

Noordzee: systeemdynamiek, klimaatverandering, natuurtypen en benthos

Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011



Wot
Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu **werkdocumenten**

R. van Hal, O.G. Bos & R.G. Jak

Noordzee: systeemdynamiek, klimaatverandering, natuurtypen en benthos

De reeks 'Werkdocumenten' bevat tussenresultaten van het onderzoek van de uitvoerende instellingen voor de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (WOT Natuur & Milieu). De reeks is een intern communicatiemedium en wordt niet buiten de context van de WOT Natuur & Milieu verspreid. De inhoud van dit document is vooral bedoeld als referentiemateriaal voor collega-onderzoekers die onderzoek uitvoeren in opdracht van de WOT Natuur & Milieu. Zodra eindresultaten zijn bereikt, worden deze ook buiten deze reeks gepubliceerd.

Dit werkdocument is gemaakt conform het Kwaliteitshandboek van de WOT Natuur & Milieu.

Noordzee: systeemdynamiek, klimaatverandering, natuur- typen en benthos

Achtergronddocument bij
Natuurverkenning 2011

R. van Hal

O.G. Bos

R.G. Jak

Werkdocument 255

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, september 2011

Referaat

Hal R. van, O.G. Bos & R.G. Jak (2011). *Noordzee: systeemdynamiek, klimaatverandering, natuurtypen en benthos; Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011*. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-werkdocument 255. 108 blz. 60 fig.; 5 tab.; 177 ref.; 0 bijl.

Dit achtergronddocument vormt een van de bouwstenen voor de Natuurverkenning 2011, een studie van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Aan de hand van vier 'kijkrichtingen' wordt in de Natuurverkenning geschetst hoe de natuur er in Nederland over 30 jaar uit zal komen te zien wanneer een bepaald beleid zou worden gevolgd, zowel voor het land als voor zee. Dit document bevat basisinformatie over de abiotische kenmerken van de Noordzee, de invloed van het klimaat op de Noordzee, over natuurtypen, en over bodemdieren (benthos). De informatie is verzameld door middel van literatuuronderzoek. Het doel van de beschrijvingen is om de belangrijkste kenmerken te benoemen, niet om volledig te zijn. De andere bouwstenen voor de Natuurverkenning 2011, zoals basisinformatie over zeezoogdieren, vissen en visserij staan in andere WOt-documenten.

Trefwoorden: Noordzee, systeem, klimaat, habitattypen, natuurtypen, benthos, bodemdieren

Foto's omslag (met de klok mee vanaf linksboven):

Hollandse Hoogte/Jakob Helbig; Hollandse Hoogte/Siebe Swart; Hollandse Hoogte/Goos van der Veen; Hollandse Hoogte/Pieter de Vries.

©2011 **IMARES Wageningen UR**

Postbus 68, 1970 AB IJmuiden

Tel: (0317) 48 09 00; fax: (0317) 48 73 26; e-mail: imares@wur.nl

De reeks WOt-werkdocumenten is een uitgave van de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen UR. Dit werkdocument is verkrijgbaar bij het secretariaat. **Het document is ook te downloaden via www.wotnatuurenmilieu.wur.nl.**

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Postbus 47, 6700 AA Wageningen

Tel: (0317) 48 54 71; Fax: (0317) 41 90 00; e-mail: info.wnm@wur.nl; Internet: www.wotnatuurenmilieu.wur.nl

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Woord vooraf

Deze beschrijving van de hydrologie, de abiotische kenmerken, de klimaatinvloeden op, de verschillende habitattypen in en natuurtypen van de Noordzee, evenals de samenstelling van het bodemleven van de Noordzee is uitgevoerd in opdracht van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) in het kader van de Natuurverkenning 2011. Het uitbrengen van een Natuurverkenning is een wettelijke taak, die onder verantwoordelijkheid valt van het PBL en waaraan Wageningen UR via de WOT Natuur en Milieu een belangrijke bijdrage levert.

De Natuurverkenning heeft tot doel een aantal mogelijke toekomstrichtingen voor natuur en landschap op lange termijn te schetsen, waarbij ingespeeld wordt op ontwikkelingen die op de samenleving kunnen afkomen. Naast het schetsen van die mogelijke ontwikkelingen geeft de Natuurverkenning ook handelingsperspectieven voor het beleid op korte en middellange termijn.

Om verschillende redenen staat het huidige natuurbeleid onder druk. Een van die redenen is dat ondanks inspanningen de biodiversiteitsdoelen niet gehaald worden. Daarnaast stuit het beleid op weerstand in de uitvoering ervan en is het beleid mogelijk niet bestand tegen ontwikkelingen als klimaatverandering. Ook groeit de aandacht voor het duurzaam gebruik van natuurlijke hulpbronnen en staan de zogenaamde ecosysteemdiensten in de beleidsdossiers. Vanuit de samenleving klinkt het geluid dat het natuurbeleid toe is aan een herijking. De Natuurverkenning 2011 wil hierop inspelen en de maatschappelijke discussie rond het huidige natuurbeleid prikkelen en voeden.

De informatie in dit achtergronddocument is verzameld door middel van literatuuronderzoek. Het doel van de beschrijvingen in het document is om de belangrijkste kenmerken te benoemen en niet zo zeer om volledig te zijn.

De auteurs willen alle medewerkers van IMARES die met hun reacties en bijdragen aan de totstandkoming van dit achtergronddocument hebben meegewerkt van harte bedanken, waarbij vooral Rob Witbaard, Christine Röckmann, Jan-Tjalling van der Wal en Wim Wiersinga behulpzaam zijn geweest.

