RIVO-INSTITUUT VOOR
VISSERIJONDERZOEK

RIVO Rapport 95.016

De groei en aanvoer van gekweekte mosselen *(Mytilus edulis)* na 1952 en de ontwikkeling van het kokkelbestand *(Cerastoderme edule)* in relatie tot het voedselaanbod, eutrofiëring en andere milieufactoren in de Waddenzee

M.R. van Stralen

oktober 1995

DLO-Rijksinstituut voor Visserijonderzoek
Korringaweg 5
Postbus 77
4400 AB Yerseke
Telefoon: 0113 572781
Telefax: 0113 573477
Internet: postkamer@rivo.agro.nl

De Direktie van het RIVO-DLO is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van het RIVO-DLO; opdrachtgever vrijwaart het RIVO-DLO van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Omslagfoto: Flying Focus - Castricum

2288493

Inhoudsopgave:

Samenvatting 5

1 Inleiding 7
1.1 Algemeen 7
1.2 Doel van het onderzoek 8
1.3 De mosselkweek in de Waddenzee 8
1.4 Keuze van variabelen 9

2 Materiaal en methoden 10
2.1 Gebruikte gegevens en opwerking daarvan 10
2.2 Statistische technieken 14

3 Resultaten 14
3.1 Trends in de tijd 14
3.1.1 Mosselgroei 14
3.1.2 De aanvoer van mosselen 15
3.1.3 Het kokkelbestand 15
3.1.4 Zeepokken 15
3.1.5 Produktie en biomassa van het fytoplankton 15
3.1.6 Zwevende stof en voedselkwaliteit 16
3.1.7 Nutriëntenvrachten vanuit het IJsselmeer en de Rijn 16
3.1.8 P- en N-concentraties in de Waddenzee 17
3.2 Ontwikkeling van mosselen en kokkels in relatie tot eutrofiëring 17
3.2.1 Mosselgroei vs. het voedselaanbod en zwevende stof 17
3.2.2 Mosselgroei vs. nutriëntenvrachten en -concentraties 18
3.2.3 De aanvoer van mosselen vs. eutrofiëring en wintertemperaturen 18
3.2.4 Het kokkelbestand vs. eutrofiëring en wintertemperaturen 19
3.2.5 Fytoplankton en eutrofiëring 20

4. Discussie 21
4.1 Mosselgroei 21
4.2 Ontwikkeling van het mossel- en kokkelbestand. 23
4.3 Produktie en biomassa van het fytoplankton 24

5. Conclusies 24
6. Literatuur 25
7. Lijst van figuren en tabellen 28
8. Figuren en tabellen 29
9. Bijlage 53

Samenvatting

Door het RIVO is in samenwerking met het RIKZ onderzocht in hoeverre veranderingen in de antropogene belasting van de Nederlandse kustwateren met nutriënten in de Waddenzee van invloed kan zijn geweest op de groei en produktie van mosselen *(Mytilus edulis)* en op de ontwikkeling van het kokkelbestand *(Cerastoderma edule)*.

Omdat het vleesghalte van mosselen in het najaar sterk samenhangt met de somatische groei in de voorgaande zomer (Smaal en van Stralen, 1990), kon voor het vaststellen van de groei van mosselen worden uitgegaan van de vleesgehalten van mosselen die vanaf 1952 zijn aangevoerd van kweekpercelen in de Waddenzee. Daarbij werd dankbaar gebruik gemaakt van de aanvoerstatistieken van het Produktschap Vis.
De aanvoer van consumptiemosselen, het vleesgehalte van deze mosselen en de ontwikkeling van het kokkelbestand na 1971 zijn met statistische technieken in verband gebracht met de stikstof- en fosfaatvrachten vanuit de Rijn en het IJsselmeer, de nutriëntenconcentraties in de Waddenzee, de biomassa en produktie van fytoplankton, als ook met andere factoren die van invloed kunnen zijn op de groei en bestandsgroottes van schelpdieren, zoals de concentraties zwevende stof in de Waddenzee, de wintertemperaturen in relatie tot de broedval, en het mogelijk optreden van concurrentie om het beschikbare voedsel in schelpdierrijke jaren.

Uitgaande van het vleesgehalte van mosselen in het najaar lijken de groeiomstandigheden voor schelpdieren in de westelijke Waddenzee sinds de vijftiger jaren geleidelijk aan te zijn verbeterd. De toename van het vleesgehalte van aangevoerde mosselen zet zich daarbij door tot in de negentiger jaren. Van een afnemende groei als gevolg van de sinds de halverwege jaren tachtig gedaalde toevoer van fosfaten en stikstof lijkt tot op heden geen sprake.

Jaarlijkse verschillen in mosselgroei blijken sterk gecorreleerd met veranderingen in de concentraties zwevende stof van het water in de Waddenzee. Deze zijn sinds de tachtiger jaren ongeveer gehalveerd, met als resultaat dat de kwaliteit van het zwevende materiaal als voedsel voor schelpdieren en daarmee de groei van mosselen konden toenemen.
Relaties tussen het vleesgehalte van mosselen enerzijds en respectievelijk de chlorofylconcentraties, de primaire produktie en bestandsgroottes van mosselen en kokkels in de Waddenzee anderzijds konden niet worden aangetoond.

Fluctuaties in de de aanvoer van mosselen en de de bestandsgroottes van kokkels lijken vooral samen te hangen met het optreden van zachte en strenge winters, waarbij koude winters in het algemeen worden gevolgd door een goede broedval en relatief grote schelpdierbestanden in de jaren daarna. Effecten van eutrofiëring op de produktie van mosselen en de omvang van het kokkelbestand bleken niet aantoonbaar.

In hoeverre verdere reducties van de vrachten stikstof en fosfaat de produktiviteit van de Waddenzee en daarmee de groei en de produktie van schelpdieren kunnen beïnvloeden is onduidelijk. Gezien het feit dat in de zomers en mogelijk ook in het voorjaar stikstof potentieel limiterend is voor de planktonproduktie, lijken in dit verband met name effecten van de nog te verwezenlijken reduktie in de stikstofvrachten van belang.

1 Inleiding

1.1 Algemeen

De tweede helft van deze eeuw is de antropogene aanvoer van nutriënten naar de Noordzee gestaag toegenomen (De Jonge, 1990). De stikstof- en fosfaatvrachten vanuit de Rijn bereikten begin tachtiger jaren hun maximale waarden, respectievelijk 4 en 7 maal boven het niveau van de jaren dertig (Klein & Van Buuren, 1992). Langs de Nederlandse kust liggen in een 10 km brede zone de nutriëntenconcentraties in de winter nu een factor 2 tot 4 hoger dan in de jaren zestig (De Vries et al., 1993).
Met het grotere aanbod van nutriënten is ook de produktie van het fytoplankton toegenomen. In het Marsdiep (Westelijke Waddenzee) is de primaire produktie gestegen van 150 $gC/m^2/j$ in de zeventiger jaren naar waarden tussen 250 en 400 $gC/m^2/j$ in de tachtiger en negentiger jaren (Cadée & Hegeman, 1993). Ook veranderingen in de soortensamenstelling van het fytoplankton (toegenomen dominantie van de alg *Phaeocystis*) en het frequenter optreden van verschijnselen die samenhangen met het afsterven van planktonbloeien (schuimvorming op het strand, verlaagde zuurstofconcentraties in het water, eventueel gevolgd door sterfte onder bodemdieren) worden gezien als een direct effect van eutrofiëring in de kustwateren.
Van een verhoogde produktie aan algen kunnen de hogere trofieniveaus profiteren via het voedselaanbod. In de Waddenzee is de biomassa van zoöplankton (*Temora* spec.) sterk toegenomen als aanpassing aan de toegenomen dominantie van *Phaeocystis* (Fransz et al., 1992). Ook de verdubbeling van de biomassa van het macrozoöbenthos in de Westelijke Waddenzee (Balgzand) in de periode 1970 - 1988 wordt toegeschreven aan een verhoogd voedselaanbod door eutrofiëring (Beukema. 1989,1991, Beukema et al., 1986, De Jonge en Essink, 1991, 1992).
In hoeverre ook in de Noordzee consumenten van fytoplankton hebben geprofiteerd van de eutrofiëring is minder duidelijk. Langjarige gegevens over bodemdieren geschikt voor trendanalyses zijn niet beschikbaar (de Vries, 1993) en de ontwikkeling van het zoöplankton in de Noordzee blijkt bijvoorbeeld in sterke mate geassocieerd met lange-termijnveranderingen in zoöplanktonpopulaties in de Atlantische oceaan (Fransz et al. 1992, Mann, 1993).
Op basis van de vangsten en bestanden van commerciële vissoorten in de Noordzee, welke vergeleken met andere biota relatief goed zijn gedocumenteerd ten behoeve van het visstandsbeheer, concluderen Boddeke en Hagel (1991) dat de produktie van vis, en dus ook de produktie in de lagere trofieniveaus, nauw samenhangt met input van antropogene nutriënten. Hierover bestaat echter nog geen consensus (Jansen, 1993, Peeters et al. 1993, Cadée & Hegeman, 1993).

Het huidige beleid van de overheid is gericht op de halvering van de antropogene input van nutriënten halverwege de tachtiger jaren. Door emissieremmende maatregelen (introduktie van fosfaatvrije wasmiddelen, verbeterde waterzuivering) zijn sinds 1985 fofsforvrachten vanuit de de Rijn gedaald met ca 40% (Wulfraat et al., 1993). De toevoer aan stikstof, waarvan de herkomst vooral in de landbouw ligt, bevindt zich, afgezien van variaties door het optreden van natte en droge jaren, daarentegen nog op het niveau van de tachtiger jaren (Klein en Van Buuren, 1992).

1.2 Doel van het onderzoek

Door het RIVO is in samenwerking met het RIKZ onderzocht in hoeverre veranderingen in de belasting van de Nederlandse kustwateren met nutriënten van invloed kunnen zijn geweest op de groei en produktie van mosselen *(Mytilus edulis)* en op de ontwikkeling van het kokkelbestand *(Cerastoderma edule)* in de Waddenzee.
Voor het vaststellen van de mosselgroei in de Waddenzee is uitgegaan van de vleesgehalten van mosselen die zijn aangevoerd van kweekpercelen. Daarbij kon gebruik worden gemaakt van de aanvoerstatistieken van het Produktschap Vis.
Uit onderzoek in de Oosterschelde was al gebleken dat het vleesgehalte van mosselen in het najaar een directe afspiegeling is van de somatische groei van deze mosselen in de voorgaande zomer (Smaal & Van Stralen 1990). In de Oosterschelde blijkt het vleesgehalte van mosselen daarbij sterk te zijn gecorreleerd met de produktie van fytoplankton en de omvang van het schelpdierbestand in dit estuarium (Smaal & Van Stralen 1990, Van Stralen & Dijkema, 1994).

Deze studie heeft tot doel (1) veranderingen in mosselgroei in de Waddenzee na 1952 te beschrijven en (2) eventuele verbanden tussen enerzijds eutrofiëring en anderzijds de groei en produktie van mosselen en de omvang van het kokkelbestand te kwantificeren. Daarbij zijn ook onderlinge relaties tussen de planktondynamiek, nutriëntenconcentraties -vrachten en zwevende-stofconcentraties onderzocht, zij het niet uitputtend. De analyse van de ontwikkeling van het fytoplankton in relatie tot eutrofiëring valt buiten het kader van deze studie. Dat in dit rapport toch aandacht gegeven wordt aan deze relaties is omdat elders in de literatuur de gebruikte waterkwaliteitsgegevens uit het MWTL-programma (Anon. 1992) vrijwel alleen als jaargemiddelden worden geanalyseerd en gepresenteerd, terwijl blijkt dat voor mosselen (en waarschijnlijk voor veel andere biota) de omstandigheden in specifieke delen het jaar bepalend zijn voor hun ontwikkeling.

1.3 De mosselkweek in de Waddenzee

De kweek van mosselen in de Nederlandse kustwateren dateert uit het eind van de negentiende eeuw en vindt van oudsher plaats in het Deltagebied. In het begin van de vijftiger jaren werden de kweekactiviteiten uitgebreid naar de westelijke Waddenzee. Aanleiding daarvoor was de uitbraak van de parasiet *Mytilicola intestinalis* in de Deltawateren, waardoor de produktieomstandigheden daar tijdelijk sterk verslechterden. Momenteel komt van de totale aanvoer van consumptiemosselen (ca 100 miljoen kg versgewicht per jaar) ongeveer tweederde uit de Waddenzee en éénderde uit de Oosterschelde.
De wijze van kweken kan worden gekarakteriseerd als een semicultuur, waarbij het (één jaar oude) mosselzaad, dat wordt opgevist op natuurlijke banken en vervolgens uitgezet op percelen in de Waddenzee en Oosterschelde, in twee tot drie jaar (zomers) opgroeit tot consumptiemaat. Naast het bezaaien en oogsten van de percelen omvatten de kweekactiviteiten ondermeer de bestrijding van zeesterren, het weren van vogels en het tussentijds verplaatsen van mosselen naar andere percelen in verband met lokale verschillen in het voedselaanbod en de kans op stormschade in de winter. De percelen worden verhuurd door de Nederlandse Staat.
De 460 percelen in de Waddenzee beslaan een oppervlak van ca 6000 ha. Circa 3700 ha daarvan is ook daadwerkelijk in gebruik voor de kweek van mosselen (Anon., 1993a). Het

resterende gebied omvat gedeelten van percelen met hoge stroomsnelheden, een sterke golfinvloed of gedeelten die voor mosselkweek tijdens laagwater te lang droogliggen. Alle aangevoerde mosselen worden verkocht via de veiling van het Mosselkantoor van het Produktschap Vis (PV) in Yerseke. Ter informatie van de kopers worden per lading ondermeer de omvang, de grootte en het vleesgehalte van de mosselen en de mate van aangroei met zeepokken (Balanidae) bepaald. In dit onderzoek kon van deze gegevens gebruik worden gemaakt onder de voorwaarde dat gegevens van individuele bedrijven niet openbaar worden gemaakt.
In de aanvoer van mosselen heeft in 1967 een trendbreuk plaatsgevonden als gevolg van een wijziging in het veilsysteem. Tot 1967 werd de aanvoer afhankelijk gesteld van de vraag naar mosselen, waarbij orders van mosselhandelaren volgens een verdeelsleutel (z.g. standaardcapaciteitscijfers) werden verdeeld onder de kwekers. In 1967 is men hiervan afgestapt en sindsdien is iedere kweker vrij om mosselen aan te voeren, welke worden verkocht bij inschrijving. Tot 1967 hield dat in dat in jaren met een (te) groot aanbod aan mosselen het overschot aan mosselen op de percelen achterbleef. Soms kon daarvan een volgend jaar nog een deel worden aangevoerd, maar meestal ging het merendeel van deze mosselen verloren. In de huidige situatie worden deze mosselen wel aangevoerd, waarbij overschotten tegen een vastgestelde minimumprijs worden verkocht aan het z.g. "Mosselfonds" en tijdelijk worden opgeslagen in de Oosterschelde. Aan het eind van het leveringsseizoen, dat loopt vanaf juli tot april het volgend jaar, worden deze mosselen terugverkocht aan de kwekers die ze terugzaaien op percelen in de Oosterschelde. Het kan daarbij gaan om aanzienlijke hoeveelheden, zoals in 1972 en 1982, toen van de totale aanvoer van 160 miljoen kg mosselen in beide jaren respectievelijk 50 en 40 miljoen kg door het mosselfonds werden opgekocht.

1.4 Keuze van variabelen

Mosselgroei
Als index voor de groei van mosselen in een bepaald jaar is conform Smaal en Van Stralen (1990) uitgegaan van het gemiddeld vleesgehalte van mosselen die zijn aangevoerd in de maanden augustus t/m november. De grootte van de geleverde mosselen (stukstal) als maat voor de groei van mosselen is niet onderzocht. De reden daarvoor is dat informatie over de leeftijd van de mosselen, welke naast de groeisnelheid in belangrijke mate bepalend is voor hun grootte, niet opgenomen wordt in de aanvoerstatistieken.

Het bestand en aan mosselen, kokkels en pokken
In hoeverre eutrofiëring via veranderingen in de planktonproduktie doorwerkt in de groei van mosselen wordt mede bepaald door de mate van concurrentie tussen schelpdieren om het geproduceerde voedsel. In dit verband lijken het kokkel- en mosselbestand van belang, zijnde de dominante filtrerende schelpdieren in de Waddenzee (Beukema,1976, Dekker, 1989).
Omdat de ontwikkeling van het mossel- en kokkelbestand op zich beïnvloed kan zijn door eutrofiëring, zijn de mosselaanvoer en de omvang van het kokkelbestand ook als responsvariabele gerelateerd aan de eutrofiëring van de Waddenzee. Ook de aangroei op mosselen van zeepokken (Balanidae), eveneens een suspensie-eter die vooral van fytoplankton leeft, is in dit verband onderzocht.

Broedval en wintertemperaturen
Omdat de ervaring heeft geleerd dat na strenge winters vaak gevolgd worden door een goede broedval en grote schelpdierbestanden, zijn veranderingen in de mosselaanvoer en kokkelbiomassa ook aan de wintertemperaturen gerelateerd.

Fytoplanktonbiomassa en -produktie
Voor het fytoplankton is uitgegaan van chlorofylgegevens uit het MWTL-waterkwaliteitsprogramma van Rijkswaterstaat (vanaf 1976, Anon., 1993b). Daarnaast is gebruik gemaakt van de fytoplanktongegevens die door Cadée en Hegeman (1993) zijn verzameld nabij Texel in het Marsdiep. Het betreft hier jaargemiddelde chlorofylconcentraties sinds 1972. Primaire-produktiemetingen zijn, met onderbrekeningen, beschikbaar vanaf 1964.

Zwevende stof
De concentraties zwevende stof en daarmee samenhangend het lichtklimaat onder water zijn in relatief troebele en nutriëntenrijke gebieden als de Waddenzee en de kustzone van de Noordzee vaak beperkend voor de primaire produktie (Cadée & Hegeman, 1974, 1993, Peeters et al., 1993). Relatief hoge zwevende-stofconcentraties zijn daarbij, uitgezonderd in perioden met sterke planktonbloeien, meestal een gevolg van de aanwezigheid van opgewerveld slib (De Jonge, 1992). Naast een mogelijke remming van de produktie van voedsel voor suspensie-eters, leidt een verhoging van de slibconcentraties tot verdunning van het beschikbare plankton met niet verteerbaar materiaal. Gebleken is dat de groei van mosselen daardoor potentieel wordt geremd (Widdows et al., 1979, Prins & Smaal, 1989).

Nutriëntenvrachten en -concentraties
Bij vaststelling van de beschikbaarheid van nutriënten is uitgegaan van de vrachten en concentraties opgelost fosfor (ortho-fosfaat) en stikstof (NO_2, NO_3, NH_4^+). In deze vorm zijn fosfor en stikstof direct beschikbaar voor de algen. De niet oplosbare fracties van P en N zijn maar gedeeltelijk bruikbaar voor planktonproduktie en vormen een beperkt deel (respectievelijk 20% en 30%) van de totale P- en N-vrachten vanuit de rivieren (naar De Vries et al., 1993, tab 2.1).

2 Materiaal en methoden

2.1 Gebruikte gegevens en opwerking daarvan

Aanvoerstatistieken
Uit de 600 mosselpercelen die in de Westelijke Waddenzee in gebruik zijn, of zijn geweest, zijn 100 percelen geselecteerd waarvan sinds 1952 met enige regelmaat mosselen zijn aangevoerd. Per perceel is per geleverde partij mosselen de volgende informatie uit de aanvoerstatistieken gelicht:

1. aanvoerdatum.
2. omvang van de lading in mosseltonnen (mt) netto versgewicht (1 mt = 100 kg).
3. vleesgehalte van de mosselen (ook aangeduid als het "visgewicht" of "vleesgewicht"), waarbij het vlees (van de schelp gescheiden na koken) is uitgedrukt als percentage van het versgewicht.

4. grootte van de geleverde mosselen, uitgedrukt in aantal mosselen in 2.5 kg versgewicht (z.g. "stukstal").
5. aanwezigheid van pokken; tot 1979 uitgedrukt als het percentage van de mosselen waarop pokken aanwezig waren; vanaf 1979 in grammen pokken (versgewicht) per 2.5 kg verse mosselen. Gegevens over pokken zijn beschikbaar tot 1986.

Over de periode 1952-1992 zijn per seizoen de gegevens van 230 tot 1000 leveringen ingewonnen. Gemiddeld 60% hiervan werd in de periode augustus-november aangevoerd. Naast bovenstaande gegevens is van alle percelen de totale aanvoer per seizoen overgenomen uit de statistieken.
De ligging van de kweekgebieden en de in verdere berekeningen gehanteerde indeling van de Westelijke Waddenzee in deelgebieden is aangegeven in figuur 1.

Het vleesgehalte van mosselen
Per jaar is het gemiddeld vleesgehalte van mosselen berekend over de maanden augustus t/m november. In het algemeen zijn in deze periode uit alle belangrijke kweekgebieden mosselen aangevoerd. In juli en vanaf november is dat niet altijd het geval. Vaak beperkt de aanvoer zich dan tot slechts enkele gebieden (met op dat moment waarschijnlijk de beste mosselen), of werden in het geheel geen mosselen geleverd.

