

DI : 476655

01177-1

Effecten klimaatverandering op ecosysteem Noordzee

verslag discussiemiddag
ISS, 20 november 2000
met advies aan Directie Noordzee

Ministerie van verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Effecten klimaatverandering op ecosysteem Noordzee

Inhoud	blz.
Inleiding	3
Samenvatting sprekers	3
Discussie	5
Synthese	7
Advies aan Directie Noordzee	7
Bijlagen	8

Dit verslag is opgesteld door Janneke van der Linden (RIKZ). Het is een verslag van een discussiebijeenkomst, gehouden maandag 20 november 2000 bij het ISS, Kortenaerkade 12, Den Haag onder voorzitterschap van Johan Coppoolse (RIKZ), in opdracht van Directie Noordzee. Het is een onderdeel van product 4.2 van Directie Noordzee "Toestand van de zee".

Inleiding

Iedere 2 jaar wordt in opdracht van Directie Noordzee van Rijkswaterstaat door het RIKZ een Toekomstverkenning Noordzee uitgevoerd. In een toekomstverkenning worden mogelijke toekomstscenario's geschetst waarin een gesignaleerde maatschappelijke trend wordt doorgetrokken. Doel van de toekomstverkenning is om (on)gewenste ontwikkelingen tijdig te signaleren en kansen en bedreigingen daarbij te onderkennen en daar lering uit te trekken voor het beheer van de Noordzee.

Als thema dit jaar is gekozen voor klimaatverandering. **Wat zijn de effecten van klimaatverandering op het ecosysteem van de Noordzee? En vooral: wat zijn hiervan de consequenties voor (beleid en) beheer van de Noordzee?**

Tijdens een discussiemiddag zijn 3 voordrachten gehouden door diverse sprekers. Aansluitend is in 2 groepen gediscussieerd wat dit voor consequenties heeft voor beleid en beheer op de Noordzee. Dit verslag geeft weer wat uit die discussies naar voren is gekomen.

Samenvatting sprekers

Circulatie en transport in de Noordzee in relatie tot klimaatverandering - Meinte Blaas, IMAU

De grootschalige, lange-termijn-gemiddelde (residuele) circulatie in de Noordzee speelt een centrale rol in de verspreiding van watermassa's en daarin opgeloste stoffen zoals zout, nutriënten en afvalstoffen. Deze circulatie wordt aangedreven door de heersende getijden, dichtheidsverschillen (m.n. door instroom van rivierwater), wind en de oceaanstrooming nabij de continentale rand. Het is dan ook te verwachten dat de residuele circulatiepatronen zich zullen aanpassen aan eventuele wijzigingen in een of meer van deze forceringen ten gevolge van mondiale klimaatverandering.

In deze presentatie zal worden ingegaan op de rol van getij, wind en oceaanstromingen op de residuele circulatie in de Noordzee. Met behulp van een hydrodynamisch model zal gekeken worden naar de respons van de circulatie op drastische (gehypothetiseerde) klimatologische veranderingen in deze forceringen. Daarnaast zullen deze veranderingen vertaald worden in termen van karakteristieke tijdschalen die de verspreiding van opgelost materiaal kwantificeren, zoals verversingstijd en verblijftijd.

De algemene conclusie is dat de momenteel heersende klimatologische omstandigheden zeer gunstig zijn voor een effectieve doorspoeling van het Noordzeebekken en dat mogelijke klimaatveranderingen deze doorspoelingen zouden kunnen bemoeilijken. Dit betekent dat, wat betreft de waterkwaliteit en daaruit voortvloeiende aspecten met betrekking tot het ecosysteem (inclusief visstanden en recreatieve waarden), het beheersbeleid gericht zal moeten zijn op minimale antropogene belasting.

Stelling

De kans is aanwezig dat klimaatveranderingen de verversing van het Noordzeebekken (in verre of nabije toekomst) zullen reduceren. De waterkwaliteit en het ecosysteem in de Noordzee behoeven daarom beduidend meer bescherming dan heden ten dage gegeven wordt.

Mogelijke effecten klimaatverandering op Noordzee ecosysteem - Han Lindeboom

(geen samenvatting beschikbaar; zie bijlage voor artikel)

Stellingen:

Het effect van klimaatverandering wordt onderschat.

Gevolgen zijn vaak niet lineair en meestal niet te voorspellen.

Gevolgen kunnen positief of negatief zijn. We moeten ons op een grote variabiliteit instellen en er is een goed monitoringsysteem nodig voor duurzaam gebruik van natuurlijke hulpbronnen.

Gevolgen veranderde rivierafvoeren op het ecosysteem Noordzee - Hans van Pagee

In het kader van een verkennende studie naar de invloed van klimaatveranderingen op zoet-zout overgangen en kustwateren is op 10 februari 2000 een workshop gehouden waarbij is bediscussieerd wat de gevolgen van veranderde rivier afvoeren voor het kustwater kunnen zijn.

De centrale vraagstelling voor de workshop als volgt gesteld:

moet de overheid zich zorgen maken over de mogelijke ontwikkelingen omtrent de invloed van klimaatveranderingen op zoet-zout overgangen en kustwateren en zo ja, welke aspecten zullen nader onderzocht moeten worden?

Uitgangspunt voor de te verwachten veranderingen is een hogere rivier afvoer in de winter (10-30%) en een lagere afvoer in de zomer (5-20%).

Op basis van deze vraagstelling wordt hieronder een korte opsomming gegeven van de voor het Noordzee systeem van belang zijnde zorgpunten.

De grotere rivier afvoeren in de winter leiden tot ondermeer de volgende zorgpunten:

- 1) een sterke (tijdelijke) verzoeting van de estuaria en het nabije kustwater (o.a. Voordelta), waardoor sterfte kan optreden onder de benthische organismen die geen lage zout gehalten kunnen verdragen (o.a. kokkels).
- 2) een hoge afvoer van Rijn en Maas betekent dat meer water via de Haringvlietssluzen zal worden geloosd waardoor het zoete water meer zuidelijk wordt ingebracht. Door de asymmetrie van het getij in de Voordelta kan dit water vrij ver zuidelijk in de Zeeuwse Delta doordringen.
- 3) hogere rivierafvoeren resulteren in een hogere uitspoeling en toevoer van stoffen (nutriënten, pesticiden e.d.) naar de estuaria en de kustwateren, waardoor de waterkwaliteit kan verslechteren.
- 4) hogere rivierafvoeren kunnen langs de Hollandse en Waddenkust resulteren in een versterkte stratificatie in het voorjaar die tezamen met de hogere nutriënten concentraties kan leiden tot een verhoogd risico van plaagalg en of zuurstofarmoede in de diepere waterlagen.

De verlaagde rivier afvoeren in de zomer resulteren in ondermeer de volgende zorgpunten:

- 5) een geringere beschikbaarheid van zoet water voor de bestrijding van de verzilting in gebieden met zoute kwel.
- 6) een sterkere zout indringing in de estuaria, waardoor ook het gecontroleerd herstel van zoet zout gradiënten wordt bemoeilijkt (beheer Haringvliet sluzen versus drinkwatervoorziening)
- 7) een verlaging van de troebelheid in de ondiepe kustzone waardoor de algengroei minder door licht zal worden beperkt.

Veranderingen in rivierafvoer in combinatie met veranderingen in het windregime (o.a. hogere stormfrequentie), temperatuur en zeespiegelstijging resulteren in ondermeer de volgende aanvullende zorgpunten:

- 8) een grotere variabiliteit in de winter waardoor verhoogde stresscondities voor biota kunnen ontstaan.
- 9) een hogere mate van zout indringing door de combinatie van zeespiegelstijging en geringere rivierafvoer.
- 10) een grotere mate van verzilting in gebieden met zoute kwel door verhoogde verdamping en verminderde beschikbaarheid van zoet water voor doorspoeling gedurende de zomerperiode.
- 11) een verhoogde mate van slibtransport en toevoer en afzet van slib in havens tijdens perioden met hoge afvoer en storm condities

In aanvulling op de bovengenoemde zorgpunten kan worden opgemerkt dat de gevolgen van veranderde rivier afvoer op de morfologie van de kustzone en estuaria als gering worden ingeschat. Dit is echter niet het geval als andere klimaatveranderingen zoals hogere stormfrequentie en/of zeespiegelstijging in beschouwing worden genomen.

Discussie

Naar aanleiding van de 3 voordrachten is onderstaande effectentabel ingevuld. In deze tabel is aangegeven bij welke gebruiksfunctie van de Noordzee volgens de 3 presentaties een effect te verwachten is. Voor de lijst gebruiksfuncties is aangesloten bij de lijst zoals die in Beheersvisie 2010 worden gebruikt. In de tabel is niet aangegeven welke en hoe erg effecten optreden.

effectentabel	Meinte Blaas	Han Lindeboom	Hans van Pagee
natuur en landschap	!!	!!	!!
olie- en gaswinning			
visserij	!!	!!	!!
scheepvaart		?	
oppervlakedelfstoffen zand- en schelpwinning	!!	?	
recreatie en toerisme		?	
waterbodems (baggeren)		?	!!
militair gebruik			
verontreiniging & eutrofiering	!!	!!	!!
pijpleidingen en kabels			
incidenten en illegale lozingen			

!! = verwacht effect

? = afgeleid effect van een verwacht effect

Als belangrijkste gebruiksfuncties waar effecten op zullen treden komen natuur en landschap, visserij en eutrofiering naar voren. De andere gebruiksfuncties waarbij effecten verwacht worden zijn vaak afgeleiden van effecten op een andere gebruiksfunctie.

Met de effectentabel en de stellingen van de sprekers als leidraad is in 2 groepen gediscussieerd over de volgende vragen:

Wat zijn de effecten op het ecosysteem?

Hoe erg zijn die effecten?

Zijn ze van belang voor beleid en beheer?

Wat is er aan te doen/mogelijke oplossingsrichtingen?

Belangrijk punt dat uit de discussies naar voren is gekomen is dat de effecten anders worden, niet per definitie positief of negatief.

Daarnaast is de volgorde waarin effecten van klimaatverandering bekeken zouden moeten worden Ten eerste

- ruimte/tijdschalen
 - doen veranderingen zich geleidelijk of schoksgewijs voor?
 - geldt voor de kustzone hetzelfde als voor de Noordzee? Voordelta, Wadden idem?

Ten tweede

- wat zijn de effecten op het systeem?

En tenslotte

- wat zijn de effecten hiervan op het gebruik van de Noordzee?

Ruimte/tijdschaal

Ten aanzien van de tijdschaal is men het erover eens dat veel veranderingen geleidelijk gaan. Het is vrijwel niet mogelijk om parameters te ontwikkelen of te kiezen die de veranderingen als gevolg van versterkte klimaateffecten meten omdat er zoveel factoren zijn die meespelen, waaronder menselijk gebruik, autonome ontwikkelingen, etc. Waarschijnlijk komt er ergens een "ecosysteemflip", een omslagpunt waarop iets ingrijpend verandert. De beheerder zou eigenlijk inzicht moeten hebben in welke mogelijke situaties er ontstaan (scenario's) na dit omslagpunt. Een manier om hierop te anticiperen is er (nog) niet. Wel zou men van het verleden kunnen leren; hoe is men in het verleden omgegaan met flips? Wat heeft men daar van geleerd?

Niet alleen het klimaat, maar ook de sectoren veranderen. De visserijsector bijvoorbeeld zal in 2010 anders zijn dan nu. Beheersmaatregelen die nu met het oog op klimaatveranderingen en effecten daarvan worden ingesteld moeten hier rekening mee houden.

Effecten op het systeem

Een mogelijke verandering van het transport van het Atlantische water heeft effect op de primaire productie in de Noordzee. De verwachting is dat de primaire productie zal verminderen. Bovendien heeft een ander stromingspatroon consequenties voor vislarventransport en vispopulaties.

Toename van de rivierafvoer zal meer slib tot gevolg hebben, wat gunstig is voor de Waddenzee. In de kustzone zal er meer kans op stratificatie zijn; dit heeft voornamelijk versterkte (eutrofiërings)effecten in de Duitse Bocht. (Kanttekening hierbij is dat uitgegaan is van Nederlandse rivierafvoer en dat effecten van afvoer van Duitse rivieren hierbij niet is meegenomen.). Op de Noordzee wordt er niet veel effect van een toename van de rivierafvoer verwacht; de verwachting is dat de effecten hier in de marge van de natuurlijke variabiliteit vallen.

Effecten op het gebruik

Een ander stromingspatroon heeft consequenties voor vislarventransport en vispopulaties en dus voor de visserij. De exploitatie zal moeten verminderen om de vispopulatie meer ruimte te geven om zich aan te passen aan andere stromingspatronen.

Ten aanzien van eutrofiëring worden versterkte effecten verwacht, hierbij in het midden latend of die positief of negatief zullen zijn. Kennis over effecten zou opgedaan kunnen worden door het monitoren van de primaire productie (via chlorofyl). Het handhaven van de 50% reductie lijkt raadzaam.