Ralf van Hal, Oscar Bos en Robbert Jak



Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	9
1 Beschrijving Noordzee	11
1.1 Inleiding	11
1.2 Diepte	12
1.3 Bodem en sedimentsamenstelling	12
1.4 Habitats	14
1.4.1 Natura 2000-habitattypen	14
1.4.2 EUNIS-habitatindeling	14
1.4.3 Natuurlijke en door de mens gecreëerde habitattypen (Lindeboom <i>et al.</i> 2008b)	16
2 Systeemdynamiek en klimaatverandering	17
2.1 Introductie	17
2.2 Variabiliteit in klimaat	18
2.2.1 Algemeen	18
2.2.2 Stroming en aanvoer water	20
2.2.3 Temperatuur	22
2.2.4 Saliniteit	24
2.2.5 Stratificatie	25
2.2.6 Nutriënten	26
2.2.7 Wind	27
2.2.8 Zuurgraad	27
2.2.9 Zuurstof	29
2.3 Cycli in klimaat	30
2.3.1 Introductie	30
2.3.2 North Atlantic Oscillation (NAO)	31
2.3.3 El Niño Southern Oscillation (ENSO)	32
2.3.4 Pacific Decadal Oscillation (PDO) en Atlantic Multi-Decadal Oscillation (AMO)	32
2.3.5 Gulf Stream North Wall (GSNW)	34
2.4 Klimaatscenario's	34
2.4.1 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	34
2.4.2 KNMI	35
2.4.3 Scenario's algemeen	36
2.5 Invloed van het klimaat op organismen in de Noordzee	36
2.5.1 Algemeen	36
2.5.2 Organismen en hun omgeving	37
2.5.3 Fysiologie	39
2.5.4 Verspreiding	44
2.5.5 Temporele en ruimtelijke synchronisatie	46
2.5.6 Klimaateffecten versterkt	48
2.6 Toekomstvisie	48
2.6.1 Algemeen	48
2.6.2 Klimaateffecten in relatie tot de kijkrichtingen	51
2.6.3 Conclusies	52
3 Natuurtypen	53
3.1 Inleiding	53
3.2 Beschrijving van de natuurtypen	55

3.2.1	Estuaria (Westerschelde, Eems-Dollard)	55
3.2.2	(Ondiepe) kust met kunstmatig hard substraat	56
3.2.3	Ondiepe hoogdynamische kustzee tot 10 m diepte, inclusief brandingszone	56
3.2.4	Ondiepe kustzee van 10-20 meter diepte	57
3.2.5	Waddenzee	58
3.2.6	Middeldiepe zee met zandige bodem	59
3.2.7	Zandbank ver van de kust (Doggersbank)	60
3.2.8	Diepe zee met slibrijk tot matig fijn zand (Friese Front)	61
3.2.9	Diepe zee met fijn tot grof zand	61
3.2.10	Diepe slibrijke zee (Oestergronden)	62
3.2.11	Diepe zee met grind en stenen (Klaverbank)	62
3.3	Menselijke invloed op de natuurtypen	63
4	Benthos	67
4.1	Ruimtelijke patronen	67
4.1.1	Ruimtelijke patronen onder invloed van natuurlijke factoren	67
4.1.2	Menselijke invloed	68
4.2	Benthos Internationale Noordzee	69
4.3	Ontwikkeling en beïnvloeding benthos op het Nederlands Continentaal Plat (NCP) in de 20 ^e eeuw	72
4.4	Autonome ontwikkelingen van het benthos (niet door de mens te beïnvloeden)	77
4.4.1	Populatiedynamiek	77
4.4.2	Biobouwers	78
4.4.3	Effect van klimaatverandering: opwarming van de zee	78
4.4.4	Exoten	79
4.4.5	Verzuring van de zee	80
4.4.6	Regime shifts	81
4.5	Stuurbare ontwikkelingen van benthos (door de mens te beïnvloeden)	81
4.5.1	Boomkorvisserij	81
4.5.2	Olie- en gasexploitatie	83
4.5.3	Scheepvaart, inclusief olielozingen, ballastwater-introducties en vuillozingen	84
4.5.4	Kust/offshoreconstructie, inclusief windmolenparken (grote ontwikkelingen vooral sinds 2000)	84
4.5.5	Baggeren/verwijderen ten behoeve van vaargeul/haven-onderhoud en -ontwikkeling	85
4.5.6	Urbane/industriële lozingen naar estuariën en kustwateren	85
4.5.7	Atmosferische input, inclusief emissies uit landbouw en van motorvoertuigen	87
4.5.8	Klimatologische invloeden (voor zover ze door menselijke activiteiten worden beïnvloed)	87
4.5.9	Landbouwactiviteiten/ nutriënteninvoer via afwatering	87
4.5.10	Aquacultuur	87
4.5.11	Extractie van zand en stenen	88
4.5.12	Kustrecreatie/toerisme/militaire oefengebieden	89
4.5.13	Natuurbeschermingsmaatregelen	89
4.6	Samenvatting effecten	89
	Literatuur	93

Samenvatting

Dit achtergronddocument is onderdeel van de Natuurverkenning 2011 (NVK) en geeft een beschrijving van de belangrijkste kenmerken van het ecosysteem van de Noordzee: de systeemdynamiek en klimaatverandering, de verschillende natuurtypen en geeft een overzicht van de kennis over de bodemfauna (benthos). Binnen het Natuurverkenningsproject zijn een aantal gerelateerde achtergronddocumenten verschenen die een overzicht geven van de andere onderdelen van het ecosysteem van de Noordzee, zoals over vissen, zeezoogdieren, zeevogels en visserij.

Beschrijving Noordzee

In het eerste hoofdstuk beschrijven we de belangrijkste kenmerken van de Noordzee. De Noordzee is een relatief ondiepe kustzee, met een bodem die op het Nederlandse deel voornamelijk uit zand of slib, en voor een klein deel uit stenen en grind bestaat. Op basis van deze kenmerken is de zeebodem ingedeeld in verschillende natuurlijke en door menselijk gebruik gevormde habitattypen.

Systeemdynamiek en klimaatverandering

In het tweede hoofdstuk behandelen we de ruimtelijke en temporele patronen van waterstromen, zeewatertemperatuur, zout-gehalte, stratificatie, nutriënten, wind, zuurgraad en zuurstofgehalte. Deze patronen hangen deels samen met cycli op grotere schaal. Verschillende cycli spelen een rol in de Noordzee, waarvan de belangrijkste de North Atlantic Oscillation (NAO) is. In dit hoofdstuk komt ook een aantal verschillende klimaatscenario's aan bod.

Klimaatveranderingen hebben invloed op de soortensamenstelling en het functioneren van het systeem. De meeste soorten hebben een bepaalde optimale temperatuur waarbij ze goed functioneren. Koudeminnende soorten, zoals schol en bot, mijden tegenwoordig waarschijnlijk de opgewarmde kustzone, terwijl warmteminnende soorten zoals zeebaars en garnaal, hier toenemen. Het is aannemelijk dat bij verdere stijging van de temperatuur de Noordzee leefbaarder zal worden voor zuidelijke soorten en dat het aantal noordelijke soorten af gaat nemen.

Ook kan klimaatverandering indirecte effecten hebben op soorten door in te werken op het voedselweb. Door opwarming kan zeewater minder zuurstof bevatten, wat ongunstig is voor bepaalde soorten. Ook wordt de zee zuurder (de pH daalt) door opname van kooldioxide. Kalkhoudende soorten, zoals schelpdieren, zullen hier in de toekomst mogelijk hinder van ondervinden, omdat hun schelp kan oplossen. Voor de Noordzee is nog niet bekend in hoeverre verzuring een probleem is. Van nature zijn er namelijk ook grote schommelingen in de zuurgraad.

