aan in hoeverre er een mogelijke samenhang is met relevante milieufactoren als bijvoorbeeld nutriënten en licht.

9.2 Dataset

De analyse van fytoplankton in de Oosterschelde vormt sinds april 1990 onderdeel van het landelijke monitoring programma. Sindsdien is steeds volgens een zelfde patroon bemonsterd – 's winters maandelijks en 's zomers tweewekelijks – en volgens eenzelfde protocol het fytoplankton onder de microscoop geteld in met Lugol gefixeerde monsters. Van ieder monster is zo mogelijk tot op soortsniveau de samenstelling bepaald en is de dichtheid berekend in aantal cellen per liter. Door de jaren heen is een geannoteerde soortenlijst bijgehouden van de soorten die zijn gedetermineerd. Desalniettemin lijkt het er op dat de momenteel beschikbare dataset kenmerken heeft die samenhangen met taxonomische artefacten als gevolg van het feit dat in de loop van de 11 jaar het werk is uitbesteed aan verschillende laboratoria. Voor de zekerheid zijn daarom waar noodzakelijk de dichtheden geaggregeerd tot een hoger taxonomisch niveau waarover geen onzekerheid bestaat.

9.3 Concentratie fytoplankton

De totale dichtheid aan fytoplankton in een monster wordt weergegeven als het aantal individuen (cellen) per liter. Figuur 9.1 toont het verloop van

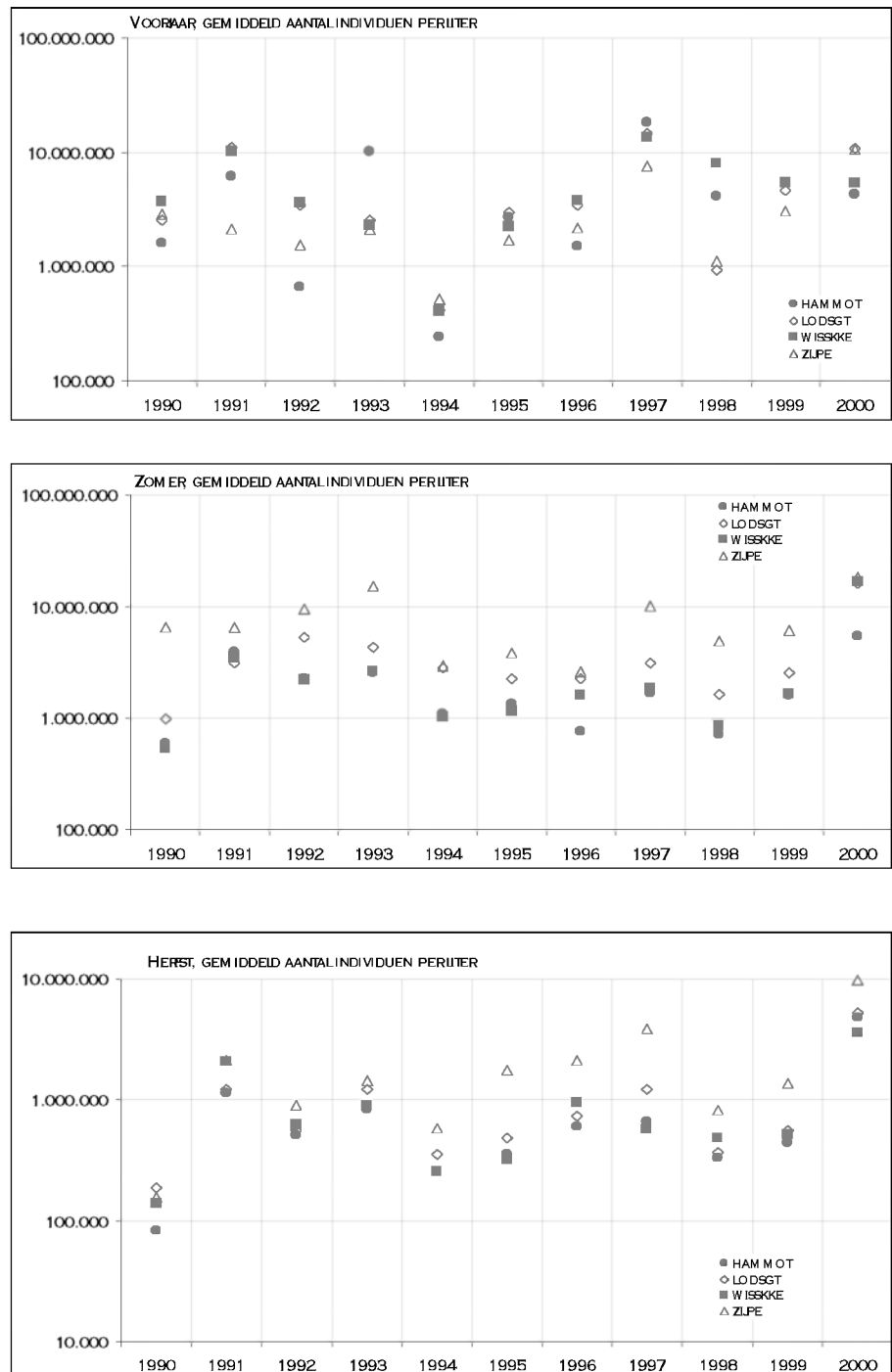


Figuur 9.1

Aantal getelde individuen per liter van de vier samengenomen Oosterschelde locaties als jaarmediaan en jaargemiddelde over de periode maart t/m augustus in de jaren 1990 t/m 2000.

zowel de jaarmediaan als het jaargemiddelde van het aantal getelde cellen per liter. Variatie in de meetinspanning speelt hierbij een versturende rol. Teneinde dit effect te minimaliseren is eerst per maand de mediaan van de dichtheid berekend. Vervolgens is over deze dataset van maandmedianen het gemiddelde en de mediaan per jaar bepaald. Het meeste fytoplankton

ontwikkelt zich in het voorjaar (maart-mei) en in de zomer (juni-augustus), 84% van de dichtheid wordt geteld in deze twee seizoenen. Wat opvalt is vooral de dip in 1994 en de terugval in 1998. Over het algemeen ligt het gemiddelde hoger dan de mediaan, wat duidt op een – niet onverwachte – scheve verdeling van de maandmedianen. In het vervolg is daarom altijd gewerkt met getransformeerde gegevens door de (natuurlijke) logaritme te nemen.



Figuur 9.2

Aantal getelde individuen per liter in het voorjaar, in de zomer en in de herfst op vier Oosterschelde locaties in de jaren 1990 t/m 2000.

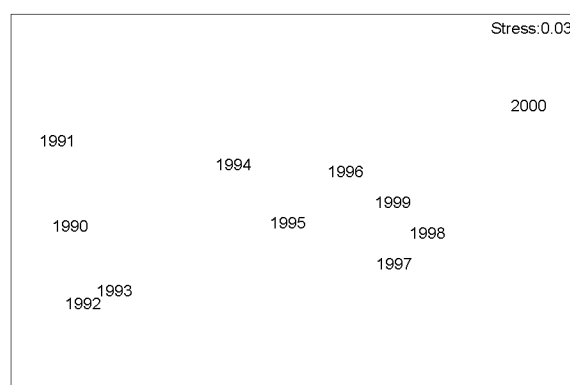
In figuur 9.2 is op basis van de maandmedianen het gemiddeld aantal individuen per liter per seizoen weergegeven. Per seizoen is min of meer een zelfde beeld te zien. De winter (december t/m februari) is weggelaten omdat de dataset hier soms onvolledig is, en bovendien is er in deze periode weinig fytoplankton. Verder zijn in de figuren de vier locaties waar fytoplankton bemonsterd wordt separaat opgenomen. Vooral in de zomer, en in mindere mate in de herfst, is op de relatief zoete en heldere locaties (Lodijksche gat en vooral Zijpe) de fytoplanktendichtheid vaak hoger dan op de locaties Hammen Oost en Wissenkerke.

9.4 Samenstelling fytoplanktongemeenschap

Is er in de periode 1990 t/m 2000 een verandering opgetreden voor wat betreft de samenstelling van de fytoplanktongemeenschap? Met het softwarepakket Primer (versie 5) is een analyse gedaan op telgegevens die geaggregeerd zijn tot, voor de meeste groepen, klasse-niveau:

Blauwwieren	Dinoflagellaten
Chrysomonadales	Euglenophyceae
Chrysophyceae	Groenwieren
Ciliaten	Ondetermineerbare algen
Coccolithophoriden	Prasinophyceae
Craspedomonadaceae	Protomonadales
Cryptophyceae	Prymnesiophyceae
Diatomeeën	Raphidophyceae

Teneinde de relatieve bijdrage van de minder abundante soorten te versterken en dominante soorten te dempen is op de basisgegevens eerst een logtransformatie toegepast. Vervolgens zijn de gegevens geaggregeerd tot klasse-niveau en is per jaar voor de periode maart t/m november het gemiddelde berekend voor iedere orde. Met de Bray-Curtis index is een afstandsmaat opgezet op basis van de gestandaardiseerde klasse-gegevens per jaar, wat betekent dat gekeken is naar de verhouding tussen de klassen per jaar. Ordinatie van de berekende Bray-Curtis-index met behulp van nMDS (nonmetric Multi Dimensional Scaling) levert het beeld in Figuur 9.3. *Aggregatie tot klasse, gestandaardiseerd per jaar (maart-november)*

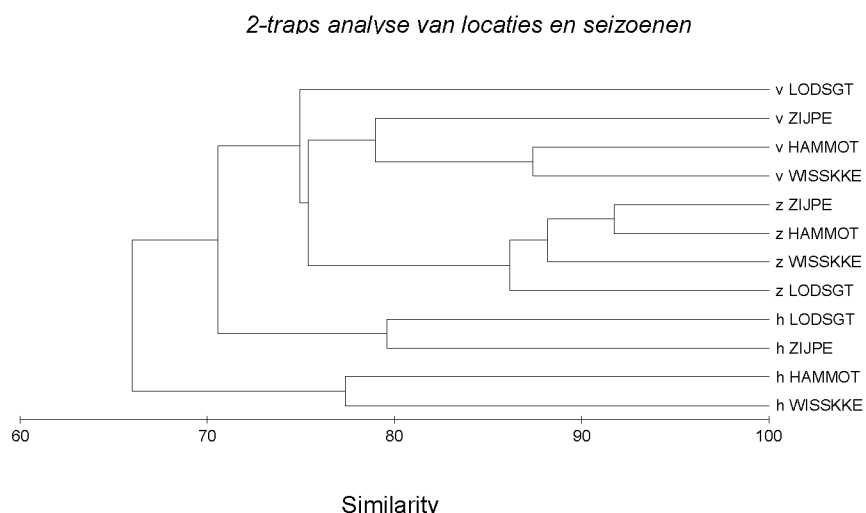


Figuur 9.3

Karakterisering van de jaren op basis van fytoplankton klassen. Hoe groter de afstand tussen de jaren, hoe groter het verschil tussen de samenstelling. De stressindicatie (stress = 0,03) geeft aan dat deze tweedimensionale ordinatie ondubbelzinnig te interpreteren is.

Uit de onderlinge posities in Figuur 9.3 blijkt dat geen enkel jaar hetzelfde is wat betreft de verhouding tussen de verschillende klassen. De veranderingen in de periode 1990 t/m 1993 lijken haaks te staan op de periode 1994 t/m 1999. Tussen 1993 en 1994 en tussen 1999 en 2000 zijn de veranderingen relatief groot. Onderzoek met de module SIMPER (similarity percentage) van Primer wijst uit dat de verschillen voornamelijk te maken hebben met de klassen diatomeeën en dinoflagellaten, en dan in de eerste plaats de diatomeeën, die ook na logtransformatie nog dominant aanwezig zijn. In termen van percentages bepalen deze twee groepen door de jaren heen 60 tot 80 procent van de verschillen. Een indeling in drie groepen: diatomeeën, dinoflagellaten en overige soorten zou daarom ook kunnen volstaan.

Om een beeld te verkrijgen hoe de verschillen in fytoplanktonsamenstelling zich verhouden tussen de vier locaties in vergelijking met de seizoenen is een tweetrapsanalyse uitgevoerd. Van de dataset met loggetransformeerde en gestandaardiseerde gegevens is per locatie en per seizoen (voorjaar, zomer en herfst) een similariteitsmatrix gemaakt van de gegevens over de jaren 1990 t/m 2000. In een tweede stap is met de Bray-Curtis index de similariteit van deze matrices berekend. Agglomeratieve clustering van de op deze manier verkregen matrix met similariteitsindices levert het dendrogram op als afgebeeld in Figuur 9.4. Uit de figuur blijkt dat de clustering in de eerste plaats het seizoenspatroon volgt en in de tweede plaats de geografische spreiding van de locaties. In het voorjaar springt de locatie Lodijksche Gat er qua vergelijkbaarheid uit en ligt tussen voorjaar en zomer in. In de zomer valt op dat de twee zoutere, respectievelijk zoetere locaties niet clusteren, wat in de herfst wel het geval is. Daar is het verschil tussen het oostelijke en westelijke deel van de Oosterschelde zelfs betrekkelijk groot.



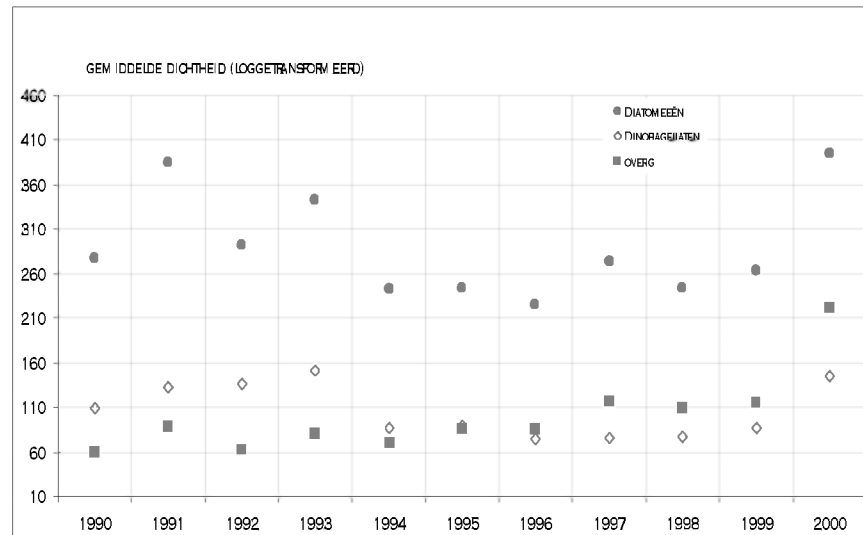
Figuur 9.4

Clustering van de vier Oosterschelde locaties, respectievelijk seizoenen, op basis van fytoplanktongegevens over de jaren 1990 t/m 2000.

Een analyse met SIMPER naar de voor deze indeling verantwoordelijke fytoplanktonklassen leert dat wederom diatomeeën en dinoflagellaten ongeveer de helft verklaren. Bij de zoetere locaties (LODSGT en ZIJE) verklaren de diatomeeën consequent de verschillen tussen de seizoenen,

terwijl dat voor het wat zoutere westelijke deel de dinoflagellaten zijn door een relatief sterke toename in de zomerperiode.

Figuur 9.5 toont de gemiddelde dichtheidsgegevens (ln getransformeerd) van diatomeeën, dinoflagellaten en overige soorten.



Figuur 9.5

Gemiddelde ln getransformeerde aantallen diatomeeën, dinoflagellaten en overige soorten per liter voor de vier Oosterschelde locaties samen.

Uit Figuur 9.5 blijkt dat, numeriek gezien, de belangrijkste groep binnen het fytoplankton van de Oosterschelde, gevormd wordt door de diatomeeën, aanvankelijk gevolgd door de dinoflagellaten, die in de jaren 1996 t/m 2000 overklast worden door de overige soorten. De hogere waarden voor alle groepen in 2000 valt samen met de overgang naar een ander analyserend bureau, maar dat feit levert nog niet direct de verklaring voor het wagenomen verschil.