Synthese

Effecten van klimaatverandering op het ecosysteem Noordzee voorspellen is net zoiets als turen in een glazen bol en daar de toekomst uit afleiden. Het ecosysteem op zich is een complex systeem waar nog lang niet alles van bekend is. Daarnaast is nog lang niet duidelijk wat nu precies de effecten van klimaatverandering zijn.

Gegeven de moeilijke voorspelbaarheid worden consequenties van klimaatverandering verwacht bij de gebruiksfuncties natuur, visserij en eutrofiëring. De verwachting is dat de variabiliteit van het systeem anders wordt en dat veranderingen geleidelijk gaan. Er is niet te voorspellen wanneer een omslagpunt, een zogenaamde ecosysteemflip, bereikt zal worden. Door monitoring kan wel meer kennis opgebouwd worden over het systeem en de veranderingen daarin. Daarnaast kan door leren van het verleden (de plotselinge daling van de haringstand bijvoorbeeld) nagedacht worden over hoe je om moet gaan met een flip.

Het ontstaan van een flip zal niet voorkomen kunnen worden. Het verminderen van de druk op het systeem kan wel de flexibiliteit van het systeem vergroten, waardoor het sneller zal herstellen van een flip.

Bij het instellen van eventuele beleids- en/of beheersmaatregelen in het kader van effecten van klimaatveranderingen moet nadrukkelijk de tijd- en ruimteschaal in het oog gehouden worden.

Advies aan Directie Noordzee

Wees bewust van de tijdschaal van (effecten van) klimaatverandering.

Wees bewust van de mogelijkheid van een (plotselinge) omslag van het systeem.

Breng de bewustwording ook over op andere sectoren.

Sta gesteld voor veranderingen door

- kennisopbouw via monitoring,
- ervaringen uit het verleden
- het vergroten van de herstelmogelijkheden van het systeem door het verminderen van de druk op het systeem

Bed onderzoek naar effecten van klimaatverandering in in grotere kaders zoals bijvoorbeeld WONS*eutro.

Ga bij verder onderzoek naar effecten van klimaatverandering na in hoeverre het volgende veel gebruikte scenario een consistent klimaatscenario is voor de Noordzee:

rivierafvoer in winter hoog en zomer laag;
stijging van de temperatuur (warme zomers en zachte winters);
toename stormfrequentie;
vermindering invoer Atlantische oceaan.

Lijst van deelnemers

Meinte Blaas	IMAU	m.blaas@phys.uu.nl
Henrike Branderhorst	RWS/DNz	h.c.branderhorst@dnz.rws.minvenw.nl
Hans Brouwer	RWS/Bd	h.brouwer@bwd.minvenw.nl
Johan Coppoolse	RWS/RIKZ	j.coppoolse@rikz.rws.minvenw.nl
Ad Corten	RIVO	a.a.h.m.corten@rivo.wag-ur.nl
Rik Duijts	RWS/RIKZ	h.duijts@rikz.rws.minvenw.nl
Gerard Janssen	RWS/RIKZ	g.m.janssen@rikz.rws.minvenw.nl
Lowie van Liere	RIVM	lowie.van.liere@rivm.nl
Han Lindeboom	Alterra/NIOZ	h.j.lindeboom@alterra.wag-ur.nl
Janneke van der Linden	RWS/RIKZ	j.vdlindeboom@rikz.rws.minvenw.nl
Hans van Pagee	RWS/RIKZ	j.a.vpagee@rikz.rws.minvenw.nl
Harry Peletier	RWS/RIKZ	h.peletier@rikz.rws.minvenw.nl
Louis Peperzak	RWS/RIKZ	l.peperzak@rikz.rws.minvenw.nl
Theo Prins	RWS/RIKZ	t.prins@rikz.rws.minvenw.nl
Maarten Scheffers	RWS/RIKZ	m.b.a.m.scheffers@rikz.rws.minvenw.nl
Ad Stolk	RWS/DNz	a.stolk@dnz.rws.minvenw.nl
Sofie Stolwijk	RWS/RIKZ	s.stolwijk@rikz.rws.minvenw.nl
Marcel v.d. Tol	RWS/RIKZ	m.w.m.vdtol@rikz.rws.minvenw.nl
Wilko Verweij	NOP	wilko.verweij@rivm.nl
Wanda Zevenboom	RWS/DNz	w.zevenboom@dnz.rws.minvenw.nl

Circulatie & transport in de Noordzee in relatie tot klimaatverandering

Toekomstverkenning Noordzee

Den Haag, 20 november 2000

Meinte Blaas, Huib de Swart, Will de Ruijter (IMAU)

Theo Gerkema (NIOZ), David Kerkhoven



IMAU, Utrecht University

The Netherlands



Stelling

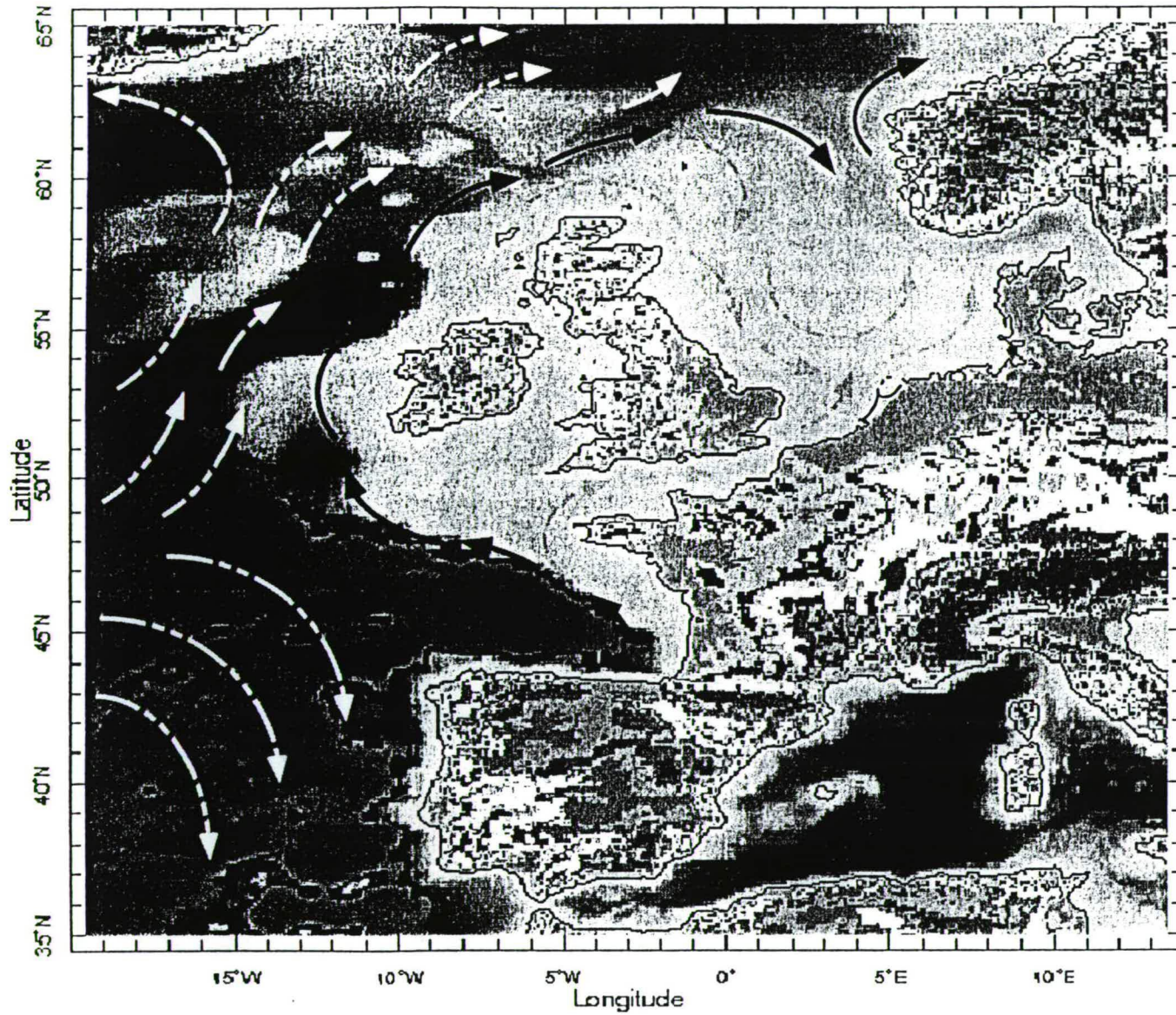


Klimaatverandering in Europa kan de doorspoeling van de Noordzee reduceren.

Opzet

- Beschrijving circulatie Noordzee
- Onderzoeksdoel
- Enkele resultaten:
 - * circulatie
 - * stoftransport
 - * verblijftijden
- Conclusies, discussie

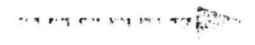
Kwalitatieve schets van residuele stroming



Windgedreven
oceanstroming



Stroming langs
continentale rand



Circulatie op
continentaal plat

Algemeen beeld residuele circulatie

residuele circulatie: lange-termijn gemiddeld, gedreven door:

getijden (rectificatie t.g.v niet-lineariteiten)

windschuifspanning

continentale-hellingstroom

dichtheidsverschillen in Noordzee t.g.v. rivier- & atmosferinvloeden

(niet beschouwd in deze studie)

hier bovenop sterke variabiliteit t.g.v.:

getijden

windfluctuaties

seizoencycli (atmosfeer/rivieren)

dag-nacht-cycli

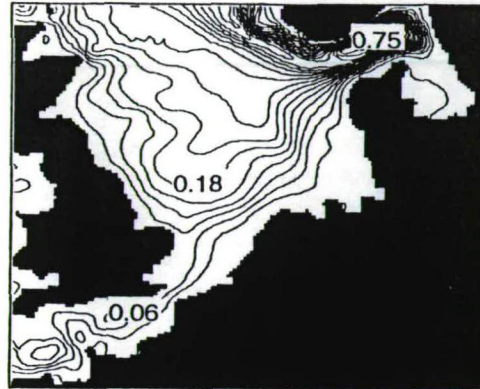
Onderzoeksdoel:

Analyseer gevoeligheid van circulatie voor veranderingen in continentale hellingstroom & windforcering

hellingstroom	SST [°C]		SSS [PSU]		$\Delta\rho$ [kg/m ³]
	<i>noord</i>	<i>zuid</i>	<i>noord</i>	<i>zuid</i>	
huidige sterke $\Delta P = +1$	6.0	13.8	34.96	35.8	+ 0.7
geen $\Delta P = 0$	-	-	-	-	0.0
omgekeerd $\Delta P = -1$	10.0	15.8	33.0	35.8	- 0.6

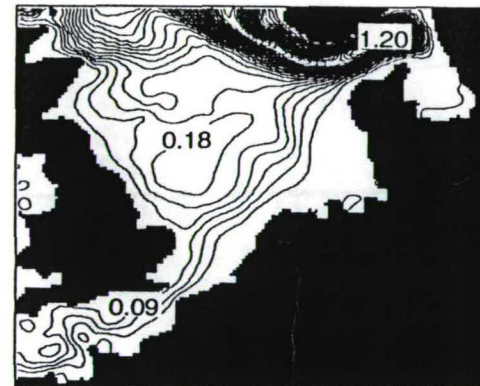
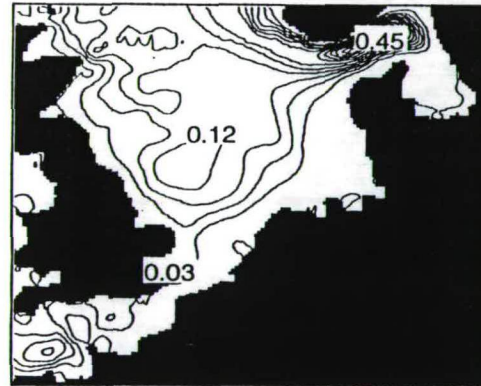
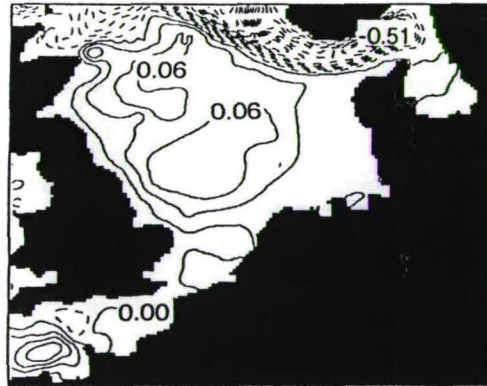
windschuifspanning	$ \tau $ [Pa]	Bft	richting
huidig gemiddelde	0.042	2 - 3	ZW
geen	0.0	-	-
scenario	0.042	2 - 3	NO