Natuurtypen

Het derde hoofdstuk beschrijft een aantal verschillende typen natuur in de Nederlandse Noordzee, zoals 'middeldiepe zee met zandige bodem', 'diepe zee met grind en stenen' en 'estuaria'. Deze natuurtypen zijn combinaties van diepte, sedimentgrootte, mogelijke aanwezigheid van stratificatie en locatie. Het natuurtype 'diepe slibrijke zee' bijvoorbeeld, waartoe de Oestergronden behoren, wordt gekenmerkt door een relatief grote diepte (tot 50 m), een slibrijke bodem en een waterkolom die in de zomer gestratificeerd kan zijn. De abiotische kenmerken en de belangrijkste diersoorten zijn per natuurtype kort beschreven. De ruimtelijke begrenzingen van de natuurtypen worden in andere delen van de Natuurverkenning gebruikt.

Benthos

Tenslotte beschrijven we in het vierde hoofdstuk de ruimtelijke patronen en de trends van het benthos (bodemdieren) van de Noordzee. Deze patronen hangen sterk samen met de bodemtypen, de diepte, de aanwezigheid van fronten en van stratificatie. In de diepere meer stabiele delen van de Noordzee zijn bijvoorbeeld meer soorten te vinden dan in de ondiepe delen. Verder beschrijven we welke autonome ontwikkelingen een rol spelen, zoals de vestiging van exotische soorten en welke activiteiten stuurbaar zijn. Zo zorgt de installatie van offshore windparken voor nieuw hard substraat, waarop mosselen, amfipoden en anemonen zich vestigen en zorgt bodemvisserij voor afname van langlevende soorten.

1 Beschrijving Noordzee

1.1 Inleiding

De internationale Noordzee is een half-gesloten ecosysteem dat door land is omringd. Het heeft een kleine opening aan de zuidelijke Kanaalzijde en een grote opening aan de noordwestelijke Atlantische zijde en ontvangt zeewater met een lage saliniteit vanuit de Oostzee door het Kattegat en het Skagerrak, en zoet water vanuit rivieren die in de Noordzee uitkomen. Het bassin is ondiep en wordt dieper in noordelijke richting. De bodem bestaat uit zand, slib, stenen en lokaal rotsen. De instroom van Atlantisch water is sterk bepalend voor de watersamenstelling van de Noordzee, evenals instroom van zoet water vanaf het land. Vanuit het zuiden stroomt door het Kanaal warmer water de Noordzee in. De 'doorspoeltijd' van de gehele Noordzee bedraagt gemiddeld 3 tot 5 jaar (paragraaf 2.2.2). Atlantisch water stroomt tegen de richting van de klok in via de Britse kust naar het zuiden en dan via Nederland, Duitsland en Denemarken weer omhoog. Kanaalwater stroomt langs de Belgische en Nederlandse kust verder de Noordzee in. De stromingen worden geleid door de topografie. Grootschalige 'draaikolken' en overgangsgebieden ontstaan langs fronten, vooral bij het Flamborough front (Engeland) en het Friese Front op de Nederlandse Noordzee. Draaikolken en fronten zorgen voor concentraties van biota. Rivierpluimen van grote rivieren zoals de Rijn beïnvloeden het kustwater en zijn niet altijd goed herkenbaar door de sterke menging van het water langs de kust (Ducrotoy *et al.* 2000 en referenties daarin).

In de winter wordt het grootste deel van het Noordzeewater gemengd, behalve in de diepere gedeelten ver ten noorden van het Nederlandse Continentale Plat (NCP). In de zomer raakt het diepere gedeelte van het NCP gestratificeerd (Figuur 1), maar zijn ook ondiepere delen soms gestratificeerd, waardoor een verschil ontstaat tussen een goed gemixt ondiep zuidelijk gedeelte van de Noordzee, tot het Friese Front en een gestratificeerd deel ten noorden hiervan.

Het transport van sediment, vooral van fijn sediment (< 63 micrometer) en van opgelost en gesuspendeerde deeltjes heeft grote invloed op de biologische productiviteit. Sedimenttransport vindt regelmatig plaats in ondiepere delen van de zuidelijke Noordzee. Het uitzinken van sediment en deeltjes dat vooral langs de kust, in estuaria, in de Waddenzee en de delta's plaatsvindt, heeft gezorgd voor complexe zeebodems. Migrerende zandbanken worden gevonden in de zuidelijke Noordzee (Ducrotoy *et al.* 2000 en referenties daarin).

De productie van fytoplankton hangt af van licht en nutriënten. De diepte waarop productie plaats kan vinden varieert van 10 cm diepte in turbulente gebieden tot 30 m in offshore gebieden. Silicaat is het eerste nutriënt dat in het voorjaar opdraakt waardoor diatomeeën minder groeien, in de zomer zijn fosfaat en soms stikstof beperkend voor algengroei. Wanneer er teveel nutriënten aanwezig zijn kan zuurstofdepletie bij de bodem optreden, vooral wanneer het water gestratificeerd raakt en er geen uitwisseling van water met de bovenlaag plaats kan vinden. Deze factoren bepalen ook hoe de benthosgemeenschap er uit ziet. In de Noordzee varieert de productie van fytoplankton nogal, afhankelijk van de locatie. De hoogste waarden voor primaire productie vinden we in de kustregio's, die beïnvloed worden door terrestrische input van nutriënten en in gebieden zoals de Doggersbank en getijdenfronten. Fytobenthos (algen op de bodem) dragen weinig bij aan de primaire productie. De interactie tussen fytoplankton, productiviteit, nutriënten- en lichtbeschikbaarheid en de mate van menging is complex. In het algemeen zijn de omstandigheden het gunstigst in het voorjaar, waardoor er dan grote planktonbloei optreden (McGlade *et al.* 2002 en referenties daarin).

In 1979 en 1988 lijken zich regime shifts te hebben voltrokken in het Noordzee-ecosysteem. Regime shifts zijn plotselinge veranderingen, die kunnen worden gedetecteerd over verschillende trofische niveaus heen, op het niveau van de structuur van de gemeenschap, voor sleutelsoorten en in indices zoals diversiteit (Beaugrand 2004). Fytoplankton nam sterk toe in 1988, de benthosbiomassa nam toe, etc. De eerste shift lijkt gerelateerd te zijn aan veranderingen in zoutgehalte en mogelijk weercondities, terwijl de tweede verschuiving gerelateerd was aan weer, en meer in het bijzonder temperatuur. Het lijkt erop dat veranderde klimaatcondities op de oceaan verstrekkende gevolgen hadden voor het ecosysteem van de Noordzee en Waddenzee (Reid & Edwards 2001, Weijerman *et al.* 2005).

