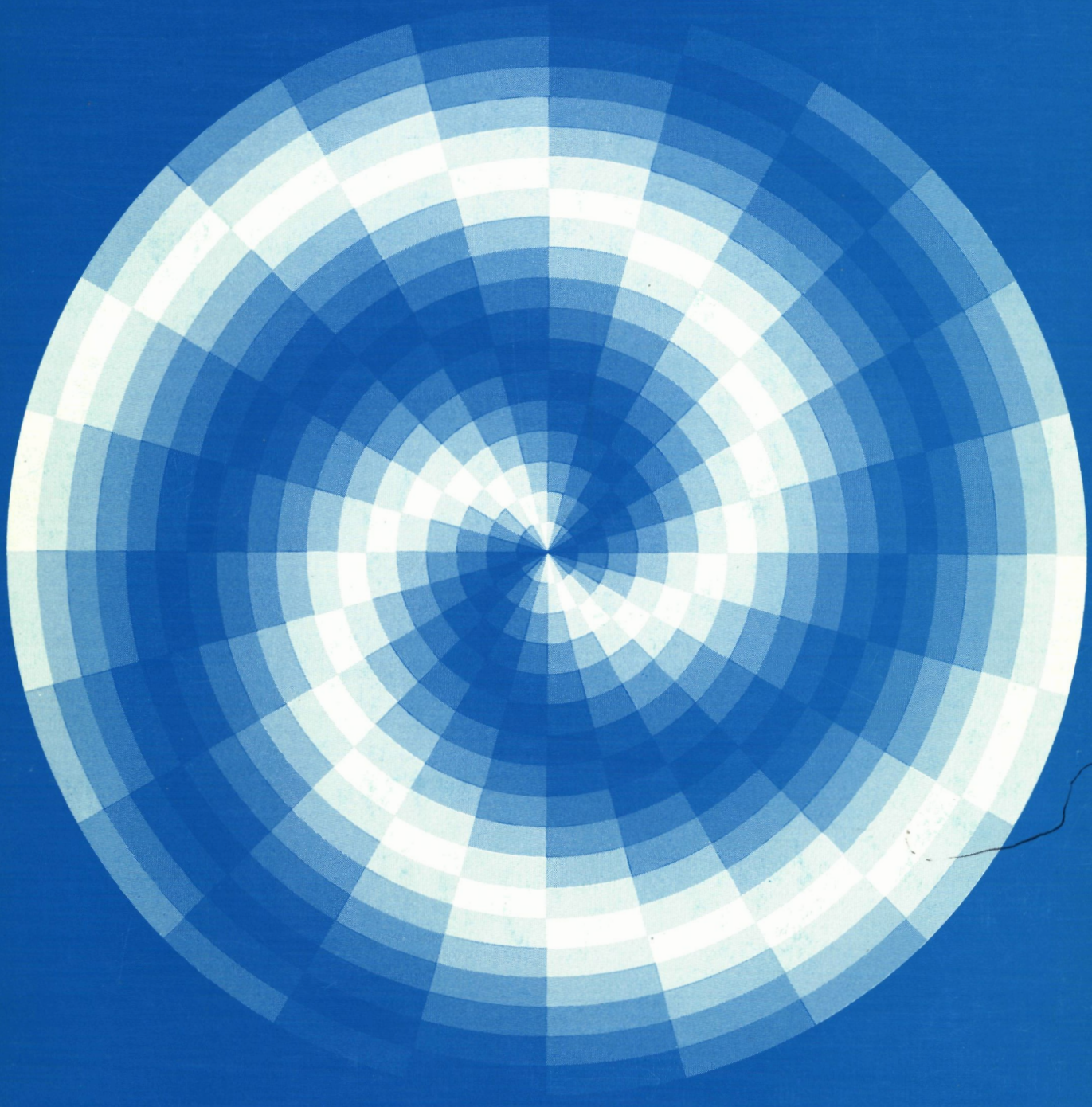
ministerie van verkeer en waterstaat

rijkswaterstaat

de waterkwaliteit van de waddenzee 1971 - 1981

Instituut voor Zeewetenschappelijk onderzoek
Institute for Marine Scientific Research
Prinses Elisabethlaan 69
8401 Bredene - Belgium - Tel. 059 / 80 37 15

rijksinstituut voor zuivering van afvalwater



notanr. 82-065

Instituut voor Zeewetenschappelijk onderzoek
Institute for Marine Scientific Research
Prinses Elisabethlaan 69
8401 Bredene - Belgium Tel. 059/80 37 45

de waterkwaliteit van de waddenzee

1971 - 1981

Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater,
Hoofdafdeling Oppervlaktewater, september 1982

J.A.W. de Wit, F.M. Schotel, L.E.J. Bekkers.

Nota nr. 82 065

Lelystad, september 1982.

Inhoudsopgave.

Hoofdstuk 1 : Inleiding

Hoofdstuk 2 : De Waddenzee
2.1. : De betekenis van de Waddenzee en de relatie met de waterkwaliteit
2.2. : Hydrografie en geografie
2.3. : Lozingen
2.4. : Processen in de Waddenzee
2.4.1. : Accumulatie van zwevend materiaal
2.4.2. : Mineralisatie van organisch materiaal
2.4.3. : Eutrofiëring en primaire produktie
2.4.4. : Acculumatie en mobilisatie van microverontreinigingen.

Hoofdstuk 3 : Het waterkwaliteitsonderzoek.

Hoofdstuk 4 : De waterkwaliteit van de Waddenzee
4.1. : Algemeen.
4.1.1. : Ruimtelijke gradiënten in de waterkwaliteit
4.1.2. : Seizoensverloop van de waterkwaliteit
4.1.3. : Ontwikkeling van de waterkwaliteit in de periode 1971-1981
4.1.4. : De variaties in de waterkwaliteit over het getij
4.1.5. : Gehanteerde lokaties en gradiënten bij de beschrijving
4.2. : Bespreking van de waterkwaliteitsvariabelen
4.2.1. : Temperatuur
4.2.2. : Chloride
4.2.3. : Zwevende stof
4.2.4. : Zuurstof
4.2.5. : Biochemisch zuurstofverbruik
4.2.6. : Nitraat
4.2.7. : Ammonium
4.2.8. : Ortho-fosfaat
4.2.9. : Fytoplankton c.q. chlorophyl
4.2.10 : Zuurgraad
4.2.11 : Thermo-tolerante colibacteriën
4.2.12 : Olie
4.2.13 : Fenol
4.2.14 : Zware metalen
4.2.15 : Organische microverontreinigingen

Hoofdstuk 5 : De waterkwaliteit van de Waddenzee in vergelijking met andere Nederlandse kustwateren.

Hoofdstuk 6 : Nadere beschouwing van enkele aspecten van de waterverontreiniging in de Waddenzee.
6.1. : De invloed van lozingen
6.1.1. : Algemeen
6.1.2. : Direkte lozingen en zoetwaterspui op de Waddenzee
6.1.3. : Indirekte zoetwater-aanvoeren
6.2. : De eutrofiëring van de Waddenzee
6.2.1. : Het eutrofiëringsproces in de Waddenzee
6.2.2. : Faktoren die de algengroei bepalen
6.2.3. : Ontwikkelingen in de eutrofiërings-parameters
6.2.4. : Oorzaak van de toename van het ortho-fosfaatgehalte in de Waddenzee
6.3. : Zware metalen en organochloorverbindingen in slib en organismen
6.3.1. : Zwevende stof en sediment
6.3.2. : Organismen

Hoofdstuk 7 : Samenvatting en konklusies

Hoofdstuk 8 : Aanbevelingen
Literatuurlijst

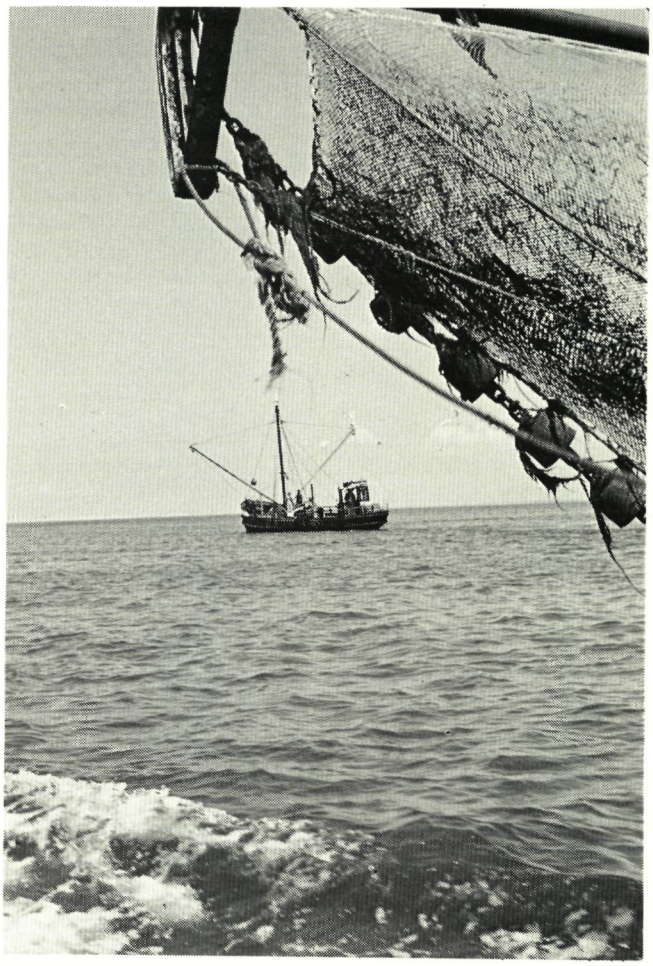
1 Inleiding

Het waterkwaliteitsbeheer van de Waddenzee berust bij de Rijkswaterstaat directies Noord-Holland, Friesland en Groningen met het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater als adviseur. Dit instituut voert ook een belangrijk deel van het waterkwaliteitsonderzoek uit, waarvan in dit rapport verslag wordt gedaan.
Het routinematig onderzoek van de waterkwaliteit, zoals dat in het Nederlandse deel van de Waddenzee nu ruim 10 jaar plaatsvindt, neemt bij de onderzoeksinspanningen van Rijkswaterstaat op het gebied van het aquatisch milieu een belangrijke plaats in.
Doelstellingen van het routinematig onderzoek zijn met name:

- Het vaststellen van de aktuele waterkwaliteit en het toetsen hiervan aan van toepassing zijnde normen.
- Het vaststellen van de veranderingen van de waterkwaliteit naar plaats en tijd.

De inhoud van dit rapport beperkt zich in hoofdzaak tot de verslaggeving van de opzet en resultaten van het routinematig waterkwaliteitsonderzoek in de Waddenzee, eksklusief het Eems-Dollard estuarium. Waar mogelijk en noodzakelijk zal echter ook melding worden gemaakt van aanvullende onderzoekingen die door of vanwege de Rijkswaterstaat de afgelopen jaren in het Waddenzeegebied zijn verricht. Dit zijn met name onderzoekingen van microverontreinigingen in andere compartimenten dan het water, te weten: slib en organismen, en biologisch (monitoring) onderzoek. Over deze onderzoekingen is en wordt veelal ook afzonderlijk gerapporteerd.
Betreffende de waterkwaliteit van het Eems-Dollard estuarium is door het RIZA reeds gerapporteerd over de periode 1971-1975 (1). Rapportage over de periode 1976-1982 zal in 1983 plaatsvinden.

In hoofdstuk twee komen enkele karakteristieken van het Waddenzeegebied aan de orde. Hoofdstuk drie geeft een overzicht van de opzet van het routinematig waterkwaliteitsonderzoek in de periode 1971-1981. In hoofdstuk vier worden de resultaten van het waterkwaliteitsonderzoek gepresenteerd.
Aandacht is besteed aan ruimtelijke verschillen in de waterkwaliteit (gradiënten) en de variatie van de waterkwaliteit in de tijd (trends, seizoenverschillen). Bij de beschrijving is verder onderscheid gemaakt tussen verschillende aspekten van de waterkwaliteit te weten: de zoet-zout verdeling, de zuurstofhuishouding, de eutrofiëring, de bacteriële verontreiniging en de anorganische en organische microverontreinigingen. Enkele onderwerpen worden in hoofdstuk zes verder uitgediept. Dit betreft de invloed van lozingen, de eutrofiëring en de kontaminatie van slib en organismen met organische en anorganische microverontreinigingen.
Tevens is in hoofdstuk vijf een vergelijking van de waterkwaliteit van de Waddenzee met andere Nederlandse kustgebieden opgenomen.



Visvangst in de Waddenzee. Foto: RIZA Groningen

Eventuele knelpunten en aanbevelingen met betrekking tot het onderzoek zijn aangegeven in hoofdstuk zeven.
Geen aanbevelingen zullen worden gedaan ten aanzien van eventuele beheersmaatregelen. De relatie tussen waterkwaliteit en beheer zal aan de orde komen in het vóór 1 januari 1984 op te stellen waterkwaliteitsplan voor het Waddenzeegebied.
Tevens is in 1982 gereedgekomen het „Beheersplan Water Waddenzee", waarin de uitgangspunten voor het door het Rijk na te streven beheer van de Waddenzee ten aanzien van de waterhuishouding worden uiteengezet.

2 De Waddenzee

2.1. De betekenis van de Waddenzee en de relatie met de waterkwaliteit.

De Waddenzee is een uniek natuurgebied, zoals ook verwoord in de pkb Waddenzee (2). De grote natuurlijke rijkdom hangt samen met karakteristieke hydrologische eigenschappen, de sterke dynamiek van het gebied en de rijkdom aan organisch materiaal, zowel door externe aanvoer als door primaire produktie in de Waddenzee zelf (3). De betekenis van de waterkwaliteit voor enkele specifieke ecologische funkties van de waddenzee kan als volgt worden aangeduid.

* vestigings- en voortplantingsgebied voor schelpdieren.

Door de vrijwel permanente beweging van het water, de relatieve ondiepte en de reeds genoemde rijkdom aan organisch materiaal, is de Waddenzee bij uitstek een vestigings en voortplantingsgebied voor schelpdieren.
Relatief grote schommelingen in zoutgehalte, temperatuur, zuurstofgehalte, troebeling en slibgehalte dragen er toe bij dat slechts een gering aantal soorten in grote aantallen voorkomen, waarbij de bekendste de kokkels en de mosselen zijn (4).
Bij schelpdieren en hun consumenten kunnen naast genoemde waterkwaliteitskarakteristieken ook andere faktoren van belang zijn bijvoorbeeld bacteriële verontreiniging en de aanwezigheid van microverontreinigingen.

* kinderkamer voor vis.

De Waddenzee vervult een belangrijke funktie als kinderkamer voor veel vissoorten, waaronder de meeste economisch belangrijke vissoorten. Ook hierbij speelt het milieu en de voedselrijkdom van de Waddenzee een belangrijke rol.
Veranderingen in de voedselrijkdom (toe- of afname van de primaire produktie) of de aanwezigheid en accumulatie van microverontreinigingen kunnen van betekenis zijn voor deze funktie.

* verblijfplaats en fourageergebied voor vogels en zeehonden.

Naast rust is ook hier de voedselrijkdom van doorslaggevende betekenis. Bedreigingen van de kwantiteit en kwaliteit van het voedselaanbod door verontreinigingen zijn van invloed op de aanwezigheid en konditie van de fouragerende dieren.

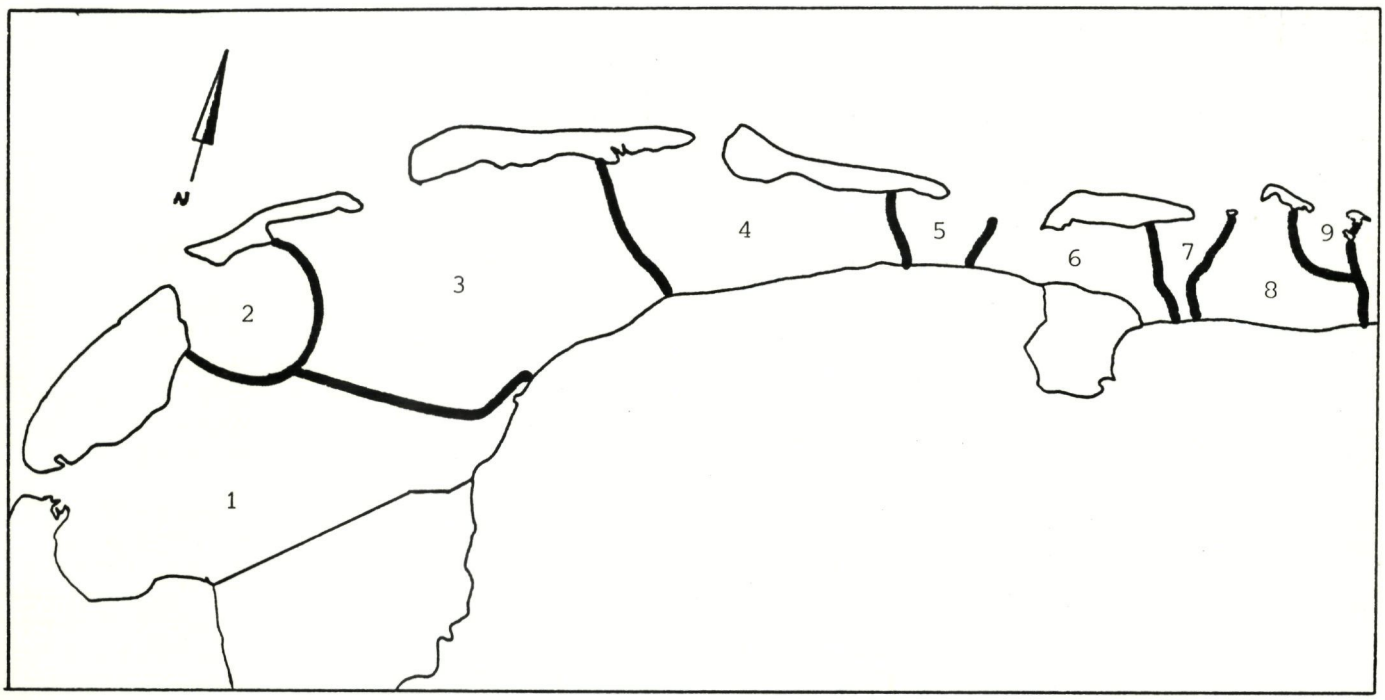
De waterkwaliteit van de Waddenzee wordt door een veelheid van faktoren bepaald, welke ten dele door de mens worden beïnvloed. Te denken is hierbij aan de aanvoer van zoet oppervlaktewater met de daarin aanwezige verontreinigingen, de lozingen van afvalwater, de (schelpdier)visserij, de zandwinning, baggeraktiviteiten en de rekreatie. Daarnaast drukken ook de natuurlijke funkties en processen een belangrijke stempel op de kwaliteit van het Waddenzeewater.
Voorbeelden van natuurlijke funkties welke de waterkwaliteit beïnvloeden zijn de mogelijke bacteriële verontreiniging als gevolg van vogeldichtheden, de verwijdering en vastlegging van gesuspendeerd materiaal door mosselen en kokkels (3), (4).
Een bespreking van de faktoren welke het meest van belang zijn voor de waterkwaliteit vindt plaats in de volgende paragrafen.

2.2. Hydrografie en geografie.

De Nederlandse Waddenzee reikt van Den Helder tot aan Nieuwe Statenzijl, dus inklusief het Eems-Dollard estuarium. Het gedeelte van de Waddenzee dat in dit rapport wordt beschreven bestaat uit negen kombergingsgebieden, welke door middel van een wantij van elkaar gescheiden zijn (figuur 2.1.). Het Eems-Dollard estuarium blijft hier buiten beschouwing.
Over de wantijen vindt bij rustige weersomstandigheden nauwelijks transport van water plaats tussen de kombergingsgebieden. Enkele gegevens met betrekking tot de hydrografie van de kombergingsgebieden van de Waddenzee staan vermeld in de tabel 2.1.

kombergingsgebieden	nummer gebieden in figuur 2.1	gemiddeld getijvolume in ($10^6 m^3$)	natte inhoud kombergings-gebied bij vloed ($10^6 m^3$)	aandeel (%) van het oppervlakte dat bij laagwater droogvalt	oppervlakte bij hoogwater in km^2	maximale diepte t.o.v. N.A.P. in m
Zeegat van Texel	1	1050	3335	15	675	± 50
Eierlandse Gat	2	150	426	58	224	± 20
Zeegat van Vlieland	3	880	2173	48	652	± 45
Zeegat van Ameland	4	430	777	70	313	± 30
Pinkegat	5	100	100	74	53	9
Friese Gat	6	200	348	62	113	15
Eierlanderbalg	7	70	88	80	45	8
Lauwers	8	160	313	69	117	22
Schild	9	70	60	78	34	11

Tabel 2.1.: Enige hydrografische gegevens van de Waddenzee. Rijkswaterstaat (9).



Figuur 2.1.: Ligging van de wantijen in de Waddenzee; Rijkswaterstaat (23). Voor de nummering van de kombergingsgebieden zie tabel 2.1.

Een prieltje. Foto: RIZA Groningen

De droogvallende bodem van de Waddenzee bestaat voornamelijk uit matig fijn tot middel fijn zand, met uitzondering van enkele slibrijke delen onder de eilanden en de kweldergebieden tegen het oude land. Ook ter plaatse van mosselbanken kan de bodem slibrijk zijn. In de oostelijke Waddenzee komen naar verhouding meer slibrijke gebieden voor dan in de westelijke Waddenzee. In tabel 2.2 wordt enige informatie gegeven over de bodemgesteldheid van de Waddenzee.

Tabel 2.2. De bodemgesteldheid van de Waddenzee (De Glopper, 56).

Grondsoort	% van de Waddenzee
kleiarm zand	80
kleihoudend zand	5
lichte zavel	9
zware zavel	5
klei	1

2.3. Lozingen.

De direkte lozingen zijn te onderscheiden in lozingen van oppervlaktewater en afvalwaterlozingen. Indirekte belasting afkomstig van de grote rivieren Rijn, Maas, Schelde treedt op via het kustwater. Hierbij is vooral de aanvoer en aanwezigheid van Rijnwater in de westelijke Waddenzee (ca. 15% Rijnwater; voor de helft afkomstig uit de Noordzee en voor de helft uit het IJsselmeer) van belang. (7).
De in het Rijnwater aanwezige verontreinigingen komen, afhankelijk van hun gedrag tijdens het transport, eveneens in meerdere of mindere mate in de Waddenzee terecht. (8).

De direkte afvalwaterlozingen in het Waddenzeegebied betreffen vrijwel geheel lozingen van huishoudelijk afvalwater. De enige industriële lozing van enige omvang betreft de afvalwaterleiding van Hoogkerk welke nabij Noordpolderzijl op de Zuid-Oost Lauwers loost. De grootte van deze lozing is in de loop der jaren aanzienlijk afgenomen (1973 ca. 215.000 i.e.; 1979 ca. 50.000 i.e.).

provincie	plaats	inw.ekwivalenten	datum zuivering
Groningen	Lauwersoog	ca.200	--
	leiding Hoogkerk	ca. 50.000	1975-1976 (ged)
Friesland	Harlingen	40.000	1981
	Vlieland	10.000	1988 (?)
	Terschelling	19.000	1977
	Ameland	19.000	1975
	Schiermonnikoog	10.000	1988 (?)
Noord-Holland	Den Helder	70.000	1982
	Den Oever	12.000	1978
	Oude Schild(T)	6.100	1976
	Oosterend (T)	800	1965
	Everstekoog(T)	26.000	1979
	't Horntje(T)	700	1978
	De Cocksdorp(T)	6.500	1981

Tabel 2.3: Overzicht van directe en indirecte al dan niet gezuiverde afvalwaterlozingen van zuurstofbindende stoffen (in inwonerekwivalenten) op de Waddenzee met de daarbij behorende datum van (voorgenomen) realisering van de zuivering.

(?) Op de noodzaak tot daadwerkelijke realisering van deze zuiveringen wordt nog gestudeerd.

In 1971 vond lozing van huishoudelijk afvalwater plaats op een negental lokaties. Den Helder, Den Oever, Harlingen, Texel en Ameland loosden via zoet oppervlaktewater indirekt, de niet genoemde eilanden loosden veelal direkt in de Waddenzee. Geen van deze afvalwaterlozingen was van een zodanige omvang dat meer dan een beperkte plaatselijke invloed op de waterkwaliteit optrad. Overigens is de bouw van rioolwaterzuiveringsinstallaties voor een belangrijk deel gerealiseerd, terwijl andere rzi's in aanbouw zijn of binnenkort ter hand zullen worden genomen (tabel 2.3.)

Lozing van zoet oppervlaktewater vindt plaats op veertien lokaties. Van grote omvang zijn de lozingen van IJsselmeerwater bij Den Oever en Kornwerderzand. Vanuit het Eems-Dollard estuarium wordt water aangevoerd afkomstig van de rivier de Eems en de Westerwoldse A dat voor een deel ook de oostelijke Waddenzee bereikt. Bij Den Helder, Harlingen en Lauwersoog zijn zoetwaterspuien van enige omvang. De waterkwaliteit van de Waddenzee wordt door bovengenoemde zoetwateraanvoeren beïnvloed.

Tabel 2.4 en 2.5 geven een overzicht van de zoetwateraanvoeren per zomer- en winterhalfjaar over de periode 1971-1980, alsmede de neerslag in Nederland (in mm) en de afvoer van de Rijn. In figuur 2.2 en 2.3 zijn grafisch de spui bij de Afsluitdijk, de Rijnafvoer en de gemiddelde neerslag in Nederland weergegeven vanaf 1974. Zoals te verwachten is blijkt met name in de winter een duidelijke samenhang.

In de zomer is, met uitzondering van het zomerhalfjaar 1976, de samenhang van de neerslag en de Rijnafvoer enerzijds en de spui van het IJsselmeer naar de Waddenzee anderzijds minder uitgesproken. Vermoedelijk is dit een gevolg van een andere verdeling van de Rijnafvoer over de IJssel en de andere Rijntakken en de grotere voorraadvorming zowel op het IJsselmeer zelf als ook in de aangrenzende gebieden die water onttrekken of uitslaan op het IJsselmeer.

2.4. Processen in de Waddenzee.

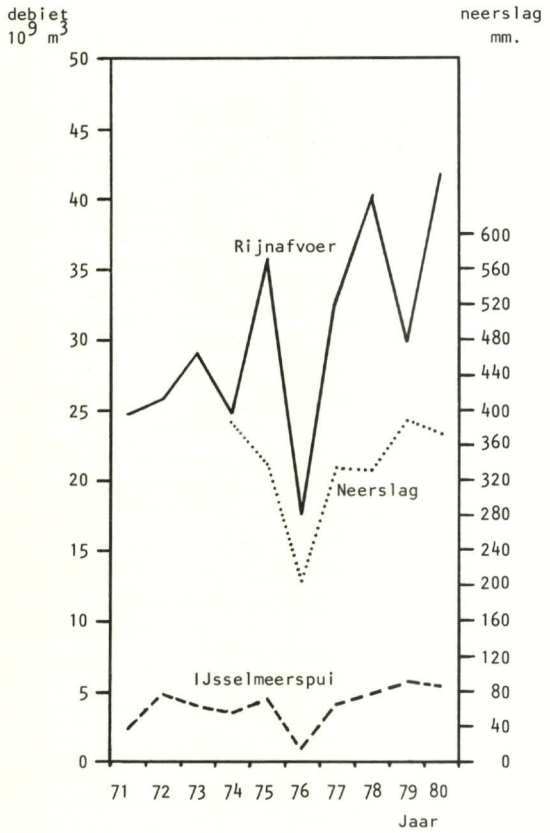
2.4.1. Accumulatie van zwevend materiaal.

Door het mechanisme van het getij stromen door de zeegaten grote waterhoeveelheden in en uit de Waddenzee. Het instromende water bevat zand en slib. Tengevolge van de wisselende stroomsnelheden en -richting treedt achter in de kombergingsgebieden een hogere slibkonsentratie op. Een goede verklaring van dit verschijnsel wordt gegeven door Postma (10), (11). Dit is van grote betekenis. Enerzijds betekent deze netto aanvoer van slib tevens aanvoer van zwevende organische stof (detritus, algen) dat na mineralisatie nutriënten oplevert, anderzijds komen hierdoor ook de microverontreinigingen, welke bij voorkeur aan slib gebonden zijn, in relatief grote hoeveelheden in Waddenzee.
De accumulatie van slib veroorzaakt in de Waddenzee een gradiënt in de troebeling. Naar binnen toe wordt het water troebeler doordat het meer slibdeeltjes bevat.
Overigens zijn er aanwijzingen dat tijdens stormachtig weer en gedurende de eerste eb na een storm grote hoeveelheden zwevend materiaal de Waddenzee weer uitstromen. (12), (13), (14).

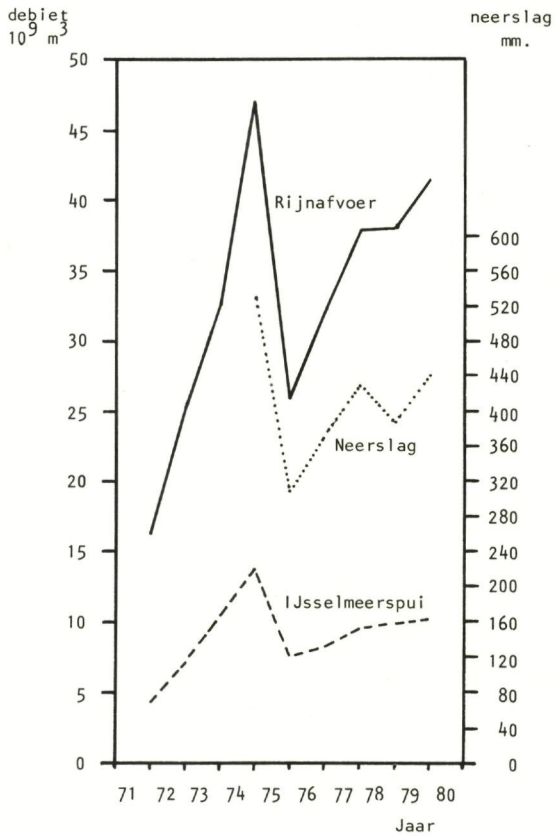
2.4.2. Mineralisatie van organisch materiaal.

Goede kondities voor mineralisatie van organisch materiaal zijn vooral aanwezig nabij wantijen en de slibrijke randen van het gebied. Hier is door het accumulatie mechanisme de bodem rijk aan organisch materiaal. Mineralisatie treedt vooral in de zomer op vanwege de dan heersende hogere temperaturen. Nabij wantijen en in andere ondiepe gebieden kan het voorkomen dat plaatselijk zoveel zuurstof wordt verbruikt bij de mineralisatie dat dit lage gehalten in het water ten gevolge heeft. (15).

Figuur 2.2: Zomerhalfjaartotalen van de Rijnafvoer, de spui van het IJsselmeer bij de Afsluitdijk en de neerslag in Nederland.



Figuur 2.3: Winterhalfjaartotalen van de Rijnafvoer, de spui van het IJsselmeer bij de Afsluitdijk en de neerslag in Nederland.



Tabel 2.4: Zoetwaterlozingen op de Waddenzee: zomerhalfjaartotalen (10^6 m^3).

plaats	zomer half jaar	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Afsluitdijk totaal		2.134	4.819	4.015	3.497	4.520	914	4.110	4.869	5.610	5.404
Den Helder		158	186	95	118	144	118	146	117	131	108
Amstelmeerboezem		-	-	-	-	-	-	-	36	40	43
Harlingen		58	54	51	41	69	64	70	69	93	81
Lauwersoog		254	377	279	147	271	62	232	214	413	317
totaal		2.604	5.436	4.440	3.803	5.004	1.158	4.558	5.305	6.287	5.953
Rijndebiet		24.696	25.936	29.088	24.650	35.766	17.615	32.591	40.254	29.843	41.792
Neerslag in mm.		-	-	-	387	339	205	335	333	387	374

Opmerkingen: De Amstelmeerboezem wordt pas gemeten sinds januari 1978, omdat vanaf die datum doorspoeling met IJsselmeerwater heeft plaatsgevonden.

Tabel 2.5: Zoetwaterlozingen op de Waddenzee: winterhalfjaartotalen (10^6 m^3).

plaats	winter half jaar	'71-'72	'72-'73	'73-'74	'74-'75	'75-'76	'76-'77	'77-'78	'78-'79	'79-'80
Afsluitdijk totaal		4.304	7.068	10.280	13.782	7.542	8.258	9.541	9.812	10.033
Den Helder		134	132	144	216	156	156	178	155	181
Amstelmeerboezem		-	-	-	-	-	-	-	94	123
Harlingen		83	95	130	118	50	60	92	97	103
Lauwersoog		384	582	844	889	639	544	823	742	961
totaal		4.905	7.877	11.398	15.005	8.387	9.018	10.634	10.900	11.401
Rijndebiet		16.113	25.132	32.526	46.830	25.952	31.980	37.882	37.976	41.461
Neerslag in mm		-	-	-	533	304	366	427	385	440

Opmerking:De Amstelmeerboezem wordt pas gemeten sinds januari 1978, omdat vanaf die datum doorspoeling met IJsselmeerwater heeft plaatsgevonden.

Bij de mineralisatie wordt verse organische stof afkomstig van afgestorven organismen omgezet in zuurstof verbruikende bacteriële processen. Daarbij worden organisch gebonden stikstof en fosfor omgezet in ammonium-stikstof en ortho-fosfaat. Hierdoor zijn de konsentraties van deze nutriënten en de beschikbaarheid voor fyto-plankton in de Waddenzee hoger dan in de aangrenzende Noordzee. (16).
De Jonge en Postma (16) hebben, op grond van een door hen opgezette balans van organisch gebonden fosfaat voor de westelijke Waddenzee , gekonkludeerd dat de aanvoer van organisch materiaal naar de Waddenzee tussen 1950 en 1970 verdrievoudigd moet zijn. Zij konkluderen dat de mineralisatie ook toegenomen moet zijn in deze periode. Wat dit voor kwalitatieve gevolgen heeft voor de zuurstofhuishouding in de Waddenzee, bijvoorbeeld op ondiepe plaatsen, is niet bekend.

2.4.3. Eutrofiëring en primaire produktie.

Zoals in 2.4.2. genoemd komen de nutriënten ortho-fosfaat en ammoniumstikstof ten dele ook in de Waddenzee zelf vrij als gevolg van mineralisatie. Daarnaast is er externe aanvoer.
Opname van de nutriënten treedt op bij de groei van algen.
Incidenteel is groeibeperking van algen door fosfor (16) of door stikstof (17) gekonstateerd. Dit is vooral in het voorjaar het geval. Licht is de belangrijkste beperkende faktor voor fytoplankton door de reeds genoemde hoge slibgehaltes in de Waddenzee (16).
De primaire produktie door fytoplankton is in de geulen van dezelfde grootte als de primaire produktie door hoofdzakelijk fytobenthos op en boven de platen (3).

Doordat de groei van algen overdag gepaard gaat met zuurstofproduktie kan oververzadiging van zuurstof in het water optreden. Door respiratie van de algen ('s nachts), overmatige mineralisatie en mogelijk bij plotselinge afsterving van een algenpopulatie kunnen zich belangrijke onderverzadigingen in het zuurstofgehalte voordoen.

2.4.4. Accumulatie en mobilisatie van microverontreinigingen.

Microverontreinigingen komen voornamelijk via zoetwateraanvoer in opgeloste vorm en gebonden aan zwevende stof in de Waddenzee terecht. Het zoetwaterpercentage in de westelijke Waddenzee bedraagt 22%. Tweederde hiervan is Rijnwater. Dit wordt voor 50% via het IJsselmeer en voor 50% via de Noordzee aangevoerd (18).
Van de organochloorverbindingen binden sommige zich wel en sommige zich nauwelijks aan slib. De konsentraties van de in het water opgeloste verbindingen zijn vaak zo laag dat ze zelfs met de gebruikte verfijnde analysetechnieken niet of met zeer veel inspanning kunnen worden aangetoond. Door accumulatie in de voedselketen zijn zij veelal wel in organismen aan te tonen.
De meeste metalen zijn in sterke mate aan slib gebonden. (8, 20). Bij de overgang zoet/zout in een estuarium kunnen zich verschillende processen voordoen waarbij zowel adsorptie als desorptie van metalen kunnen voorkomen (8, 19, 20).
Een gedeelte van het slib, met name de zeer fijne fraktie welke relatief sterker belast is met metalen, komt niet of nauwelijks tot bezinking, ook niet in de Waddenzee (8). In het sediment blijken door allerlei processen metalen in opgeloste vorm vrij te kunnen komen (mobilisatie). Vooral onder invloed van weersgesteldheid en getij komen deze opgeloste metalen dan weer in het bovenstaande water terecht. Door dit verschijnsel zal eventuele ophoping van metaal in de Waddenzee via het accumulatieproces van zwevend materiaal, geheel of gedeeltelijk weer te niet worden gedaan (21).

Het meetvaartuig "Zwarte Haan" van de Adviesdienst Hoorn.
Met dit schip zijn in de periode 1976-1981 bijna alle metingen in de westelijke Waddenzee verricht. Foto: RIZA Groningen

3 Het waterkwaliteitsonderzoek

Het routinematig waterkwaliteitsonderzoek in de Waddenzee heeft in de afgelopen jaren, zowel wat aantal meetpunten als wat parameters betreft, een aantal keren wijzigingen ondergaan.
In 1971 en 1972 werden 10 punten bemonsterd (figuur 3.1). In 1973 en 1974 ± 50 (figuur 3.2). In 1975 ± 60 (figuur 3.3) en vanaf 1976 is het aantal teruggebracht tot ± 25 punten (figuur 3.4).
In 1971 en 1972 is bemonsterd vanaf veerboten. Sinds 1973 gebeurt dit met behulp van schepen van de Rijkswaterstaat.
Een zes-tal punten zijn de gehele periode onderzocht (figuur 3.5)

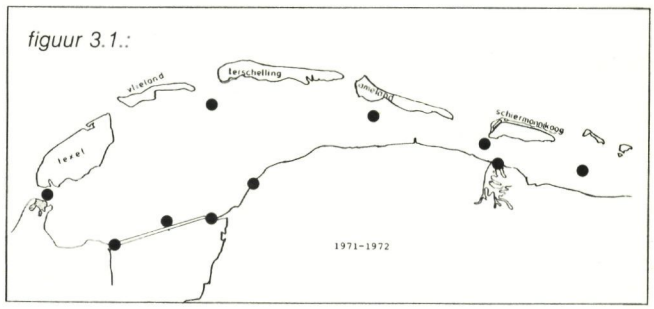
De bemonsteringen in de periode 1976-1981 hebben in het algemeen overdag tijdens eb plaatsgevonden. De bemonstering van de zeegaten vond in principe een half tot twee uur voor laagwater plaats (figuur 3.6). De frekwentie van onderzoek was een keer per maand.
Op de lokatie Den Helder is zowel tijdens vloed als tijdens eb bemonsterd. Ook in 1973 t/m 1975 zijn diverse monsterpunten bij verschillende getijfasen bemonsterd.

Vanaf 1971 zijn parameters welke betrekking hebben op de zuurstofhuishouding, de eutrofiëring en verschillende zware metalen onderzocht. Naderhand is het programma uitgebreid met onder meer parameters voor het biologisch en bakteriologisch onderzoek.
Tabel 3.1 geeft een overzicht van de onderzochte parameters per meetpunt in 1980, wat een representatief jaar is voor met name de periode 1976-1981. Praktisch alle analyses zijn uitgevoerd door het RIZA laboratorium te Sappemeer, thans gevestigd te Groningen.

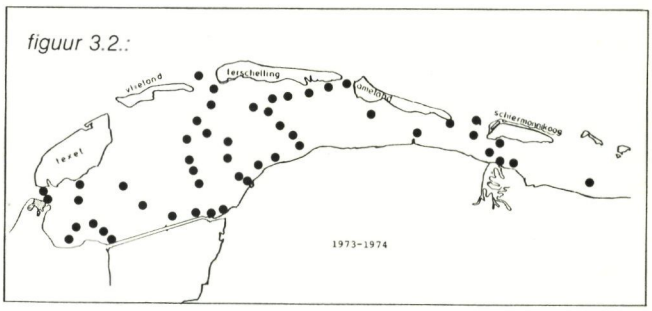
Een meer gedetailleerde beschrijving van de bemonsteringen in het Waddenzeegebied in de periode 1971-1981, alsmede een toelichting van gehanteerde analysemethoden en bijbehorende detektiegrenzen staat in de nota Routine-onderzoek waterkwaliteit Waddenzee 1971-1980 (RIZA nota 81-050).
Naast het routinematig waterkwaliteitsonderzoek is er door of vanwege de Rijkswaterstaat eveneens projectmatig onderzoek uitgevoerd, gericht op een speciale lokatie, dan wel op speciale aspekten.

Genoemd kunnen worden:
* Incidentele getijmetingen in zeegaten en geulen,
* Incidenteel onderzoek van organische mikroverontreinigingen in het water (22),
* Incidenteel onderzoek van olie en fenol in het water,
* Onderzoek gevolgen zandwinning voor de waterkwaliteit (23),
* Onderzoek verspreiding coli-bakteriën in het uitgeslagen water van het Noord-Hollandskanaal in de westelijke Waddenzee (24).
* Onderzoek oliebestrijding Waddenzee (25),
* Onderzoek van kwikgehalte in puitalen uit de Waddenzee (26),
* Biologische monitoring van de accumulatie van mikroverontreinigingen in mosselen in het Nederlandse kustwater (27).

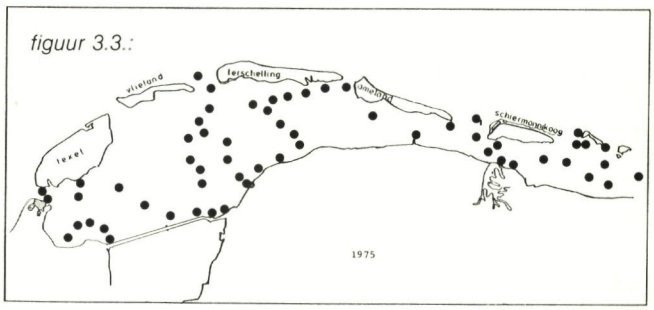
figuur 3.1.:



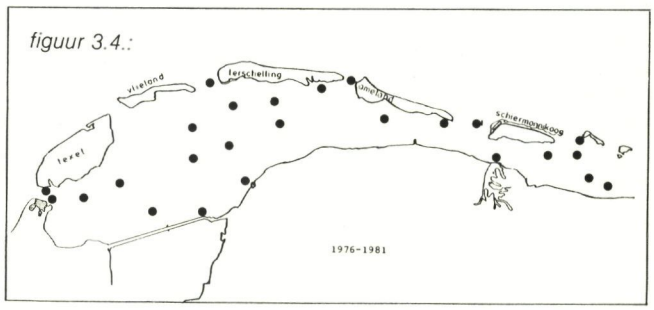
figuur 3.2.:



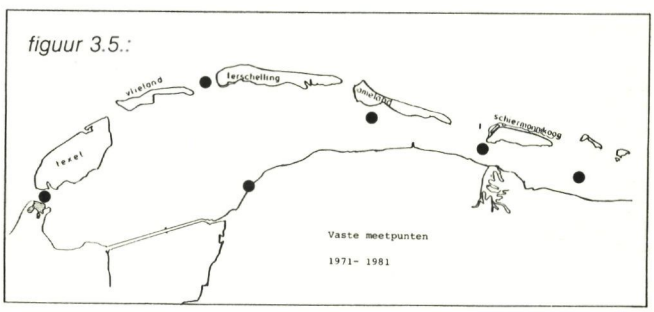
figuur 3.3.:



figuur 3.4.:



figuur 3.5.:



Tabel 3.1: Overzicht van gemeten parameters in de Waddenzee bij het routine meetprogramma voor de waterkwaliteit van de Rijkswateren 1980.