zuidwest

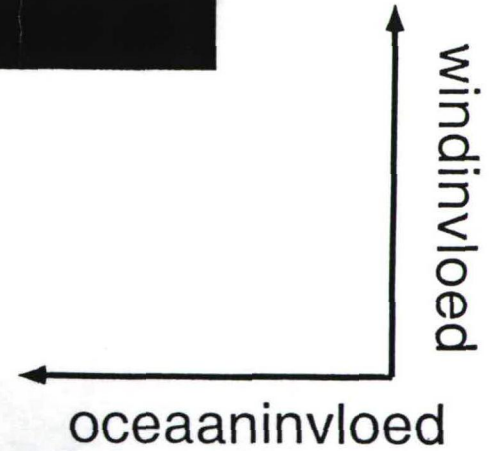
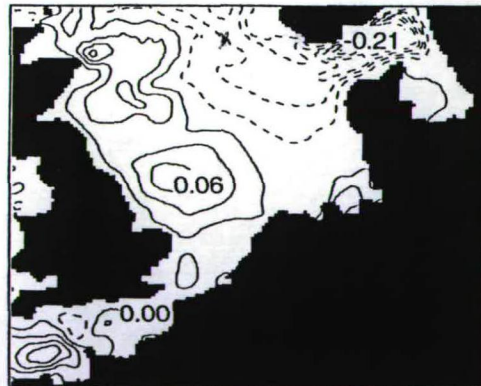


klimaat effecten op residuele circulatie

geen



noordoost



omgekeerde

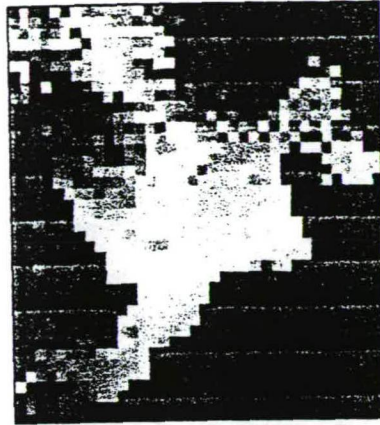
geen

huidige

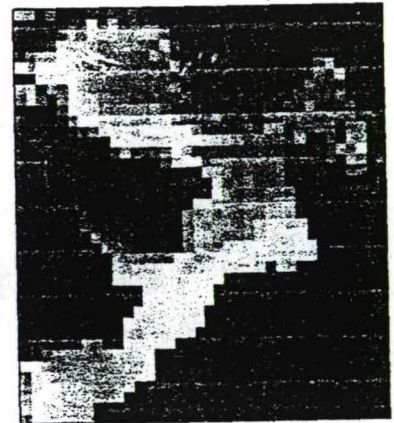
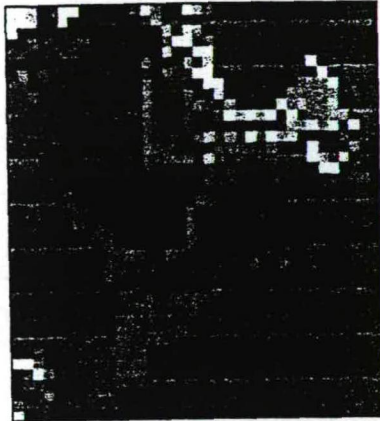
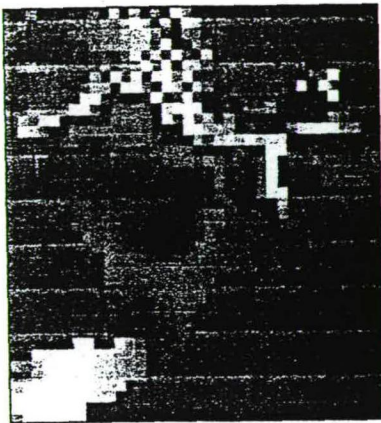
klimateffecten op verbijftijden

windinvloed:

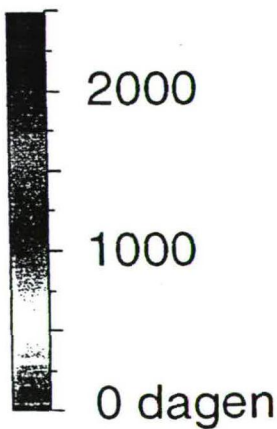
z
u
i
d
w
e
s
t



g
e
e
n



n
o
o
r
d
o
o
s
t



oceaninvloed:
omgekeerde

geen

huidige

Aanzet tot discussie

Conclusies:

- Huidige klimaatcondities gunstig voor doorspoeling Noordzee
- Kans groot dat t.g.v. klimaatverandering doorspoeling afneemt

Mogelijke consequenties:

- verminderde afvoer/menging van vervuilende stoffen, bijv. van rivieren, atmosferische depositie, dumping/lozing, scheepvaart
- veranderde condities voor ecosysteem: bijv. aanvoer van nutriënten, migratie van plankton, transport van vislarven

Beheersmaatregelen:

- 'no regret-beleid': reductie van belasting van marien ecosysteem
 - * reductie vervuiling
 - * reductie belasting door bevissing/delfstofwinning

Changes in coastal zone ecosystems

Han J. Lindeboom

*Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ), P.O.Box 59, 1790 AB Den Burg,
The Netherlands
e-mail: hanl@nioz.nl*

Abstract: Marine ecosystems are not in steady state, but exhibit continuous changes in production and species composition of different trophic levels. In this paper, examples of phenomena observed in different long-term data series, mainly collected in coastal seas, are given. Sudden changes in biomasses or species composition, a reversal of trends, increased seasonal variation and cyclic behaviour all seem to contribute to the interannual and decadal variability of the North Sea ecosystem. The indications that weather and climate play an important role in this variability are discussed and the possible effects of climate change are summarized. However, the complex nature of marine ecosystems hampers the analyses of clear cause-effect relationships. The need for more long-term data sets is stressed.

Observed phenomena

Several long-term data sets on phytoplankton, zooplankton, macrofauna, fish and birds have been collected in the Wadden Sea and North Sea. Up till now, these data sets have been mainly applied to demonstrate the effects of human (mis)use on the ecosystem. However, when the various data sets are combined it is striking that certain changes are very sudden and not gradual, as one would expect from a gradual increasing human impact. Data from Cadée, Beukema and Swennen (Fig. 1) indicate that the algal biomass in the western Wadden Sea doubled between 1976 and 1978, followed by the macrobenthos in 1980. And in 1978 the breeding success of Eider ducks (*Somateria mollissima*) increased by several orders of magnitude (Cadée and Hegeman 1993; Beukema 1992; Swennen 1991). Apparently, large changes in the Wadden Sea ecosystem took place at the end of the seventies. An analysis of data collected in the North Sea indicates that large changes also occurred in this ecosystem in the same period. In the vicinity of Helgoland, changes in the phytoplankton species composition were observed and the biomass of flagellates $<10 \mu\text{m}$ went from $3 \mu\text{g/l}$ in the period '62-'77 to $15 \mu\text{g/l}$ in the period '78-'93 (Hickel et al. 1993). And analyses of the Continuous Plankton Recorder (CPR) data

indicated a minimum in zooplankton abundance and a simultaneous shift in species composition in the late 70s (Aebischer et al. 1990; Reid pers. comm.). Shifts in macrofauna assemblages (Josefson et al. 1993) and benthic respiration rates were reported, all indicative of a rapid major change of the marine ecosystem in the entire North Sea in the late seventies. Another rapid change in the ecosystem could be observed in the early 90s when, for example, the breeding success of eider ducks once again collapsed (see Fig. 1). This coincided with a dramatic decrease in standing stocks of mussels and cockles in the Dutch Wadden Sea. The collapse of the North Sea fish stocks at the end of the previous century and in the thirties were also rather sudden changes. In addition to these rapid changes, other striking phenomena have been observed. The CPR data indicate that the monthly variation of the net colour index was about twice as high in the 80s as compared to the 70s. A major shift in the marine ecosystem in the second half of the seventies has also been recorded in the North-Eastern Pacific, hinting at a large scale cause of the phenomena observed (Ebbesmeyer et al. 1990).

In several data sets, cyclic changes with different frequencies have been observed. Uhlig and Sahling (1990) noticed a periodicity of high

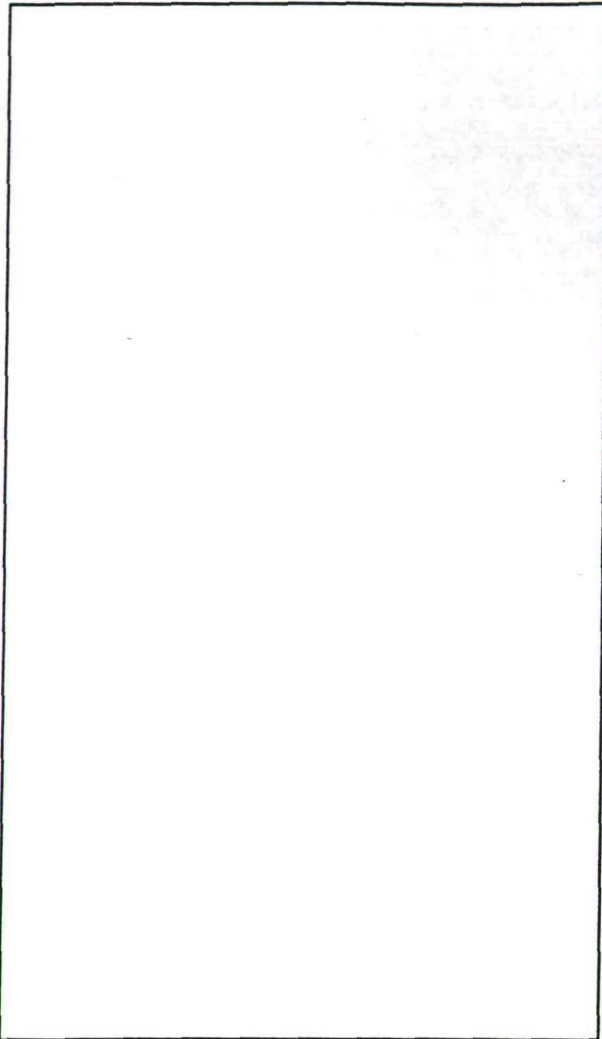


Fig. 1. Average chlorophyll-a concentration (after Cadée and Hegeman 1993), Macrofauna biomass (after Beukema 1992) and Eider fledglings (after Swennen 1991) in the western Wadden Sea. The different levels observed in the data set are indicated.

abundances of *Noctiluca scintillans* in three year intervals near Helgoland. Neudecker and Eurps (1996) found some indications for a 6-year cycle in the amount of shrimps landed around the North Sea. Between 1969 and 1996, the density of *Macoma balthica* recruits strikingly showed a maximum every 6 years, starting in 1973, with only two other maxima in other years (Dekker pers. com.). In the same period, cockles (*Cerastoderma edule*) also showed periodical recruitment patterns with optima every four years. However, their recruitment failed in the 90s.

The interannual variation of zooplankton biomass in the Gulf of Alaska seems to be dominated by the Pole Tide (~14 month period) and the quasi-biennial oscillation (QBO; ~24 month period), whereas 6 and 12 year periods were also significant (Conversi and Hameed, 1997). Gray and Christie (1983) analysed plankton data from the North Atlantic and found evidence of 3-4, 6-7 and 10-11 years cycles, whereas benthic data suggested 6-7 and 10-11 years cycles. Witbaard (1996) found a 25-30 year cycle in the variation in annual shell growth of *Arctica islandica* collected at the Fladen grounds in the North Sea. Due to the fact that *A. islandica* grows older than 100 years he was able to create a data set long enough to detect this cyclic behaviour. For the CPR data a 30-year cycle has been suggested. The data on Eider fledglings hint at a possible 10-or 20-year cycle. However, up till now most data sets are too short for a reliable analyses of these cycles. Analyses of phenomena observed in marine sediments may help to solve this problem. Pike and Kemp (1997) found significant periodicities in the deposition of diatom mat laminae of ~11 years, 22-24 years and (~50 years in Gulf of California sediments deposited in the early Holocene. Cyclic deposition has been observed in many sediments and their paper gives a selection of observations all indicating similar periodicities.

In conclusion, many longer data series indicate interannual and decadal changes among which the following phenomena may be observed: sudden rapid changes, gradual changes (e.g. in the direction of trends), changes in (seasonal) variability, changes in dominance of species and cyclic variation. What causes this behaviour of the marine ecosystem?