1.2 Diepte

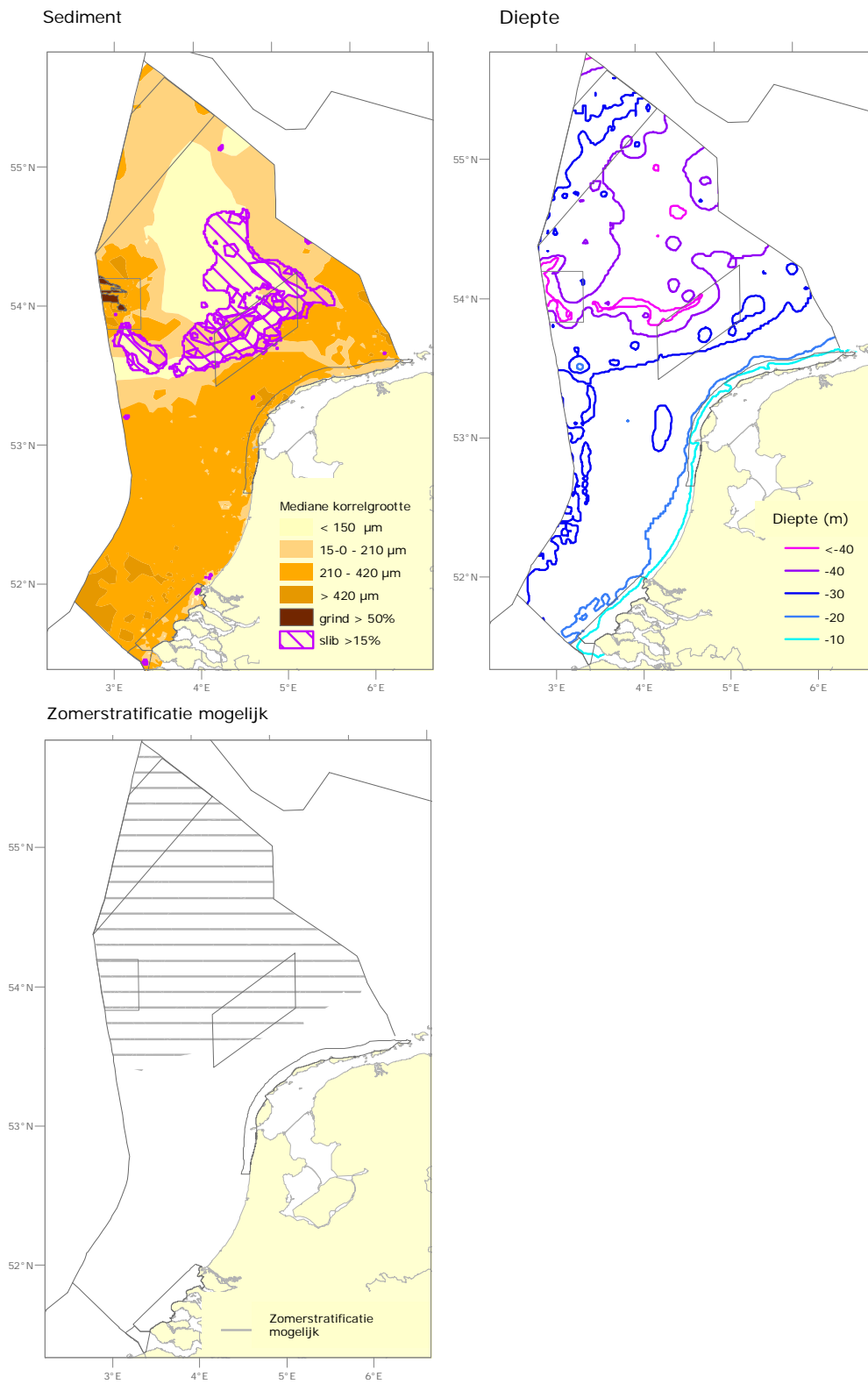
De Nederlandse Noordzee neemt toe in diepte van het zuidoosten naar het noordwesten (Figuur 1). Het Nederlands Continentaal Plat (NCP) is op Noordzeeschaal relatief ondiep. De diepere delen van het NCP (meer dan 30 meter diep) bevinden zich in het westen en noorden. In het westen, in de Zuidelijke Bocht van de Noordzee, in het verlengde van het Kanaal ligt tussen het continent en Engeland een dieper deel (tot -50 m). Naar het noorden liggen de diepere (eveneens tot circa 50 m) 'Oestergronden', die in het noordwesten worden begrensd door de Doggersbank, die weer ondiep is. Langs de zuidwestrand van de Doggersbank loopt een diepe geul, de Silver Pit, waarvan het meest oostelijke deel nog juist het NPC bereikt. Hier ligt Nederlands diepste punt, met een diepte van -63 meter (tekst uit Leopold & Dankers 1997).

1.3 Bodem en sedimentsamenstelling

De bodem in de zuidelijke helft van het NCP bestaat voornamelijk uit zand, terwijl de bodem in de noordelijke helft een veel kleiiger karakter heeft (Figuur 1, Figuur 5). Binnen deze tweedeling is een grote variatie aan bodemtypen te vinden. De samenstelling van het sediment is stabiel (Figuur 2).

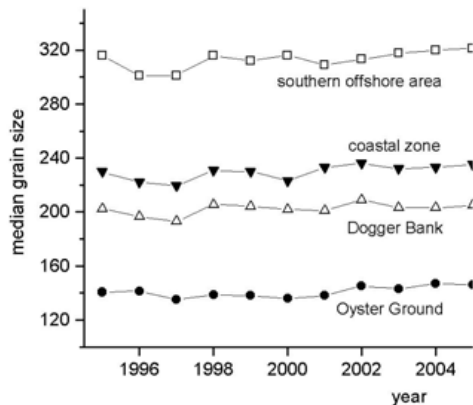
Op het Friese Front, waar door de plotseling dalende stroomsnelheid van het water slib bezinkt, bestaat de bodem uit zeer fijne klei. Dwars van IJmuiden en halverwege Engeland staat een 30 km lange kleirichel op de zeebodem, de 'Bruine Bank'. In de diepere noordelijke helft van het NCP bevindt zich zowel het diepste punt in het gebied de 'Silver Pit', als een ondiepte, de Doggersbank. Kleiige bodems van de Silver Pit en de Oestergronden liggen hier rond de zandige Doggersbank (tekst uit Leopold & Dankers 1997).