9.5 "Kensoorten"

Bepaalde soorten zijn in de loop der tijd bekend geworden wegens de signaalfunctie voor een bepaalde milieuparameter. Uit Bakker et al. (1994) zijn 11 soorten geselecteerd, waarvan ook (min of meer) een verklarende factor werd gegeven voor de ontwikkeling tijdens en na de bouw van de stormvloedkering. In de Tabel 9.2 wordt aangegeven om welke soorten en verklarende factoren het gaat, hoe de ingezette ontwikkelingen in de tachtiger jaren er uit zagen (beknopt weergegeven), en of de ontwikkelingen zich doorgezet hebben in de negentiger jaren.

Voor een drietal diatomeeën soorten (*Asterionella kariana*, *Brockmanniella brockmannii* en *Thalassiosira nordenskiöldii*), die in de periode 1980 t/m 1990 afgenomen of verdwenen waren in de Oosterschelde, met als verklarende factor "Zomer"-omstandigheden in het voorjaar, heeft deze trend zich doorgezet. De soorten *Eutreptiella* spp, *Heterocapsa rotundata* en *Ditylum brightwellii*, alle min of meer constant in de tachtiger jaren, met als verklarende factor minder turbulentie, beter doorzicht, zijn constant op hetzelfde niveau aanwezig in de negentiger jaren; omdat het doorzicht

afgenomen is (zie Hoofdstuk 7: Bijlage 3 en Hoofdstuk 11: Bijlage 6), is turbulentie vermoedelijk een betere verklarende factor voor het voorkomen van deze soorten. Een vijftal diatomeeën soorten werd vanaf 1987 voor het eerst waargenomen in de Oosterschelde of was vanaf 1987 aanwezig en daarvoor nauwelijks en voor drie van deze vijf soorten werd als verklarende factor lage Si-concentraties gegeven. Deze drie soorten (*Leptocylindrus minimus*, *Rhizosolenia fragilissima* en *Thalassiosira fallax*) zijn nog sporadisch tot redelijk constant op hetzelfde niveau aanwezig. De verklarende factor "Minder gevoelige" soort voor de kleine fytoplankton soorten Cryptophyceae en *Skeletonema costatum* is goed gekozen; beide soorten zijn nog constant aanwezig of lijken zelfs in aantal toe te nemen. De ingezette ontwikkeling in de tachtiger jaren en de ontwikkeling in de negentiger jaren van de "kensoort" *Phaeocystis* wordt in paragraaf 9.8 besproken.

Tabel 9.2

Verklarende factoren bij de ingezette ontwikkelingen van een aantal fytoplanktonsoorten in de tachtiger jaren, de aard van deze ontwikkelingen en de ontwikkeling van de genoemde soorten in de negentiger jaren. Diat = diatomeeën, dino = dinoflagellaten en over = overige soorten.

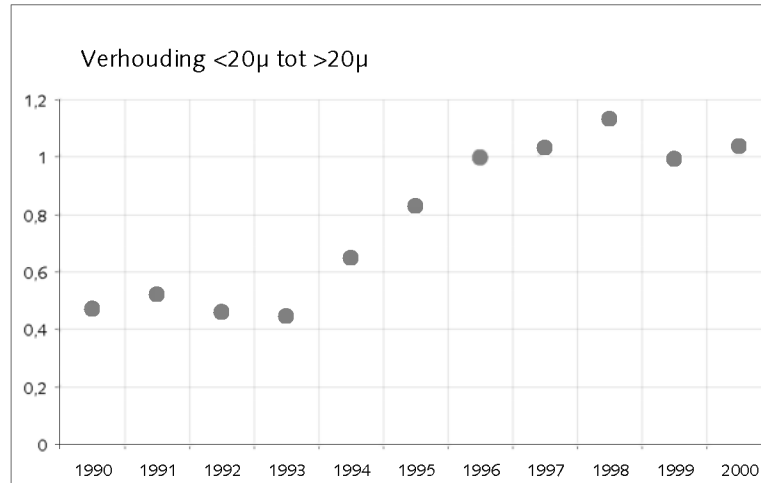
Verklarende factoren en soorten	Waarnemingen 1980 t/m 1990	Waarnemingen 1990 t/m 2000
"Zomer"-omstandigheden in het voorjaar		
<i>Asterionella kariana</i> (diat) <i>Brockmanniella brockmannii</i> (diat) <i>Thalassiosira nordenskiöldii</i> (diat)	Afgenomen in de Oosterschelde	Weinig en afnemende waarnemingen
Minder turbulentie, beter doorzicht		
<i>Eutreptiella</i> spp (over) <i>Heterocapsa rotundata</i> (dino) <i>Ditylum brightwellii</i> (diat)	Toename of toename en daarna constant	Constant op hetzelfde niveau aanwezig of iets toegenomen
Lage Si-concentraties		
<i>Leptocylindrus minimus</i> (diat) <i>Rhizosolenia fragilissima</i> (diat) <i>Thalassiosira fallax</i> (diat)	Vanaf 1987 voor het eerst waargenomen in de Oosterschelde	Sporadisch tot redelijk constant op hetzelfde niveau aanwezig
"Minder gevoelige" soort		
Cryptophyceae (over)	Continu en abundant aanwezig	Lijkt in dichtheid toe te nemen
<i>Skeletonema costatum</i> (diat)	Duidelijke afname in de Oosterschelde	Lijkt in dichtheid toe te nemen

In grote lijnen blijkt dat de ingezette ontwikkelingen uit de tachtiger jaren voor de hierboven besproken "kensoorten" zich in de negentiger jaren hebben gestabiliseerd.

9.6 Fytoplanktonafmetingen

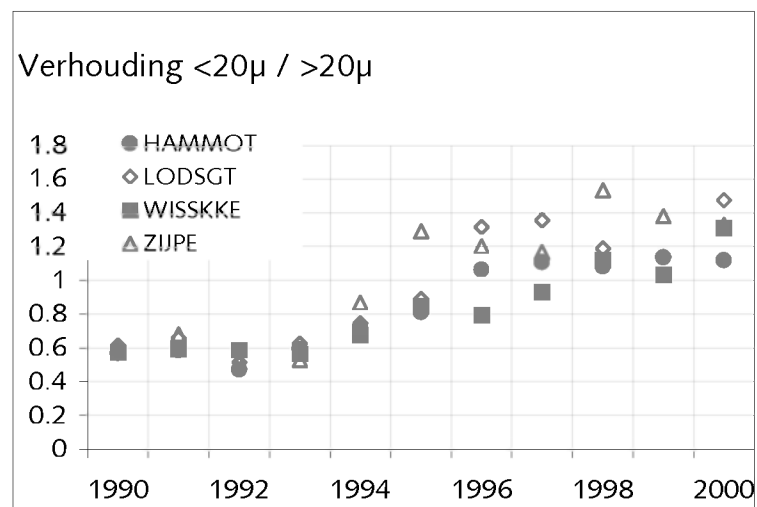
Niet alleen het soort fytoplankton, maar ook de afmeting van het fytoplankton kan een rol spelen bij de draagkracht van een watersysteem. Immers, grote soorten zijn voor de eerstvolgende schakels in het voedselweb, het zoöplankton en filtrerende bodemdieren als kokkels en mossels, minder goed te eten dan kleine soorten. Om een onderscheid te maken tussen klein en groot fytoplankton zijn de soorten uit de Oosterschelde dataset opgedeeld in soorten <20 µm (klein) en >20 µm (groot), hoewel een echte afbakening bij 20 µm natuurlijk niet voor elke soort mogelijk is. Een soort als *Phaeocystis* sp werd ingedeeld bij de soorten >20 µm, de afzonderlijke cellen zijn weliswaar klein, maar de kolonies groot. Hetzelfde geldt bijvoorbeeld ook voor de ketenvormende blauwwieren.

Het blijkt dat in de periode 1990 t/m 2000 de hoeveelheid groot fytoplankton rond 1994 sterk gaat afnemen terwijl dat met de kleine soorten niet het geval is. De verhouding tussen kleine en grote soorten wijzigt daardoor vanaf 1994 en lijkt zich vanaf 1998 te stabiliseren. Figuur 9.6 toont voor de samengenomen gegevens van de vier Oosterschelde locaties deze ontwikkeling van de verhouding tussen de gemiddelde dichtheid van deze twee groepen per jaar.



Figuur 9.6

Verhouding in getransformeerde aantallen fytoplankton <20 µm tot >20 µm; gegevens van de vier Oosterschelde locaties samengenomen.



Figuur 9.7

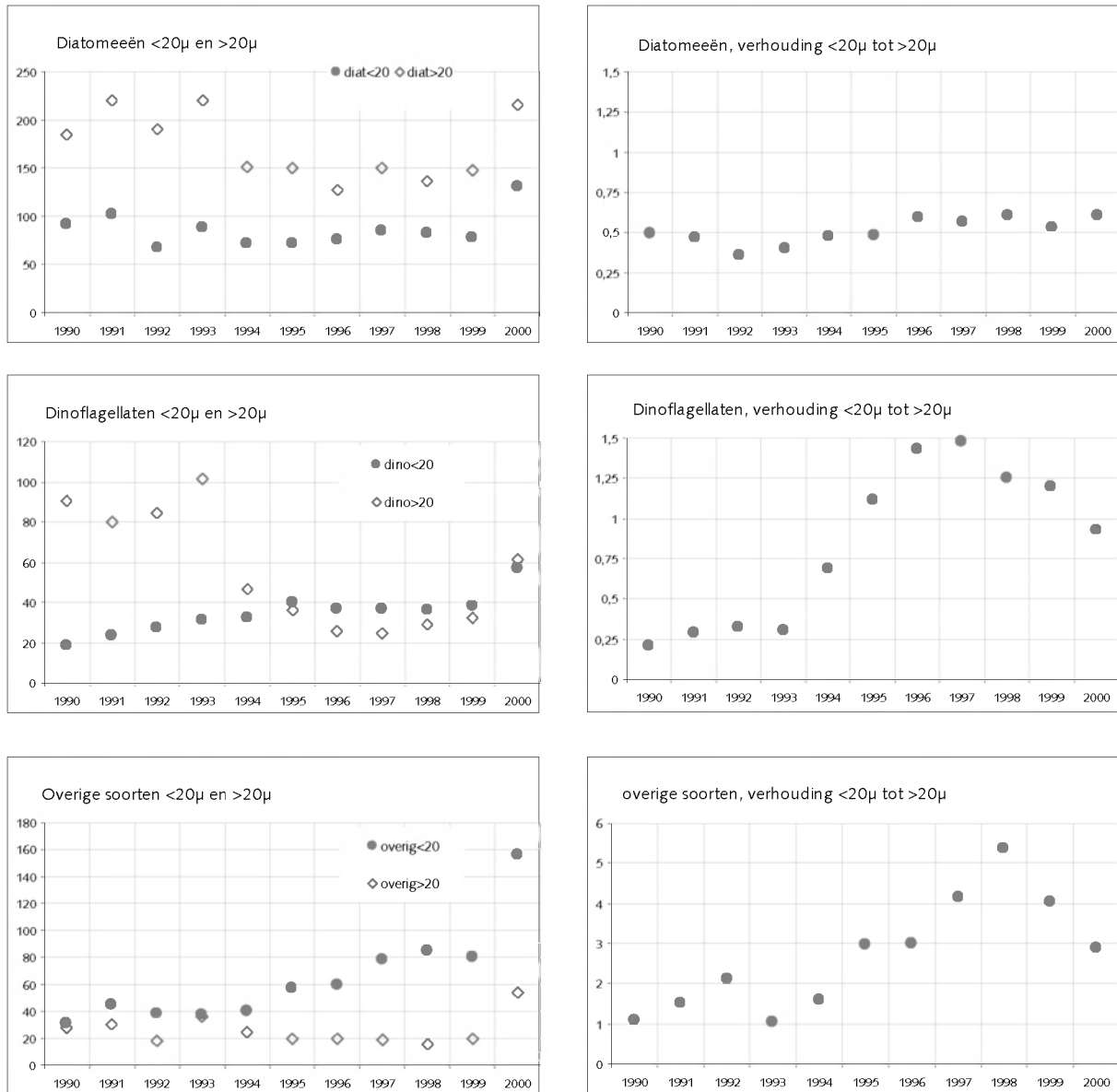
Verhouding fytoplankton <20 µm tot >20 µm op elke afzonderlijke Oosterschelde locatie.

Opsplitsing naar locaties laat zien dat de toename vanaf 1994 in de verhouding tussen klein (<20 µm) en groot (>20 µm) fytoplankton op de locaties Lodijksche Gat en Zijpe groter is dan die op de locaties Hammen Oost en Wissenkerke (Figuur 9.7).

Voor de drie belangrijkste groepen fytoplankton – diatomeeën,

dinoflagellaten en overige soorten – blijkt deze trend ook aanwezig, hoewel voor diatomeeën minder sterk dan voor de andere twee hoofdgroepen (zie Figuur 9.8).

Met name bij de overige soorten zijn grote veranderingen te bespeuren wat dit betreft, tot een factor 5 verschil, maar er is ook een terugval de laatste twee jaar. Bij de dinoflagellaten is deze terugval ook zichtbaar, maar bij de diatomeeën juist weer niet.

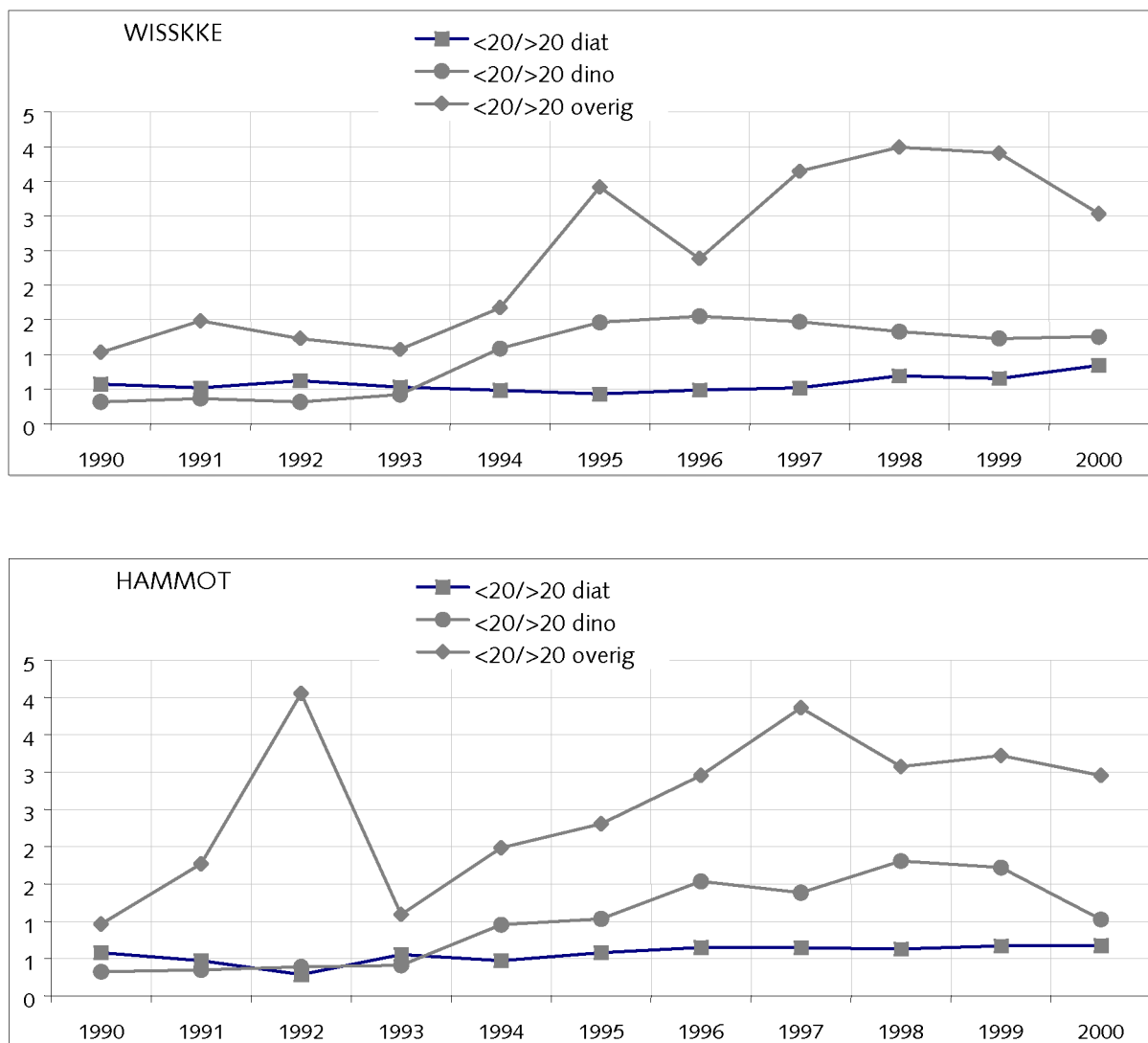


Figuur 9.8

De ontwikkeling (linker panelen) en de verhouding (rechter panelen) van de kleine (<20 μm) en grote (>20 μm) fracties van de diatomeeën, dinoflagellaten en overige soorten op de vier Oosterschelde locaties tesamen.