Wakwalcode	Betonning	Parameterpakket						
		A	B	C	D	E	F	G
90707	T2 (200 m t.N) opkomend water	x	x	x	x	x		
90708	T2 (2 km t.Z) opkomend water	x	x	x	x	x	x	
00707	T2 (200 m t.N) afgaand water	x	x	x	x	x		
00708	T2 (2 km t.Z) afgaand water	x	x	x	x	x		
00702	M 17//18	x						
00778	SO/D	x				x		
00777	D1//DJ	x						
00772	D//ZR	x						
90761	BS//BO opkomend water	x	x	x		x		
90763	BS19//BS20 opkomend water	x						
00761	BS//BO afgaand water	x	x	x		x		
00763	BS19//BS20 afgaand water	x				x		
00767	IN//SO	x						
00711	VL8	x						
00713	VL2//VL5	x		x	x	x		x
00712	WM 5	x						
00722	NOM//NB	x						
00754	NOM 19	x						
00726	O 46	x						
00728	WG//BG	x						
00739	DG 4	x			x	x		
00738	HB 5	x						
00743	WG 16	x						
00749	Z 3	x		x	x	x		
00861	EB 6	x						
00869	ZOL B	x						
00866	ZOL 6	x						
00865	ZOL 12	x	x	x	x	x		
00864	ZOL 19	x						

Omschrijving parameterpakket

A
standaard pakket waarin:
- zichtdiepte (secchi)
- chloride
- saliniteit
- geleidendheid
- temperatuur
- zwevend slib
- gloeirest
- % gloeirest
- Kjeldahl-stikstof
- ammonium stikstof
- nitriet-stikstof
- nitraat-stikstof
- ortho-fosfaat
- totaal fosfaat
- BZV $\frac{20}{5}$
- zuurstof
- % zuurstof

B
- thermotolerante coli-bakteriën (filtermethode)

C
- chlorophyl
- (% aktief chlorophyl)

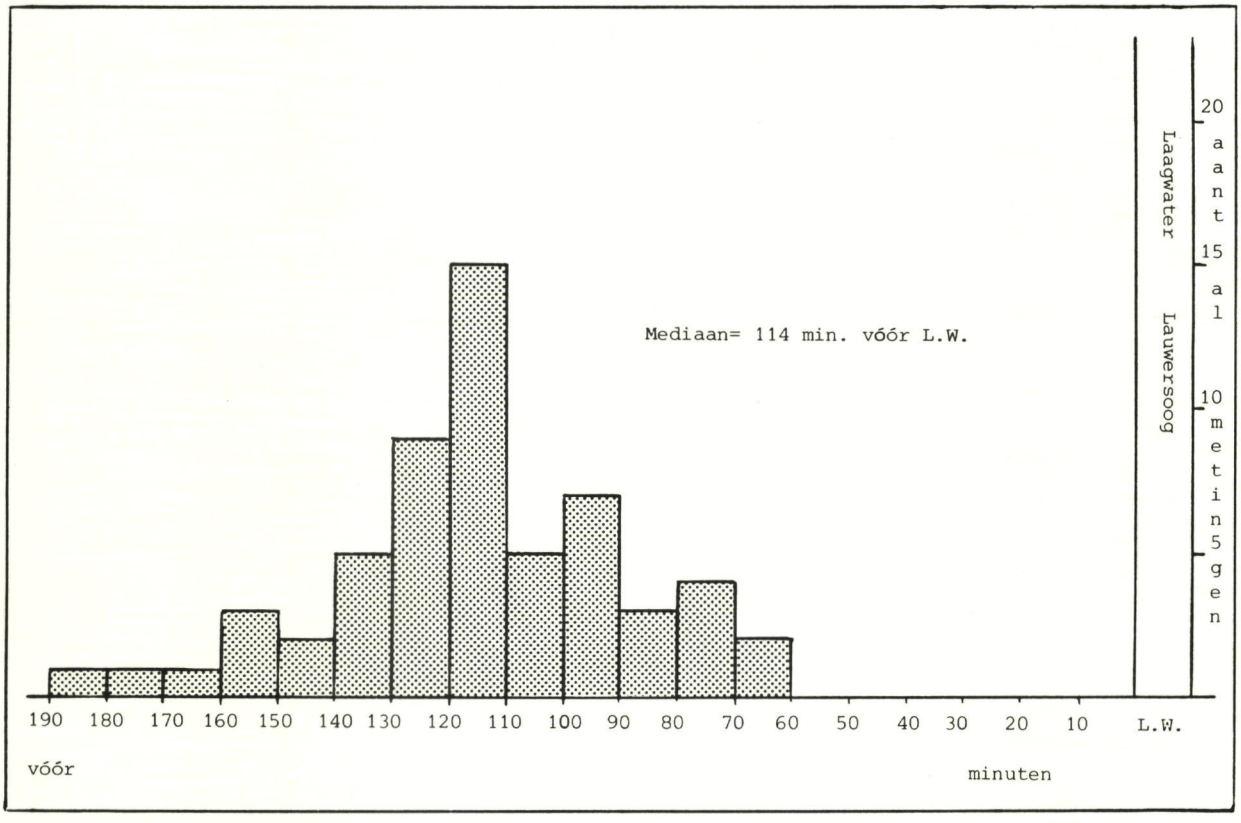
D
zware metalen pakket:
- zwevend slib metalen
- opgelost chroom
- totaal chroom
- opgelost koper
- totaal koper
- opgelost lood
- totaal lood
- opgelost zink
- totaal zink
- opgelost cadmium
- totaal cadmium
- opgelost kwik
- totaal kwik

E
- TOC

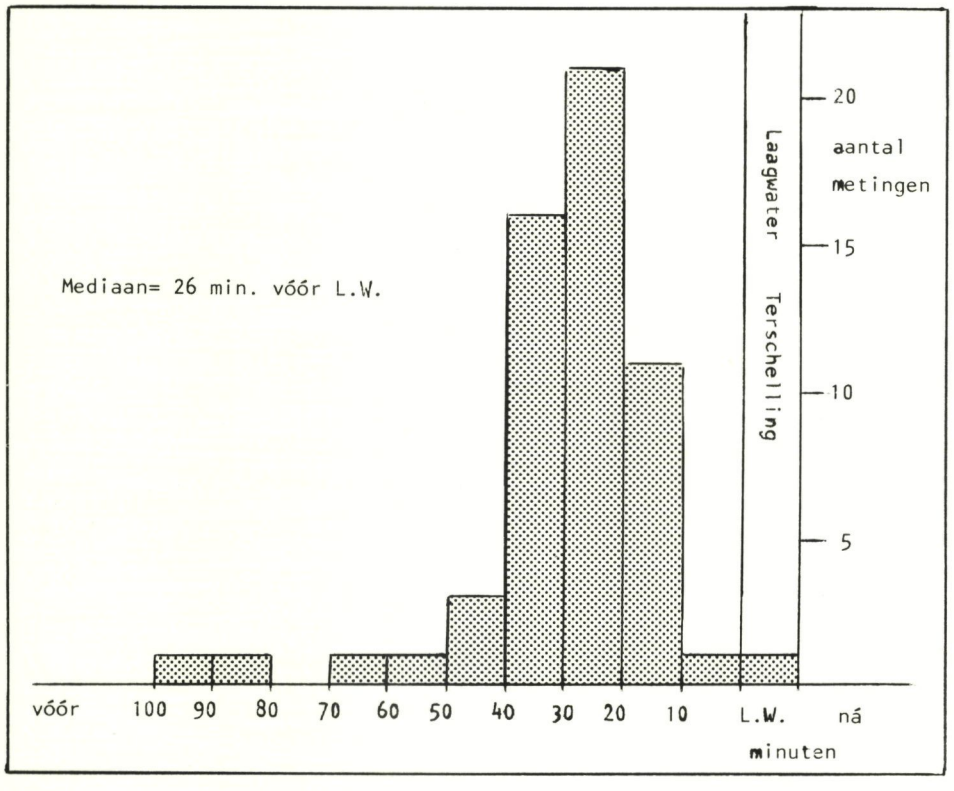
F
- olie
- fenol

G
- tritium

Figuur 3.6a: Monstertijdstip op de locatie 00869 Zuid-oost Lauwers ten opzichte van laagwater Lauwersoog in de periode 1976 t/m 1980.



Figuur 3.6b: Monstertijdstip op de locatie 00713 Zeegat Vliestroom ten opzichte van laagwater Terschelling in de periode 1976 t/m 1980.



Over de meeste onderzoeken is of wordt afzonderlijk gerapporteerd. Voor zover relevant voor dit rapport worden de resultaten vermeld. Dat geldt ook voor de resultaten van het onderzoek dat in het kader van een internationaal monitoring programma (Joint Monitoring Programme), voortvloeiend uit de Conventies van Oslo en Parijs over het dumpen en lozen van afvalstoffen in zee, op enkele lokaties in de Waddenzee wordt uitgevoerd. Dit onderzoek vindt met ingang van 1979 jaarlijks plaats. Vooralsnog is dit onderzoek beperkt tot de aanwezigheid van kwik, cadmium en pcb's in water en organismen.

4 De waterkwaliteit van de Waddenzee

4.1. Algemeen

De resultaten van het waterkwaliteitsonderzoek zullen in dit hoofdstuk per parameter worden besproken. Daarbij zal aandacht worden besteed aan een viertal aspecten:

- ruimtelijke gradiënten
- het seizoensverloop
- de variaties in waterkwaliteit over het getij
- de ontwikkelingen in de waterkwaliteit in de periode 1971-1981.

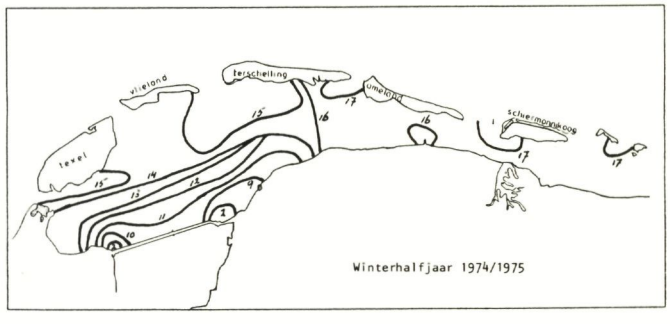
4.1.1. Ruimtelijke gradiënten in de waterkwaliteit

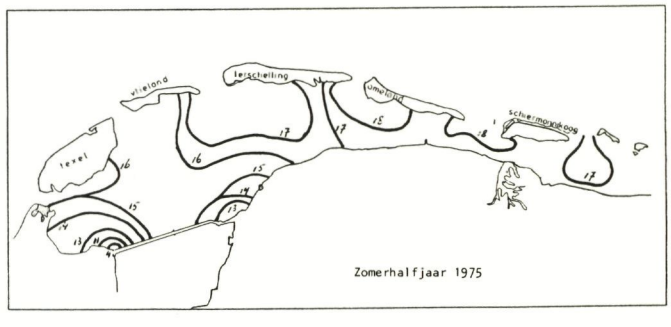
Zoals in hoofdstuk 2 reeds vermeld kunnen in de Waddenzee negen kombergingsgebieden worden onderscheiden. Deze verschillen onderling onder meer in grootte en externe beïnvloedingen.
Het door de zeegaten binnentredende water verschilt per kombergingsgebied. Bij Den Helder is dit water zoeter en bevat een hoger percentage Rijnwater dan het water in de meer oostelijk gelegen kombergingsgebieden (7). De beïnvloeding vanaf de landzijde is afhankelijk van de lokatie van de zoetwateruitslagen. Ter illustratie wordt in figuur 4.1. de gradiënt van het gemiddelde chloridegehalte (isohalinen) in een zomer- en winterhalfjaar getoond.
Naast de verschillen tussen beïnvloedingen van de land- en van de zeezijde die de kombergingsgebieden onderling doen verschillen, doen zich in de Waddenzee ook processen voor, als in hoofdstuk 2.4 beschreven. Door deze processen kunnen eveneens verschillen in de waterkwaliteit tussen kombergingsgebieden ontstaan. Tevens kunnen zij in het kombergingsgebied zelf een gradiënt veroorzaken.
De beschrijving van ruimtelijke verschillen in de waterkwaliteit van de gehele Waddenzee kan plaatsvinden aan de hand van de gradiënt in waterkwaliteit over de zeegaten van de Waddenzee van west naar oost, figuur 4.2. Gezien het tijdstip van bemonstering waarnaar gestreefd wordt (even voor LW) kunnen deze zeegaten representatief worden geacht voor de achterliggende kombergingsgebieden.
In de kombergingsgebieden van de westelijke Waddenzee representeren de gradiënten een duidelijke beïnvloeding door zoetwaterspuien.
De gradiënt in de oostelijke Waddenzee is meer representatief voor het gebied van geulen en platen en wordt voor een belangrijk deel bepaald door de natuurlijke dynamiek van de Waddenzee.
De beschrijving van de gradiënten gebeurt aan de hand van gemiddelden van alle gegevens van vijf opeenvolgende zomer- respektievelijk winterhalfjaren (1976 t/m 1980).

4.1.2. Seizoensverloop van de waterkwaliteit

Door de processen welke zich in de Waddenzee afspelen treden grote verschillen op tussen de waterkwaliteit in het zomerhalfjaar (april tot en met september) en het winterhalfjaar (oktober tot en met maart).
Ook tussen afzonderlijke metingen kunnen aanmerkelijke verschillen optreden, waarbij voor de meeste parameters echter wel een duidelijk seizoenspatroon is te onderscheiden. Teneinde hiervan een indruk te geven worden de variaties in waterkwaliteit gedurende het jaar besproken. Hierbij wordt vooral van de resultaten van de metingen in de Vliestroom (punt 00713 figuur 4.2.) gebruik gemaakt en wel over de periode 1976 t/m 1980. De lokatie Vliestroom werd gekozen omdat deze lokatie veelal een regelmatig verloop in de waterkwaliteit te zien geeft.
De direkte zoetwaterinvloeden zijn hier gering, terwijl ook de situering van dit punt in ruim water (zeegat) ertoe heeft bijgedragen dat uitschieters welke samenhangen met incidentele slibopwoeling hier minder uitgesproken naar voren komen.

Figuur 4.1: Gradiënten in gemiddeld chloridegehalte (g/l.) in een zomer- en een winterhalfjaar.





De periode 1976 t/m 1980 is gekozen omdat gedurende die periode met grote regelmaat in de tijd monsters zijn genomen, zodat het seizoensverloop het beste tot uiting komt.

4.1.3. Ontwikkeling van de waterkwaliteit in de periode 1971-1981

Getracht zal worden een indruk te geven van de ontwikkeling van de waterkwaliteit. Dit zal gebeuren aan de hand van het verloop van zomer- en winterhalfjaargemiddelden. Door verschillende oorzaken, te weten onvoldoende waarnemingen en wijzigingen in bemonsteringslokaties, bemonsteringsmethoden en analysemethodieken is slechts voor een beperkt aantal parameters een voldoende consistente meetreeks voorhanden, waarmee iets gezegd kan worden van de opgetreden veranderingen.

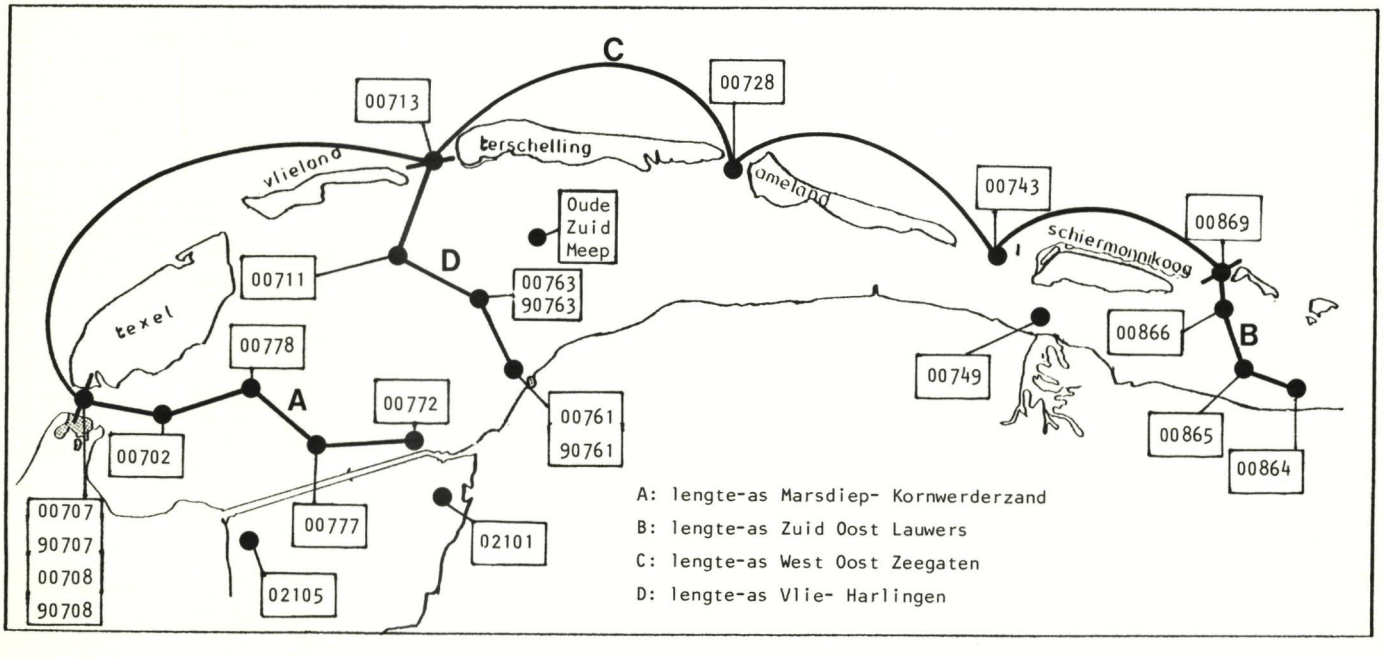
4.1.4. De variaties in de waterkwaliteit over het getij

Ook in een getijperiode treden verschillen op in de waterkwaliteit van één lokatie. Dit kan optreden als gevolg van de variatie van het zoetwateraandeel, afhankelijk van de fase van het getij. Een andere oorzaak kan zijn gelegen in de reeds eerder genoemde processen in de Waddenzee en de Noordzee, welke vooral 's zomers optreden.
Voorkomende verschillen tussen eb en vloed zullen worden besproken aan de hand van bemonsteringen in het Marsdiep (lokatie 90707 en 00707 in figuur 4.2) tijdens deze getijfasen.
Aanvullend zal gebruik worden gemaakt van metingen over een heel getij waarbij gemeten is in het Marsdiep of in de Oude Zuid Meep, een vrij kleine geul onder Terschelling (zie figuur 4.2).

4.1.5. Gehanteerde lokaties en gradiënten bij de beschrijving

De grote omvang van het gegevensmateriaal dwingt tot het maken van een selektie ten behoeve van de beschrijving van de waterkwaliteit. De voor de illustraties gebruikte lokaties en gradiënten zijn weergegeven in figuur 4.2. Bij de illustraties van gradiënten is veelal uitgegaan van een of twee kombergingsgebieden.
De gekozen kombergingsgebieden, lokaties en gradiënten kunnen representatief worden geacht ten aanzien van het beeld in andere delen van de Waddenzee. Waar dit niet het geval is wordt dit opgemerkt.
De gradiënten Marsdiep-Kornwerderzand (A in fig. 4.2) en Zuid-Oost Lauwers (B in fig. 4.2) zijn gebruikt om het verschil tussen de westelijke Waddenzee (zandiger, grotere invloed zoetwater) en de oostelijke Waddenzee (ondieper, slikkiger, vrij weinig zoetwaterinvloed) te presenteren.
De gradiënt Vlie-Harlingen is interessant vanwege de zoetwaterspuien in of nabij Harlingen (D in fig. 4.2).
Voor de oost-west gradiënt in de Waddenzee is gebruik gemaakt van de meetpunten in de zeegaten (C in fig. 4.2).

Figuur 4.2.: Beschouwde meetpunten en gradiënten bij de bespreking van de waterkwaliteit.

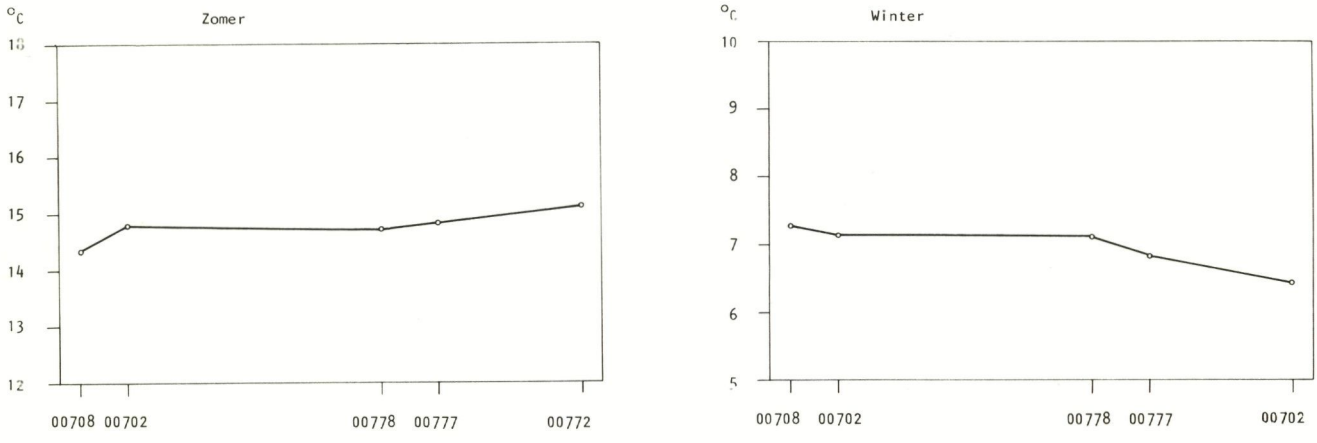


4.2. Bespreking van de waterkwaliteitsvariabelen

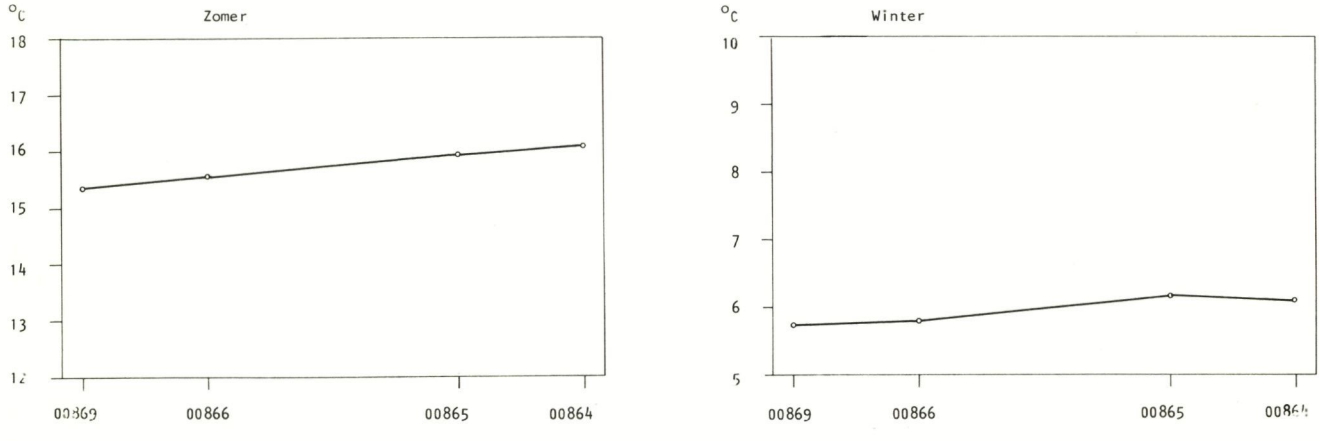
4.2.1. Temperatuur

De temperatuur vertoont in de zomer in het algemeen een toename gaande van het zeegat naar de kust en 's winters een afname (fig. 4.3 en fig. 4.4).
Hetzelfde geldt voor de gradiënt over de zeegaten; in de zomer is een toename van west naar oost, in de winter een afname (fig. 4.5).

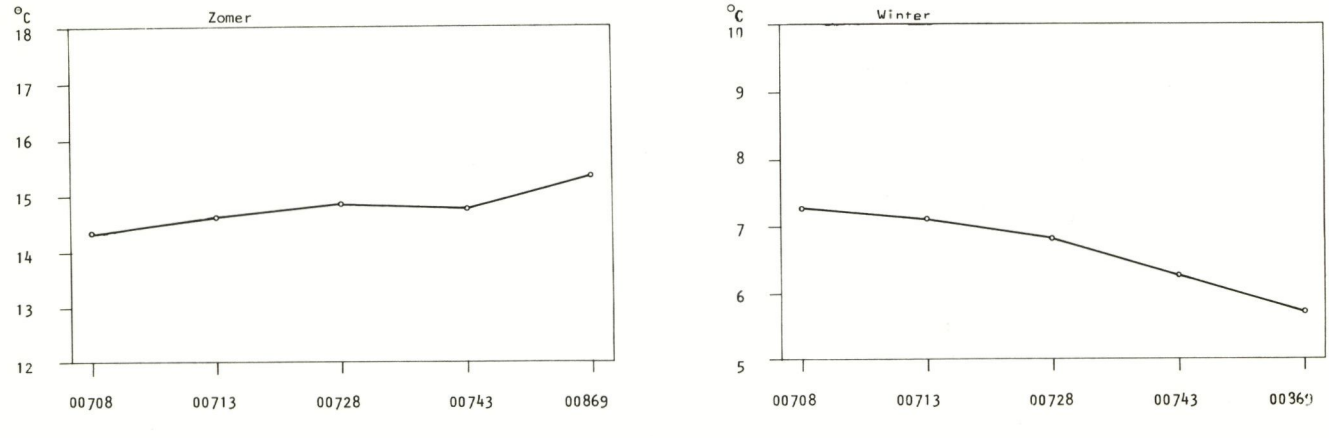
Figuur 4.3: Gradiënt Marsdiep- Kornwerderzand. Gemiddelde temperatuur 1976-1980.



Figuur 4.4: Gradiënt Lauwers- Zuidoost Lauwers. Gemiddelde temperatuur 1976-1980.



Figuur 4.5: Gradiënt west- oost zeegaten. *Gemiddelde temperatuur 1976-1980.*

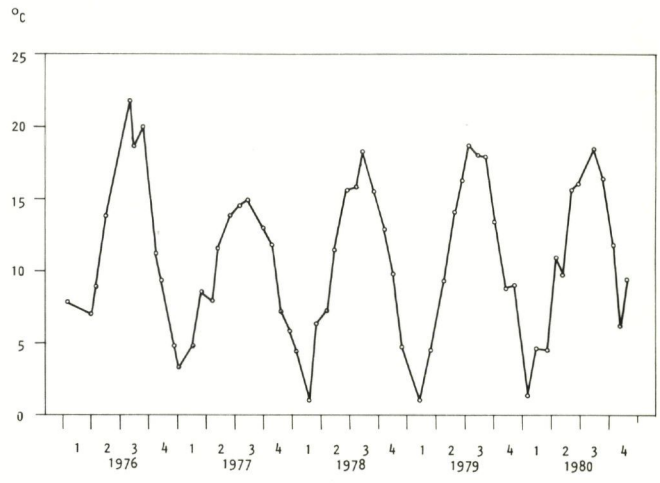


Beide verschijnselen hangen samen met het ondieper worden van de Waddenzee gaande van zeegat naar de kust en van west naar oost.
De ondiepere gebieden warmen 's zomers sneller op en koelen 's winters vlugger af dan de diepere delen (zeegaten, Noordzee).

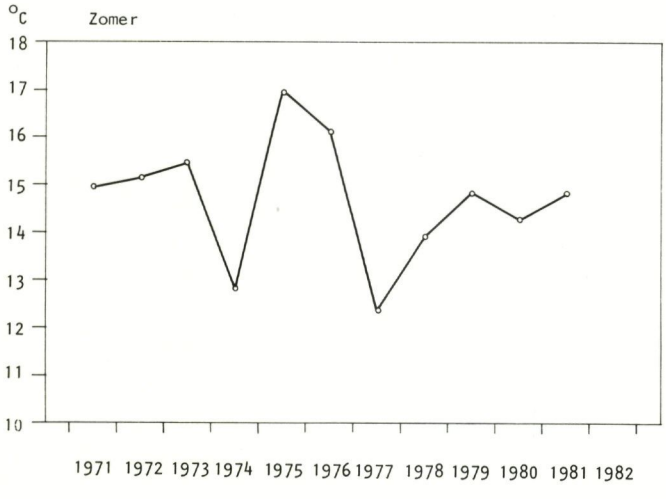
Het verloop van de temperatuur over het seizoen in het zeegat van de Vliestroom spreekt voor zich (fig. 4.6).

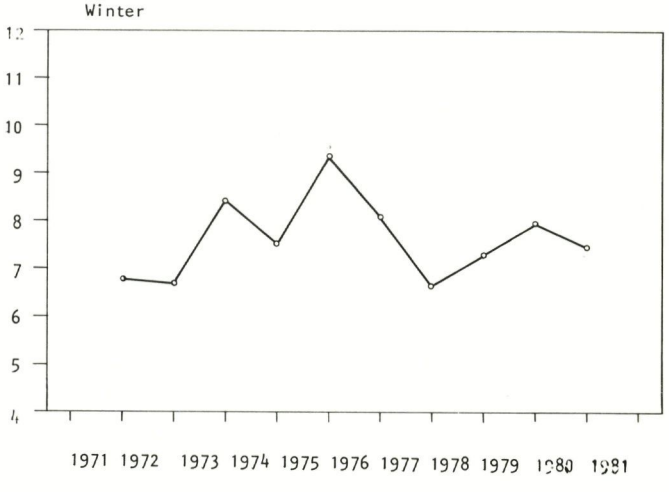
Gedurende de verslagperiode is het gemiddeld beeld van de temperatuur tijdens de zomer en winter als weergegeven in fig. 4.7 voor de lokatie Marsdiep. Opvallend zijn de koude zomers van 1974 en 1977 alsmede de warme zomer van 1975 en 1976.
Ook binnen een getijperiode kan een temperatuurverschil optreden van enkele graden, als gevolg van extra opwarming in de zomer of afkoeling in de winter. De opwarming en afkoeling treedt dan met name in de dunne laag water boven de platen op. Fig. 4.7 geeft hiervan illustratie voor de Oude Zuid Meep in de zomer.

Figuur 4.6: Temperatuurverloop in de Vliestroom op 00713

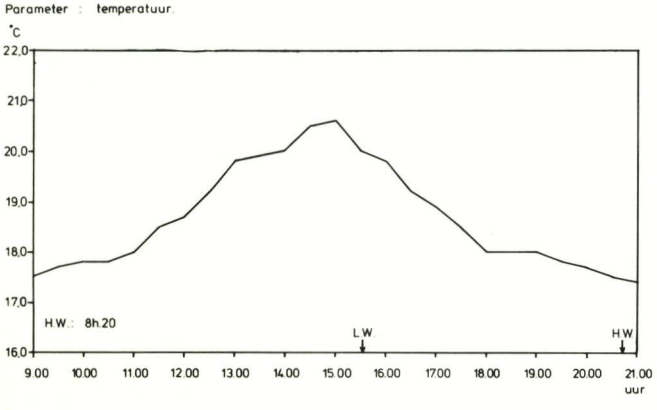


Figuur 4.7: Gemiddelde temperatuur in het Marsdiep op 00707.





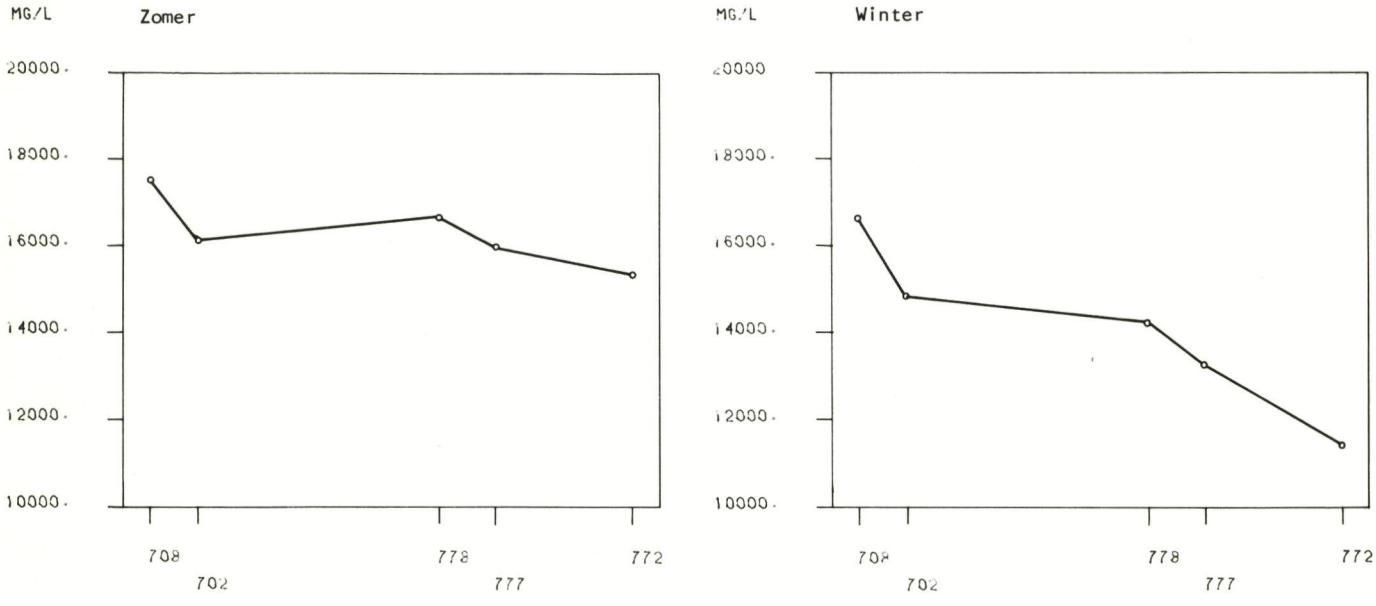
Figuur 4.8: Getijmeting Oude Zuid Meep d.d. 10 juni 1976.



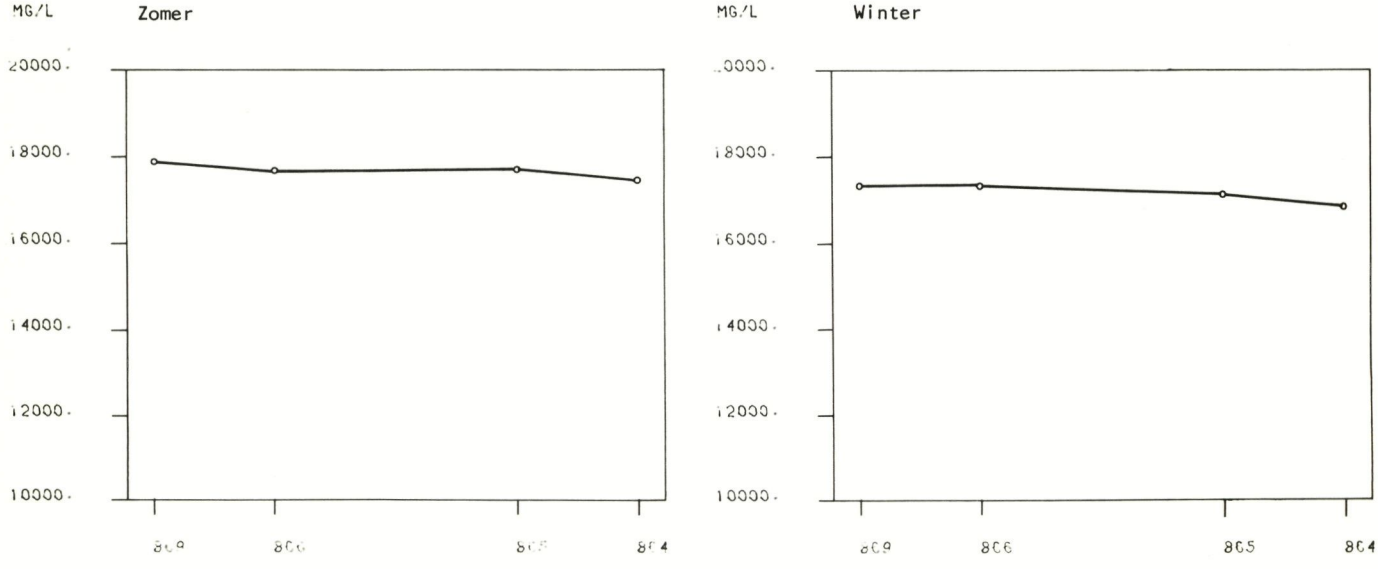
4.2.2. Chloride

De gradiënten zeegat-kust vertonen een sterke afname van het chloridegehalte als bij de kust zoetwaterspui plaatsvindt.
Dit is het duidelijkst bij de spui van het IJsselmeer. Fig. 4.9 geeft de gemiddelde gradiënt Marsdiep-Kornwerderzand voor de jaren 1976 tot 1980. In de winter is de gradiënt sterker dan in de zomer, door de grotere spui in de winter (zie tabel 2.4 en 2.5).
Kombergingsgebieden waarop slechts een geringe spui plaatsvindt, hebben een veel geringere zoet-zout-gradiënt.
Een voorbeeld hiervan is het kombergingsgebied van de Lauwers in de oostelijke Waddenzee, waar bij Noordpolderzijl en incidenteel via de persleiding Hoogkerk zoetwater gespuid wordt (28). (Fig. 4.10).

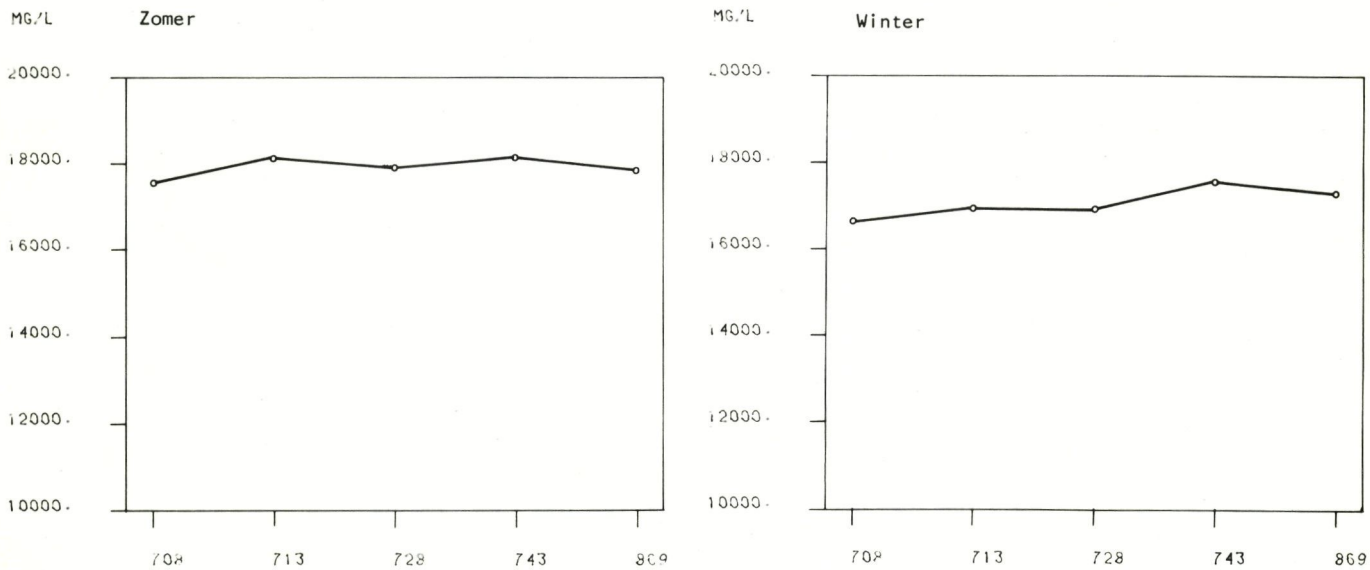
Figuur 4.9: Gradiënt Marsdiep-Kornwerderzand. Gemiddeld chloridegehalte 1976-1980.



Figuur 4.10: Gradiënt Lauwers- Zuidoost Lauwers. Gemiddeld chloridegehalte 1976-1980.



Figuur 4.11: Gradiënt west- oost zeegaten. Gemiddeld chloridegehalte 1976-1980.

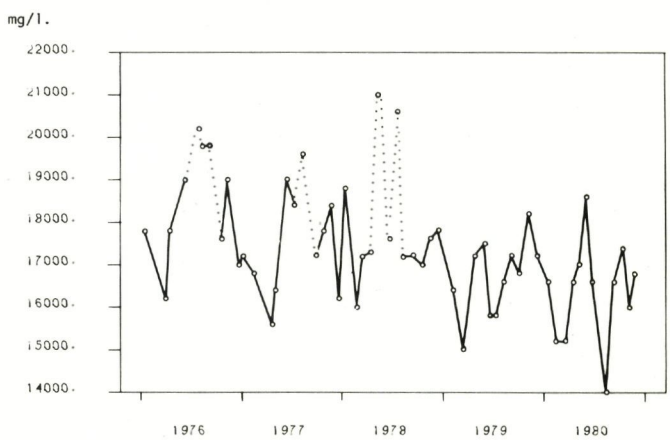


Er is ook een gradiënt in zoutgehalte van west naar oost in de Waddenzee vooral in de winter. (fig. 4.11, alsmede fig. 4.1) Dit hangt samen met de grotere zoetwaterinvloeden in de westelijke Waddenzee (Rijninvloed, spui IJsselmeer).

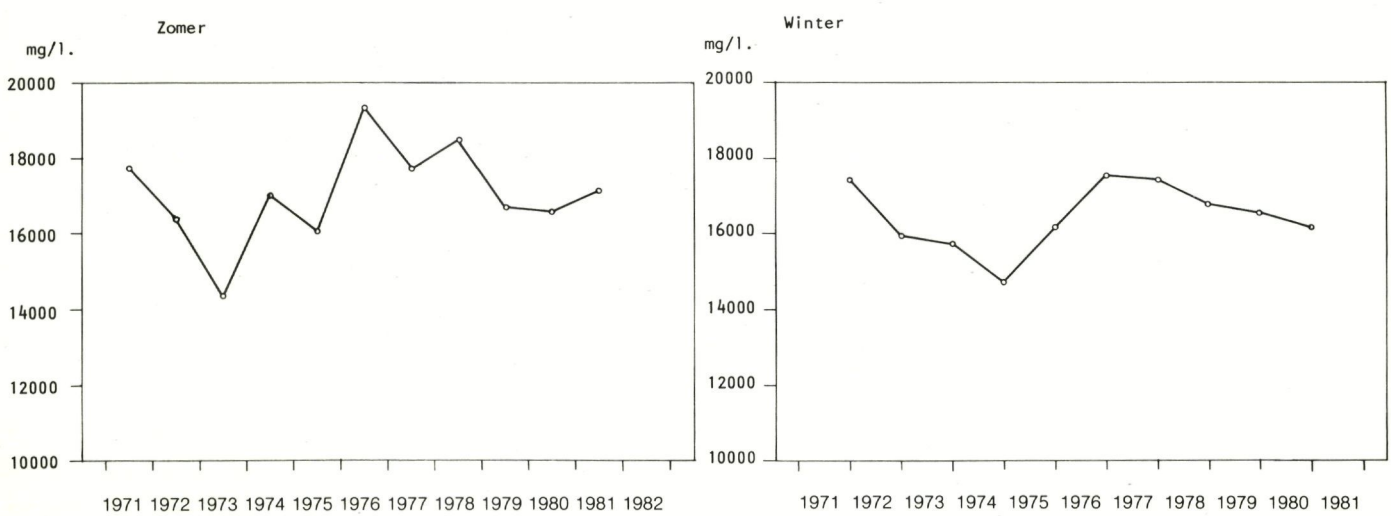
Gezien de grotere zoetwaterspuien in de winter spreekt het seizoensverloop van het chloridegehalte voor zich (fig. 4.12.).