In het zuiden bevindt zich een aantal opvallende bodemstructuren. In de Voordelta zijn zich na de afsluiting van de Delta grote zandbanken gaan vormen, die tegenwoordig deels droogvallen. Iets verder uit de kust van Zeeland liggen de Zeeuwse, Hinder- en Vlaamse Banken, kilometers lange zandrichels die in de richting van het getij (ZW-NO) lopen. Langs de Hollandse kust, ter hoogte van de Hondsbossche Zeewering, ligt een ondiepte met zeer grof zand, de Pettemerpolder. Zeer grove zanden worden ook gevonden in de buitendelta's van de zeegaten naar de Waddenzee. Het meest grove sediment vinden we ten noordwesten van Texel en Vlieland, waar zich vroeger de Texelse Stenen bevonden. Ook in het gebied de Borkumse Stenen zijn verspreid grote keien aangetroffen in een survey in 2008. Het bekendste gebied met grof sediment is de Klaverbank.



Figuur 1. Abiotische kenmerken van de Noordzee (diepte, sedimentgrootte, slibgehalte, wel/niet in zomerstratificatie mogelijk) (Bos et al., 2011)

In het gebied de Klaverbank is een mozaïek van grove sedimenttypen aanwezig dat naast stenen en grind bestaat uit verschillende zanden (Laban 2004). Plaatsen met grind (maximaal 80%) en keien worden afgewisseld met grof zand en plekken met oud schelpmateriaal. Hier en daar komt keileem aan het oppervlak. Grind en stenen vinden hun herkomst in de laatste ijstijd. Grind met korrelgroottes groter dan 30 mm is al begroeid, wat suggereert dat deze bodems weinig mobiel zijn (tekst letterlijk uit Jak *et al.* 2009).



Figuur 2. Temporele patronen in de mediane korrelgrootte in de vier regio's van het NCP. De korrelgrootte is per locatie vrijwel constant (Daan & Mulder 2009)

1.4 Habitats

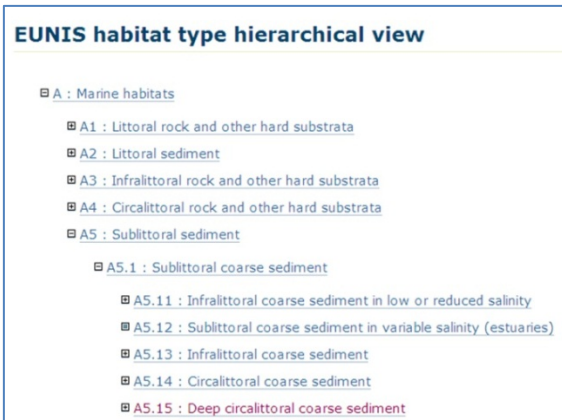
Habitats op de Noordzee worden op verschillende manieren ingedeeld en beschreven. Bekende indelingen zijn de Natura 2000-habitattypes en EUNIS-habitattypes. Bij de laatste indeling wordt uitgegaan van (combinaties) van abiotische kenmerken, zoals sedimentsamenstelling, diepte en mogelijkheden voor stratificatie. Daarnaast bestaat er een specifieke indeling voor de Noordzee, waarbij ook door de mens gecreëerde habitattypen zijn beschreven (Lindeboom *et al.* 2008b).

1.4.1 Natura 2000-habitattypen

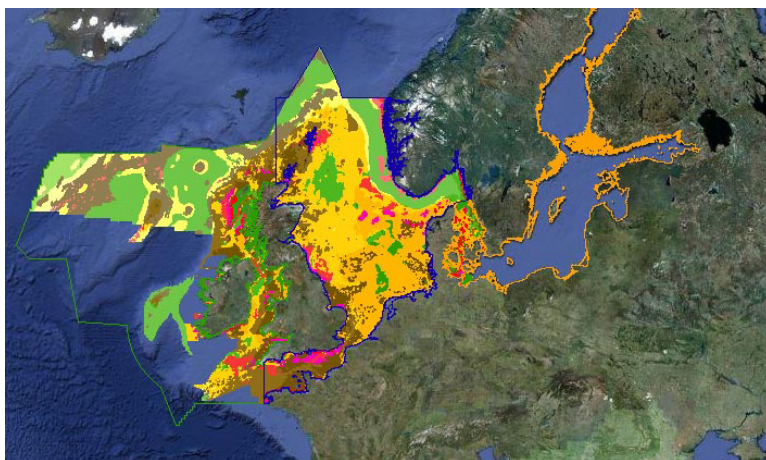
Op het NCP kwalificeren maar een beperkt aantal habitattypen als Natura 2000-habitattypen, namelijk habitattype H1110 'permanent onder water staande zandbanken' (met subtypes H1110B en C) en habitattype H1170 'riffen'. Onder deze indeling vallen de zandige kustzone tot de 20 m dieptelijn (H1110B), de Doggersbank (H1110C), de Klaverbank (H1170) en een gedeelte van de Borkumse Stenen (H1170). De overige habitats (fronten, slibrijke gebieden, etc.) vallen niet onder de Habitatrichtlijn (EU 1992). Deze habitattypen worden nader omschreven in profieldocumenten (<http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=profielen>), waarin ook typische soorten per habitattype worden genoemd.