Het mossel- en kokkelbestand
Gegevens over de ontwikkeling van schelpdierbestanden in de Waddenzee zijn maar beperkt voorhanden. Langjarig onderzoek naar de ontwikkeling van bodemdieren in de westelijke Waddenzee vindt plaats sinds 1977 op het Balgzand. (Beukema, 1989, 1991). Jaarlijkse inventarisaties van het kokkelbestand in de gehele Waddenzee vinden plaats sinds 1990 (Van Stralen, 1990). Daarvoor heeft alleen in 1980 een Waddenzee-dekkende inventarisatie van het kokkelbestand plaatsgevonden (De Vlas, 1982). Voor de tussenliggende jaren zijn vanaf 1972 schattingen van het kokkelbestand beschikbaar op basis van ondermeer vangstgegevens en extrapolaties van genoemde inventarisaties op het Balgzand (naar Anon., 1987, zie ook Dankers, 1993). Benadrukt wordt dat het voor deze jaren gaat om globale schattingen die feitelijk niet meer zijn dan "best professional judgements".
Het mosselbestand op wilde banken in de Waddenzee wordt sinds 1992 jaarlijks geïnventariseerd (Van Stralen, 1992). In 1992 en 1993 bleken daarbij alleen in het sublittoraal van de westelijke Waddenzee mosselbanken van betekenis aanwezig. Gegevens over het mosselbestand op wilde banken vóór 1992 beperken zich tot vangstgegevens van de zaadvisserij (enquetes vanaf 1984, Dankers et al., 1989). Van de periode voor 1984 is nauwelijks informatie beschikbaar.
In dit rapport is daarom uitgegaan van de mosselbiomassa, zoals die is terugberekend uit de aanvoer. Daarbij is uitgegaan van de volgende aannamen:

1. De groei van mosselzaad tot consumptiemosselen op kweekpercelen duurt twee jaar.
2. Het mosselzaad dat op de percelen wordt uitgezaaid is één jaar oud.
3. Het kweekrendement tijdens de de kweek van zaad tot halfwas tot consumptiemosselen is 1:1:1. Dit betekent dat voor de produktie van 1 kg consumptiemosselen 1 kg zaad nodig is.
4. De hoeveelheid halfwasmosselen die tijdens de zaadvisserij op natuurlijke banken wordt opgevist correspondeert eveneens met eenzelfde biomassa aan mosselzaad op de wilde banken in het voorgaande jaar.

Bij bovenstaande aannamen dient het volgende te worden opgemerkt: Een deel van de aangevoerde mosselen is ouder dan drie jaar, maar komt het ook voor dat mosselen reeds op tweejarige leeftijd de consumptiemaat hebben bereikt. Verder variëert het kweekrendement van jaar tot jaar sterk ten gevolge van ondermeer het optreden van zware stormen en de mate waarin instabiele percelen zijn bezaaid. Dit laatste is vooral in mosselrijke jaren het geval. Ook is geen rekening gehouden met de aanvoer van mosselzaad uit de Oostelijke Waddenzee (gemiddeld 20% van de totale zaadvangsten), met de importen van halfwasmosselen uit Duitsland (sinds 1990) en met de afvoer van mosselzaad en halfwasmosselen naar percelen in de Oosterschelde. De berekende bestandsgroottes voor mosselen in de Waddenzee zijn derhalve niet meer dan een ruwe indicatie, en dan nog alleen voor dat deel van het bestand dat uiteindelijk via de kweekpercelen is aangevoerd bij de veiling in Yerseke.

Conversies biomassa
In dit rapport worden aanvoeren en bestandsgroottes uitgedrukt in hoeveelheden (gekookt) kokkel- en mosselvlees. Voor mosselen is daarbij uitgegaan van een vleespercentage van 20% (wintersituatie). Voor kokkels is dit percentage 15%. Opgemerkt moet worden dat deze percentages zeker in de zomer en het najaar in het algemeen hoger liggen.
Voor omrekening van de biomassa van gekookt vlees naar asvrijdroogewichten (ADW, exclusief schelp) geldt dat 1 gram kokkel- c.q. mosselvlees overeen komt met 0.24 g ADW (RIVO-gegevens, ongepubl.).

Broedval en wintertemperaturen
Veranderingen in de mosselaanvoer en kokkelbiomassa zijn gerelateerd aan de gemiddelde watertemperaturen in januari t/m maart in het Marsdiep nabij Den Helder (bron: RIZA, fig. 7.d). Omdat aangevoerde mosselen in het algemeen drie of vier jaar oud zijn, is de aanvoer van mosselen in een bepaald jaar (j) gerelateerd aan de laagste gemiddelde wintertemperatuur in de jaren (j-2) en (j-3) daarvoor. De omvang van het kokkelbestand in een bepaald jaar, waarin ook de biomassa aan juvenielen is opgenomen, is gerelateerd aan de laagste wintertemperatuur in de twee jaren (j-1) en (j-2).

Fytoplanktonbiomassa en -produktie
De gebruikte waterkwaliteitsgegevens zijn afkomstig uit het MWTL-monitoringsprogramma van Rijkswaterstaat (Anon., 1993b). Binnen dit programma worden in de westelijke Waddenzee sinds 1976 chlorofylgegevens verzameld op 12 stations (zie fig. 1). De bemonsteringen vinden in principe maandelijks plaats, maar in de praktijk blijken de tijdreeksen nogal eens te zijn onderbroken. Ook zijn in de loop der jaren stations afgevallen en toegevoegd. Omdat chlorofylgehalten in ruimte en tijd sterk variëren (fig. 5) kan bij directe uitmiddeling van de beschikbare meetgegevens een vertekend beeld onstaan. De Waddenzee-gemiddelde chlorofylgehalten nemen bijvoorbeeld toe wanneer de gegevens van meer naar de zeegaten gelegen stations worden weggelaten. Ook het wegvallen van monsternames in de (koude) winters van 1985 t/m 1987 leidt bijvoorbeeld tot hogere jaargemiddelde waarden (zie ook De Jonge & Essink, 1991).
Daarom, en omdat de analyse van de vleesgehalten al aanleiding had gegeven de Westelijke Waddenzee verder als één gebied te beschouwen, zijn met betrekking tot het voedselaanbod voor mosselen alleen de stations waar over een relatief lange periode metingen hebben plaatsgevonden in beschouwing genomen. Het gaat daarbij om drie stations in het stroomgebied van het Marsdiep (de stations wz30, wz110, wz200,) en drie stations in het stroomgebied Vliestroom (wz190, wz230 en wz310) (fig. 1). Omdat

ook de tijdreeksen van deze zes stations zijn onderbroken is bij de berekening van gemiddelde waarden gecorrigeerd op de wijze zoals beschreven in bijlage 1.

Gemiddelde chlorofylgehalten voor de westelijke Waddenzee zijn berekend voor de volgende perioden:

1. het gehele jaar
2. maart tot en met juni. In deze periode vindt de voorjaarsbloei plaats. Het door de mosselen in deze periode opgenomen voedsel wordt waarschijnlijk vooral benut voor de reproduktie (Van Stralen & Dijkema, 1994).
3. juli tot en met november. Deze periode is met betrekking tot het vleesgehalte van mosselen in het najaar, conform Van Stralen & Dijkema (1994), gedefinieerd als het groeiseizoen van mosselen.
4. september tot en met november, zijnde de periode waarin de geleverde mosselen ook daadwerkelijk zijn aangevoerd.

Zwevende stof en voedselkwaliteit

Gemiddelde concentraties zwevende stof in de westelijke Waddenzee zijn vanaf 1973 berekend voor dezelfde perioden, over dezelfde stations en -ten aanzien van het ontbreken van metingen- op dezelfde wijze gecorrigeerd (bijlage 1) als voor de chlorofylconcentraties. Daarbij bleek dat hoge zwevende-stofconcentraties ondanks hun lage frequentie van optreden (tijdens stormen) de gemiddelden sterk beïnvloeden. In verdere analyses daarom uitgegaan van mediane concentraties.
Als index voor de kwaliteit van het zwevende materiaal als voedsel voor mosselen is de hoeveelheid chlorofyl per eenheid zwevende stof berekend, uitgaande van bovengenoemde gemiddelde chlorofylconcentraties en mediane concentraties zwevende stof.

Nutriëntenvrachten vanuit de Rijn en het IJsselmeer

De toevoer aan orthofosfaat en stikstof vanuit het IJsselmeer na 1975 is berekend uit de gespuide hoeveelheden water bij Den Oever en Kornwerderzand en de nutriëntenconcentraties in het spuiwater (gegevens : RIKZ/RIZA). Berekend zijn vrachten voor de volgende perioden:

1. november t/m oktober volgend jaar. Voor deze periode is gekozen in plaats van voor een kalenderjaar omdat als gevolg van limiterende lichtcondities in de winter de in november en december aangevoerde nutriënten dat jaar nauwelijks meer benut zullen worden voor de planktonproduktie.
2. november t/m juni volgend jaar, als boven, in relatie tot alleen de voorjaarsbloei,
3. maart t/m juni volgend jaar, als boven, waarbij de aanvoer van nutriënten in de wintermaanden buiten beschouwing is gelaten, gegeven de relatief korte verblijftijd van het water in de Waddenzee van 22-30 getijden (Zimmerman, 1976).
4. juli t/m oktober: het mosselgroeiseizoen.

Voor de vrachten aan orthofosfaat en opgeloste stikstof van de Rijn is uitgegaan van de jaartotalen vanaf het begin van de vijftiger jaren (bron: RIZA).

Nutriëntenconcentraties in de Waddenzee

Conform Anon. (1993b) zijn de gemiddelde concentraties opgelost P en N in de Westelijke Waddenzee berekend over de stations wz30, wz110, wz200, wz190 en wz230 uit het MWTL-meetnet. Met het ontbreken van data is ook hier rekening gehouden op de wijze zoals beschreven in bijlage 1.
Gemiddelde nutriëntengehalten zijn berekend voor de perioden januari t/m december, maart t/m juni en juli t/m november

2.2 Statistische technieken

In de analyses ligt de nadruk op het zichtbaar maken van verbanden tussen groei en produktiviteit van schelpdieren enerzijds en eutrofiëringsverschijnselen anderzijds. Onderlinge relaties tussen planktonproduktie, nutriëntenconcentraties en -vrachten, debieten en zwevende-stofconcentraties zijn in principe alleen onderzocht wanneer dat nodig was voor de interpretatie van bovengenoemde relaties.
Relaties tussen de verschillende variabelen zijn gekwantificeerd met Pearson's produkt-moment correlatiecoefficiënten. Indirecte relaties zijn, voor zover mogelijk, ontrafeld door de berekening van partiële correlatiecoefficiënten (Sokal & Rohlf, 1981). Partiële correlatiecoefficiënten geven de correlatie tussen twee variabelen weer, waarbij één of meer andere variabelen rekenkundig constant worden gehouden en de berekende (partiële) correlatie dus niet beïnvloeden.
Veranderingen in de tijd zijn onderzocht met regressieanalyse, waarbij (significant) kromlijnige verbanden beschreven zijn met polynomen.

Er is naar gestreefd de analyses op zo lang mogelijke perioden (zoveel mogelijk jaren) te baseren. De beschikbare tijdreeksen voor de verschillende variabelen verschillen echter nog al in lengte en zijn in sommige gevallen onderbroken. Dit heeft tot gevolg dat de periode waarop de berekende correlatie-matrices betrekking hebben (tabel 1 t/m 4) in belangrijke mate bepaald wordt door de gekozen combinatie van de te analyseren variabelen.

3 Resultaten

3.1 Trends in de tijd

3.1.1 Mosselgroei

De maandgemiddelde vleesgehalten van mosselen die sinds 1952 zijn aangevoerd uit de westelijke Waddenzee zijn weergegeven in figuur 2. De vleesgehalten bereiken in hun hoogste waarden in het algemeen vroeg in het najaar (fig. 3.b). Aan het eind van het leveringsseizoen, in maart en april, treedt vaak al weer enig herstel op van het vleesgehalte. Omdat de toename van het vleesgehalte gepaard gaat met de rijping van de gonaden wordt het mosselseizoen in april toch gesloten.
Het gemiddelde vleesgehalte mosselen in het najaar blijkt sinds de aanvang van de mosselcultuur in 1952 statistisch significant te zijn gestegen (fig. 7.a). Wordt deze trend in plaats van een lineair verband (R^2=0.218, p=<0.01, n=41) beschreven met een tweede graads polynoom (R^2= 0.278, p<0.01, n=41), dan blijkt dat het vleesgehalte van mosselen vooral in de loop van de tachtiger en negentiger jaren is gaan toenemen.

De toename in vleesgehalten heeft in de gehele westelijke Waddenzee plaatsgevonden (fig. 3.a). De vleesgehalten in het centrale deel van de Waddenzee liggen daarbij steeds wat hoger dan in de omringende gebieden. Gezien de op zich geringe en verder constante verschillen tussen de gebieden is in verdere analyses uitgegaan van gemiddelde vleesgehalten voor de gehele westelijke Waddenzee.

3.1.2 De aanvoer van mosselen

De aanvoer van mosselen is van gemiddeld 31 miljoen kg versgewicht in de vijftiger jaren toegenomen tot gemiddeld 70 miljoen kg in de zeventiger en begin tachtiger jaren (fig. 7.b). Daarna lijkt zich een daling in de aanvoer te hebben ingezet met een gemiddelde aanvoer van 50 miljoen kg mosselen per jaar na 1985.

3.1.3 Het kokkelbestand

De ontwikkeling van het kokkelbestand na 1972 (fig. 7.b) wordt bepaald door de aanwezigheid van een aantal sterke jaarklassen. De jaarklassen die onstaan zijn na de strenge winters van 1979 en 1987 zijn daarbij dominant. Ten opzichte van de aanvoer van mosselen, en het daaruit terugberekende mosselbestand (fig. 8.e), is de variatie in de ontwikkeling van het kokkelbestand relatief groot. De omvang van het mossel- en het kokkelbestand blijken evenwel gecorreleerd, waarbij in perioden waarin de kokkelbestanden laag zijn ook het mosselbestand relatief gering is ($r=0.491$, $n=22$, $p<0.05$, fig. 14.b).

3.1.4 Zeepokken

Wanneer mosselen met pokken worden aangevoerd, dan is dat vooral aan het begin van het leveringseizoen (juli en augustus). De aanwezigheid van pokken op mosselen in deze maanden vertoont door de jaren heen geen duidelijke trend en varieert sterk (fig. 7.c). Dit laatste is mogelijk een gevolg van ontwikkelingen op de markt in relatie tot de aanwezige voorraden op de percelen. Deze bepalen in hoeverre kwekers besluiten in de zomer ook mosselen met pokken aan te voeren, danwel daarmee te wachten tot later in het jaar, wanneer de pokken van nature in het algemeen weer verdwenen zijn. Omdat trends in de ontwikkeling van pokken afwezig lijken, als ook vanwege de rekenkundige complicaties door de gewijzigde wijze van kwantificeren in 1979, is van verdere analyse van de aanwezigheid van pokken in relatie tot eutrofiëring afgezien.

3.1.5 Produktie en biomassa van het fytoplankton

De chlorofylconcentraties in de westelijke Waddenzee blijken zowel in de ruimte als door het jaar heen sterk te kunnen variëren (fig. 5). Meer landinwaarts liggen de chlorofylconcentraties in het algemeen hoger dan op de stations nabij de Noordzee. Met name in de buurt van zoetwaterbronnen (Kornwerderzand en Harlingen) kunnen al vroeg in het voorjaar daarbij opmerkelijk hoge chlorofylconcentraties optreden. Gemiddeld over de westelijke Waddenzee blijken de chlorofyl concentraties in het voorjaar te zijn toegenomen tot halverwege de tachtiger jaren (fig. 8.b). Uitgaande van een tweedegraads polynoom blijkt de aanwezigheid van een maximum halverwege de tachtiger jaren statistisch significant ($R^2=0.417$, $n=17$, $p<0.01$).
Voor het groeiseizoen van mosselen (periode juli - november) lijken de chlorofylgehalten halverwege de tachtiger jaren niet hoger dan in de perioden daarvoor en daarna (fig.

8.c). Wanneer er al sprake is van een trend, dan gaat het eerder om een geleidelijke afname (R^2=0.105, n=17, ns).
Voor het najaar (september t/m november) blijkt wel weer een significant kwadratisch verloop in chlorofylgehalten aantoonbaar, zij het dan met een minimum rond 1987. Met name in 1990 is het gemiddelde chlorofylgehalte in het najaar hoog. Opmerkelijk is daarbij dat uitsluiting van 1990 in de berekening van genoemde polynoom een statistisch significante kromlijnige curve oplevert (R^2= 0.411, p<0.01), terwijl het meenemen van 1990 tot een meer geprononceerde curve leidt (fig. 8.c), welke echter bij statistische toetsing niet significant blijkt (R^2= 0.119).
Het verloop van de jaargemiddelde chlorofylconcentraties in de Waddenzee volgt, zij het afgezwakt, het verloop zoals aangetroffen voor het voorjaar (R^2=0.368, n=17, p<0.05). De jaargemiddelde chlorofylconcentraties in het Marsdiep nabij Texel, zoals die zijn gemeten door Cadée en Hegeman (1993, fig. 8.d), vertonen een min of meer vergelijkbaar patroon. Uitgaande van de gegevens van Cadée en Hegeman (1993) lijken de sterkste veranderingen in de planktonbiomassa echter al in de eerste helft van de zeventiger jaren te hebben plaatsgevonden, waarbij de chlorofylgehalten vanaf 1976 (gemiddeld 8.7 mg/m3) meer dan een factor twee hoger liggen dan in de periode daarvoor (3.9 mg/m3). Dit geldt ook voor de door Cadée en Hegeman (1993) gemeten primaire produktie van het fytoplankton (fig. 8d), welke is toegenomen van 150-200 gC m^{-2} jr^{-1} vóór 1976 tot 250 - 400 gC m^{-2} jr^{-1} in de periode na 1980.

3.1.6 Zwevende stof en voedselkwaliteit

De concentratie zwevende stof in de westelijke Waddenzee is sinds 1973 toegenomen van jaar-mediane waarden van 20-30 mg/l tot ca 50 mg/l in de periode 1982-1984 (fig. 8.g). Vanaf 1984 zijn de gehalten gedaald tot het huidige niveau van ca 20 mg/l. Voor het mosselgroeiseizoen (de periode juli - november) zijn de concentraties afgenomen tot waarden tussen 10 en 20 mg/l (fig. 8.g). Behalve een afname in mediane zwevende-stofgehalten in de Waddenzee liggen ook de gemeten minima na 1984 systematisch lager. De maximale de concentraties zwevende stof (optredend na stormen) liggen nog op het zelfde niveau als voorheen.
Met de daling in de zwevende-stofgehalten is de kwaliteit van het zwevende materiaal als voedsel voor filterfeeders, uitgedrukt als de hoeveelheid chlorofyl per eenheid zwevende stof, daarbij significant gestegen (R^2=0.77, p<0.001, fig. 8.h).

3.1.7 Nutriëntenvrachten vanuit het IJsselmeer en de Rijn

De vrachten vanuit het IJsselmeer zijn zowel voor stikstof als voor fosfaat sterk gecorreleerd aan die uit de Rijn (fig. 7.e/f), r= 0.782, n=17, p<0,001, resp. r= 0.888, p<0.001) en bereiken in de eerste helft van de jaren tachtig hun maximale waarden. Na 1985 zijn met name de fosfaatvrachten gedaald.
Voor het mossel-groeiseizoen (juli t/m oktober) is deze ontwikkeling niet anders en worden de hoogste nutriëntenvrachten vanuit het IJsselmeer eveneens bereikt rond 1985 (fig. 8.k/l). De waterafvoeren vanuit het IJsselmeer (fig. 8.f) en de Rijn zijn in de tachtiger jaren eveneens relatief hoog, waarbij voor stikstof het optreden van natte en droge perioden een merkbare invloed heeft op de vrachten (fig 14.e/f).

3.1.8 P- en N-concentraties in de Waddenzee

De nutriëntenconcentraties van de westelijke Waddenzee (fig. 8.i/j) volgen afgezwakt de veranderingen in de vrachten. De huidige jaargemiddelde fosfaatconcentraties liggen daarbij een factor 2 à 3 lager dan de hoogst gemeten waarden in de jaren tachtig. De fosfaatvracht vanuit het IJsselmeer is in deze periode ongeveer een factor 10 lager geworden.
Opgeloste stikstof en fosfaatconcentraties zijn maximaal in de winter en nemen beide tijdens de voorjaarsbloei sterk af (fig. 9, fig. 6.d/e). Na de voorjaarsbloei bereiken de fosfaatconcentraties in het algemeen in juni al weer waarden die maar net beneden het winterniveau liggen. Stikstofgehalten daarentegen blijven gedurende de gehele zomer relatief laag en stijgen pas weer in het najaar en in de winter. Dit patroon blijkt in de gehele periode 1972 - 1992 aanwezig, waarbij de absolute concentraties op zich de jaarlijkse veranderingen in de nutriëntenbelasting van de Waddenzee volgen.
Opgemerkt moet worden dat de gemeten variatie in stikstofconcentraties vóór 1980 nogal afwijkt van het zeer regelmatige verloop in de jaren daarna (fig. 6.e). Deze verandering werkt daarbij sterk door in de jaargemiddelde waarden (fig. 8.j). Wat aan deze trendbreuk ten grondslag is onbekend. Een eventuele invloed van artefacten op de uitkomsten van de in dit rapport gepresenteerde correlaties is echter beperkt omdat, vanwege de beschikbaarheid van chlorofylgegevens, in de analyses voornamelijk zomergegevens vanaf 1976 zijn gebruikt.