Possible causes

Links with changes of short-term or large-scale weather patterns have been suggested in several papers. Wind, winter and/or summer temperatures or rainfall are mentioned as possible causes. A shift in storm frequencies or wind directions might cause changes in sediment water exchange in shallow areas or mixing of stratified waters in deeper areas (Lindeboom et al. 1995). Beukema (1990) found that the occurrence of cold winters strongly influenced the species composition of intertidal

benthic communities. He demonstrated that the winter of 1979 affected the macrofauna in the Balgzand area. Other strong winters, but not all, led to similar effects. Comparing three different areas in the Wadden Sea, Beukema et al. (1996) showed several examples indicating that severe winters represent a major synchronizing factor among many of the zoobenthos species of tidal flats, both by immediately enhanced mortality rates in species sensitive to low temperatures and by enhanced recruitment in bivalve species some months later (Fig. 2). High temperatures in summertime may influence the distribution of species adapted to cooler waters. Cadée and Hegeman (1993) showed that there is a positive correlation between the freshwater input from Lake IJssel, and thus rainfall, and the length of algal blooms in springtime in the Marsdiep area. Therefore, specific differences in weather phenomena may explain local changes in the marine ecosystem. The long-term changes observed in the CPR data have been attributed to changes in westerly weather patterns (Aebischer et al. 1990). Well known is the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) cycle resulting in the nearly complete failure of fisheries in South-American waters and many other ecological deviations worldwide every 4-7 years (e.g. Angel 1994).

Burroughs (1992) mentions cycles of 2, 3-4, 5-7, 10-12, 18.6, 22, 80-90 and 200 years observed with a relatively high frequency in meteorological records all of which might have a relationship with certain weather and astronomical features. Are these cycles reflected in the marine ecosystem? In the data set on phytoplankton (Fig. 1) the annual fluctuation shows an alternating pattern between years. Is this a coincidence or might there be a relationship with the quasi-biennial oscillation (QBO) often observed in weather patterns and other data series (e.g. Conversi and Hameed 1997). Although the data series is still short, the fledgling success of the eiderducks has periods with optima and minima of approximately 11 years. It has been argued that storm patterns in the temperate zone may be influenced by the occurrence of sunspots (Haigh 1996). Cycles of 11 or 22 years have been observed in several sedimentary records which hint at a possible influence of the 11 year sunspots cycle or the 22 year Hale cycle on marine systems. So

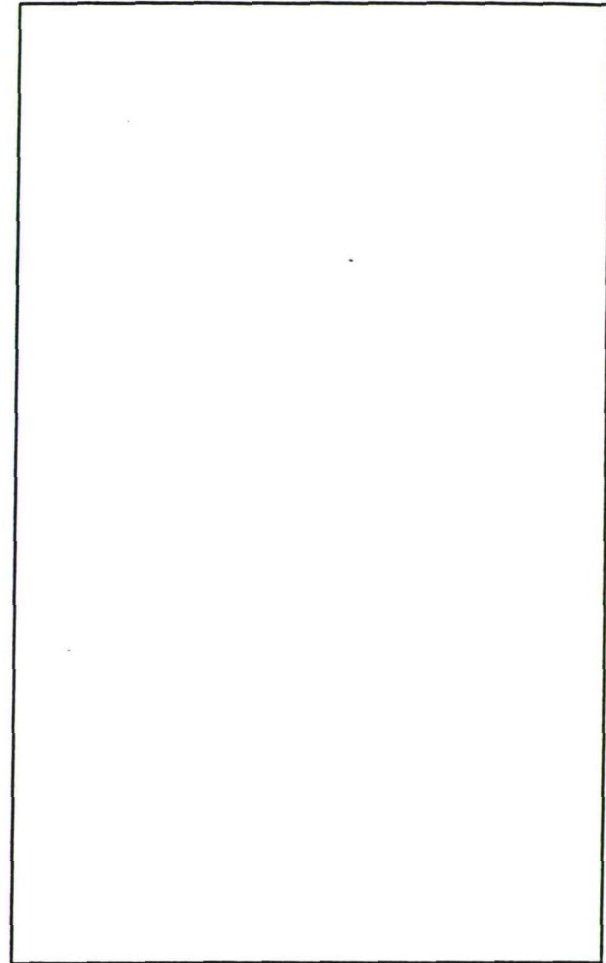


Fig. 2. Long-term changes in numerical densities (n, m^{-2}) of the bivalve *Macoma baltica* observed in late summer at a) Norderney (German Wadden Sea; average of 4 stations), b) Groningen (Eastern Dutch Wadden Sea; 5 stations) and c) (Western Dutch Wadden Sea; 15 stations) (Beukema et al., 1996)

far, many authors have criticized the possible relationships with sunspots, because the difference in solar irradiation is too small, others have pointed at the possibility of the effect of the changing magnetic field (Burroughs 1992; Haigh 1996). On the other hand, the 18.6-year period in the regression of the longitude of the node- the line joining the points where the Moon's orbit crosses the ecliptic (Burroughs 1992) may also have an influence on biota. Peaks in tidal forces due to this phenomenon occurred in 1950, 1969 and 1988. In the Wadden

K

Sea a clear 18.6 year cycle was found in sedimentation rates (Oost et al. 1993). And organisms living in the intertidal area, such as the macrofauna shown in Fig. 1, may be subject to influences of this cycle. However, much longer data sets are needed before a relationship between a mix of different external cycles and possible phenomena observed in the marine environment can really be established.

For the sudden changes at the end of the 70s, a relationship with the great salinity anomaly which entered the North Sea in 1977/78 was proposed (Lindeboom et al. 1995). Not the salinity itself but a difference in macro- or micro-nutrient concentrations in this distinct water mass amount of water could have led to changes in the ecosystem. Taylor et al. (1992) indicated a correlation between latitudinal displacements of the Gulf Stream and the abundance of plankton in the North-East Atlantic suggesting that changes in the hydrography of the western Atlantic may influence the biota of the eastern part. The changes observed in the so-called Russell cycle described for the English Channel (Southwood 1980) were attributed to differences in the amounts of phosphate coming from the Atlantic Ocean into this area. Fromentin and Planque (1996) found a close relationship between the North Atlantic Oscillation (NAO) and the abundance of the copepods *Calanus finmarchicus* and *C. helgolandicus* in the eastern North Atlantic. In their analyses Gray and Christie (1983) showed evidence of cycles in hydrographic data for the North Atlantic Ocean with periods of 3-4, 6-7, 10-11, 18-20 and 100 years. They indicate a relationship between the hydrographic and biotic cycles. Witbaard et al. (1997) attributed the observed growth variation in *A. islandica* to hydrographic changes.

In many cases, human activities such as eutrophication, pollution or fisheries have been seen as a major driving force of observed changes. Along the Norwegian Skagerrak coast Johannessen and Dahl (1996) found a clear signal of ecosystem changes due to eutrophication. Beukema (1991) attributed the rise in the phytoplankton and macrofauna biomass in the late seventies (see Fig. 1) to the effects of eutrophication in the Dutch coastal waters. Indeed, the

anthropogenic phosphate and nitrogen loadings of the river Rhine were high in that period. However, how does a gradually increasing nutrient concentration explain a sudden doubling of biomass? Eutrophication has certainly influenced the biota in the Dutch and German coastal zone (Gerlach, 1990), and Norwegian waters (Johannessen and Dahl 1996), but other causes also seem to play a significant role.

Pollution may also influence the ecosystem. A dramatic decline in the Eider duck and Sandwich Tern (*Sterna sandvicensis*) populations in the Western Wadden Sea was observed in the early sixties. Later, the cause appeared to be the accidental pollution of the coastal zone with drins (Swennen 1991). Certainly, pollution can cause sudden changes, especially on a local level, but in general this leads to a deterioration of the biota and not to a sudden increase. It is unlikely that pollution with heavy metals or organic pollutants played a significant role in the large scale phenomena described above. An exception could be the pollution with TBT from antifouling paints on ships, which may have negatively influenced the occurrence of whelks (*Buccinum undatum* L.) in the Dutch coastal zone (Ten Hallers-Tjabbes et al. 1996).

Another important human impact factor is fisheries. The decline of herring stocks to very low levels in the mid-70s has been attributed to extensive fisheries. However, Corten (1990) has argued that in this case changes in hydrography may also have played a very significant role. Fishermen have been blamed for the tremendous decline of the mussel and cockle population in the Western Wadden Sea in the early 90s. But it is not unlikely that natural causes (e.g. weather changes) have played a role, whereby the fisheries simply caused an extra decline in already decreasing populations. The direct effects of beam trawl fisheries on biota has been clearly demonstrated (e.g. Lindeboom and de Groot 1998), and a gradual shift from long living, slowly reproducing species towards rapidly reproducing, short lived species may be the result. However, this cannot explain the sudden changes observed in the late 70s.

Other human induced causes of changes in coastal zone ecosystems include the building of

structures like seawalls, dikes and jetties which may influence the local currents and morphology. The construction of polders, the mining of sand and gravel, and the subsidence caused by the extraction of water, oil or gas.

Up till now, I have looked for the possible cause of the observed variations outside the system, but it could also be caused by internal cycles in the marine ecosystem. High biomasses or high reproduction rates of one organism may alternate with similar phenomena in other organisms. These sorts of changes have been observed, e.g. in fish stocks (Hempel 1978), and using model calculations Silvert (1993) showed that sudden declines or increases may be explained by internal cycles. So until we have longer data series and more analytical and experimental evidence for certain cause-effect relationships, we should not rule out internal cycles as a possible cause of the phenomena observed.

Possible effects of climate change

It is difficult to predict the ultimate effects of temperature changes on the marine ecosystem. In the literature many predictions have been made for different groups of organisms, but if we try to combine all these effects it becomes a very complex picture with many uncertainties.

Kawasaki (1991) states that global warming could accelerate coastal upwelling, and thus increase photosynthesis and the production of pelagic fish. However, changing current systems might change taxonomic composition of plankton leading to a movement of the distribution ranges of major fish stock.

Robin and Denis (1999) found a link between mild winter conditions and the cohort success in winter/spring spawning squid (*Loliginidae*) species. In contrast to this, as stated before, Beukema et al. (1996) found evidence that cold winters enhance the breeding success of shellfish species (see also Fig. 2). Similar effects have been reported for flatfishes like sole and plaice.

Comparing the fauna distribution along the Californian coast in the early 30's with the early 90's, Barry et al. (1995) found a northward shift of species' ranges; consistent with predictions

associated with climate warming. For soft bottom macrobenthos communities on the Swedish West Coast Tunberg and Nelson (1998) proposed climatological linkages affecting primarily surface primary production resulting in bottom-up control of benthic population changes. They found a clear correlation with the NAO index. Kröncke et al. (1998) found the same for macrofaunal communities near Norderney (Germany), again suggesting that most of the interannual variability in macrozoobenthos can be explained by climate variability. Their data indicate that the benthic communities are severely affected by cold winters and not by storms or hot summers. However, this is not a general rule. Beukema et al. (1988) compared changes in the faunal composition at three places in the Wadden Sea. The data on severe winter survival clearly showed a geographical trend of lower survival in the NE as opposed to the SW part of the sampling area, indicating important differences in reactions over a distance of approx. 200 km. De Vooy (1990) compared the macrofauna communities of the Wadden Sea with those of the Seine estuary (mean temperatures 2° C higher) and the Gironde estuary (mean temperatures 4° C higher). He concluded that a rise of temperature of 2° C in the Wadden Sea would lead to an enrichment of ~20% of the number of species, whereas at a rise of 4° C an enrichment of ~30% might be expected.

In the studies mentioned above, changes observed in the ecosystem were related to temperature changes. In other studies the changing faunal composition has been used as an argument that water temperatures are changing. Francour et al. (1994) used a variety of biological indicators to demonstrate that Mediterranean waters are becoming warmer. The same was done by Franke et al. (1999) who saw the recent arrival of the oceanic isopod *Idotea metallica* off Helgoland (Germany) as an indication of a warming trend in the North Sea.

For Gulf of Mexico oysters a significant correlation was found between length and reproduction stage and temperature and rainfall (Kim and Powell 1998). On the other hand the sex ratio and the oyster pathogen *Perkinsus marinus*

prevalence were more influenced by variations in the local environment.

Changes in rainfall have also been mentioned in other areas as possible climate effects (Cadée and Hegeman 1993). These changes alter the river inputs and the salinities in estuaries and the coastal zone. Although many organisms in this area are adapted to highly variable salinities, shifts in species composition and dominance are to be expected, especially when the occurrence of extremes in salinities, either very low or high, increases.

Changes in wind velocities, directions or storm frequencies may have profound effects on the marine ecosystem. As a result, the water currents and water mixing may change. This in turn leads to changes in nutrient (re-)distribution, egg and larval transports, oxygenation and distribution of planktonic organisms. Lindeboom et al. (1995) have suggested that the shift from a pelagic dominated system towards a benthic dominated system, as has been observed in the North Sea could be the result of shifting wind phenomena (Fig. 3).