Uit het verloop van de gemiddelde chloridegehalten in de periode 1971-1981 in het Marsdiep, bij eb (fig. 4.13) valt zowel voor de zomer als winterhalfjaargemiddelden geen éénduidige trend te ontdekken. Dit was ook niet te verwachten. Wel komt een (half) jaar waarin weinig of juist veel zoetwater is gespuid duidelijk tot uiting, bijvoorbeeld de zomer van 1976.

Figuur 4.12: Chlorideverloop in het Marsdiep op 00707.



Figuur 4.13: Gemiddeld chloridegehalte in het Marsdiep op 00707.



4.2.3. Zwevende stof

In de Waddenzee treden grote ruimtelijke verschillen in zwevend stofgehalte op. Dit is het gevolg van het accumulatie-proces van zwevend materiaal, zoals beschreven in hoofdstuk 2. De gehalten in de westelijke Waddenzee of de zeegaten zijn bijvoorbeeld dan ook lager dan in de geulen van de oostelijke Waddenzee (fig. 4.14 en 4.15.)
Daarbij liggen de gemiddelden in de winter veelal hoger dan in de zomer als gevolg van bodemopwoeling ten gevolge van het onrustiger weerbeeld.

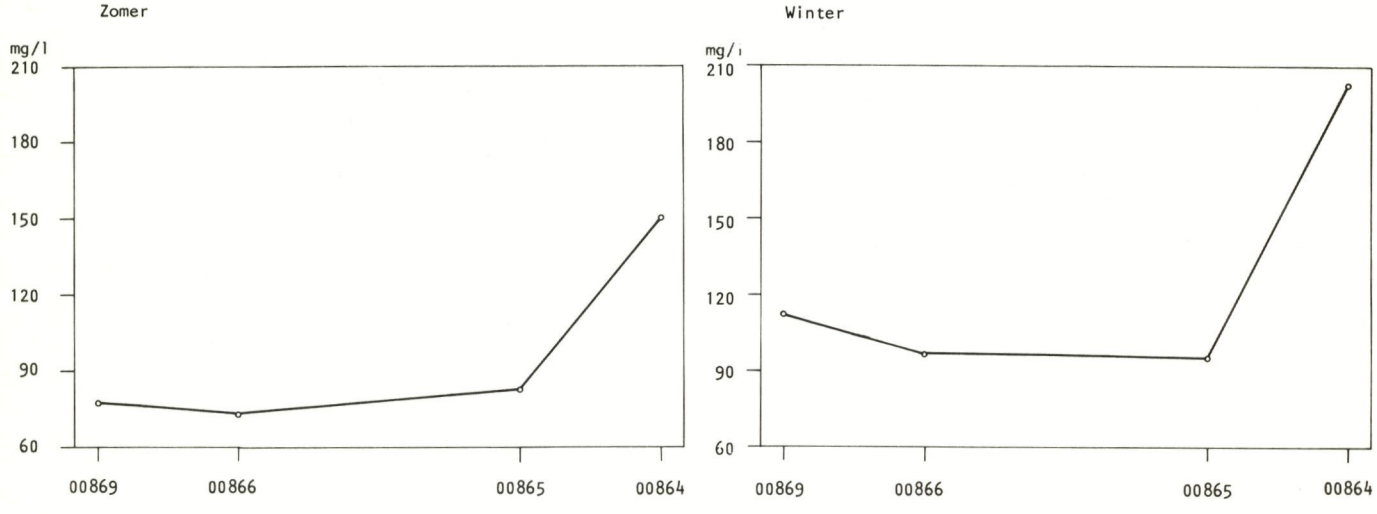
In tabel 4.1. zijn enkele karakteristieke zwevend stofgehalten vermeld zoals bij dit onderzoek gemeten.

gebied	zomer	winter
Westelijke Waddenzee	30	55
Lauwers (zeegat)	80	110
Zuid-Oost Lauwers (kust)	150	200

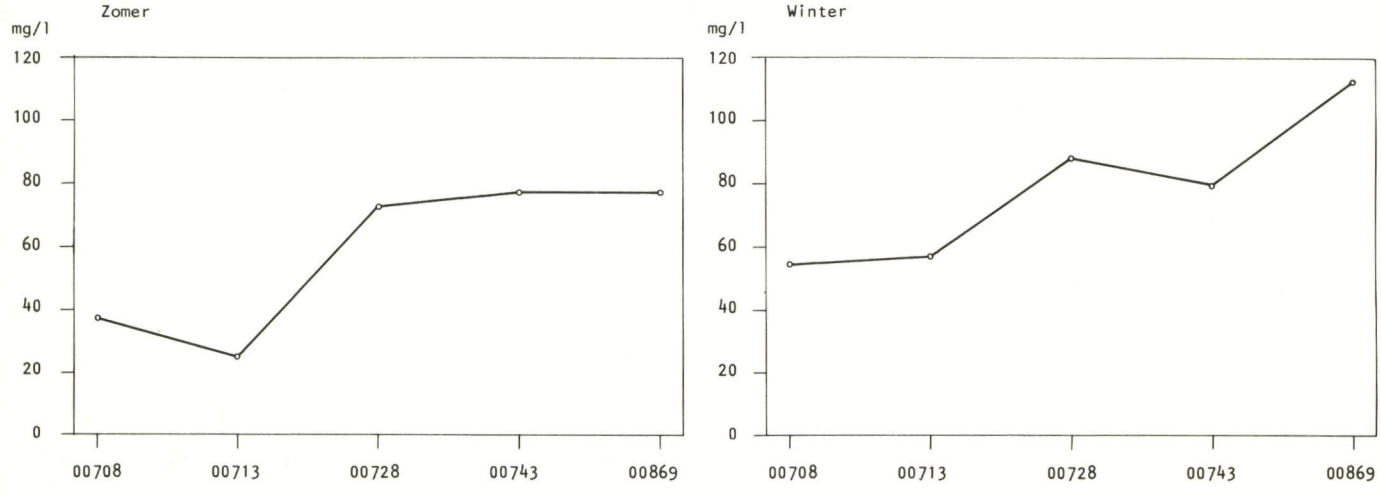
Tabel 4.1. Gemiddeld zwevend stofgehalte (mg/l) in enkele delen van de Waddenzee.

Het zwevend stofgehalte vertoont een duidelijk seizoensverloop met lage gehalten in het voorjaar en de zomer. De reden hiervan moet gezocht worden in het veelal rustige weertype in deze periode. De indruk bestaat dat met deze lage gehalten tegelijkertijd iets lagere percentages gloeirest worden gevonden, daar de fraktie die bij de rustig weer blijft zweven (de fijnere fraktie) verhoudingsgewijs meer organisch materiaal bevat (fig. 4.16 en 4.17).
Wanneer de ontwikkeling van het gemiddelde zwevend stofgehalte in het Marsdiep wordt bezien (fig. 4.18 en 4.19) lijkt vooral in het begin van de zeventiger jaren sprake te zijn van een toename. Dit is ook op andere lokaties in de Waddenzee het geval.
Het is denkbaar dat er een mogelijke relatie is met toegenomen baggeraktiviteiten, niet zozeer in de Waddenzee zelf als wel daarbuiten. Ook elders (Eems-Dollard) wordt de toename van zwevend stofgehalte in verband met baggeraktiviteiten gebracht (de Jonge ongepubliceerd).
Overigens is het zwevend stofgehalte een parameter waarvan ook uit de literatuur bekend is dat in dit type water de variatie zowel in de ruimte (horizontaal en vertikaal), als in de tijd erg groot kan zijn. Duidelijk is dit te zien tijdens een getijdemeting in de Oude Zuid Meep waar het „laatste" water dat vlak voor laagwater van de platen stroomt een zeer hoog gehalte aan zwevend materiaal in deze geul veroorzaakt (fig. 4.20).

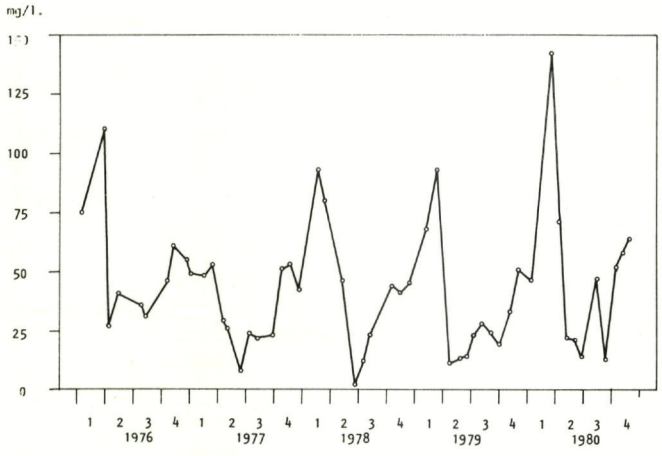
Figuur 4.14: Gradiënt Lauwers- Zuidoost Lauwers. Gemiddeld zwevend stofgehalte 1976-1980.



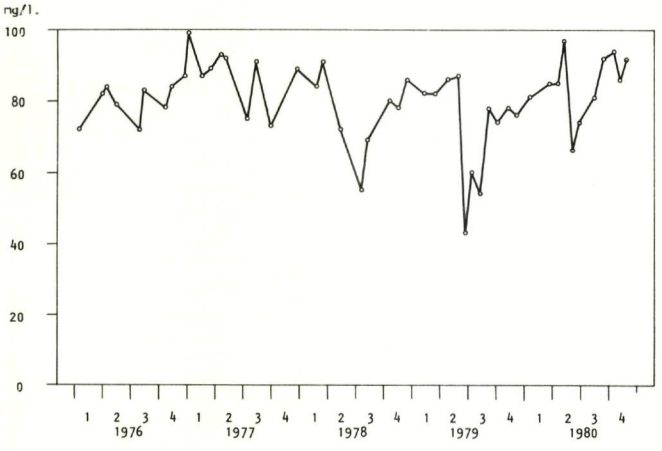
Figuur 4.15: Gradiënt west- oost zeegaten. Gemiddeld zwevend stofgehalte 1976-1980.



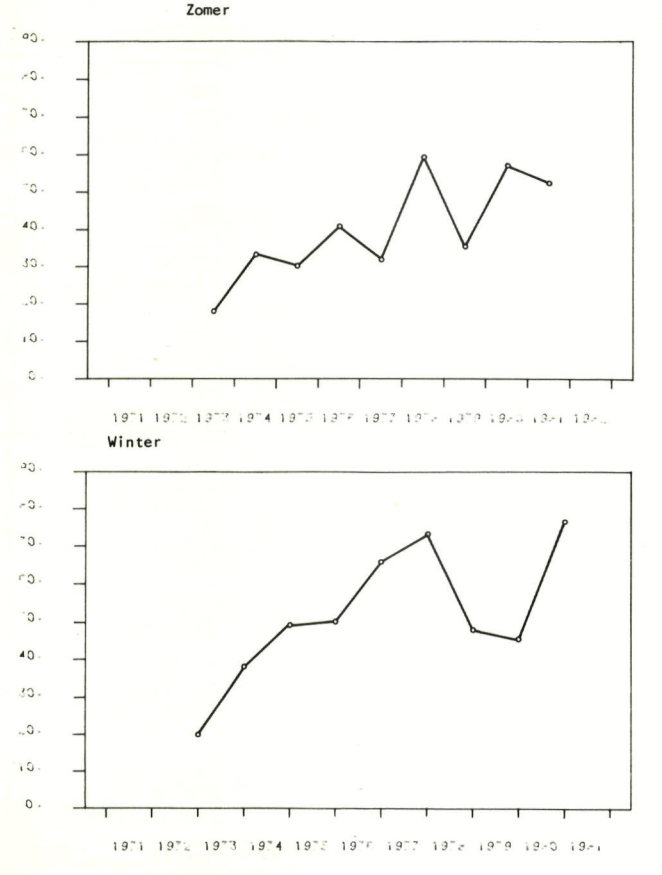
Figuur 4.16: Verloop zwevende stof in de Vliestroom op 00713.



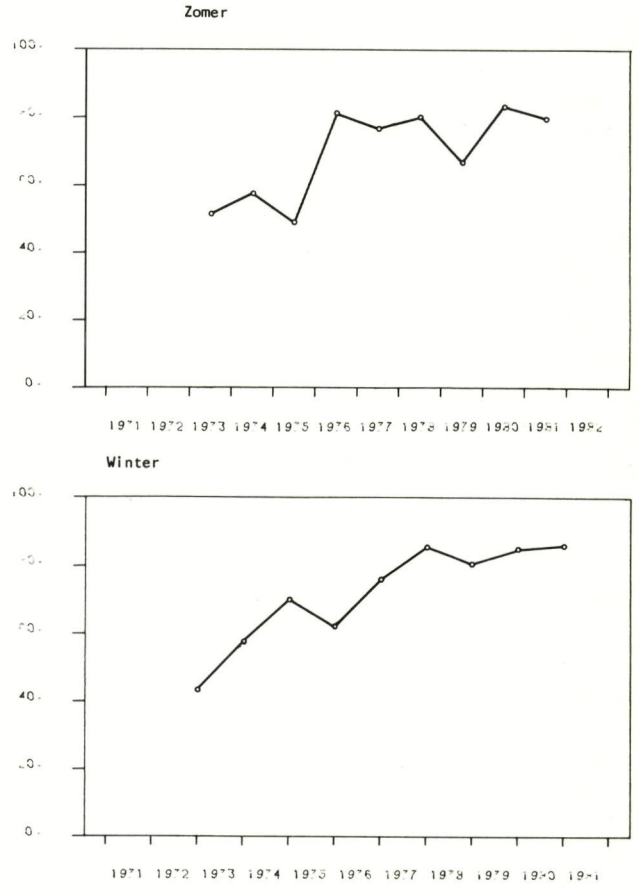
Figuur 4.17: Verloop percentage gloeirest in de Vliestroom op 00713.



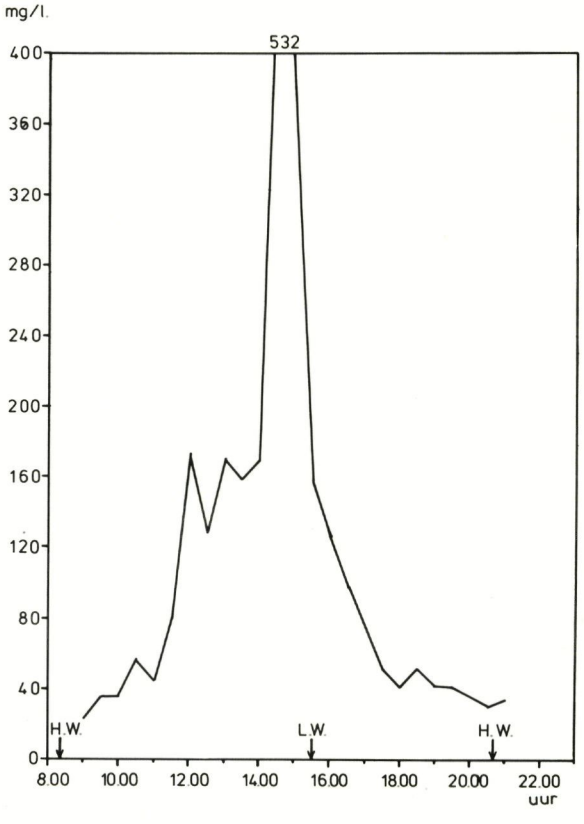
Figuur 4.18: Gemiddeld zwevend stofgehalte in het Marsdiep op 00707.



Figuur 4.19: Gemiddeld percentage gloeirest in het Marsdiep op 00707.



Figuur 4.20: Getijmeting Oude Zuid Meep d.d. 10 juni 1976. Parameter: zwevende stof.



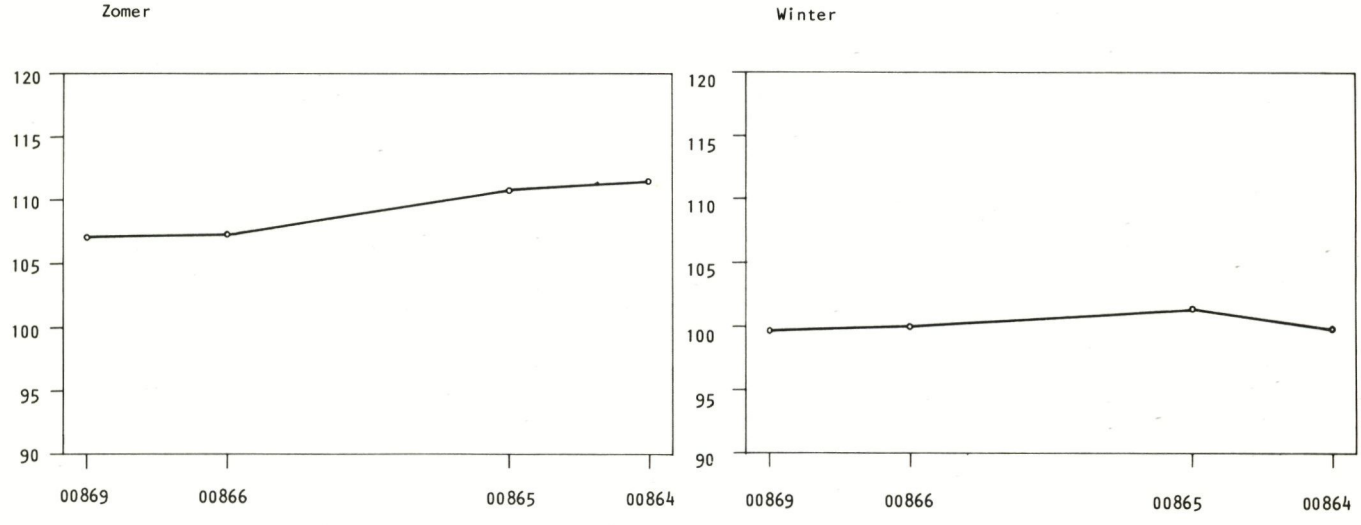
4.2.4. Het zuurstofgehalte

De wintergemiddelde zuurstofgehalten liggen op 95-99% van de verzadigingswaarde en de zomergemiddelden op 100-110% van de verzadigingswaarde. Daarmee is het zuurstofgehalte in geulen van de Waddenzee over het algemeen goed te noemen, waarbij in aanmerking moet worden genomen dat alleen overdag is gemeten. 's Zomers valt een toename van het percentage zuurstofverzadiging gaande naar de kust waar te nemen. Dit is goed te zien bij fig. 4.21 welke de gemiddelde gradiënt in de Zuid-Oost Lauwers toont. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door een toenemende algenaktiviteit met name op de platen (fyto-benthos). Om dezelfde redenen liggen de gemiddelde gehalten in de oostelijke Waddenzee een fraktie hoger dan in de westelijke Waddenzee (fig. 4.22).
Relatief lage gehalten komen voor nabij Harlingen (fig. 4.23). In hoofdstuk 6.1 (invloed van lozingen) wordt hier nader op ingegaan. Gesteld kan worden dat zowel de zoetwaterspui als mineralisatie een rol spelen. Het laatste omdat hier een wantij ligt.

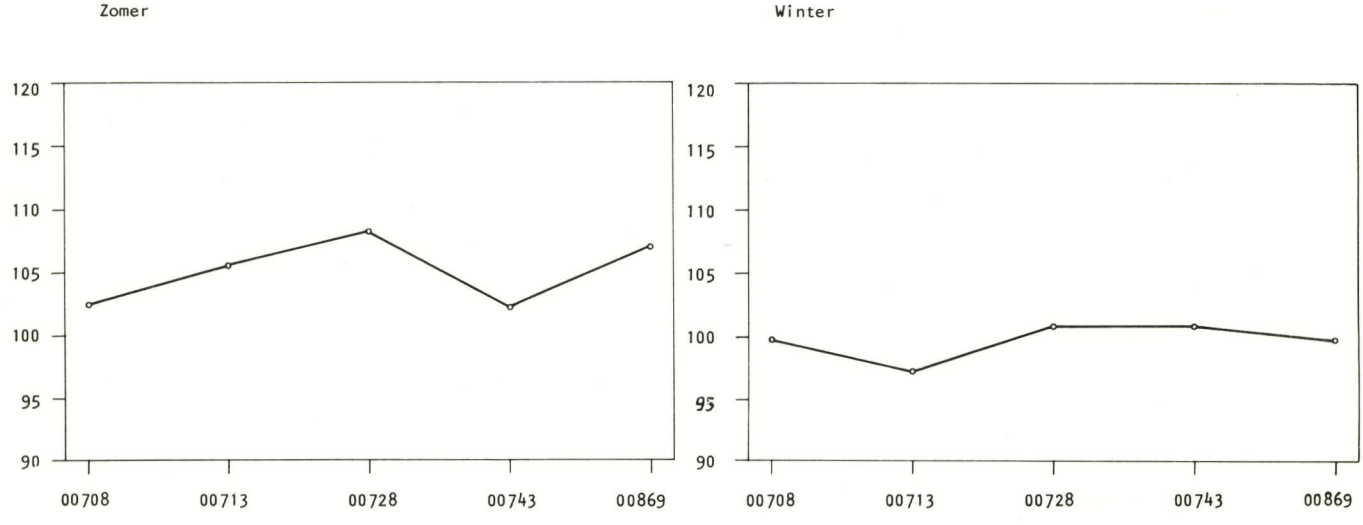
Uit de ontwikkeling in de periode 1971-1981 valt geen trend af te leiden, zoals te zien is in fig. 4.24 aan de hand van de ebmetingen in het Marsdiep (lokatie 00707).
Binnen een getijdeperiode kunnen de verschillen in zuurstofgehalte groot zijn.
Het zuurstofgehalte van het water neemt soms toe binnen enkele uren (fig. 4.25A).

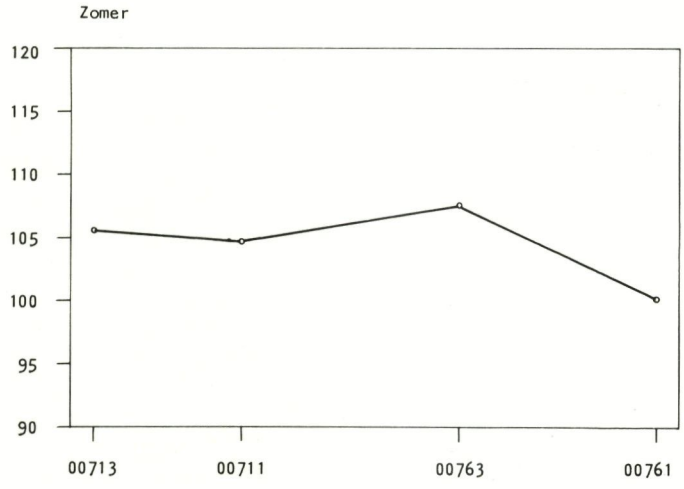
Plaatselijk kunnen deze verschillen zelfs behoorlijk zijn doordat er grote algenaktiviteiten ontstaat in de dunne laagjes water op de platen kort voor laagwater. Dit blijkt duidelijk bij de getijmeting in de Oude Zuid Meep (fig. 4.26). Het komt echter ook voor dat het zuurstofgehalte bij verblijf in de Waddenzee lager wordt (fig. 4.25B). Lage zuurstofgehalen (40-60% zuurstofverzadiging) zijn aangetoond op het Balgzand als gevolg van grote mineralisatie (15).

Figuur 4.21: Gradiënt Lauwers- Zuidoost Lauwers. Gemiddeld zuurstofpercentage 1976-1980.



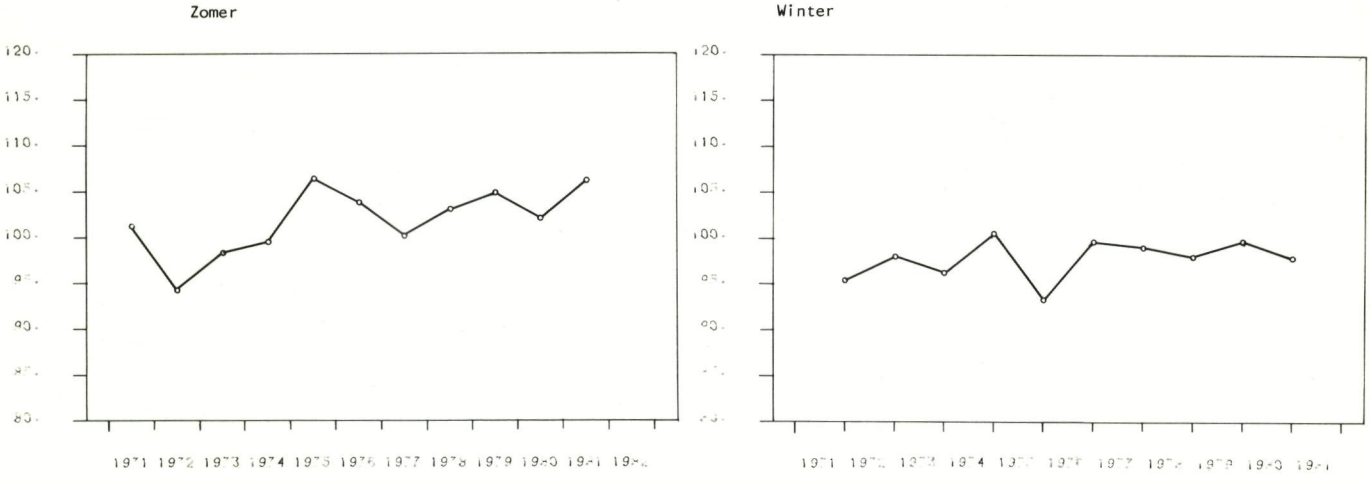
Figuur 4.22: Gradiënt west- oost zeegaten. Gemiddeld zuurstofpercentage 1976-1980.

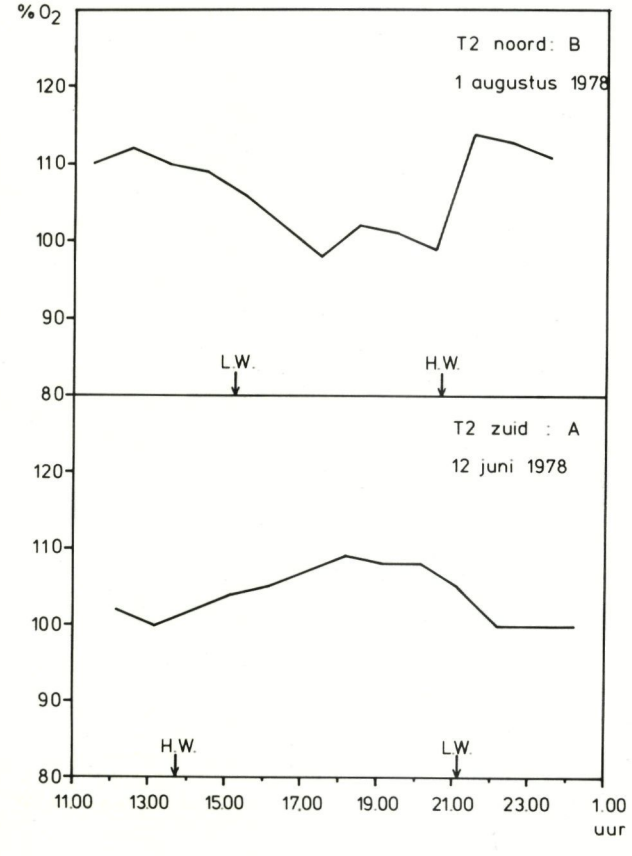




Figuur 4.23: Gradiënt Vlie- Harlingen. Gemiddeld zuurstofpercentage 1976-1980.

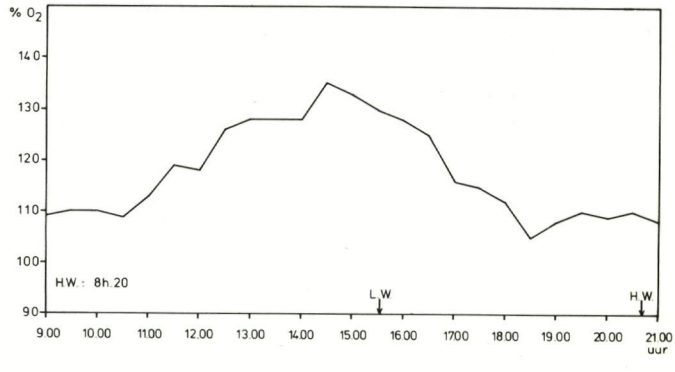
Figuur 4.24: Gemiddeld zuurstofverzadigingspercentage in het Marsdiep op 00707.





Figuur 4.25: Getijmeting T2 noord en zuid. Parameter: zuurstofverzadigingspercentage.

Figuur 4.26: Getijmeting Oude Zuid Meep d.d. 10 juni 1976. Parameter: zuurstofverzadigingspercentage.

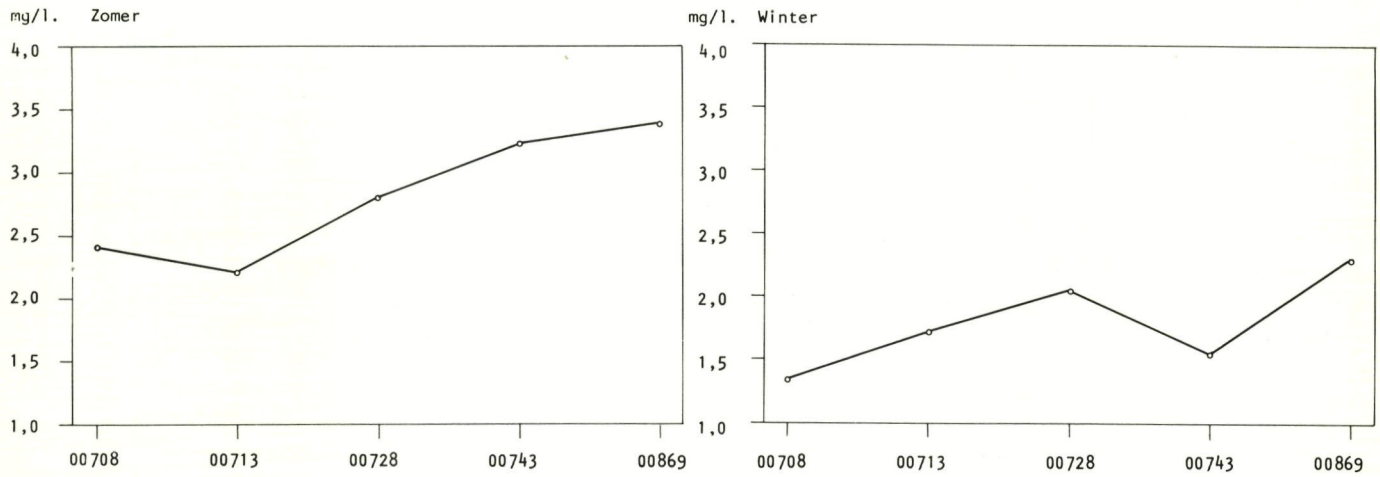


4.2.5. Biochemisch zuurstofverbruik

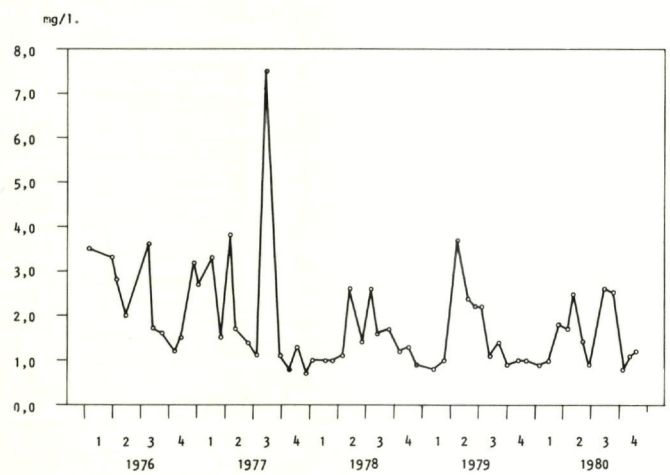
Het beeld gevonden bij het zwevend stof ten aanzien van de west-oost gradiënt over de zeegaten (fig. 4.15) korrespondeert min of meer met de gradiënt van het biochemisch zuurstofverbruik ($BZV^{20}5$) (fig. 4.27).
De zomergemiddelden liggen op 2,5-3,5 mg/l, de wintergemiddelden op 1,5-2,5 mg/l.
Bij het verloop over de jaren 1976-1980 (fig. 4.28) valt op dat de gehalten in het voorjaar en de zomer incidenteel sterk verhoogd zijn. Waarschijnlijk is dit het gevolg van algenbloei.

Uit de ontwikkeling van zowel de zomerhalfjaargemiddelde als de winterhalfjaargemiddelde $BZV\ ^{20}5$ waarden in het Marsdiep blijken deze in de periode 1971-1981 af te nemen (fig. 4.29). Het gehalte daalde in de zomer van gemiddeld 3,5 mg/l naar 2,0 mg/l en in de winter van gemiddeld 3,0 mg/l naar 1,5 mg/l.
Dit beeld is representatief voor de gehele Waddenzee.
Hiervoor kan geen sluitende verklaring gegeven worden; gezien de geringe belasting van de Waddenzee met afvalwater kan dit geen direct gevolg zijn van sanering van lozingen.

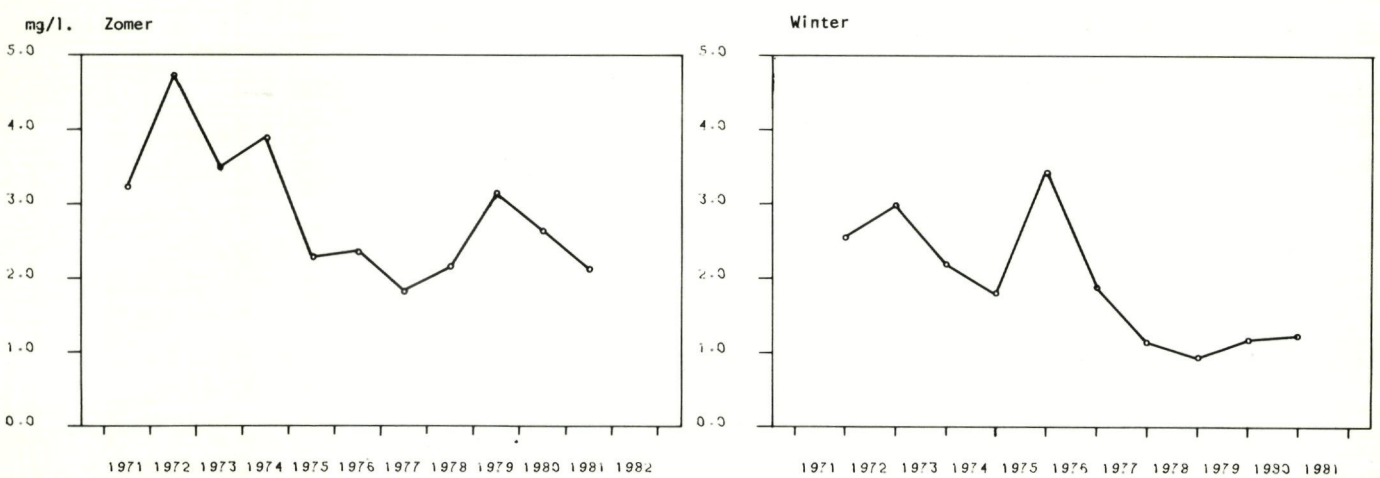
Figuur 4.27: Gradiënt west- oost zeegaten. Gemiddeld BOD_5- gehalte 1976-1980.



Figuur 4.28: BOD_5-verloop in de Vliestroom op 00713.



Figuur 4.29: Gemiddeld BOD_5-gehalte in het Marsdiep op 00707.



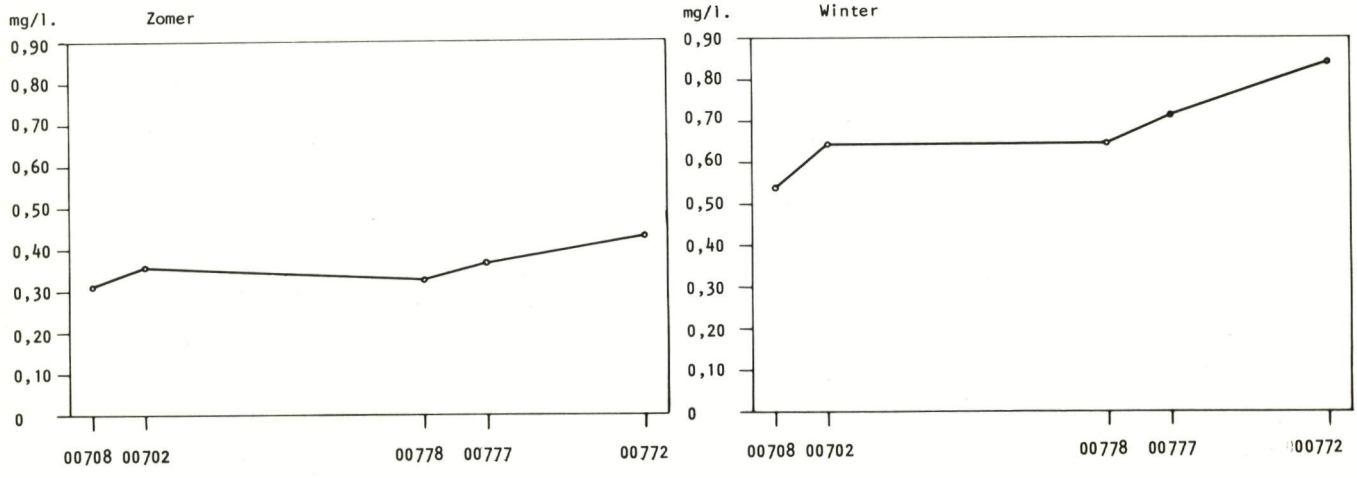
4.2.6. *Nitraat*

In de verschillende kombergingsgebieden is een gradiënt aanwezig met toenemende nitraatgehalten nabij de kust. Dit is een gevolg van spui van nitraatrijk binnenwater. Dit kan het meest duidelijk worden geïllustreerd aan de hand van de gradiënt op het trajekt Marsdiep-Kornwerderzand (fig. 4.30).
Zowel 's zomers als 's winters is er een geringe gradiënt over de zeegaten (fig. 4.31). Het gemiddeld zomergehalte ligt in de Waddenzee op 0,2-0,3 mg/l NO_3-N en het gemiddeld wintergehalte op 0,5-0,6 mg/l NO_3-N. Het nitraatgehalte vertoont een duidelijk seizoensverloop (fig. 4.32). Dit hangt waarschijnlijk samen met de geringere zoetwaterspui in de zomer en met opname door algen in de zomer (17).

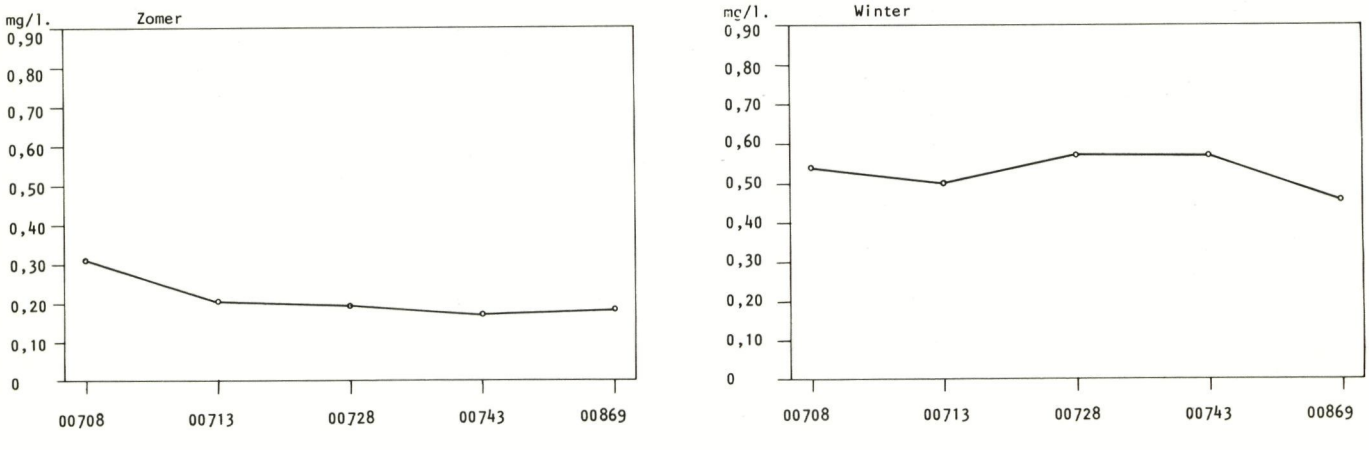
Gedurende de periode 1971-1981 lijken, gezien de grote variatie in het gemiddelde nitraatgehalte, zowel voor het zomer- als het winterhalfjaar, zich geen trendmatige ontwikkelingen te hebben voorgedaan (fig. 4.33). Het natte en koude jaar 1974 springt er duidelijk uit met zeer hoge gemiddelde nitraatgehalten.

Bij vergelijking van de gemeten nitraatgehalten in het Marsdiep bij eb en bij vloed in de periode 1976-1980, waarbij de eb en de vloedbemonstering op dezelfde dag plaatsvond, blijkt er geen duidelijk verschil in gehalten dat wijst op een verandering van het nitraatgehalte in de Waddenzee, als gevolg van zich daar voordoende processen (denitrificatie, opname door algen) (fig. 4.34).

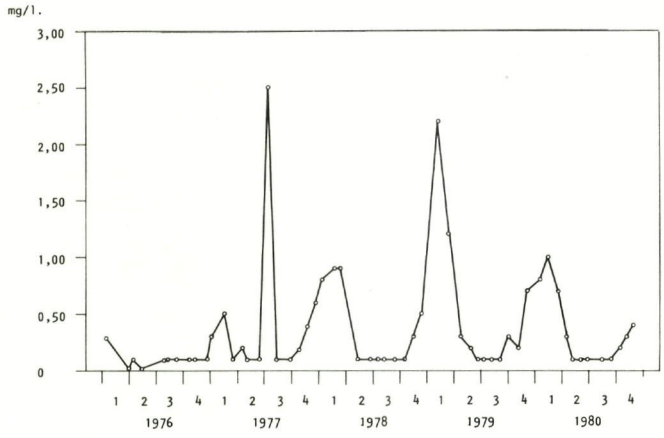
Figuur 4.30: Gradiënt Marsdiep- Kornwerderzand. Gemiddeld nitraatgehalte 1976-1980.