3.2 Ontwikkeling van mosselen en kokkels in relatie tot eutrofiëring

3.2.1 Mosselgroei vs. het voedselaanbod en zwevende stof

Hoge chlorofylconcentraties in het groeiseizoen van mosselen (juli en november) lijken niet te leiden tot tot hoge vleesgehalten van mosselen in het najaar (fig. 10.a, $r= -0.396$, $n=17$, ns). Uitgaande van jaargemiddelde chlorofylconcentraties als maat voor het voedselaanbod blijkt het vleesgehalte zelfs negatief gecorreleerd met de planktonbiomassa ($r= -0.621$, $n=17$, $p<0.01$). Voor de periode september - november kan wel een positieve correlatie tussen de vleesgehalten en de chlorofylconcentraties worden aangetoond (fig. 10.b, $r= 0.529$, $p<0.05$). Met name na 1984 verlopen de vleesgehalten en planktonconcentraties daarbij sterk synchroon (vergelijk fig. 8.a en fig 8.c).
Ook met de gemeten chlorofylconcentraties in de periode september - november kan echter maar een beperkt deel van de variatie in vleesgehalten worden verklaard (verklaarde variantie is 28%). Dit lijkt samen te hangen met een trendbreuk in het begin van de tachtiger jaren, waarbij na 1985 de vleesgehalten van mosselen systematisch hoger liggen dan bij vergelijkbare chlorofylconcentraties in de periode daarvoor (fig. 10.a). Binnen de perioden 1976 t/m 1980 en de jaren na 1985 zijn vleesgehalten daarbij wel sterk gecorreleerd met de chlorofylgehalten ($r= 0.953$, $n=5$, $p<0.05$, resp. $r= 0.899$, $n=6$, $p<0,05$). De periode 1981 tot en met 1984 lijkt daarbij een overgangsperiode.
De veranderde respons van mosselen op het planktonaanbod lijkt samen te hangen met de afname in de concentraties zwevende stof in de Waddenzee tussen na 1984 (fig. 8.g) en de daardoor verbeterde kwaliteit van het zwevende materiaal als voedsel voor suspensie-eters (fig. 8.h). Deze verbetering geldt, overeenkomstig de daling in zwevende-

stofgehalten, voor het gehele groeiseizoen van mosselen. De voedselkwaliteit in de periode juli-november blijkt sterk positief gecorreleerd met het vleesgehalte van mosselen in het najaar ($r= 0.732$, $n=17$, $p<0.001$). Vleesgehalten en voedselkwaliteit zijn vooral in de meest recente jaren relatief hoog (fig. 10.c). Ook uit de berekende partiële correlatie coefficiënten blijkt dat het vleesgehalte van mosselen in het najaar vooral samenhangt met kwaliteit van het zwevende materiaal als voedselbron ($r_{part}= 0.722$, $p<0.01$ bij "constante" chlorofyl- en concentraties zwevende stof). De significante (negatieve) correlatie tussen het vleesgehalte en de absolute concentraties zwevende stof tussen juli en november (fig. 10.e, $r= -0.643$, $n=17$, $p<0.01$) verdwijnt daarentegen, wanneer wordt gecorrigeerd voor de voedselkwaliteit ($r_{part}= -0.085$, ns).

De correlaties tussen enerzijds de voedselkwaliteit en anderzijds de absolute zwevende stof- en chlorofylconcentraties ($r=-0.835$, $n=17$, $p<0.01$ resp. $r=-0.135$, ns) duidt er op dat de voedselkwaliteit van het zwevende stof in het mosselgroeiseizoen vooral bepaald wordt door de concentraties van gesuspendeerd slib. In de periode september-november lijkt ook de planktonbiomassa een rol te spelen, gegeven dat naast een positieve relatie tussen voedselkwaliteit en chlorofylgehalten ($r= 0.755$, $n=17$, $p<0.001$), ook bij "constante" concentraties zwevende stof een significante partiële correlatie bestaat tussen chlorofyl en het vleesgehalte van mosselen ($r_{part}=0.586$, $p<0.05$). Voor de periode juli - november is deze $r_{part} =-0.065$ (ns).

3.2.2 Mosselgroei vs. nutriëntenvrachten en -concentraties

Voor de periode vanaf 1976 konden geen significante positieve correlaties worden aangetoond tussen enerzijds het vleesgehalte van mosselen en anderzijds nutriëntenvrachten vanuit het IJsselmeer en -concentraties in de Waddenzee (fig. 11 c/f, tabel 1). Dat over een langere termijn eutrofiëring van de Waddenzee wel van invloed is geweest op de groei van mosselen, gezien het feit dat al voor 1976 de aanvoer van nutriënten via de Rijn aanzienlijk is toegenomen (fig. 7.e/f), blijkt op basis van de beschikbare gegevens evenmin. Uitgaande van jaarvrachten de stikstof en fosfaat vanuit de Rijn blijken effecten van eutrofiëring na 1952 op de vleesgehalten van mosselen niet aantoonbaar (fig. 10.a/b , $r= 0.095$, $n=41$, ns resp. $r= 0.004$, ns.). Dit geldt ook wanneer de periode vanaf 1985, waarin de nutriëntenvrachten en concentraties zwevende stof zijn gaan dalen, buiten beschouwing wordt gelaten ($r= 0.095$, resp. $r= 0.180$).

3.2.3 De aanvoer van mosselen vs. eutrofiëring en wintertemperaturen

De jaarlijkse aanvoer van mosselen na 1952 blijkt wel positief te zijn gecorreleerd met de nutriëntenvrachten vanuit de Rijn (voor P: $r= 0.382$, $p<0.05$, voor N: $r= 0.267$, $n=38$, $0.05<p< 0.10$, tabel 3, zie ook fig. 12a/c). Omdat de aanvoer in een bepaald jaar het resultaat is van de produktieomstandigheden in een periode van minstens drie jaar daaraan voorafgaand, is daarbij uitgegaan van de som van de vrachten in het jaar van aanvoer en de twee jaren daarvoor. Op basis van van partiële correlatiecoefficiënten, waarbij verrekend is dat de vrachten P en N onderling gecorreleerd zijn ($r= 0.838$, $p<0.001$), blijkt dat veranderingen in aanvoer nog het meest met verschillen in fosfaatvrachten samenhangen ($r_{part}= 0.301$, $n=38$, $0.05<p<0.10$, bij N constant). Stikstofvrachten lijken van minder belang ($r_{part}= -0.105$, ns, bij P constant). Opgemerkt moet worden dat in daarbij geen rekening is gehouden met de invloed van veranderingen in de bedrijfsvoering binnen de mosselsector. Genoemd kunnen worden het feit dat het tot het eind van de vijftiger jaren heeft geduurd voordat de

produktiecapaciteit (percelenareaal) zijn huidige omvang bereikte, en het na 1967 mogelijk werd ook mosselen waarvoor op dat moment geen markt is aan te voeren. De gevonden correlaties veranderen echter nauwelijks wanneer om deze redenen alleen de periode na 1967 in beschouwing wordt genomen. Wanneer eutrofiëring de aanvoer van mosselen na 1967 al heeft beïnvloed, dan gaat de aandacht nog steeds uit naar het fosfaat ($r= 0.266$, $n=26$, ns., $r_{part}=0.296$, ns; voor stikstof: $r= 0.074$, ns, tabel 3), zij het dat significante relaties niet meer aantoonbaar zijn.

Effecten van eutrofiëring op de aanvoer van mosselen worden mogelijk overschaduwd door de invloed van zachte en strenge winters. De ervaring heeft geleerd dat strenge winters in het algemeen leiden tot een goede broedval, gevolgd door hoge biomassa's in de jaren daarna. Wanneer dit doorwerkt in de produktie van consumptiemosselen, dan zou een verband moeten bestaan tussen aanvoer in een bepaald jaar en de temperaturen in de winter voorafgaand aan de broedval 2 en/of 3 jaar eerder. Voor de periode na 1967 blijkt de aanvoer van mosselen inderdaad gecorreleerd met de gemiddelde watertemperatuur in de koudste van deze twee winters ($r= -.497$, $n= 26$, $p<0.05$, fig. 12.e). Deze tweejarige minima voor wintertemperaturen blijken echter ook negatief gecorreleerd met totale stikstof- en fosfaatvrachten uit de Rijn in de drie jaar waarin de aangevoerde mosselen van zaad zijn opgegroeid tot consumptiemosselen ($n= 26$, $r= -0.535$, $n=26$, $p<0.01$, resp. $r= -0.251$, ns). Het is daardoor niet op het eerste gezicht duidelijk in hoeverre de wintertemperaturen doorwerken in de aanvoer via de broedval, danwel via een verhoging van de vrachten en de gevolgen daarvan voor het voedselaanbod in de jaren ná de broedval. Op basis van de berekende partiële correlatiecoëfficiënten lijkt het eerste het geval te zijn. De tweede orde partiële correlatie tussen aanvoer en temperatuur (d.i. bij "constante" vrachten P én N) is daarbij zelfs nog wat sterker dan de aanvankelijk berekende correlatie ($r_{part}=-0.637$, $p< 0.001$). Correlaties tussen de aanvoer enerzijds en P en N-vrachten anderzijds nemen (bij "constante" temperaturen) daarentegen af ($r_{part}=0.168$, ns) resp. $r_{part}= -0.262$, ns). Worden ook de jaren vóór 1967 in de analyse betrokken, dan is de relatie tussen wintertemperaturen en mosselproduktie minder duidelijk (fig12.e). Met name het feit dat de zeer strenge winter van 1962/1963 noch in 1965 noch in 1966 heeft geleid tot een verhoogde aanvoer (fig. 7) is daar in belangrijke mate debet aan.

3.2.4 Het kokkelbestand vs. tot eutrofiëring en wintertemperaturen

De omvang van het kokkelbestand blijkt eveneens gecorreleerd te zijn met zowel de nutriëntenvrachten vanuit de Rijn (voor N: $r= 0.307$, $n=22$, ns, voor P: $r= 0.396$, $0.05<p<0.10$, fig. 12.b/c, tabel 4) als met het optreden van zachte en strenge winters ($r= -0.488$, $p<0.05$, fig. 12.f). De omvang van het kokkelbestand in een bepaald jaar (j) is daarbij vergeleken met de watertemperaturen in de strengste van de winters in de twee voorgaande jaren (j-1) en (j-2) en met de som van de vrachten in datzelfde jaar (j) en het jaar (j-1) daarvoor.
Uitgaande van partiële correlaties blijkt ook voor kokkels de invloed van temperaturen in de winter voorafgaand aan de broedval doorslaggevend voor de ontwikkeling van het bestand ($r_{part}= -0.458$, $n=22$, $p<0.05$, bij constante P en N-vrachten). De partiele correlaties (bij "constante" temperaturen) tussen de kokkelbiomassa enerzijds en P en N-vrachten anderzijds bedragen respectievelijk 0.297 (ns) en 0.065(ns).
De relatie tussen wintertemperaturen voorafgaand aan de broedval en het bestand aan kokkels in de jaren daarna is nog duidelijker wanneer 1986 en 1987 buiten beschouwing worden gelaten ($r= 0.661$, $n=20$, $p< 0.001$). Reden om deze jaren te negeren is het

optreden van drie strenge winters op rij in de periode 1985-1987 (fig. 7.d). Nieuwe jaarklassen kokkels in 1985 en 1986 zijn in de daaropvolgende strenge winters voor een belangrijk deel steeds vroegtijdig doodgevroren, met als gevolg geringe bestanden in 1986 en 1987. Dat in 1985 en 1986 de broedval goed is geweest, blijkt uit informatie van kokkelvissers en wordt ook ondersteund door de ontwikkeling van het kokkelbestand in de Oosterschelde, waar de kans op sterfte door vorst minder is (Coosen et al., 1994). De goede broedval in de Waddenzee na de winter van 1987 overleefde de volgende winter wel en kon uitgroeien tot een omvangrijk kokkelbestand in 1988 en 1989.

Ter toetsing van de mogelijkheid dat de omstandigheden voorafgaand aan de broedval belangrijk zijn voor de ontwikkeling van zowel het mossel- als kokkelbestand, zijn ook de vrachten stikstof en fosfaat vanuit de Rijn ten tijde van de broedval beschouwd. Geen van beide blijken echter een aantoonbare invloed hebben op de ontwikkeling van deze bestanden (tabel 3 en 4). Opgemerkt moet wel worden dat van jaartotale vrachten is uitgegaan in plaats van de vrachten in de winter en het voorjaar voorafgaand aan de broedval.

3.2.5 Fytoplankton en eutrofiëring

Met name in het voorjaar lijkt de biomassa van het fytoplankton als gevolg van de eutrofiëring van de Waddenzee te zijn toegenomen (fig. 6.a/c/d, fig.13.a/b). Behalve de gemiddelde chlorofylconcentraties (fig. 8.b) zijn daarbij ook de gemeten maxima in het voorjaar in de tachtiger jaren relatief hoog (fig. 5). De gemiddelde chlorofylconcentratie in de Waddenzee in de periode maart-juni blijkt daarbij positief gecorreleerd met de zowel de stikstof- als de fosfaatvrachten vanuit het IJsselmeer ($r= 0.635$, $n=17$, $p<0.01$, resp. $r= 0.739$, $p<0.001$, fig. 13.a/b). Daarbij is uitgegaan van totale vrachten in de winter en het voorjaar (november-juni). Wordt uitgegaan van alleen de vrachten ten tijde van de voorjaarsbloei (maart-juni) dan zijn deze verbanden nog sterker ($r= 0.696$, $n=17$, $p<0.01$ resp. $r=0.785$, $p<0.001$).
Uitgaande van partiële correlatiecoefficiënten, waarbij gecorrigeerd is voor het feit dat de vrachten stikstof en fosfaat onderling sterk gecorreleerd zijn ($r= 0.834$), lijkt de stikstof het meest sturend voor de intensiteit van de voorjaarsbloei ($r_{part}=0.121$, ns, resp $r_{part}= 0.516$, $p<0.05$ bij respectievelijk constante N en P-vrachten).
Correlaties tussen de chlorofylconcentraties in het groeiseizoen van mosselen (juli-november) en de nutriëntenvrachten konden niet worden aangetoond (fig. 13.c/d, tabel 2). Ook de nutriëntenconcentraties die in de Waddenzee zijn gemeten lijken niet gecorreleerd met de chlorofylgehalten in deze periode (fig. 13.e/f).

4. Discussie

4.1 Mosselgroei

De toename in vleesgehalte van gekweekte mosselen duidt er op dat sinds de aanvang van de mosselcultuur in de Waddenzee in de jaren vijftig de groeiomstandigheden voor schelpdieren geleidelijk aan zijn verbeterd. Tot halverwege de tachtiger jaren zou deze verbetering verklaard kunnen worden met de eveneens toegenomen mate van eutrofiëring van de Waddenzee. Vanaf het eind van de tachtiger jaren zijn de vrachten fosfaat en (in mindere mate) stikstof naar de Waddenzee afgenomen en zijn de nutriëntenconcentraties in de Waddenzee gedaald, echter zonder dat ook de vleesgehalten van mosselen weer zijn gaan afnemen. In tegendeel, de vleesgehalten van aangevoerde mosselen zijn na 1985 verder verbeterd en zijn met name in 1990 en 1992 hoger geweest dan ooit daarvoor.

De groei van mosselen in de Waddenzee blijkt sterk gecorreleerd te zijn met veranderingen in concentraties zwevende stof van het water en daarmee samenhangend met de kwaliteit van het zwevende materiaal als voedselbron voor filterfeeders. De zwevende-stofconcentraties in de Waddenzee zijn, na te zijn gestegen tot halverwege de tachtiger jaren, vanaf 1985 ongeveer gehalveerd. In het groeiseizoen voor mosselen (periode juli-november) zijn de mediane zwevende-stofgehalten daarbij afgenomen van ca 45 mg/l in de periode 1973-1984 naar minder dan 20 mg/l nu. De planktonbiomassa (chlorofylgehalte) is daarbij niet of nauwelijks gedaald. Dit heeft er toe geleid dat de voedingswaarde van het zwevende materiaal voor filtrererende organismen in de tweede helft van de tachtiger jaren is verbeterd. Met de deze verandering in de voedselkwaliteit (d.i. de hoeveelheid chlorofyl per eenheid zwevende stof) in het groeiseizoen van mosselen blijkt 54% van de variatie in de vleesgehalten van mosselen in het najaar te kunnen worden verklaard.
Experimenteel onderzoek bevestigt dat een verhoging van de concentraties gesuspendeerd slib bij een gelijkblijvende planktonbiomassa een remmende invloed kan hebben op de opname van koolstof en daarmee op de groei van mosselen (Widdows et el., 1979, Prins, 1989). Boven slibconcentraties van 50 mg/l lijkt groei van mosselen die afkomstig zijn uit de Oosterschelde zelfs niet meer mogelijk. Prins (1989) noemt als de belangrijkste oorzaak dat mosselen bij hoge concentraties zwevende stof energetisch minder rendabel kunnen foerageren de verhoogde produktie van mucus. Mucus wordt door de mossel aangemaakt voor het schoonhouden van de kieuwen en de uitscheiding van niet verteerbaar materiaal in de vorm van pseudofaeces.
Mosselen vertonen op lange termijn wel enige aanpassing aan de heersende concentraties zwevende stof. In relatief troebele gebieden blijken de labiale palpen van mosselen, welke een rol spelen bij de selectie van voedseldeeltjes uit het afgefiltreerde materiaal, gemiddeld groter dan in gebieden met helderder water (Theisen, 1982, Kiørboe en Mølhenberg, 1981) en neemt de grootte van de palpen en kieuwen toe respectievelijk af wanneer mosselen naar troebeler gebieden worden verplaatst. Ondanks deze aanpassingen lijken de omstandigheden voor de groei van de verplaatste mosselen bij een hoge troebelheid nog steeds suboptimaal, gezien het feit dat tussen de groei en de concentraties zwevende stof (Essink en Bos, 1985) een negatieve correlatie blijft bestaan (Prins, 1989).

Uitgaande van het verband tussen de absorbtie-efficiëntie van mosselen voor koolstof (ABS) en de concentraties zwevende stof (SPM) van het water:

$$ABS=0.3026-0.00009*SPM^2 \text{ (Prins, 1989, tabel II)}$$

zou de absorbtie-efficiëntie van mosselen in de Waddenzee, bij de eerder genoemde daling in mediane zwevende-stofgehalten ongeveer zijn verdubbeld.
Opgemerkt moet worden worden dat de concentraties zwevende stof waarmee mosselen op percelen in de Waddenzee daadwerkelijk worden geconfronteerd, kunnen afwijken van de concentraties die zijn gepresenteerd in dit rapport. De waterkwaliteitsgegevens in dit rapport zijn afkomstig van oppervlaktemonsters verzameld in het centrale deel van de grotere getijdegeulen. Mosselpercelen liggen echter vooral langs de randen van deze geulen en in de kleinere geulen, waar de stroomsnelheden en turbulentie relatief laag zijn. Verder hoeven oppervlaktemonsters niet representatief te zijn voor zwevende-stofconcentraties en chlorofylgehalten vlak boven de bodem. Op mosselpercelen in de Oosterschelde blijken de concentraties zwevende stof en chlorofyl vlak boven (5 cm) het mosselbed gemiddeld 2.5 maal respectievelijk 1.4 maal hoger dan halverwege de waterkolom (Smaal en Van Stralen, 1990).

De veranderingen in zwevende-stofgehalten in de Waddenzee worden door Maiwald en Verhagen (1991) toegeschreven aan een 18.6 jarige cyclus in het getij, welke een amplitude heeft van ca 10 cm en een maximum heeft gehad omstreeks 1981. Via de opgetreden veranderingen in de stroomsnelheden zouden erosie en sedimentatie van met name de zeegaten hun uitwerking hebben op de concentraties zwevende stof. Voor sommige stations maken genoemde auteurs het voorbehoud dat de gevonden trends ook verklaard zouden kunnen worden met veranderingen in de meetprocedures. Voor de stations in de westelijke Waddenzee die gebruikt zijn in dit rapport lijkt dit voorbehoud niet van toepassing. Op de stations wz30, wz110 en wz190 hebben geen veranderingen in de meetprocedures plaatsgehad en lijken de trends niet wezenlijk anders dan voor de stations wz230 en wz310, waar vanaf 1982 de metingen in een andere fase van het getij plaatsvinden. Daarbij komt dat ten tijde van de grootste veranderingen in concentraties zwevende stof (vanaf 1985) op geen van deze stations de meetprocedures zijn aangepast.

Correlaties tussen enerzijds het vleesgehalte van mosselen in het najaar en anderzijds factoren die potentieel van invloed zijn op planktoncentraties in de Waddenzee konden verder niet worden aangetoond. Dit in tegenstelling tot de Oosterschelde, waar het vleesgehalte significant gecorreleerd bleek met de primaire produktie en met de omvang van de bestanden mosselen en kokkels (Smaal & Van Stralen, 1990, Van Stralen & Dijkema, 1994). Vergelijkbare verbanden voor de Waddenzee worden mogelijk overschaduwd door de effecten van de relatief hoge zwevende-stofconcentraties in dit gebied. Ook moet beseft worden dat in de Waddenzee aanmerkelijk minder intensief wordt "gemonitored" dan dat in de Oosterschelde in het kader van de Deltawerken mogelijk was. Zo bleken ook voor de Oosterschelde uitgaande van MWTL-gegevens relaties tussen mosselgroei en chlorofylgehalten statistisch niet aantoonbaar (RIVO, ongepubliceerd). Verder is ten aanzien van de bestandsgegevens voor kokkels en mosselen in de Waddenzee al eerder opgemerkt dat het gaat om schattingen met waarschijnlijk veel ruis.
Anderzijds varieert de schelpdierbiomassa in de Waddenzee vergeleken met de Oosterschelde dermate sterk dat, wanneer er periodiek concurrentie tussen schelpdieren om het beschikbare voedsel zou optreden, dat ook relatief snel aan het licht zou moeten

komen. Dat in jaren met een extreem hoge biomassa aan schelpdieren in de Waddenzee, zoals in het begin van de tachtiger jaren en in 1988 en 1989 de planktonproduktie en - biomassa en de groei van mosselen niet wezenlijk anders lijken dan in jaren met geringere bestanden, wijst er dan ook op dat de draagkracht van de Waddenzee voor schelpdieren veel meer door andere factoren dan door de graasdruk van schelpdieren wordt bepaald. Dit wordt ondersteund door berekeningen van Smaal en Prins (1993), waaruit blijkt dat de in de westelijke Waddenzee potentieel 17% van de primaire produktie wordt geconsumeerd door mosselen en kokkels tegenover 59% in de Oosterschelde.