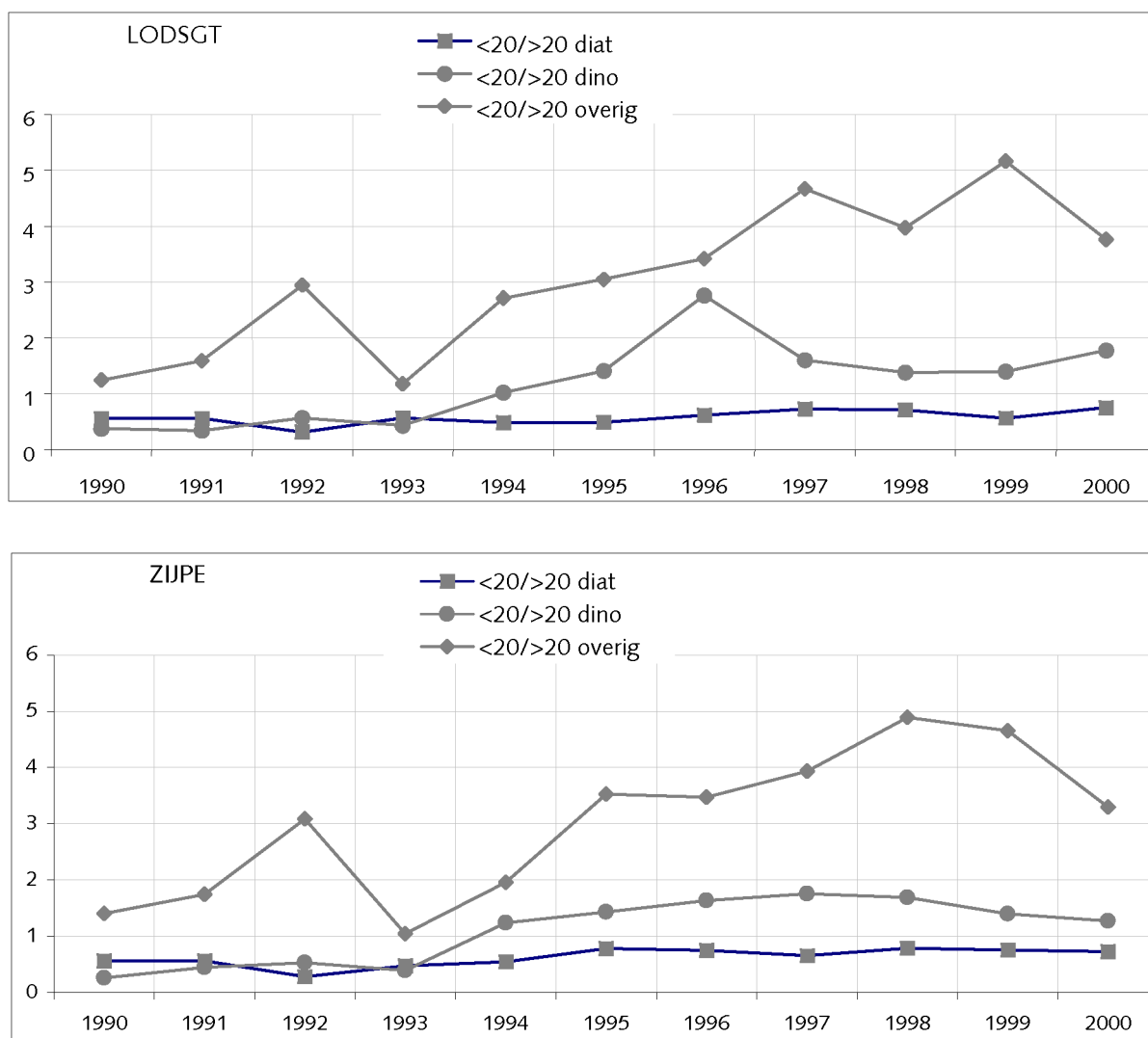
Figuur 9.8 laat ook zien dat (jaargemiddeld) de diatomeeën de meest talrijke groep binnen het fytoplankton vormen, gevolgd door de dinoflagellaten en de overige soorten. Dit geldt ook voor elke Oosterschelde locatie afzonderlijk, zowel wat aantallen en het verloop in de tijd betreft; deze resultaten worden daarom niet afgebeeld.

De verhouding klein ($<20\ \mu\text{m}$) tot groot ($>20\ \mu\text{m}$) voor de fytoplankton groepen diatomeeën, dinoflagellaten en overige soorten voor de vier Oosterschelde locaties afzonderlijk wordt gegeven in Figuur 9.9. Het meest opvallend is dat er vanaf 1993 t/m 1999 een stijgende trend is voor de ratio klein/groot van de overige soorten. Voor alle vier locaties wordt dat veroorzaakt door vooral een toename van kleine ($<20\ \mu\text{m}$) overige soorten. In 2000 worden voor de ratio klein/groot van de overige soorten weer lagere waarden dan in 1999. De ratio klein/groot van de dinoflagellaten laat een licht stijgende trend zien, veroorzaakt doordat de aantallen dinoflagellaten in de jaren 1990 t/m 1993 hoger waren dan gedurende de jaren 1994 t/m 1999 en de toename van het aantal dinoflagellaten in de jaren 1994 t/m 1999.



Figuur 9.9

Onderschrift op blz. 76.



Figuur 9.9

De verhouding ln getransformeerde aantallen diatomeeën, dinoflagellaten en overige soorten klein (<20 µm) tot groot (>20 µm) voor de vier Oosterschelde locaties tesamen.

9.7 Causaliteiten

Voor een mogelijke verklaring van de gevonden patronen in de ontwikkeling van de fytoplanktongemeenschap is gekeken naar overeenkomstige patronen die abiotische parameters, d.w.z. licht en nutriënten, in de periode 1990 t/m 2000 vertonen. Hiertoe is gebruik gemaakt van de module BIO-ENV van de Primer software, waarin het mogelijk is verschillende afstandentabellen met elkaar te vergelijken. Een mogelijke correlatie wordt weergegeven met de Spearman rangcorrelatie, die een waarde tussen -1 en 1 kan hebben. De interpretatie van deze rangcorrelatie is identiek aan die van de Pearson product-moment correlatiecoëfficiënt. Aan de Spearman rangcorrelatie wordt betekenis toegekend als weergegeven in onderstaande Tabel 9.3. Er is aan sommige waarden ook een kleur toegekend die het lezen van de tabel met analyses

(Tabel 9.4) vergemakkelijkt.

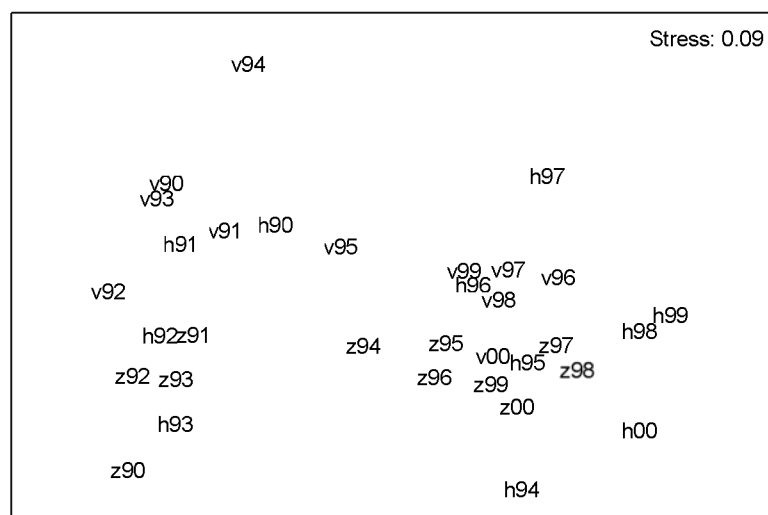
Tabel 9.3

Waarden en betekenis rangcorrelaties.

Waarde rangcorrelatie	Betekenis correlatie	Kleur
1,00	Perfect	-
0,70 – 0,90	Zeer hoog	Rood
0,50 – 0,69	Goed	Oranje
0,30 – 0,49	Middelmatig	Geel
0,10 – 0,29	Laag	-
0,01 – 0,09	Verwaarloosbaar	-

Uitgangspunt in de analyse met BIO-ENV vormen de fytoplankton gegevens. Om met een redelijk aantal parameters te werken is er voor gekozen om te aggregeren tot de groepen diatomeeën, dinoflagellaten en overige soorten, waarbij in iedere groep weer kleine ($<20\ \mu\text{m}$) en grote ($>20\ \mu\text{m}$) soorten worden onderscheiden. In totaal dus 6 parameters. In de tijd is er voor gekozen om met voorjaar, zomer- en herfstgegevens te werken, aangezien de wintergegevens soms incompleet zijn. Verder zijn de gegevens over de vier locaties nu niet gemiddeld maar als data per locatie meegenomen. Over deze gegevens is voor de jaren 1990 t/m 2000 een similariteitsmatrix opgezet met behulp van de Bray-Curtis index. Een tweedimensionale ordinatie met behulp van MDS ziet er uit als Figuur 9.10. Wederom is te zien dat het jaar 1994 een overgangsjaar is waarbij de onderlinge verschillen tussen de seizoenen in dat jaar relatief groot zijn en ook onderling anders gepositioneerd zijn dan in andere jaren (volg per jaar het verloop voorjaar, zomer, herfst). Een stress kleiner dan 0,1 geeft aan dat de figuur betrouwbare informatie geeft.

gemiddelde per jaar en seizoen (logtr. en standaardisatie)

**Figuur 9.10**

Een tweedimensionale ordinatie met behulp van MDS voor de voorjaars-, zomer- en herfstgegevens voor de periode 1990 t/m 2000.

BIO-ENV vergelijkt bovenstaand patroon met een tabel met abiotische gegevens door voor iedere parameter en voor iedere combinatie met één of meerdere andere parameters de rangcorrelatie te berekenen. Dit gebeurt op basis van enerzijds de similariteitsmatrix van het fytoplankton en anderzijds een euclidische afstandentabel op basis van één of meer abiotische parameters. Zie onderstaande Tabel 9.4.

Tabel 9.4

Met het programma BIO-ENV berekende rangcorrelaties tussen de fytoplankton groepen (diatomeeën, dinoflagellaten en overige soorten) met gemeten abiotische variabelen, zowel voor iedere variabele en voor iedere combinatie van één of meer abiotische variabelen.

Jaar	DIN/DIP	N/P	SALNTT	T	ZICHT	N	NH4	NO2	NO3	P	PO4	NO2NO3	SiO2	aantal par	BIO-ENV Rho
1990	-0,022	-0,058	-0,060	0,571	-0,082	0,022	0,027	0,325	0,195	0,069	-0,001	0,203	0,274		
				x										1	0,571
				x				x						2	0,514
				x									x	2	0,503
				x				x					x	3	0,477
				x				x		x				3	0,473
				x				x		x			x	4	2,5 0,471
1991	0,489	0,466	-0,056	0,543	-0,229	0,102	0,205	-0,046	0,426	0,444	0,356	0,429	0,013		
	x			x										2	0,621
	x			x							x			3	0,593
	x			x					x		x			4	0,591
	x			x						x				3	0,589
	x			x							x	X		4	0,588
	x			x			x					X		4	3,5 0,586
1992	-0,025	-0,033	-0,189	-0,051	0,042	-0,067	-0,049	-0,102	-0,104	-0,082	0,007	-0,101	-0,218		
					x									1	0,042
		x		x	x									3	0,013
	x	x		x	x									4	0,011
				x	x									2	0,011
	x	x	x			x		x						5	0,010
	x	x	x					x						4	3,5 0,010
1993	0,636	0,671	-0,152	0,311	-0,061	0,526	0,113	-0,198	0,635	0,552	0,400	0,618	-0,241		
		x												1	0,671
		x							x	x		X		4	0,671
		x							x					2	0,670
	x	x							x	x				4	0,669
	x	x							x	x		X		5	0,669
		x							x	x				3	3,5 0,669
1994	0,537	0,608	0,023	0,302	0,419	0,464	0,295	0,055	0,533	-0,111	0,634	0,538	0,475		
	x	x					x				x		x	5	0,786
	x						x				x		x	4	0,784
	x						x		x		x			4	0,783
	x						x				x	X		4	0,779
		x					x		x		x		x	5	0,778

Jaar	DIN/DIP	N/P	SALNTT	T	ZICHT	N	NH4	NO2	NO3	P	PO4	NO2NO3	SiO2	aantal par	BIO- ENV Rho	
		x					x				x		x	4	4	0,778
1995	0,291	0,330	0,045	0,322	0,184	0,161	0,365	0,048	0,343	0,351	0,414	0,333	0,181			
				x	x					x	x			4		0,516
		x									x			2		0,515
		x		x	x		x			x	x			6		0,515
		x		x	x					x	x			5		0,510
	x			x	x		x			x	x			6		0,507
Jaar	DIN/DIP	N/P	SALNTT	T	ZICHT	N	NH4	NO2	NO3	P	PO4	NO2NO3	SiO2	aantal par	BIO- ENV Rho	
		x		x	x		x				x			5	5	0,505
1996	0,150	0,108	0,222	-0,069	0,125	0,044	0,093	0,127	0,216	0,167	0,185	0,193	0,080			
				x	x		x			x				4		0,302
				x			x							2		0,291
				x			x			x				3		0,287
				x	x		x			x	x			5		0,286
				x				x		x				3		0,283
			x	x	x		x	x		x		x		7	3,5	0,282
1997	0,170	0,215	-0,016	0,171	0,390	0,143	0,148	0,111	0,273	0,101	0,233	0,270	0,290			
		x			x						x			3		0,523
		x			x									2		0,513
		x			x								x	3		0,492
					x									1		0,484
					x	x					x			3		0,480
	x				x						x		x	4	3	0,478
1998	0,410	0,374	-0,078	0,323	-0,047	0,168	0,394	0,312	0,291	0,284	0,380	0,261	0,075			
	x						x							2		0,687
	x	x		x			x				x			5		0,674
		x		x			x				x			4		0,670
	x	x		x			x	x			x			6		0,668
		x		x			x							3		0,665
	x						x		x		x			4	4	0,665
1999	0,040	0,102	-0,070	0,139	0,222	0,025	0,356	0,108	0,126	0,489	0,413	0,118	0,026			
				x	x					x	x			4		0,524
										x	x			2		0,508
					x						x			2		0,508
	x				x					x	x			4		0,503
				x	x		x			x	x			5		0,502
					x					x				2	3	0,499
2000	-0,181	-0,025	-0,209	-0,121	0,118	-0,115	0,590	0,492	-0,130	0,334	0,743	-0,129	0,447			
											x			1		0,743
							x				x			2		0,703
											x		x	2		0,702
					x					x	x		x	4		0,693
							x				x		x	3		0,688
										x	x		x	3	2,5	0,687

In de rangcorrelatie-matrix (Tabel 9.4) staan de waarden 0.50-0.69 (geel) en 0.70-0.90 (rood) voor een goede, respectievelijk zeer hoge correlatie tussen het fytoplankton en de beschouwde abiotische variabe(n).