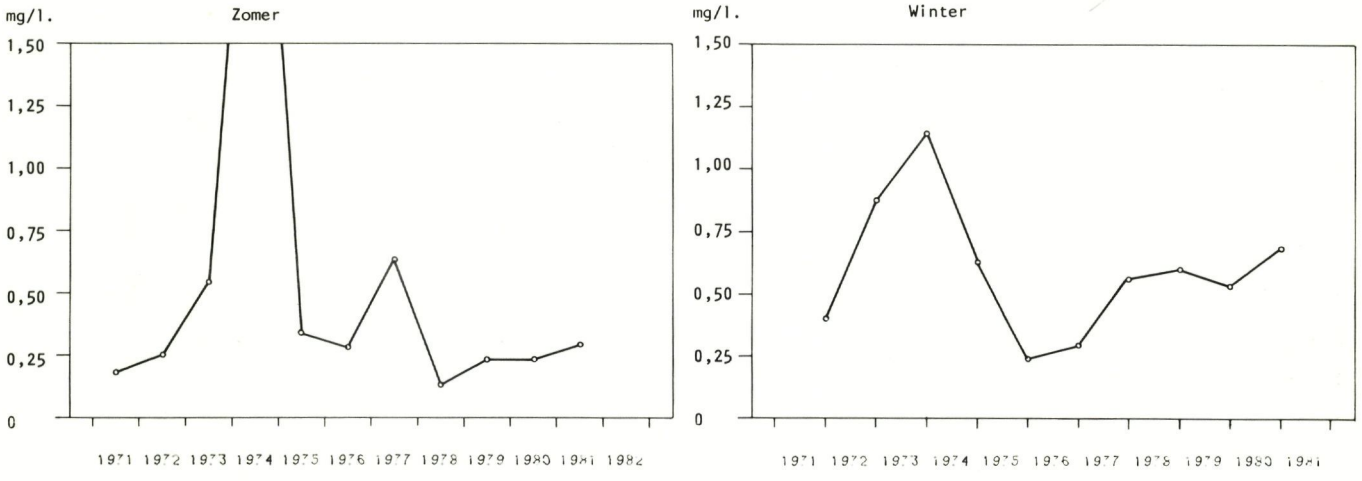
Figuur 4.31: Gradiënt west- oost zeegaten. Gemiddeld nitraatgehalte 1976-1980.



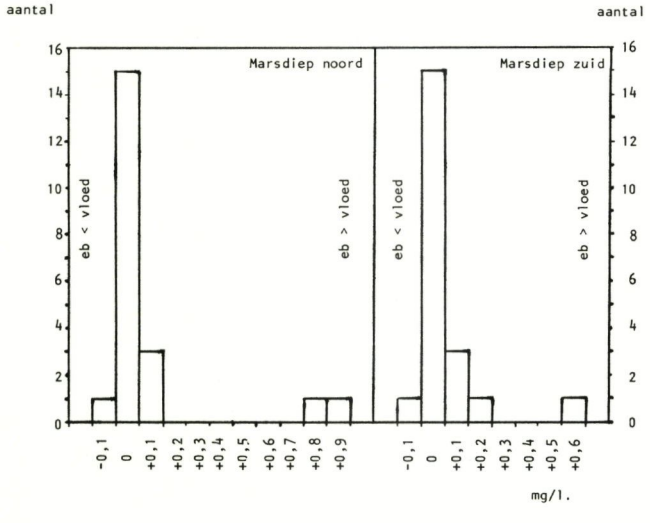
Figuur 4.32: Nitraatverloop in de Vliestroom op 00713.



Figuur 4.33: Gemiddeld nitraatgehalte in het Marsdiep op 00707.



Figuur 4.34: Verschil in nitraatgehalte tussen eb- en vloedbemonstering in het Marsdiep in de periode 1976-1980, waarbij de bemonsteringen op dezelfde dag plaatsvonden.



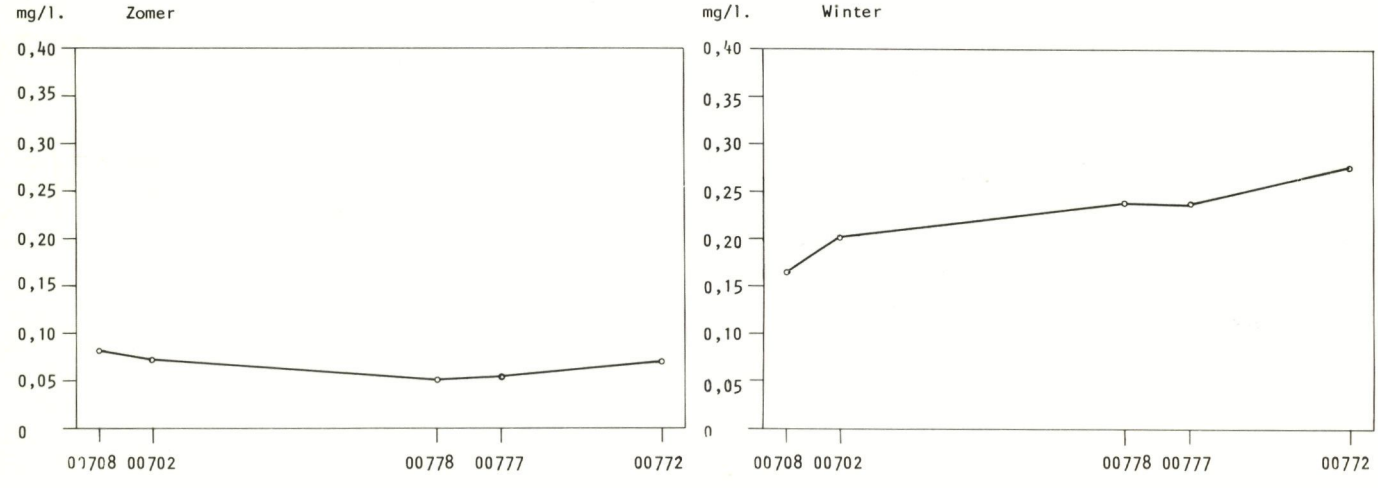
4.2.7. *Ammonium*

De zomer- en winterhalfjaargemiddelde ammoniumstikstofgehalten over de perioden 1976-1980 liggen in de Waddenzee laag, te weten 0,05-0,10 mg/l in de zomer en ca. 0,20 mg/l in de winter. De aanwezige gradiënten zijn gering en hangen samen met de aanwezigheid van zoetwaterspuiingen en lozingen, zoals blijkt uit fig. 4.35 bij de gradiënt Marsdiep-Kornwerderzand.
Met name is een sterke gradiënt in de Zuid-Oost Lauwers in de winter aantoonbaar (fig. 4.36). Dit is mogelijk een gevolg van de lozing via de persleiding Hoogkerk, die voornamelijk in de periode september-december plaatsvindt (28).
Een andere duidelijke beïnvloeding door zoetwaterspui is merkbaar nabij Harlingen (fig. 4.37). In hoofdstuk 6.1 wordt hier nader op ingegaan.
Over de zeegaten is geen gradiënt zichtbaar maar bij de Lauwers komen in de winter wel hogere gehalten voor (fig. 4.39).

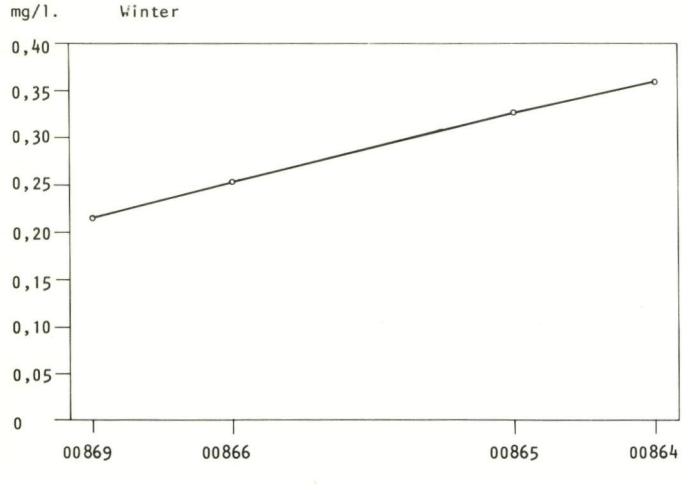
Zoals alle nutriënten in de Waddenzee wordt het ammonium-stikstofgehalte gedurende het jaar beïnvloed door de opname door algen (afname) en door de mineralisatie (toename).
Bij het verloop van het ammoniumgehale over het seizoen vallen de zeer lage waarden in maart en april op (fig. 4.38). Dit hangt samen met de fytoplanktonbloei.
De aanvulling van het verbruik in maart en april vindt onvoldoende plaats, omdat de mineralisatie pas plaatsheeft in de zomer en herfst. Stikstofbeperking van de groei treedt echter vrijwel niet op daar organismen bij NH_4-N-gehalten lager dan ca. 0,04 mg/l overschakelen op stikstof uit nitraat en nitriet. Pas als nitraat-N + nitriet-N + ammonium-N lager is dan 0,02 mg/l wordt de groei van algen door stikstofgebrek geremd (29), (30), (17).
Door onregelmatigheden in de meetreeks kan geen uitspraak worden gedaan over mogelijke ontwikkelingen in de periode 1971-1981.

Bij vergelijking van de metingen bij eb en bij vloed in het Marsdiep in de periode 1976-1980, waarbij de metingen op dezelfde dag plaatsvonden, blijken de ammoniumgehalten bij eb doorgaans iets hoger te zijn (fig. 4.40).
Dit is bij Marsdiep Zuid duidelijker het geval dan bij Marsdiep Noord. Hetgeen erop wijst dat naast het vrijkomen van ammoniumstikstof door mineralisatie van organisch materiaal in de Waddenzee, de hogere gehalten bij eb ook veroorzaakt worden door de spui bij de Afsluitdijk en bij Den Helder.

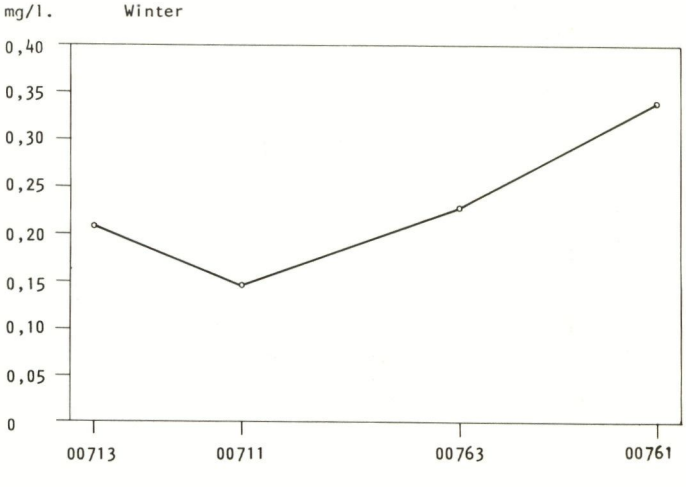
Figuur 4.35: Gradiënt Marsdiep-Kornwerderzand. Gemiddeld ammoniumgehalte 1976-1980.



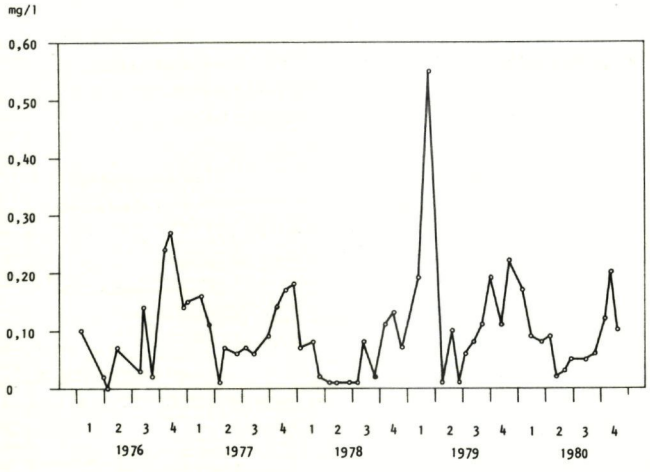
Figuur 4.36: Gradiënt Lauwers- Zuidoost Lauwers. Gemiddeld ammoniumgehalte 1976-1980.



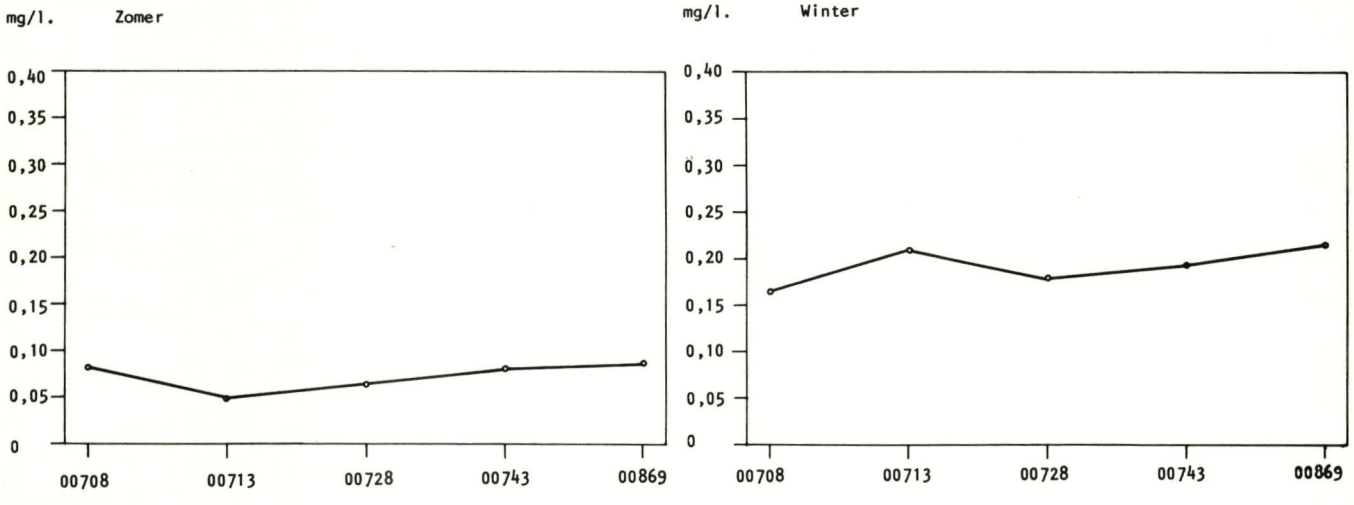
Figuur 4.37: Gradiënt Vlie- Harlingen. Gemiddeld ammoniumgehalte 1976-1980.



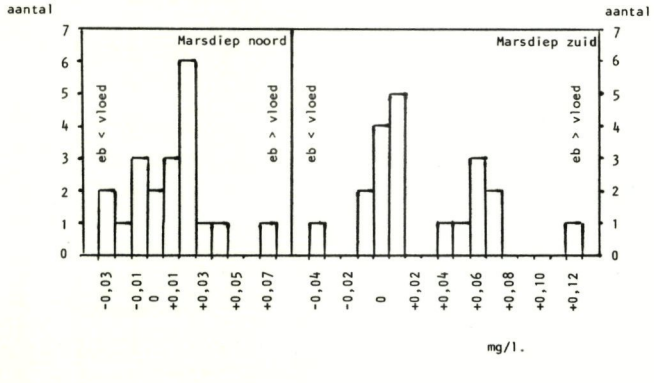
Figuur 4.38: Ammoniumverloop in de Vliestroom op 00713.



Figuur 4.39: Gradiënt west- oost zeegaten. Gemiddeld ammoniumgehalte 1976-1980.



Figuur 4.40: Verschil in ammoniumgehalte tussen eb- en vloedbemonstering in het Marsdiep in de periode 1976-1980, waarbij de bemonsteringen op dezelfde dag plaatsvonden.



4.2.8. Ortho-fosfaat

Voor ortho-fosfaat wordt eveneens een gradiënt zeegat-kust gevonden met hogere gehalten nabij de kust.
De oorzaak hiervan is lozing van zoetwater alsmede mineralisatie in de ondiepe gedeelten nabij de kust. Dat laatste is het geval in de Zuid-Oost Lauwers in de zomer (fig. 4.41).

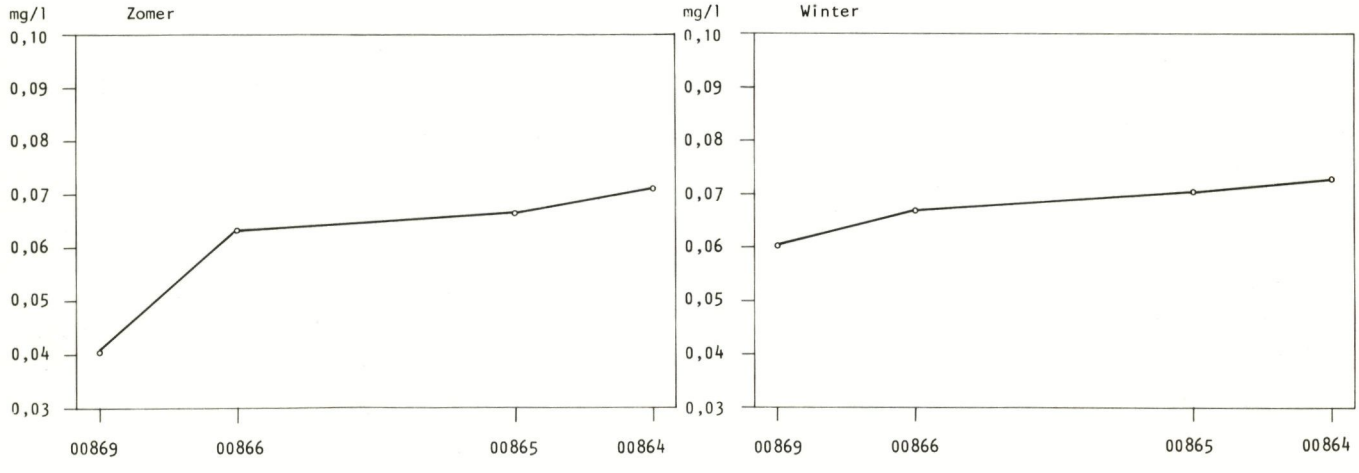
De gradiënt Vlie-Harlingen lijkt vooral bepaald te worden door lozingen en de spui van zoetwater (fig. 4.42). Hierop wordt in hoofdstuk 6.1 teruggekomen.
Ook over de zeegaten valt zowel in de zomer als de winter een gradiënt te konstateren (fig. 4.43). De laagste gehalten worden gevonden in het middengedeelte bij het zeegat van Ameland. In het westen liggen de gehalten het hoogst als gevolg van zoetwaterinvloeden. Minder hoog liggen de gehalten in het oosten waar mogelijk de Eems zijn invloed doet gelden.
De Lauwersmeerspui lijkt in de winter van invloed op het fosfaatgehalte van het Westgat (lokatie 00743) (fig. 4.43)

Bij beschouwing van het verloop van het ortho-fosfaatgehalte gedurende het jaar blijkt hetzelfde beeld als bij ammoniumstikstof d.w.z. duidelijke minima in het voorjaar (fig. 4.44). Deze minima zijn ook gevonden door de Jonge en Postma (16), die op grond hiervan konkluderen dat het opgelost (ortho)fosfaat tijdelijk en plaatselijk groeibeperkend kan zijn.

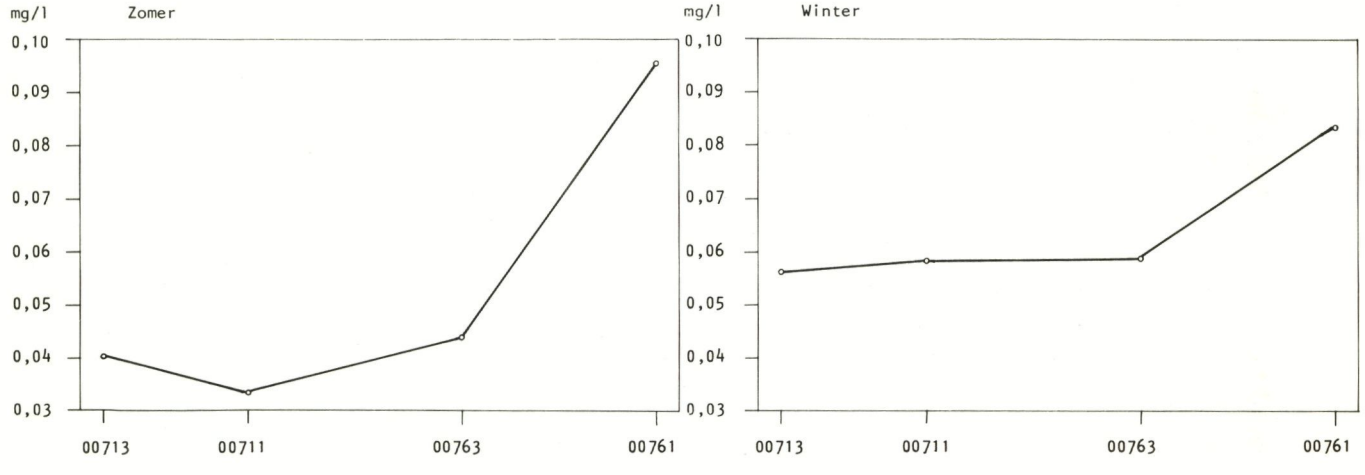
Gedurende de periode 1971-1981 is het ortho-P-gehalte in de Waddenzee duidelijk toegenomen vooral in de winter; zoals blijkt uit fig. 4.45 voor het Marsdiep, welke representatief is voor het gehele gebied. In hoofdstuk 6 wordt hierop teruggekomen.

Ook bij orthofosfaat blijkt bij vergelijking van metingen bij eb en bij vloed in de periode 1976-1980, welke op dezelfde dag plaatsvonden, dat het orthofosfaatgehalte bij eb doorgaans hoger is dan bij vloed (fig. 4.46). Dit is zowel bij de lokatie Marsdiep Zuid en bij Marsdiep Noord het geval. Bij Marsdiep Zuid zijn de hogere gehalten bij eb mogelijk mede veroorzaakt door zoetwaterspui bij de Afsluitdijk en bij Den Helder. Dat toch ook bij het Marsdiep Noord het orthofosfaatgehalte bij eb doorgaans hoger is wijst op de betekenis van mineralisatie van organisch materiaal in de Waddenzee, waarbij fosfaat vrijkomt.
Bij getijdemetingen in de Oude Zuid Meep is ook duidelijk een stijging van orthofosfaatgehalte te zien tijdens de eb, als gevolg van de mineralisatie boven de platen (fig. 4.47).

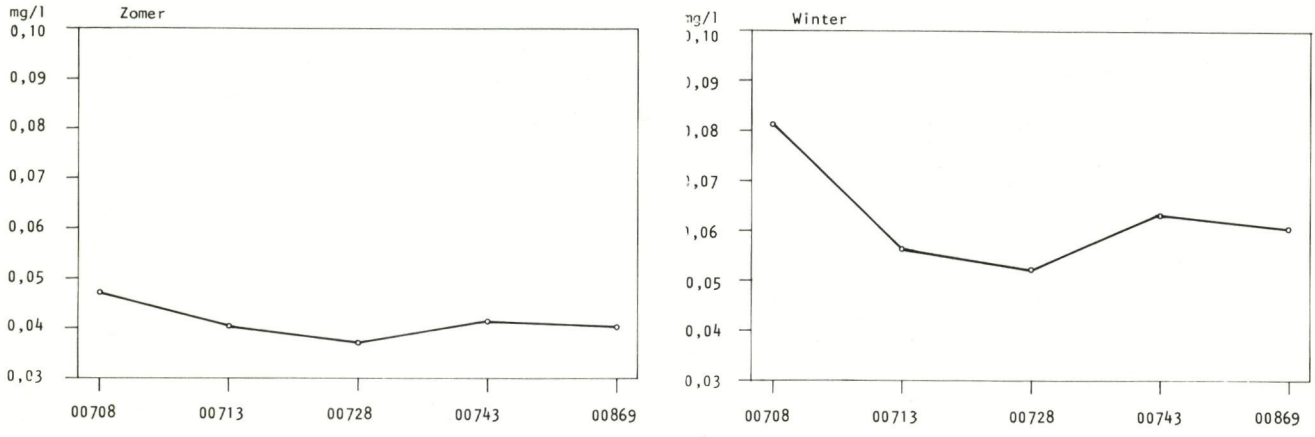
Figuur 4.41: Gradiënt Lauwers- Zuidoost Lauwers. Gemiddeld ortho- fosfaatgehalte 1976-1980.

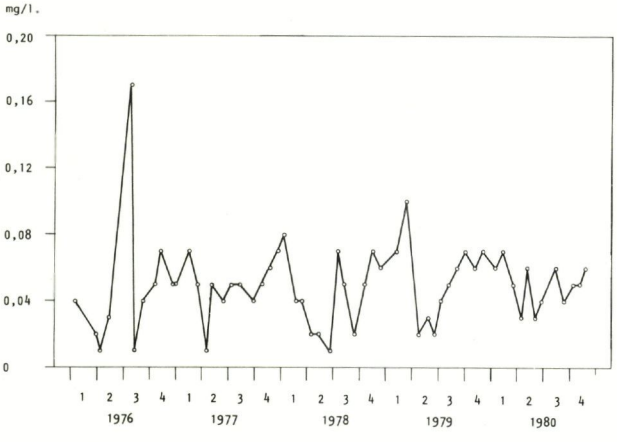


Figuur 4.42: Gradiënt Vlie- Harlingen. Gemiddeld ortho-fosfaatgehalte 1976-1980.



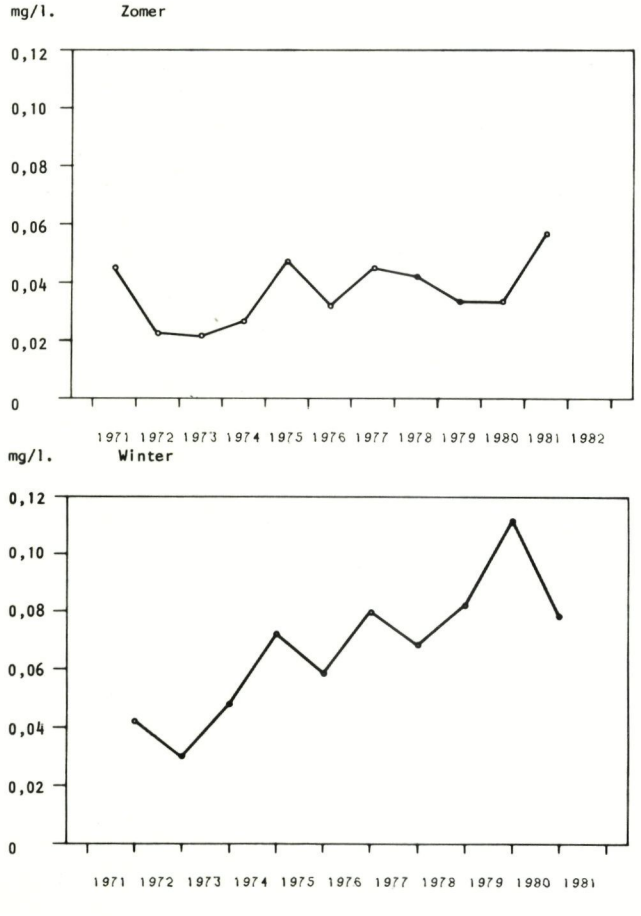
Figuur 4.43: Gradiënt west- oost zeegaten. Gemiddeld ortho- fosfaatgehalte 1976-1980.



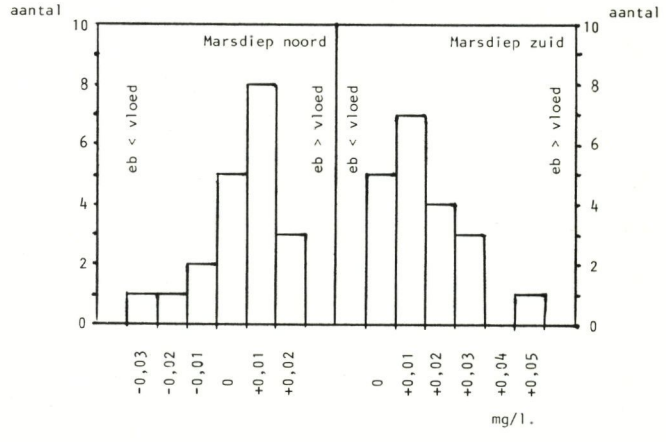


Figuur 4.44: Verloop ortho- fosfaatgehalte in het Marsdiep op 00707.

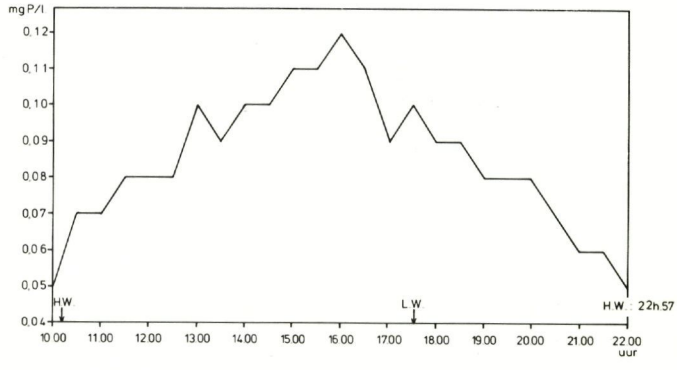
Figuur 4,45: Gemiddeld ortho- fosfaatgehalte in het Marsdiep op 00707.



Figuur 4.46: Verschil in ortho-fosfaatgehalte tussen eb- en vloedbemonstering in het Marsdiep in de periode 1976-1980, waarbij de bemonsteringen op dezelfde dag plaatsvonden.



Figuur 4.47: Getijmeting Oude Zuid Meep d.d. 27 juli 1976. Parameter: ortho-fosfaat.



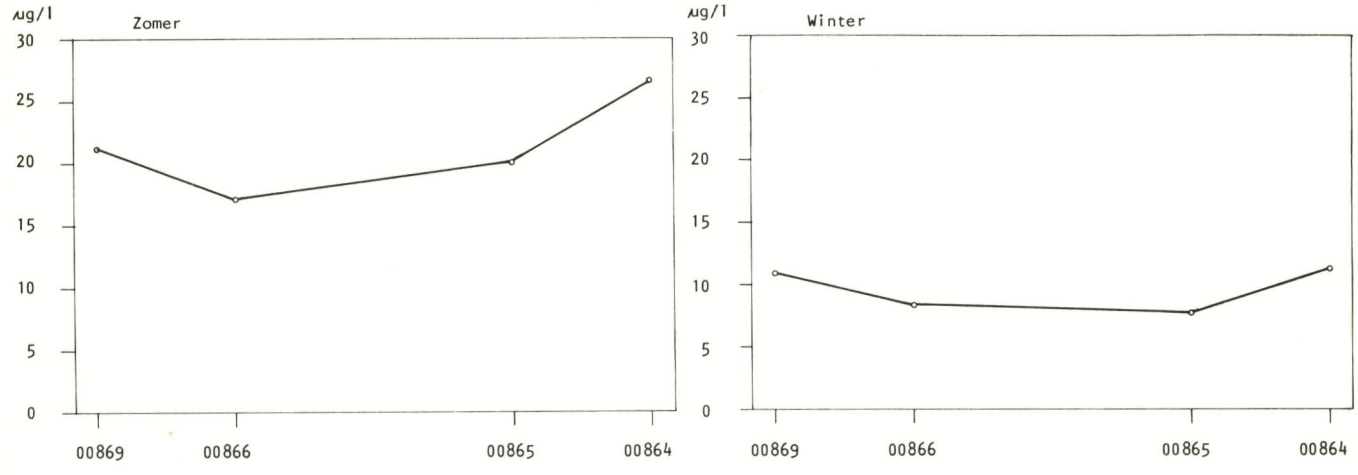
4.2.9. Fytoplankton c.q. chlorophyl

In een kombergingsgebied blijken in de zomer de gemiddelde chlorophylgehalten hoger te zijn nabij de kust (15-20 µg/l) dan in het zeegat (25-30 µg/l) (fig. 4.48). Dit lijkt niet toe te schrijven aan een algenrijke zoetwaterspui, doch eerder aan losgewoelde algenmassa's van de platen (fytobenthos) en aan het ophopingsmechanisme dat ook voor slib geldt. In overeenstemming hiermee is het verloop van het chlorophylgehalte over het getij, zoals gevonden in de kleine geul Oude Zuid Meep (fig. 4.50). In de oostelijke Waddenzee liggen de chlorophylgehalten wat hoger dan in de westelijke Waddenzee, vermoedelijk door dezelfde oorzaken (fig. 4.49). Dit is in overeenstemming met Cadée en Hegeman (31).

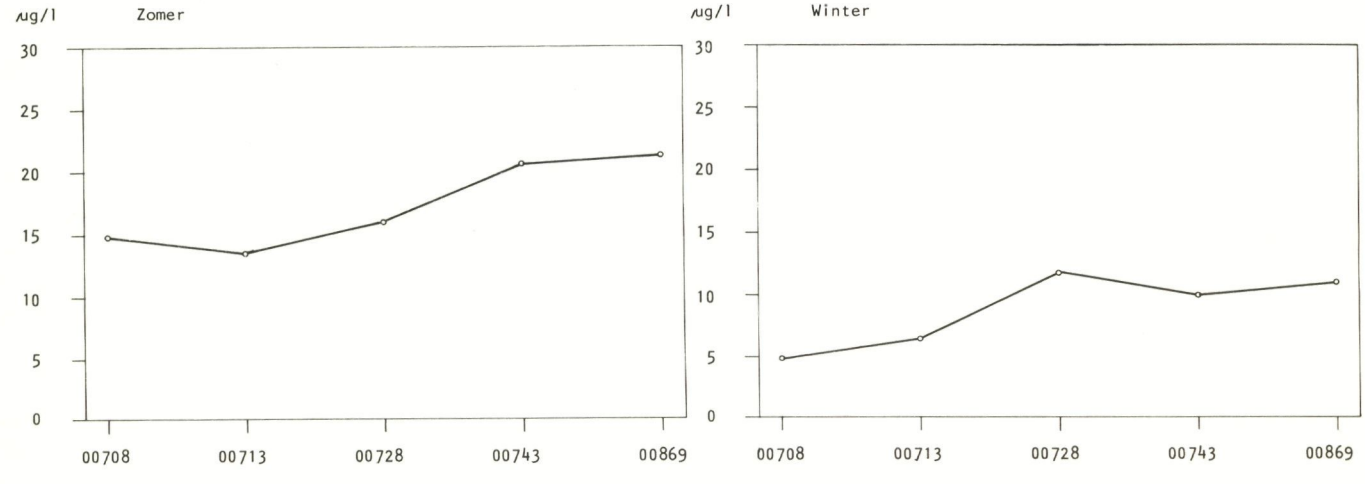
Het seizoensverloop vertoont in het algemeen een voorjaarspiek en een zomerpiek (fig. 4.51). Cadée en Hegeman (31) merken ten aanzien hiervan op dat de voorjaarspiek veelal hoger is dan de zomerpiek. Dit wordt door deze waarnemingen in grote lijnen bevestigd.

In de vrij korte periode (1975-1980) dat chlorophyl gemeten werd, lijkt er geen verandering van betekenis opgetreden te zijn (fig. 4.52). In hoofdstuk 6.2 wordt hierop teruggekomen.

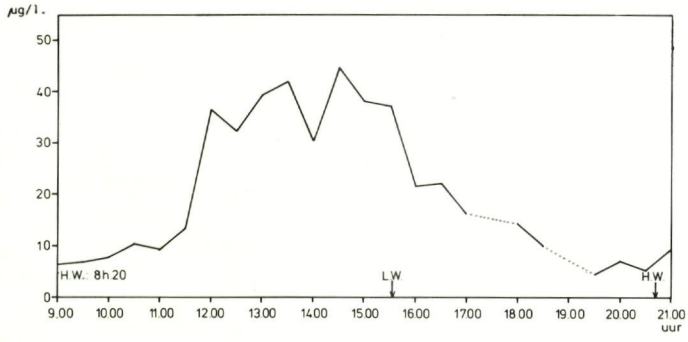
Figuur 4.48: Gradiënt Lauwers- Zuidoost Lauwers. Gemiddeld chlorophyl-a-gehalte 1976-1980.



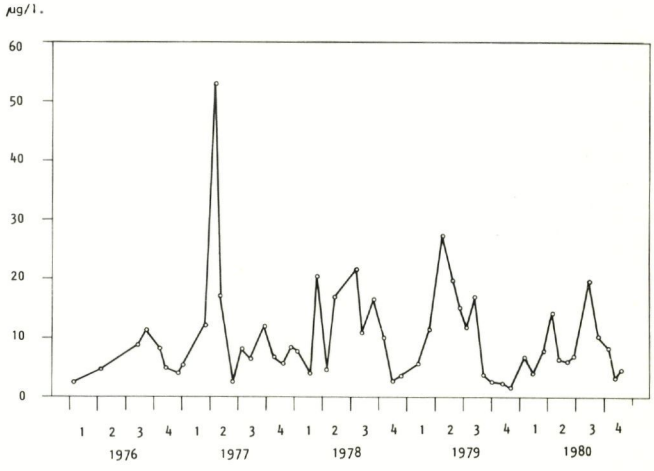
Figuur 4.49: Gradiënt west- oost zeegaten. Gemiddeld chlorophyl-a-gehalte 1976-1980.



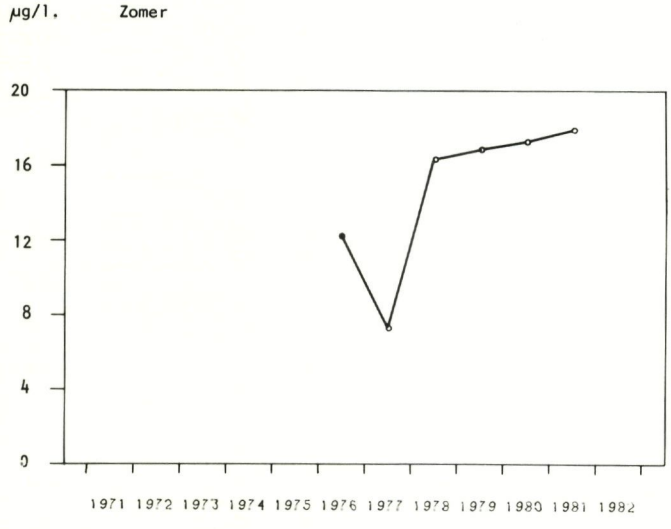
Figuur 4.50: Getijmeting Oude Zuid Meep d.d. 10 juni 1976. Parameter: chlorophyl-a.

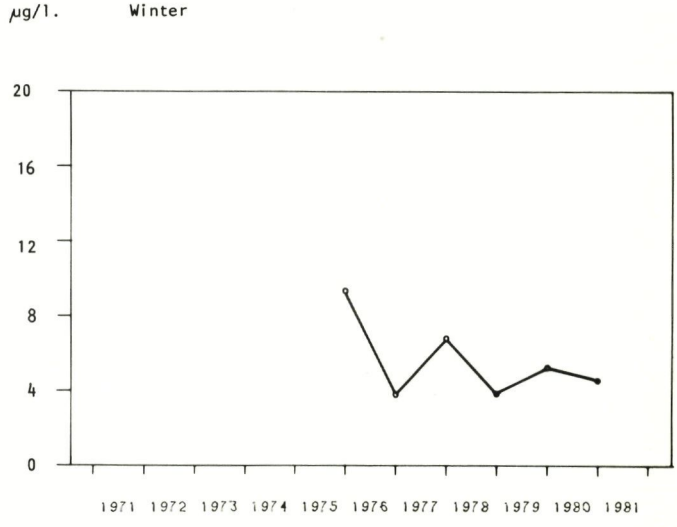


Figuur 4.51: Verloop chlorophyl-a-gehalte in de Vliestroom op 00713.



Figuur 4.52: Gemiddeld chlorophyl-a-gehalte in het Marsdiep op 00707.

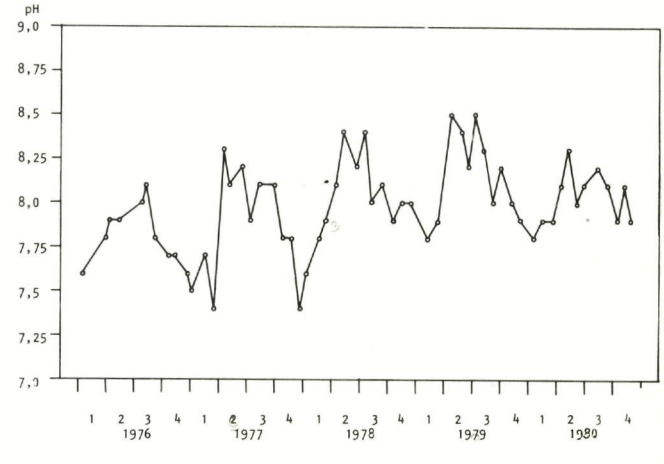




4.2.10. Zuurgraad

Bij deze parameter is met name het seizoensverloop interessant (fig. 4.53). Opvallend is de sterke stijging van de pH in het voorjaar als gevolg van de algenbloei.
Dit komt doordat het kooldioxide en het bi-carbonaat, welke bufferend op de pH werken, bij sterke algenbloeien worden verbruikt. Incidentele bloeien in de zomer kunnen weer tijdelijk voor pH-verhogingen zorgdragen. Aan het eind van het groeiseizoen neemt de pH weer langzaam af.
In de gehele Waddenzee blijkt de pH te kunnen variëren tussen de 7,1 en 9,3.

Figuur 4.53: Verloop van de zuurgraad in de Vliestroom op 00713.

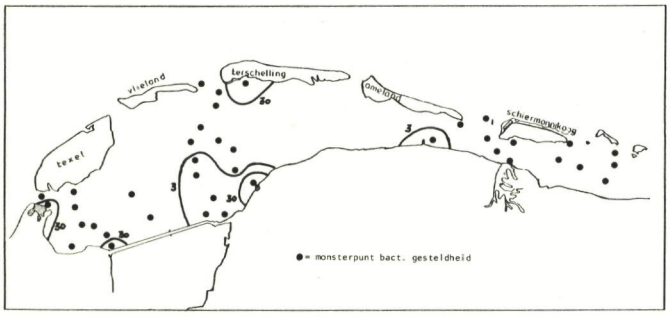


4.2.11. *Thermotolerante coli-bacteriën*

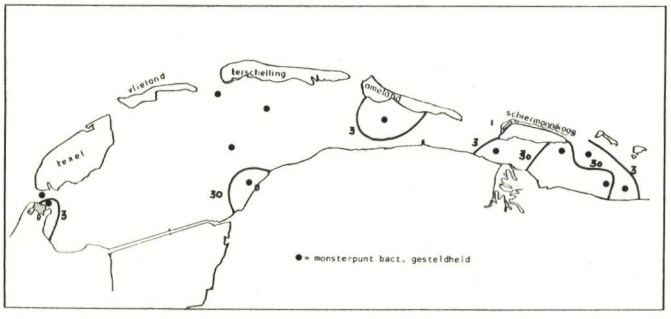
Het thermotolerante coli-gehalte (th-coli) is een graadmeter voor de mate van de bacteriële verontreiniging van het oppervlaktewater. In het algemeen wordt dit veelal veroorzaakt door de lozing van al dan niet gezuiverd rioolwater.
In de Waddenzee kunnen plaatselijk ook verhoogde coli-gehalten gevonden worden als gevolg van de aanwezigheid van grote aantallen vogels. De gehalten aan th-coli in de Waddenzee zijn over het algemeen laag.
In een deel van de waarnemingen wordt minder dan één coli per 100 ml. aangetroffen. Verhoogde aantallen werden vrijwel uitsluitend gevonden in gebieden waar ongezuiverd rioolwater werd geloosd (fig. 4.54 en 4.55).

Wat betreft het verloop in de periode 1971-1980 zijn door het grillige beeld geen uitspraken te doen over toe- en afname.
Opvallend is het verschil in coli-gehalten tussen de ebbemonstering (00708) en de vloedbemonstering (90708) in het zuidelijk deel van het Marsdiep (fig. 4.56 en 4.57). Bij eb zijn de aantallen colibacteriën duidelijk hoger. Dit is waarschijnlijk te wijten aan lozingen bij Den Helder. In hoofdstuk 6.1 wordt hier nader op ingegaan.