4.2 Ontwikkeling van het mossel- en kokkelbestand.

Een positieve correlatie tussen de fosfaatvrachten vanuit de Rijn en de produktie van mosselen in de westelijke Waddenzee, een verband dat eerder in Boddeke & Hagel (1991) is gesuggereerd, lijkt vooral een gevolg van een waarschijnlijk toevallige samenloop in de ontwikkeling van de fosfaatvrachten en het optreden van zachte en strenge winters in de jaren tachtig en negentig. Wordt een eventuele invloed van de nutriëntenvrachten en wintertemperaturen op de aanvoer van mosselen door middel van het berekenen van paretiële correlaties uit elkaar gehaald, dan blijkt 40% van de variatie in mosselaanvoer te kunnen worden verklaard met de watertemperaturen voorafgaand aan de winter waarin de aangevoerde mosselen zijn geboren. Partiële correlaties tussen vrachten en mosselproduktie blijken bij "constante" wintertemperaturen daarentegen niet meer te kunnen worden aangetoond. De door Boddeke en Hagel (1991) getoonde trend wordt daarbij versterkt doordat daarin ook de aanvoer van mosselen in de periode dat het percelenareaal werd opgebouwd is betrokken en door het in 1967 gewijzigde veilsysteem.

De veranderingen in de mosselaanvoer en het kokkelbestand vertonen duidelijke paralellen. De omvang van het kokkelbestand blijkt eveneens positief gecorreleerd met de fosfaatvrachten, waarbij ook dit verband vervaagt wanneer daarbij de invloed van het optreden van strenge en zachte winters wordt verrekend. Met de wintertemperaturen voorafgaand aan de broedval blijkt 44 % van de variatie in het bestand in de jaren daarna te kunnen worden verklaard.
Voor het Balgzand constateerde Beukema (1992) al eerder dat de ontwikkeling van het kokkel- en mosselbestand vooral samenhangt met fluctuaties in de broedval na zachte en strenge winters. De ontwikkeling van de biomassa van kleine bodemdieren op het Balgzand vertoont overigens wel een min of meer synchrone ontwikkeling met de eutrofiëring van de Waddenzee. Het betreft daarbij vooral deposit-feeders en dan met name een aantal polychaeten zoals de wapenworm *(Heteromastus)* en de zeeduizendpoot *(Nereis)* (Beukema, 1991, 1992).
In de wijze waarop variaties in de wintertemperaturen doorwerken in het broedvalsucces van schelpdieren is maar beperkt inzicht (Dijkema, 1993). Een falende broedval als gevolg van een te geringe produktie van larven is onwaarschijnlijk, gegeven dat juist na strenge winters door sterfte het ouderbestand van met name kokkels extreem laag kan zijn. Vermoed wordt dat een verhoging van de overlevingskansen van de jongste levensstadia na strenge winters als gevolg van een verminderde predatie en/of een betere kwaliteit van de geproduceerde larven doorslaggevend is voor het uiteindelijke recruitment van schelpdieren.

4.3 Produktie en biomassa van het fytoplankton

Aanwijzingen dat het voedselaanbod voor mosselen in de westelijke Waddenzee is gedaald als gevolg van de afgenomen fosfaatvrachten vanuit de Rijn zijn niet gevonden. Ook Cadée en Hegeman (1993) constateerden al dat de planktonproduktie en -biomassa nabij Texel in het Marsdiep zich nog steeds bevinden op het niveau van de de tachtiger jaren. Uitgaande van de gemiddelde chlorofylgehaltes in de gehele westelijke Waddenzee (MWTL-data) lijkt dit voor de het groeiseizoen van mosselen (juli-november) niet anders. Een mogelijke invloed van de relatief hoge fosfaatvrachten in de tachtiger jaren lijkt zich te beperken tot een verhoging van de maxima in planktonconcentraties tijdens de voorjaarsbloei. Gemiddeld over het gehele voorjaar (maart-juni) lijkt uitgaande van partiële correlaties het chlorofylgehalte van het water echter meer met de stikstof- dan met de fosfaatvrachten samen te hangen. Hetzelfde geldt voor het groeiseizoen van mosselen (juli-november). Ook op basis van het verloop in stikstof- en fosfaatconcentraties in de Waddenzee gaat, wanneer er al sprake is van nutriëntenlimitatie in de zomer, de aandacht in eerste instantie uit naar stikstof. Op basis van de ratio's opgeloste nutriënten en bioassays constateren ook Peters et al. (1993) dat in de zomer stikstof potentieel limiterend is voor voor de planktonproduktie in de kustzone van de Noordzee.
Opgemerkt moet worden dat effecten van een verminderd nutriëntenaanbod teniet kunnen zijn gedaan door het verbeterde lichtklimaat als gevolg van het helderder worden van de Waddenzee na 1985. De toename van de chlorofylgehalten in het najaar (september-november) is mogelijk een aanwijzing dat de verbetering van het lichtklimaat als gevolg van de gedaalde concentraties zwevende stof een merkbare uitwerking heeft op de planktonproduktie.

5. Conclusies

Uitgaande van het vleesghalte van gekweekte mosselen in het najaar blijken de groeiomstandigheden voor schelpdieren in de westelijke Waddenzee sinds de vijftiger jaren geleidelijk aan te zijn verbeterd. Van een verminderde groei als gevolg van de sinds de halverwege jaren tachtig gedaalde fosfaat- en stikstofvrachten uit de Rijn en IJsselmeer lijkt tot op heden geen sprake.
Jaarlijkse verschillen in mosselgroei blijken wel sterk gecorreleerd met veranderingen in de concentraties zwevende stof van het water in de Waddenzee. Deze zijn sinds de tachtiger jaren ongeveer gehalveerd, met als resultaat dat de kwaliteit van het zwevende materiaal als voedsel voor schelpdieren en daarmee de groei van mosselen konden toenemen. Ook effecten van eutrofiëring op de aanvoer van mosselen en de bestandsgroottes van kokkels blijken niet aantoonbaar.
Fluctuaties in de bestanden van mosselen en kokkels lijken vooral samen te hangen met het optreden van zachte en strenge winters, waarbij na koude winters de broedval in het algemeen goed is, gevolgd door relatief grote schelpdierbestanden in de jaren daarna.
In hoeverre verdere reducties van de vrachten stikstof en fosfaat de produktiviteit van de Waddenzee en daarmee de groei en de produktie van schelpdieren kunnen beïnvloeden is onduidelijk. Gezien het feit dat in de zomers en mogelijk ook in het voorjaar stikstof potentieel limiterend is voor de planktonproduktie, lijken in dit verband met name effecten van de nog te verwezenlijken reduktie in de stikstofvrachten van belang.

6. Literatuur

Anonymus, 1993. Vissen naar evenwicht. Structuurnota zee- en kustvisserij, ministerie van LNV.

Anonymus, 1993b. Jaarboek monitoring Rijkswateren. DGW-RIZA, Den Haag 1993.

Anonymus, 1987. Effecten van de kokkelvisserij in de Waddenzee. RIN-rapp. 87/18, IBN-Texel

Beukema, J.J., 1976. Biomass and species richness of the macrobenthic animals living on a tidal flat area in the Dutch wadden Sea. Neth. J. Sea Res. 10: 236-261.

Beukema, J.J. en G.C. Cadée, 1986. Zoobenthos responses to eutrophication of the Dutch Wadden Sea. Ophelia, 26: 55-64.

Beukema, J.J., 1989. Long-term changes in macrobenthic abundance of the tidal flats of the western part of the Wadden Sea. Helgol. Meeresunters. 43: 405-415.

Beukema, J.J., 1991. Changes in composition of bottomfauna of a tidal-flat area during a period of eutrophication. Mar. Biol. 111: 293-301.

Beukema, J.J., 1992. Long term and recent changes in the benthic macrofauna living on tidal flats in the western part of the Wadden Sea. Neth. Inst. Sea Res. Publ. Ser. 20: 135-142.

Beukema, J.J., 1992. Expected changes in the Wadden Sea benthos in a warmer world: lessons from periods with mild winters. Neth. J. Sea Res. 30: 73-79.

Boddeke, R. en P. Hagel, 1991. Eutrophication of the North Sea coastal zone, a blessing in disguise. ICES C.M. 1991/E:7.

Cadée G.C. en J. Hegeman, 1974. Primary production of phytoplankton in the Wadden Sea. Neth. J. Sea Res. 8: 260-291.

Cadée G.C. en J. Hegeman, 1993. Persisting high levels of primary proconcurrention at declining phosphate concentrations in the Dutch coastal area (Marsdiep). Neth. J. Sea. Res. 31:147-152.

Coosen, J.C, F Twisk, M.W.M. van der Tol, R.H.D. Lambeck, M.R. van Stralen & P.M. Meire, 1994. Variability in stock assessment of cockles *Cerastoderma edule* L. in the Oosterschelde (in 1980-1990), in relation to environmental factors. Hydrobiologia 282/283: 381-396.

Dankers, N., Koelemay K., 1989. Variation in the mussel population of the Dutch Waddensea in relation to monitoring. Helgol. Meeresunters. 43: 529-535.

Dankers, N., 1993. Integrated estuarine management - obtaining a sustainable yield of bivalve resources while maintaining environmental quality. In: Dame R.F., 1993. Bivalve filterfeeders in estuarine and coastal ecosystem processes. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Dekker, R. 1989. The macrozoobenthos of the subtidal Dutch Wadden Sea I. Biomass and species richness. Neth. J. Sea Res. 23: 57-68.

Dijkema, R., 1993. Spatfall and recruitment of mussels (*Mytilus edulis*) and cockles (*Cerastoderma edule*) on different locations along the European coast. ICES C.M. 1993/K:62.

Essink, K. and A.H. Bos, 1985. Growth of three bivalve molluscs transplantated along the axis of the Ems estuary. Neth. J. Sea Res., 19: 45-51.

Essink, K., P. Tydeman, F. De Koning and H.L. Kleef, 1993. On the adaptions of mussels (*Mytilus edulis* L.) to different environmental concentrations. Oceanologica, in press.

Fransz, H.G., S.R. Gonzalez, G.C. Cadée, F.C. Hansen, 1992. Long term change of Temora longicornis (Copepoda, Clanoida) abundance in a Dutch tidal inlet (Marsdiep) in relation to eutrophication. Neth. J. Sea Res.:30: 23-32.

Jansen, G.M. 1993. De eutrofiëring van de Noordzee en de Waddenzee, een tussenbalans. Zien we al resultaten van het saneringsbeleid. H2O 26(4): 86-91.

Jonge V.N., 1990. Reactie van ecosysteem van het Nederlandse Waddengebied op fosforlozingen vanuit het stroomgebied van de Rijn. Rapport RWS GWWS-90.063.

Jonge, V.N. and K. Essink, 1991. Long term changes and nutrient loads and primary and secondary producers in the Dutch Wadden Sea. In: Elliot M., J.P. Ducotoy (eds.), Estuaries and coasts: Spatial and temporal intercomparisons. Olsen&Olsen, Fredensborg, Denmark: 307.

Jonge V.N. en K. Essink, 1992. Lange termijn veranderingen in nutriëntebelasting en daarmee gepaard gaande primaire en secundaire produktie in de Nederlandse Waddenzee. RWS-DGW rapport DGW-92.002.

Jonge, V.N. en D.J. de Jong, 1992. Role of light, tide and fisheries in the decline of Zostera marina L. in the Dutch Wadden Sea. Proc. of the 7th International Wadden Sea Symposium, Ameland, The Netherlands. Neth. Inst. Sea Res., Publiaction Series no 20: 161-176.

Kiørboe T, and F. Møhlenberg, 1981. Particle selection in bivalve suspension feeding bivalves. Mar. Ecol. Progr. Ser., 5: 291-296.

Klein, A.W.O en J.T. van Buuren, 1992. Eutrophication on the North Sea in the Dutch Coastal zone 1976-1990. Tidal Waters Division, report DGW-92.003.

Maiwald en Verhagen, 1991. Trendanalyse van zwevende stof gegevens van de Waddenzee. rapp. T-753 Waterloopkundig Laboratorium Delft, i.o.v. RWS-DGW.

Maiwald en Verhagen, 1992. Troebelheid van de Nederlandse zoute wateren. rapp. T-911 Waterloopkundig Laboratorium Delft, i.o.v. RWS-DGW.

Mann K.H. 1993. Physical oceanography, food chains and fish stocks: a review. ICES J. Mar, Sci. 50:105-119.

Peeters, J.C.H, H. Haas, L.P. Peperzak, en I. de Vries, 1993. Nutrients and light as factors controlling phytoplankton biomass on the Dutch continental shelf (North Sea) in 1989-1990. Report DGW-93.004.

Prins, T.C. en A.C. Smaal, 1989. Carbon and nitrogen budgets of the mussel *Mytilus edulis* L. and the cockle *Cerastoderma edule* L. in relation to food quality. In : Ros, J.D. (ed.) 1989. Topics in Marine Biology Scient. Mar., 53(2-3): 477-482.

Theisen, B.F., 1982. Variation in size of gills, labial palps and adductor muscle in *Mytilus edulis* L. from Danish waters. Ophelia, 21:49-63.

Smaal, A.C. en M.R. van Stralen, 1990. Average anual growth and condition of mussels as a function of food supply. Hydrobiologia 195: 179-188.

Stralen, M.R. van, 1990. Het kokkelbestand in de Oosterschelde en Waddenzee in 1990. RIVO-rapp. AQ 90-03.

Stralen, M.R. van, 1992. Het bestand mosselzaad in de Waddenzee in het voorjaar van 1992. RIVO-rapp AQ 92-06.

Stralen, M.R. van, R. Dijkema, 1994. Mussel culture in a changing environment: the effects of a coastal engineering project on mussel culture (*edulis*) in the Oosterschelde estuary (SW Netherlands). Hydrobiologia 282/283: 359-279.

Sokal, R.R. and Rolph, F.J. Rohlf, 1981. Biometry. W.H. Freeman and co. San Fransisco.

Veer, W. van der, W van Raaphorst en M.J.N. Bergman, 1989. Eutrophication of the Dutch Wadden Sea: external nutrient loadings of the Marsdiep and Vliestroom basin. Helgoländer Meeresunters. 43: 501-515>

Vries, I de, J Los, R. Jansen, S Cramer, M. v.d. Tol, 1993. Risicoanalyse eutrofiëring Noordzee. Rapport DGW-93.029.

Vlas, J de, 1982. De effecten van de kokkelvisserij op de bodemfauna van de Waddenzee en de Oosterschelde. RIN-rapport 82/19 Texel.

Wetsteyn, L.P.J.M., and J. Kromkamp, 1994. Turbidity, nutrients and phytoplankton production in the Oosterschelde (Netherlands) before, during and after a large scale coastal engineering projesct (1980-1990). Hydrobiologia 282/283: 61-78.

Widdows, J., Fieth, P. & Worall, C.M., 1979, Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. Mar, Biol. 50, 195-207.

Wulfraat, K.J., T Smit, H. Groskamp, en A de Vries (1993). De belasting van de Noordzee met verontreinigende stoffen, 1980-1990. Rapport DGW-93.xx.

7. Lijst van figuren en tabellen

fig. 1 Kaart van de Westelijke Waddenzee met percelen en meetlocaties.

fig. 2 Maandgemiddelde vleesgehalten van aangevoerde mosselen uit de Waddenzee sinds 1952.

fig. 3 (a) Tien-jaar gemiddelde vleesgehalten van mosselen en (b) het seizoensverloop.

fig. 4 Tien-jaar gemiddelde aanvoer van mosselen uit de Waddenzee.

fig. 5 Maandgemiddelde chlorofylgehalten op zes locaties in de Westelijke Waddenzee.

fig. 6 Gemiddelden per maand in de periode 1973-1992 van: (a) vleesgehalte van mosselen en het chlorofylgehalten, (b) zwevendestofgehalten, (c) vrachten totaal- en opgelost-P vanuit het IJsselmeer, (d) idem voor stikstof, (e) P- en N-concentraties in de Waddenzee.

fig. 7 Gemiddelden per jaar over de periode 1950-1992 van: (a)vleesgehalte van mosselen in het najaar, (b) de aanvoer van mosselen en het kokkelbestand, (c) aanwezigheid van pokken op mosselen, (d) wintertemperaturen, (e) vrachten fosfaat vanuit de Rijn en het IJsselmeer, (f) idem voor stikstof.

fig. 8 Gemiddelden per jaar in de periode 1970-1992 van: (a) het vleesgehalte van mosselen in het najaar, (b) chlorofylgehalte per jaar en in het voorjaar, (c) chlorofylgehalte in het groeiseizoen van mosselen en in het najaar, (d) de jaartotale primaire produktie (e) biomassa van het mossel- en het kokkelbestand, (f) debieten vanuit het IJsselmeer, (g) concentraties zwevende stof, (h) voedselkwaliteit, (i) concentraties PO4-P, (j) idem stikstof, (k) vrachten PO4-P, (l) idem voor stikstof .

fig. 9 Het seizoensverloop nutriëntenconcentraties Waddenzee.

fig. 10 Het vleesgehalte van mosselen in het najaar als functie van:(a en b) het chlorofylgehalte in het groeiseizoen van mosselen en het najaar, (c en d) voedselkwaliteit, (e en f) concentraties zwevende stof.

fig. 11 Het vleesgehalte van mosselen in het najaar als functie van (a) primaire produkie, (b) de mosselbiomassa op percelen, (c) vrachten PO4-P vanuit het IJsselmeer, (d) idem stikstof , (e) vrachten PO4-P vanuit de Rijn, (f) idem stikstof.

fig. 12 De mosselaanvoer en het kokkelbestand als functie van: (a en b) de vrachten PO4-P vanuit de Rijn, (b en c) idem stikstof, (e en f) wintertemperaturen voorafgaand aan de broedval.

fig. 13 (a en b) het chlorofylgehalte in het voorjaar als functie van de vrachten opgelost fosfaat en stikstof in de voorgaande winter en het voorjaar vanuit het IJsselmeer, (c en d) chlorofylgehalte in het groeiseizoen van mosselen als functie de opgelost fosfaat en stikstof vrachten vanuit het IJssel, (e en f) idem als functie de opgelost fosfaat en stikstofconcentraties in de Waddenzee.

fig. 14 (a) het chlorofylgehalte als functie van de omvang van het mossel- en kokkelbestand, (b) het kokkelbestand versus het mosselbestand, (c en d) concentraties P en N als functie van de jaarvrachten, (e en f) vrachten P en N vanuit het IJsselmeer als functie van de debieten.

tabel 1 Correlatiematrix (1976 - 1992) m.b.t. het vleesgehalte van mosselen.

tabel 2 Correlatiematrix (1976 - 1992) m.b.t. de ontwikkeling van het fytoplankton.

tabel 3 Correlatiematrices m.b.t. de aanvoer van mosselen en het mosselbestand.

tabel 4 Correlatiematrix (1971 - 1992) m.b.t. de ontwikkeling van het kokkelbestand.

8. Figuren en tabellen

fig. 1 De Westelijke Waddenzee met daarin de gebieden die in gebruik zijn voor de kweek van mosselen (zwart) en de deelgebieden "Noord" (Terschelling" e.o.), "Midden" en "West" (Den Oever).
Tevens is de ligging aangegeven van de stations uit het MWTL-programma (Anon., 1993b) en de locatie (P) in het Marsdiep waar primaire-produktiemetingen plaatsvinden door Cadée en Hegeman (1993).

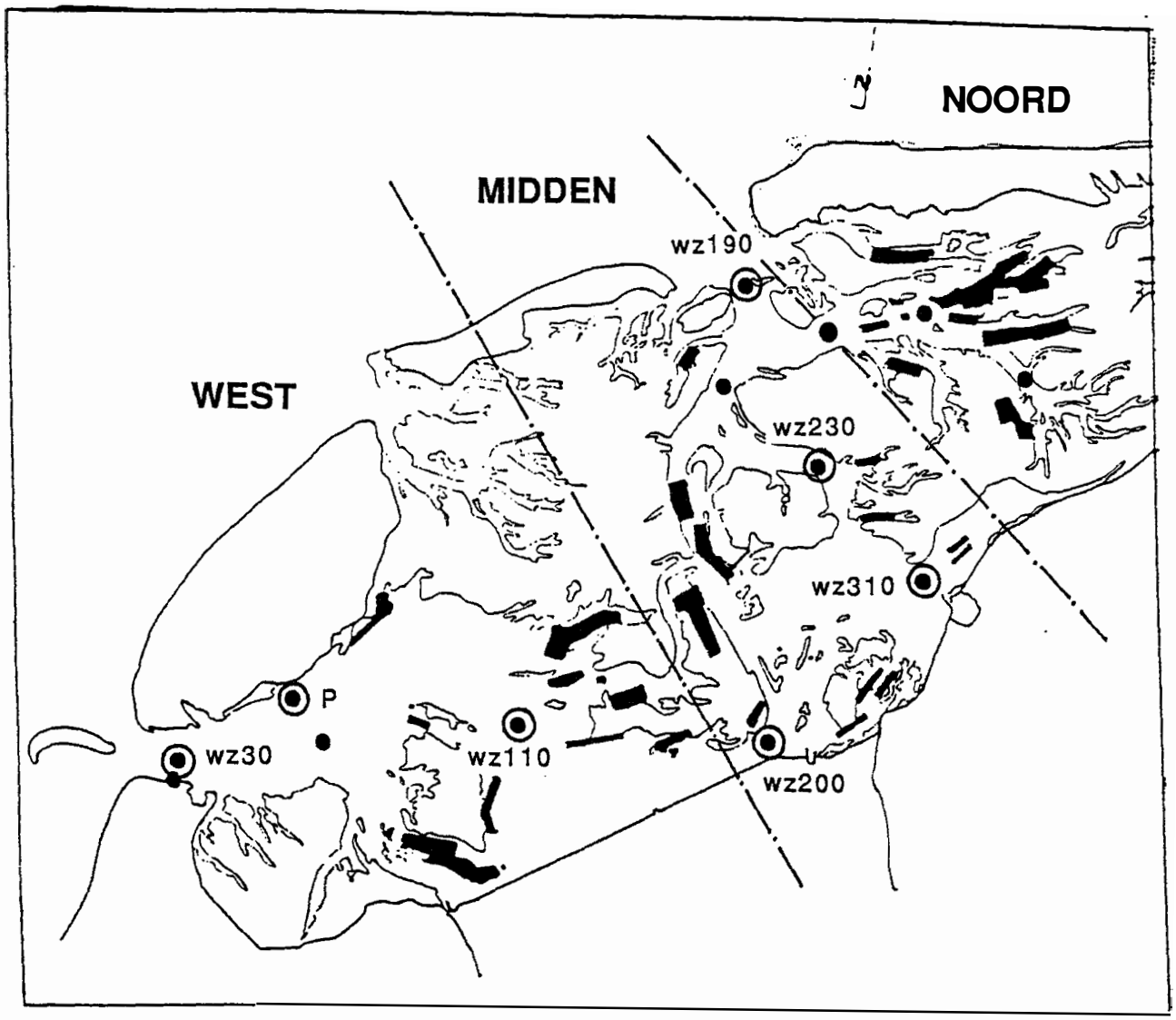


fig. 2 Maandgemiddelde vleesgehalten van consumptiemosselen uit de Waddenzee sinds 1952. De open punten in de grafiek betreffen maandgemiddelden die zijn gebaseerd op minder dan 10 leveringen. (bron: PV).