1.4.2 EUNIS-habitatindeling

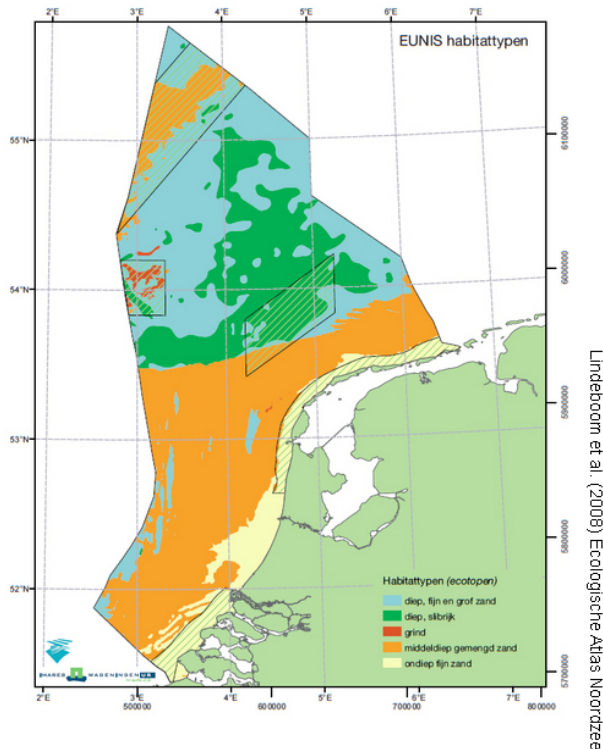
De EUNIS-habitatindeling is een indeling op basis van abiotische kenmerken en bijbehorende gemeenschappen. De EUNIS-indeling kent verschillende niveaus (Figuur 3). De Joint Nature Conservation Committee (JNCC) heeft een (interactieve) EUNIS-kaart voor de hele Noordzee gemaakt (Figuur 4). Voor de Nederlandse Noordzee is een EUNIS-kaart gemaakt door De Jong (1999) (Figuur 5). Het EUNIS-systeem definieert geen specifieke dieptes of korrelgroottes voor habitattypen, vandaar dat EUNIS-kaarten van hetzelfde gebied van elkaar kunnen verschillen.



Figuur 3. EUNIS-habitatindeling (http://eunis.eea.europa.eu/habitats-code-browser.jsp?expand=A#level_A)



Figuur 4. EUNIS-habitatclassificatie door de JNCC (<http://jncc.defra.gov.uk/page-5040>)



Figuur 5. EUNIS habitattypen en sedimentsamenstelling (De Jong, 1999) in Lindeboom et al. (2008a)

Voor zowel de Natuurverkenning 2011 als het project 'biodiversity hotspots' (Bos *et al.* 2011) is een soort EUNIS-habitatkaart gemaakt door abiotische kaarten te combineren (saliniteit, diepte, sediment, wel/geen stratificatie). Door elke abiotische parameter in een aantal klassen in te delen, worden verschillende habitattypen verkregen. Deze habitatkaart dient als basis voor de beschrijvingen van de natuurtypen in Hoofdstuk 3.

1.4.3 Natuurlijke en door de mens gecreëerde habitattypen (Lindeboom *et al.* 2008b)

Op de EUNIS-kaarten wordt geen rekening gehouden met de menselijke invloed op habitats. Lindeboom *et al.* (2008b) hebben in een WOt-werkdocument daarom de meest voorkomende natuurlijke en door de mens gecreëerde habitats beschreven (Tabel 1).

Tabel 1. Overzicht van natuurlijke en door de mens gevormde habitattypen in de Nederlandse Noordzee volgens Lindeboom et al. (2008b) (<http://edepot.wur.nl/37493>)

Natuurlijke habitattypen
Fronten
Zand
Zandbanken
Slib
Grind
Schelpenbanken
Door de mens gecreëerde habitattypen
Geploegde zeebodem
Geharkte zeebodem
Windmolenpark
Mijnbouwplatform
Zandwinputten
Wrakken

Voor een verdere beschrijving zie paragraaf 3.3.

2 Systeemdynamiek en klimaatverandering

2.1 Introductie

Klimaatverandering is een van de meest bediscussieerde onderwerpen in de afgelopen jaren, o.a. in het Kyoto-verdrag (van kracht sinds februari 2005) en op de top in Kopenhagen (december 2009). De mogelijke gevolgen van de verandering worden breed uitgemeten en eventuele mitigerende maatregelen worden voorgesteld. In de discussie over de veranderingen ligt de focus vooral op het land, bijvoorbeeld de klimaatscenario's van het KNMI (Van den Hurk *et al.* 2006), het mariene milieu komt minder aan de orde.

Wij zullen ons hier richten op de invloeden van klimaat op het mariene milieu en dat van de Noordzee (kustzone) in het bijzonder. In aanvulling op eerdere rapporten over het mariene milieu en klimaatveranderingen die in de laatste jaren zijn uitgekomen (Philippart *et al.* 2007b, Tasker 2008, MCCIP 2009).

IMARES' expertise ligt niet op het gebied van de klimatologie, meteorologie of oceanografie; voor deze vakgebieden wordt gebruik gemaakt van door andere experts geschreven rapporten en artikelen. Onze eigen expertise ligt op het gebied van de biota van de Noordzee en hoe de omgeving, inclusief temperatuur, effect heeft op de ontwikkeling van de verschillende organismen. Op basis van deze kennis kunnen er voorspellingen gedaan worden waarbij de door andere experts ontwikkelde klimaatscenario's gebruikt worden als startpunt. Wij zullen hier dus voornamelijk ingaan op de mechanismen en processen die beïnvloed worden door omgevingsfactoren.

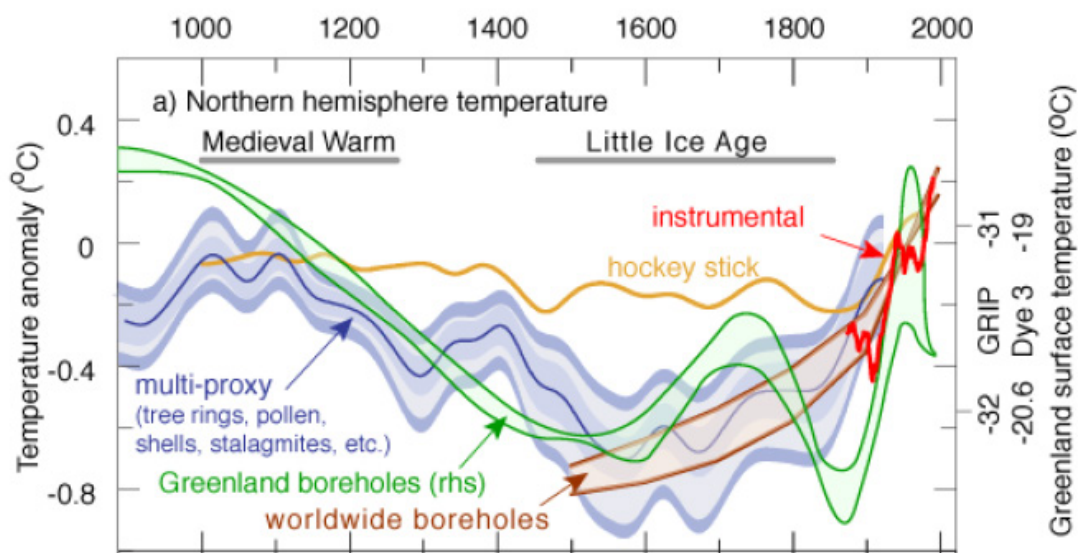
Eerst worden de geobserveerde veranderingen in omgevingsfactoren beschreven, waarbij vooral temperatuur maar ook andere relevante factoren aan de orde komen (paragraaf 2.2). Paragraaf 2.3 gaat over cycli in het klimaatsysteem en over indices die een proxy zouden zijn voor regionale klimaatverschijnselen die gebruikt zouden kunnen worden in klimaatscenario's. Paragraaf 2.4 is gericht op de door het IPCC en door het KNMI ontwikkelde klimaatscenario's. Deze scenario's zijn noodzakelijk om een mogelijke toekomstvisie op te baseren. Deze toekomstvisie is beschreven in paragraaf 2.6. Via een mechanistische benadering worden mogelijke effecten van klimaatverandering op mariene organismen van de verschillende trofische niveaus beschreven. Hiervoor zullen een aantal voorbeelden gebruikt worden waarbij de verschillende trofische niveaus aan de orde komen.