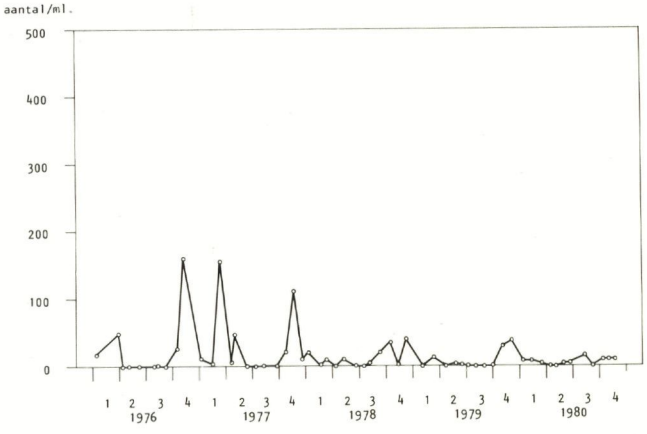
Figuur 4.54: Isoconcentratielijnen th. coli's aantal per 100 ml. Zomerhalfjaargemiddelde 1975.



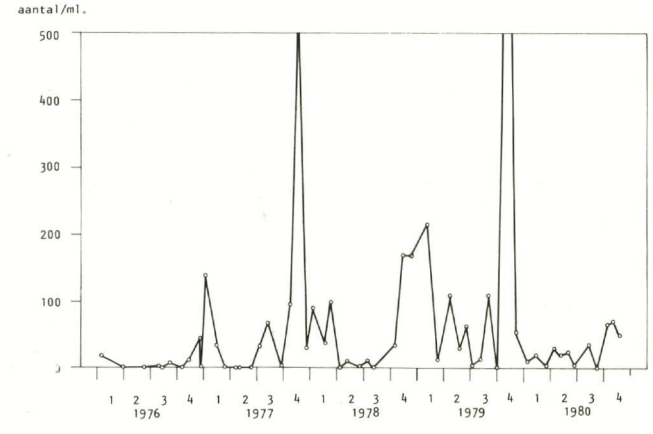
Figuur 4.55: Isoconcentratielijnen th. coli's aantal per 100 ml. Zomerhalfjaargemiddelden 1976/1980.



Figuur 4.56: Verloop thermotolerantie colibacteriën in het Marsdiep op 90708. (vloed)



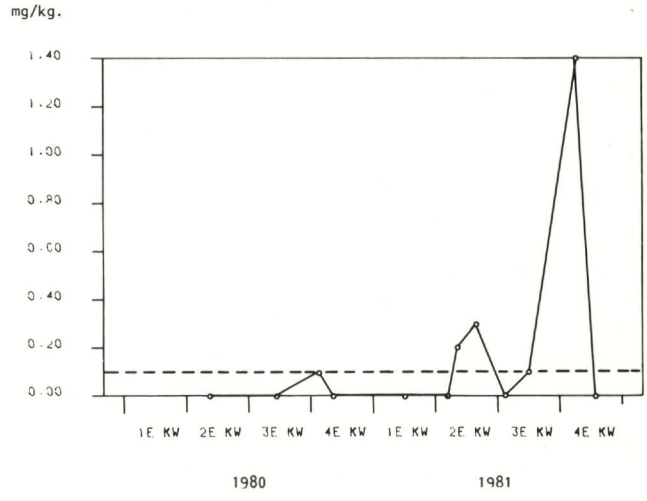
Figuur 4.57: Verloop thermotolerante colibacteriën in het Marsdiep op 00708. (eb)



4.2.12. *Olie*

Sinds 1980 wordt op het meetpunt Marsdiep-Zuid bij vloed (90708) het oliegehalte bepaald (fig. 4.58).
Van de in totaal twaalf waarnemingen in 1980 en 1981 lagen er zeven beneden de detektiegrens (0,05 mg/kg). Wel waren er enkele uitschieters.

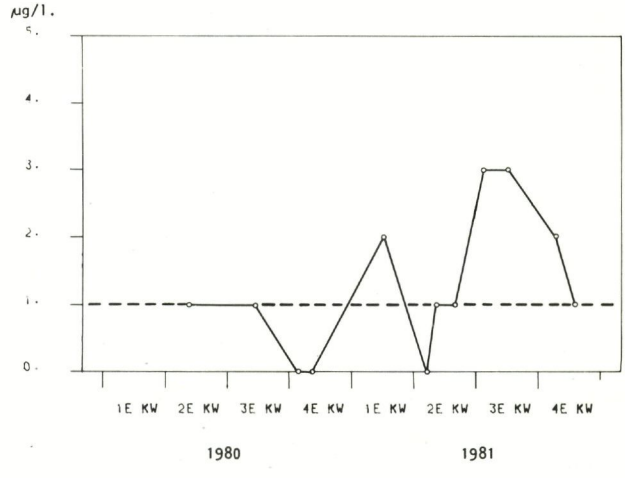
Figuur 4.58: Verloop oliegehalte in het Marsdiep op 90708.



4.2.13. *Fenol*

Ook fenol wordt onderzocht op de lokatie Marsdiep-Zuid bij vloed (90708) sinds 1980. De resultaten staan in fig. 4.59.
De aangetroffen gehalten lagen niet erg ver boven of op de detektiegrens (1 µg/l) dan wel daaronder. Dit laatste was bij 3 van de 12 waarnemingen het geval. Er waren geen uitschieters.

Figuur 4.59: Verloop fenolgehalte in het Marsdiep op 90708.



4.2.14. Zware metalen

Op vijf lokaties in de Waddenzee (fig. 4.60) is het water onderzocht op het opgeloste en totaalgehalte van zes metalen te weten: cadmium (Cd), chroom (Cr), lood (Pb), koper (Cu), zink (Zn), en kwik (Hg).
In het Marsdiep zijn de twee lokaties te weten Noord en Zuid, zowel bij eb als bij vloed bemonsterd.

Bij de bespreking van eventuele verschillen in de mate van verontreiniging van verschillende delen van de Waddenzee met zware metalen dient er rekening mee te worden gehouden, dat voor sommige metalen het gehalte in de Waddenzee in de buurt van of beneden de detektiegrens ligt. Dit is met name voor het gehalte van het opgeloste metaal het geval. Nauwkeurige vergelijking van het niveau van het metaalgehalte op verschillende lokaties aan de hand van gemiddelde waarden is dan ook niet goed mogelijk.

Met ingang van 1 januri 1980 is door toepassing van een gevoeliger analysemethode de detektiegrens voor het opgelost gehalte van cadmium (Cd), lood (Pb), koper (Cu) en zink (Zn) verlaagd. Desondanks geldt ook in 1980 voor een drietal zwaren metalen dat de gemeten gehalten in de buurt van de detektiegrens liggen. Dit is het geval voor opgelost chroom (Cr) (detektiegrens 0,5 µg/1), opgelost lood (Pb) (detektiegrens 0,1 µg/1) en opgelost cadmium (Cd) (detektiegrens 0,01 µg/1).
Alleen voor de metalen zink en kwik staan over een drietal jaren meetcijfers met een voldoende betrouwbaarheid ter beschikking.

Tabel 4.2. geeft het gemiddelde en de mediaanwaarde van het gehalte opgelost metaal op verschillende lokaties in de Waddenzee in 1980 en 1981 voor de metalen koper, lood, chroom, cadmium en voor de metalen zink en kwik over de periode 1978 t/m 1980.
Tabel 4.3 geeft dezelfde informatie voor het totaal metaalgehalte in de waterfase. In de tabellen is eveneens de detektiegrens van de metaalgehalten in de periode van onderzoek aangegeven. Dit geeft mede een aanwijzing voor de nauwkeurigheid van de vermelde waarden.
De verschillen tussen de lokaties, waarbij de bemonstering bij eb heeft plaatsgevonden, blijken gering wanneer zowel de gemiddelden als de mediaanwaarden voor het opgelost metaalgehalte in beschouwing worden genomen. Voor zink en cadmium lijkt er sprake te zijn van een (geringe) gradiënt met iets lagere gehalten in de oostelijke Waddenzee. De gemiddelde waarden voor het gehalte opgelost metaal van de diverse lokaties in de Waddenzee blijken echter bij toetsing niet significant van elkaar te verschillen (t-toets:$P < 0,05$).
Het verschil tussen het gemiddelde gehalte opgelost metaal in het Marsdiep bij eb en bij vloed blijkt voor elk onderzocht metaal gering te zijn en is bij toetsing eveneens niet significant.

Het totaal metaalgehalte is op de lokaties in het oostelijk deel van de Waddenzee over het algemeen hoger. Er is echter een duidelijke relatie tussen het zwevend stofgehalte en het totaal metaalgehalte. Met name geldt dit voor de lokatie onder Ameland (00739), waar de zwevend stofgehalten sterk verhoogd zijn ten opzichte van andere lokaties. Metalen zijn in belangrijke mate aan slib gebonden (hoofdstuk 2.4.4). Het slibgehalte en het metaalgehalte moeten beiden in ogenschouw worden genomen bij de beantwoording van de vraag of er sprake is van een verschil in metaalbelasting voor de verschillende delen van de Waddenzee. In hoofdstuk 6.3 wordt hier nader op ingegaan.

Hoewel het onderzoek naar zware metalen in de Waddenzee sinds 1972 plaatsvindt, is het niet goed mogelijk om aan te geven of in deze periode veranderingen van het metaalgehalte in de waterfase zijn opgetreden. Enerzijds komt dit door onbetrouwbaarheid van de monstername in de eerste jaren van onderzoek. Anderzijds door het beschikbaar komen van betere analysemethoden, waarmee lagere detektiegrenzen werden bereikt. Hierdoor is de nauwkeurigheid van de metingen toegenomen. Ten aanzien van de periode 1977-1980 is gekonstateerd dat geen wijzingen van betekenis zijn opgetreden in het gehalte aan zware metalen (34).

In tabel 4.4 zijn de mediaanwaarden voor enkele zware metalen zoals gevonden bij het onderzoek van Rijkswaterstaat en mediaanwaarden gevonden bij vergelijkbaar onderzoek van Duinker in 1975 (32) naast elkaar gezet.
Uit de tabel blijkt dat de resultaten weinig van elkaar verschillen, zeker gezien de spreiding van de afzonderlijke waarnemingen.

Tabel 4.2. Gemiddelde en mediaanwaarde van het gehalte opgelost metaal in de Waddenzee (µg/l).

		1980+1981(1)								1978 t/m 1980(2)			
locatie	punt kode	cadmium		chroom		lood		koper		zink		kwik	
		gem.	med.	gem.	med.	gem.	med.	gem.	med.	gem.	med.	gem.	med.
Marsdiep Noord (eb)	707	0,119	0,100	0,50	0,50	0,18	0,10	1,07	1,10	4,58	3,45	0,037	0,040
Marsdiep Zuid (eb)	708	0,086	0,090	0,53	0,50	0,16	0,10	1,12	1,20	4,07	3,00	0,044	0,050
Vliestroom(eb)	713	0,093	0,080	0,54	0,50	0,22	0,10	1,07	1,00	3,90	3,00	0,046	0,050
Dantzigqat(eb)	739	0,090	0,090	0,54	0,50	0,28	0,10	1,25	1,10	3,61	3,40	0,071	0,050
Zoutkamper-laag (eb)	749	0,084	0,055	0,54	0,50	0,26	0,15	1,48	1,15	3,00	3,25	0,051	0,045
Zuid-Oost Lauwers (eb)	865	0,064	0,050	0,50	0,50	0,27	0,20	1,25	1,15	3,14	2,50	0,051	0.050
Marsdiep Noord (vloed)	90707	0,131	0,130	0,63	0,50	0,23	0,10	1,24	1,10	4,79	5,00	0,040	0,040
Marsdiep Zuid (vloed)	90708	0,123	0,100	0,63	0,50	0,14	0,10	1,10	1,10	4,27	4,00	0,043	0,040
detectiegrenzen		(µg/l)	0,01	0,5		0,1		0,1		0,1		0,01	

(1) 11-17 waarnemingen (2) 14-18 waarnemingen

Tabel 4.3. Gemiddelde en mediaanwaarde van het gehalte totaal metaal in de Waddenzee (µg/l).

		1980+1981(1)										1978 t/m 1980 (2)					
locatie	punt kode	slibgehalte		cadmium		chroom		lood		koper		slibgehalte		zink		kwik	
		gem.	med.	gem.	med.	gem.	med.	gem.	med.	gem.	med.	gem.	med.	gem.	med.	gem.	med.
Marsdiep Noord (eb)	707	72	40	0,18	0,10	4,0	4,0	4,0	4,0	2,5	2,0	40	36	13,4	10,5	0,074	0,070
Marsdiep Zuid (eb)	708	78	29	0,15	0,10	4,6	4,5	3,8	4,0	2,6	2,0	39	37	12,8	11,0	0,072	0,070
Vliestroom(eb)	713	51	42	0,15	0,10	4,0	3,5	3,5	3,0	2,4	2,0	43	35	12,6	10,0	0,086	0,070
Dantziggat(eb)	739	167	142	0,26	0,20	19,4	14,5	16,0	15,0	6,5	6,0	163	132	38,1	33,0	0,155	0,130
Zoutkamperlaag (eb)	749	97	95	0,19	0,15	10,8	10,0	9,2	8,0	4,3	4,0	66	46	16,5	12,0	0,088	0,080
Zuid-Oost Lauwers (eb)	865	110	85	0,16	0,10	10,9	7,2	7,3	5,0	4,3	3,5	99	51	15,2	13,5	0,080	0,075
Marsdiep Noord (vloed)	90707	48	45	0,20	0,20	5,2	5,0	5,4	4,0	3,1	3,0	47	45	15,1	13,0	0,089	0,080
Marsdiep Zuid (vloed)	90708	48	51	0,21	0,20	5,3	4,5	5,3	4,5	2,8	2,0	57	43	15,3	13,0	0,078	0,080
detectiegrenzen(µg/l)				0,01		0,5		0,1		0,1				0,1			0,01

(1) 11-17- waarnemingen

(2) 14-18 waarnemingen

Tabel 4.4. Mediaanwaarden en spreiding van het gehalte opgelost metaal in de Westelijke Waddenzee (µg/l).

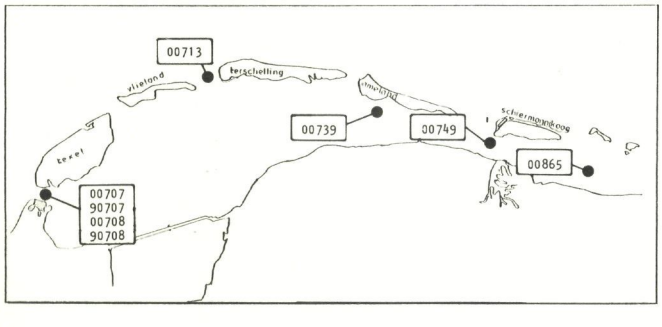
	1975 (1)		1980/1981(2)	
	mediaan	spreiding	mediaan	spreiding
Cu	2,5	1-4	1,0-1,2	0,5-98
Cd	0,1	0,02-0,15	0,08-0,13	0,01-0,52
Pb	0,2	0,01-0,4	0,10	0,10-1,4
Zn	6	5-9	3-5*	0,8-74*

(1) Duinker,J.C., R.F.Nolting, H.A. van der Sloot (32)

(2) Rijkswaterstaat, Kwaliteitsonderzoek der Rijkswateren; Marsdiep en Vliestroom.

* 1978-1980

Figuur 4.60: Meetlocaties in de Waddenzee waar metalen bepaald worden.



4.2.15. Organische microverontreinigingen

Het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid heeft in 1972 op verzoek van Rijkswaterstaat een onderzoek uitgevoerd naar de aanwezigheid van bestrijdingsmiddelen in de Waddenzee (22).
Bij dit onderzoek is geen scheiding tussen de opgeloste en gesuspendeerde fraktie toegepast.
In tabel 4.5 staat het aantal waarnemingen vermeld waarbij een concentratie groter dan de detektiegrens (0,01 μg/l) werd aangetroffen. Het onderzoek is 10-12 keer uitgevoerd.
Met name de isomeren van HCH, DDT en dieldrin zijn bij dit onderzoek meer dan één keer met gehalten hoger dan de detektiegrens aangetroffen. Dit geldt vooral voor de winter, hetgeen toegeschreven werd aan een geringere microbiële aktiviteit of een hoger zwevend stofgehalte in die periode.
Bij herhaling van dit onderzoek in 1976 door het RIZA zijn geen gehalten boven de detektiegrens (0,01 μg/l) meer gekonstateerd.

Onderzoek van Duinker (33) naar het gehalte opgeloste organochloorverbindingen in het Marsdiep en langs de Nederlandse kust in 1979 laat zien dat dit gehalte in de ordegrootte van nanogrammen per liter ligt (10^{-3} μg/l) (tabel 4.6). De gehalten in het Marsdiep en voor de Hollandse kust zijn duidelijk verhoogd ten opzichte van het gehalte in het centrale deel van de zuidelijke Noordzee. Uit de studie van Duinker blijkt ook dat het opgeloste deel van deze verbindingen voor het grootste deel afkomstig is van de rivieren Rijn en Maas. Bij het passeren van het estuarium en bij verder transport langs de kust van dit opgeloste deel treedt geen adsorptie aan slib of desorptie van slib op.
Dit betekent dat deze stoffen qua gedrag tot de zogenaamde conservatieve stoffen kunnen worden gerekend, vergelijkbaar met zouten.

Tabel 4.5.

De aanwezigheid van pesticiden in de Waddenzee in 1972, uitgedrukt in het aantal waarnemingen waarbij een totaal pesticidengehalte hoger dan de detectiegrens (0,01 µg/l) werd aangetroffen. Bron: Rijksinstituut voor de Volksgezondheid (22).

	Marsdiep (vloed)	Marsdiep (eb)	Vlie-stroom	Ameland	Zoutkamper-laag	Afsluitdijk
Totaal aantal waarnemingen	11	11	12	11	12	10
α endosulfan	1	1	1	1	1	1
β endosulfan	0	1	0	1	1	1
HCB	1	1	0	1	1	0
α HCH	5	4	4	2	3	3
β HCH	3	2	2	2	1	1
γ HCH	5	5	5	3	4	3
hepo	0	1	1	1	1	2
pp DDE	0	1	1	1	0	0
op DDT	0	2	2	1	0	1
pp DDT	1	2	3	0	0	1
pp DDD	0	0	2	1	0	1
dieldrin	2	2	1	2	2	3
aldrin	0	0	0	0	0	0
endrin	0	0	0	0	0	0
heptachloor	0	0	0	0	0	0

Tabel 4.6.

Opgelost gehalte van enkele organochloorverbindingen in het Nederlandse kustwater en de zuidelijke Noordzee in 1976. Bron: Duinker en Hillebrand (33).

	centrale deel Zuidelijke Noordzee ng.L^{-1}	Zuid-Hollandse kust ng.L^{-1}	Marsdiep ng.L^{-1}
pentachloorbenzeen	0,1	1,2	0,5
hexachloorbenzeen	0,1	1,1	0,1
PCB(aroclor 1254)	0,7	3,4	1,4
α HCH	0,9	2,0	1,9
γ HCH	1,0	4,0	6,2
β HCH	0,04	0,6	0,1
dieldrin	0,1	0,7	0,2
endrin	< 0,01	0,3	0,03

Een mosselbank.

Foto: RIZA Groningen

5 De waterkwaliteit in de Waddenzee in vergelijking met andere nederlandse kustwateren

Het is in rapporten van dit type gebruikelijk, dat er een toetsing van de waterkwaliteit plaatsvindt aan gehalten genoemd in diverse richtlijnen of aan gehalten van de basiskwaliteit, als vermeld in het Indicatief Meerjaren Programma 1980-1984. Voor zoute en brakke wateren is deze basiskwaliteit echter niet bedoeld.

De twee richtlijnen welke voor de Waddenzee wel gehanteerd zouden kunnen worden zijn de schelpdierwaterrichtlijn van de EEG, voor Nederland nog vast te stellen bij AMvB, en richtlijnen van de Gezondheidsraad uit 1976. „Toetsing" aan deze richtlijnen vindt echter niet in het kader van dit rapport plaats. Dit zal wel gebeuren in het op te stellen waterkwaliteitsplan Waddenzee.

Wel zal hier de waterkwaliteit in de Waddenzee worden vergeleken met andere brakke en zoute wateren in het Nederlandse kustgebied.
Hierbij is voor een aantal parameters uitgegaan van de beschikbare waarnemingen van de zomers en winters in de periode 1976 t/m 1980 (tabel 5.1). Voor de zware metalen is uitgegaan van de periode 1-1-1980 tot 30-6-1981, omdat alleen over deze periode voldoende betrouwbare en nauwkeurige gehalten van de verschillende locaties beschikbaar zijn (tabel 5.2).

Voor een aantal opgeloste componenten uit tabel 5.1. valt een gradiënt te constateren van de kust van Zuid-Holland → Marsdiep → kustwater boven Terschelling. Dit geldt met name voor de parameters saliniteit, ortho-fosfaat, ammonium-stikstof en nitraat-stikstof. Zowel in de zomer als in de winter is deze gradiënt zichtbaar. Duidelijk is hiermee de invloed van de grote rivieren en de langzame verdunning van zoet rivierwater langs de kust naar het noorden te zien.
Ten noorden van Terschelling worden de hoogste zoutgehalten en de laagste gehalten voor de andere parameters gevonden.
In dit gebied treedt de minste beïnvloeding door zoetwater op.
In het gebied dat het meeste beïnvloed is door zoetwater, de kust voor Zuid-Holland, zijn de laagste zoutgehalten en de hoogste gehalten voor andere parameters gevonden.

tabel 5.1. De waterkwaliteit van brakke en zoute wateren in het Nederlandse kustgebied, gemiddeld over de periode 1976 tot en met 1980

	Omschrijving	lokatie	saliniteit %	o-P mg P/l	tot P mg P/l	NH_4-N mg N/l	Kj-N mg N/l	NO_2 mg N/l	NO_3 mg N/l	zw.st. mg/l	gloei-rest %	chlorophyl µg/l	T.O.C mg/l
ZOMER	Eems-Dollard (Borkum)	00909	28,38	0,05	0,12	0,103	0,96	0,034	0,330	37,9	80	13,7	6,2
	Oostelijke Waddenzee	00865	29,63	0,07	0,19	0,108	1,12	0,02	0,207	82,8	84	20,1	8,0
	Marsdiep	00707	28,98	0,04	0,13	0,065	1,00	0,024	0,303	44,5	77	14,1	6,5
	Kust van Noord-Holland (2 km)	09261	29,85	0,051	0,11	0,080	0,49	0,020	0,304	12,9	65	13,6	4,7
	Kust van Zuid-Holland (2 km)	09241	28,08	0,085	0,14	0,122	0,47	0,030	0,584	11,4	59	10,5	4,3
	Oosterschelde	00309	-	0,032	0,08	0,086	-	0,019	0,272	29,1	-	12,9	-
	Boven Terschelling (4 km)	09280	32,22	0,018	0,06	0,033	0,35	0,005	0,069	10,5	62	11,1	4,4
	Boven Terschelling (20 km)	09282	33,46	0,009	0,03	0,017	0,20	0,003	0,044	3,5	46	4,8	3,5

	Omschrijving	lokatie	saliniteit ‰	o-P mg P/l	tot P mg P/l	NH_4-N mg N/l	Kj-N mg N/l	NO_2 mg N/l	NO_3 mg N/l	zw.st. mg/l	gloei-rest %	chlorophyl µg/l	T.O.C. mg/l
WINTER	Eems-Dollard (Borkum)	00909	28,21	0,06	0,13	0,254	0,83	0,061	0,568	54,4	84	5,0	6,0
	Oostelijke Waddenzee	00865	28,37	0,08	0,20	0,315	1,07	0,065	0,483	104,0	86	7,7	7,1
	Marsdiep	00707	27,91	0,09	0,21	0,154	0,67	0,050	0,502	58,5	82	5,1	5,2
	Kust van Noord-Holland (2 km)	09261	29,81	0,093	0,15	0,179	0,44	0,036	0,704	18,9	81	2,6	3,8
	Kust van Zuid-Holland (2 km)	09241	27,65	0,116	0,16	0,254	0,50	0,026	0,964	12,7	74	1,7	3,8
	Oosterschelde	00309	-	0,062	0,13	0,104	-	0,037	0,664	30,0	-	3,1	-
	Boven Terschelling (4 km)	09280	31,68	0,046	0,10	0,087	0,37	0,022	0,413	26,9	72	4,8	4,7
	Boven Terschelling (20 km)	09282	33,41	0,030	0,05	0,045	0,16	0,011	0,241	3,5	60	1,6	2,7

De hogere totaal-fosfaat en Kjeldahl-stikstof gehalten in de Waddenzee en Eems-Dollard houden verband met de hogere zwevend stofgehalten in dit gebied. Vooral in de oostelijke Waddenzee liggen de totaalgehalten van de meeste parameters hierdoor wat hoger.

Het gemiddelde chlorophylgehalte direct langs de kust en in de estuaria is vergelijkbaar. Op de locatie, gelegen 20 kilometer boven Terschelling, treden duidelijk lagere gehalten in de zomer op.

De gehalten op locaties Marsdiep, Oostelijke Waddenzee, Eems bij Borkum en de Oosterschelde ontlopen elkaar voor de meeste beschouwde parameters weinig.

Bij de zware metalen (tabel 5.2.) valt op dat de opgeloste gehalten van de meeste metalen weinig van elkaar verschillen op de diverse locaties. Wel vallen de hogere kwikgehalten in de Waddenzee en Eems-Dollard op. Hier is mogelijk sprake van mobilisatie van dit metaal via poriënwater van het slib (21) of (in de Eems-Dollard) is dit het gevolg van vroegere lozingen bij Delfzijl.
Bij de totaalgehalten blijkt er een sterke relatie tussen het totaal metaalgehalte en het gehalte zwevend slib.
Wanneer hiermee rekening wordt gehouden blijkt echter ook voor het gehalte totaal metaal soms een afnemende gradiënt van de Hollandse kust naar het Eems-estuarium, waarbij echter de gehalten totaal metaal voor kwik in de Waddenzee en de Eems-Dollard duidelijk verhoogd zijn ten opzichte van de Oosterschelde.

Tabel 5.2. De aanwezigheid van zware metalen in brakke en zoute wateren in het Nederlandse kustgebied, gemiddeld over de periode 1-1-1980 tot 30-6-1981

Omschrijving	lokatie	zw.st. mg/l	Cadmium µg/l		Chroom µg/l		Koper µg/l		Lood µg/l		Zink µg/l		Kwik µg/l	
			opg	tot	opg	tot	opg	tot	opg	tot	opg	tot	opg	tot
Eems-Dollard	00873	141	0,06	0,13	0,56	10,44	2,01	5,59	0,21	8,69	3,15	24,59	0,05	0,11
Oostelijke Waddenzee	00865	93	0,07	0,14	0,50	8,94	1,16	3,33	0,32	4,89	3,26	19,11	0,04	0,09
Marsdiep	00707	54	0,13	0,21	0,55	4,82	1,12	2,80	0,21	4,72	4,42	17,73	0,04	0,09
Kust Noord-Holland (2 km)	09261	16	0,16	-	0,60	-	1,90	-	0,26	-	5,49	-	0,02	-
Kust Zuid-Holland (2 km)	09241	13	0,15	0,16	0,50	2,00	2,05	2,40	0,35	1,82	6,27	10,91	0,02	0,02
Oosterschelde*	00341	-	0,10	0,16	0,49	2,60	1,06	1,57	0,44	1,71	2,23	6,14	0,02	0,03
Boven Terschelling (20 km)	09282	4	0,07	-	0,67	-	1,88	-	0,34	-	2,91	-	0,02	-

* Oosterschelde : meetperiode 1-1-1982 tot 30-6-1982

Zeehonden rustend op een plaat. Foto: RIN Arnhem

6 Nadere beschouwing van enkele aspecten van de waterverontreiniging in de Waddenzee

6.1. De invloed van lozingen

6.1.1. Algemeen

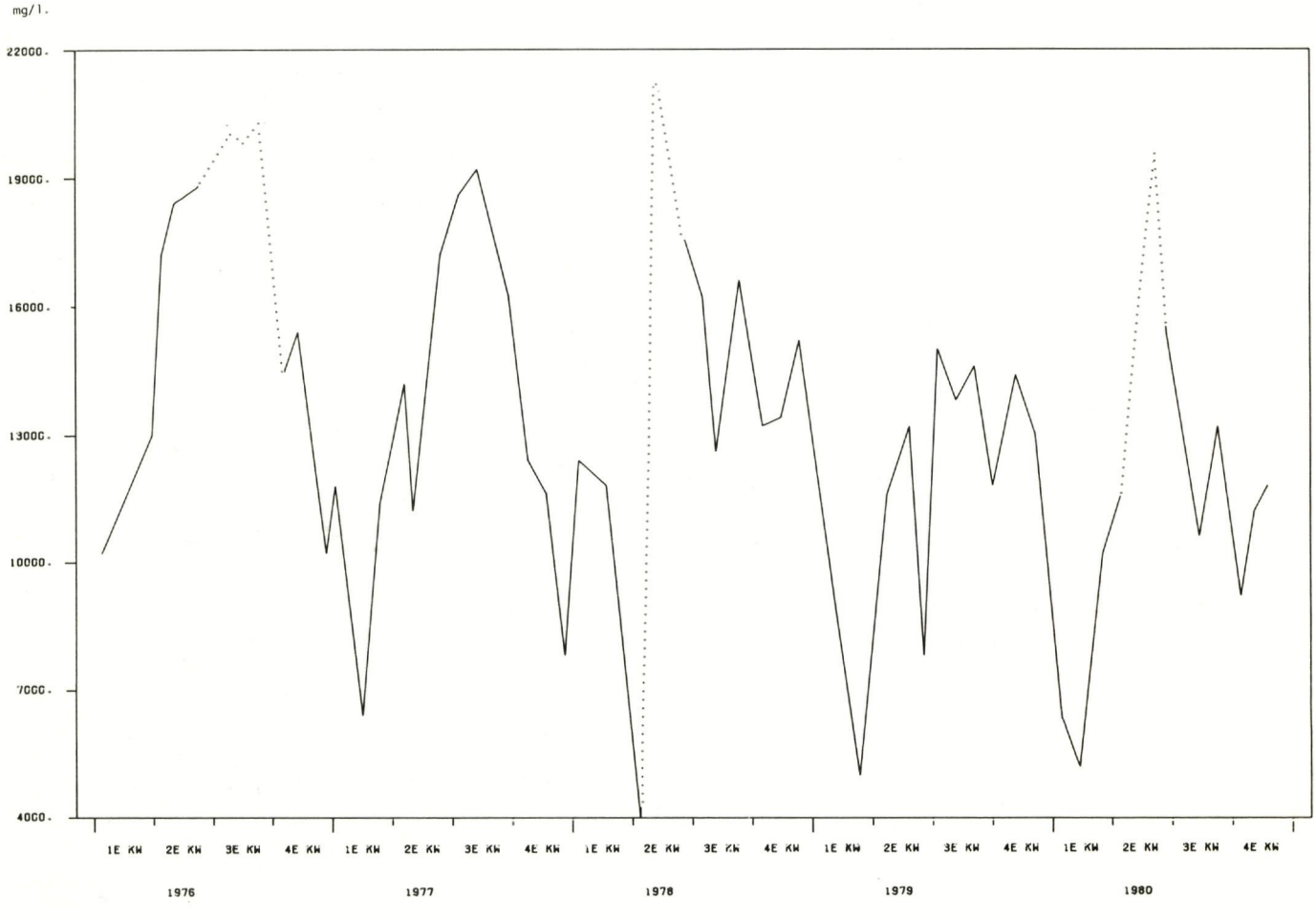
Plaatselijk of zelfs in een geheel kombergingsgebied is invloed van directe lozingen van afvalwater of oppervlaktewater op de waterkwaliteit van de Waddenzee merkbaar. In hoofdstuk 4 is dit bij een aantal parameters geconstateerd aan de hand van gradiënten in een kombergingsgebied of bij de gradiënt over de zeegaten. In dit hoofdstuk wordt niet alleen ingegaan op de invloeden van zoetwaterspuien en lozingen welke direct plaatsvinden op de Waddenzee maar ook op de invloed van de indirecte aanvoer van Rijn- en Maaswater via de Noordzeekust naar de Waddenzee.

6.1.2. Directe lozingen en zoetwaterspuien op de Waddenzee

- IJsselmeer

De spui van IJsselmeerwater via de Afsluitdijk heeft de meeste invloed op het kombergingsgebied van het Marsdiep en in mindere mate op dat van het Vlie. Dit blijkt ook uit figuur 4.1. (hoofdstuk 4). Gespuid wordt bij de sluizen te Den Oever en Kornwerderzand. De hoeveelheid geloosd water is bij Den Oever veelal hoger dan bij Kornwerderzand (tabel 2.5 en 2.6) hetgeen ook tot uitdrukking komt in de zoutgradiënten in fig. 4.1. Met name nabij de spuisluizen vertoont het chloridegehalte over het jaar grote fluctuaties. (figuur 6.1.).

Figuur 6.1. Verloop chloridegehalte bij Kornwerderzand op 00772.



De veelal snellere stijging van het chloridegehalte in het voorjaar, dan de daling in het najaar, zal te maken hebben met de geringe spui in de periode dat het IJsselmeer overgaat van winterpeil naar zomerpeil (eind maart/begin april).
De invloed van de spui van het IJsselmeer op andere parameters dan chloride is niet even duidelijk. Gedeeltelijk komt dit doordat deze stoffen in de Waddenzee onderworpen zijn aan processen zoals consumptie, mineralisatie en adsorbtie. Een andere reden is, dat de verschillen in waterkwaliteit tussen het zoete water dat de Westelijke Waddenzee via het IJsselmeer binnentrekt en het kustwachten gemiddeld nitraatgehalte in deze perioden berekend, uitgaande van een conservatief gedrag van nitraat, hetgeen gezien de anaërobe wadbodem mogelijk niet juist is.
Het resultaat van de berekende nitraatgehalten is vergeleken met de metingen (fig. 6.2 en 6.3).
Hierbij doen zich verschillen voor die vermoedelijk samenhangen met de grote spreiding van de gemeten gehalten in de westelijke Waddenzee.

Tabel 6.1. De waterkwaliteit van IJsselmeer, Waddenzee en kustwater gemiddeld over de periode 1976 t/m 1980.

zomer omschrijving	locatie	chloride mg/l	saliniteit ‰	o-P mg P/l	tot-P mg P/l	NH_4-N mg P/l	Kj-N mg N/l	NO_2 mg N/l	NO_3 mg N/l	zw. stof mg/l	gloeirest %	chlorophyl µg/l	TOC mg/l
Marsdiep	00707		28,98	0,04	0,13	0,065	1,00	0,024	0,303	44,5	77	14,1	6,5
Kust van Noord-Holland (Egmond km 2)	09261		29,85	0,051	0,11	0,080	0,49	0,020	0,304	12,9	65	13,6	4,7
IJsselmeer (Den Oever)	02105	191		0,071	0,21	0,084	1,79		1,754	18,3	34	121,6	
IJsselmeer (Kornw.zand)	02101	230		0,049	0,19	0,053	1,85		1,532	19,1	27	162,1	13,7

winter omschrijving	locatie	chloride mg/l	saliniteit ‰	o-P mg P/l	tot-P mg P/l	NH_4-N mg N/l	Kj-N mg N/l	NO_2 mg N/l	NO_3 mg N/l	zw. stof mg/l	gloeirest %	chlorphyl µg/l	TOC mg/l
Marsdiep	00707		27,91	0,09	0,21	0,154	0,67	0,050	0,502	58,5	82	5,1	5,2
Kust van Noord-Holland (Egmond km 2)	09261		29,81	0,093	0,15	0,179	0,44	0,036	0,704	18,9	81	2,6	3,8
IJsselmeer (Den Oever)	02105	214		0,101	0,24	0,309	1,86		2,041	22,5	51	105,2	
IJsselmeer (Kornw.zand)	02101	222		0,091	0,25	0,257	2,13		1,926	23,4	47	144,7	14,0

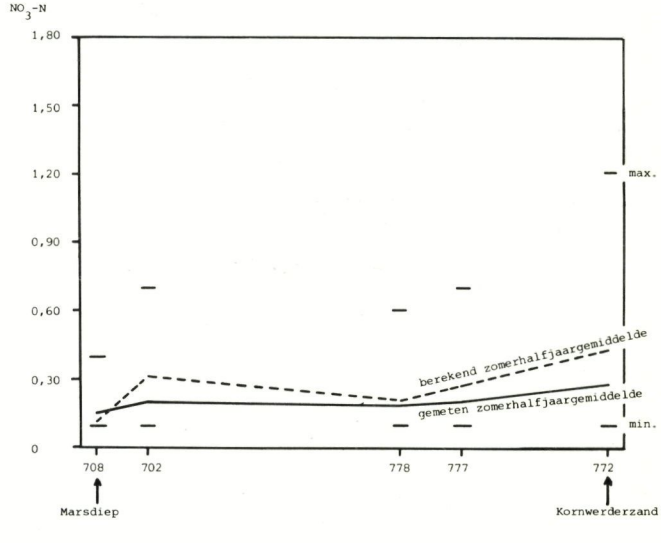
tabel 6.1.a De metaalgehalten in IJsselmeer, Waddenzee en kustwater, gemiddeld over de periode 1 januari 1980 t/m 1 juli 1981.

omschrijving	locatie	zw.st mg/l	cadmium µg/l		chroom µg/l		koper µg/l		lood µg/l		zink µg/l		kwik µg/l	
			opg	tot	opg	tot	opg	tot	opg	tot	opg	tot	opg	tot
Marsdiep	00707	54	0,13	0,21	0,55	4,82	1,12	2,80	0,21	4,72	4,42	17,73	0,04	0,09
Kust Zuid-Holland (Ter Heijde km 2)	09241	16	0,16		0,60		1,90		0,26		5,49		0,02	
IJsselmeer (Den Oever)	02105	29	0,1	0,3			3	5	1	5	8	27	0,05	0,08
IJsselmeer (Kornw.zand)	02101	21	0,1	0,2			3	4	1	3	7	20	0,04	0,06

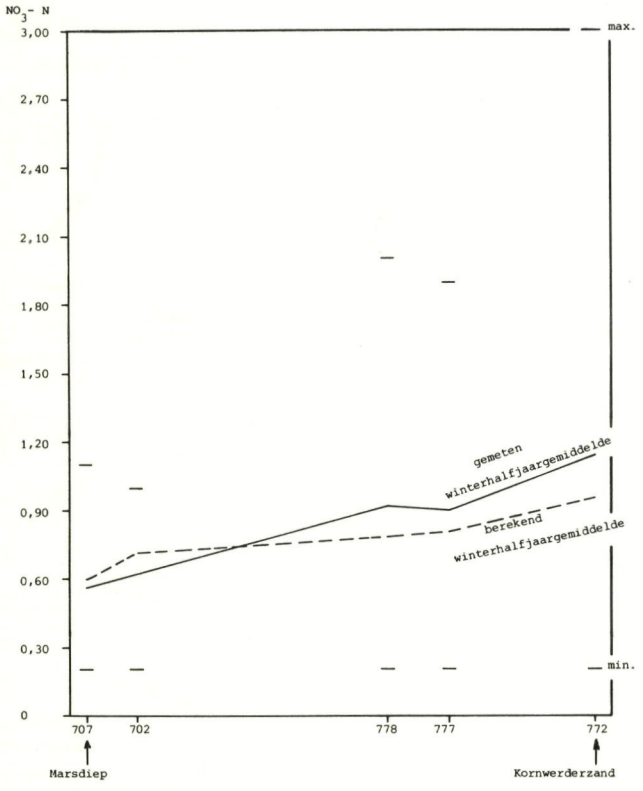
water niet erg groot zijn. Zoals uit de tabellen 6.1 en 6.1a blijkt liggen de gehalten aan ortho-fosfaat en ammonium-stikstof in vergelijkbare orde van grootte in de Waddenzee zelf, de kust en in het IJsselmeer. Dit geldt evenwel niet voor nitraat.
Het gehalte van deze parameter is in de Waddenzee waarschijnlijk vrijwel volledig afkomstig van de zoetwaterspuien op dit gebied, waarbij het IJsselmeer de belangrijkste is. Helder (17) vond voor waarnemingen op locaties in de westelijke Waddenzee een vrijwel lineaire relatie tussen de jaargemiddelde saliniteit en het jaargemiddelde nitraatgehalte.

In dit rapport is getracht het nitraatgehalte in de westelijke Waddenzee te benaderen via product van zoetwaterspuiingen en „kustwater" als zijnde de grondstoffen. Voor enkele locaties van het routine-onderzoek in de westelijke Waddenzee is uit het gemiddelde chloridegehalte in het zomerhalfjaar 1978 en het winterhalfjaar 1978/1979 de mengverhouding IJsselmeerwater/kustwater vastgesteld.
Uitgegaan werd van een gemiddeld chloridegehalte van 17.100 respectievelijk 18.100 mg/l voor het kustwater en gemiddeld 200 respectievelijk 330 mg/l voor het IJsselmeer voor het zomer- en winterhalfjaar.
Met behulp van de aldus berekende mengverhouding is het te ver-

Figuur 6.2. Vergelijking van de berekende nitraatgehalten op het traject Marsdiep-Kornwerderzand, uitgaande van een conservatief menggedrag van het nitraat uit het Ijsselmeer, met de gemeten nitraatgehalten in het zomerhalfjaar 1978.



Figuur 6.3. Vergelijking van de berekende nitraatgehalten op het traject Marsdiep-Kornwerderzand, uitgaande van een conservatief menggedrag van het nitraat uit het Ijsselmeer, met de gemeten nitraatgehalten in het winterhalfjaar 1978/1979.



Tegen deze achtergrond stemmen de berekende en gemeten gemiddelde nitraatgehalten redelijk overeen. Hieraan conclusies verbinden ten aanzien van het al dan niet optreden van processen die het nitraatgehalte kunnen beïnvloeden (nitrificatie, denitrificatie, opname door algen, mineralisatie) is gezien de onnauwkeurigheid niet verantwoord.

Een parameter waarbij het niveau in het IJsselmeer nabij de Afsluitdijk en in de Waddenzee eveneens duidelijk van elkaar verschilt is het chlorophylgehalte: Waddenzee ± 30 μg/l (zomer 1980), IJsselmeer ± 100 μg/l (idem).
Cadée (31) heeft aan de hand van de vaak in het IJsselmeer dominante zoetwateralgensoort Scenedesmus vastgesteld, dat de door het IJsselmeer gespuide algen in het brakke of zoute water in ieder geval meerdere dagen in leven kunnen blijven. Enige invloed van de algen uit het IJsselmeer op de primaire productie in de westelijke Waddenzee mag dan ook wel worden verwacht. Er is wel een afname van de concentraties fytoplankton bij stijgend zoutgehalte, waarbij de aanwezigheid van fytoplankton afkomstig uit het IJsselmeer achterblijft bij de mengverhouding zoet/zout (3). Van Bennekom e.a. (41) constateerden dat ook begrazing door schelpdieren verantwoordelijk kan zijn voor afname van de concentratie IJsselmeeralgen.