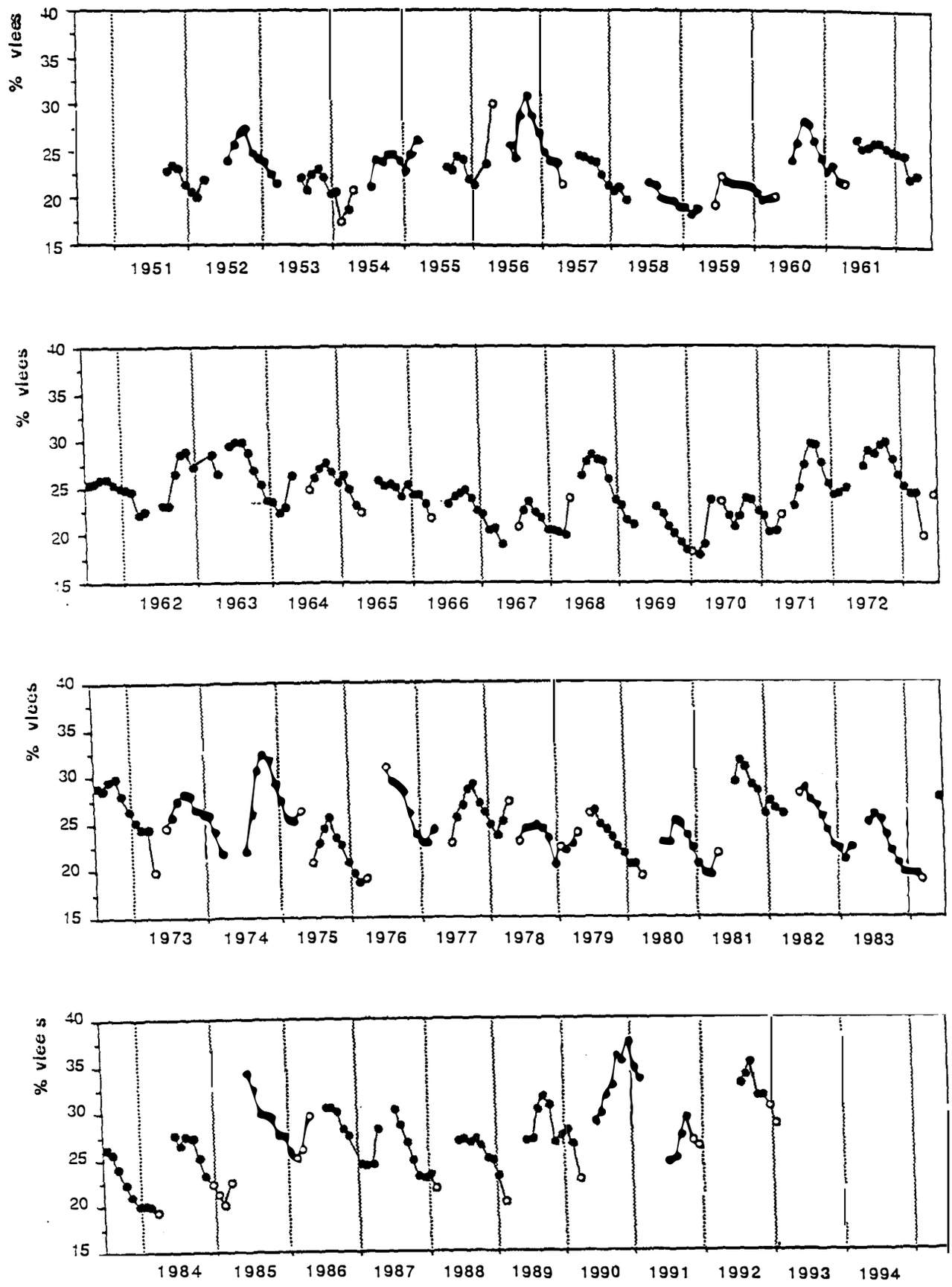


fig. 3 (A) Het gemiddelde vleesgehalte van aangevoerde consumptiemosselen in de maanden augustus t/m november over perioden van tien jaar
(B) Het seizoensverloop in vleesgehalten van mosselen die sinds 1952 zijn aangevoerd .

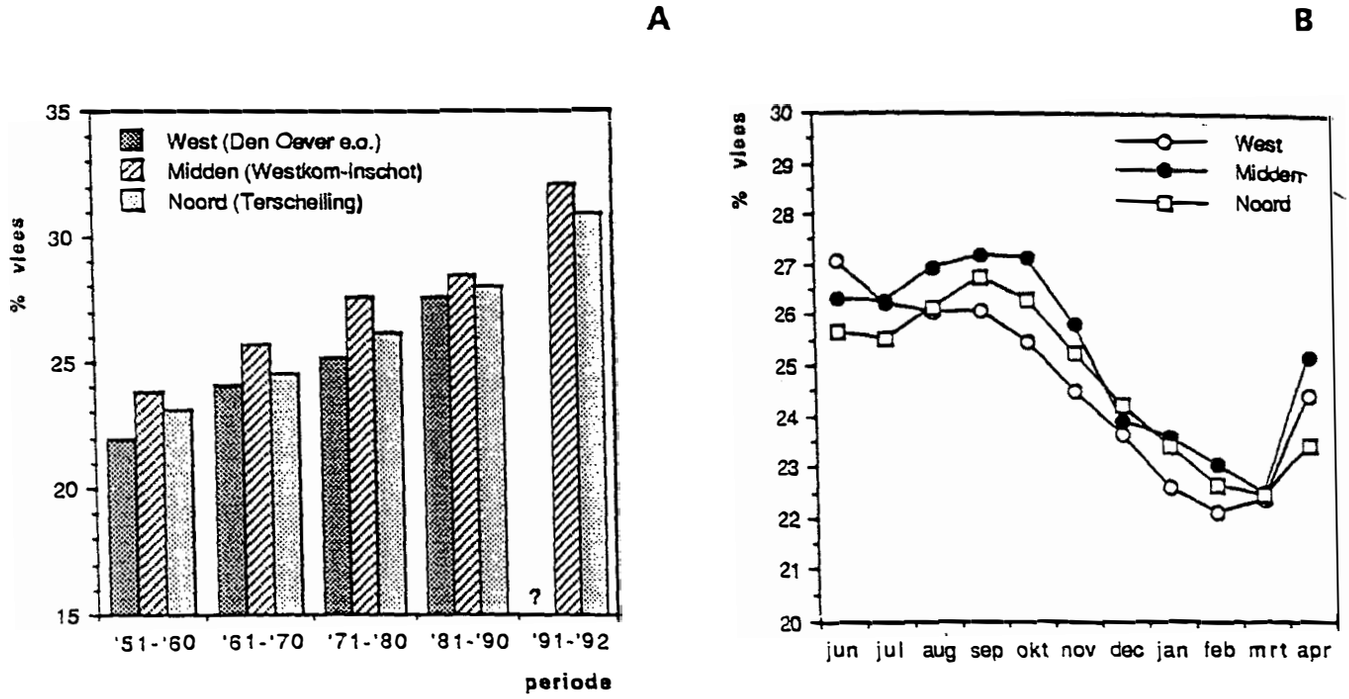


fig. 4 Gemiddelde aanvoer van mosselen uit de Waddenzee na 1952 na over perioden van 5-10 jaar.

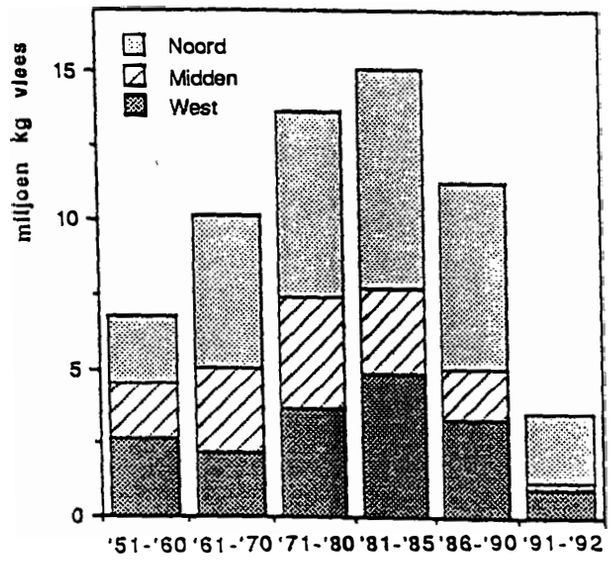
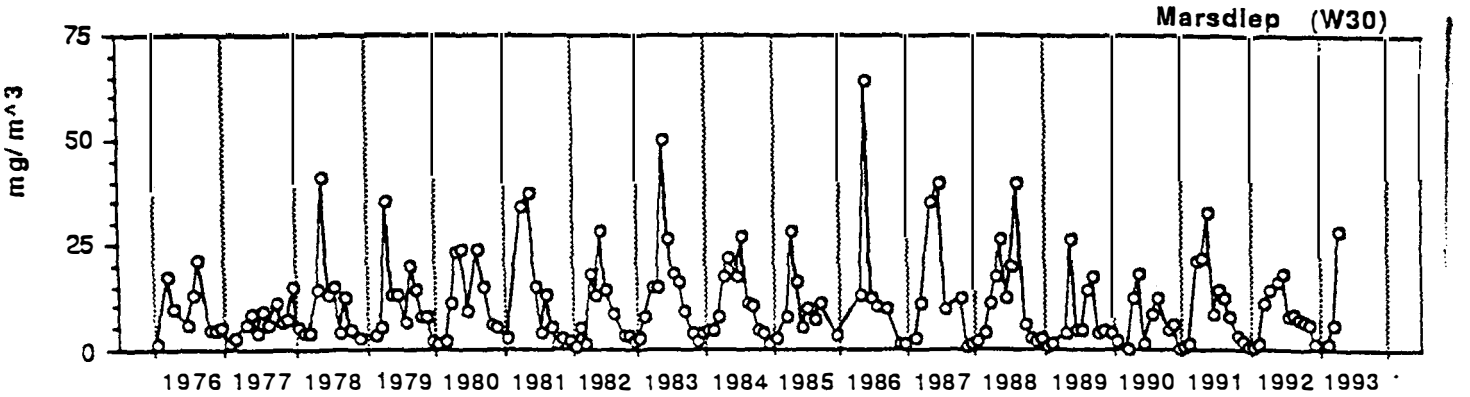
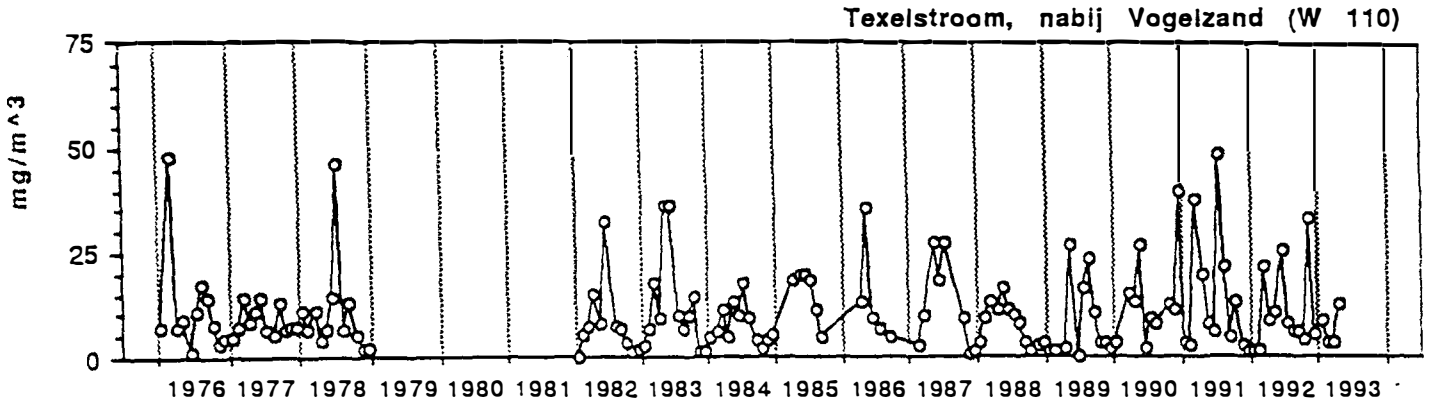


fig. 5 Maandgemiddelde chlorofylgehalte in mg/m3 op de locaties wz30,wz110, wz190, wz200, wz230, wz310 in de Westelijke Waddenzee. Bron: MWTL (Anon. 1993b)





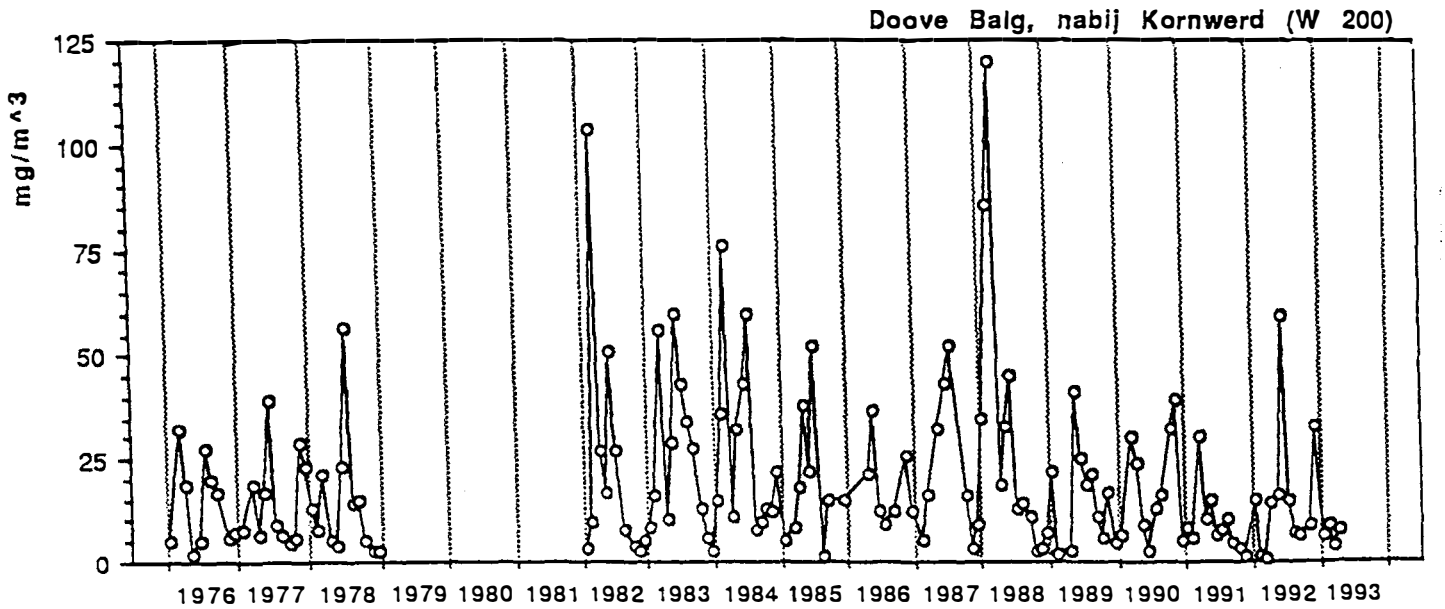
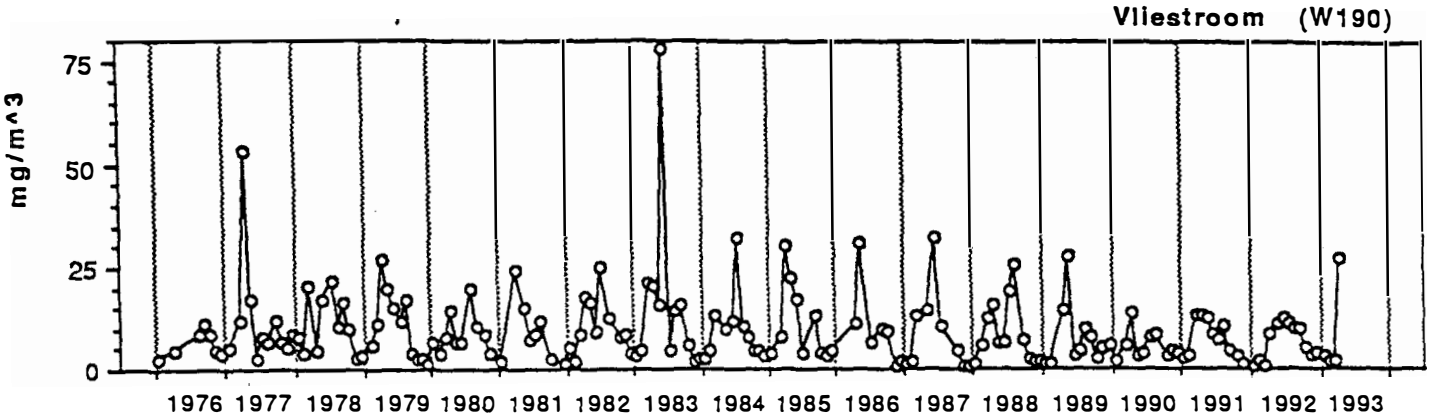
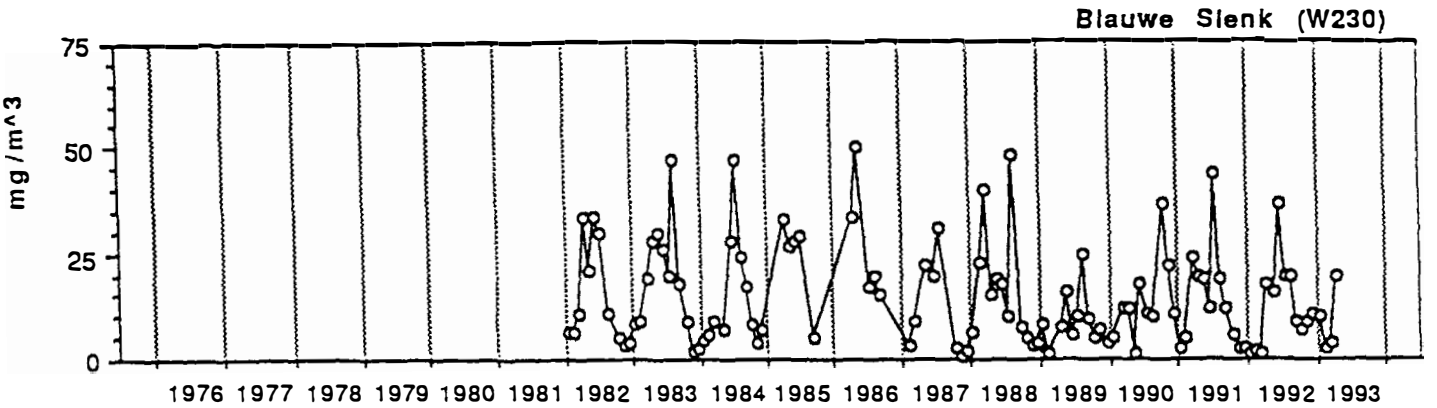


fig. 5 vervolg





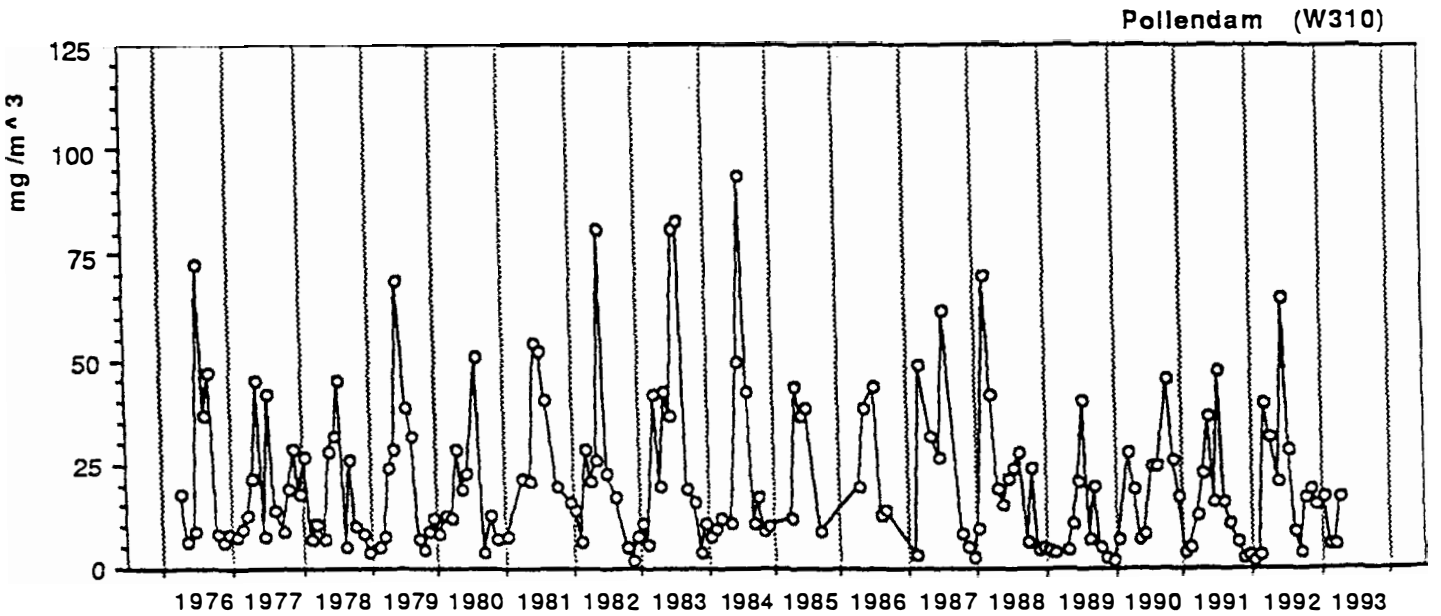


fig. 6 Ontwikkelingen per maand in de periode 1973-1992 van:

A het gemiddeld vleesgehalte van mosselen en het chlorofylgehalte van het water in de Westelijke Waddenzee in mg/m3,

B het gemiddelde zwevendestofgehalten in de Westelijke Waddenzee in mg/l,

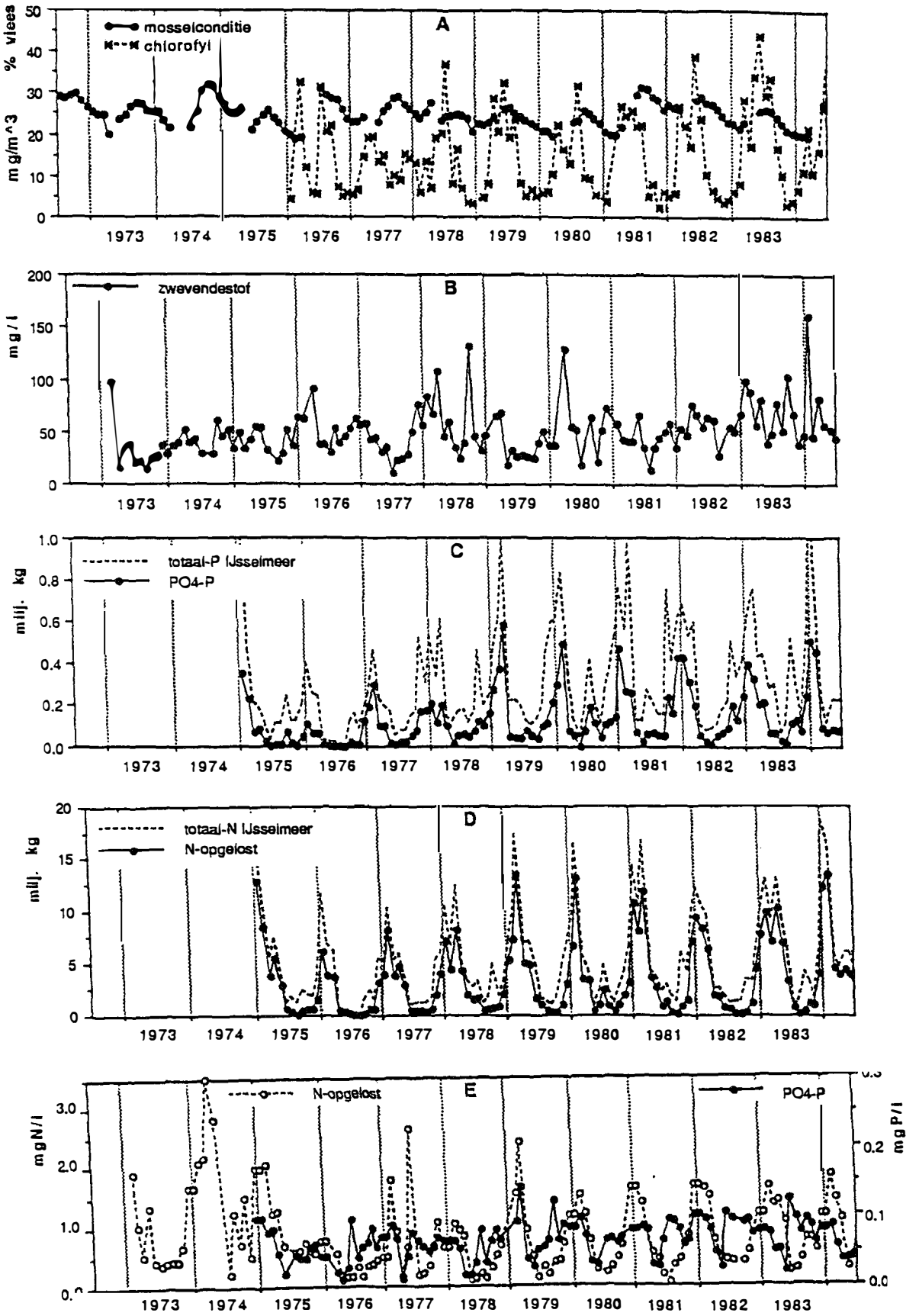


fig. 6 vervolg

C de vrachten totaal- en opgelost-fosfor vanuit het IJsselmeer in miljoen kgP/maand,

D idem voor stikstof in miljoen kgN/maand,

E de concentraties fosfaat en opgelost stikstof in mg P en N/l in de Waddenzee.

bron: aanvoerstatistieken PV en MWTL (Anon. 1993).

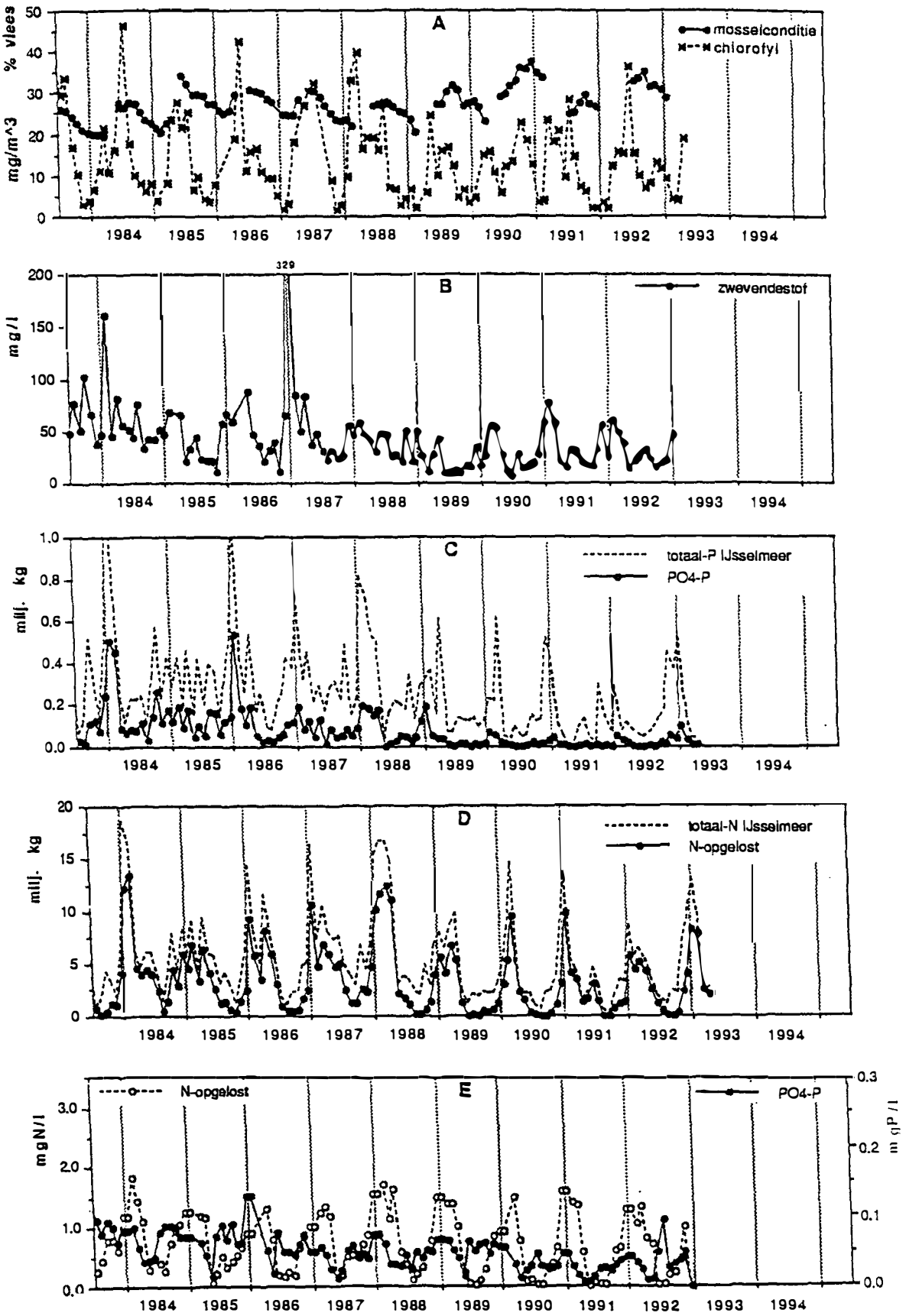


fig. 7 Ontwikkeling van jaar tot jaar over de periode 1950-1992 van:

A het gemiddeld vleesgehalte mosselen in het najaar (augustus-november),

B de aanvoer van mosselen per leveringsseizoen (juli-april) en het bestand aan kokkels in augustus (div. bronnen, zie tekst), beide in miljoen kg vlees,

C aanwezigheid van pokken op mosselen in juli en augustus, tot 1969 uitgedrukt als het percentage mosselen met pokken, daarna in grammen pokken per 2.5 kg verse mosselen. Gegevens over pokken na 1985 zijn niet verzameld.

D Gemiddelde watertemperatuur van het water in het Marsdiep in de periode januari-maart.

E jaarvrachten opgelost fosfaat (PO4-P) vanuit de Rijn en het IJsselmeer in miljoen kgP.

F jaarvrachten opgelost stikstof vanuit de Rijn en het IJsselmeer in miljoen kgN.

bron: aanvoerstatistieken PV en MWTL (Anon. 1993).

fig. 7 vervolg

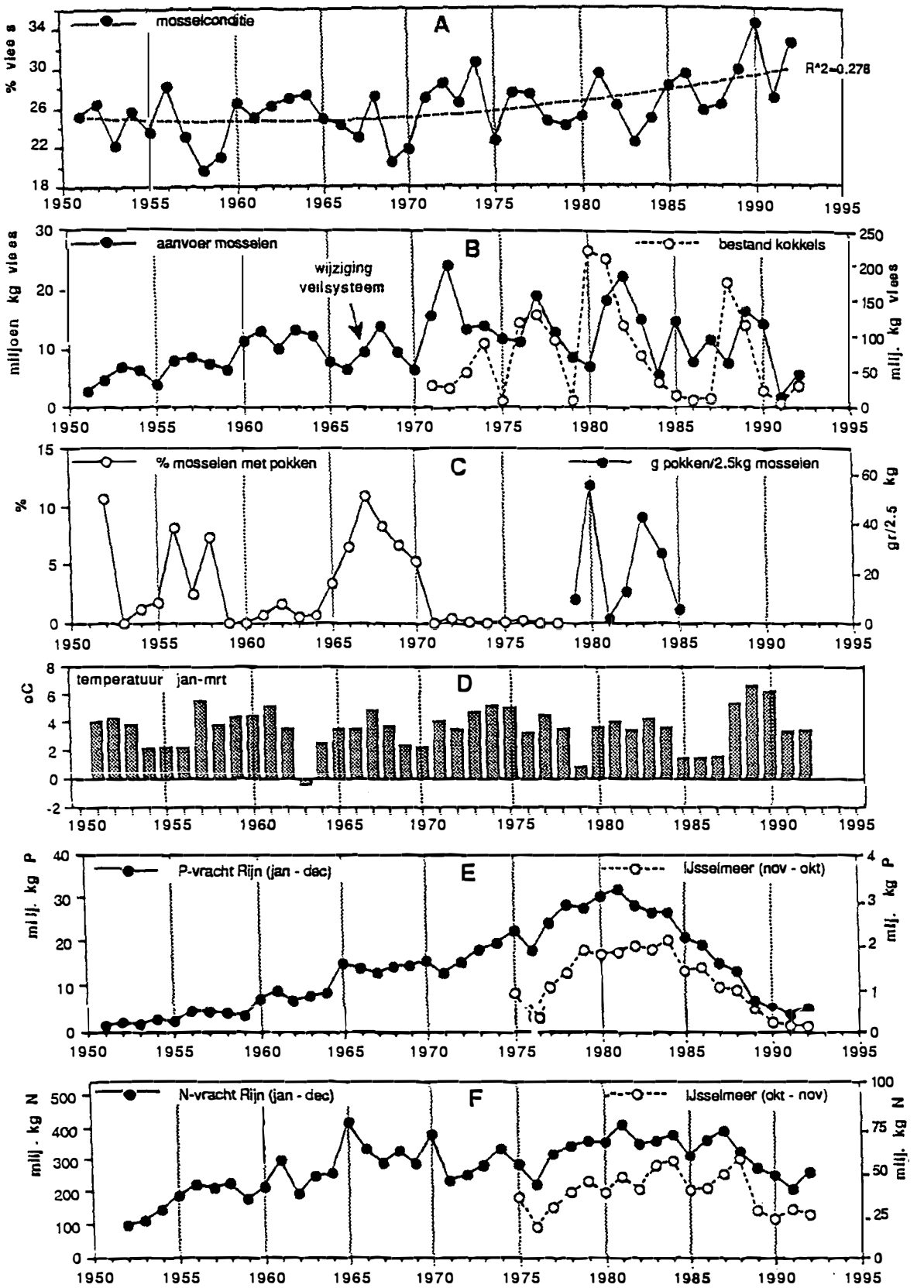


fig. 8 Gemiddelden per jaar in de periode 1970-1992 van:

A het gemiddeld vleesgehalte mosselen aangevoerd tussen augustus en november,

B het gemiddelde chlorofylgehalte per jaar en in het voorjaar (maart t/m juni) in mg/m3 (vanaf 1976),

C het gemiddelde chlorofylgehalte in het groeiseizoen van mosselen (juli t/m november en in het najaar (september t/m november) in mg/m3,

D de primaire produktie van het fytoplankton in mgC/m2/jr en het jaargemiddelde chlorofylgehalten in mg/m3 in het Marsdiep (naar Cadée en Hegeman, 1993).

E biomassa van het mosselbestand op percelen en het kokkelbestand in de Waddenzee in augustus, beide in miljoen kg vlees,

F waterafvoer vanuit het IJsselmeer in de periode november-oktober en juli-oktober in miljard m3,

G gemiddelde concentraties zwevende stof per jaar en in het groeiseizoen van mosselen (juli-november) in mg/l.

H kwaliteit van het zwevende materiaal als voedsel voor filterfeeders uitgedrukt als de hoeveelheid chlorofyl per eenheid zwevende stof in het groeiseizoen van mosselen en in het najaar,

I concentraties opgelost fosfaat (PO4-P) in de westelijke Waddenzee per jaar en in het groeiseizoen voor mosselen in mgP/l.

J idem voor concentraties opgelost stikstof in de westelijke Waddenzee in mgN/l.

K vrachten opgelost fosfaat (PO4-P) vanuit het IJsselmeer in de perioden november t/m oktober en juli t/m oktober in miljoen kgP.

L idem voor vrachten opgelost stikstof vanuit het IJsselmeer in miljoen kgN.

bronnen: aanvoerstatistieken PV en MWTL (Anon. 1993).

fig. 8 vervolg

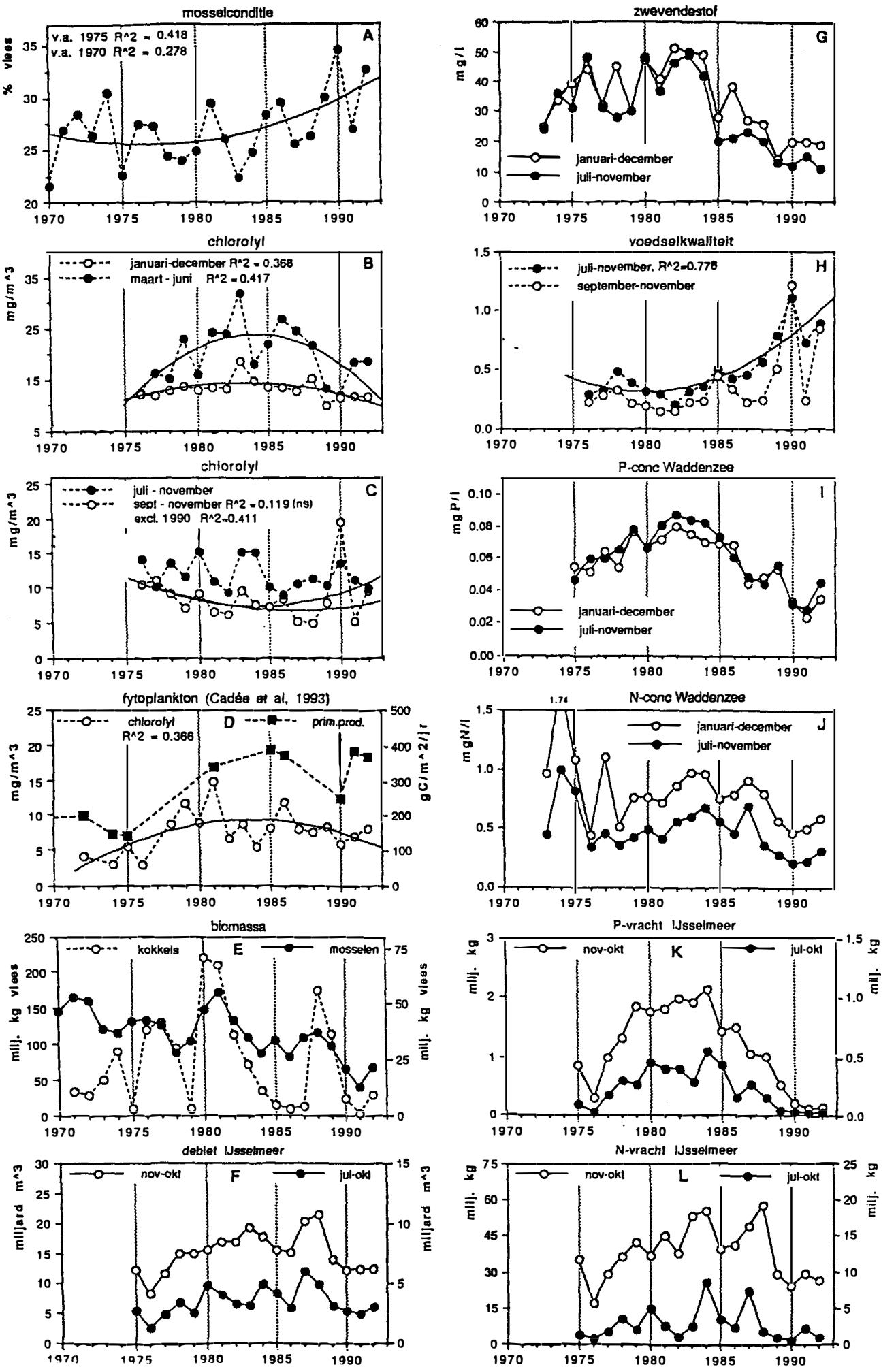


fig 9 Het seizoensverloop in gemiddelde concentraties PO_4-P en opgelost stikstof in de Westelijke Waddenzee tussen 1972 en 1992 (+/- s.e.).

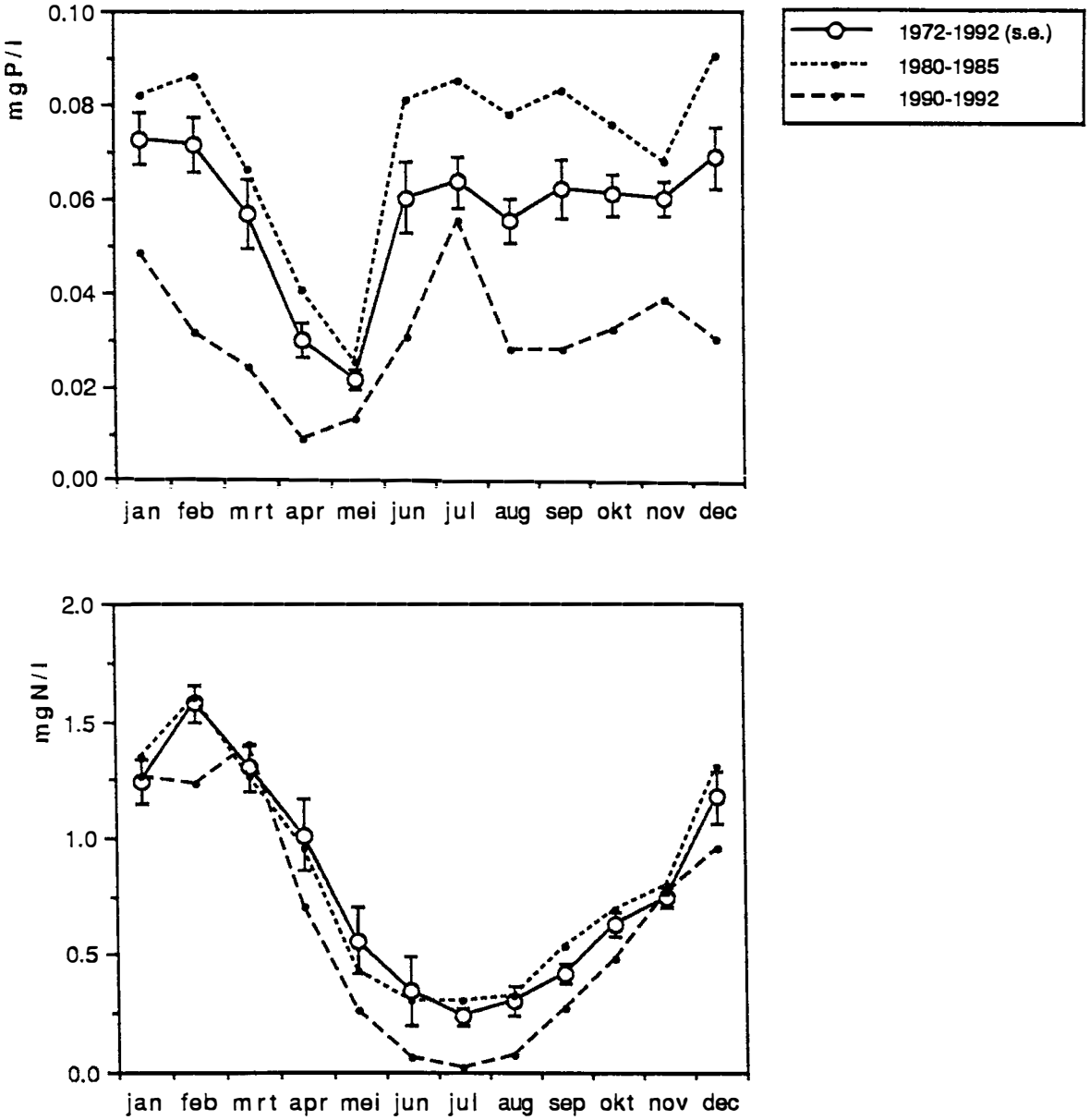


fig. 10 Het vleesgehalte van mosselen in het najaar als functie van:

A het gemiddelde chlorofylgehalte in mg/m3 in de westelijke Waddenzee in het groeiseizoen van mosselen (juni-november), (ns).