Voor 1990 en 1991 is de temperatuur blijkbaar een belangrijke factor geweest voor het fytoplankton. In 1992 is geen enkele variabele aan te wijzen als een belangrijke factor voor het fytoplankton. Voor 1993 en vooral 1994 zijn vooral de nutriënten N en P, zowel opgelost als particulier als ratio's, belangrijke factoren. Voor de jaren 1995 t/m 1999 zijn geen specifieke abiotische variabelen als belangrijke factoren aan te wijzen. Voor 2000 lijkt met name fosfaat een belangrijke rol te spelen, terwijl ook ammonium hoog scoort.

Met het multivariate programma CANOCO werd naar verklarende relaties tussen het fytoplankton en abiotische variabelen gezocht.

In eerste instantie door gegevens van de fytoplankton soorten genoemd in Tabel 9.2 te combineren met de abiotische variabelen DIN, DIP, DIN/DIP, SiO₂, saliniteit, temperatuur en doorzicht. Op de biplot lagen veel van de genoemde soorten rondom de oorsprong en hadden verder weinig binding met de pijlen van de eveneens geplote abiotische variabelen.

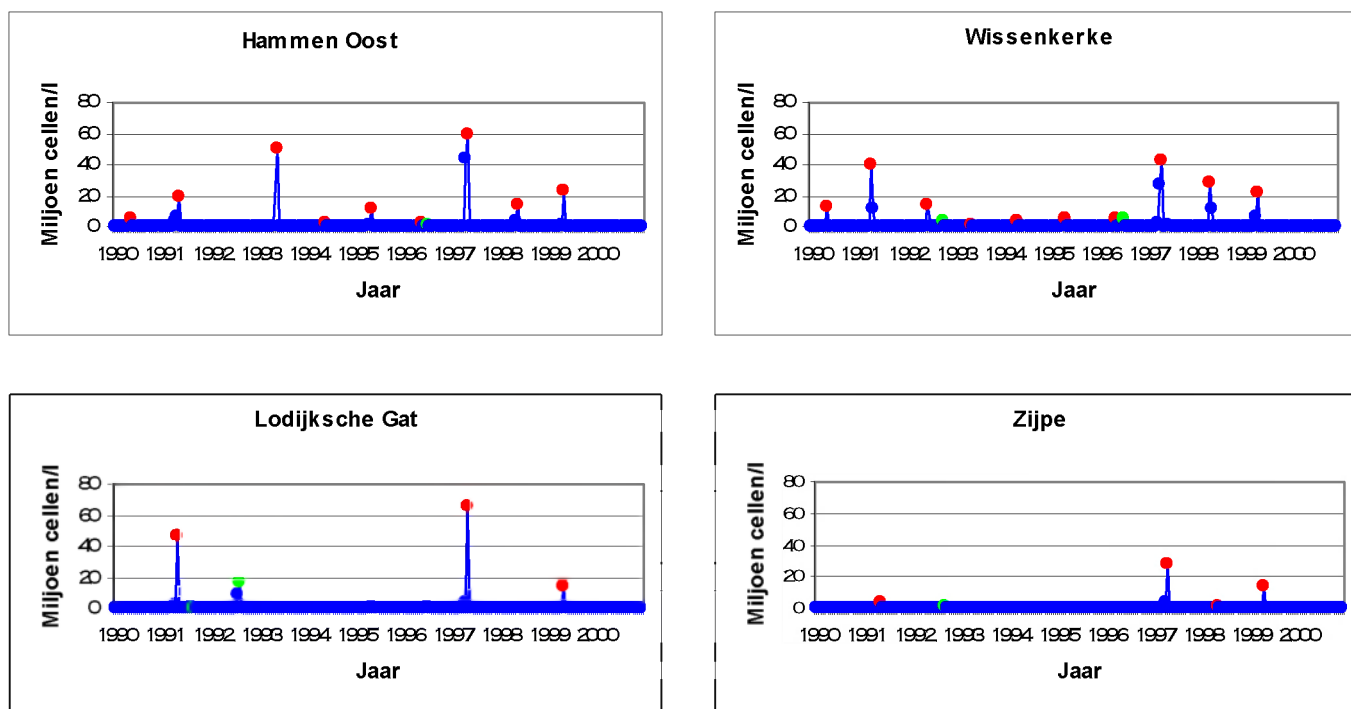
In tweede instantie werden fytoplankton <20 µm, fytoplankton >20 µm en *Phaeocystis* sp gecombineerd met bovengenoemde abiotische variabelen. De meegenomen fytoplankton groepen kwamen nu ook rondom de oorsprong terecht, daarmee aangevend dat er niet zulke duidelijke relaties zijn met de meegenomen abiotische variabelen.

9.8 *Phaeocystis*

De kolonievormende flagellaat *Phaeocystis* verdient speciale aandacht omdat de soort wordt beschouwd als een eutrofiëringsindicator. Figuur 9.11 geeft de waargenomen aantallen *Phaeocystis* op de vier Oosterschelde locaties in de jaren 1990 t/m 2000.

In vrijwel elk jaar is er een voorjaarsbloei (april/mei) op de locaties Wissenkerke en Hammen Oost in het mondingsgebied, in een aantal jaren op Lodijsche Gat in de Kom en soms op locatie Zijpe. Evenals aan het einde van de tachtiger jaren, zijn er in de jaren negentig ook niet elk jaar bloeien van *Phaeocystis*. De hoogste aantallen werden gevonden in 1997: 59 miljoen cellen/l op de locatie Hammen Oost, 42 miljoen cellen/l op de locatie Wissenkerke en 66 miljoen cellen/l op de locatie Lodijsche Gat. Dergelijke piekwaarden kwamen ook in de tachtiger jaren in de monding en de Kom van de Oosterschelde voor (zie Bakker et al., 1994). In 2000 was er op geen enkele Oosterschelde locatie een voorjaarsbloei van *Phaeocystis*. In 1992 kwamen ook zomerbloeien (juni) van *Phaeocystis* voor op de locaties Wissenkerke, Lodijsche Gat en Zijpe, met een hoogste gemeten waarde van 17 miljoen cellen/l op de locatie Lodijsche Gat. In 1996 werd op de locaties Hammen-Oost en Wissenkerke een zomerbloei waargenomen, maar met veel lagere piekwaarden, op de locatie Wissenkerke zo'n 5 miljoen cellen/l. Ook in de tachtiger jaren (1986 en 1988) werden wel eens zomerbloeien waargenomen, al waren de piekwaarden met zo'n 20 tot 40 miljoen cellen/l iets hoger (zie Bakker et al., 1994).

Phaeocystis wordt algemeen beschouwd als een indicator voor (toegenomen) eutrofiëring. Door Cadée & Hegeman (1986) werd in het Marsdiep voor de jaren 1973 t/m 1985 een significante toename van de duur van de voorjaarsbloei van *Phaeocystis* met meer dan 1000 cellen/ml gevonden. Ook was er een significante toename van het aantal dagen per



.....
Figuur 9.11

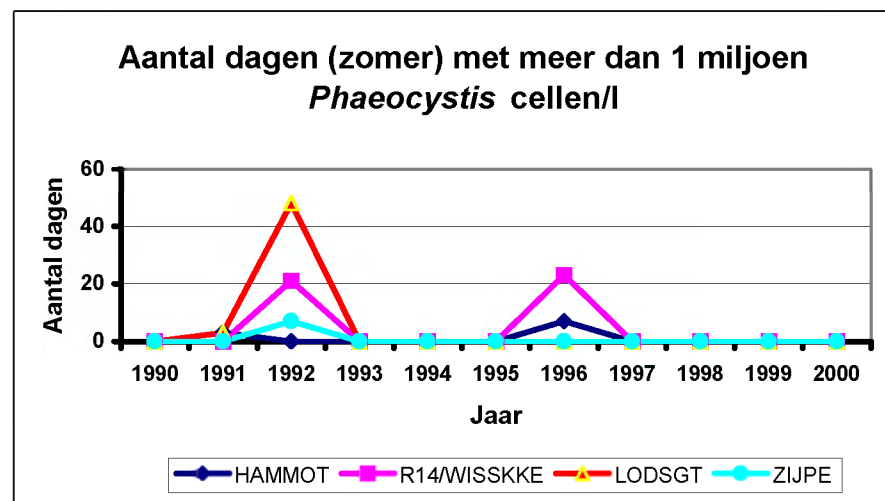
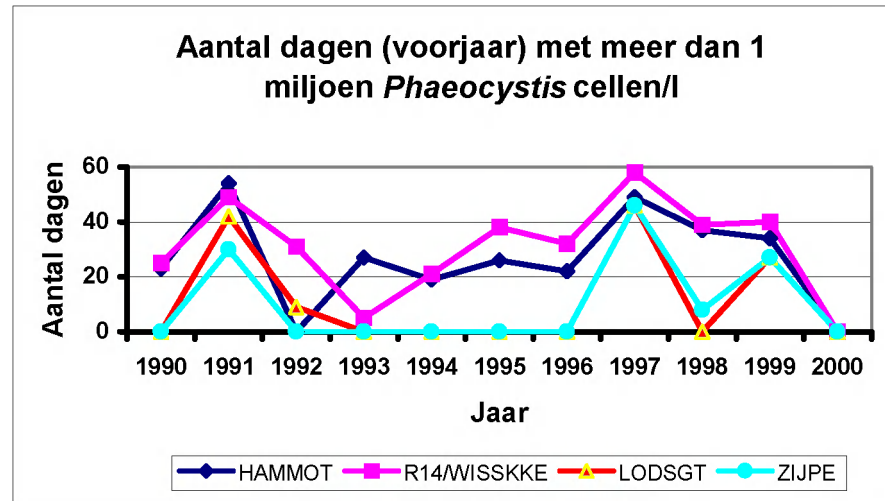
Aantal *Phaeocystis* cellen/l op de monitoring-locaties Hammen-Oost, Wissenkerke, Lodijsche Gat en Zijpe in de periode 1990 t/m 2000. ○=voorjaarsbloei en ●=zomerbloei met meer dan 1 miljoen cellen/l.

jaar met meer dan 1000 cellen/ml. Deze toenames vielen samen met een toenemende eutrofiëring van de Nederlandse kustwateren. Een veel gebruikt criterium voor bloei is dan ook het aantal dagen met meer dan 1 miljoen *Phaeocystis* cellen/l. Met behulp van lineaire interpolatie werd het aantal dagen met meer dan 1 miljoen *Phaeocystis* cellen/l geschat (zie Figuur 9.12). In de figuur is bij het aantal dagen met meer dan 1 miljoen cellen/l onderscheid gemaakt in voorjaars- en zomerwaarnemingen.

Op de locaties Hammen Oost en Wissenkerke worden de hoogste waarden gevonden voor de lengte van de voorjaarsbloei, in de meeste jaren zo tussen 20 en 50 à 60 dagen met meer dan 1 miljoen *Phaeocystis* cellen/l. Ook op de locaties Lodijsche Gat en Zijpe worden in een aantal jaren dergelijke waarden bereikt. Ook in de tachtiger jaren werden dergelijke waarden voor de voorjaarsbloei bereikt, al waren de waarden in de jaren 1989 en 1990 iets lager (zie figuur 5 in Bakker et al., 1994). De neergaande trend voor de monding van de Oosterschelde en het vrijwel afwezig zijn van *Phaeocystis* op de locatie Lodijsche Gat (als oorzaak worden de lage nitraat concentraties vermoed), heeft zich in ieder geval niet doorgezet in de negentiger jaren.

Heel opvallend is dat gedurende de periode 1992 t/m 1996 geen voorjaarsbloei op de locaties Lodijsche Gat en Zijpe worden waargenomen, maar wel op de locaties in het mondingsgebied. Uit eerdere ervaringen weten we dat de bloeien van *Phaeocystis* van uit de Noordzee de Oosterschelde binnenkomen en zich dan door menging verder naar achter in de Oosterschelde verspreiden. Blijkbaar zijn er in de jaren 1992 t/m 1996 één of meerdere factoren er voor verantwoordelijk geweest dat de *Phaeocystis*-bloei niet doorgezet hebben tot verder in de

Oosterschelde. De in 2000 waargenomen afwezigheid van een *Phaeocystis* voorjaarsbloei was niet specifiek voor de Oosterschelde, maar gold op heel veel locaties van het fytoplankton monitoring netwerk in de Nederlandse zoute wateren (Koeman et al., 2002); op een aantal van deze locaties werden in 2000 wel (kortdurende) zomerbloeien waargenomen.



Figuur 9.12

Aantal dagen in het voorjaar (maart t/m mei, boven) en in de zomer (juni t/m augustus, onder) met meer dan 1 miljoen *Phaeocystis* cellen/l op de monitoring-locaties Hammen-Oost, Wissenkerke, Lodijsche Gat en Zijpe in de periode 1990 t/m 2000.

9.9 Referenties

BAKKER, C., P.M.J. HERMAN & M. VINK, 1990. Changes in seasonal succession of phytoplankton induced by the storm-surge barrier in the Oosterschelde (S.W. Netherlands). *Journal of Plankton Research* 12: 947-972.

BAKKER, C., P.M.J. HERMAN & M. VINK, 1994. A new trend in the development of the phytoplankton in the Oosterschelde (SW Netherlands)

during and after the construction of a storm-surge barrier. *Hydrobiologia* 282/283: 79-100.

CADÉ E, G.C. & J. HEGEMAN, 1986. Seasonal and annual variation in *Phaeocystis pouchetii* (Haptophyceae) in the westernmost inlet of the Wadden Sea during the 1973 to 1985 period. *Netherlands Journal of Sea Research* 20: 29-36.

KOEMAN, R.P.T., R. BIJKERK, K. FOCKENS, A.L. DE HAAN & P. ESSELINK, 2002. Biomonitoring van fytoplankton in de Nederlandse zoute wateren 2000. Rapport nr. 2001-21: 1-116.

10. Bijlage 5: Primaire productie fytoplankton

J.C. Kromkamp & J. Peene

Nederlands Instituut voor Ecologie, Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie, Postbus 140, 4400 AC Yerseke

Verandert de primaire productie van fytoplankton in de Oosterschelde in de periode 1990 t/m 2000?

De primaire productie van het fytoplankton werd op 5 locaties gemeten in de jaren 1991, 1993, 1996, 1998 en 2000. De primaire productie in de niet bemeten jaren werd met behulp van een model geschat uit de hoeveelheid chlorofyl-a, de dagelijkse instraling en de fotische diepte.

De gemeten jaarproducties laten alle een afname zien, met uitzondering van de noordelijke tak. Deze afname is significant ($p < 0.05$) voor het oostelijke en centrale deel van de Oosterschelde; de afname in het westelijke deel is net niet significant.

De gemodelleerde producties laten voor alle locaties, met uitzondering van de monding, een afname zien in de periode 1990 t/m 2000. Alleen de afname in het centrale deel blijkt significant te zijn. Bij nadere beschouwing blijken de gemodelleerde producties een lichte toename te laten zien voor de periode 1990 t/m 1996, gevolgd door een afname in de jaren daarna. Na toetsing bleek dat de locaties in het centrale deel een significant ($p < 0.05$) lagere productie hebben sinds 1996; de lagere productie in het oostelijke deel was net niet significant.

Uit onderzoek met gelabeld nitraat en ammonium en variabele fluorescentie technieken blijkt dat de primaire productie van het fytoplankton in de Oosterschelde niet beperkt wordt door nutriënten. Alleen de concentraties fosfaat en silicaat zijn in het voorjaar zeer laag en potentieel limiterend. Berekende turnoversnelheden lieten een sterke koppeling zien tussen ammonium en particulier stikstof (voor het merendeel fytoplankton), hetgeen er op wijst dat het fytoplankton groeit op geregenereerd stikstof.

Met uitzondering van de monding laten alle locaties een significant ($p < 0.05$) verband zien tussen de afname van het jaargemiddeld doorzicht en de gemodelleerde jaarproducties.