Bij de anorganische microverontreinigingen liggen de opgeloste metaalgehalten in het IJsselmeer bij de Afsluitdijk grofweg een factor twee hoger dan in de westelijke Waddenzee. De totaalgehalten in beide wateren zijn van dezelfde orde van grootte.
Over het lot van de opgeloste metaalionen onder invloed van processen welke plaatsvinden bij de overgang van zoet naar zout water kan het volgende worden opgemerkt.
Door Duinker et al (19) is geconstateerd dat bij het Varde Å-estuarium (Waddenzee, Jutland, Denemarken) sedimentatie van zwevend slib en aan dit slib gebonden zware metalen optreedt bij het overgangsgebied van rivier naar estuarium.
Tegelijkertijd wordt een blijvende verdwijning van opgelost cadmium, zink en ijzer gevonden door adsorptie aan pas geërodeerde deeltjes slib.
Koper doet daarentegen kennelijk niet aan dit proces mee.
Salomons (20) en Hendriksma (35) vonden in de Schelde, bij de overgang naar het estuarium van de Westerschelde eveneens dat zwevend slib met aan dit slib gebonden metaal sedimenteert. Gaande naar zee verminderen de metaalgehalten in slib, waarschijnlijk grotendeels door verdunning met schoon zeeslib.
Daarentegen vertonen de gehalten van de opgeloste metalen nauwelijks neiging tot afnemen of nemen zelfs toe. Dit zou kunnen wijzen op mobilisatie van metalen, dat wil zeggen de overgang van de aan slib gebonden naar de opgeloste vorm.
Vermoedelijk is hier sprake van een minder algemeen beeld voor de overgang van zoet naar zout, en hangt dit samen met het zeer lage zuurstofgehalte in de Westerschelde bij de overgang van de rivier naar het estuarium.

Bij de organische microverontreinigingen blijkt, bij vergelijking van de gehalten in het midden van het IJsselmeer met het Marsdiep de gehalten in het IJsselmeer voor sommige verbindingen wat hoger te liggen (tabel 6.2).

Tabel 6.2. Opgelost gehalte van enkele organochloorverbindingen in Marsdiep (Duinker en Hillebrand (33)) en IJsselmeer (RIZA).

	Marsdiep 1979 ng/l	IJsselmeer (IJ 23) 1980 ng/l
pentachloorbenzeen	0,5	
hexachloorbenzeen	0,1	0,0
PCB (aroclor 1254)	1,4	
χ - HCH	1,9	5,0
β - HCH	6,2	7,5
γ - HCH	0,1	
dieldrin	0,2	3,0
endrin	0,03	0,00

- Lozingen bij Den Helder

Bij Den Helder zijn uitslagpunten voor het water van het Noordhollandskanaal en het Balgzandkanaal. Het gespuide water van het Noordhollandskanaal komt via de havenkom van Den Helder op het Marsdiep en van het Balgzandkanaal via Oostoever op het Balgzand terecht. De uitgeslagen hoeveelheden water liggen ruwweg een factor dertig lager dan de hoeveelheden gespuid via de Afsluitdijk. De gemiddelde kwaliteit van het uitgeslagen water staat vermeld in tabel 6.3.

Tabel 6.3. De kwaliteit van het uitgeslagen water bij Den Helder (1978) (37)

		% O_2	BZV_5	NH_4-N	ortho-P
Noord-hollands-	minimum	20	3	0,4	0,11
kanaal	mediaan	56	4	2,0	1,03
(meetpunt Kooybrug)	maximum	90	9	9,2	2,05
Balgzand kanaal	minimum	94	2	0,0	0,02
(meetpunt v.Ewijck-	mediaan	101	6	0,0	0,24
sluis)	maximum	133	10	0,6	0,46

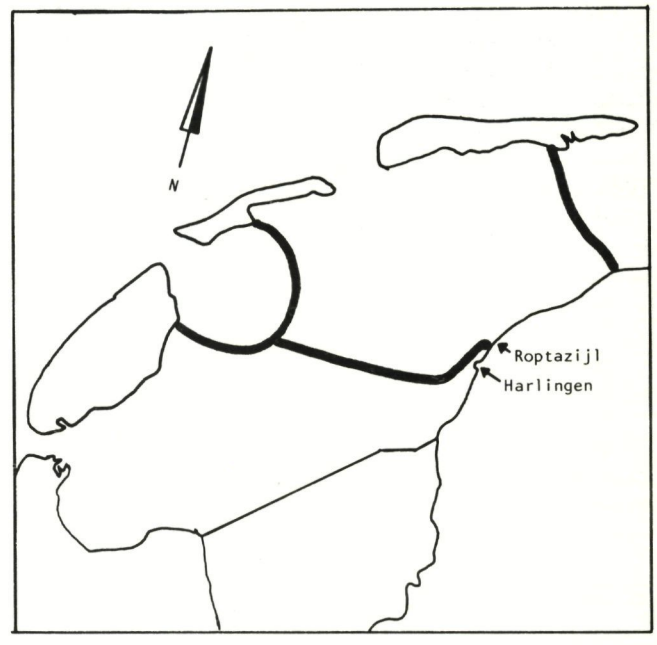
De invloed van het uitgeslagen water op de Waddenzee valt slechts voor een enkele parameter uit de waarnemingen af te leiden. Het grote getijvolume dat het Marsdiep passeert en hoge stroomsnelheden zijn hier debet aan.

Zoals al in hoofdstuk 4 is geconstateerd is er een duidelijke invloed van de spui van het Noordhollandskanaal op het aantal thermotolerante coli's.
Gedurende de periode waarover in deze nota verslag wordt gedaan werd het rioolwater van Den Helder e.o. ongezuiverd op het Noordhollandskanaal gebracht en via de haven uitgeslagen op het Marsdiep. Met name bij eb is bacteriologische verontreiniging op het meetpunt in het Marsdiep nabij Den Helder (00708) terug te vinden. Bij vloed zijn de gehalten veel lager (90708) (fig. 4.54 en 4.55).
Opvallend hierbij zijn de lagere gehalten in voorjaar en zomer. Tromp (38) wijt dit aan snellere afsterving in deze jaargetijden en mogelijk begrazing door andere organismen.
De invloed van deze bacteriologische verontreiniging op iets verder van Den Helder gelegen punten is echter klein (24).

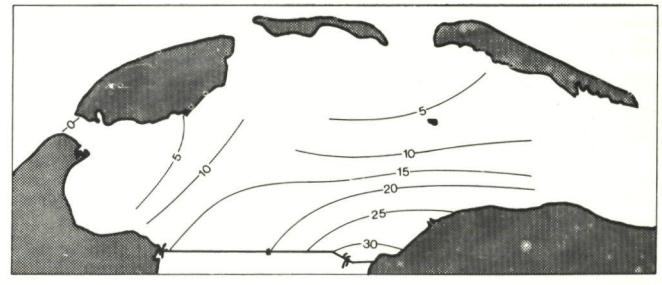
- Lozingen nabij Harlingen

Bij de lozingen van zoet water op de Waddenzee nemen die van het Van Harinxmakanaal via de Tjerk Hiddessluizen en die van de Sexbierumervaart nabij Roptazijl een bijzondere plaats in.
De reden hiervan is, dat zij lozen nabij of op het wantij tussen de kombergingsgebieden van het Marsdiep en van de Vliestroom. (fig. 6.4) Zimmerman (39) geeft aan dat de verversing van het oppervlaktewater op wantijen slechts gering is. Hij komt voor een wantij onder Terschelling tot een verblijfsduur van enkele getijden.
Hierdoor komt de mineralisatie van organisch materiaal duidelijk tot uitdrukking in de waterkwaliteit. De verblijftijd van het water in het gebied nabij Harlingen is groot en bedraagt gemiddeld enkele weken (fig. 6.5).
De kwaliteit van het nabij Harlingen geloosde oppervlaktewater staat vermeld in tabel 6.4. De hoeveelheid geloosd water ligt ongeveer een factor zestig lager dan de hoeveelheid gespuid IJsselmeerwater.
Gezien echter de hoge gehalten aan verontreinigde stoffen van het uitgeslagen water heeft dit een merkbare lokale invloed op de waterkwaliteit van dit deel van de Waddenzee en bepaalt dit mede de gradiënt zoals te zien is in fig. 4.41.

Figuur 6.4. Ligging lozingspunten Harlingen en Roptazijl ten opzichte van het wantij tussen de kombergingsgebieden van het Marsdiep en het Vlie.



Figuur 6.5. Horizontale verdeling van verblijftijden in de westelijke Waddenzee, uitgedrukt in getijperioden (halve dagen). De verblijftijd op een bepaalde plaats in het gebied geeft aan hoelang het gemiddeld duurt voor het water dat op de betreffende plaats aanwezig is de Waddenzee door menging met vers Noordzeewater zal hebben verlaten. (Ontleend aan Zimmerman (7).



Tabel 6.4 De kwaliteit van het uitgeslagen water bij Harlingen (1974-1978). Prov. Friesland (36)

	debiet per jaar ($10^6 m^3$)	BOD_5 mg/l	NO_3-N mg/l	NH_4-N mg/l	o-P mg/l	t-P mg/l
v.Harinxma-kanaal	160	9	2	1,5	0,8	1,2
Sexbierumer-vaart	20	50	0,4	17	5	12

- Lozing nabij Lauwersoog.

De gespuide hoeveelheden water bij Lauwersoog staan vermeld in de tabellen 2.5 en 2.6. De zoetwateraanvoer bedraagt ongeveer een tiende van de IJsselmeerspui. De kwaliteit van het gespuide water staat in tabel 6.5. De kwaliteit van het zeewater in het kombergingsgebied is gegeven in tabel 6.6.
Bij vergelijking van de waterkwaliteit op de twee meetlokaties blijkt er enige, zij het beperkte, invloed van de spui merkbaar te zijn. Nabij de spuisluis zal de invloed groter zijn. Door het relatief grote getijvolume (200 x $10^6 m^3$/getij) ten opzichte van het kombergingsgebied (± 340 x $10^6 m^3$/) blijft de invloed echter beperkt.

Tabel 6.5 De gemiddelde kwaliteit van het uitgeslagen water bij Lauwersoog.
(oktober 1979-september 1980) gegevens Prov. Groningen (40).

BOD_5	NO_3-N	NH_4-N	o-P	t-P
mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
6,7	1,54	0,6	0,39	0,7

Tabel 6.6 De waterkwaliteit in het kombergingsgebied van het Friese zeegat.

zomer 1980				
lokatie	Cl^-	NO_3-N	NH_4-N	o-P
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
zoutkamperlaag (00749)	16.400	0,2	0,15	0,08
Westgat (00743)	17.200	0,2	0,11	0,05

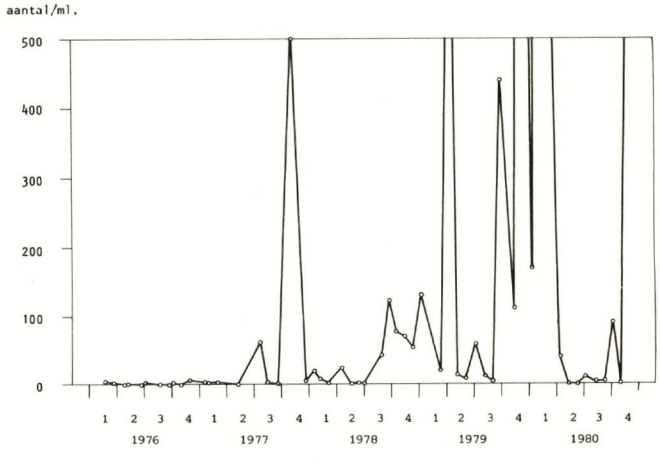
winter '79/'80				
lokatie	Cl^-	NO_3N	NH_4N	o-P
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Zoutkamperlaag (00749)	16.300	0,5	0,33	0,09
Westgat (00743)	16.700	0,4	0,24	0,07

- Lozing bij Hoogkerk en Noordpolderzijl.

Zoals uit de gradiënten in het kombergingsgebied van de Zuid-Oost Lauwers in hoofdstuk 4 blijkt (fig. 4.9, 4.19, 4.40) treedt er weinig beïnvloeding van de waterkwaliteit van het kombergingsgebied van de Lauwers op door de lozingen. Dit is in overeenstemming met de bevindingen van Essink (28). Het zoet water aandeel in de Zuid-Oost Lauwers bedraagt, zoals valt af te leiden uit de chloridegehalten, slechts enkele procenten. In de winter is er wel sprake van een toename van de ammonium gehalten nabij de kust (fig. 4.34) wat een gevolg zal zijn van de lozingen.

Een duidelijke invloed is eveneens af te leiden uit de bacteriologische gesteldheid. Opvallend is dat op het meetpunt nabij het lozingspunt van de persleiding Hoogkerk tot eind 1977 niet of nauwelijks thermotolerante colibacteriën aangetroffen werden. Vanaf die tijd zijn met name in het vierde kwartaal, regelmatig verhoogde aantallen gevonden. (fig. 6.6.) Mogelijk bestaat hier een verband met de sanering van de bedrijfsafvalwaterlozingen in 1976-1977. Als gevolg van deze afvalwatersanering daalde de temperatuur van het bedrijfsafvalwater sterk. Vroeger was ± 45°C aan het eind van de persleiding geen uitzondering. Hetgeen inhoudt dat bij de fabrieken zelf de temperatuur nog veel hoger was. Nu ligt de temperatuur van het geloosde afvalwater rond 25°C. Het is denkbaar dat vóór de sanering de th. colibacteriën afkomstig van het geloosde huishoudelijk afvalwater werden gedood door de hoge temperaturen.

Figuur 6.6. Verloop Thermotolerante colibacteriën in Zuidoost Lauwers op 00865.

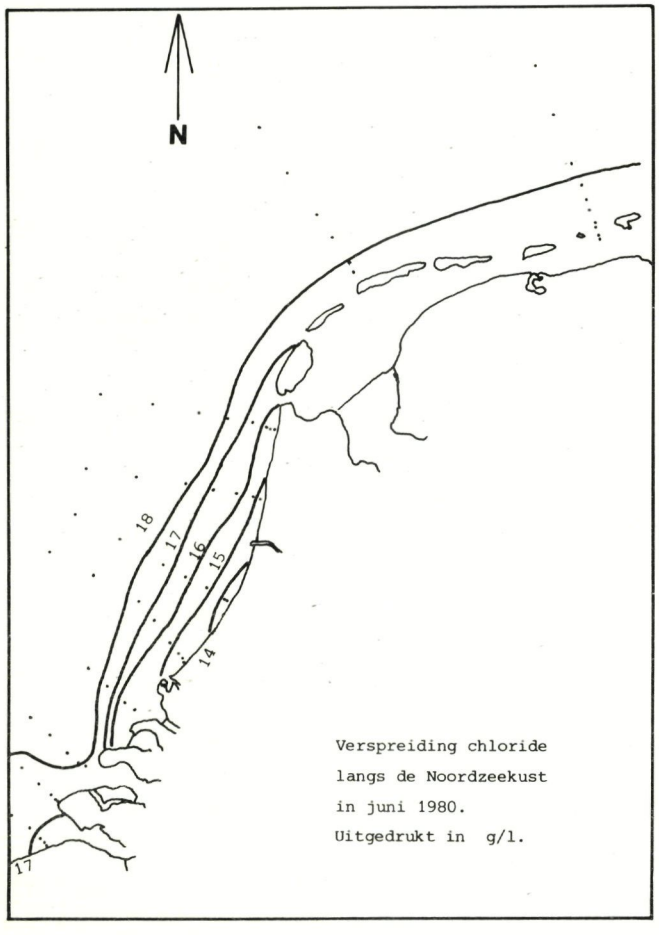


6.1.3. Indirekte zoetwateraanvoeren.

Het voornamelijk door de rivieren Rijn en Maas op de Noordzee gebrachte zoete oppervlaktewater mengt zich slechts langzaam met het zeewater. Het blijft als een band langs de kust, waarbij de reststromen van de Noordzee het langzaam noordwaarts transporteren. Dit is ook duidelijk te zien uit metingen van het chloridegehalte bij het routinematige waterkwaliteitsonderzoek van Rijkswaterstaat op de Noordzee (fig. 6.7). Zimmerman en Rommets (18) en Duinker (8) besteden aandacht aan het zoetwateraandeel dat langs deze weg de Waddenzee bereikt. Zij komen tot de konklusie, dat de westelijke Waddenzee ± 15% Rijnwater bevat.

Op de betekenis van de verontreinigingen die op deze wijze de Waddenzee bereiken wordt ingegaan in de hoofdstukken 6.2 (nutriënten) en 6.3 (microverontreinigingen). ten aanzien van de opgeloste microverontreinigingen is reeds een en ander opgemerkt in hoofdstuk 4.
Behalve invloed van Rijn en Maas is er in de oostelijke Waddenzee ook sprake van beïnvloeding door het Eemswater.
Dit valt af te leiden uit de chloridegradiënt over de zeegaten (fig. 4.10).

Figuur 6.7. Verspreiding chloride langs de Noordzeekust in juni 1980. Uitgedrukt in g/l.



6.2. De eutrofiëring van de Waddenzee

6.2.1. Het eutrofiëringsproces in de Waddenzee

Door de groei van de bevolking, de stijging van het aantal rioolaansluitingen en de invoering van fosfaathoudende wasmiddelen in het midden der zestiger jaren, alsmede door een toegenomen industriële aktiviteit, een hogere veebezetting in de landbouw en een toename van de bemesting, is het zoete en zoute oppervlaktewater de afgelopen tientallen jaren in steeds sterkere mate belast met nutriënten. Op veel plaatsen in met name de zoete wateren is hierdoor een situatie van sterke overbemesting ontstaan, met als gevolg grote algenbloeien.

Bijna al het zoete water, met hierin de nutriënten in opgeloste of gebonden vorm, stroomt uiteindelijk uit in zee. De anorganische nutriënten adsorberen aan het slib (met name fosfaat) of worden opgenomen door organismen.
Vanwege speciale mechanismen bij het transport van slib en detritus (dood organisch materiaal) komt het in deze vorm voor een belangrijk deel in kustgebieden zoals de Waddenzee terecht. Daarnaast komen nutriënten, al dan niet in gebonden vorm, rechtstreeks in de Waddenzee terecht, o.a. via het IJsselmeer.

Als gevolg van mineralisatie vindt omzetting van het organisch materiaal plaats waarbij nutriënten ten dele weer in opgeloste vorm ter beschikking komen voor opname door algen, hetzij in de Waddenzee zelf, hetzij in de Noordzee.
De produktie van algen vindt met name plaats in het voorjaar en de zomer, de mineralisatie in voorjaar, zomer en herfst. (16), (17)

6.2.2. Faktoren die de algengroei bepalen.

De volgende faktoren bepalen de mate van algengroei in de Waddenzee:
- temperatuur;
- voedingsstoffen zoals silicium, stikstof en fosfor;
- licht;
- begrazing (zoöplankton, filterfeeders).

Ten aanzien van deze faktoren kan het volgende worden opgemerkt:

- temperatuur

De temperatuur beïnvloedt de snelheid van de processen. In de zomer zijn de reaktiesnelheden veel hoger dan in de winter. De temperatuur is voor de Waddenzee hoofdzakelijk geografisch bepaald. In het kader van dit hoofdstuk zal niet verder op deze parameter ingegaan worden.

- opgelost silikaat

Door het RIZA is tot 1980 geen onderzoek uitgevoerd naar het gehalte aan reaktief silikaat, dat vooral belangrijk is voor de produktie van diatomeën. Volgens van Bennekom et al (41) zijn voor het gehalte van deze parameter in de Waddenzee meerdere processen van belang.
- Aanvoer, met als bron voornamelijk Rijn en Maas;
- Mineralisatie in de periode mei - december;
- Verbruik bij diatomeëngroei.

Zeer lage waarden opgelost silikaat zijn gemeten bij de diatomeënbloei in het voorjaar. Van Bennekom (41) vindt dat als gekeken wordt naar silicum, stikstof en fosfaat, groeibeperking van diatomeën enkel aan silicium-gebrek te wijten is. In het Marsdiep is Si-

gebrek in 1971 - 1972 in de maanden april, juni en september gemeten. In ondiepe gebieden alleen in april als de mineralisatie nog niet op gang gekomen is.

- stikstof

Dit is een essentiële voedingsstof voor al het plantaardig materiaal. Zowel ammonium-stikstof als nitraat-stikstof zijn direkt bruikbaar voor algengroei. De ontwikkeling van de stikstofgehalten over het jaar in de Waddenzee zijn eerder beschreven (par. 4.2).

Figuur 6.8 geeft als illustratie het verloop van het nitraat en het ammoniumgehalte in het zeegat van de Vliestroom in 1979.

Helder (17) vindt in juni 1971 op enkele plaatsen in de westelijke Waddenzee dermate lage anorganische stikstofwaarden (NH_4-N + NO_3-N < 0,03 mg/l.), dat mogelijk de stikstof groeibeperkend is.
In het onderzoek van Rijkswaterstaat was in de periode 1971 tot half 1981 de detektiegrens voor NO_2-N en NH_2-N 0,01 mg/l en voor NO_3-N 0,1 mg/l.

Hierdoor was het bij dit onderzoek alleen mogelijk aan te geven, dat het totaal anorganisch stikstofgehalte lager is dan 0,1 mg/l. Of tegelijkertijd groeibeperking optreedt kan niet met zekerheid worden gesteld. In de periode 1976 t/m 1980 is ieder jaar en verspreid over de gehele Waddenzee in bepaalde maanden een totaal anorganisch-N gehalten beneden de gehanteerde detektiegrenzen aangetroffen (tabel 6.7).

tabel 6.7 Het aantal lokaties in de westelijke en oostelijke Waddenzee waarop het totaal anorganisch stikstof gehalte beneden de detektiegrens lag (0,1 mg/l).

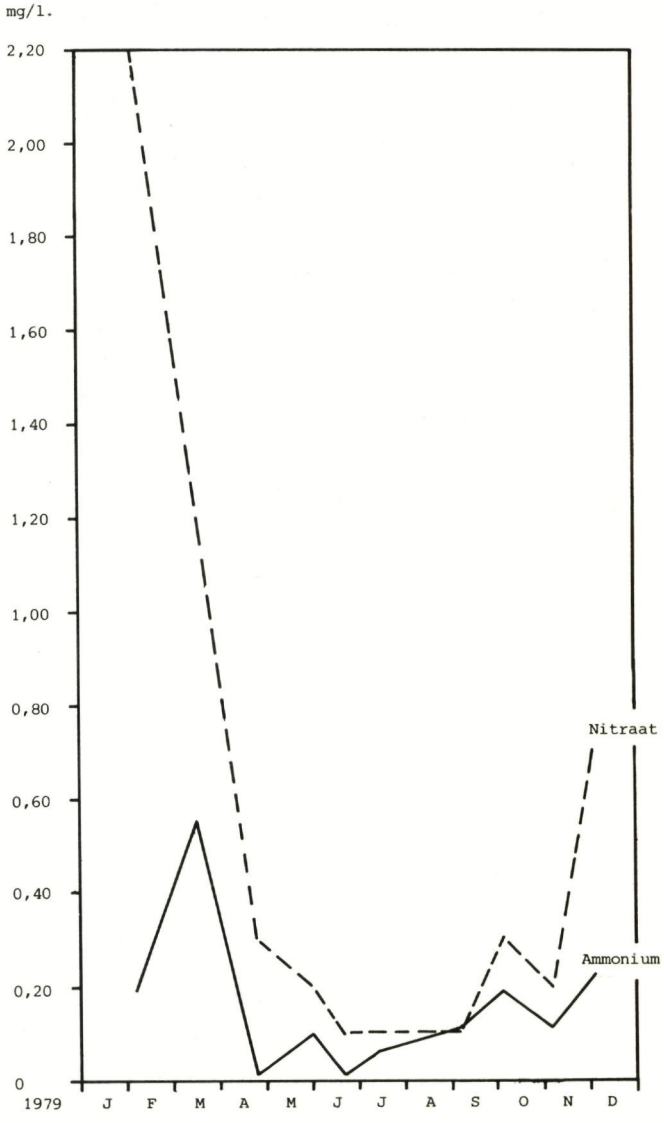
jaar	gebied	april	mei	juni	juli	aug.	sept.	aantal lokaties van onderzoek
1976	W.Waddenzee	1	-	1	-	7	-	19
	O.Waddenzee	-	-	-	-	2	-	11
1977	W.Waddenzee	1	-	5	-	-	-	19
	O.Waddenzee	-	6	-	-	4	-	11
1978	W.Waddenzee	6	15	5	8	-	2	19
	O.Waddenzee	-	4	4	-	-	1	11
1979	W.Waddenzee	1	-	8	-	-	1	19
	O.Waddenzee	-	2	2	-	-	-	11
1980	W.Waddenzee	-	-	-	-	1	1	19
	O.Waddenzee	-	1	-	-	1	-	11

Gezien de resultaten van deze waarnemingen is het niet uitgesloten dat anorganisch stikstof incidenteel en plaatselijk beperkend kan zijn voor de algengroei.

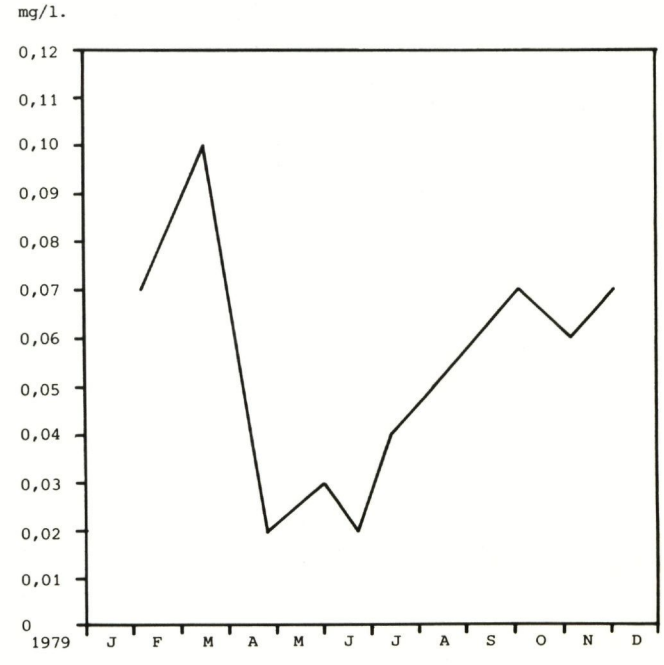
- ortho-fosfaat

Ook deze parameter is een essentiële voedingsstof. Het jaarverloop van het orthofosfaatgehalte kan worden geïllustreerd met het verloop op de lokatie Vliestroom in 1979 (fig. 6.9).

Figuur 6.8. Ammonium-en nitraatverloop in het zeegat van de Vliestroom in de Waddenzee in 1979.



Figuur 6.9. Ortho-fosfaatverloop in het zeegat van de Vliestroom in de Waddenzee in 1979.



Postma (10) vond in de maanden april - mei van diverse jaren rond 1950 dat het gehalte ortho-fosfaat daalde tot minder dan 0,003 mg/l.
Daarmee is ortho-fosfaat in die periode groeibeperkend.
De Jonge en Postma (16) vonden in 1970 alleen in het zeegat van het Vlie dermate lage waarden, dat het ortho-fosfaat wellicht beperkend is voor de groei van algen.
Bij het Rijkswaterstaat-routine-onderzoek kon met de gehanteerde analysemethode in de periode 1976-1980 een enkele maal geen fosfaat worden aangetoond Dit betekent dat het gehalte ortho-fosfaat kleiner was dan 0,01 mg P/l. Dit was het geval:

- in de westelijke Waddenzee; april 1977; alle locaties op één meetdag;
- in de oostelijke Waddenzee; mei 1979 op twee van de vijf locaties op één meetdag.

De gebruikte meetnauwkeurigheid laat echter niet toe om een uitspraak te doen of het niveau hetzelfde is als in de vijftiger jaren (0,01 mg/l, t.o.v. 0,003 mg/l). Wel kan worden geconstateerd dat momenteel zeer lage waarden zeker niet elk jaar optreden zoals Postma (10) constateert.
Was vroeger (1950) ortho-fosfaat in april - mei regelmatig groeibeperkend voor de algen, nu is dit niet meer of minder vaak het geval. De aspecten welke bij deze ontwikkeling een rol spelen worden in paragraaf 6.2.3. en 6.2.4. besproken.

- licht

Voor de koolzuurassimilatie van fytoplankton welke dient voor de celopbouw is energie nodig. Licht levert deze energie. Zwevend materiaal verstrooit en adsorbeert licht in het water, waardoor althans bij aanwezigheid van voldoende voedingsstoffen minder fytoplankton tot ontwikkeling komt dan op grond van de aanwezigheid van nutriënten mogelijk is. De groei is dan „lichtbeperkt".
Een maat voor de helderheid van het water is het Secchi doorzicht. Fig. 6.10 geeft de relatie tussen het doorzicht (gemeten met de Secchi schijf) en het zwevende stofgehalte voor locaties in de Westelijke Waddenzee in 1980/1981.
Cadée en Hegeman (31) concluderen bij een onderzoek naar de primaire productie van het fytoplankton in de Waddenzee, dat in 1970 en 1971 het licht de groeibeperkende factor was.

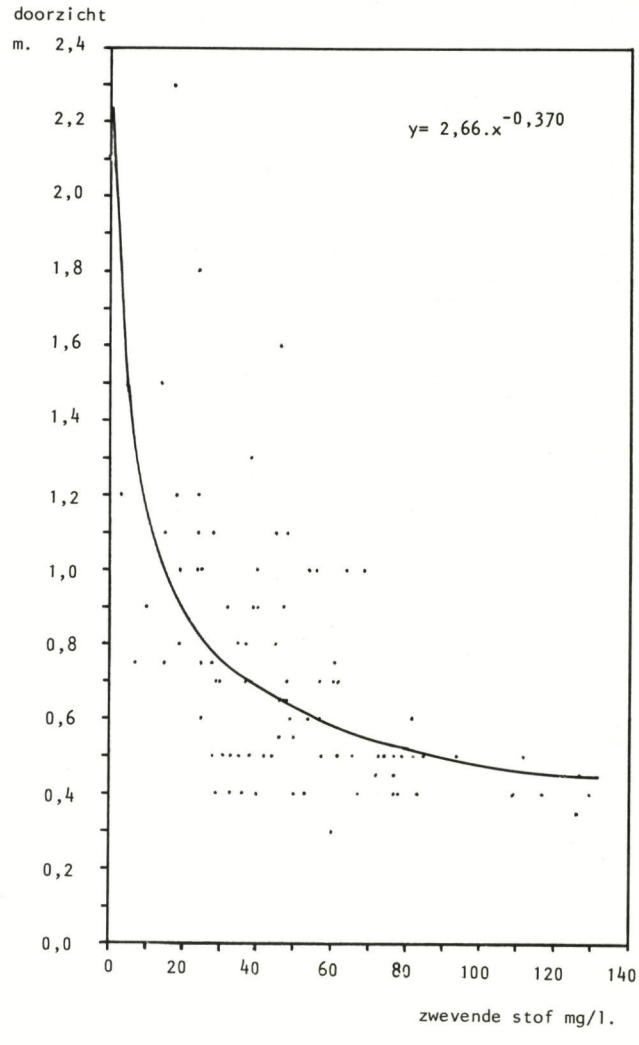
Daar reeds geconstateerd is, dat stikstof, ortho-fosfaat en silicium hooguit incidenteel groeibeperkend zijn kan ook op grond van de resultaten van het routinemeetprogramma van Rijkswaterstaat de conclusie luiden, dat licht waarschijnlijk de belangrijkste groeibeperkende factor van de Waddenzee is.
De diepte speelt hierbij een rol. Verwacht zou kunnen worden dat door de geringe diepte licht goed doordringt tot het onderste deel van de waterkolom. Aan de andere kant echter leidt deze geringe diepte door stroming en golf en wind/invloeden tot opwerveling van slib en opmenging over de gehele verticaal.

Het feit dat het chlorophylgehalte sinds 1950 niet of niet waarneembaar is toegenomen (tabel 6.10) wijst ook in de richting van lichtbeperking van de groei van algen.

- Begrazing door zoöplankton en filterfeeders

Van Bennekom et al (41) stellen dat het zoöplankton, wanneer dit haar jaarlijkse maximum bereikt een groot deel van het aanwezige fytoplankton verorbert. Hoewel precieze gegevens ontbreken lijkt dit, gezien de hoeveelheid zoöplankton die dan (± juni) aanwezig is, zeer waarschijnlijk. Dezelfde onderzoekers vermelden dat per week circa 55% van de natte inhoud van de Waddenzee door filterfeeders stroomt.

Fig 6.10. Relatie zwevende stof versus doorzicht op de raai Marsdiep-Kornwerderzand in 1980 en 1981.



In april 1970 verdwijnt na het hoogtepunt van de diatomeënbloei 75% van het bestand binnen een week. Na een tweede bloei in juli is dit zelfs 90%. Naast afsterving zal schelpdierbegrazing hier zeker een rol bij gespeeld hebben.

Cadée en Hegeman (31) beschrijven een gebied onder Terschelling met omvangrijke mosselbanken waar het fytoplankton maandenlang een lager gehalte vertoont dan in de overige Waddenzee. Hierbij wordt aangetekend, dat de groei van de mosselen op de bewuste plek geringer is dan op andere mosselbanken in de Waddenzee. Dit kan duiden op plaatselijke overbegrazing door de mosselen, die zowel lage chlorophylgehalten als ook daardoor een voedseltekort voor de mosselen teweegbracht.

Al met al lijkt begrazing een factor van belang te kunnen zijn, tenminste lokaal. Onduidelijk is of dit ook in zijn algemeenheid de hoeveelheid algen beperkt.

6.2.3. *Ontwikkelingen in de eutrofiëringsparameters*

In deze paragraaf zal worden besproken of de reeds genoemde toename van de belasting met nutriënten in de afgelopen dertig jaren (1950-1980) heeft geleid tot veranderingen in de nutriëntengehalten.
Tevens komt aan de orde of een en ander geleid heeft tot hogere fytoplanktongehalten.

- stikstof

Met betrekking tot het ammonium- en het nitraatgehalte staan lechts waarnemingen van vroegere jaren ter beschikking van Postma (42) uit 1961 en Helder (17) uit 1971.

Uit vergelijking van de waarnemingen van de laatste jaren van het routine-onderzoek van Rijkswaterstaat met deze eerder gegevens (tabel 6.8) blijkt, dat het NH_4-N-gehalte in de westelijke Waddenzee de laatste twintig jaar wellicht is toegenomen.
Ook het nitraatgehalte is toegenomen. De ontwikkeling van het NO_3-gehalte stemt overeen met de ontwikkelingen in de Rijn als gevolg van de sanering in het stroomgebied van deze rivier.

Tabel 6.8 Ontwikkeling van het ammonium- en het nitraatgehalte in de westelijke Waddenzee (Marsdiep).

periode	bron	jaargem. NH_4-N(mg/l)	jaargem. NO_3-N(mg/l)
1961-1962	Postma (42)	0,05	0,16
1971-1972	Helder (17)	0,10	0,21
1976	RIZA	0,12	0,32
1977	idem	0,11	0,53
1978	idem	0,08	0,33
1979	idem	0,13	0,38
1980	idem	0,08	0,43

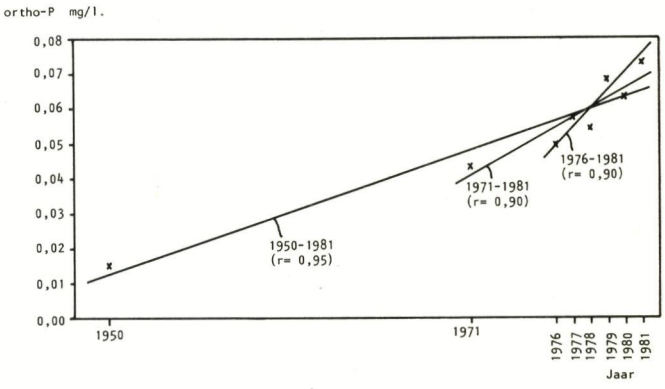
- ortho-fosfaat

Postma (10) en De Jonge en Postma (16) geven informatie over het gehalte ortho-fosfaat in 1950 en 1971 in de westelijke Waddenzee. Ook deze gegevens kunnen worden vergeleken met de door Rijkswaterstaat in de periode 1976-1980 in dit gebied gevonden gehalten (tabel 6.9).
Het gemiddeld ortho-fosfaatgehalte blijkt in de westelijke Waddenzee ten opzichte van 1950 met meer dan een factor vier te zijn toegenomen. (fig. 6.11).
In de laatste jaren is de stijging nog in grootte toegenomen in vergelijking met voorgaande decennia (fig.6.11 en tabel 6.9). Op de oorzaak en de betekenis van deze toename van het fosfaatgehalte zal in 6.2.4. worden ingegaan.

Tabel 6.9 Toename van ortho-fosfaat in de Waddenzee (ontleend aan Postma (10), De Jonge en Postma (16) en RIZA.)

	absolute toename mg o-P/1/jaar	gemiddelde toename mg o-P/1/jaar
1976-1981	0,022	0,0044
1971-1981	0,028	0,0028
1950-1981	0,052	0,0017

Figuur 6.11. De toename van het ortho-fosfaatgehalte in de westelijke Waddenzee in de perioden 1950-1981 (ontleend aan Postma (10), de Jonge & Postma (16) en routine-onderzoek Rijkswaterstaat).



- Het chlorophylgehalte

Gegevens met betrekking tot het gehalte aan chlorophyl-a in de westelijke Waddenzee zijn eveneens bekend van Postma (10) en Cadée en Hegeman (31).

Tabel 6.10 Chlorophyl-a-gehalten (µg/l) in de westelijke Waddenzee 1950-1980.

periode	bron	Gem. winter-gehalte	Gem. zomer gehalte	Piek-waarde
1951-1953	Postma (10)	5	20	70
1972-1973	Cadée en Hegeman (31)	5 - 10	20	40
1976-1980	RIZA	5	20	60

Uit vergelijking van deze gegevens met resultaten van het Rijkswaterstaatsonderzoek uit de periode 1976-1980 (tabel 6.10) blijkt, dat in de periode 1950-1980 in de westelijke Waddenzee zich geen of geen waarneembare wijzigingen met betrekking tot het gehalte chlorophyl-a heeft voorgedaan.
Dit ondanks het toegenomen fosfaatgehalte.
Zoals in de vorige paragraaf reeds is gesteld zijn andere factoren zoals de aanwezigheid van silicium, de begrazing door schelpdieren, maar vooral licht bepalend voor het niveau van de algenbiomassa's van de Waddenzee.

6.2.4. *Oorzaak van de toename van het ortho-fosfaatgehalte in de Waddenzee.*

In de vorige paragrafen is reeds geconstateerd, dat in de westelijke Waddenzee weliswaar het ortho-fosfaatgehalte in de laatste dertig jaar sterk is gestegen, maar dat dit niet geleid heeft tot merkbaar hogere algendichtheden in de Waddenzee zelf.
De vraag doet zich nu voor wat precies de oorzaken van de toename in de Waddenzee van het ortho-fosfaat zijn. Gezien hun geringe omvang is de invloed van de directe lozingen van afvalwater, zo aanwezig, beperkt. Ook de invloed van neerslag is beperkt.
In dit gebied is het gemiddeld gehalte ortho-fosfaat in de neerslag ± 0,04 mg/l P en is het totaal-P gehalte ± 0,10 mg/l P (K.N.M.I.: routinematig meetnet regenkwaliteit). Dit ligt in dezelfde ordegrootte als de gehalten van het oppervlaktewater in de Waddenzee of iets lager.

De toename van het gehalte opgelost fosfaat kan langs drie wegen tot stand komen:

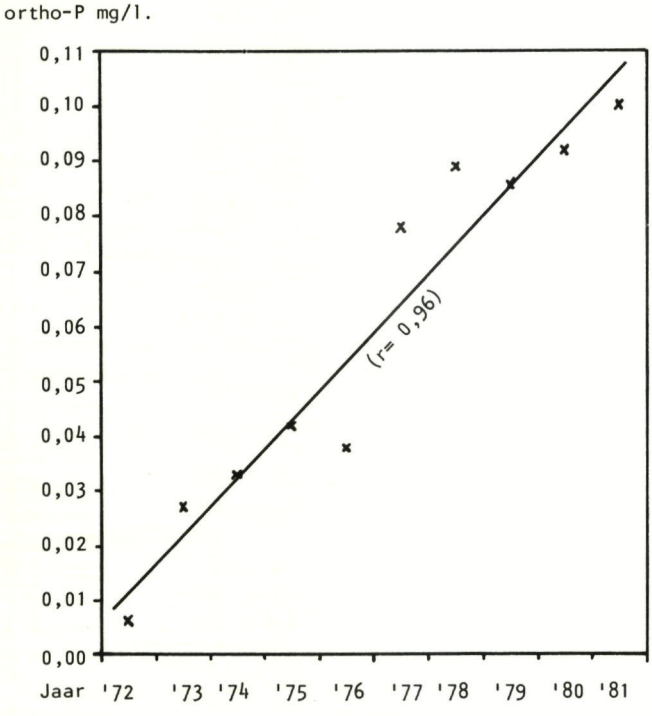
- toename van het gehalte opgelost fosfaat in de directe zoetwateraanvoer (i.c. IJsselmeerspui);
- toename van opgelost fosfaat in de aanvoer vanuit zee (de kuststrook);
- toename van organisch gebonden (particulair) fosfaat naar de Waddenzee vanuit de Noordzee, waarbij dit materiaal in de Waddenzee wordt gemineraliseerd.

Voor de periode 1971-1981 zal met de beschikbare gegevens worden nagegaan welke van deze drie wegen verantwoordelijk gesteld kan worden voor de waargenomen toename van het ortho-fosfaatgehalte in de Waddenzee (figuur 6.11).

- Directe zoetwateraanvoer

Bij de zoetwateraanvoer is eigenlijk alleen de IJsselmeerspui dermate omvangrijk dat enige beïnvloeding van het opgelost fosfaatgehalte in de Waddenzee mogelijk is.
Het ortho-fosfaatgehalte in het IJsselmeer is de laatste jaren duidelijk toegenomen. Mogelijk speelt hierbij de sluiting van de dijk Enkhuizen- Lelystad een rol (43).
De toename van het jaargemiddelde ortho-fosfaatgehalte in het IJsselmeer nabij de Afsluitdijk in de periode 1972-1981 is weergegeven in figuur 6.12.
De toename in het IJsselmeer bedraagt in deze periode 0,095 mg/l ortho-P.
Dit komt overeen met een gemiddelde jaarlijkse toename van 0,0105 mg/l ortho-P per jaar.

Figuur 6.12. De toename van het ortho-fosfaatgehalte in het IJsselmeer nabij de Afsluitdijk.



De westelijke Waddenzee bestaat voor ca 15% uit IJsselmeerwater (7). Dit betekent dat de gemiddelde jaarlijkse toename van het opgelost fosfaatgehalte in de westelijke Waddenzee in deze periode als gevolg van de aanvoer van IJsselmeerwater maximaal 0,0017 mg/l kan bedragen. Daar de gemiddelde jaarlijkse stijging in de Waddenzee in deze periode ongeveer 0,0028 mg/l heeft bedragen kan het IJsselmeer niet de enige bron van toename zijn geweest.

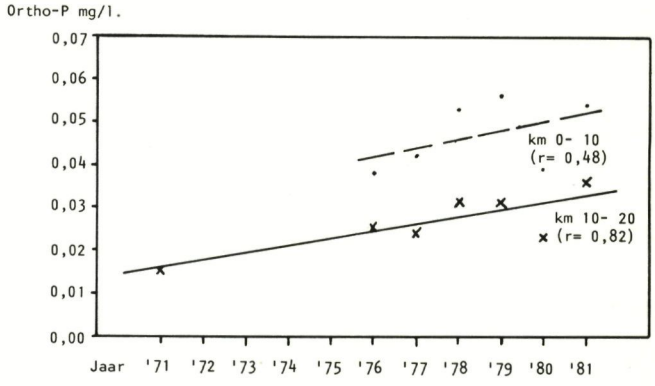
- Indirecte aanvoer van zoetwater

Het in het Marsdiep binnenstromende water, dat voor een gedeelte uit Rijnwater bestaat, voert ortho-fosfaat met zich mee. Voor de ontwikkeling van het gehalte van het ortho-fosfaat in het kustwater in de periode 1971-1981 staan de volgende bronnen ter beschikking:

- De Jonge en Postma (16) - Metingen bij lichtschip Texel (1970-1971);
- Rijkswaterstaat - routinematige metingen ter hoogte van Callantsoog (1976-1980).