B het gemiddelde chlorofylgehalte in mg/m3 in het najaar (september-november), (voor de perioden 1976-1980 en 1985-1992 : $p<0.05$ resp. $p<0.05$).

C de kwaliteit van het zwevende stof in het mosselgroeiseizoen als voedselbron voor filterfeeders ($p<0.001$, $n=17$).

D idem voor het najaar($p<0.001$).

E en de gemiddelde concentraties zwevende stof in het groeiseizoen van mosselen in mg/l ($p<0.001$, $n=17$),

F idem voor het najaar ($p<0.01$).

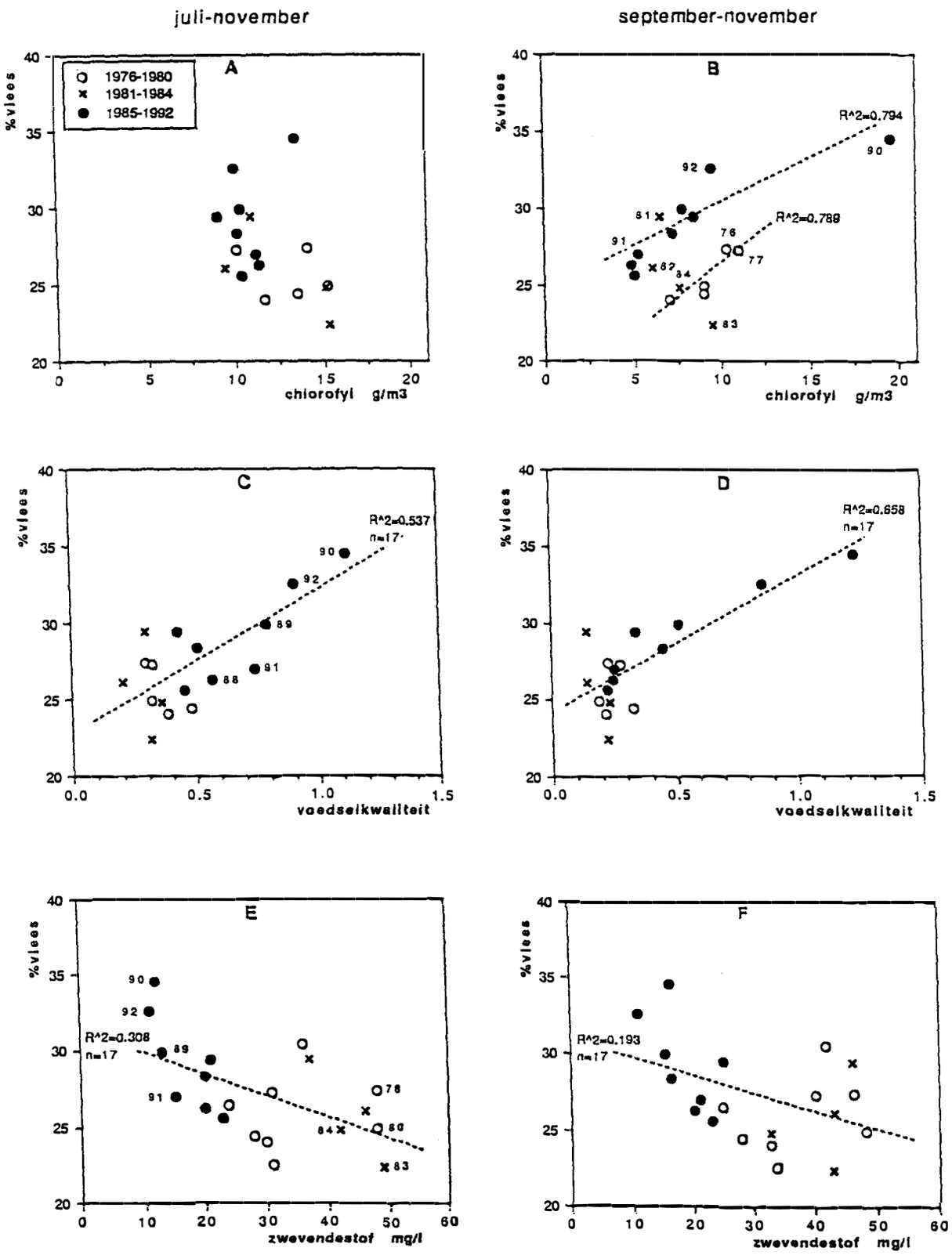


fig. 11 Het vleesgehalte van mosselen in het najaar als functie van:

A jaar-primaire produkie in het Marsdiep in mgC/m3/jr (naar Cadée en Hegeman, 1993), (r=.280, ns),

B de mosselbiomassa op percelen, zoals terugberekend uit de aanvoer van consumptiemosselen (ns),

C de totale vrachten PO4-P vanuit het IJsselmeer (*r*= -0.635 (!), p<0.001),

D de totale vrachten opgelost stikstof vanuit het IJsselmeer (p<0.01),

E de totale vrachten PO4-P vanuit de Rijn (ns),

F de totale vrachten opgelost stikstof vanuit de Rijn (ns).

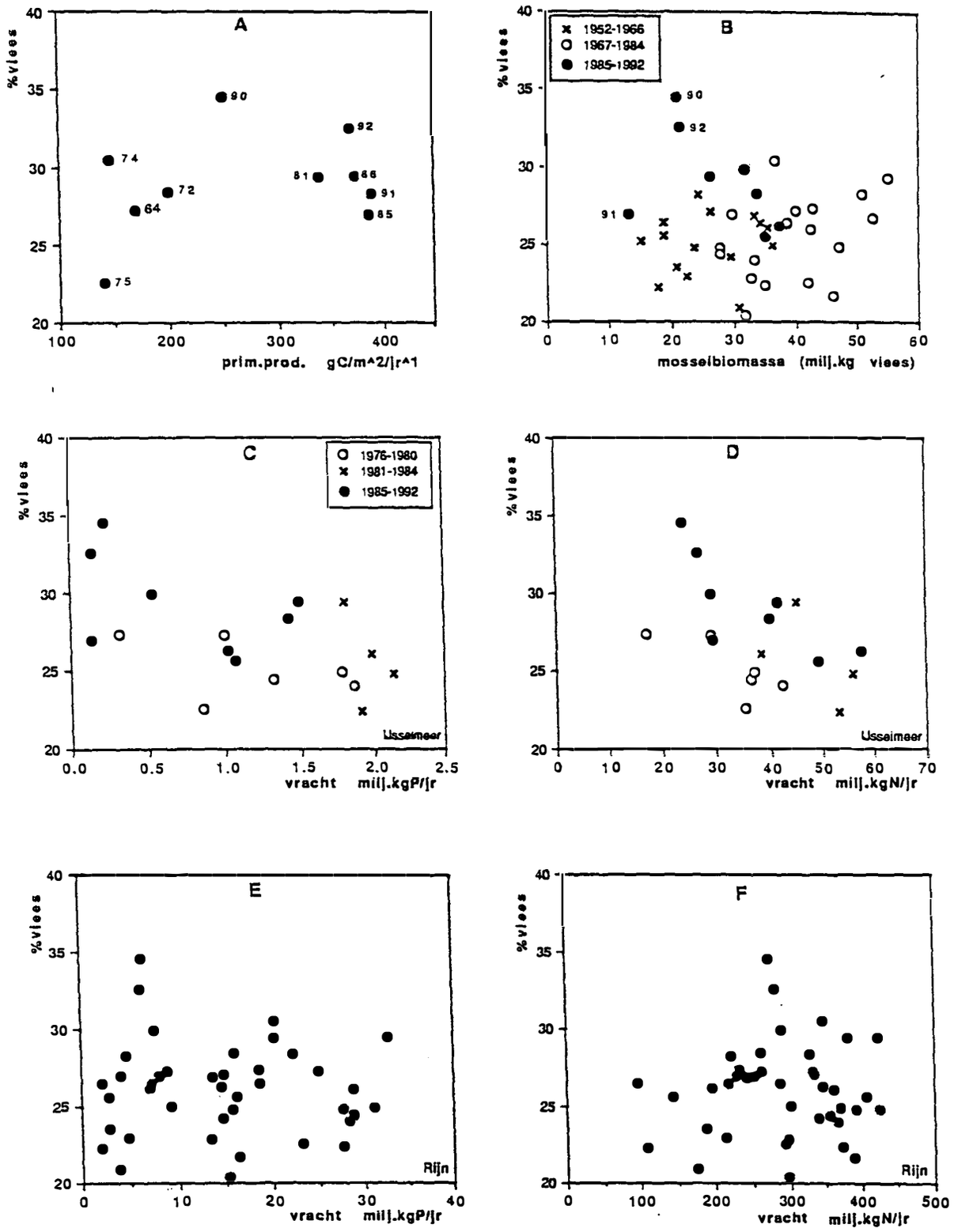


fig. 12 De aanvoer van mosselen en de omvang van het kokkelbestand als functie van:
A en B de gesommeerde vrachten PO4-P vanuit de Rijn in de drie resp. twee voorafgaande jaren ($p<0.05$, $p<0.05$),
C en D de gesommeerde vrachten opgelost stikstof vanuit de Rijn in de drie resp. twee voorafgaande jaren (ns, ns),
E en F minimum temperaturen in de winters voorafgaand aan de broedval ($p<0.05$, $p<0.05$).

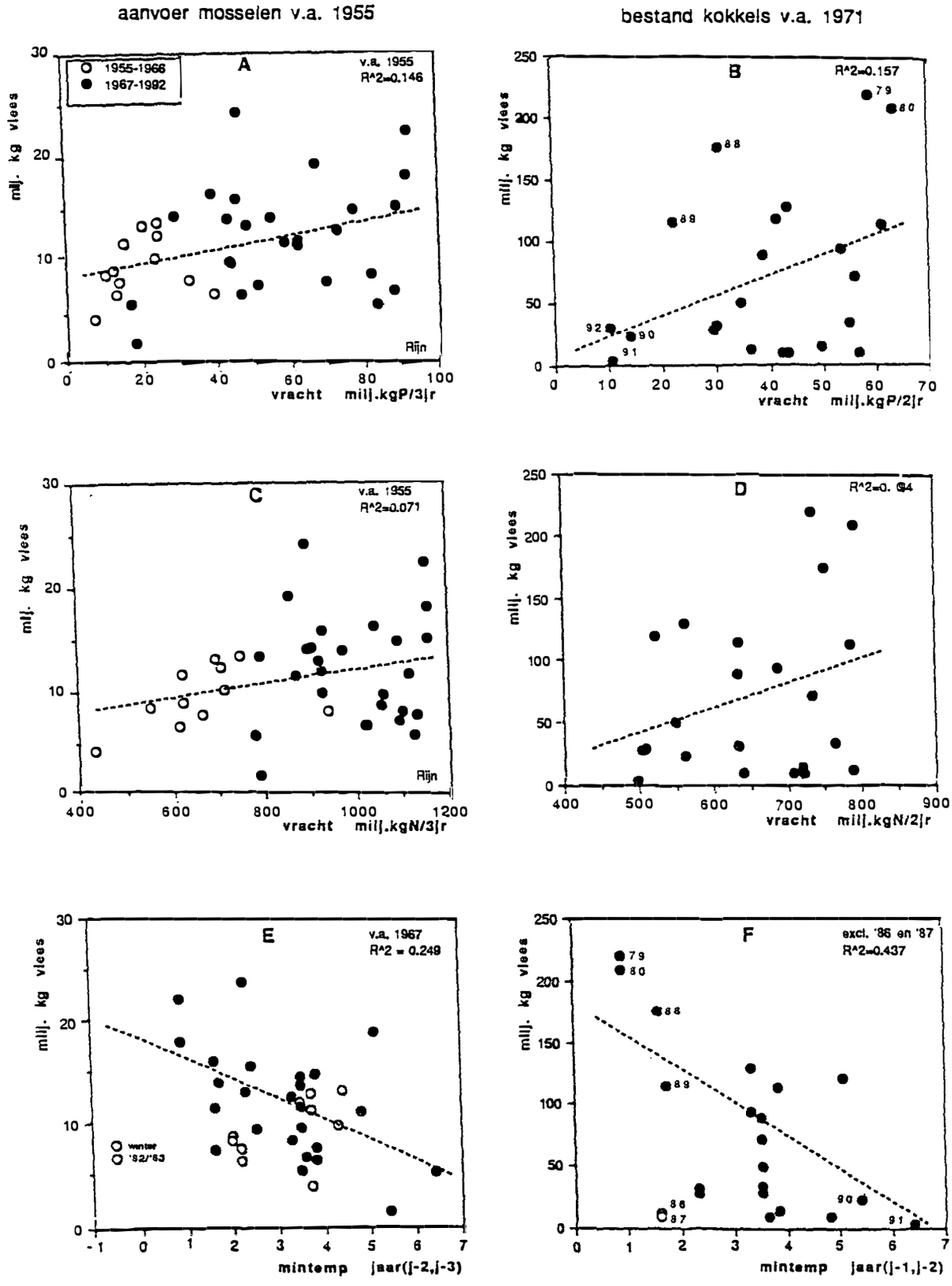


fig. 13 A Het gemiddelde chlorofylgehalte in mg/m3 in het voorjaar (maart-juni) als functie van de vrachten opgelost fosfaat vanuit het IJsselmeer in de voorgaande winter en voorjaar (november-juni) en alleen het voorjaar (maart-juni).

B Als A voor stikstofvrachten vanuit het IJsselmeer.

C Het gemiddelde chlorofylgehalte in mg/m3 in het groeiseizoen van mosselen (juli-november) als functie de vrachten opgelost fosfaat vanuit het IJsselmeer tussen november en oktober en juli en oktober.

D Als C voor stikstofvrachten vanuit het IJsselmeer.

E en F Het chlorofylgehalte in mg/m3 in het voorjaar en in het groeiseizoen van mosselen (juli-november) als functie de opgelost fosfaat en stikstofconcentraties in de Waddenzee in dezelfde periode.

Tenzij anders vermeld zijn de gepresenteerde correlaties niet significant.

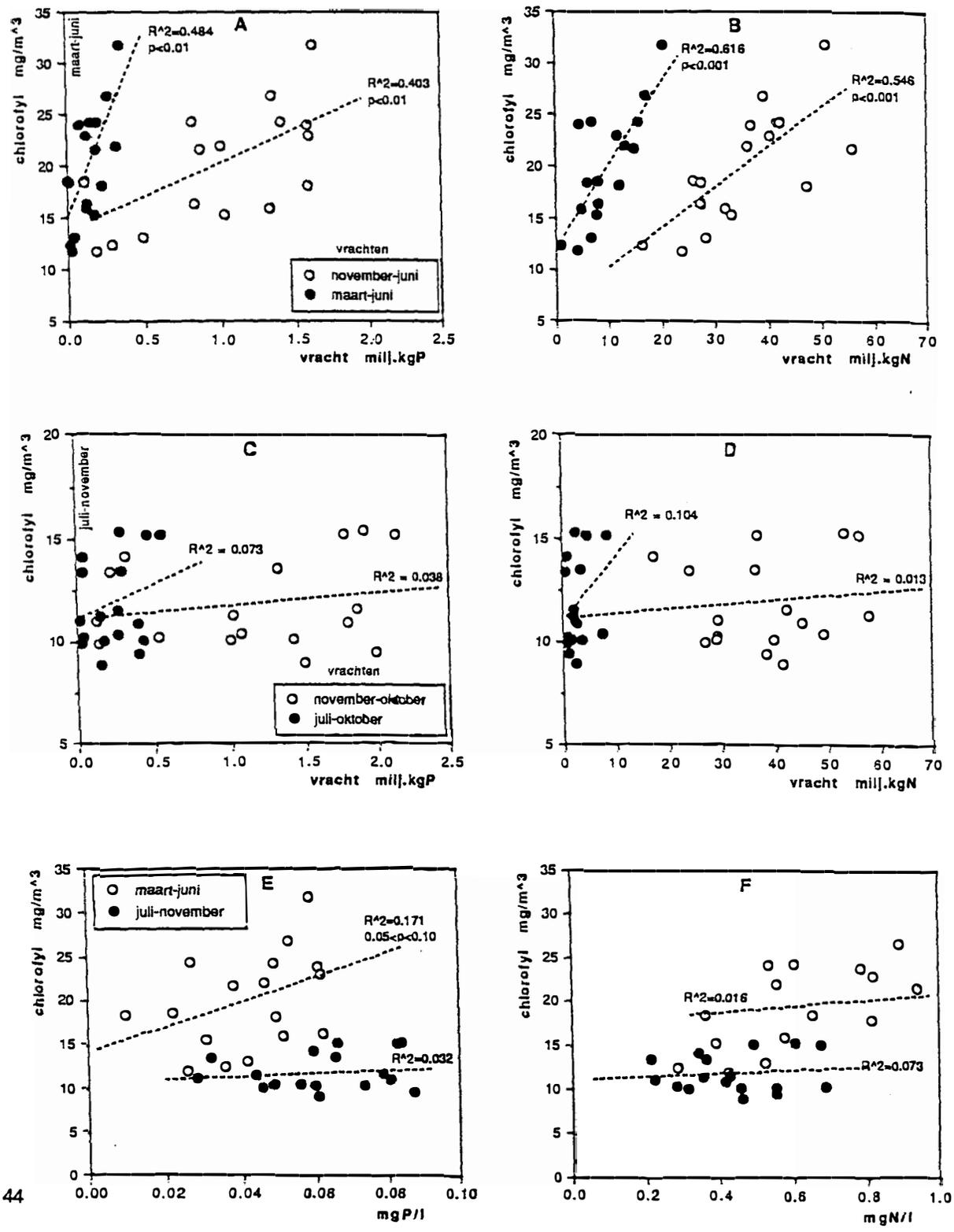
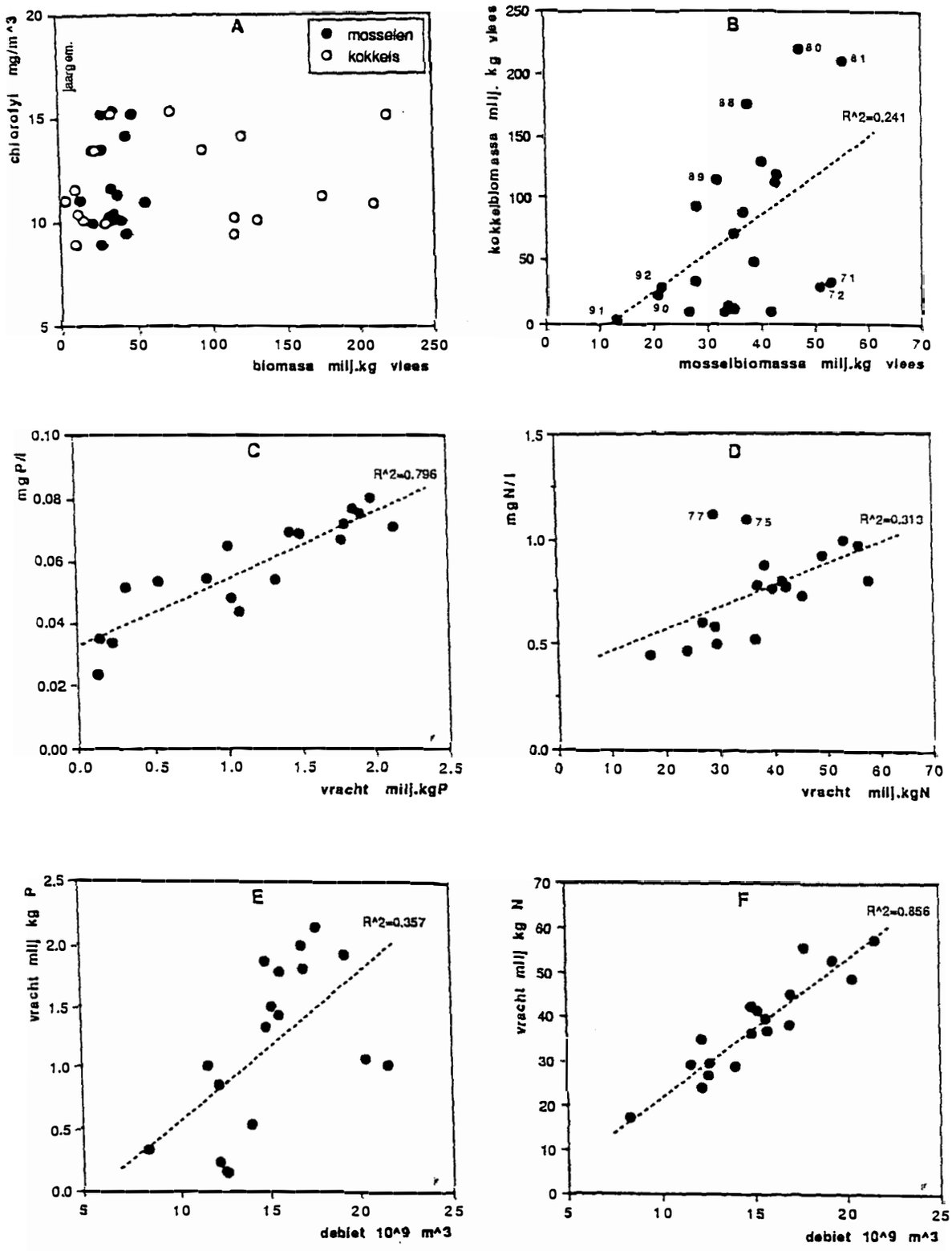


fig. 14 A Het jaargemiddeld chlorofylgehalte als functie van de omvang van het mossel- en kokkelbestand in de Waddenzee (ns, ns),

B De omvang van het kokkelbestand versus de omvang van het mosselbestand op kweekpercelen in augustus ($p<0.05$),

C en D De jaargemiddelde concentraties PO4-P en opgelost stikstof in de Westelijke Waddenzee als functie van de jaarvrachten van deze nutriënten vanuit het IJsselmeer ($p<0.001$, $p<0.05$).