10.1 Inleiding

Als gevolg van de Oosterschelde werken onderging het ecosysteem van de Oosterschelde grote veranderingen. Door het plaatsen van de stormvloedkering en de compartimentalisatiedammen (Philipsdam en Oesterdam) nam het getijvolume met 30% af en de zoetwatertoevoer verminderde met 65%, waardoor de nutriëntenbelasting van de Oosterschelde sterk afnam. Ook het zwevende stof gehalte nam sterk af, waardoor de helderheid van het water sterk toenam (Wetsteyn & Kromkamp, 1994). Primaire productie van fytoplankton staat aan de basis van het voedselweb, veranderingen in primaire productie kunnen dus het functioneren van het ecosysteem sterk beïnvloeden, en een afname in primaire productie zou ook de mosselindustrie schade kunnen berokkenen. Het effect van de Oosterscheldewerken was moeilijk te voorspellen: de afname van nutriënten zou nutriëntlimitatie van biomassa en of productie

kunnen induceren ("oligotrofiëring"), maar de toename in het doorzicht zou de primaire productie kunnen stimuleren. Uit een studie van Wetsteyn & Kromkamp (1994) bleek dat de primaire productie in de periode 1980-1990 varieerde tussen de 176 en 550 g C m⁻² jaar⁻¹. Er was een lichte afname in het westelijke compartiment, terwijl de primaire productie in het centrale en oostelijke compartiment niet significant veranderde. De fytoplankton biomassa bleef onveranderd in het westelijke en centrale deel, maar nam toe in het oostelijke deel. In het algemeen waren de veranderingen in fytoplankton biomassa en primaire productie dus zeer beperkt. Het grootste effect van ingrepen was dat de ruimtelijke verschillen binnen de Oosterschelde verdwenen.

Ondanks het feit dat de functionaliteit dus niet veranderde, veranderde het fytoplankton wel van samenstelling omdat het abiotische milieu veranderde: voor de plaatsing van de stormvloedkering was het fytoplankton gelimiteerd door licht en silicaat, maar na de voltooiing van de Oosterschelde werken werd het fytoplankton hoogstwaarschijnlijk gelimiteerd door nitraat en silicaat (Wetsteyn & Kromkamp, 1994). Het fytoplankton reageerde hierop door een toename van het aantal flagellaten in de zomer en minder zwaar gesilificeerde diatomeeën (Bakker et al., 1994).

In dit hoofdstuk onderzoeken we of de situatie die zich voordeed in de eerste jaren na de afsluiting al tot steady state zijn gekomen, of dat de fytoplankton biomassa en primaire productie in de Oosterschelde nog steeds verandert, en doen we een poging om te zien of die verandering in primaire productie het gevolg zijn van de Deltawerken, of dat ze het gevolg zijn van klimaatverandering.

10.2 Materiaal en methoden

De volgende analyses zijn gebaseerd op gegevens verzameld door het NIOO-CEME, als onderdeel van zijn monitoring programma uitgevoerd m.b.v. het onderzoeksschip de Luctor. In de meeste jaren is 2x per maand gemonsterd (soms met uitzondering van de winterperiode waarin maandelijks werd bemonsterd). In 1997 is slechts 1x per jaar is bemonsterd, en in 1995 zijn er geen data uit de periode januari-april. Uit 1992 ontbreken op dit moment de data. Primaire productie werd bepaald op de volgende punten: Lodijsche Gat (oostelijke compartiment, 51°29'46"N, 04°08'01"E), Zandkreek (O-Z, centrale compartiment, 51°32'89"N, 03°55'78"E), Zeelandbrug (ZLB, centrale compartiment 51°35'80"N, 03°53'42"E), Roompot (westelijke compartiment 51°36'79"N, 03°44'61"E) en de "Keeten-Krabbenkreek" in de noordelijke tak (51°37'65"N, 04°04'64"E).

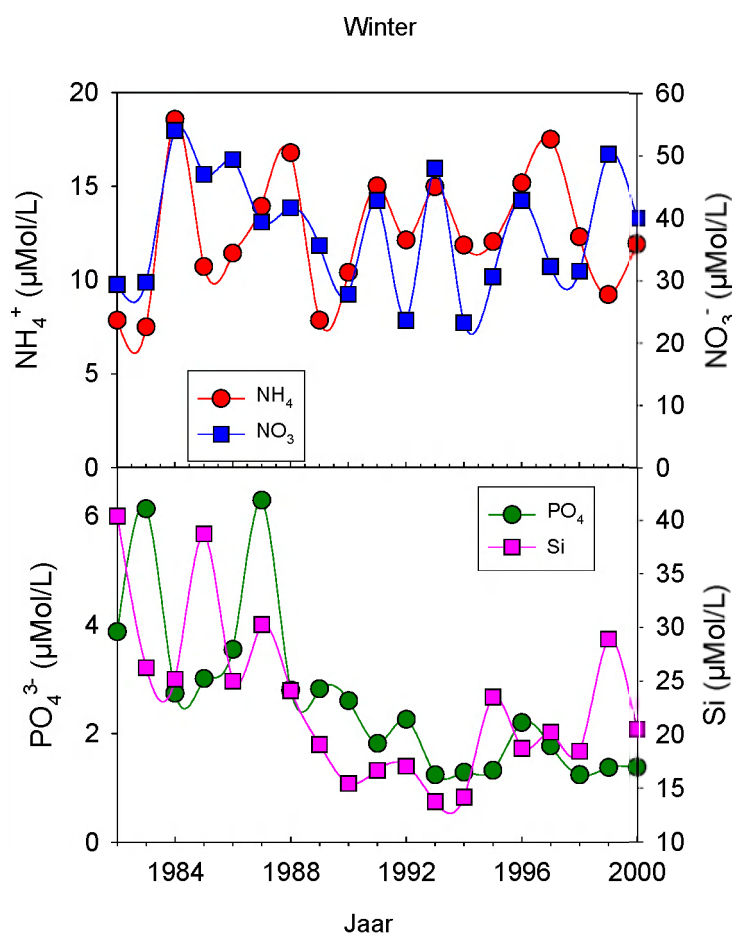
Nutriënten zijn bepaald na filtratie m.b.v. een autoanalyser, en chlorofyl *a* is bepaald m.b.v. reversed-phase HPLC analyses (Gieskes & Kraay, 1975; Jeffrey et al., 1997). Temperatuur, saliniteit en pH werden bepaald met een CTD (H20, hydrolab). Licht (PAR, 400-700 nm) werd gemeten met een Li-Cor 193SB cosine PAR-sensor, en de dagelijkse instraling (PAR, uurgemiddelden) werden gemeten met een Li-Cor LI192 cosine sensor op het dak van het NIOO-CEME.

Primaire productie werd aan boord van de R.V. Luctor gemeten onmiddellijk na het monstern. Elf 60 ml (in duplo) monsters werden geïncubeerd in een "rotating incubator" (in situ temperatuur) gedurende 2 uur met NaH¹⁴CO₂. Na de incubatie werden de monsters gefiltreerd, aangezuurd

(om niet gebonden $\text{NaH}^{14}\text{CO}_2$ te verwijderen) en werd de radioactiviteit bepaald. De totale hoeveelheid CO_2 ($\text{CO}_2 + \text{HCO}_3^-$ en CO_3^{2-}) werd bepaald m.b.v. potentiometrische titratie. De lichtintensiteit in de incubator varieerde tussen de 0 en $850 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. De fotosynthese lichtcurves werden gefit m.b.v. (Eilers & Peeters, 1988), en gecorrigeerd voor de kombergingsgegevens. De daggemiddelden werden lineair geïnterpoleerd tussen de verschillende monsterdagen om de jaarproductie te berekenen. Primaire productie is gemeten in de jaren 1991, 1993, 1996, 1998 en 2000.

10.3 Resultaten

Nutriënten: winter



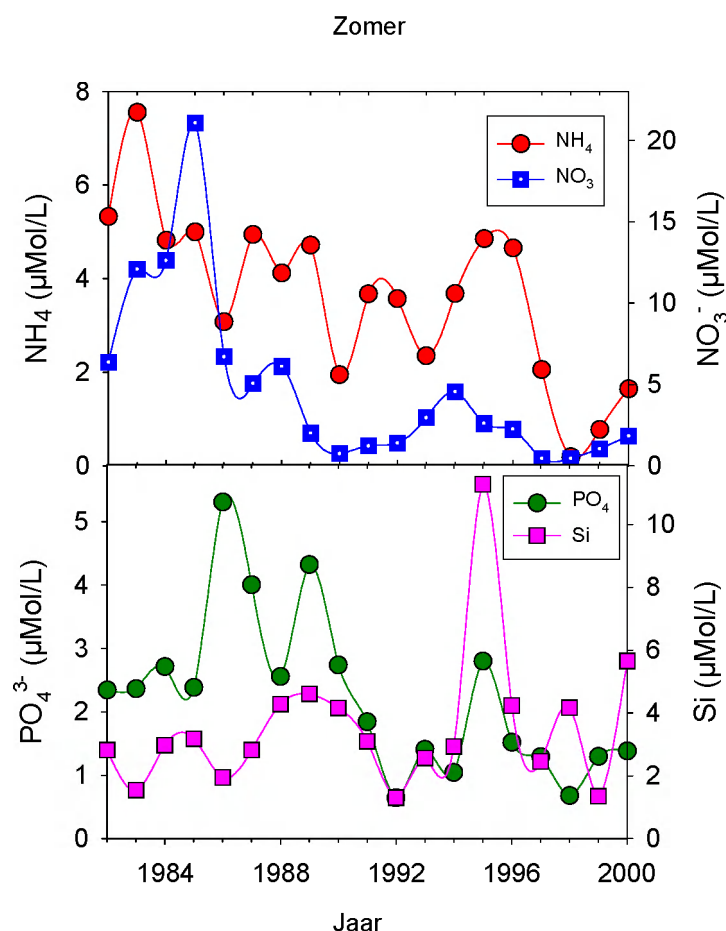
Figuur 10.1

Gemiddelde nutriënten concentraties in de winter (december t/m februari) gedurende de periode 1980 t/m 2000 op de locatie Lodijsche Gat.

DIN (dissolved inorganic nitrogen) op de locatie Lodijsche Gat vertoont grote variabiliteit van jaar tot jaar, vooral sinds de voltooiing van de Oosterschelde werken. Alhoewel de maximale nitraat concentraties niet significant verschillen, lijkt het erop alsof de minimale concentraties tussen 1990 en 1995 lager zijn dan in de periode 1995-2000. Ook de wintersilicaatgehalten zijn hoger in de periode 1995-2000, dan in de periode 1990-1995. Dit zou er op kunnen wijzen dat de laatste jaren meer

neerslag hebben vertoond dan normaal, aangezien het Si en het nitraat gehalte positief correleren met meer neerslag (verhoogde rivierafvoer).

Nutriënten: zomer



Figuur 10.2

Gemiddelde nutriënten concentraties in de zomer (juni t/m augustus) gedurende de periode 1980 t/m 2000 voor de locatie Lodijsche Gat.

De zomer nitraatconcentraties op de locatie Lodijsche Gat zijn afgenomen als gevolg van de Oosterscheldewerken, maar in de periode 1990 t/m 2000 lijken zich geen significante veranderingen te hebben voorgedaan, alhoewel er flinke variaties zijn van jaar tot jaar. Hetzelfde geldt voor fosfaat. Silicaat toont grote variaties (uitschieter in 1995) van jaar tot jaar, maar er lijkt geen significant patroon zichtbaar. Ammonia concentraties lijken de laatste paar jaren lager, maar vertonen een opgaande trend.

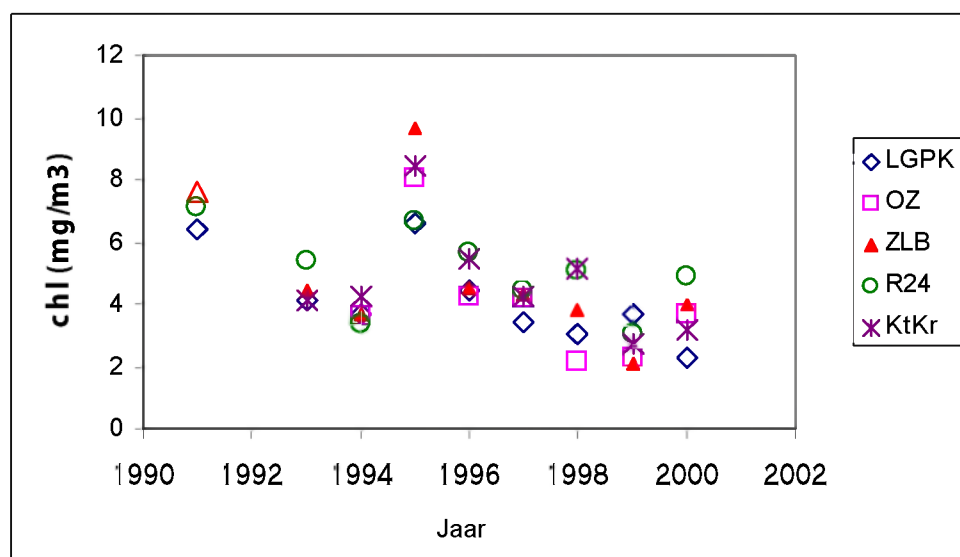
Voor een trend analyse van alle nutriënten op vier Oosterschelde locaties wordt verwezen naar hoofdstuk 5 van dit rapport.

Aan de hand van deze gegevens kan worden geconcludeerd dat het onwaarschijnlijk is dat het fytoplankton in zijn groei of fotosynthese wordt beperkt door nutriënten. De door Wetsteyn & Kromkamp (1994) eerder gestelde hypothese dat het fytoplankton waarschijnlijk N-beperkt zal zijn na afsluiting lijkt dan ook niet waar. Overigens moet hierbij worden

opgemerkt dat in het voorjaar er een korte periode lijkt te bestaan waarin het fytoplankton wel degelijk gelimiteerd lijkt door fosfaat en/of silicaat. Aangezien deze periode kort duurt (zie verderop) heeft dit slechts een beperkte invloed op de totale jaarlijkse productie.

Fytoplankton biomassa (chlorofyl a)

Uit Figuur 10.3 blijkt dat er grote schommelingen voorkomen in het gemiddelde fytoplankton gehalte, vooral in de periode 1990 t/m 1995. De verschillen tussen de stations zijn klein, en er is dus weinig horizontale variabiliteit in de fytoplanktonbiomassa. Dit maakt het mogelijk om analyses uit te voeren op basis van samengevoegde gegevens. De fytoplankton concentratie in de periode 1996 t/m 2000 is significant lager dan in de periode 1990 t/m 1995 ($p < 0.00027$, zowel met 1-way ANOVA ($F=15.96$) als met t-test met gelijke variantie). Alhoewel er een lichte afname sinds 1996 lijkt te zijn, is die afname niet significant (lineaire regressie analyse), hetgeen betekent dat in de periode 1996 t/m 2000 er geen significante verandering is in de fytoplanktonbiomassa.



.....

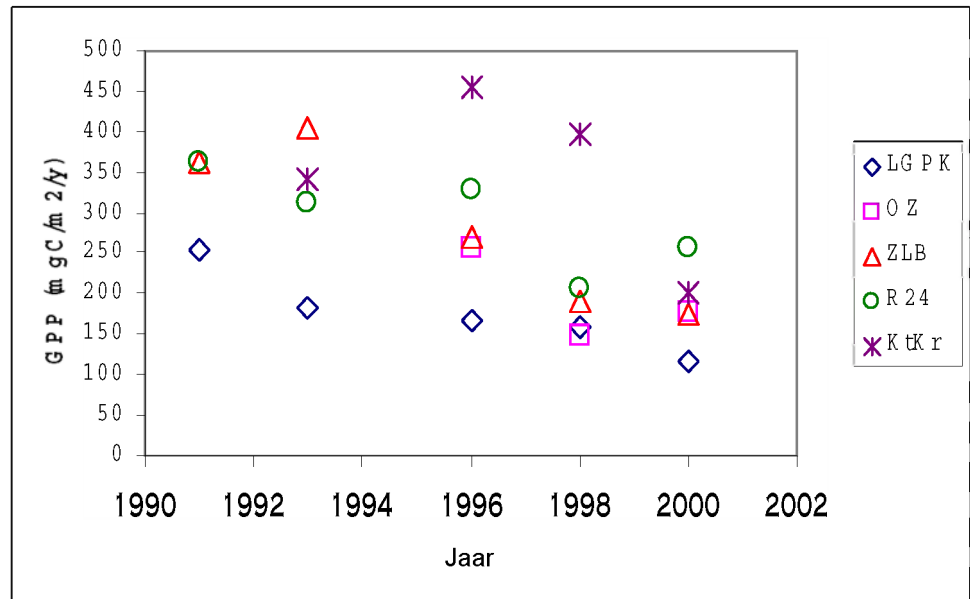
Figuur 10.3

Verandering in fytoplankton biomassa (gewogen jaargemiddelden).