Het lichtschip Texel ligt enige tientallen kilometers benoorden de meetraai Callantsoog van het routinematig Noordzee-onderzoek van Rijkswaterstaat. Hoewel hierdoor waterkwaliteitsverschillen tussen deze locaties mogelijk zijn wordt hier aangehouden dat de kwaliteit op dezelfde afstand uit de kust overeenkomstig is.
Het lichtschip Texel ligt op ± 15 km uit de kustlijn. De metingen van Rijkswaterstaat vinden niet op 15 km maar op 10 en 20 km vanuit de kustlijn plaats. Ter vergelijking met de metingen van het lichtschip Texel zal de gemiddelde waarde van de meting op 10 en 20 km vanuit de kust worden gehanteerd.
De toename van het ortho-fosfaatgehalte van het kustwater, op ca 15 km uit de kust, is weergegeven in figuur 6.13. Deze toename bedraagt over de gehele periode 0,016 mg ortho-P/l, ofwel gemiddeld 0,0016 mg ortho-P/l/jaar.

Figuur 6.13. De toename van het ortho-fosfaatgehalte in de kustzone ter hoogte van het Marsdiep in de perioden 1971-1981 (ontleend aan de Jonge & Postma (16) en routineprogramma Rijkswaterstaat).



Hierbij dient nog de volgende kanttekening te worden gemaakt. Zoals in paragraaf 6.1.3 vermeld blijft het Rijn- en Maaswater als het ware als een band langs de kust hangen. Loodrecht op de kust ontstaan daardoor gradiënten (figuur 6.7). Uit stroommetingen van Rijkswaterstaat is voorlopig vastgesteld dat afhankelijk van onder meer het weer en de wind de aanstroombreedte van het kustwater dat het Marsdiep binnentreedt 7-10 km bedraagt.
Gezien de gradiënt is het gemiddelde ortho-fosfaatgehalte in dit water hoger dan op 15 km uit de kust. Van deze kuststrook van 0-10 km zijn echter geen gegevens beschikbaar van de periode vóór 1976. De toename van het ortho-fosfaatgehalte in de periode 1971-1981 is derhalve niet bekend.
De beschikbare gegevens ten aanzien van het jaargemiddelde orthofosfaatgehalte in de periode 1976-1981 zijn weergegeven in figuur 6.13. Het gehalte in de kuststrook 0-10 km blijkt duidelijk hoger dan op grotere afstand uit de kust. Ook is er sprake van een toename van het jaargemiddeld ortho-fosfaatgehalte in de beschouwde periode, zij het met een lage positief lineaire correlatie. De gemiddeld jaarlijkse toename van het ortho-fosfaatgehalte in de kuststrook van 0-10 km ter hoogte van Callantsoog bedraagt 0,0020 mg ortho-P/l/jaar en is hiermee groter dan op 10-20 km uit de kust (0,0016 mg ortho-P/l/jaar).

Geconcludeerd kan worden dat de stijging van het ortho-fosfaatgehalte in de Waddenzee in de periode 1971-1981 (0,0028 mg P/l/jaar) geheel verklaard kan worden door de toename van het ortho-fosfaatgehalte in de spui van het IJsselmeer naar de Waddenzee (gemiddelde toename in de Waddenzee 0,0017 mg P/l/jaar) en de stijging van het ortho-fosfaatgehalte in het kustwater (op 15 km uit de kust 0,0016 mg P/l/jaar). De toename van het ortho-fosfaatgehalte in het water dat in werkelijkheid de Waddenzee binnentrekt is naar verwachting nog groter.

- Toevoer van organisch materiaal

Postma (10) en De Jonge en Postma (16) stellen dat een groot gedeelte van het ortho-fosfaat dat vrijkomt in de Waddenzee afkomstig is van de mineralisatie van aangevoerd organisch materiaal. Dit materiaal is volgens hen grotendeels vanuit de zee afkomstig. Cadée (3) toont echter aan dat de aanvoer van materiaal uit het IJsselmeer ook substantieel is.
Ten aanzien van de periode 1950-1970 concluderen De Jonge en Postma (16) dat de stijging van het ortho-fosfaatgehalte in de Waddenzee voor een belangrijk deel toegeschreven moet worden aan een toename van de aanvoer van organisch materiaal vanuit de Noordzee naar de Waddenzee, dat in de Waddenzee wordt gemineraliseerd. Uit de toename van het ortho-fosfaatgehalte in de Waddenzee in deze periode in vergelijking met de toename op 15 km uit de kust wordt door hen afgeleid dat de aanvoer van organisch materiaal uit de Noordzee naar de Waddenzee in de periode 1950-1970 verdrievoudigd moet zijn.

Zoals hiervoor is geconcludeerd lijkt over de periode 1971-1981 de toename van ortho-fosfaat-P in de Waddenzee eerder een gevolg van een toename van het ortho-fosfaatgehalte in de bronnen van de Waddenzee (Noordzeekustwater en IJsselmeer). Hetgeen overigens niet betekent dat dit ook in de periode 1950-1970 het geval geweest moet zijn. Wel kunnen ten aanzien van de benaderingswijze van De Jonge en Postma enkele opmerkingen worden gemaakt. Een belangrijk uitgangspunt voor de berekeningen van bovengenoemde auteurs is dat het water dat de Waddenzee binnentrekt de kwaliteit heeft zoals gemeten bij het lichtschip Texel. Dit schip ligt op een afstand van 15 km uit de kust.
Zoals reeds eerder vermeld is het kustwater dat de Waddenzee binnentrekt afkomstig van de kuststrook van 0-10 km uit de kust. De gehalten in dit kustwater zijn beduidend hoger dan op 15 km uit de kust (lichtschip Texel).
Daarnaast lijkt ook de toename van het ortho-fosfaatgehalte in het kustwater van 0-10 km iets hoger dan op 15 km uit de kust (figuur 6.13).

Tegen deze achtergrond lijkt nadere bezinning op de berekeningen, welke geleid hebben tot de conclusie dat de aanvoer van organisch materiaal uit zee in de periode 1950-1970 met een factor drie moet zijn toegenomen, op zijn plaats.

6.3. Zware metalen en organochloorverbindingen in slib en organismen

6.3.1. Zwevende stof en sediment

zware metalen in zwevende stof

In voorgaande hoofdstukken is al geconstateerd dat verschillen tussen locaties in de Waddenzee met betrekking tot het gemiddelde of de mediaanwaarde van het gehalte totaal metaal op zich nog weinig zeggen over de mate van contaminatie. Vanwege de binding van metalen aan slib is er een duidelijke samenhang tussen het totaal metaalgehalte en het slibgehalte.
Wanneer de waarnemingen van alle Waddenzee-locaties (fig. 4.58) tezamen worden genomen, blijkt er voor alle onderzochte metalen een significante positieve lineaire relatie te bestaan tussen het gehalte particuliar metaal (= totaal minus opgelost) en het slibgehalte (fig. 6.14). De spreiding is echter aanzienlijk, zoals te zien is uit het eveneens in fig. 6.14 aangegeven 95% betrouwbaarheidsgebied.

Ook voor de afzonderlijke Waddenzee-locaties is onderzocht of er sprake is van een correlatie tussen het gehalte particulair metaal en het slibgehalte. Dit is gedaan voor de metalen zink en kwik over de periode 1978-1980.

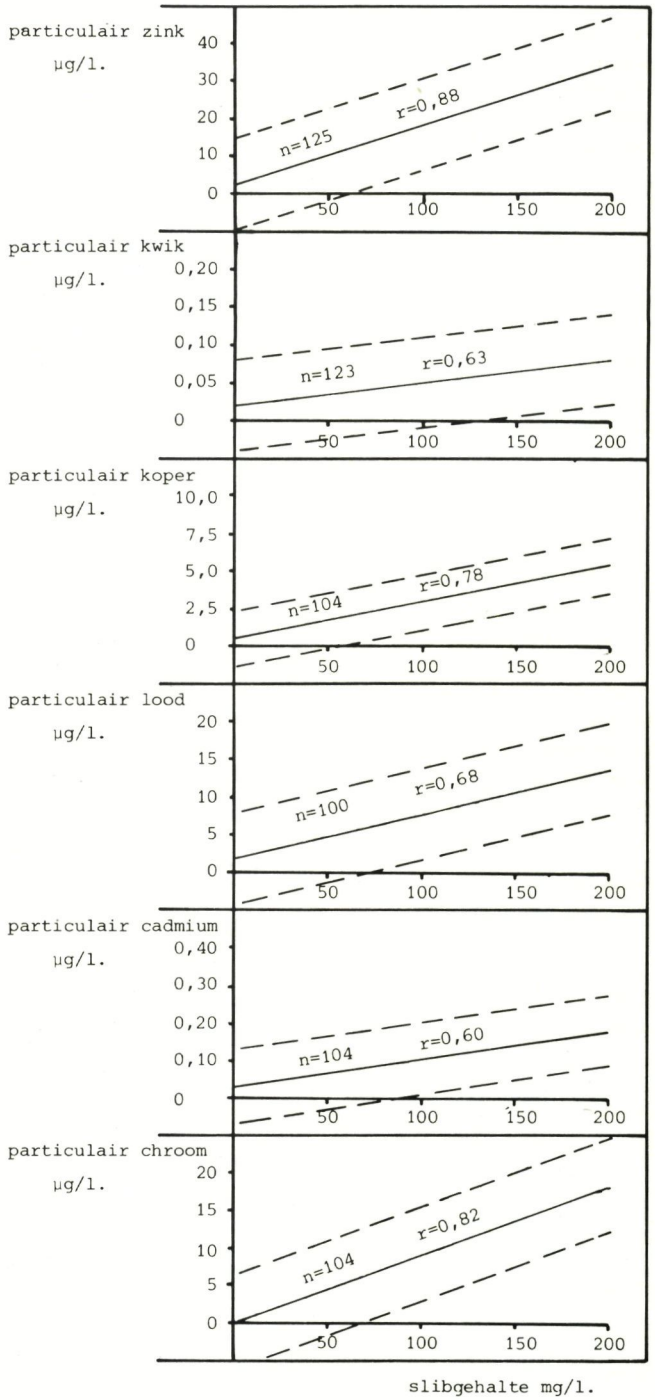
Onder uitsluiting van enkele duidelijk afwijkende waarnemingen, bleek voor kwik de gevonden correlatie alleen significant
($P < 0,05$) voor enkele locaties in de oostelijke Waddenzee, welke tijdens eb werden bemonsterd, en voor de locaties in het Marsdiep, welke tijdens vloed werden bemonsterd. Hierdoor, en door de reeds eerdergenoemde spreiding van de waarnemingen, was het niet goed mogelijk vast te stellen of er een verschil is in de kwikbelasting van het zwevend slib in de verschillende delen in de Waddenzee.

Voor zink kon op alle locaties een significante correlatie ($P < 0,05$) worden vastgesteld tussen het gehalte particulair metaal en het slibgehalte (fig. 6.15.). Bij toetsing (T-toets, $P < 0,05$) blijken de verschillen in de hellingshoek van de gevonden regressielijnen voor de afzonderlijke locaties in het algemeen wel significant, zij het dat de variantie groot en verschillend is voor de onderscheiden locaties. Hierdoor kan aan het resultaat van de toetsing minder waarde worden gehecht.

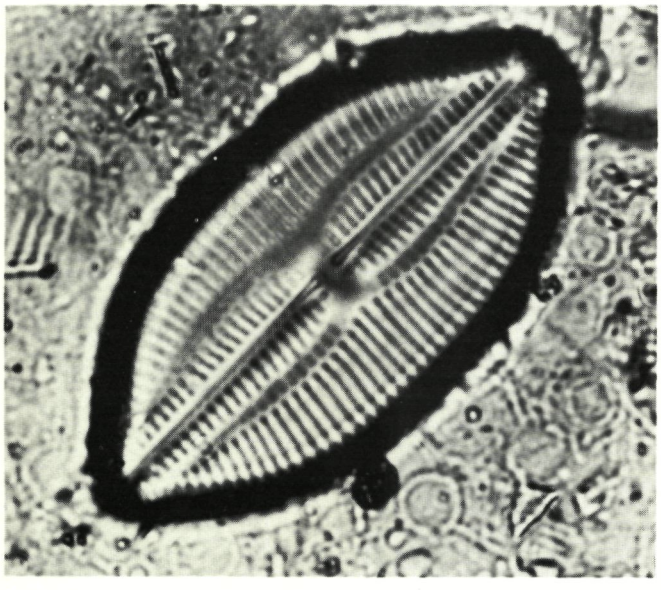
Bovenstaande benadering van de relatie tussen het gehalte particulair metaal en het zwevend slibgehalte veronderstelt dat het metaalgehalte van het zwevend slib constant is en onafhankelijk is van het zwevend slibgehalte in het water.
Met name bij lage concentraties zwevend slib blijkt dat niet het geval. Fig. 6.16 laat dit zien voor enkele zware metalen in de Waddenzee. Weergegeven is het metaalgehalte van het zwevend slib in relatie met het slibgehalte van het betreffende monster. Door Duinker e.a. (19)(32) is de veronderstelling gedaan dat, met name bij lage concentraties gesuspendeerd slib, het materiaal voor een belangrijk deel bestaat uit kleine deeltjes van een relatief geringe dichtheid, welke min of meer continu in suspensie blijven. Bij hogere concentraties zwevend slib neemt het aandeel van grotere bodemdeeltjes met een hogere dichtheid (zand) toe.

De uiteenlopende metaalbelasting van verschillende fracties van het zwevend slib brengt met zich mee dat bij vergelijking van het metaalgehalte op verschillende lokaties niet alleen rekening gehouden moet worden met het zwevend slibgehalte, maar ook met de samenstelling van het zwevend slib, alvorens een uitspraak gedaan kan worden over de relatieve verontreinigingsgraad van het zwevend slib.

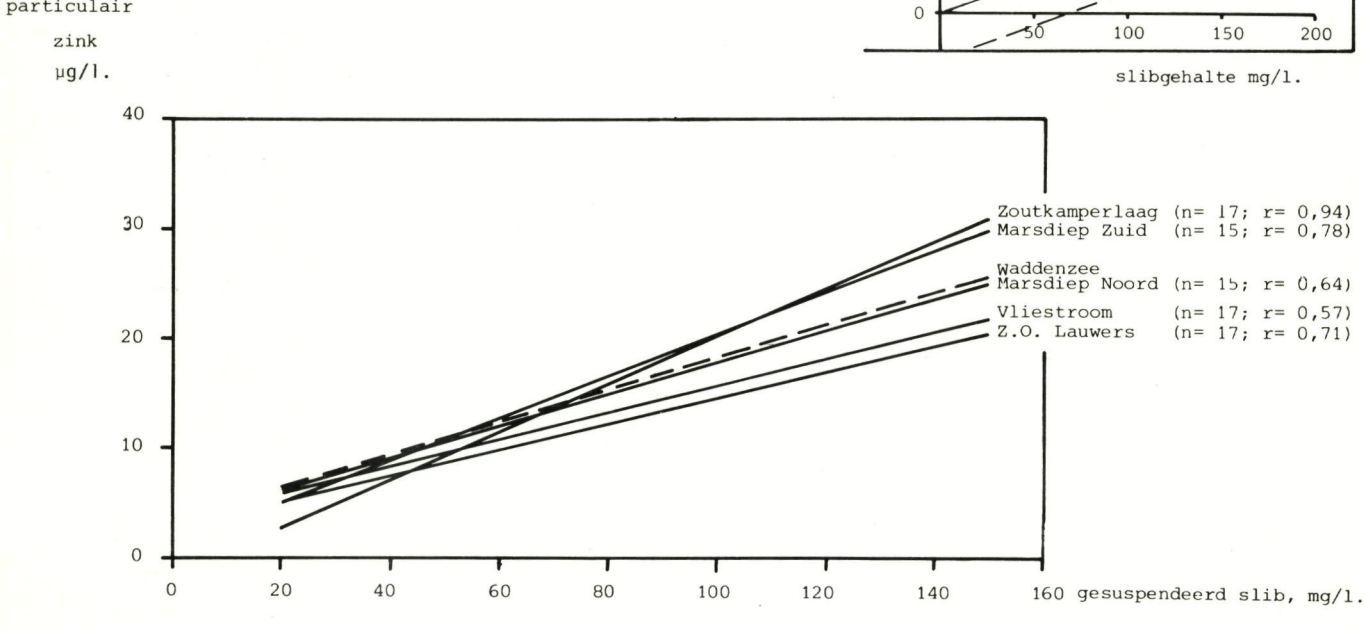
Figuur 6.14. Relatie tussen het gehalte particulair metaal en het zwevend slibgehalte (getrokken lijn) voor alle Waddenzeelocaties en het 95% betrouwbaarheidsgebied (onderbroken lijn).

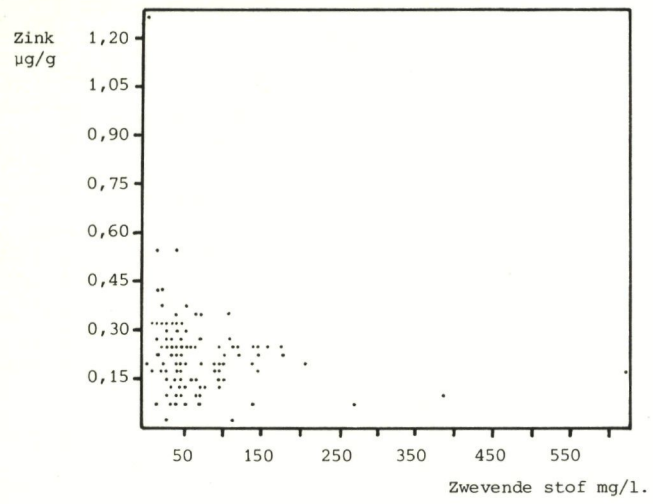


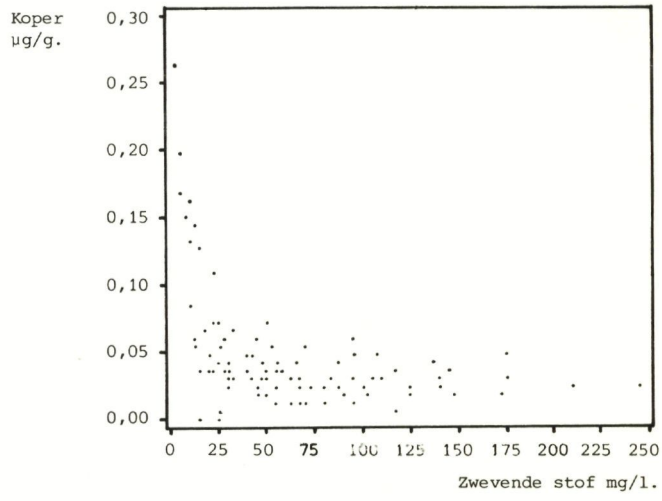
Diatomeae (kiezelalg) Foto: RIZA Groningen

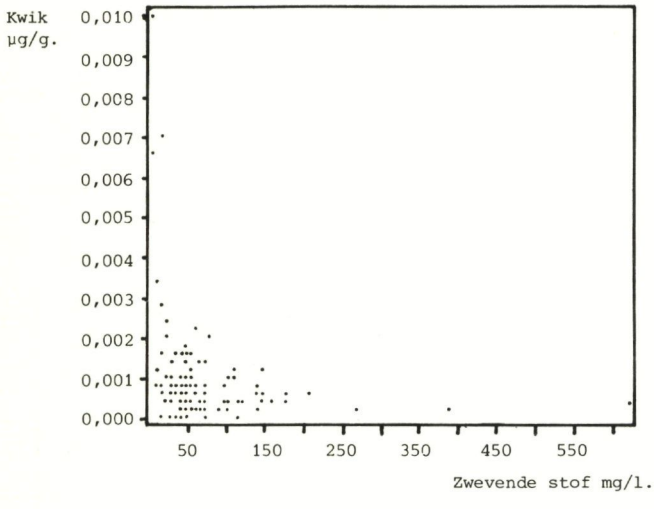


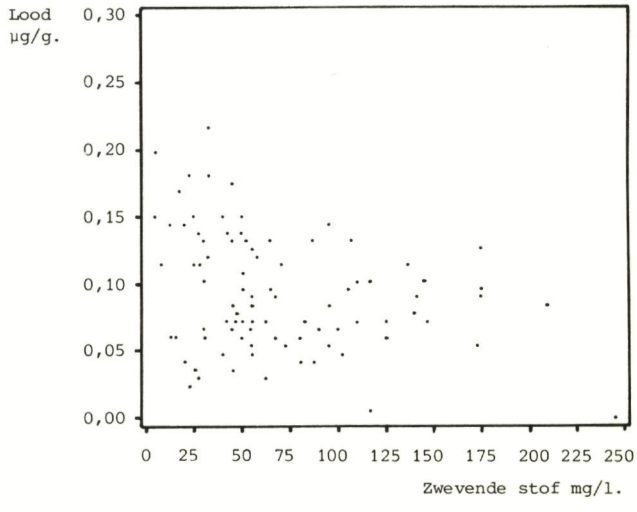
Figuur 6.15. Relatie tussen het gehalte particulair zink en het slibgehalte op verschillende locaties in de Waddenzee bij bemonstering tijdens eb; periode 1978-1980.

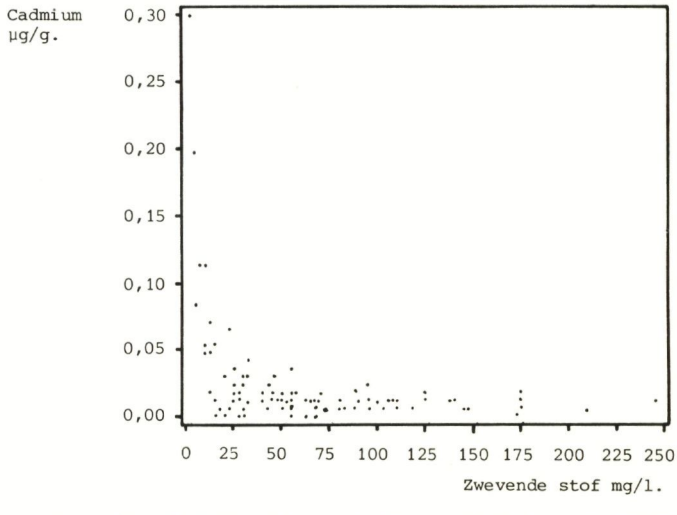












Figuur 6.16. Metaalgehalte van het zwevend slib in relatie tot het zwevend slibgehalte van monsters in de Waddenzee.

Zware metalen in sediment

In opdracht van Rijkswaterstaat (RIZA) is door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid in 1980/1981 een onderzoek uitgevoerd naar de metaalbelasting van het sediment en zwevend slib in de Waddenzee. Daarbij zijn onder meer enkele lokaties onderzocht waar ook van vroegere jaren gegevens bekend zijn bij dit instituut. De resultaten van deze onderzoekingen zijn vermeld in tabel 6.14.
In alle onderzochte jaren is er sprake van een gradiënt van west naar oost, met hogere gehalten in het westelijke deel van de Waddenzee.
Dit blijkt het meest duidelijk uit de resultaten van 1981, waarbij ook het Balgzand werd onderzocht. De gradiënt is het meest uitgesproken aanwezig voor zink, cadmium, koper en kwik. De aanwezigheid van de gradiënt hangt samen met de situering van de overwegende bronnen van metaalbelasting (grote rivieren Rijn en Maas).
Er lijkt geen verandering van betekenis te zijn opgetreden in de metaalbelasting van het sediment in de Waddenzee in de periode 1957-1981, ondanks een toename en in de laatste jaren een afna-

me van de metaalgehalten in de grote rivieren. (20, 46, 47) Salomons noemt hiervoor als redenen dat de rivieren niet de belangrijkste bron vormen voor de Waddenzee-sedimenten. Het slib van de Rijn en Maas draagt voor ongeveer 10-20% bij aan het afgezette slib in het Nederlandse Waddenzeegebied (48), dat voor het overige van elders uit de Noordzee afkomstig is (o.a. Vlaamse banken). Bovendien vindt er verdunning plaats met oud sediment, terwijl ook metaalafgifte door het sediment niet uitgesloten moet worden (49).
Overigens is opvallend het verhoogde cadmiumgehalte van de Friese landaanwinningen in 1981 en het hoge cadmiumgehalte in het Balgzand. Hiervoor is geen duidelijke oorzaak aan te geven. Mogelijk is er eveneens sprake van een hoog organisch stofgehalte van deze sedimenten. Cadmium blijkt in belangrijke mate geassocieerd met kleine organische deeltjes. (53)
Wanneer de huidige metaalbelasting van het sediment in de Waddenzee wordt vergeleken met oudere sedimenten van de Dollard (1921) en de Zuiderzee (1933) onder de veronderstelling dat de metaalbelasting van het Waddenzee sediment destijds hiervan weinig zal hebben afgeweken, dan blijkt over deze periode een duidelijke toename van de metaalbelasting met name voor kwik en cadmium, tot een veelvoud van het veronderstelde achtergrondsniveau, en in mindere mate voor koper, zink en lood (50-100% toename) en chroom (25-50% toename). Hierbij dient wel bedacht te worden dat bij de andere sedimenten waarmee is vergeleken de vermelde gehalten niet dezelfde hoeven te zijn als de actuele gehalten ten tijde van de afzetting van het sediment. Gedurende de tijd die is verstreken kan verlaging van het gehalte zijn opgetreden als gevolg van reeds eerder genoemde mobilisatieprocessen. Met name voor kwik moet dit niet worden uitgesloten.

Tabel 6.14 Metaalgehalten van het sediment van de Waddenzee (µg/g) bij extrapolatie naar 50% van de slibdeeltjes < 16 µm (44)

		Cu	Zn	Ni	Pb	Cr	Cd	Hg
Dollard	1921	10	88	26	32	74	0,3	0,10(2)
Zuiderzee	1933	19	133	39	39	88	0,4	
Groninger	1957	25	175	21	65	100	0,6	
landaan-	1970	17	180	22	68	105	0,9	
winning	1975	22	160	25	67	92	0,9	
	1981(1)	20	160	28	58	114	0,77	0,49
Friese	1958	29	235	22	80	100	0,8	
landaan-	1970	32	250	29	86	115	0,9	
winning	1981(1)	25	219	29	77	118	1,35	0,66
Balgzand	1980/81 (1)	31	260	30,5	58	128	1,91	0,80

(1) Gegevens van 1981 zijn nog niet gepubliceerde gegevens van het I.B.
(2) Afgeleid uit een sediment profiel van de Dollard (45).

Organische microverontreinigingen in zwevend slib en sediment.

Er zijn geen kwantitatieve gegevens bekend van de gehalten van organische microverontreinigingen in gesuspendeerd slib of bodemsediment van de Waddenzee.
In zijn algemeenheid kan wel opgemerkt worden dat organochloorverbindingen zich eveneens aan slib binden, afhankelijk van hun eigenschappen (oplosbaarheid, molecuulstructuur, hydrofoob karakter), zij het in mindere mate dan voor de meeste zware metalen het geval is. Het gehalte van deze verbindingen in slib is hoger dan in water (beide op gewichtsbasis). Evenals bij zware metalen lijkt er ook voor sommige organochloorverbindingen (met name PCB's) een verschil in belasting te zijn van verschillende fracties van het gesuspendeerde slib, waarbij de kleinere, minder dichte deeltjes in verhouding sterker gecontamineerd zijn. (33, 49)

6.3.2. Organismen

De laatste jaren zijn door Rijkswaterstaat verschillende onderzoekingen uitgevoerd of geëntameerd naar de belasting van organismen met zware metalen of organische microverontreinigingen. Dit onderzoek had niet alleen ten doel het gehalte van metalen in bepaalde organismen te leren kennen met het oog op de betekenis voor die organismen zelf. Het is bekend dat bepaalde microverontreinigingen zich in organismen kunnen ophopen via voedselopname. Voor sommige organismen geldt daarbij dat dit te meer het geval is naarmate deze organismen hoger in de voedselketen staan.
Periodiek onderzoek (monitoring) van bepaalde indicator-organismen geeft een indruk van een eventuele toe- of afname van de belasting met microverontreinigingen van het ecosysteem.
De bedoelde onderzoekingen beperken zich niet alleen tot de Waddenzee, maar strekken zich uit over de estuaria en de kustwateren. Hier wordt echter volstaan met vermelding en een beknopte bespreking van de voor de Waddenzee relevante resultaten.

Zware metalen in organismen

In het kader van een internationaal monitoring programma (Joint Monitoring Programme) vindt sinds 1979 op een aantal lokaties in de Nederlandse kustwateren onder meer onderzoek plaats naar de gehalte van kwik, cadmium en PCB's in enkele organismen. In 1980 zijn ook andere metalen en organochloorverbindingen onderzocht (50). De resultaten van het onderzoek van de mossel (Mytilus edulis), de garnaal (Crangon crangon) en de lever van de bot (Platichthys flesus) staan vermeld in tabel 6.15.
Opgemerkt moet worden dat vanwege de analytische spreiding in gemeten gehalten én omdat bij deze onderzoekingen ook van jaar tot jaar relatief grote verschillen niet ongewoon zijn, de onderzoeksresultaten zich slechts lenen voor het aangeven van enkele globale opmerkingen.

Het cadmiumgehalte in de mossel (Mytilus edulis) is duidelijk afnemend van de Hollandsche kust naar het Eems-estuarium. Het gemeten cadmium nivo kan als licht verontreinigd worden gekwalificeerd. Het kwikgehalte in de mossel wijkt niet af van de range van waarnemingen van gemiddelde gehalten welke eerder in ICES-verband (= International Convention of the Exploration of the Sea) werden gedaan in de periode 1975-1978 in het Noordzeegebied (0,01-0,09 mg Hg/kg nat gewicht). Het kwikgehalte vertoont geen duidelijke gradiënt.

De metaalgehalten in de garnaal (Crangon crangon) kunnen in het Waddenzeegebied als niet bijzonder hoog worden gekarakteriseerd. Het gemiddelde kwikgehalte in garnaal zoals dat bij onderzoekingen sinds 1974 in ICES-verband in de Noordzee is aangetroffen bedroeg 0,03-0,39 mg/kg nat gewicht. Het kwikgehalte van de garnalen uit de Waddenzee ligt binnen deze range.

Het gehalte zware metalen in de lever van de bot (Platichthys flesus) is in 1980 in de westelijke Waddenzee in het algemeen hoger dan elders langs de kust. Met name is dit het geval voor kwik en cadmium. Overigens werden in 1979 wel vergelijkbare cadmiumgehalten elders langs de Nederlandse kust aangetroffen in de lever van de bot.

Vergelijkbare kwikgehalten zijn in 1979 alleen in het Eemsestuarium gevonden. Gekonstateerd kan worden dat het kwikgehalte in de lever van de bot uit de westelijke Waddenzee weinig afwijkt van hetgeen door de Parijse conventie is aanbevolen als het kwikgehalte in visvlees voor menselijke consumptie dat niet overschreden zou mogen worden (0,3 mg Hg/kg).

Tabel 6.15 Het gehalte van zware metalen in organismen in de Waddenzee en aangrenzende gebieden (in mg/kg nat gewicht).
Resultaten Joint Monitoring Programme 1980 (50).

Mossel (Mytilus	edulis)	Hollandse kust		W.Waddenzee		Buitenestuarium Eems	
		april	okt.	april	okt.	april	okt.
	kwik	0,07	0,04	0,06	0,05	0,03	0,06
	cadmium	1,00	0,71	0,37	0,12	0,33	0,33
Garnaal (Crangon	crangon)	Hollandse kust		W.Waddenzee		Buitenestuarium Eems	
		april	okt.	april	okt.	april	okt.
	kwik	0,08	0,07	0,18	0,06	0,08	0,06
	cadmium	0,015	0,009	0,007	0,010	0,005	0,010

lever van de Bot (Platichthys flesus)	Hollandse kust augustus	W.Waddenzee augustus	Buitenest Eems augustus
kwik	0,08	0,08	0,06
cadmium	0,07	0,26	0,05
zink	18	30	28
lood	0,16	0,15	0,19
chroom	0,12	0,75	0,09
koper	10	23	28
vet (g/kg)	211	153	
vocht (g/kg)	611	694	695
gemiddelde grootte/ standaard div.	35/3	32/3	25/2

In de winter 1979/1980 en de zomer 1980 werden op een groot aantal plaatsen in het Nederlandse kustwater mosselen uitgehangen, afkomstig uit de westkust van Ierland. Doel was het verkrijgen van inzicht in de toepasbaarheid van bioaccumulatoren, in dit geval de mossel Mytilus edulis, bij de registratie en interpretatie van contaminatienivo's in de Nederlandse kustwateren. De uitgehangen mosselen werden na verschillende expositieperioden bemonsterd en onderzocht op een groot aantal zware metalen en organochloorverbindingen. (27)
De contaminatienivo's op een drietal lokaties langs de kust, alsmede op de Noordzee, na de (maximale) expositieduur van 60 dagen staan vermeld in tabel 6.16. Hierbij kan worden opgemerkt dat de nivo's na deze expositietijd ongeveer overeenkwamen met de gehalten van ter plekke opgegroeide mosselen.

Tabel 6.16 Het gehalte van zware metalen in mosselen (Mytilus edulis), afkomstig uit de Atlantische Oceaan, (Westlerland), na een expositie duur van 60 dagen in de Waddenzee, of in daaraan grenzende gebieden (natgewicht) (27).

	West Ierland, Killary Harbour		Hollandse kust ter hoogte van Zandvoort		Waddenzee, Balgzand		Eems-est., Eemshaven		Noordzee, Boei TO	
	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer
kwik (mg/kg)	0,010	0,010	0,079	0,013	0,042	0,021	0,010	0,026	0,020	0,005
cadmium "	0,116	0,137	0,154	0,249	0,154	0,100	0,101	0,118	0,108	0,127
zink "	14,3	9,9	20,1	21,5	20	22,3	17,3	16,8	16,6	13,9
lood "	0,143	0,077	0,414	0,390	0,148	0,401	0,116	0,291	0,235	0,517
chroom "	0,104	0,096	0,308	0,185	0,276	0,143	0,244	0,235	0,587	0,161
koper "	1,38	0,92	1,46	2,10	1,45	1,64	1,30	1,40	1,22	1,08
arseen "	1,98	2,01	2,66	1,33	2,49	1,34	1,97	1,38	2,13	2,41
aantal mosselen	94,8	97,6	98	94	96	28-61	95	69	95	90
nat gewicht/ mossel(g)	4,10	2,98	5,05	7,68	4,71	4,54-4,56	4,49	3,71	3,97	4,79
vocht %	80,19	82,86	81,13	77,44	81,37	81,82	83,22	83,57	82,30	78,88
asvrij % droogge- wicht	17,88	14,79	16,75	20,83	16,64	16,45-17,23	15,14	13,88	14,89	18,84
vet %	3,11	2,21	2,81	4,39	2,66	2,60-2,81	1,71	2,38	3,23	1,74

Evenals bij het J.M.G. onderzoek vertonen de kwikgehalten in de mosselen ook bij dit onderzoek in de wintermaanden een duidelijke gradiënt met hogere gehalten langs de Hollandse kust. In de zomer is deze gradiënt afwezig. De zomergehalten zijn in het algemeen lager dan de wintergehalten, hetgeen mogelijk samenhangt met het afscheiden van geslachtscellen in het voorjaar, waardoor een deel van het kwik het mossellichaam verlaat (51).
Een uitzondering moet worden gemaakt voor het Eems-estuarium, waar het kwikgehalte in de zomer hoger is dan in de winter. Mogelijk hangt dit samen met de slechtere groei van de mossel in het estuarium, dan wel met de nog aanwezige kwikvoorraad in de bodem als gevolg van vroegere grote kwiklozingen in dit gebied.
Voor de overige metalen geldt dat er geen sprake is van een uitgesproken gradiënt, hoewel in het algemeen de gehalten langs de kust en in de westelijke Waddenzee wel hoger lijken dan ter hoogte van het Eems-estuarium en in de Noordzee.

De Wolf (51) heeft in 1971/1972 onderzoek gedaan naar de kwikgehalten in mosselen in enkele Europese kustgebieden.
Hierbij zijn gehalten gevonden van 0,10-0,20 mg/kg (nat gewicht) aan de Hollandse kust en in de westelijke Waddenzee en 0,025-0,035 mg/kg (nat gewicht) in de open Noordzee. Op de kustlokaties betrof het echter bemonsteringen in de getijzône, waardoor de resultaten moeilijk vergelijkbaar zijn met eerdergenoemde onderzoekingen. Er is een duidelijk gradiënt van de getijzône naar het sublittorale gebied, met 2-3 maal hogere metaalgehalten in de mosselen in de getijzône (27).

Bij bemonsteringen van geëxposeerde mosselen in de Noordzee en in het sublittorale gebied in de Waddenzee in 1974/1975 zijn kwikgehalten van ca. 0,08 mg/kg (versgewicht) in de Waddenzee en ca. 0,025 mg/kg (versgewicht) in de Noordzee aangetroffen. (52)
Vergelijking van deze resultaten met de recente bevindingen wijst in de richting van een duidelijke afname van het kwikgehalte in de mossel Mytilus edulis in de westelijke Waddenzee in de periode 1974-1980. Dit wordt bevestigd door onderzoek van Essink (26) naar de ontwikkeling van de kwikgehalten in het spierweefsel van puitaal (Zoarces viviparus) in de Waddenzee. Vergelijking van in 1978 bemonsterde organismen met door TNO onderzochte puitalen uit 1974/1975 liet een duidelijke afname zien van het kwikgehalte van de puitaal. Een samenhang met de sanering van de Hg-lozingen op de Rijn ligt hier voor de hand.

Organische microverontreinigingen in organismen

In het kader van het reeds genoemde Joint Monitoring Programme (50) werd eveneens onderzoek gedaan naar het PCB-gehalte van mosselen (Mytilus edulis) en garnalen (Crangon crangon), terwijl in de lever van de bot (Platichthys flesus) naast PCB's ook een groot aantal andere chloorkoolwaterstoffen werden onderzocht. De resultaten zijn eveneens vermeld in tabel 6.17.

Het PCB-gehalte in mossel en garnaal is redelijk laag, hetgeen zal samenhangen met het eveneens lage vetgehalte van deze organismen.
Met name bij de mossel is er sprake van een duidelijke gradiënt van de Hollandse kust naar de Eems. Dat is ook het geval met het PCB-gehalte in de botlever. Met name voor de Hollandse kust is dit gehalte van betekenis in vergelijking met het normvoorstel van de Landbouw Adviescommissie (LAC) voor het PCB gehalte in vislever dat geschikt is voor menselijke consumptie (15 mg/kg op produktbasis).

Ten aanzien van de overige onderzochte organochloorverbindingen in de lever van de bot kan worden opgemerkt dat het gehalte in de Waddenzee duidelijk lager was dan aan de Hollandse kust en in veel gevallen ook lager dan in het buiten-estuarium van de Eems.

Bij de aktief biologische monitoring met behulp van de mossel Mytilus edulis (27) werden de mosselen na een expositieduur van 60 dagen eveneens onderzocht op de aanwezigheid van een aantal organochloorverbindingen (tabel 6.18). In de meeste gevallen is ook hier sprake van een duidelijke gradiënt van de Hollandse kust naar het Eems-estuarium. De waargenomen gehalten zijn in het algemeen hoger en de gradiënt duidelijker tijdens expositie in de winter. De gehalten van met name PCB's, aldrin, HCB, op-DDT en op- en pp-DDE in de mosselen van de westelijke Waddenzee zijn duidelijk verhoogd ten opzichte van de gehalten van mosselen uit de Noordzee.
In het kader van het onderzoeksprogramma van de Landbouw Adviescommissie worden eveneens sedert enkele jaren een aantal visserij-produkten in de Waddenzee onderzocht op organochloorverbindingen. Dit betreft tong, garnaal en mossel. In de periode 1975-1977 lagen de gehalten van HCB (< 0,005 mg/kg), α -HCH (idem), γ -HCH (idem), ß-HCH (< 0,01 mg/kg), Hepo (idem), DDT-tot (< 0,02 mg/kg) voor alle drie produkten beneden de detektiegrens (54).

Bij onderzoek van Duinker van een drietal organismen uit de westelijke Waddenzee (1976), te weten de kokkel (Cerastoderma edule), strandgaper (Mya arenaria) en garnaal (Crangon crangon) werden in grote lijnen overeenkomstige gehalten gevonden voor pesticiden en daarmee verwante verbindingen als bij eerder ge-

Tabel 6.17 Het gehalte van organochloorverbindingen in arganismen in de Waddenzee en aangrenzende gebieden (in mg/kg nat gewicht).
Resultaten Joint Monitoring Programme 1980 (50).

Mossel (Mytilus	edulis)	Hollandse kust		W.Waddenzee		Buitenestuarium Eems	
		april	okt.	april	okt.	april	okt.
	PCB**	0,12	0,24	0,07	0,11	0,03	0,05
	vet (g/kg)	18,9	24,6	18,3	14,6	18,4	7,0
Garnaal (Crangon	crangon)	Hollandse kust		W.Waddenzee		Buitenestuarium Eems	
		april	okt.	april	okt.	april	okt.
	PCB**	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
	vet (g/kg)	5,2	7,0	10,4	8,2	9,5	7,9

lever van de Bot (Platichthys flesus)	Hollandse kust	Waddenzee	Buitenestuarium Eems
HCB***	0,42	0,57	0,29
χ HCH***	0,15	0,086	0,067
γ HCH***	0,01	0,01	0,047
dieldrin***	0,14	0,034	0,26
DDT (tot)***	0,57	0,31	0,71
PCB**	3,93	1,70	1,05
vet (g/kg)	211	153	
vocht (g/kg)	611	694	695
gemiddelde grootte/ standaard div	35/3	32/3	25/2

*Het gehalte aan β—HCH, heptachloor, β—heptachloorepoxide, dieldrin, isodrin, telodrin, endrin lag beneden detectiegrens (0,02 mg/kg op vet basis).
**Onderzocht werd het gehalte aan 26 individuele chloorbifenylen. Vermeld is de som van de individuele komponenten, waarvan het gehalte boven de detactiegrens lag.
***Op basis vetgewicht mg/kg.

Tabel 6.18 Het gehalte van organische microverontreinigingen in mosselen (Mytilus edulis), afkomstig uit de Atlantische Oceaan, (West Ierland), na een expositieduur van 60 dagen in de Waddenzee, of in daaraan grenzende gebieden (natgewicht) (27).