E en F De jaarvrachten PO4-P en opgelost Stikstof vanuit het IJsselmeer als functie de debieten vanuit het IJsselmeer ($p<0.01$, $p<0.001$).



Tabel 1 Correlatiematrix over de periode 1976 - 1992, waarin variabelen zijn opgenomen die van invloed (kunnen) zijn op de groei van mosselen en daarmee samenhangend het voedselaanbod en -kwaliteit van de zwevende stof in de de voorgaande zomer en het najaar.

cormatrix.76-92

1976-1992 n=17	%vlees aug-nov	aanvoer moss	blom moss	blom kokk	chlorof. jul-nov	chlorof. sep-nov	zwstof jul-nov	zwstof sep-nov	voekwal jul-nov	voekwal sep-nov	PconcWz jaar	PconcWz jul-nov	NconcWz jaar	NconcWz jul-nov	PvrlJss nov-okt	PvrlJss jul-okt	NvrlJss nov-okt	NvrlJss jul-okt	debtlJss jul-okt
%vlees	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
aanvoer mosselen	0.063	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
blomassa mosselen	-0.282	0.542	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
blomassa kokkels	-0.142	0.333	0.785	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
chl.jul-nov	-0.396	-0.230	0.075	0.198	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
chl.sep-nov	0.529	0.171	-0.211	-0.098	0.340	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
zwstof.jul-nov	-0.643	0.255	0.660	0.465	0.551	-0.109	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
zwstof.sep-nov	-0.538	0.322	0.737	0.576	0.417	-0.068	0.934	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
voekwal.jul-nov	0.732	-0.282	-0.708	-0.389	-0.135	0.471	-0.835	-0.824	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
voekwal.sep-nov	0.811	-0.041	-0.540	-0.361	-0.050	0.755	-0.637	-0.648	0.882	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PconcWz.jaar	-0.488	0.460	0.619	0.268	0.067	-0.217	0.664	0.618	-0.776	-0.537	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
PconcWz.jul-nov	-0.536	0.441	0.579	0.227	0.177	-0.266	0.724	0.628	-0.770	-0.545	0.943	1.000	-	-	-	-	-	-	-
NconcWz.jaar	-0.489	0.258	0.356	0.085	-0.070	-0.284	0.393	0.357	-0.584	-0.465	0.613	0.515	1.000	-	-	-	-	-	-
NconcWz.jul-nov	-0.593	0.180	0.368	-0.059	0.125	-0.367	0.545	0.378	-0.674	-0.521	0.636	0.660	0.794	1.000	-	-	-	-	-
PvrlJss.nov-okt	-0.635	0.240	0.501	0.208	0.195	-0.341	0.644	0.564	-0.748	-0.598	0.893	0.876	0.658	0.751	1.000	-	-	-	-
PvrlJss.jul-okt	-0.535	0.188	0.482	0.227	0.270	-0.313	0.591	0.473	-0.643	-0.496	0.723	0.774	0.554	0.765	0.889	1.000	-	-	-
NvrlJss.nov-okt	-0.561	-0.088	0.200	0.050	0.113	-0.517	0.232	0.107	-0.403	-0.472	0.444	0.432	0.639	0.661	0.710	0.615	1.000	-	-
NvrlJss.jul-okt	-0.482	-0.281	0.060	-0.120	0.322	-0.340	0.260	0.114	-0.338	-0.374	0.191	0.265	0.452	0.734	0.495	0.676	0.601	1.000	-
debtlJss.jul-okt	-0.244	-0.121	0.206	0.154	0.041	-0.418	0.002	-0.113	-0.122	-0.211	0.085	0.096	0.406	0.563	0.400	0.573	0.713	0.754	1.000

cormatrix.76-92

Tabel 2 Correlatiematrix over de periode 1976 - 1992, waarin variabelen zijn opgenomen die van invloed (kunnen) zijn op de produktie en concentraties fytoplankton in de Westelijke Waddenzee.

1976-1992 n= 17	%vlees aug-nov	aanv. moss jul-apr	biom.moss aug	biom.kok aug	chlorof. jaar	chlorof. mrt-jun	chlorof. jul-nov	chlorof. sep nov	zwstof jaar	zwstof mrt-jun	zwstof jul-nov	watertemp jan-mrt	PconcWz jaar	PconcWz mrt-jun
%vlees	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
aanvoer mosselen	0.063	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
biomassa mosselen	-0.282	0.542	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
biomassa kokkels	-0.142	0.333	0.785	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
chl.jaar	-0.621	-0.015	0.228	0.056	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
chl.mrt-jun	-0.411	0.092	0.174	-0.151	0.743	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
chl.jul-nov	-0.396	-0.230	0.075	0.198	0.403	-0.213	1.000	-	-	-	-	-	-	-
chl.sep-nov	0.529	0.171	-0.211	-0.098	-0.210	-0.477	0.340	1.000	-	-	-	-	-	-
zwstof.jaar	-0.611	0.219	0.515	0.348	0.589	0.314	0.489	-0.099	1.000	-	-	-	-	-
zwstof.mrt-jun	-0.582	0.313	0.415	0.258	0.412	0.245	0.271	-0.253	0.896	1.000	-	-	-	-
zwstof.jul-nov	-0.643	0.255	0.660	0.465	0.532	0.228	0.551	-0.109	0.910	0.726	1.000	-	-	-
wintertemp	0.360	0.241	-0.017	0.438	-0.201	-0.477	0.229	0.436	-0.227	-0.270	-0.141	1.000	-	-
PconcWz.jaar	-0.488	0.460	0.619	0.268	0.516	0.489	0.067	-0.217	0.685	0.623	0.664	-0.314	1.000	-
PconcWz.mrt-jun	-0.413	0.493	0.602	0.307	0.453	0.414	0.018	-0.090	0.557	0.434	0.598	-0.170	0.944	1.000
NconcWz.jaar	-0.489	0.258	0.356	0.085	0.542	0.575	-0.070	-0.284	0.377	0.276	0.393	-0.206	0.613	0.690
NconcWz.mrt-jun	-0.211	0.286	0.191	0.118	0.274	0.270	-0.201	0.010	0.110	0.005	0.147	0.048	0.382	0.598
PvrIJss.nov-okt	-0.635	0.240	0.501	0.208	0.648	0.590	0.195	-0.341	0.735	0.700	0.644	-0.365	0.893	0.777
PvrIJss.mrt-jun	-0.492	0.102	0.188	-0.090	0.755	0.696	0.111	-0.267	0.423	0.379	0.261	-0.369	0.587	0.486
NvrIJss.nov-okt	-0.561	-0.088	0.200	0.050	0.754	0.698	0.113	-0.517	0.333	0.319	0.232	-0.204	0.444	0.355
NvrIJss.mrt-jun	-0.381	-0.139	-0.112	-0.330	0.702	0.785	-0.074	-0.330	0.070	0.004	-0.052	-0.337	0.292	0.268
debtIJss.nov-okt	-0.460	0.019	0.221	0.119	0.634	0.666	0.011	-0.514	0.216	0.238	0.130	-0.092	0.312	0.230
debtIJss.mrt jun	-0.425	-0.043	-0.082	-0.294	0.758	0.788	0.007	-0.269	0.098	0.027	0.003	-0.265	0.356	0.336
PvrRijn jaar	-0.628	0.357	0.688	0.417	0.526	0.375	0.287	-0.208	0.839	0.795	0.785	-0.343	0.865	0.759
NvrRijn jaar	-0.444	0.231	0.495	0.214	0.523	0.619	0.004	-0.349	0.508	0.502	0.379	-0.317	0.674	0.576
debtRijn jaar	-0.442	0.181	0.450	0.285	0.565	0.681	-0.071	-0.438	0.413	0.415	0.312	-0.202	0.519	0.458
1976, 1978-1992 n=16														
chlor.Cadée jaar	-0.020	0.126	0.289	0.163	0.170	0.527	-0.354	-0.275	0.010	0.012	-0.082	-0.274	0.397	0.375
1981, 1985, 1986, 1990-1992 n=6														
chlor.Cadée.jaar	-0.293	0.418	0.822	0.774	0.785	0.808	-0.469	-0.457	0.936	0.870	0.902	-0.306	0.762	0.732
PProd.Cadée jaar	-0.793	-0.447	-0.016	-0.163	0.396	0.663	-0.847	-0.908	0.169	0.386	0.115	-0.880	0.238	0.110

Tabel 2 vervolg

1976-1992 n= 17	NconcWz jaar	NconcWz mrt-jun	PvrIJss nov-okt	PvrIJss mrt-jun	NvrIJss nov-okt	NvrIJss mrt-jun	debietIJss nov-okt	debietIJss mrt-jun	PvrRijn jaar	NvrRijn jaar	debietRijn jaar	chl.Cadée jaar	PP.Cadée jaar
NconcWz.jaar	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NconcWz.mrt-jun	0.799	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PvrIJss.nov-okt	0.658	0.271	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PvrIJss.mrt-jun	0.621	0.300	0.693	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NvrIJss.nov-okt	0.639	0.238	0.710	0.760	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
NvrIJss.mrt-jun	0.590	0.358	0.428	0.834	0.776	1.000		-	-	-	-	-	-
debtIJss.nov-okt	0.551	0.129	0.591	0.655	0.936	0.704	1.000	-	-	-	-	-	-
debtIJss.mrt-jun	0.571	0.341	0.476	0.834	0.772	0.973	0.715	1.000	-	-	-	-	-
PvrRijn.jaar	0.529	0.277	0.888	0.534	0.441	0.156	0.309	0.203	1.000	-	-	-	-
NvrRijn.jaar	0.675	0.291	0.851	0.680	0.782	0.547	0.740	0.533	0.730	1.000	-	-	-
debtRijn.jaar	0.642	0.298	0.752	0.541	0.825	0.521	0.848	0.525	0.595	0.914	1 000	-	-
1976, 1978-1992 n=16													
chlor.Cadée.jaar	0.256	0.302	0.432	0.340	0.358	0.352	0.325	0.348	0.383	0.611	0.573	1.000	-
1981, 1985, 1986, 1990-1992 n=6													
chlor.Cadée.jaar	0.708	0.491	0.824	0.455	0.855	0.374	0.849	0.302	0.863	0.927	0.982	1.000	-
PProd.Cadée.jaar	0.514	0.327	0.249	0.393	0.421	0.582	0.297	0.493	0.174	0.068	0.041	0.205	1.000

Tabel 3 Correlatiematrices over de periode 1952 - 1992, 1955-1992 en 1967-1992 waarin variabelen zijn opgenomen die van invloed (kunnen) zijn op de aanvoer van mosselen en de daaruit afgeleide omvang van het mosselbestand. Voor verder toelichting zie de tekst.

corrmtrx.52/55/67-92

1952 - 1992 n=41	%vlees aug-nov	aanv. moss jul-apr	biom.moss aug	watertemp jan-mrt	PvrRijn jaar	NvrRijn jaar	debietRijn jaar
%vlees	1.000	-	-	-	-	-	-
aanvoer mosselen	0.332	1.000	-	-	-	-	-
biomassa mosselen	0.024	0.628	1.000	-	-	-	-
wintertemp	0.145	0.185	0.083	1.000	-	-	-
Pvracht.Rijn.jaar	0.004	0.425	0.617	-0.039	1.000	-	-
NvrachtRijn.jaar	0.095	0.280	0.444	-0.040	0.795	1.000	-
debietRijn.jaar	-0.241	-0.143	0.077	-0.056	0.388	0.616	1.000

1955 - 1992 n=38	%vlees aug-nov	aanv. moss jul-apr	biom.moss aug	watertemp jan-mrt	mintemp j-2, j-3	PvrRijn jaar	ΣPvrRijn j, j-1, j-2	maxPvrRijn j-2, j-3	NvrRijn jaar	ΣNvrRijn j, j-1, j-2	maxNvrRijn j-2, j-3
%vlees	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
aanvoer mosselen	0.331	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
biomassa mosselen	-0.021	0.592	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
wintertemp	0.146	0.183	0.065	1.000	-	-	-	-	-	-	-
mintemp(j-2, j-3)	0.112	-0.178	-0.106	-0.221	1.000	-	-	-	-	-	-
Pvracht.Rijn.jaar	-0.037	0.365	0.549	-0.068	-0.056	1.000	-	-	-	-	-
ΣPvrRijn(j,j-1,j-2)	0.024	0.382	0.535	-0.070	-0.053	0.967	1.000	-	-	-	-
maxPvrRijn(j-2,j-3)	0.138	0.345	0.404	-0.038	-0.002	0.849	0.944	1.000	-	-	-
NvrachtRijn.jaar	0.045	0.157	0.279	-0.084	-0.266	0.768	0.749	0.710	1.000	-	-
ΣNvrRijn(j,j-1,j-2)	0.092	0.267	0.409	0.029	-0.246	0.748	0.838	0.870	0.825	1.000	-
maxNvrRijn(j-2,j-3)	0.252	0.369	0.311	0.122	0.002	0.522	0.642	0.781	0.542	0.810	1.000

1967 - 1992 n= 26	%vlees aug-nov	aanv. moss jul-apr	biom.moss aug	watertemp jan-mrt	mintemp j-2, j-3	PvrRijn jaar	ΣPvrRijn j, j-1, j-2	maxPvrRijn j-2, j-3	NvrRijn jaar	ΣNvrRijn j, j-1, j-2	maxNvrRijn j-2, j-3
%vlees	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
aanvoer mosselen	0.220	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
biomassa mosselen	-0.211	0.533	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
wintertemp	0.322	0.232	-0.002	1.000	-	-	-	-	-	-	-
mintemp(j-2, j-3)	-0.033	-0.497	-0.391	-0.256	1.000	-	-	-	-	-	-
Pvracht.Rijn.jaar	-0.372	0.251	0.473	-0.271	-0.152	1.000	-	-	-	-	-
ΣPvrRijn(j,j-1,j-2)	-0.321	0.266	0.434	-0.298	-0.251	0.954	1.000	-	-	-	-
maxPvrRijn(j-2,j-3)	-0.199	0.174	0.189	-0.254	-0.313	0.756	0.895	1.000	-	-	-
NvrachtRijn.jaar	-0.241	-0.020	0.179	-0.323	-0.278	0.666	0.685	0.679	1.000	-	-
ΣNvrRijn(j,j-1,j-2)	-0.267	0.074	0.247	-0.200	-0.535	0.507	0.683	0.786	0.739	1.000	-
maxNvrRijn(j-2,j-3)	0.002	0.136	-0.094	0.115	-0.409	-0.083	0.091	0.357	0.130	0.471	1.000

corrmtrx.71-92

Tabel 4 Correlatiematrix over de periode 1971 - 1992, waarvan variabelen zijn opgenomen die van invloed (kunnen) zijn op de ontwikkeling van het kokkelbestand.

1971-1992 n= 22	%vlees aug-nov	aanv. moss jul-apr	blom.moss aug	blom.kok aug	temp jan-mrt	mintemp j-1, j-2	PvrRijn jaar	ΣPvrRijn j, j 1	maxPvrRijn j-1, j-2	NvrRijn jaar	ΣNvrRijn j, j-1	maxNvrRijn j-1, j-2	debietRijn jaar	chl.Cadée jaar	PP.Cadée jaar
%vlees	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
aanvoer mosselen	0.105	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
biomassa mosselen	-0.243	0.611	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
biomassa kokkels	-0.043	0.182	0.491	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
wintertemp (j)	0.277	0.201	0.036	0.345	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mintemp(j-1, j-2)	0.026	-0.189	-0.503	-0.488	0.075	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PvrRijn.jaar	-0.584	0.228	0.484	0.413	-0.309	-0.297	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
ΣPvrRijn(j,j-1)	-0.589	0.232	0.477	0.396	-0.358	-0.306	0.981	1.000	-	-	-	-	-	-	-
maxPvrRijn(j-1, j-2)	-0.505	0.239	0.383	0.358	-0.361	-0.333	0.891	0.947	1.000	-	-	-	-	-	-
NvrRijn.jaar	-0.297	0.006	0.129	0.316	-0.308	-0.565	0.704	0.716	0.751	1.000	-	-	-	-	-
ΣNvrRijn(j,j-1)	-0.423	0.014	0.230	0.307	-0.285	-0.530	0.643	0.722	0.793	0.869	1.000	-	-	-	-
maxNvrRijn(j-1, j-2)	-0.253	0.305	0.319	0.147	-0.135	-0.426	0.245	0.375	0.572	0.338	0.634	1.000	-	-	-
debiRijn.jaar	-0.336	-0.090	0.048	0.360	-0.213	-0.454	0.586	0.596	0.643	0.921	0.853	0.345	1.000	-	-
1972, 1974-1976, 1978-1992 n=19															
chlor.Cadée.jaar	-0.069	-0.105	0.048	0.203	-0.339	-0.506	0.335	0.344	0.386	0.588	0.522	0.241	0.601	1.000	-
1972, 1974-1975, 1981, 1984,1985, 1990-1992 n=9															
chlor.Cadée.jaar	0.062	-0.121	0.136	0.497	-0.430	-0.560	0.438	0.472	0.549	0.677	0.652	0.356	0.784	1.000	-
Prim.Prod.Cadée.jaar	0.232	-0.477	-0.438	-0.031	-0.671	-0.092	-0.175	-0.083	0.045	0.123	0.150	0.068	0.190	0.671	1.000
1964, 1972, 1974-1975, 1981, 1984,1985, 1990-1992 n=10															
Prim.Prod.Cadée.jaar	0.280	-0.442	-0.345	-	-0.505	-	-0.061	-	-	0.207	-	-	0.324	-	-

9. Bijlage.

Gehanteerde procedure bij de berekening van gebiedsgemiddelden uit niet-orthogonale data sets.

De hierna beschreven procedure is gebruikt bij de berekening van gebiedsgemiddelde waarden voor verschillende waterkwaliteitsparameters uit niet orthogonale datasets. De correcties hebben tot doel bias als gevolg van het ontbreken van waarnemingen te voorkomen. De procedure wordt toegelicht aan de hand van chlorofylgegevens die zijn verzameld op zes stations in de Waddenzee binnen het MWTL monitoring-programma (Anon., 1993b).

1. Per jaar per station worden, indien er meerdere metingen in één maand beschikbaar zijn, maandgemiddelde waarden berekend.
2. Per station worden vervolgens gemiddelde maandwaarden berekend door uitmiddeling van de opeenvolgende jaren. Deze gemiddelden weerspiegelen de over-all seizoensvariatie in chlorofylgehalten op betreffende locatie.
3. Vervolgens wordt per station per jaar het gemiddelde chlorofylgehalte berekend, voor bijvoorbeeld de periode juli t/m november. Blijkt daarbij dat in een bepaald jaar één of enkele maand-waarden ontbreken (stel die van augustus en september) dan heeft als volgt correctie plaatsgevonden.
4. Uit het langjarig gemiddelde seizoensverloop van betreffende station (berekend onder 2) wordt het gemiddeld chlorofylgehalte berekend, en wel voor de gehele periode als na weglating van de ontbrekende maand(en) (in het voorbeeld augustus en september). Het verschil tussen beide uitkomsten geeft het effect van het ontbreken van deze maandwaarden op het periodegemiddelde weer. Daarbij wordt er van uitgegaan dat het seizoensverloop door de jaren heen niet is veranderd. Met dit als proportie uitgedrukte verschil is het onder (3) berekende gemiddeld chlorofylgehalte vervolgens gecorrigeerd.

5. Het gemiddelde chlorofylgehalte in westelijke Waddenzee wordt vervolgens berekend door het uitmiddelen van de onder 3 en 4 voor de verschillende stations berekende waarden. In jaren dat er één of meerdere stations niet zijn bemonsterd (en er dus ook onder 3 en 4 geen waarden konden worden berekend) worden de Waddenzee-gemiddelde chlorofylconcentraties daarbij als volgt gecorrigeerd voor mogelijke bias als gevolg van verschillen tussen stations:
6. Voor de jaren waarin onder 3 en 4 wel periodegemiddelden konden worden berekend worden de stations paarsgewijs vergeleken, waarbij systematische verschillen tussen de stations worden gekwantificeerd door uitmiddeling van de jaren waarin voor beide stations deze periodegemiddelden beschikbaar zijn. Met deze (eveneens als proportie uitgedrukte) verschillen wordt vervolgens voor situaties waarin van een bepaalde locatie of combinatie van locaties geen waarnemingen beschikbaar zijn, berekend welke invloed dat heeft op Waddenzee-gemiddelde waarden (d.i. op het gemiddelde van alle zes stations), waarvoor vervolgens het onder 5 berekende gemiddelde wordt gecorrigeerd.