Gemeten jaarproducties

In tegenstelling tot de fytoplankton biomassa, zijn er grote verschillen in primaire productie (Figuur 10.4). Deze verschillen worden vooral veroorzaakt door de morfologie van de zeearm: de gemiddelde diepte in het oostelijke deel (4.1 m) is veel minder dan in de rest van de Oosterschelde. Aangezien de diepte tot waarop fotosynthese mogelijk is (Zeu, de fotische diepte), i.h.a. groter is dan 4 m, betekent dit dat de potentiële primaire productie door de "geringe" diepte wordt beperkt. Anderzijds betekent dit dat er tijdens hoog water in grote delen van het oostelijke compartiment primaire productie mogelijk is door bentische diatomeeën. Helaas zijn hier geen gegevens over, maar het lijkt raadzaam hier verder onderzoek naar te doen.

De gemeten jaarproducties variëren tussen de 115 en 456 gC m⁻² jaar⁻¹, en alle stations laten een afname zien, met uitzondering van de noordelijke tak (KtKr).

**Figuur 10.4**

Jaarproducties van fytoplankton (kombergingsproductie) in de periode 1990 t/m 2000. De productie in het oostelijke compartiment (Lodijksche Gat (LGPK)) is duidelijk lager vanwege de relatief geringe diepte in dit deel van de Oosterschelde.

Analyse van de gegevens in de onderstaande Tabel 10.1 toont aan dat de afname significant is voor het oostelijke compartiment (LGPK) en het centrale compartiment (ZLB). De afname in het westelijke deel van de Oosterschelde is niet significant.

Tabel 10.1

Statistische gegevens regressieanalyse primaire productie 1991-2000 voor de verschillende stations. De getallen tussen haakjes geven de kans aan op een significante afname aan de hand van de gemodelleerde productiedata, weergegeven in Figuur 10.8. Een kans kleiner dan 0.05 wordt significant geacht.

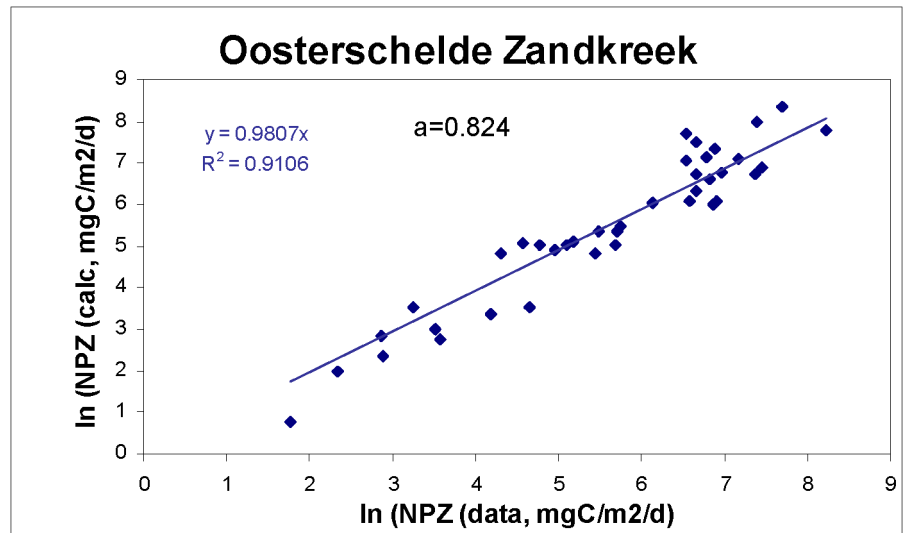
Station	Adjusted r^2	F	p
LGPK	0.83	21.474	0.0189 (0.164)
OZ			(0.019)
ZLB	0.82	19.344	0.0218 (0.147)
Roompot	0.53	5.595	0.0989 (0.636)
Kt-Kr	0.00	0.602	0.5188 (0.133)

Gemodelleerde jaarproducties

Gezien de grote variabiliteit van jaar tot jaar is een grotere dataset eigenlijk gewenst. Daarom hebben we geprobeerd de standaard monitoring gegevens te gebruiken om een simpel model te ontwikkelen. Uit de nutriëntgegevens blijkt dat behoudens een korte periode in het voorjaar het fytoplankton in zijn groei niet beperkt is door nutriënten. We hebben daarom een eenvoudig model gebruikt om de primaire productie te schatten uit de biomassa B (chl), de dagelijkse instraling (E_o) en de fotsche

diepte ($Z_p = 4.6/K_d$, waarin K_d de verticale extinctie coëfficiënt is (Cole & Cloern, 1987):

$$P = a \frac{B \times E_o \times 4.6}{K_d} = a(B \times E_o \times Z_p) = \quad (1).$$



Figuur 10.5

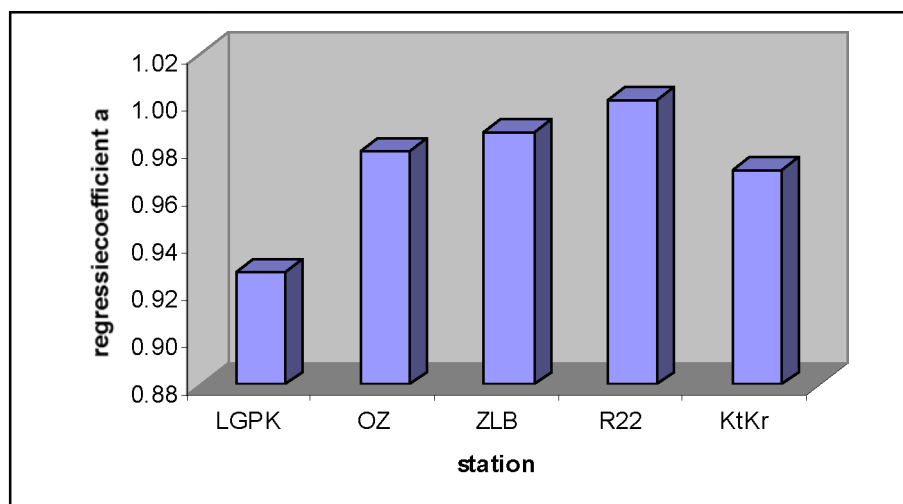
Voorbeeld van gemeten (X-as) berekende (Y-as) komberingsproductie (NPZ). NPZ= net photic zone production = komberginsproductie met als aanname dat de ^{14}C -methode netto fotosynthese meet. De meest recente modellen gaan hiervan uit. (Williams and Lefèvre 1996). De richtingscoëfficiënt a is een gefitte constante die ervoor zorgt dat de gemeten en berekende productiewaarden op een 1:1-lijn liggen.

Figuur 10.5 laat zien dat het goed mogelijk is om uit monitoring gegevens primaire productie te schatten. Voor alle stations bleek het mogelijk om de primaire productie te berekenen met een vergelijkbare nauwkeurigheid, en de regressiecoëfficiënt a voor de verschillende stations lijken nauwelijks van elkaar te verschillen (zie Figuur 10.6).

Omdat extinctiemetingen alleen zijn uitgevoerd tijdens jaren dat ook de primaire productie werd gemeten, is het nog steeds niet mogelijk om uit het monitoring programma de primaire productie te berekenen. Om dit reden werd de extinctiecoëfficiënt K_d berekend uit het doorzicht (Z_s), gemeten met een Secchi schijf. Het verband tussen K_d en Z_s is niet-lineair en kan als volgt worden beschreven (zie ook Figuur 10.7):

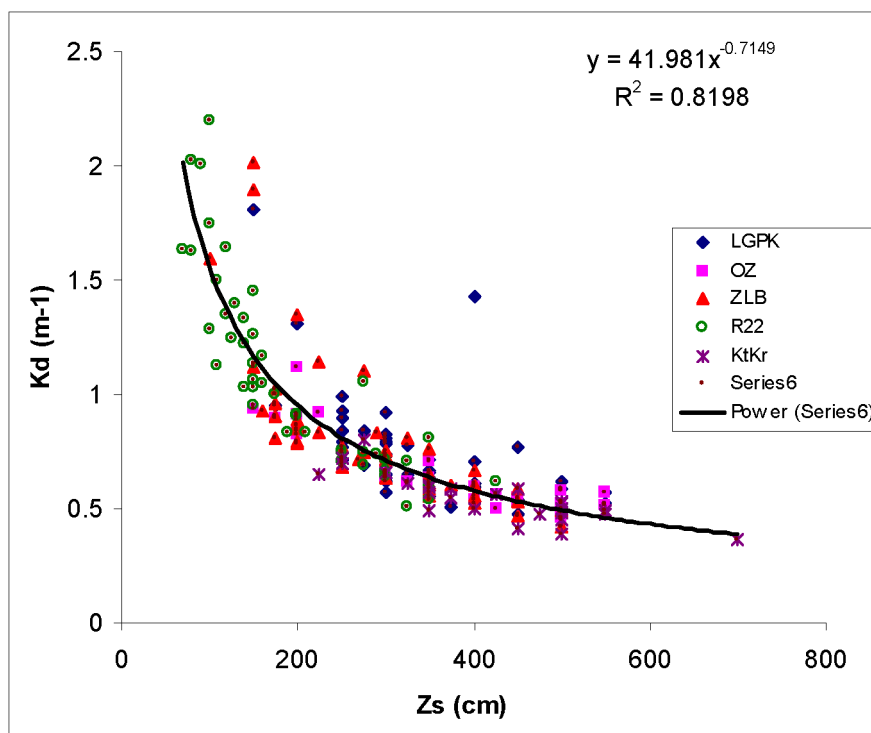
$$K_d = 41.981 Z_s^{-0.7491} \quad (2).$$

Met behulp van deze formule werd de extinctiecoëfficiënt berekend voor alle monsterdagen, en werd vervolgens de primaire productie berekend in de periode 1990 t/m 2000.



Figuur 10.6

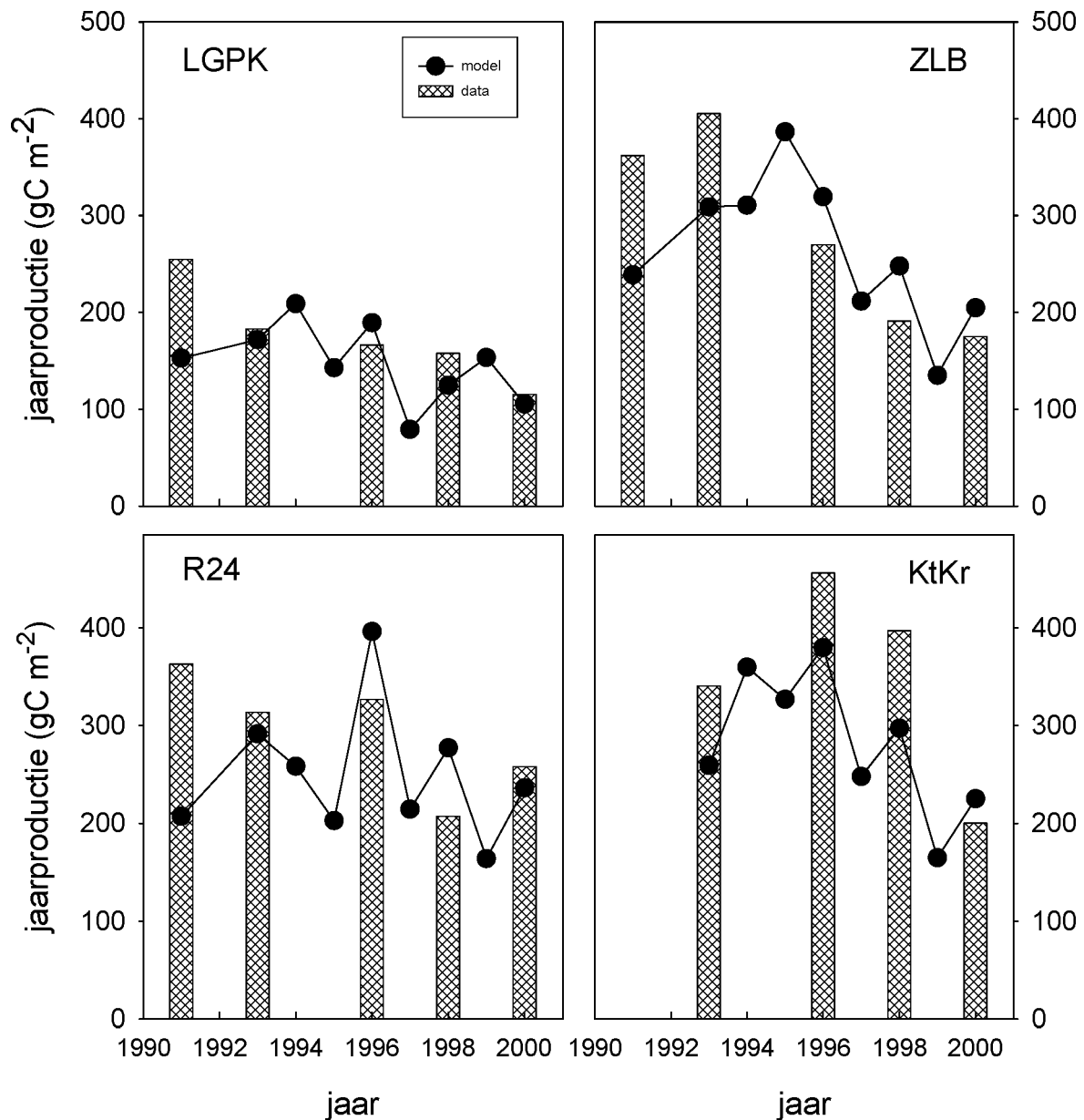
Regressiecoëfficiënt (conversiefactor) om primaire productie te berekenen uit chlorofyl *a*, instraling en fotische diepte (vergelijking 1). De verschillen tussen de stations zijn klein, alleen LGPK (Lodijksche Gat) vertoont een lagere waarde. Dit is volgens verwachting, aangezien het hier een ondiepe locatie betreft (NB: let op de schaal).



Figuur 10.7

Relatie tussen extinctiecoëfficiënt (K_d) en doorzicht (Z_s). De gefitte lijn is berekend door de data van de verschillende stations samen te voegen tot één dataset.

Figuur 10.8 geeft de berekende jaarproducties weer, gebaseerd op fotische diepten, berekend uit het doorzicht (lijnen) in vergelijking tot producties berekend op basis van fotische diepten, berekend uit gemeten extinctiewaarden. Over het algemeen is de overeenkomst tussen de gemeten ^{14}C -data en de gemodelleerde data uitstekend, alleen in 1991 is de overeenkomst minder goed. De gemodelleerde data laten alle een afname zien in de laatste 5-7 jaren, met uitzondering van de situatie in de monding, waar geen significante veranderingen lijken op te treden. De resultaten van de gemodelleerde data ondersteunen dus de conclusie dat de primaire productie in meerdere delen van de Oosterschelde aan het afnemen is.