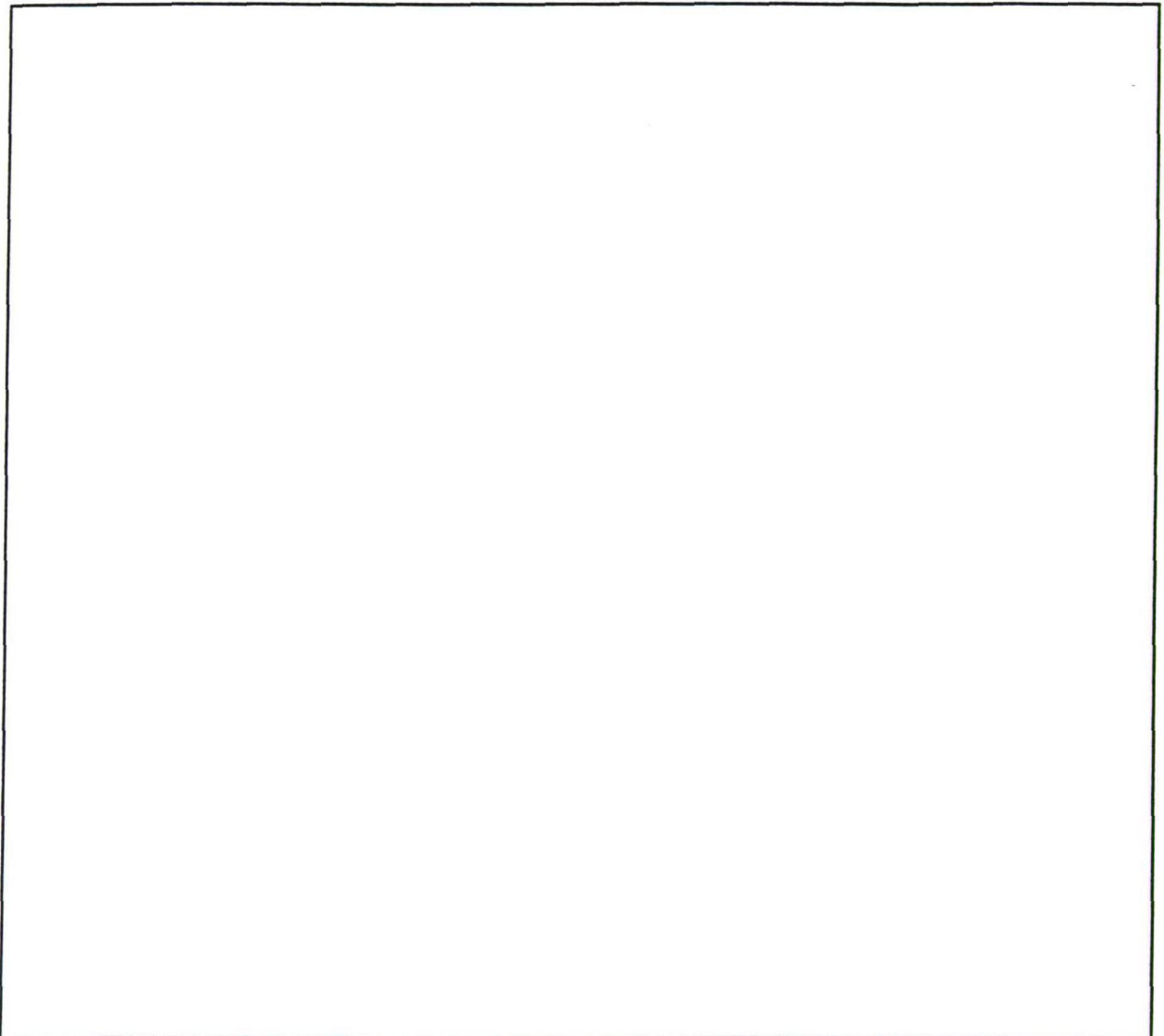


Fig. 3. The nitrogen cycle in a marine ecosystem switching from a 'benthic' to a 'pelagic' foodweb. In deeper areas, with summer stratification this might lead to an extra sink for nitrogen.

Global temperature rises are bound to be followed by rises in sea level, even from thermal expansion alone. The precise effects of sea-level rise in coastal environments will largely depend upon geomorphological processes, in particular the net result of changing rates of sedimentation and erosion (Beukema et al. (1990).

In conclusion, the coastal environment is and will be affected in a variety of ways by the possible climate changes. Consistent changes in temperature, windfields and/or rainfall will cause shifts in areas of distribution of plants and animals, changing the composition of ecosystems with risks of imbalance and extinction of rare and sensitive species (Beukema et al. 1990). For other species the breeding success may increase or decrease depending upon the occurring changes and the life strategies of the species involved. Since all these species also have very complex interrelationships, predictions of the actual effects of climate change are highly uncertain. Nevertheless, it is worthwhile to consider possible effects of climate changes on our highly variable coastal ecosystems, in particular to realise the gaps in our knowledge and to be prepared when climate changes become greater.

Discussion

Marine ecosystems are not in steady state but show large interannual and decadal variations. Periods with large algal blooms alternate with years or decades with relatively low algal biomasses. Biomasses or reproductive success may double or halve between two consecutive years. Periods with decreasing trends are followed by periods with increasing trends. Years with a high frequency of anaerobic events succeed years when no low oxygen concentrations are measured. Sometimes the ecosystem seems more or less stable for a certain period, but then the system seems to flip to another semi-steady state.

Can the interannual and decadal variation of the North Sea ecosystem be attributed to just one or a few causes or are we looking at a very complex combination of natural variability and human influences? For reasons of simplicity, or clarity towards financiers or managers, it has been tempting to try to find the explanation in just one or

a few causes (e.g. Kröncke 1995; Lindeboom et al. 1995).

Anthropogenic activities certainly have an impact on the marine ecosystem. However, most often these are of a local and limited nature (eutrophication, pollution, mining) or lead to one way trends (fisheries). And considering the phenomena described above, it seems likely that a combination of factors induces the variations observed in the marine ecosystem.

When analysing the abundance of fish recruits in the western Wadden Sea, Philippart et al. (1996) found a significant correlation with the NAO index. However, they concluded that the actual cause-effect relationship might be very complex and related to transport rate of larvae across the North Sea and the quality of the nurseries, i.e. temperature, food availability and predation pressure. And although *Macoma balthica* recruitment in the western Wadden Sea was successful every six years for a period of over 25 years, there were also two other years that recruitment was above average. And although several maxima in recruitment occurred after a cold winter, the highest maximum occurred after a mild winter. So, just referring to cold winters as the cause does not explain all data observed. Lindeboom et al. (1995) introduced a set of hypotheses on how the changes might be linked to changes in weather patterns, hydrographical changes and changes in nutrient cycles, especially in the nitrogen cycle (see Fig. 3), all indicating that we are dealing with a very complex system. and that it will never be easy to explain all field observations. And similarly, it will be very difficult, if possible at all, to predict the effects of climate change at local or regional scales.

Long-term data series can help to answer questions on cause-effect relationships, and the continuous collection of data, often hampered by limited funding, should be strongly supported. These long-term data sets, in combination with the results of experimental laboratory and field studies, will be necessary if we are to answer the question whether we are looking at explainable phenomena with clear cause-effect relationships or at a more or less chaotic and unpredictable behaviour of the marine ecosystem.