Klimaat speelt een belangrijke rol bij veranderingen maar is niet de enige driver die effect heeft en in de toekomst kan hebben op de verschillende trofische niveaus. Dit is de reden dat er voor de mechanistische benadering gekozen is (paragraaf 2.5). Op deze manier worden de processen besproken via welke klimaat effect heeft op organismen. Het wil echter niet zeggen dat het toekomstbeeld volledig door klimaat beïnvloed zal worden; andere drivers zoals visserij en energiewinning spelen ook een grote rol in hoe het systeem er in de toekomst uit zal zien. Deze samenhang met andere drivers komt in een van de laatste paragrafen aan bod.

2.2 Variabiliteit in klimaat

2.2.1 Algemeen

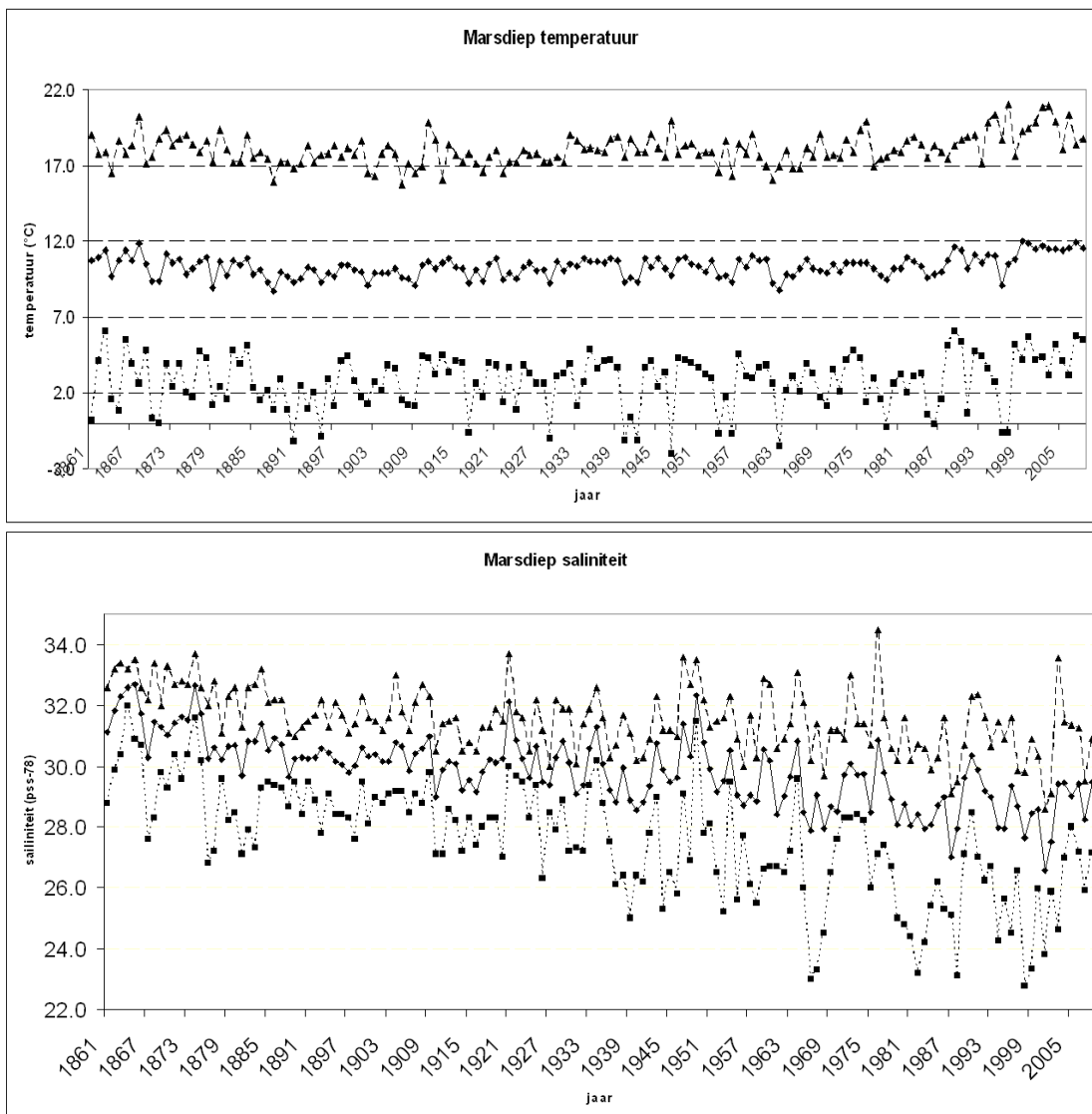
De veranderingen waarover het in de klimaatdiscussie gaat, zijn veranderingen die een duidelijk trend of een cyclus laten zien over een periode van vele jaren tot decennia. Het klimaat wordt meestal gedefinieerd als de gemiddelde weerstoestand over een periode van 30 jaar. Er zijn langetermijnregistraties nodig om aan te kunnen tonen dat er een trend zit in de verandering van het klimaat en dat het dus niet veranderingen om het gemiddelde zijn. Veel van de tijdseries van waarnemingen in het Noordzeegebied zijn van beperkte lengte. De series van temperatuur gaan het verst terug in de tijd. Voor het creëren van series die verder terug gaan dan daadwerkelijke metingen worden technieken toegepast zoals het gebruik van jaarringen van bomen en ijskernen. Het gebruik, analyse en presentatie van technieken en methoden staat voortdurend ter discussie. De controverse rond de hockeystickgrafiek van Mann *et al.* (1998) (Bruine lijn in Figuur 6) in het IPCC-rapport (IPCC 2007) laat zien dat het niet makkelijk en eenduidig is om een klimaatverandering aan te tonen. De interpretatie van klimaatgegevens kan verschillen afhankelijk van de analyse. Zo laat de eerste hockeystickgrafiek geen eerdere warme periode zien en ook de "kleine ijstijd" is hierin niet zichtbaar. Andere methoden (blauwe en groene lijnen Figuur 6) laten deze wel zien. Nog langere tijdseries laten zien dat veel verder terug in de geschiedenis van de aarde er perioden zijn geweest die nog warmer waren dan op dit moment (Petit *et al.* 1999).