	West Ierland, Killary Harbour		Hollandse kust, ter hoogte van Zandvoort		Waddenzee, Balgzand		Eems-est., Eemshaven		Noordzee, Boei TO	
	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer
op DDD (ug/kg)	0,3	0,8	0,5	(18,5)	1,5	0,5	2,0	0,7	1,5	<
pp DDD "	0,5	0,8	13,0	(<)	11,0	1,5	12,0	1,0	9,0	<
op DDE "	0,3	0,6	32,0	(12,5)	12,0	9,5	7,0	6,8	2,0	2,4
pp DDE "	0,4	1,4	18,0	(7,7)	9,0	5,8	9,0	4,4	2,0	4,4
op DDT "	0,6	2,4	<	(39,4)	<	42,0	15,0	28,0	<	4,8
pp DDT "	6,0	1,9	<	(<)	<	<	23,0	<	<	<
HCB "	0,4	0,2	5,1	7,5	5,0	1,3	1,5	1,1	2,0	0,4
aldrin "	<	1,2	18,0	<	4,8	1,5	0,5	0,3	0,5	<
dieldrin "	0,3	1,2	13,0	11,0	10,0	1,0	7,5	1,9	5,5	1,9
endrin "	0,5	<	0,5	<	1,0	1,0	2,0	1,0	0,5	1,0
PCB* "	153	13	762	495	382	341	211	189	180	125
aantal mosselen	94,8	97,6	98	94	96	28-61	95	69	95	90
nat gewicht/ mossel (g)	4,10	2,98	5,05	7,68	4,71	4,45-4,56	4,49	3,71	3,97	4,79
vocht %	80,19	82,86	81,13	77,44	81,37	±81,51	83,22	83,57	82,30	78,88
asvrij % drooggewicht	17,88	14,79	16,75	20,83	16,64	16,45-17,23	15,14	13,88	14,89	18,84
vet %	3,11	2,21	2,81	4,39	2,66	± 2,70	1,71	2,38	3,23	1,74

* na perchloreren tot decachloorbifenyl (DCB); ( ) gehalte na 25 dagen niet gedetecteerd.

noemde onderzoekingen. Het gehalte van α-HCH, γ-HCH, dieldrin, op-DDD en pp-DDD lag in de orde van 1-6 μ g/kg. Het gehalte van endrin, heptachloorepoxide, pp-DDT, pentachloorbenzeen en hexachloorbenzeen lag in de orde van 0,1-1 μg/kg (55).

Kwaliteitsuitspraken over het nivo en de betekenis van de aanwezigheid van organische microverontreinigingen in organismen kunnen thans slechts met terughoudendheid worden gedaan. Vergelijking met resultaten van andere internationale onderzoekingen wordt bemoeilijkt door de uiteenlopende wijze waarop deze onderzoekingen plaatsvinden en de daarbij gehanteerde analysemethoden. Anderzijds is over de effecten van deze contaminatienivo's nog weinig bekend. Wel duidelijk is dat vanwege de hoge accumulatiegraad van deze stoffen de effecten zich eerst en vooral doen gelden voor zogenaamde eindpredatoren. Dit zijn soorten die aan het eind van de voedselketens staan. Deze kunnen geconfronteerd worden met zeer sterk oplopende concentraties toxische stoffen in hun weefsels en organen.

De geschiedenis van de laatste decennia heeft geleerd dat nadelige effecten daarbij niet uitblijven. In de eerste helft van de zestiger jaren trad een omvangrijke sterfte op onder de broedpopulatie van de Eidereend (Somateria mollissima) in het Nederlandse Waddengebied. Dit was het gevolg van van vergiftiging door via de voedselketen opgehoopte pesticiden. Eidereenden eten vooral kokkels, mossels en strandkrabben. Vooral de vrouwelijke dieren werden het slachtoffer omdat zij tijdens het broeden hun vetreserves opsouperen, waardoor de pesticiden uit de vetweefsels naar het bloed mobiliseerden (57, 59, 60).

In 1965 werd de pesticide lozing, die in het Rijnmondgebied was gesitueerd, gestopt. Na 1968 begon de populatie zich geleidelijk te herstellen. Thans is de broedpopulatie weer groter dan in 1950 (61).

Dezelfde pesticiden (voornamelijk dieldrin, telodrin en aldrin) waren in dezelfde periode verantwoordelijk voor een decimering van de broedpopulatie van de Grote Stern (Sterna sandvicencis) in het Nederlandse Waddengebied (58,59).
Het voedsel van deze vogelsoort bestaat vrijwel geheel uit jonge vis (zandspiering, haring en sprot) (63). Na de sluiting van de telodrinfabriek in de Rijnmond in 1965 herstelde de broedpopulatie zich langzaam, maar bereikte niet meer het nivo van voor 1960 (62).

Een andere eindpredator is de zeehond (Phoca vitulina). In de Waddenzee vormen garnalen en platvissen zijn voornaamste voedsel. De Nederlandse Waddenzee populatie van de zeehond gaf in de laatste decennia een voortdurende afname in omvang te zien.
Dit werd veroorzaakt door een gering voortplantingssucces; geringer dan in de Waddenzee van Schleeswijk-Holstein waar de populatie stabiel is. Naast enkele pesticiden worden vooral polychloorbifenylen (PCB's) verantwoordelijk geacht voor de verminderde reproduktie in de Nederlandse Waddenzee. Deze verbindingen komen in de weefsels van Nederlandse zeehonden in significant hogere concentraties voor als in Duitse en Deense zeehonden (64,65).

Een vaargeul met markeringsstaken. Foto: RIZA Groningen

7 Samenvatting en conclusies

Het routinematig onderzoek van Rijkswaterstaat naar de waterkwaliteit van de Waddenzee beslaat nu een periode van ruim 10 jaar. In deze periode is de opzet van het programma meerdere keren gewijzigd. Werd aanvankelijk op een groot aantal locaties een beperkt aantal parameters onderzocht, thans ligt het accent meer op een uitgebreid onderzoekspakket, waarbij het aantal locaties is beperkt.
Doelstellingen van het routinematig waterkwaliteitsonderzoek zijn:
- het vaststellen van de actuele waterkwaliteit en het toetsen hiervan aan van toepassing zijnde normen;
- het vaststellen van de waterkwaliteit naar plaats en tijd.

De inhoud van dit rapport beperkt zich in hoofdzaak tot de verslaggeving van de resultaten van het routinematig waterkwaliteitsonderzoek.
Daarbij wordt aandacht besteed aan ruimtelijke verschillen in de waterkwaliteit en de variaties die zich hierin in de tijd kunnen voordoen, zowel over een korte tijdspanne (een getijperiode) als over de gehele onderzoeksperiode. Dit laatste met het oog op de aanwezigheid van eventuele trends. Daarnaast is de waterkwaliteit van de Waddenzee vergeleken met de kwaliteit van het oppervlaktewater op locaties elders in het Nederlandse kustgebied.
Naast de verslaggeving in beschrijvende zin wordt op een drietal aspecten nader ingegaan. Dit betreft de invloed van lozingen, de eutrofiëring van de Waddenzee en de contaminatie van slib en enkele organismen met microverontreinigingen. Hierbij is ook gebruik gemaakt van de resultaten van projectmatige onderzoekingen, die zowel door Rijkswaterstaat als door anderen in het Waddenzeegebied zijn verricht.

De waterkwaliteit van een complex gebied als de Waddenzee is de resultante van een groot aantal factoren. Enerzijds is er de belasting vanaf het land. Hieronder wordt zowel begrepen de directe belasting door afvalwaterlozingen en zoetwaterspui op de Waddenzee, als de indirecte belasting, afkomstig van de grote rivieren. Deze bereikt via de noordwaarts gerichte kuststroom vanaf de zeezijde de Waddenzee. Daarnaast doen zich in de Waddenzee processen voor, die in sterke mate de waterkwaliteit bepalen.
Belangrijk zijn in dit verband de accumulatie van slib in de Waddenzee als gevolg van het mechanisme van de eb en vloedbeweging, de vorming van organisch materiaal (algen), waarbij voedingsstoffen (fosfaat, stikstof, silicaat) worden opgenomen en zuurstof wordt geproduceerd, de bacteriële afbraak van dood organisch materiaal, waarbij de voedingsstoffen weer ter beschikking komen en de consumptie van organisch levend materiaal door hogere organismen. Ook voor het voorkomen en het lot van microverontreinigingen in de Waddenzee zijn de genoemde processen belangrijk. Een aantal van deze stoffen bindt zich bij voorkeur aan slib, en dan met name aan de organische stoffractie hiervan, en bereikt in deze vorm de Waddenzee.
De directe en indirecte belastingen zijn per kombergingsgebied verschillend. Ook de mate waarin de processen zich doen gelden is afhankelijk van de karakteristieken van een kombergingsgebied (de waterverversing, het droogvallend oppervlak bij laagwater).
Hierdoor doen zich ruimtelijke verschillen voor in de waterkwaliteit.
Dit is ook het geval binnen een kombergingsgebied.

De invloed van zoet water, in hoofdzaak afkomstig van Rijn of IJsselmeer, is in de westelijke Waddenzee duidelijk hoger dan in de oostelijke Waddenzee. In de oostelijke Waddenzee doet zich in enige mate de zoetwaterinvloed van de Eems gelden.Hiermee in overeenstemming vertonen de opgeloste fracties van de nutriënten in het algemeen de laagste waarden in het middendeel van de Waddenzee en hogere waarden in het westelijk en oostelijk deel. Ten aanzien van het in oplossing zijnde gehalte van de zware metalen bleek er geen statistisch significant verschil te zijn tussen de westelijke en de oostelijke Waddenzee.

Het oppervlak bij laag water droogvallend wad in de oostelijke Waddenzee (70 à 80%) is groter dan in de westelijke Waddenzee (20-30%). In samenhang hiermee worden in de oostelijke Waddenzee hogere gehalten zwevend slib, organische stof en algen aangetroffen. Dit verklaart ook de hogere gehalten van de niet opgeloste fracties van nutriënten en zware metalen in dit deel van de Waddenzee.

Ook binnen de kombergingsgebieden manifesteren zich duidelijke gradiënten.
Zowel ten aanzien van opgeloste stoffen (nutriënten), als ten aanzien van het gehalte van de gesuspendeerde fractie van de onderzochte stoffen, is het gehalte nabij de kust dan wel nabij de wantijen hoger dan in het zeegat. Het mechanisme van landinwaarts transport van slib enerzijds, én de intensieve mineralisatie van de organische stof in de relatief ondiepe oever en wantijgebieden anderzijds, vormen de belangrijkste oorzaken voor deze gradiënten. Daarnaast is locaal de invloed van enkele lozingen merkbaar. Dat is het geval bij de persleiding Hoogkerk (ammonium en bacteriële verontreiniging), bij Den Helder (bacteriële verontreiniging) en bij Harlingen (bacteriële verontreiniging en nutriënten). In het laatste geval worden het meest duidelijk verhoogde gehalten gemeten omdat de lozing plaatsvindt nabij een wantij, waardoor de waterverversing naar verhouding gering is.

In de westelijke Waddenzee neemt de zoetwaterspui van het IJsselmeer een belangrijke plaats in, zoals blijkt uit de lagere, locaal zeer wisselende zoutgehalten. De invloed van het IJsselmeerwater op andere parameters dan het zoutgehalte is echter niet even duidelijk. Een belangrijke reden is dat de verschillen in waterkwaliteit tussen de bronnen van de westelijke Waddenzee, het IJsselmeer en het kustwater dat de Waddenzee binnentrekt, niet erg groot zijn. Een uitzondering moet worden gemaakt voor het nitraatgehalte en het chlorophylgehalte (een maat voor de hoeveelheid algen), en in mindere mate voor de organische en anorganische microverontreinigingen, waarbij het IJsselmeerwater hogere gehalten heeft.

Doordat voor een aantal stoffen een consistente meetreeks over een voldoende lange periode ontbreekt, is het slechts voor een beperkt aantal parameters mogelijk om aan te geven of er sprake is geweest van een bepaalde ontwikkeling.
Met name in het begin van de zeventiger jaren is er sprake van een toename van het zwevend slibgehalte, welke gepaard ging met een toename van de anorganische fractie van het slib. Het is denkbaar dat dit samenhangt met een toename van baggeractiviteiten, zij

het niet zozeer in de Waddenzee zelf, als wel daarbuiten.
Ook een invloed van andere activiteiten, zoals wijzigingen in het visserijbedrijf in de Waddenzee, kan niet geheel worden uitgesloten.

Het biochemisch zuurstofverbruik is in de periode 1971-1981 duidelijk afgenomen. Dit is zowel in de zomer als in de winter het geval. Een verklaring hiervoor is er niet. Gezien de geringe belasting van de Waddenzee met afvalwater is het niet waarschijnlijk dat dit een gevolg is van sanering van lozingen.

Het ortho-fosfaatgehalte is in de periode 1971-1981 duidelijk toegenomen. Daarbij lijkt de stijging de laatste vijf jaar nog meer versterkt te zijn opgetreden. De toename van het ortho-fosfaatgehalte in de Waddenzee in de periode 1971-1981 kan geheel worden toegeschreven aan een toename van het opgelost fosfaatgehalte in het IJsselmeer en in het kustwater dat de Waddenzee binnentrekt. Vergelijking van het thans gemeten chlorophylnivo, als maat voor de algenbiomassa, met gegevens van de vijftiger jaren, laat zien dat hierin geen wijziging is opgetreden.
Fosfaat blijkt thans geen overwegend beperkende factor voor de algengroei. Ook vroeger was dat niet het geval in de Waddenzee, met uitzondering van mogelijk enkele korte perioden (tijdens de voorjaarsplanktonbloei). Stikstof lijkt slechts incidenteel, op verschillende momenten in het jaar, een mogelijk groeibeperkende factor. Andere factoren als licht, het silicaatgehalte en wellicht de begrazing van algen zijn in verschillende mate bepalend voor het nivo van de algenbiomassa in de Waddenzee.

Doordat waterkwaliteitsdoelstellingen voor zoute en brakke wateren, met uitzondering van de kwaliteitsdoelstellingen voor een beperkt aantal parameters opgenomen in de schelpdierwaterrichtlijn, nagenoeg ontbreken, is in deze nota afgezien van een toetsing en waardering van de waterkwaliteit van de Waddenzee. In het binnenkort op te stellen waterkwaliteitsplan Waddenzee zal aan deze problematiek aandacht worden besteed.

Wanneer de waterkwaliteit van de Waddenzee wordt vergeleken met andere zoute en brakke wateren in het Nederlandse kustgebied, blijken de verschillen beperkt te zijn. Wel is er sprake van een gradiënt voor enkele opgeloste stoffen (nutriënten, zware metalen) met afnemende gehalten gaande van de Zuid-Hollandse kust naar de Waddenzee. Mogelijk als gevolg van een intensieve mineralisatie zijn de gehalten opgelost nutriënt in de oostelijke Waddenzee weer enigszins verhoogd.

In de gehele Waddenzee zijn de opgeloste nutriëntgehaltes hoger dan in de Noordzee op enkele kilometers uit de kust van Terschelling en ook hoger dan in de Oosterschelde. De opgeloste metaalgehalten op deze laatstgenoemde locaties liggen op een vergelijkbaar nivo als in de Waddenzee, met uitzondering van het kwikgehalte. Het kwikgehalte is in de Waddenzee duidelijk verhoogd, en zelfs hoger dan voor de Hollandse kust.
Het zomergemiddeld chlorophylnivo ontloopt elkaar weinig op de locaties in de Oosterschelde, langs de Hollandse kust en in de Waddenzee en Eems-Dollard. In de oostelijke Waddenzee is het verhoogd, maar hier is wellicht sprake van een bijdrage van geresuspendeerd microfytobenthos van de platen in het gemeten chlorophylgehalte.

Het onderzoek van microverontreinigingen is de laatste jaren niet alleen beperkt geweest tot het oppervlaktewater. Ook het sediment en enkele in de Waddenzee aanwezige hogere organismen werden onderzocht op de mate van contaminatie met microverontreinigingen. Voor het sediment is dit onderzoek vooralsnog beperkt gebleven tot de zware metalen. Inmiddels is een aanvang gemaakt met het onderzoek van organische microverontreinigingen in sediment.

Het metaalgehalte in het sediment van de Waddenzee vertoont een duidelijke gradiënt van de westelijke Waddenzee naar de oostelijke Waddenzee.
De gehalten zijn voor zink, cadmium, koper en kwik in de westelijke Waddenzee hoger. Het is nog onduidelijk in hoeverre dit ook voor de metaalbelasting van de zwevende stof het geval is.
In overeenstemming met bevindingen van andere onderzoekers werd geconstateerd dat de metaalbelasting van de zwevende stof hoger is naarmate de zwevende stofgehaltes in het oppervlaktewater lager zijn, vanwege een groter aandeel van de fijnere fracties in het zwevend stofgehalte.

Er lijkt geen verandering van betekenis te zijn opgetreden in de metaalbelasting van het sediment van de Waddenzee in de periode 1957-1981, met uitzondering van het cadmiumgehalte in de westelijke Waddenzee. Dit gehalte is duidelijk toegenomen.
De metaalbelasting van het sediment kan worden vergeleken met oudere sedimenten van de Dollard (1921) en de Zuiderzee (1933), onder de veronderstelling dat de metaalbelasting van het Waddenzeesediment destijds hiervan weinig zal hebben afgeweken. Het kwik- en cadmiumgehalte blijken duidelijk te zijn toegenomen tot een veelvoud van het veronderstelde achtergrondsnivo. In mindere mate is sprake van een toename voor koper, zink en lood (50-100% toename) en chroom (25-50% toename).

Uit het onderzoek van zware metalen en organochloorverbindingen in vis en visserijproducten in de Waddenzee kan worden geconstateerd dat er in het algemeen sprake is van een afname van de gehalten van de Zuid-Hollandse kust naar de Waddenzee.

Het gemeten cadmiumnivo in de mossel Mytilus edulis kan als licht verontreinigd worden gekarakteriseerd. Het kwikgehalte wijkt niet af van wat elders in het Noordzeegebied werd aangetroffen. Het kwikgehalte in de lever van de bot Platichthys flesus is in de westelijke Waddenzee hoger dan voor de Hollandse kust.
Het kwikgehalte in de mossel Mytilus edulis lijkt in de periode 1974-1980 te zijn afgenomen. Dit is in overeenstemming met de in dezelfde periode geconstateerde afname van de kwikbelasting van de puitaal Zoarces vivipares in de Waddenzee.
De gehalten van gechloreerde koolwaterstoffen, met name PCB, aldrin, HCB, op-DDT, op-DDE en pp-DDE, zijn in de mossel Mytilus edulis in de Waddenzee duidelijk verhoogd ten opzichte van gehalten in mosselen uit de Noordzee.

Kwaliteitsuitspraken over het nivo en de betekenis van de aanwezigheid van organische microverontreinigingen in organismen kunnen thans slechts met terughoudendheid worden gedaan. Toereikende analysemethoden zijn veelal nog in ontwikkeling, terwijl ook over de effecten van de contaminatienivo's nog weinig bekend is. Wel duidelijk is dat vanwege de hoge accumulatiegraad van deze stoffen de effecten zich eerst en vooral doen gelden voor hogere organismen die aan het eind van een voedselketen staan.
Duidelijke voorbeelden hiervan zijn de omvangrijke sterfte onder broedpopulaties van onder meer de eidereend (Somateria mollissima) en grote stern (Sterna sandvicencis) begin zestiger jaren in de Waddenzee, als gevolg van vergiftiging door via de voedselketen opgehoopte pesticiden. Hoewel de pesticide lozing waardoor deze vogelsterfte werd veroorzaakt, reeds lang is opgeheven, is in sommige gevallen herstel van de broedpopulatie tot op heden uitgebleven.

Bij recent onderzoek van zeehonden in het Nederlandse Waddenzeegebied is geconstateerd dat met name de aanwezigheid van polychloorbifenylen (PCB) als de belangrijkste bedreiging moet worden beschouwd voor de zeehondenpopulatie in de Waddenzee, vanwege een vermoedelijke lage reproductiesnelheid van de Nederlandse zeehondenpopulatie door de aanwezigheid van deze verbindingen.
Hiermee wordt onderstreept dat onderzoek naar de aanwezigheid, de betekenis alsmede de herkomst van deze en andere organochloorverbindingen in organismen in de Waddenzee ook de komende jaren nog veel aandacht behoeft.

Landaanwinningwerken

Foto: RIZA Groningen

8 Aanbevelingen

8.1. Het onderzoek van de waterkwaliteit (algemeen)

De doelstellingen van het routinematig waterkwaliteitsonderzoek zijn:
- het vaststellen van de actuele waterkwaliteit en het toetsen hiervan aan van toepassing zijnde normen;
- het vaststellen van de veranderingen van de waterkwaliteit naar plaats en tijd.

In het licht van beide doelstellingen heeft het routinematig onderzoek van de waterkwaliteit van de Waddenzee zijn beperkingen. De directe menselijke beïnvloedingen (lozingen) zijn niet groot, terwijl daarnaast de natuurlijke processen een overheersende rol spelen. Deze processen veroorzaken naar plaats én naar tijd (seizoen) een sterke variatie in de waterkwaliteit.

Uit het onderzoek blijkt dat het hierbij gaat om gradiënten op kleine schaal en variaties over een korte periode (getij), naast seizoenvariaties. Zo worden bij metingen in de geulen en zeegaten ten aanzien van het zuurstofgehalte geen problemen ervaren, terwijl uit andere onderzoekingen gebleken is dat het zuurstofgehalte op de platen tot zeer lage waarden kan dalen (15).

Het huidige routinematig onderzoek van de waterkwaliteit van de Waddenzee beperkt zich tot onderzoek in een aantal zeegaten, waarbij in een beperkt aantal kombergingsgebieden de gradiënt in de hoofdgeulen wordt onderzocht. Het onderzoek is bovendien bij benadering een momentopname, waarbij gekozen is voor bemonstering bij afgaand water. In aanvulling hierop vinden thans op projectbasis systematische metingen plaats in de zeegaten over een gehele getijperiode, teneinde inzicht te verkrijgen in de representativiteit van de steekbemonstering.
Hoewel hiermee een redelijke indruk lijkt te worden verkregen van de kwaliteit van de bulk van het water dat de Waddenzee in- en uitstroomt, wordt beseft dat hiermee geen stellige uitspraken kunnen worden gedaan ten aanzien van de heersende waterkwaliteit in grote delen van de Waddenzee. In het kader van het routinematig onderzoek is dit ook niet te realiseren zonder een onevenredig grote inspanning.

Een aanvullend programma van systematische metingen gericht op het verkrijgen van inzicht in de microgradiënten die voor een belangrijk deel van de Waddenzee van grote betekenis zijn, is wel gewenst. Deze betekenis kan met name worden ontleend aan de toename van de toevoer van fosfaat naar de Waddenzee, in relatie tot de organische stof. Op de globale waterkwaliteit (zuurstof, fytoplankton), zoals gemeten in de zeegaten, blijkt dit verschijnsel weinig tot geen invloed gehad te hebben. Voor de details van het ecosysteem is de invloed echter nog onbekend.
Het gaat hierbij zowel om verschillen in waterkwaliteit in geografisch gezicht, in een bepaald moment in de getijfase, als om de vaststelling van de waterkwaliteit op een bepaalde plaats binnen één getijperiode. Overigens kan bij dit onderzoek dankbaar gebruik gemaakt en ook aangesloten worden bij onderzoekingen die door andere in de Waddenzee opererende instituten reeds zijn of worden verricht.

Het nivo van de gehalten waarin stoffen in het algemeen in zout water, en ook in de Waddenzee, voorkomen ligt beduidend lager dan voor zoet water. Dit leverde bij de analyse een aantal problemen op.
De laatste jaren is voor sommige parameters een verlaging van het detektienivo doorgevoerd. Voor een aantal parameters blijft verdere verbetering van het detektienivo gewenst. Dat is het geval voor nitraat, ortho-fosfaat, opgelost chroom, opgelost lood, totaal cadmium en voor vrijwel alle organische microverontreinigingen.
Daarnaast dient de bemonsterings/analysemethode voor de bepaling van het zwevend slibgehalte in zoverre verbeterd te worden dat ook bij een laag gehalte zwevend slib een betrouwbare waarde wordt verkregen, zowel voor het zwevend slibgehalte zelf, als voor de organische fraktie daarvan.

Tenslotte is het gewenst dat ook in de Waddenzee op een beperkt aantal lokaties op projectbasis de globale determinatie van in het water aanwezige algen ter hand wordt genomen, waarbij ook een onderscheid wordt gemaakt tussen het fytoplankton en het door opwerveling van de platen in het water geraakte fytobenthos.

8.2. Het onderzoek van microverontreinigingen in water, slib en organismen

Het onderzoek van organische en anorganische microverontreinigingen is de laatste jaren niet beperkt gebleven tot het water. Ook het sediment en de in de Waddenzee levende organismen zijn onderzocht. De achterliggende gedachte is dat niet alleen het water, maar ook de wadbodem van betekenis is als milieu voor de organismen die voor hun voedselvoorziening op de Waddenzee zijn aangewezen. Het sediment fungeert voor veel microverontreinigingen als verblijf- dan wel eindstation, dat op zichzelf weer als contaminatiebron kan gaan optreden. Daarbij komt dat bepaalde microverontreinigingen in sediment en in organismen accumuleren. Dit leidt enerzijds tot de konklusie dat onderzoek in het water alléén onvoldoende informatie oplevert met betrekking tot het contaminatie-nivo's en anderzijds maakt dit juist dat deze kompartimenten (slib en organismen) beter geschikt lijken voor onderzoek van verschillen in contaminatie-nivo's en ontwikkelingen in de tijd. Dit is vooral het geval voor de stoffen die in de waterfase in erg lage concentraties voorkomen.

Het onderzoek in water van organische microverontreinigingen is zeer gekompliceerd vanwege de lage nivo's waarin deze stoffen in het water voorkomen. Met steun van andere instituten (o.a. NIOZ) worden thans enkele metingen verricht, waarbij naast de Waddenzee ook de andere Nederlandse kustwateren worden onderzocht. Ten aanzien van het gehalte zware metalen in het sediment van de Waddenzee is reeds informatie voorhanden van vroegere data bij het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid . Dit is recentelijk (1980/1981) aangevuld. Met het onderzoek van de verontreiniging van sediment met organische verbindingen is in 1982 een aanvang gemaakt. Het is gewenst dat deze onderzoekingen periodiek worden herhaald.

Ook over het contaminatie-nivo van microverontreinigingen in or-

ganismen is reeds enig materiaal voorhanden. Dit onderzoek heeft zich de afgelopen jaren beperkt tot enkele vissoorten of visserijprodukten. Met name de mossel Mytilis edulis heeft hierbij veel aandacht gekregen. Onderzoek van hogere organismen heeft vooral buiten Rijkswaterstaat plaatsgevonden. Te noemen valt in dit verband het onderzoek van organische microverontreinigingen in zeehonden (recent) en in vogels en vogeleieren in begin zeventiger jaren. Met name ten aanzien van de vogels, waaraan ook in ecologisch opzicht een grote betekenis moet worden toegekend in relatie tot de Waddenzee, is weinig aktuele informatie bekend. Als terminale predatoren van een belangrijke voedselketen in de Waddenzee is informatie over vogels zeer zeker gewenst. Een aanvang is hiermee gemaakt door een onderzoek naar het metaalgehalte in vogelveren, dat met geldelijke steun van de LASOM wordt verricht door het Instituut voor Milieuvraagstukken van de Vrije Universiteit. Voorstellen voor verder onderzoek naar de aanwezigheid van organische microverontreinigingen in wadvogels zijn inmiddels gedaan. Daarbij richt de aandacht zich op enkele vertegenwoordigers van de steltlopers, die vanwege hun plaatsgebondenheid in het Waddenzeegebied gedurende de ruiperiode zich wellicht ook kunnen lenen als indicator voor het volgen van ontwikkelingen van het contaminatienivo van het ecosysteem.

Behalve kennis van het verontreinigingsnivo is ook van belang om inzicht te verkrijgen in de wegen en processen (pathways) die bepalend zijn voor dit nivo, alsmede in de betekenis van het verontreinigingsnivo, en de vorm waarin deze verontreinigingen voorkomen (speciation), voor de in de Waddenzee voorkomende organismen. Met name ten aanzien van het laatste aspect lijkt de kennis nog zeer beperkt. Dit verdient de komende jaren zeker aandacht te krijgen. Ten aanzien van het transport en de processen waaraan de microverontreinigingen onderworpen zijn, zijn thans wel op meerdere plaatsen onderzoekingen gaande of zullen worden aangevat die hierop meer licht zullen kunnen werpen. Genoemd kunnen worden in dit verband de verschillende onderzoekingen die, geinitieerd door de problematiek van de slibstortingen op Loswal Noord, thans worden uitgevoerd in het kader van de projectgroep Slibeigenschappen van de Raad van Overleg over Fysisch Oceanografisch Onderzoek van de Noordzee. Daarnaast is er het onderzoek van het IB/WL in opdracht van Rijkswaterstaat naar het voorkomen van zware metalen in de Waddenzee. Ook het NIOZ verricht veel onderzoek op dit gebied, waarvan vooral genoemd kan worden het in opdracht van het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne uitgevoerde onderzoek naar de accumulatie van contaminanten in de Waddenzee.

8.3. Het onderzoek van de eutrofiëring

Het vraagstuk van de eutrofiëring is in dit rapport uitgebreid aan de orde gekomen. Gekonstateerd is een toename van met name opgelost fostaat in de laatste decade, hetgeen een voortzetting lijkt van een trend in de daaraan voorafgaande 20 jaar. Anderzijds lijkt deze toename van beschikbaar nutriënt niet geleid te hebben tot een gemiddelde hogere algenbiomassa in de Waddenzee zelf.

Duidelijk blijkt wel de nauwe relatie tussen de eutrofiëring van de Waddenzee en de Noordzee, zowel ten aanzien van de uitwisseling van nutriënten in opgeloste vorm als ten aanzien van de betekenis van de netto aanvoer van in de Noordzee gevormd organisch materiaal naar de Waddenzee. Ten aanzien hiervan is in dit rapport gesteld, dat een nadere bezinning op de uitgangspunten van de berekeningen, welke andere onderzoekers eerder hebben doen konkluderen dat de aanvoer van organisch materiaal naar de Waddenzee in de periode 1950-1970 aanzienlijk (faktor 2 à 3) is toegenomen, zeker gewenst lijkt.

Een grotere aanvoer van organisch materiaal uit de Noordzee naar de Waddenzee betekent, bij gelijkblijvende opname in de voedselketen, dat er een groter beslag wordt gelegd op de zuurstofconsumptie door mineraliserende micro-organismen.
Dit is zeker van belang voor de funkties van de Waddenzee.
De systematische bestudering van de structuur en het functioneren van het ecoysteem van de Waddenzee, in nauwe samenhang met de Noordzee, waarbij het eutrofiëringsaspect centraal staat, kan hier mogelijk meer licht op werpen. Dat geldt ook ten aanzien van de vraag of de toename van de nutriëntgehalten in de Waddenzee en in het kustgebied wellicht hebben geleid of zullen kunnen leiden tot een toename van incidentele overmatige opbloei van algen, dan wel een verschuiving in de richting van meer ongewenste algensoorten kan bewerkstelligen.
Tenslotte verdient meer aandacht, ook in verband met de primaire produktie, de vraag in hoeverre het afgelopen decennium het slibgehalte in de Waddenzee werkelijk is toegenomen en wat daarvan de oorzaak kan zijn.
Daarbij dienen de aanwijzingen die er zijn dat ook in de Noordzee het slibgehalte is toegenomen zeker mee in beschouwing te worden genomen.

Literatuurlijst

1. Rijkswaterstaat, RIZA, Lelystad 1977. Waterkwaliteit in het Eems-Dollard Estuarium 1972 t/m 1975. Twee delen.

2. Staatsuitgeverij Den Haag. Diverse jaren. Planologische Kernbeslissing Waddenzee. Deel 1 t/m 4.

3. Cadée, G.C. 1980. Reappraisal of the production and import of organic carbon in the Western Wadden Sea. Neth. Journal of Sea Res. 14 (3/4) 305-322.

4. Verwey, J. 1966. De rijke Waddenzee. Natuur en Landschap 19: 129-152.

5. Provincies Friesland, Groningen en Noord-Holland. Projektbureau Waddenzee. Leeuwarden. Diverse jaren. De interprovinciale struktuurschets voor het Waddenzeegebied. Diverse delen.

6. Zimmerman, J.T.F. 1978. De Waddenzee-getijden en getijstromen. Natuur en Techniek, 46, 4, 234-249.

7. Zimmerman, J.T.F. 1978. De Waddenzee-zoutgehalte en menging. Natuur en Techniek, 46, 6, 380-395.

8. Duinker. J.C., G.T.M. van Eck en R.F. Nolting 1974. On the behaviour of copper, zinc, iron and manganese and evidence for mobilization processes in the Dutch Wadden Sea. Neth. Journal of Sea Res. 8 (2-3): 214-239.

9. Rijkswaterstaat, Direktie Waterhuishouding en Waterbeweging. Adviesdienst Hoorn en Meet- en Adviesdienst Delfzijl. Diverse jaren. Diverse rapporten.

10. Postma, H. 1954. Hydrography of the Dutch Wadden Sea. Archs.néerl. Zool. 10: 405-511.

11. Postma, H. 1961. Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea - Neth. J. Sea Res. (1-2): 148-190.

12. Reineck, H.E., J. Dörjes, S. Gadow en G. Hertweck, 1978. Sedimentologie, Faunenzoniering und Faziesabfolge vor der Ostküste der inneren Deutschen Bucht. Senckenberg. Leth. 49: 261-309.

13. Winkelmolen, A.M. en H.J. Veenstra, 1980. The effect of a storm surge on near shore sediments in the Ameland-Schiermonnikoog area (N.Netherlands). Geologie Mijnb. 59: 97-111.

14. Postma, H. 1980. Sediment transport and sedimentation. In: E. Olausson en I. Cato. Chemistry and biochemistry of estuaries. Wiley and sons: 153-186.

15. Bennekom, A.J. en S.B. Tijssen. Lage zuurstofgehalten in het water op het Balgzand. HO_2 (9) 1976 nr. 2 blz. 28-31.

16. Jonge, V.N. de en H. Postma, 1974. Phosphorus compounds in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res. 8 (2-3): 139-153.

17. Helder, W. The cycle of dissolved inorganic nitrogen compounds in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res. 8 (2-3): 154-173.

18. Zimmerman, J.T.F. en J.W. Rommets, 1974. Natural fluorescense as a tracer in het Dutch Wadden Sea and the adjacent North Sea. Neth. J. Sea Res. 8 (2-3): 117-125.

19. Duinker, J.C., M.T.J. Hillebrand. R.F. Nolting, S. Wellershaus, N. Kingo Jacobsen, 1980. The River Varde Å : Processes affecting the behaviour of metals and organo-chlorines during estuarine mixing. Neth. J. Sea Res. 14 (3-4): 237-267.

20. Salomons, W., W.O. Eijsink 1979. Pathways of mud and particulate trace metals from rivers tot the Southern North Sea. International meeting on holocene marine sedimentation in the North-Sea basin. Texel 1979.

21. Duinker, J.C. 1974. De chemische verontreiniging van de Waddenzee. Tijdschrift Nederlandse Heidemij 85: 11: 384-397.

22. Rijksinstituut voor de Volksgezondheid, Bilthoven 1973. Onderzoek naar het voorkomen van bestrijdingsmiddelen en spoorelementen in de Waddenzee. Rapport nr. 16/73 BWL.

23. Rijkswaterstaat, Leeuwarden, 1981. Stuurgroep Onderzoek Zandwinning in de Waddenzee. Eindrapport.

24. Gilde, L.J., A. Griffioen, 1975. Onderzoek naar de invloed van het te Den Helder uitgeslagen en gespuide boezemwater op de waterkwaliteit in de westelijke Waddenzee. Rijkswaterstaat, RIZA.

25. Rijkswaterstaat, Direktie Noordzee, 1979. Nota „Verontreiniging van de Waddenzee door olie".

26. Essink, K, 1980. Mercury pollution in the Ems Estuary. Helgoländer Meeresunters. 33: 111-121.

27. Kock, W. Chr. de, J.M. Marquenie, 1981. De experimentele toepassing van de mossel, Mytilus edulis L., bij het meten van zware metalen en organische microverontreinigingen in de Nederlandse kustwateren. TNO rapport MD-N & E 81/2.

28. Essink, K. 1978. The effects of pollution by organic waste on macrofauna in the Eastern Dutch Wadden Sea. Neth. Inst. for Sea Res. Publ. Ser. 1978 no. 1.

29. Eppley, R.W., T.N. Rogers & J.J. Mc. Carthy, 1969. Half saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton. Limnol. Oceanogr. 14: 912-920.

30. Strickland, J.D.H., O. Holm-Hansen, R.W. Eppley & R.J. Limm, 1969. The use of a deep tank in plankton ecology. I: studies of the growth and composition of phytoplankton.

31. Cadée, G.C., J. Hegeman, 1974. Primary production of phytoplankton in the Dutch Wadden Sea. Neth. Journal of Sea Res. 8 (2): 240-259.

32. Duinker, J.C., R.F. Nolting, H.A. van der Sloot, 1979. The determination of suspended metals in coastal waters by different sampling and processing techniques (filtration, centrifugation) Neth. J. of Sea Res. 13 (2): 282-297.

33. Duinker, J.C., M.T.J. Hillebrand, 1979. Behaviour of PCB, pentachlorobenzene, hexahclorobenzene, α -HCH, γ -HCH, ß-HCH, dieldrin, endrin and p, p' DDD in the Rhine Meuse estuary and the adjacent coastel area. Neth. Journal of Sea Res. 13 (2): 256-281.

34. Rijkswaterstaat, Direkties Friesland, Groningen en Noord-Holland, 1981. De waterkwaliteit van de Waddenzee, 1977-1978.

35. Hendriksma, J, 1981. Waterkwaliteitsaspecten van de Westerschelde. Rijkswaterstaat, RIZA. Nota nr. 81.049.

36. Provinciale Waterstaat van Friesland, 1979. Waterkwaliteit Friesland 1974-1978.

37. Provinciale Waterstaat van Noord-Holland, 1979. Waterkwaliteit in Noord-Holland; een overzicht; 1977 en 1978.

38. Tromp, D. 1971. Rapport over het bacteriologisch onderzoek van het zeewater nabij Scheveningen; een overzicht van de tot augustus 1970 verzamelde gegevens. Rijkswaterstaat, RIZA.

39. Zimmerman, J.T.F., 1974. Circulation and water exchange near a tidal watershed in the Dutch Wadden Sea. Neth. Journal of Sea Res. 8 (2-3): 126-138.

40. Provinciale Waterstaat van Groningen, 1981. De waterkwaliteit in Groningen. Tijdvak oktober 1979 t/m september 1980. Nota PWS Gron. afd. waterkwaliteit no. 15033.

41. Bennekom, J. van, E. Krijgsman-van Hartingsveld, G.C.M. van der Veer & H.F.J. van Voorst, 1974. The seasonal cycle of reactive silicate and suspended diatoms in the Dutch Wadden Sea. Neth. Journal of Sea Res. 8 (2-3): 174-207.

42. Postma, H. 1966. The cycle of nitrogen in the Wadden Sea and adjacent areas. Neth. Journal of Sea Res. 4: 470-493.

43. De Wit. J.A.W. 1980. Aspecten van de waterkwaliteit in het IJsselmeergebied. H_2O; 13; nr. 12; 251-256.

44. Salomons, W., A.J. de Groot 1978. Pollution history of trace metals in sediments as affected by the Rhine river. In : Environmental biogeochemistry and geomicrobiology (Ed. W.E. Krumbein) p. 149-164.

45. Waterloopkundig Laboratorium/Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, 1982. Voorkomen van kwik in slib uit het Eems-Dollard estuarium in 1980; M 1838.

46. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater. De waterkwaliteit van de Rijn in Nederland 1972-1979. RIZA nota nr. 80-032.

47. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater. De waterkwaliteit van de Maas in Nederland in de periode 1953-1980, RIZA nota nr. 81-048.

48. Salomons, W., H.A. Sissingh, 1976. Het fosforgehalte van slibafzettingen in Nederland, Duitsland en België. H_2O: 21 (9): 429-431.

49. Osterroht, C., V. Smetacek, 1980. Vertical transport of chlorinated hydrocarbons by sedimentation of particulate matter in the Kiel Bight. Marine Ecology 2: 27-34.

50. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater 1982. De Nederlandse bijdrage aan het Joint Monitoring Programme 1980. RIZA nota nr. 82.058.

51. Wolf, P. de, 1975. Mercury content of mussels from West European coasts. Marine Pollution Bulletin 6: 61-63.

52. Kock, W.Chr. de, J. Kuiper, 1981. Possibilities for Marine pollution research at the ecosystem level. Chemosphere 10: 575-603.

53. Møhlenberg, F., A. Jensen, 1980. The ecotoxicology of cadmium in Fresh and Sea Water and water pollution with cadmium in Denmark. National Agency of Environmental Protection, Denmark.

54. Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Leidschendam. Metingen van xenobiotische stoffen in het biologisch milieu van Nederland.

Serie verslagen en rapporten a. 1975
b. 1976
c. 1977.

55. Eder, G., W. Ernst, H. Goerke, J.C. Duinker, M.T.J. Hillebrand, 1981. Organochlorine residues analysed in invertebrates of the Dutch Wadden Sea by two methods. Neth. Journal of Sea Res. 15 (1): 78-87.

56. Glopper. R.J. de, 1967. Over de bodemgesteldheid van het Waddengebied. Van zee tot land 43, 67 pp, Tjeenk Willink, Zwolle.

57. Koeman J.H., 1971. Het voorkomen en de toxicologische betekenis van enkele chloorkoolwaterstoffen aan de Nederlandse kust in de periode van 1965 tot 1970. Dissertatie, Utrecht, 136 pp.

58. Koeman. J.H., A.A.G. Oskamp, J. Veen, E. Brouwer, J. Rooth, P. Zwart, E. v/d Broek & H. van Genderen, 1967. Insecticides as a factor in the mortality of the Sandwich tern (Sterna sandvicensis). Mededelingen Rijksfaculteit Landbouwwet. Gent 32: p. 841-854.

59. Koeman, J.H. & H. van Genderen, 1972. Tissue levels in animals and effects caused by chlorinated hydrocarbon insecticides, chlorinated biphenyl and mercury in the marine environment along the Netherlands coast. In: Marine pollution and sea life. Fishing News, Surrey: p. 428-434.

60. Swennen, C., 1972. Chlorinated hydrocarbons attacked the Eider population in the Netherlands. TNO-nieuws 27: p. 556-560.

61. Swennen, C., 1980. Eider (Somateria mollissima L.). In: C.J. Smit & W.J. Wolff (eds.). Birds of the Wadden Sea. Balkema, Rotterdam, pp. 78-84.

62. Rooth, J., 1980. Sandwich Tern (Sterna sandvicensis Latham). In: C.J. Smit & W.J. Wolff (eds.). Birds of the Wadden Sea. Balkema, Rotterdam, pp. 250-258.

63. Veen, J., 1977. The Sandwich Tern. Functional and causal aspects of nest distribution. Behaviour, Suppl. 20: 193 pp.

64. Reijnders, P.J.H., 1980. On the causes of the decrease in the Harbour Seal (Phoca vitulina) population in the Dutch Wadden Sea. Dissertatie, Wageningen.

65. Reijnders. P.J.H., 1981. Threats to the Harbour Seal population in the Wadden Sea. In: P.J.H. Reijnders & W.J. Wolff (eds.). Marine mammals of the Wadden Sea. Balkema, Rotterdam, pp. 38-47.

ministerie van verkeer en waterstaat

rijkswaterstaat

rijksinstituut voor zuivering van afvalwater

uw kenmerk:

uw brief van:

onderwerp:

lelystad, 21 november 1983

ons kenmerk: deW/ 12923

verzonden: 21. NOV. 1983

bijlagen: 1

Hierbij heb ik het genoegen u te doen toekomen de nota:
"Waterkwaliteit van de Waddenzee 1971-1981".
Voor nadere vragen of extra exemplaren kunt u zich richten tot Ir. J.A.W. de Wit of Ing. F.M. Schotel.

De Hoofdingenieur-Directeur,

Ir. J.H. Jansen

verzoeke bij uw antwoord kenmerk en datum dezes te vermelden en slechts één zaak in een brief te behandelen.

lelystad,
maerlant 4-6
corr.adres: postbus 17, 8200 AA lelystad
tel.: (03200) 4 08 74, telex: 40600
facsimile 49218

bereikbaar met de buslijnen:
154 van Amsterdam (Amstelstation)
157 van Amsterdam (Raistation) of:
107 van Harderwijk (station)