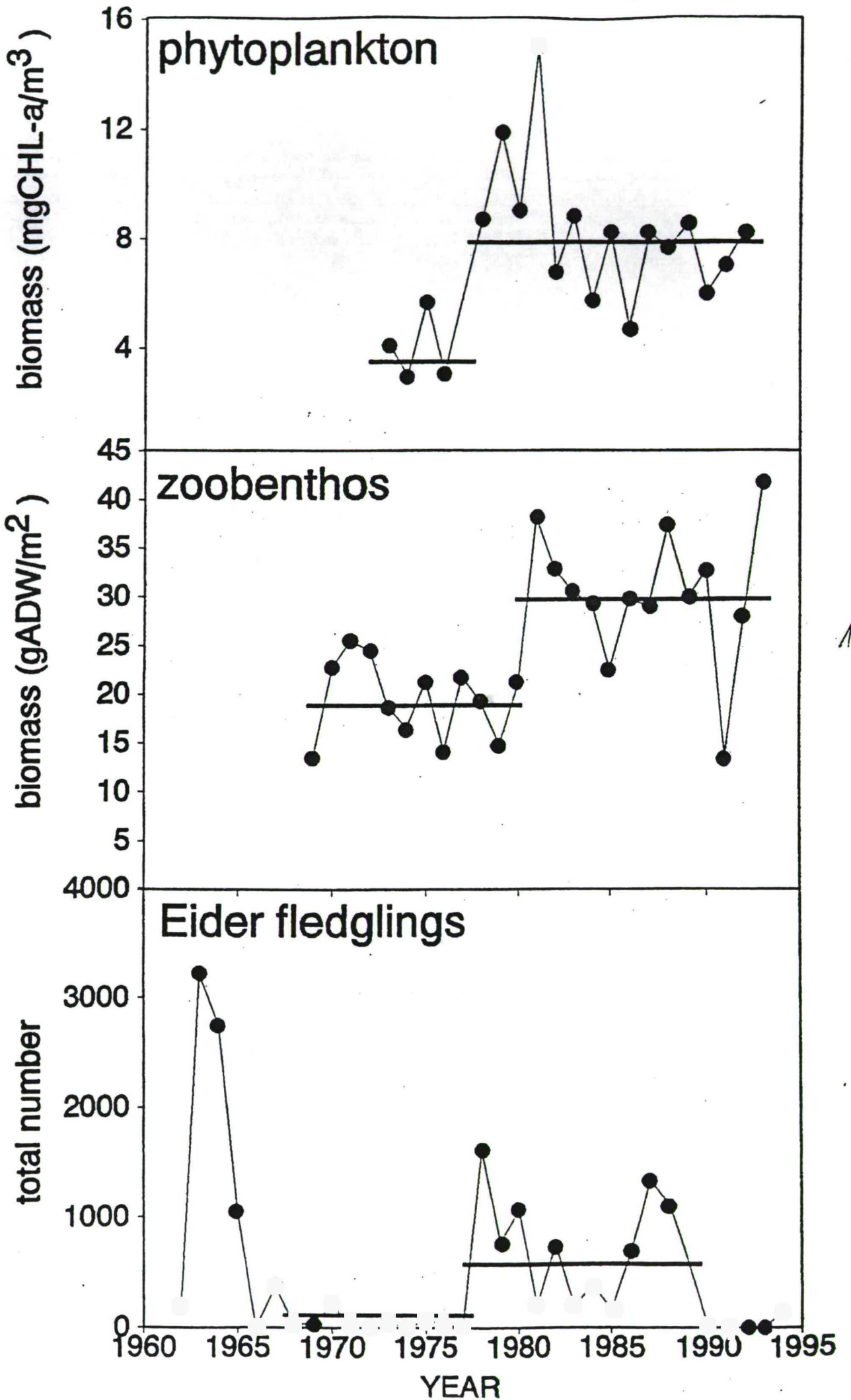
References

- Angel MV (1994) Spatial distribution of marine organisms: patterns and processes. In: Edwards PJ, May RM, Webb RN (eds) Large scale ecology and conservation biology. Blackwell, Oxford, pp 49-109
- Aebischer NJ, Coulsen JC, Colebrook JM (1990) Parallel long-term trends across four marine trophic levels and weather. *Nature* 347:753-755
- Beukema JJ (1991) Changes in composition of bottom fauna of a tidal-flat area during a period of eutrophication. *Mar Biol* 111:293-301
- Beukema JJ (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
- Beukema JJ, Essink K, Michaelis H (1996) The geographic scale of synchronized fluctuation patterns in zoobenthos populations as a key to underlying factors: climatic or man-induced. *ICES Journal of Marine Science* 53:964-971
- Buchanan JB (1993) Evidence of benthic pelagic coupling at a station off the Northumberland coast. *J exp mar Biol Ecol* 172:1-10
- Burroughs WJ (1992) Weather cycles Real or Imaginary? Cambridge University Press, Cambridge, UK, p 207
- Cadée GC, Hegeman J (1993) Persisting high levels of primary production at declining phosphate concentration in the Dutch coastal area (Marsdiep). *Neth J Sea Res* 31:147-152
- Corten A (1990) Long-term trends in pelagic fish stocks of the North Sea and adjacent waters and their possible connection to hydrographic changes. *Neth J Sea Res* 25(1/2):227-235
- Ebbesmeyer CC, Cayan DR, McLain DR, Nichols FH, Peterson HH, Redmond KT (1990) 1976 step in the Pacific climate: forty environmental changes between 1968-1975 and 1977-1984. In: Betancourt JL, Tharp VL (eds.) Proc. 7th Annual Pacific Climate (PACLIM) Workshop. Calif. Dept. of Water Resources, Interagency Ecol Stud Prog Rep 26:115-126
- Fromentin J-M, Planque B (1996) *Calanus* and environment in the eastern North Atlantic. II. Influence of the North Atlantic Oscillation on *C. finmarchicus* and *C. helgolandicus*. *Mar. Ecol Prog Ser* 134:111-118
- Gerlach SA (1990) Nitrogen, phosphorus, plankton and oxygen deficiency in the German Bight and in Kiel Bay. *Kieler Meeresforschungen, Sonderheft Nr. 7*, p 341
- Gray JS, Christie H (1983) Predicting long-term changes in marine benthic communities. *Mar Ecol Prog Ser* 13:87-94
- Haigh JD (1996) The impact of solar variability on climate. *Science* 272:981-984
- Hallers-Tjabbes CC ten, Everaarts JM, Mensink BP, Boon JP (1996) The decline of the North Sea Whelk (*Buccinum undatum* L.) between 1970 and 1990: A natural or a human-induced event? *Mar Ecol* 17(1-3):333-343
- Hempel G (1978) North Sea fisheries and fish stocks - A review of recent changes. *Rapp. P.-v. Réun. Cons int Explor Mer* 173:145-167
- Hickel W, Mangelsdorf P, Berg J (1993) The human impact in the German Bight: Eutrophication during three decades (1962-1991). *Helgol Meeresunters* 47:243-263
- Johannessen T, Dahl E (1996) Declines in oxygen concentrations along the Norwegian Skagerrak coast, 1927-1993: A signal of ecosystem changes due to eutrophication *Limnol Oceanogr* 41:766-778
- Josefson AB, Jensen JN, Ærtebjerg G (1993) The benthos community structure anomaly in the late 1970s and early 1980s - a result of a major food pulse? *J Exp Mar Biol Ecol* 172:31-46
- Kawasaki T (1991) Effects of global climatic change on marine ecosystems and fisheries. In: Jäger J, Ferguson HL. Climate change: science, impacts and policy. Proceedings of the Second World Climate Conference, pp 291-299
- Kröncke I, Dippner JW, Heyen H, Zeiss B (1998) Long-term changes in macrofaunal communities off Norderney (east Frisia, Germany) in relation to climate variability. *Mar. Ecol Prog Ser* 167:25-36
- Lindeboom HJ, van Raaphorst W, Beukema JJ, Cadée GC, Swennen C (1995) (Sudden) changes in the North Sea and Wadden Sea: Oceanic influences underestimated? *Dt Hydrogr Z Suppl* 2:87-100
- Mann KH, Lazier JRN (1991) Dynamics of marine ecosystems. Biological-physical interactions in the oceans. Blackwell Scientific Publ. Oxford, p 466
- Oost AP, de Haas H, Ijnsen F, van den Boogert JM, de Boer PL (1993) The 18.6 year nodal cycle and its impact on tidal sedimentation. *Sedimentary Geology* 87:1-11
- Philippart CJM, Lindeboom HJ, van der Meer J, van der Veer HW, Witte JJJ (1996) Long-term fluctuations of fish recruit abundance in the western Wadden Sea in relation to variation in the marine environment. *ICES Journal of Marine Science* 53:1120-1129
- Pike J, Kemp AES (1997) Early Holocene decadal-scale ocean variability recorded in Gulf of California laminated sediments. *Paleoceanography* 12:227-238
- Silvert W (1993) Size-structured models of continental shelf food webs. In: Christensen V, Pauly D (eds)

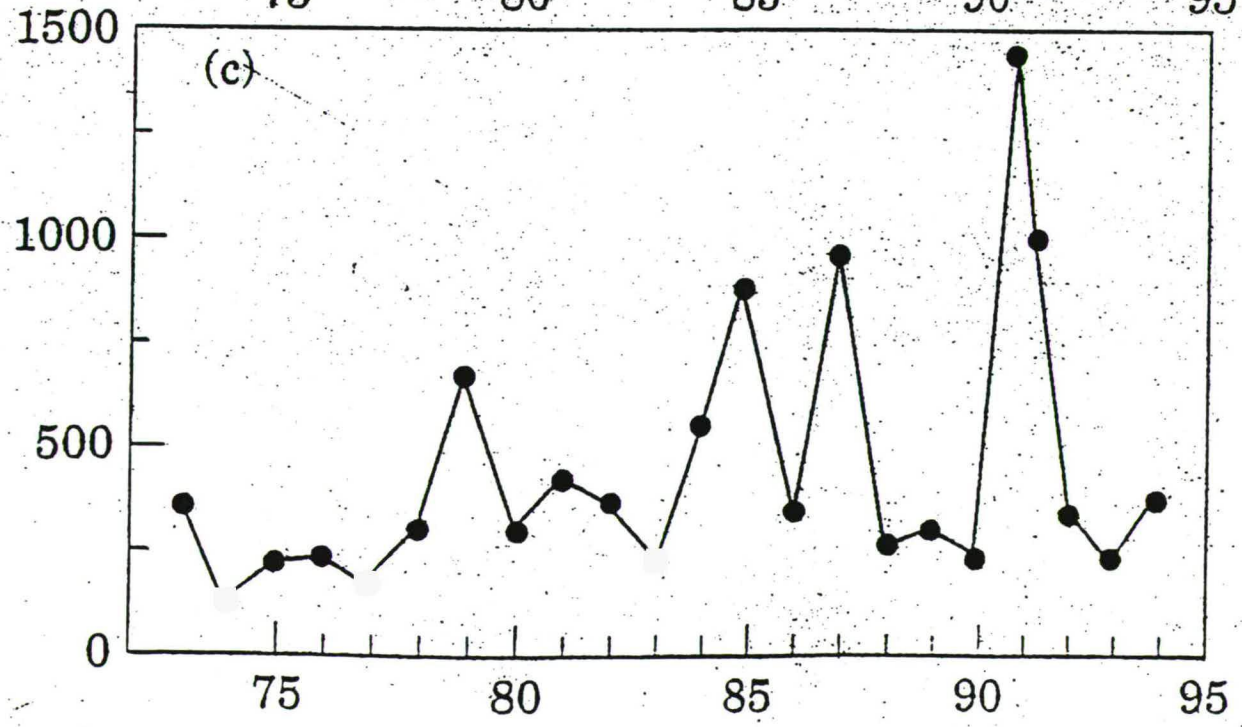
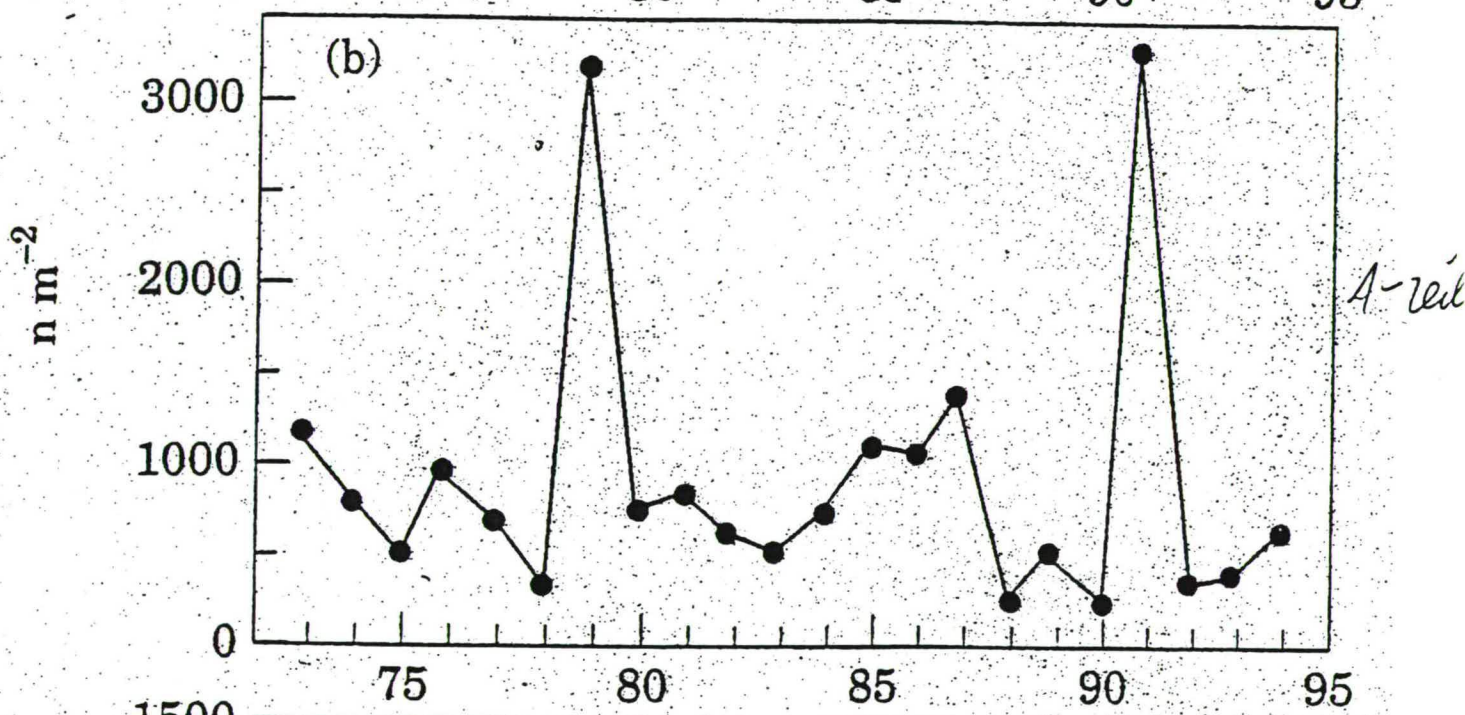
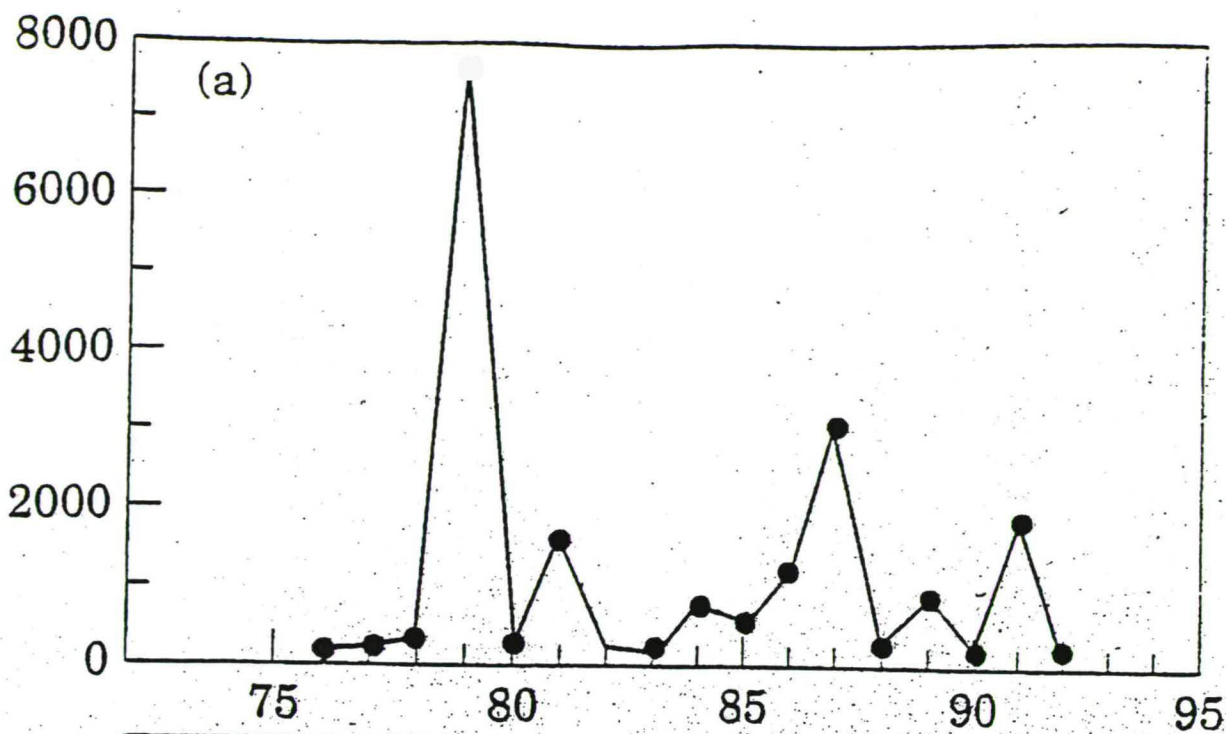
- Trophic models of aquatic ecosystems. ICLARM Conf Proc 26:40-43
- Swennen C (1991) Fledgling production of Eiders *Somateria mollissima* in The Netherlands. J Orn 132:427-437
- Taylor AH, Colebrook JM, Stephens JA, Baker NG (1992) Latitudinal displacements of the Gulf Stream and the abundance of plankton in the North-East Atlantic. J mar biol Ass UK 72:919-921
- Witbaard R, Duineveld GCA, de Wilde PAWJ (1997) A long-term growth record derived from *Arctica islandica* (Mollusca, Bivalvia) from the Fladen Ground (northern North Sea). J Mar Biol Ass UK (in press)