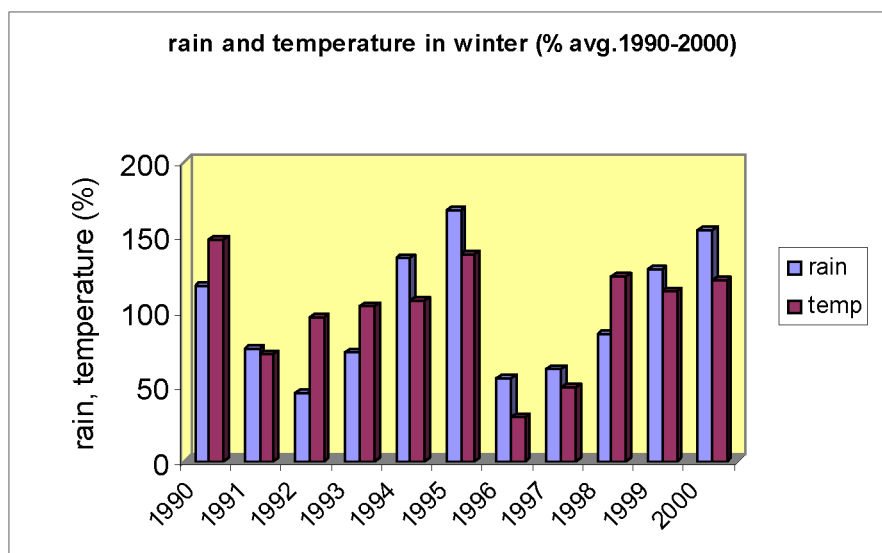
Figuur 10.8

Gemodelleerde jaarproducties m.b.v. vergelijking 1 (lijnen) en gemeten jaarproducties (balken). Producties als particuliere kombergingsproductie. De overeenkomst is in het algemeen uitstekend, met uitzondering van 1991, waarin de gemeten waarden hoger zijn dan de gemodelleerde.

De statistische analyses met betrekking tot de gemeten producties suggereren een afname in het centrale en oostelijke deel, terwijl de gemodelleerde data ook een afname lijken te suggereren in de noordelijke tak. De conclusie dat de primaire productie dus overal in de Oosterschelde aan het afnemen is, met uitzondering van het westelijke deel dat regelmatig wordt verversd met Noordzeewater, is op dit moment slechts met de nodige voorzichtigheid te trekken. Dit kan twee oorzaken hebben:

- Er is inderdaad geen afname in sommige delen van de Oosterschelde;
- Er is een afname, maar door de jaarlijkse variatie in de data is de tijdserie nog niet lang genoeg om dit aan te tonen. Deze laatste hypothese is onze werkhypothese.

De werkhypothese gaat er vanuit dat de veranderingen worden gestuurd doordat er nog geen steady state is bereikt in het Oosterschelde ecosysteem of dat de veranderingen worden gestuurd door veranderingen in het klimaat. Figuur 10.9 laat de gemiddelde neerslag (in procenten) in de winter zien als functie van het gemiddelde in de periode 1990 t/m 2000. Hieruit blijkt dat er een cyclisch patroon aanwezig lijkt te zijn in het weer met een periode van 5 jaar.



Figuur 10.9

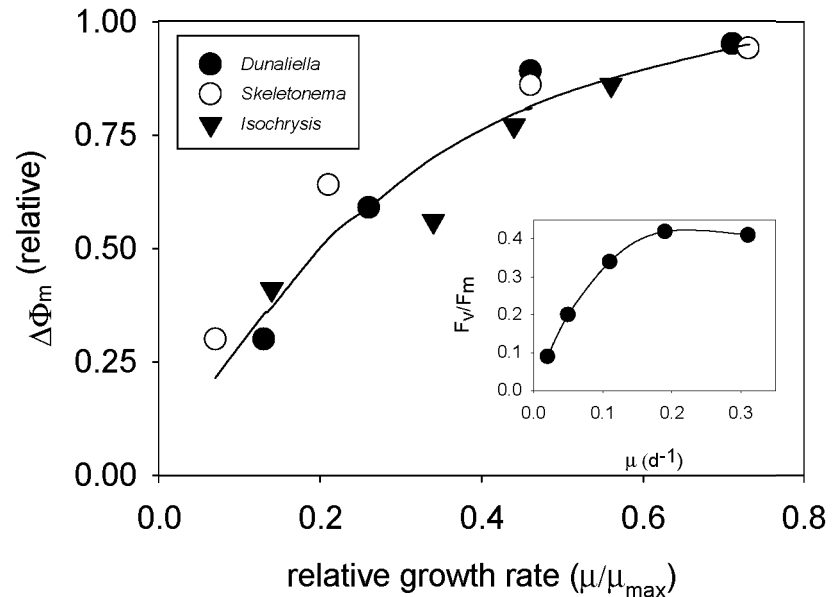
Gemiddelde neerslag en temperatuur (in % 1990 t/m 2000) in de winter.

Veranderingen in neerslag zijn duidelijk gerelateerd aan veranderingen in het klimaat.

Nutriëntlimitatie

Nutriëntlimitatie van fytoplankton primaire productie is nader onderzocht in 1996 en 1998. Omdat oorspronkelijk het idee bestond dat het fytoplankton in de Oosterschelde een N-limitatie zou gaan ondervinden als gevolg van de ingrepen in de Oosterschelde is de turnoversnelheid van verschillende stikstofpools gemeten door in 1996 opname-experimenten uit te voeren met $^{15}\text{NO}_3$ en $^{15}\text{NH}_4$. De 2-uur durende incubaties werden uitgevoerd op het dek van de R.V. Luctor in het licht en het donker, en de inbouw van gelabeld nitraat en nitriet werd bepaald m.b.v. massaspectrometrie ((Dugdale & Wilkerson, 1986; Dugdale et al., 1990). Daarnaast werd de quantumefficiëntie van de fotosynthese gemeten m.b.v. variabele

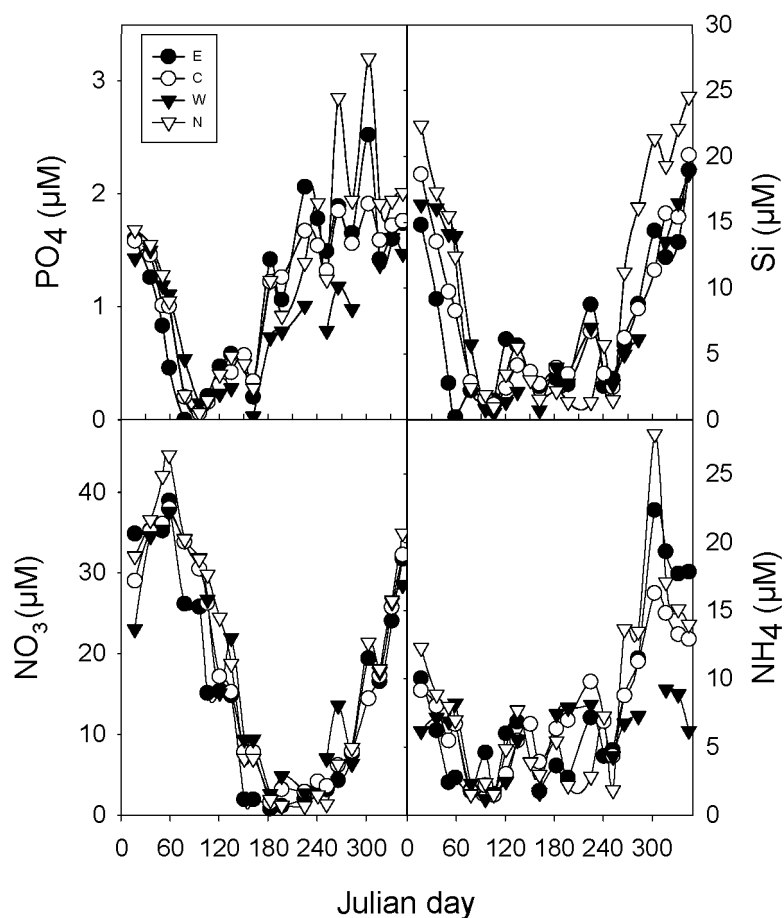
fluorescentie technieken ("PAM-fluorescentie"). Onderzoek door (Kolber et al., 1988) voor N-gelimiteerde algen, door ons voor P-gelimiteerde algen (Figuur 10.10) en door (Lippemeier et al., 1999) voor silicaat toont aan dat als de algen gelimiteerd zijn door nutriënten dit hun fotosynthese efficiëntie nadelig beïnvloedt.



Figuur 10.10

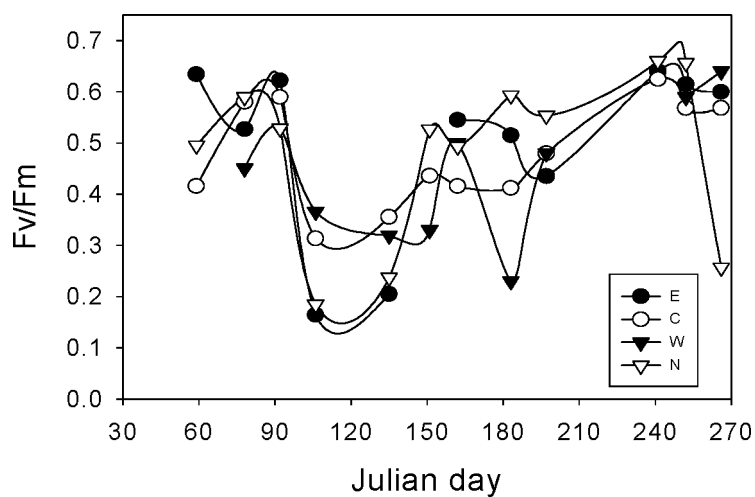
Verandering in fotosynthese efficiëntie (Y-as) als gevolg van de intensiteit van een N-limitatie of P-limitatie (inzet). Data uit Kolber et al. (1988) en Flameling (1998). Een lagere groeisnelheid (μ) betekent dat de intensiteit van de limitatie sterker wordt, en dat dit de fotosynthese efficiëntie verlaagt.

De jaarlijkse dynamiek in nutriëntgehalte zoals gemeten in 1996 staat weergegeven in Figuur 10.11. Zoals te zien zijn de concentraties fosfaat en silicaat in het voorjaar zeer laag, en potentieel limiterend. De fosfaatconcentraties herstellen zich weer in de zomer, waarschijnlijk als gevolg van nalevering door het sediment. De silicaatconcentraties blijven langer laag. Lage concentraties op zich zijn echter geen bewijs voor limitatie, omdat de flux nog steeds hoog kan zijn. Zoals Figuur 10.12 laat zien is er een verlaagde fotosynthese efficiëntie (F_v/F_m , de maximale efficiëntie van fotosysteem II) in het voorjaar die ongeveer samenvalt met de lage fosfaat- en silicaatconcentraties, alhoewel de verlaging in F_v/F_m een tot twee weken na-ijlt, waarschijnlijk omdat de algen nog even kunnen doorgroeien op in de cel opgeslagen reservehoeveelheden (voor meer informatie zie Kromkamp & Peene, 1999).



Figuur 10.11

Nutriëntconcentraties in de Oosterschelde in 1996. E = oostelijke deel; C = centrale deel; W = westelijke deel; N = noordelijke tak.



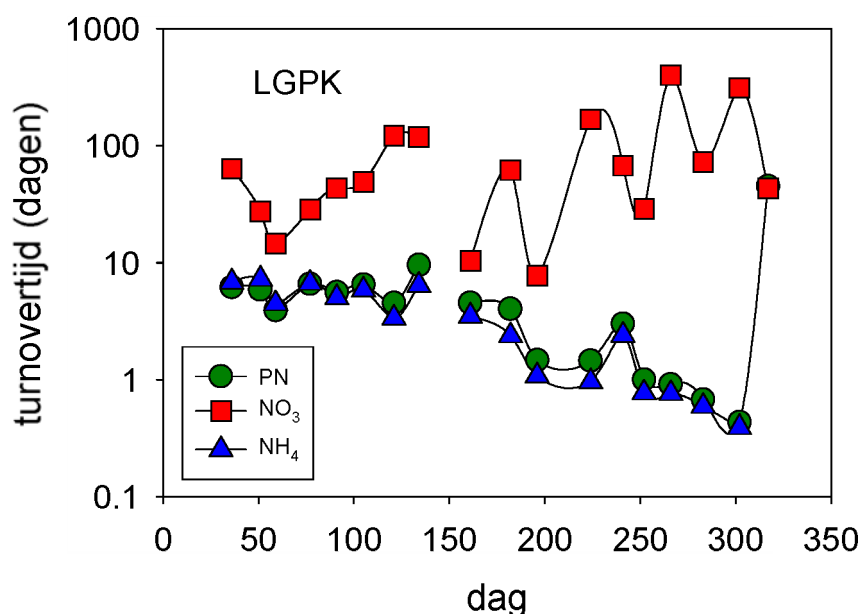
Figuur 10.12

Fotosynthese efficiëntie (Fv/Fm) in 4 compartimenten Oost, Centraal, West en Noord).

Nadere beschouwing van Figuur 10.12 leert dat de limitatie het sterkst was in het centrale en noordelijke deel van de Oosterschelde. De sterke afname in Fv/Fm rond dag 265 in de noordelijke tak werd veroorzaakt doordat er via de sluizen een grote drijvende populatie van de zoetwater cyanobacterie *Microcystis* werd aangetroffen. De zoutstress veroorzaakte een afname in de fotosynthese efficiëntie. Figuur 10.11 laat ook zien dat er altijd nitraat of ammonium beschikbaar is, en dat N-limitatie dus in 1996 niet optrad, en zoals eerder opgemerkt lijkt het erop dat N nooit beperkend is. De resultaten voor 1998 waren vergelijkbaar, alhoewel de verlaging in Fv/Fm minder sterk was, suggererend dat de nutriëntlimitatie minder sterk was.

Als op basis van de aanwezige stikstofconcentratie in de winter en de toevoer via afwatering en polderuitslag een schatting gemaakt wordt van de primaire productie dan valt die 4-6 x lager uit dan de gemeten primaire productie: er moet dus een sterke mate van turnover zijn om de hogere primaire productie te verklaren op basis van de standing stocks in de winter en de toevoer gedurende het jaar. M.b.v. de N-opname snelheden gemeten kon de turnovertijd van de diverse stikstof pools worden berekend (Figuur 10.13).

De berekende turnoversnelheden laten een duidelijke koppeling zien tussen ammonia en particulier stikstof. In de Oosterschelde bestaat het merendeel



Figuur 10.13

Turnovertijden (dagen) van particulier N, nitraat (NO₃) en ammonia (NH₄).

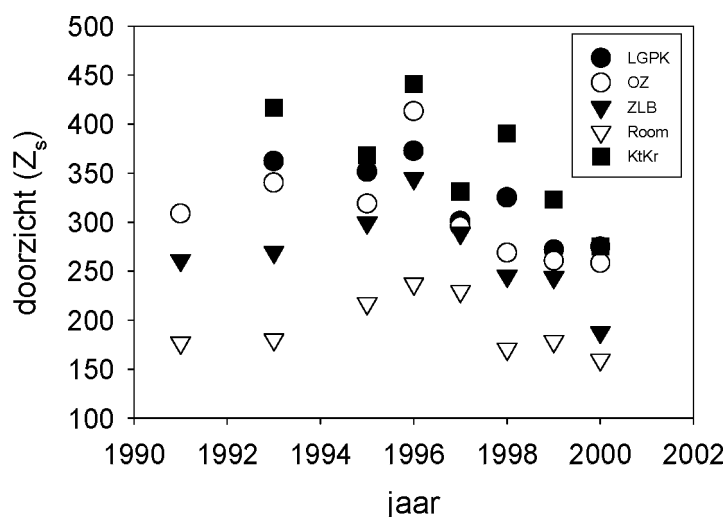
van het particulier N uit algen. De sterke koppeling tussen ammonia en PN betekent dus dat de algen groeien op geregenereerd stikstof. De turnovertijd van PN bedraagt in het voorjaar ongeveer een week, maar neemt af tot minder dan één dag in de zomer. Dit betekent dat de algen in de zomer met ongeveer maximale groeisnelheid groeien. Het feit dat ze niet sterk in biomassa toenemen betekent dat ze onmiddellijk worden begraasd door mosselen (en door zoö plankton, maar de rol van zoö plankton in het ecosysteem van de Oosterschelde is lange tijd niet

onderzocht, en er zijn geen nieuwe gegevens voorhanden). Deze graasdruk zorgt voor de benodigde recycling van nutriënten, nodig voor de algengroei. Voor de andere stations zijn vergelijkbare patronen gevonden. De sterke mosselgraas zorgt dus voor stabilisering van het ecosysteem.