e-mail Oct. 0

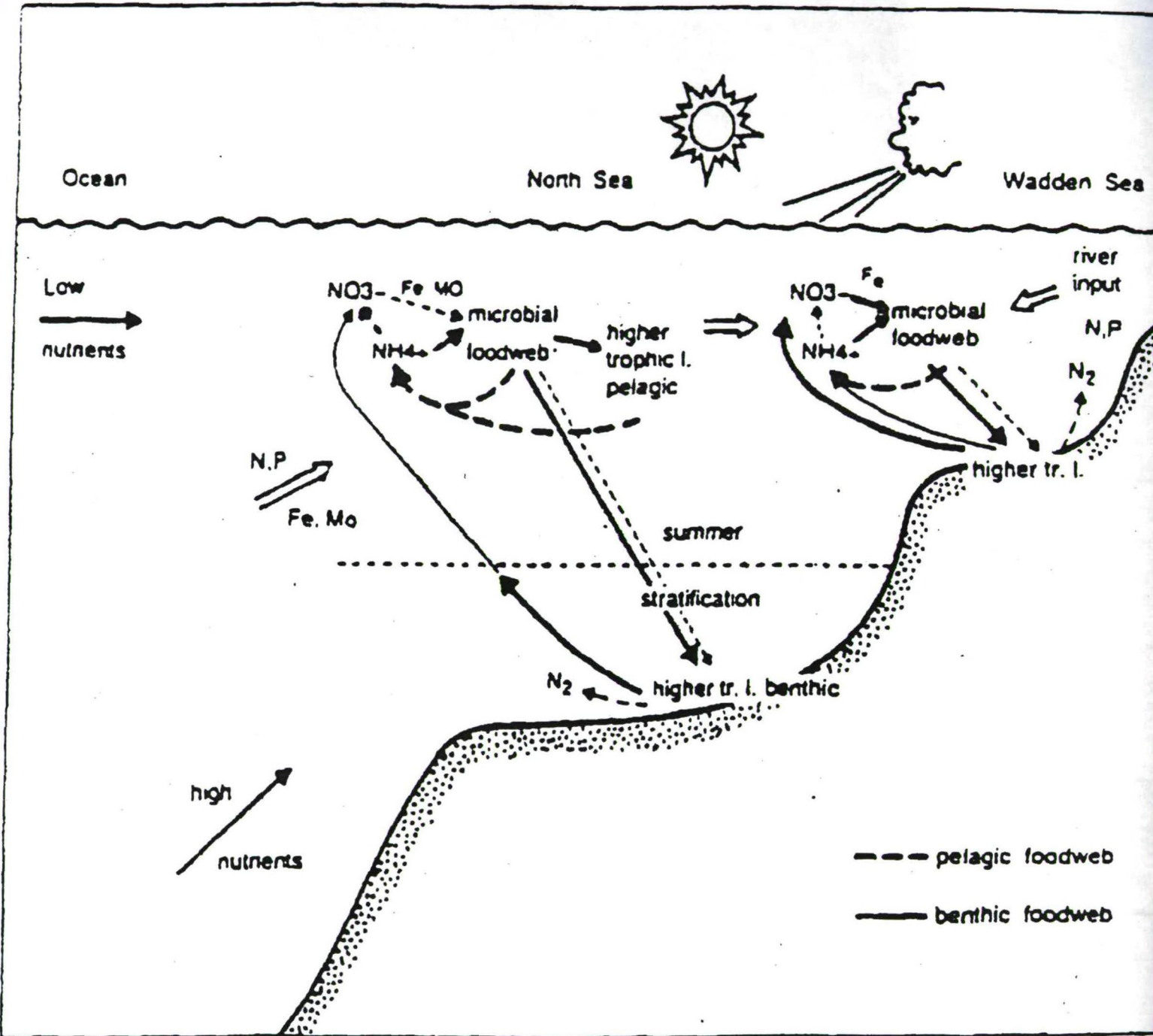
15.7
7.5



1-10



373,5



2 - Zeitij

Gevolgen van veranderde rivierafvoeren voor het Noordzee ecosysteem



Hans van Pagee

RIKZ Middelburg

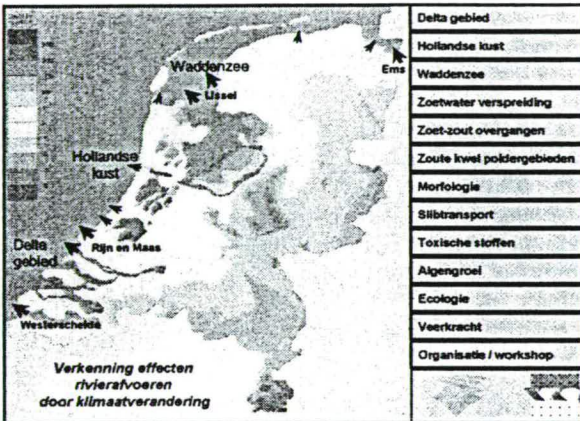
(voorheen WL Delft Hydraulics)



Resultaten afgeleid uit verkenning naar de invloed van klimaatverandering op zoet-zout overgangen en kustwateren

Inhoud

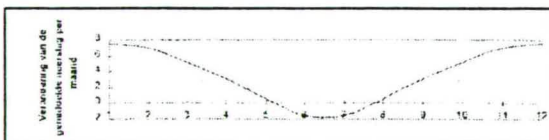
1. Welke veranderingen in rivierafvoeren worden verwacht ?
2. Wat is de invloed op de kustwateren ?
3. Wat is de invloed op het Noordzee systeem ?
4. Samenvatting zorgpunten (stellingen)



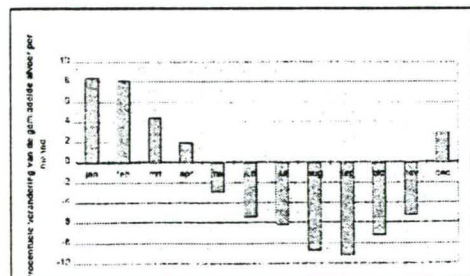
Uitgangspunten verandering klimaat

- Meer neerslag: meer in winter, minder in zomer
- Meer afvoerpieken in de winter
- Lager debiet gedurende de zomer (- 8 tot 20 %)

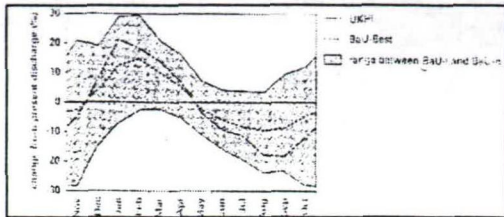
Seizoensmatige verandering in neerslag



Verandering in Rijnafvoer



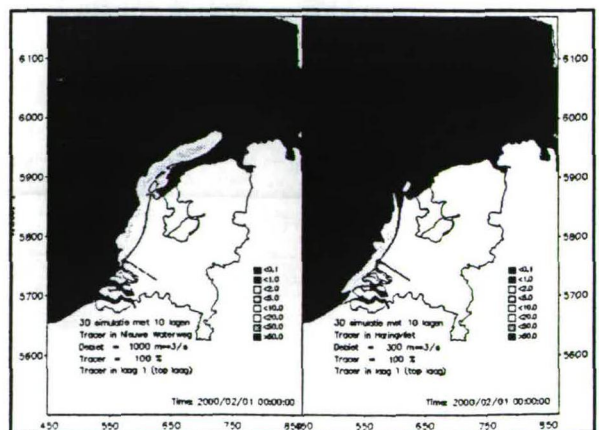
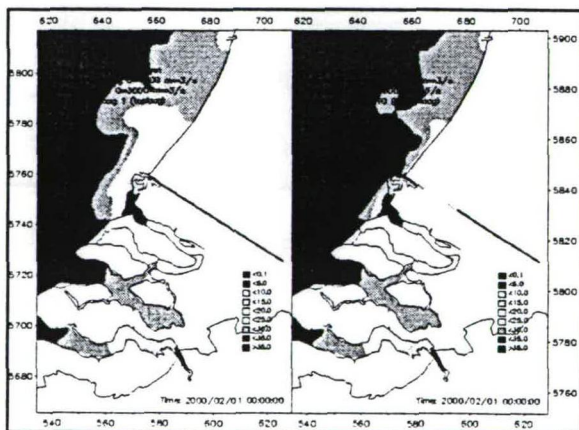
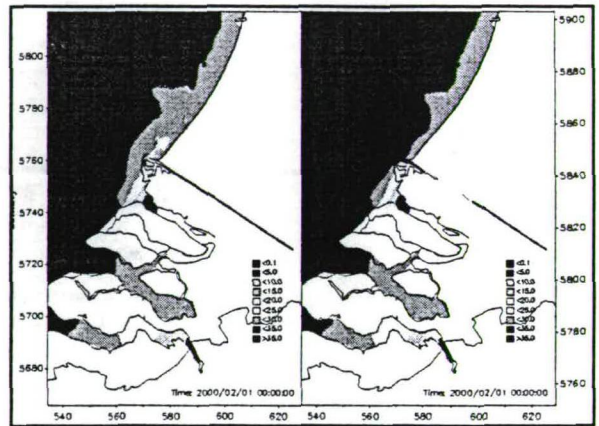
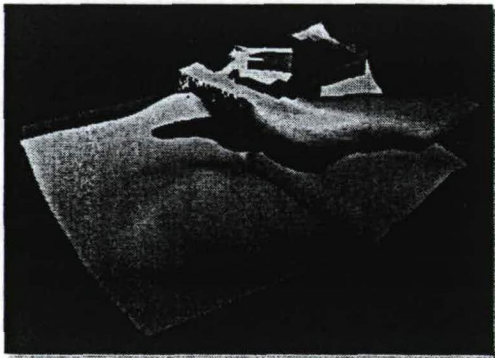
Range in verwachte veranderingen Rijnafvoer

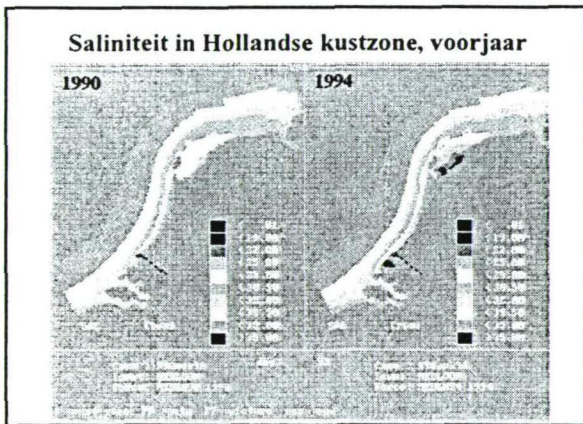
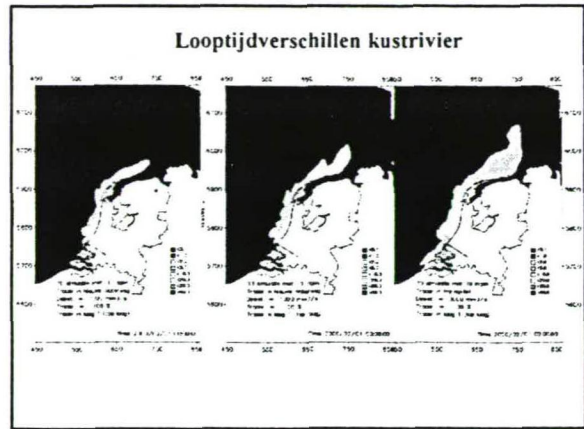
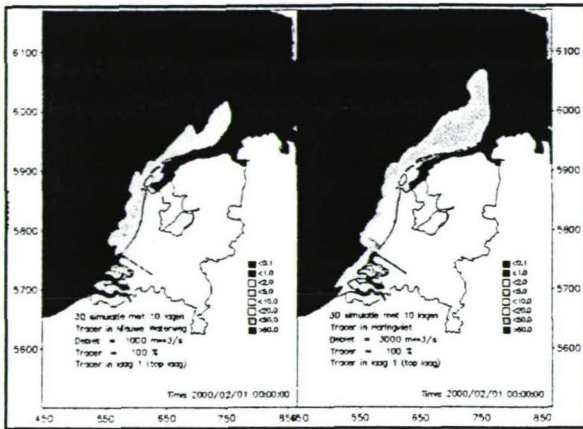


Inhoud

1. Welke veranderingen in rivierafvoeren worden verwacht ?
2. Wat is de invloed op de kustwateren ?
3. Wat is de invloed op het Noordzee systeem ?
4. Samenvatting zorgpunten (stellingen)

Uitstroming Nieuwe Waterweg





Stellingen: zoetwater (1)

Algemeen

hogere afvoer resulteert in:

- lagere saliniteitsgehalten in de nabije kustzone
- verandering in watertemperatuur
- meer kans op stratificatie (gelaagdheid)
- extra transport door density shear
- extra bodemtransport / oppervlakte transport

Stellingen: zoetwater (2)

Gevolgen voor Delta

hogere afvoer geeft voor de Westerschelde:

- verschuiving van zoutgradient naar het westen
- meer kans op gelaagdheid (bodemtransport naar binnen)

Stellingen: zoetwater (3)

Gevolgen voor Hollandse kustwater

hogere afvoer in resulteert in:

- sterkere gradienten in kustwater (accentuering kustrivier)
- meer gelaagdheid
- sneller transport langs de kust (density shear)
- sterker kustwaarts transport langs de bodem (sediment. vislarven)

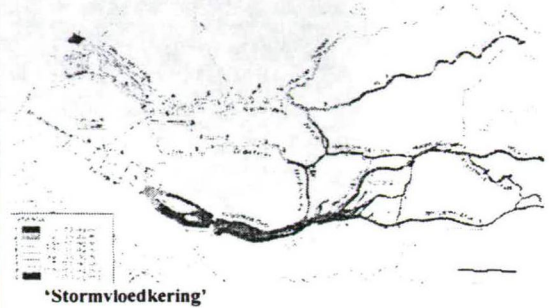
Stellingen: zoetwater (4)

Gevolgen voor Hollandse kustwater

lagere afvoer resulteert in

- omgekeerde als bij hogere afvoer
- minder mogelijkheden voor openstelling Harinvlietsluizen

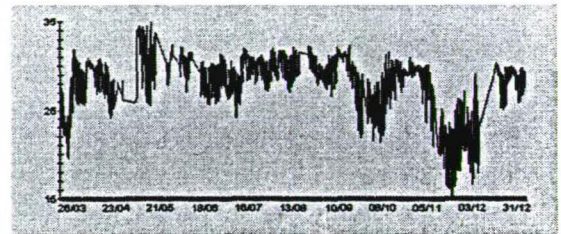
Beheer Haringvlietsluizen



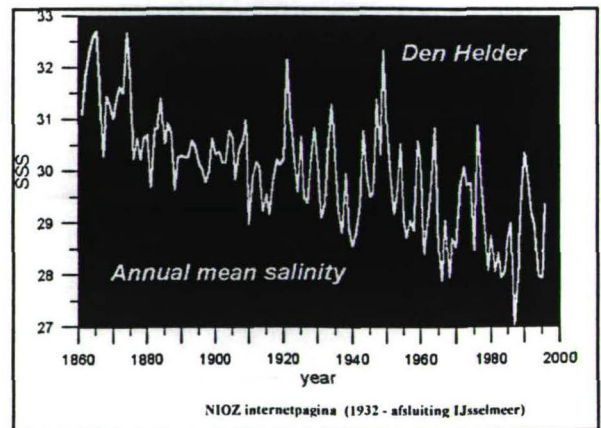
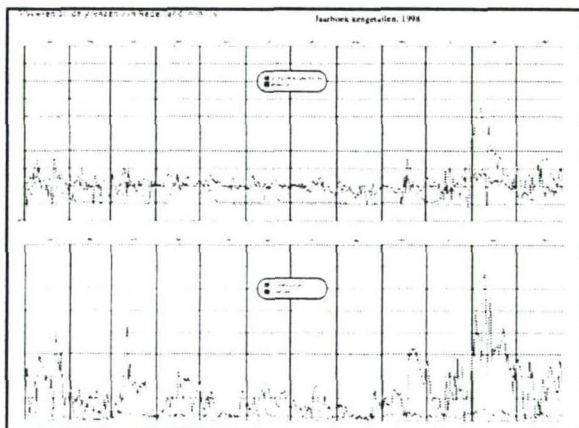
Stellingen: zoetwater (5)

Gevolgen voor Waddenzee

- Saliniteit Waddenzee wordt vooral bepaald door lokale afwateringen (IJsselmeer, Lauwerszee)
- Groter saliniteitsverschil tussen Noordzee en Waddenzee geeft meer uitwisseling (bovenlaag uit /onderlaag in)

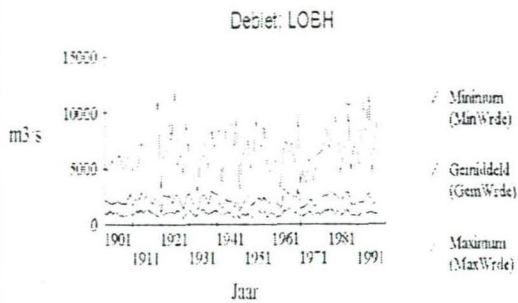


NIOZ internetpagina: zoutregistraties veerboot 1998



NIOZ internetpagina (1932 - afsluiting IJsselmeer)

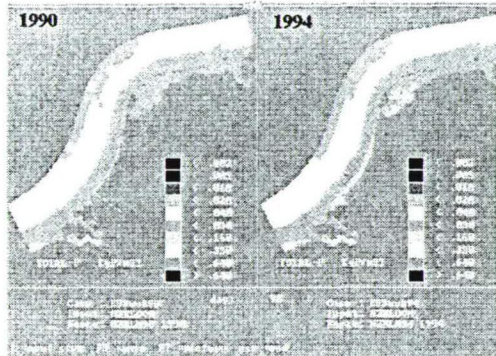
Rijnafvoer 1900 - 2000 (Lobith)



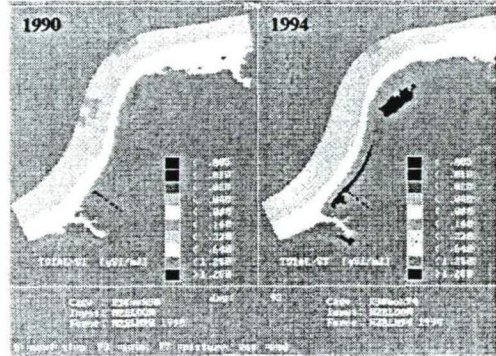
Gevolgen van veranderde rivier afvoer op (plaag) algen en ecologie in de Nederlandse Kustzone

- gevolgen voor nutriënten
- gevolgen voor primaire productie en algen biomassa
- gevolgen voor benthos, vissen, vogels, zeezoogdieren, ...

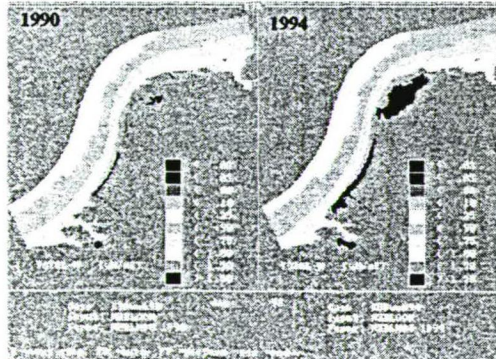
Totaal P in Hollandse kustzone, voorjaar



Totaal Si in Hollandse kustzone, voorjaar



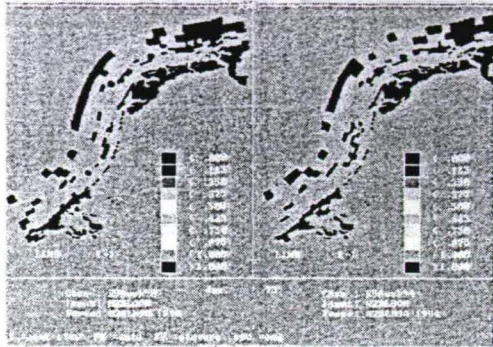
Totaal N in Hollandse kustzone, voorjaar



Hollandse kustzone, voorjaar

- Nutriënten belastingen nemen toe
- Nutriënten concentraties nemen toe (Tot-N en Tot-Si sterker dan Tot-P)
- Maar nemen primaire productie en biomassa ook toe?

Licht limitatie in Hollandse kustzone, voorjaar



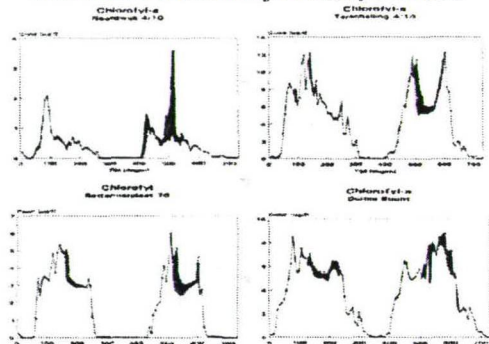
Hollandse kustzone, voorjaar

- Verwachting:
 1. Zwevend stof gehalten nemen toe
 2. Saliniteit neemt af (ook meer gelbstof)
 3. Licht limitatie neemt toe
 4. Totaal nutriënten nemen toe
- Gevolg:
 1. Voorjaarsbloei begint later
 2. Piekhoogte blijft ongeveer gelijk
 3. Toename nutriënten irrelevant
 4. Dus per saldo neemt de primaire productie af
 5. Biomassa van *Phaeocystis* neemt af

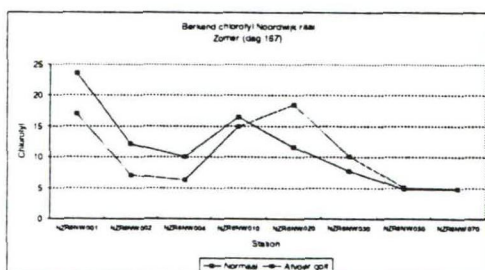
Terschelling en Waddenzee, voorjaar

- Verwachting
 1. Lichtklimaat verandert niet ingrijpend
Extra aanvoer zwevend stof al gesedimenteerd
 2. Nutriënten nemen toe
 3. N/P ratio neemt toe (maar N niet limiterend)
- Gevolg:
 1. De voorjaarsbloei begint ongeveer gelijk
 2. De piekhoogte neemt toe (meer P en Si)
 3. Biomassa *Phaeocystis* neemt toe (meer P)

Gesimuleerd Chlorofyl verloop 1994/95



Effect Afvoergolf Zomer



Stellingen effecten algen (1)

- 0 - 10km zone, rivierpluimen:
 - Voorjaar: lagere produktie (meer zwevend stof)
 - Zomer: hogere produktie (minder zwevend stof)
- 10km - 30km:
 - Voorjaar: geringe vertraging piek
 - Zomer: toename produktie door meer vrije nutriënten
- > 30km:
 - Geen effect

Stellingen effecten algen (2)

- Waddengebied:
 - Voorjaar: bloei start gelijk, piek is hoger
 - Zomer: Productie hoger door meer nutriënten
- *Phaeocystis* daalt voor Holland, stijgt bij Wadden door verhoging P in voorjaar
- Meer biomassa in veraf gebieden met lange verblijftijd (Duitse Bocht) door lange looptijd
 - Dus ook toename kans O₂ tekort?
- Geen uitspraak plaagalgen zonder nauwkeuriger analyse randvoorwaarden

Effecten ecologie (1)

- Hoe hoger in de voedselketen, hoe moeilijker de voorspelling
- Groeiseizoen fytoplankton korter
 - Zooplankton kan beter controleren
 - Toxische algen?
- De verspreiding van benthos over de Noordzee is meer bepaald door watertemperatuur en bodemsamenstelling dan door saliniteit.
- Dichtheid, biomassa en structuur van de benthosgemeenschap in estuaria veranderen mogelijk als gevolg van een verschuiving in de geschikte habitats.

Effecten ecologie (2)

- Door grotere extremen in de rivierafvoer kunnen met name sublittorale kokkelbanken in de Voordelta periodiek worden aangetast.
- Een verandering in saliniteit beïnvloedt met name de migratieroutes van juveniele en adulte vis en de geschiktheid van opgroeigebieden en kraamkamers.
- Effect op geschiktheid van fourageergebieden en op het larventransport minder groot.
- Saliniteit is mede bepalend ruimtelijke verspreiding zeevogels en zoogdieren. Maar ook van belang factoren als waterhelderheid, voedselbeschikbaarheid, primaire productie, temperatuur, waterdiepte en afstand tot de kust.

Inhoud

1. Welke veranderingen in rivierafvoeren worden verwacht ?
2. Wat is de invloed op de kustwateren ?
3. Wat is de invloed op het Noordzee systeem ?
4. Samenvatting zorgpunten (stellingen)

Demo rivierwater verspreiding met Shelf Pilot Model

- wind ZW
- wind NO

Inhoud

1. Welke veranderingen in rivierafvoeren worden verwacht ?
2. Wat is de invloed op de kustwateren ?
3. Wat is de invloed op het Noordzee systeem ?
4. Samenvatting zorgpunten (stellingen)

Zorgpunten (1) bij grotere afvoer in de winter

- (Tijdelijk) sterke verzoeting estuaria / kustwater (Voordelta) sterfte van bentische organismen
- Meer water via Haringvliet geeft verzoeting Zeeuwse Delta
- Hogere uitspoeling rivier kan leiden tot verslechtering van de waterkwaliteit
- Hogere nutriënten toevoer kan leiden tot meer plaagalgen en zuurstofloosheid

Zorgpunten (2) bij lagere afvoer in de zomer

- Meer zout indringing in estuaria
- Verlaging troebelheid in ondiepe kustzone waardoor algengroei minder door licht wordt beperkt

Zorgpunten (3) bij combinatie van veranderingen in rivierafvoer, wind, temperatuur en zeespiegelstijging

- Grotere variabiliteit (in de winter) geeft verhoogde stress bij biota
- Meer gelaagdheid verhoogd de kans op plaagalgen en zuurstofloosheid
- Verstoring transportregime en voedselstromen Noordzee kunnen grote gevolgen hebben voor recruitment van biota (larven transport, kinderkamers etc.)