10.4 Synthese: redenen voor jaarlijkse variatie in primaire productie

Alhoewel sinds de voltooiing van de Oosterschelde-werken de toevoer van voedingsstoffen sterk is verminderd en de Oosterschelde dus een "oligotrofië ringsproces" heeft ondergaan zijn, behoudens een korte periode in het voorjaar, voldoende nutriënten aanwezig voor een goede algengroei. De hoge groeisnelheid van de algen wordt mogelijk gemaakt door snelle recycling van nutriënten veroorzaakt door de hoge graasdruk van mosselen (en waarschijnlijk ook van het zoö plankton, maar hierover ontbreken gegevens). Desalniettemin zijn er grote jaarlijkse verschillen, die dus niet zijn terug te voeren op veranderingen in nutriëntenbeschikbaarheid of instraling (zie hoofdstuk 6). De vraag is dus wat de sturende factoren zijn achter deze variaties in fytoplanktonproductie, en of er patronen zijn die kunnen verklaren waarom de primaire productie de laatste jaren minder is in het oostelijke en centrale deel van de Oosterschelde dan in de periode vlak na de voltooiing van de Oosterschelde-werken.

Een factor die van belang lijkt in de veranderingen is het doorzicht (Figuur 10.14). Alhoewel niet voor alle jaren het doorzicht bekend is vertoont het verloop in het doorzicht (gemeten met de Secchi-schijf) een patroon dat lijkt op dat van de verandering in primaire productie (Figuur 10.8). Via een regressie-analyse is het verband nader onderzocht (Tabel 10.2). Behalve voor het station in de monding (Roompot) vertonen alle stations een significant verband tussen de afname in het doorzicht en de afname in de jaarproductie.



Figuur 10.14

Jaargemiddeld doorzicht. Net als de primaire productie lijkt het doorzicht sinds 1996 af te nemen.

Rest de vraag wat de reden is van de afname van het doorzicht. De afname in het doorzicht is niet gecorreleerd met een toename in de hoeveelheid zwevende stof. Dit suggereert dat de afname in het doorzicht de laatste jaren moet zijn veroorzaakt door een toename in opgelost organisch koolstof (DOC, waaronder humuszuren). De toename in regenval kan er voor gezorgd hebben dat er meer humuszuren ingespoeld zijn in de Oosterschelde. Helaas zijn hiervoor geen gegevens voorhanden.

Tabel 10.2

Resultaten lineaire regressieanalyse tussen doorzicht en gemodelleerde jaarproductie.

Station	Adjusted r^2	F	p
LGPK	0.384	9.1199	0.0107
OZ	0.779	46.7556	<0.0001
ZLB	0.325	8.222	0.0124
Roompot	0.062	1.992	0.180
KtKr	0.497	13.847	0.028

10.5 Conclusies

- De jaarlijkse primaire productie door het fytoplankton lijkt op basis van de gemeten data af te nemen in het centrale en in het oostelijke deel van de Oosterschelde. Dit wordt ondersteund door modelberekeningen, die ook een afname berekenen in de noordelijke tak.
- De afname in productie lijkt niet het gevolg te zijn van een afname in nutriënten: nutriëntlimitatie komt slechts gedurende een korte periode voor, en verrijking met nutriënten (bijvoorbeeld door een verhoogde zoetwatertoevoer) zal slechts een geringe verhoging van de productie geven (zie ook conclusies OZZO rapport van Haas (1998)).
- De waargenomen veranderingen lijken dus niet het gevolg van het feit dat er nog steeds een effect is van de Oosterschelde werken, maar lijken meer samen te hangen met klimaatverandering, alhoewel de link indirect is. Op dit moment is het vermoeden dat de verhoogde regenval een verhoging geeft in de concentratie humuszuren, en dat dit een afname in het doorzicht veroorzaakt, waardoor de primaire productie beperkt wordt door de hoeveelheid licht in de waterkolom.
- Het is aan te bevelen de monitoring van de Oosterschelde voort te zetten, en die uit te breiden met metingen aan humuszuren (bijvoorbeeld door gefiltreerd water door te meten m.b.v. een spectrofotometer, en de hoeveelheid humuszuren uit te drukken als de verandering in absorptie bij bijvoorbeeld 400 nm). Daarnaast is het aan te bevelen met enige regelmaat primaire produktiemetingen uit te voeren in de Oosterschelde. Het gebruik maken van nieuwe, optische *in situ* technieken gebaseerd op variabele fluorescentie (bijv. de Fast Repetition Rate Fluorometer, (Kolber et al. 1998) dient hierbij nader onderzocht te worden en zal medio 2003 van start gaan.

10.6 Referenties

- BAKKER, C., P.M.J. HERMAN & M. VINK, 1994. A new trend in the development of the phytoplankton in the Oosterschelde (SW Netherlands) during and after the construction of a storm-surge barrier. *Hydrobiologia* 282/283: 79-100.
- COLE, B.E. & J.E. CLOERN, 1987. An empirical model for estimating phytoplankton productivity in estuaries. *Marine Ecology Progress Series* 36: 299-305.
- DUGDALE, R.C. & F.P. WILKERSON, 1986. The use of ^{15}N to measure nitrogen uptake in eutrophic oceans; experimental considerations. *Limnology and Oceanography* 31: 673-689.
- DUGDALE, R.C., F.P. WILKERSON & A. MOREL, 1990. Realization of new production in coastal upwelling areas: a means to compare relative performances. *Limnology and Oceanography* 35: 822-829.
- EILERS, P.C.H. & J.C.H. PEETERS, 1988. A model for the relationship between light intensity and the rate of photosynthesis in phytoplankton. *Ecological Modelling* 42: 199-215.
- FLAMELING, I.A., 1998. Growth and photosynthesis of eukaryotic microalgae in fluctuating light conditions simulating vertical mixing. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen: 1-133.
- GIESKES, W.W.C. & G.W. KRAAY, 1975. The phytoplankton spring bloom in Dutch coastal waters of the North Sea. *Netherlands Journal of Sea Research* 9: 65-83.
- HAAS, H.A., 1998. Zoet water naar de Oosterschelde: een verkenning naar de effecten op natuur en visserij. Rapport RIKZ-98.036: 1-77.
- JEFFREY, S.W., R.F.C. MANTOURA & J.L.C. WRIGHT, 1997. *Phytoplankton pigments in oceanography*. Unesco.
- KOLBER, Z., J. ZEHR & P.G. FALKOWSKI, 1988. Effects of growth irradiance and nitrogen limitation on photosynthetic energy conversion in photosystem II. *Plant Physiology* 88: 923-929.
- KOLBER, Z.S., O. PRÁ SIL & P.G. FALKOWSKI, 1998. Measurements of variable chlorophyll fluorescence using fast repetition rate techniques: defining methodology and experimental protocols. *Biochimica et Biophysica Acta* 1367: 88-106.
- KROMKAMP, J. & J. PEENE, 1999. Estimation of phytoplankton photosynthesis and nutrient limitation in the Eastern Scheldt estuary using variable fluorescence. *Aquatic Ecology* 33: 101-104.
- LIPPEMEIER, S., P. HARTIG & F. COLIJN, 1999. Direct impact of silicate on the photosynthetic performance of the diatom *Thalassiosira weissflogii* assessed by on- and off-line PAM fluorescence measurements. *Journal of Plankton Research* 2: 269-283.
- WETSTEYN, L.P.M.J. & J.C. KROMKAMP, 1994. Turbidity, nutrients and phytoplankton primary production in the Oosterschelde (The Netherlands)

before, during and after a large-scale coastal engineering project (1980-1990). *Hydrobiologia* 282/283: 61-78.

WILLIAMS, P.J.L.B. & D. LEFÈVRE, 1996. Algal ^{14}C and total carbon metabolisms. *Journal of Plankton Research* 18: 1941-1959.

11. Bijlage 6: Aanvullende analyse doorzicht en zwevend stof gegevens

T.C. Prins & L.P.M.J. Wetsteyn

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Postbus 8039, 4330 EA Middelburg

De relatie tussen het doorzicht en het zwevend stof gehalte is met behulp van covariantie-analyse nader onderzocht. Uit de covariantie-analyse blijkt dat er een sterk significant verband bestaat tussen het doorzicht en het zwevend stof gehalte ($p < 0.001$).

De regressie tussen het zwevend stof gehalte en het doorzicht vertoonde een verandering rond 1996. De regressielijn voor de periode na 1996 ligt duidelijk lager dan die voor de periode 1980 t/m 1996. Hieruit volgt dat het doorzicht significant is verslechterd, onafhankelijk van het zwevend stof gehalte. De regressie voor de periode 1980-1996 is gebruikt om het doorzicht te berekenen uit het gemeten zwevend stof gehalte. Ook dan blijkt duidelijk dat er vanaf 1996 op de vier Oosterschelde-locaties een verslechtering in het doorzicht heeft plaatsgevonden, die niet samenhangt met veranderingen in het zwevend stof gehalte.

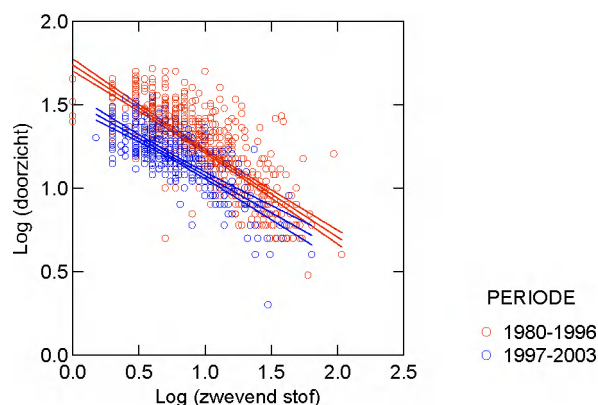
Geconcludeerd kan worden dat de verslechtering in het doorzicht die is waargenomen in de trendanalyse (hoofdstuk 8) niet samenhangt met een verandering in het zwevend stof gehalte, maar veroorzaakt moet zijn door andere stoffen die het lichtklimaat beïnvloeden.

In hoofdstuk 8 zijn de trends van een groot aantal gemeten variabelen voor de periode 1990 t/m 2000 geanalyseerd. Uit deze analyses blijkt dat de afname in het doorzicht zich sinds 1995 ingezet heeft, terwijl op de primaire productie locaties in de Oosterschelde sinds 1996 lagere jaarproducties van het fytoplankton worden gemeten (hoofdstuk 10).

De relatie tussen het doorzicht en het zwevend stof gehalte is met behulp van covariantie-analyse nader onderzocht. In deze analyse is gebruik gemaakt van maandgemiddelde waarden voor zwevend stof en doorzicht in de periode 1990 t/m 2003. Voor de analyse is op de gegevens van zwevend stof en doorzicht een $^{10}\log$ transformatie toegepast.

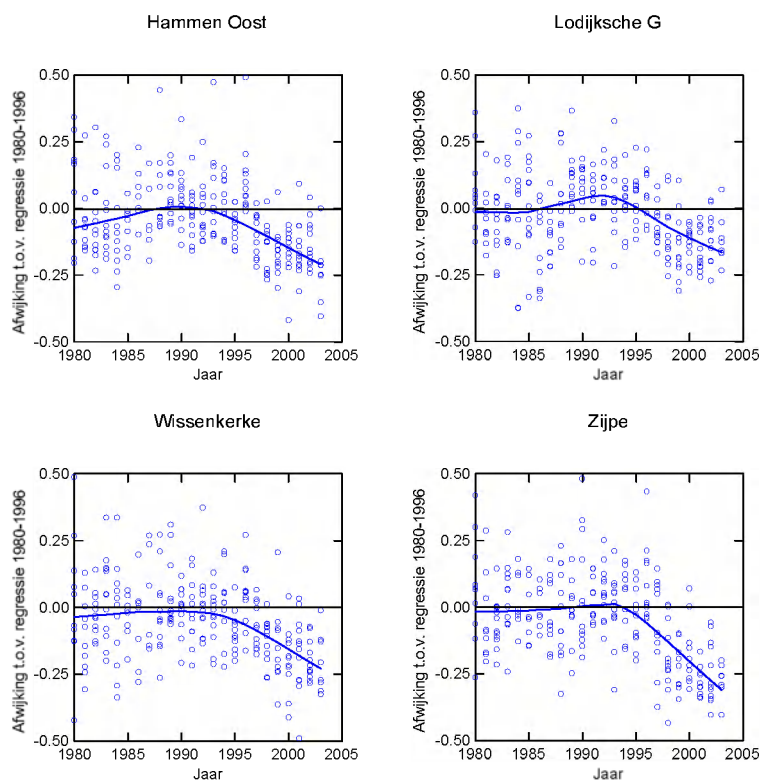
Uit de covariantie-analyse blijkt dat er een sterk significant verband bestaat tussen het doorzicht en het zwevend stof gehalte ($p < 0.001$). Het zwevend stof gehalte verklaart 62% van de variatie in het doorzicht. Er is ook een significant effect van de verschillende monsterlocaties op het doorzicht, maar de variable "locatie" levert slechts een zeer geringe bijdrage (2%) aan de verklaarde variatie. Daarom is besloten de vervolganalyses alleen te baseren op de regressie van doorzicht tegen zwevend stof.

De regressie tussen het zwevend stof gehalte en het doorzicht vertoonde een verandering rond 1996. Opsplitsen van de dataset in twee perioden, namelijk de periode 1980 t/m 1996 en de periode 1997 t/m 2003 leverde twee significant verschillende regressielijnen op (Figuur 11.1). De regressielijn voor de periode na 1996 ligt duidelijk lager dan die voor de periode 1980 t/m 1996. Hieruit volgt dat het doorzicht significant is verslechterd, onafhankelijk van het zwevend stof gehalte. Een getallenvoorbeeld maakt dit duidelijk. Bij een zwevend stof gehalte van 10



Figuur 11.1

Regressie tussen $^{10}\log$ (zwevend stof) en $^{10}\log$ (doorzicht) voor de perioden 1980 t/m 1996 en 1997 t/m 2003. Voor de twee perioden zijn steeds de waarden van de vier Oosterschelde locaties samengenomen.



Figuur 11.2

Scatterplots van de afwijking (verschil) tussen het gemeten en berekende (op basis van regressie 1980 t/m 1996) $^{10}\log$ (doorzicht) van de vier Oosterschelde locaties Hammen Oost, Lodijsche Gat, Wissenkerke en Zijpe voor de periode 1980 t/m 2003. De getrokken lijn is een gefitte LOWESS regressielijn door de meetpunten.

mg l⁻¹, volgt uit de regressielijn voor de periode 1980 t/m 1996 een doorzicht van 16.7 dm. Voor de periode na 1996 volgt uit de regressie dat het doorzicht bij een zwevend stof gehalte van 10 mg l⁻¹ is verminderd tot 11.9 dm.

De regressie voor de periode 1980-1996 is gebruikt om het doorzicht te berekenen uit het gemeten zwevend stof gehalte. De afwijking tussen de gemeten doorzichten en de berekende doorzichten zijn, voor elke locatie apart, weergegeven in Figuur 11.2. Ook uit deze figuur blijkt duidelijk dat er vanaf 1996 een verslechtering in het doorzicht heeft plaatsgevonden op alle locaties, die niet samenhangt met veranderingen in het zwevend stof gehalte.

Het doorzicht in de Oosterschelde hangt sterk samen met de concentratie van het zwevend stof. Omstreeks 1996 is de relatie tussen zwevend stof en doorzicht echter veranderd, waardoor er na 1996 een vermindering van het doorzicht is opgetreden bij gelijkblijvende zwevend stof concentraties. Geconcludeerd kan worden dat de verslechtering in het doorzicht die is waargenomen in de trendanalyse (hoofdstuk 8) niet samenhangt met een verandering in het zwevend stof gehalte, maar veroorzaakt moet zijn door andere stoffen die het lichtklimaat beïnvloeden.