Figuur 6. Temperatuurafwijkingen (anomalie) vergeleken met de gemiddelde temperatuur 1961-1990 (Kirkby 2007). Afwijkingen zijn resultaten van verschillende analyses van temperatuurgegevens tijdens het laatste millennium

Voor zover ons bekend zijn er niet van dit soort langere tijdseries voor de Noordzee. De meeste tijdseries van de Noordzee beginnen in de jaren '50 tot '60 van de vorige eeuw. Metingen van temperatuur en zoutgehalte in het Marsdiep zijn al in 1860 begonnen (Figuur 7), maar deze puntwaarneming is niet representatief voor de gehele Noordzee (Clark & Frid 2001). Vanaf 1968 publiceert het Duitse BSH kaarten van maandelijkse verandering in oppervlaktetemperatuur voor de gehele Noordzee (Figuur 8). Hierop zijn ruimtelijke verschillen zichtbaar. Zo valt te zien dat de oppervlaktetemperatuur in januari en februari 2009 in sommige gebieden lager (blauw, Figuur 8) was dan het langjarig gemiddelde, terwijl die op hetzelfde moment in andere gebieden in de Noordzee hoger was (rood, Figuur 8). In de rest van het jaar was het overgrote deel van de Noordzee warmer dan het langjarig gemiddelde (paragraaf 2.2.3).

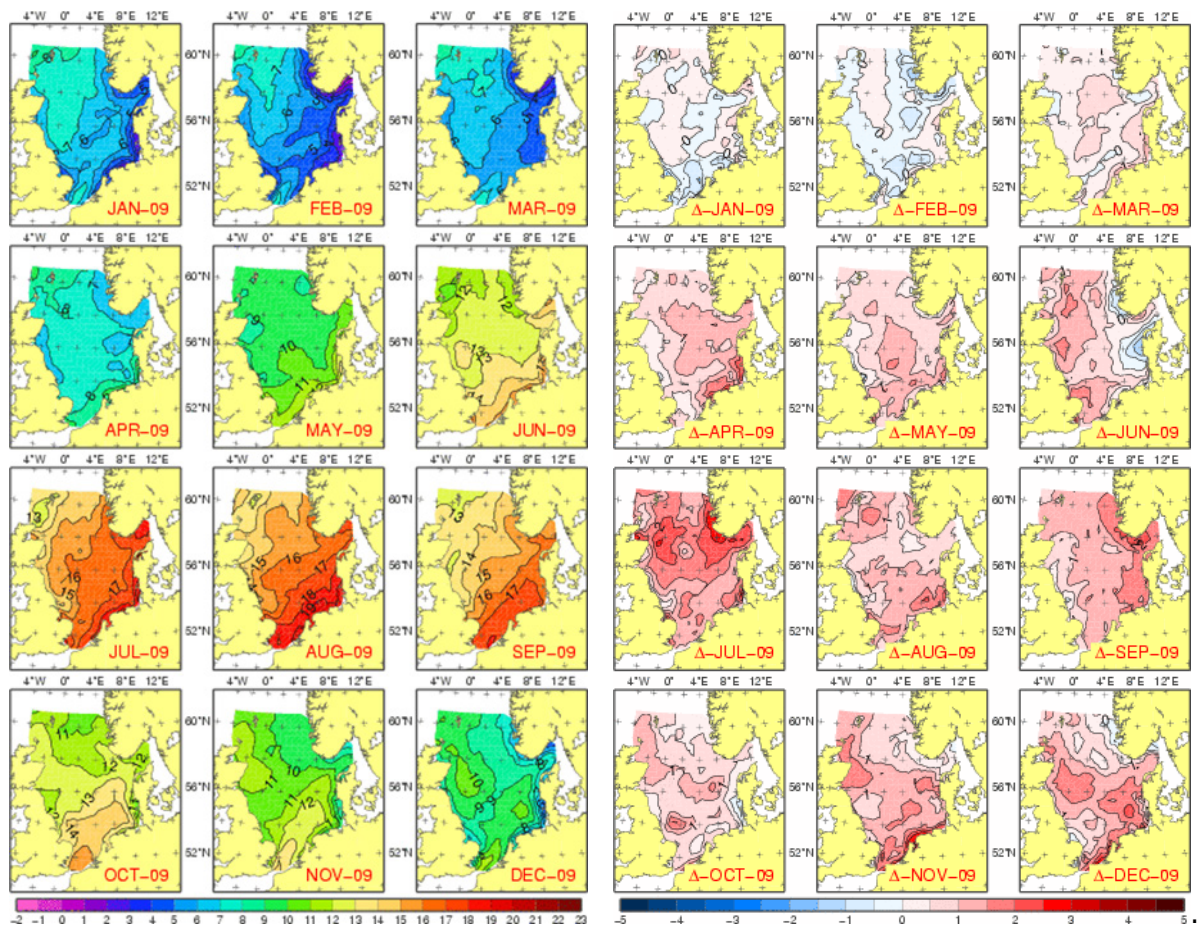
Een van de belangrijkste oorzaken van de ruimtelijke verschillen in de Noordzee is de diepte. In het noorden is het veel dieper dan in het zuidelijke gedeelte (paragraaf 1.2). Mede hierdoor ontstaat in het noorden stratificatie tijdens de zomermaanden waardoor het water niet over de gehele waterkolom gemixt wordt, en er verschillen tussen de bovenste en onderste waterlagen ontstaan. In het zuiden is het water het gehele jaar door gemixt (paragraaf 2.2.5). Een andere oorzaak voor ruimtelijke verschillen is de oorsprong van het water (paragraaf 2.2.2). In het noorden komt Atlantisch oceaanwater de Noordzee binnen, terwijl in het zuiden water via het Kanaal de Noordzee in komt. Deze watermassa's verschillen o.a. in temperatuur en saliniteit. Verder is er nog de invloed van de verschillende rivieren die uitkomen in de Noordzee. In de zuidelijke Noordzee komen de grote rivieren, Rijn, Maas, Elbe en Theems uit, die zoet water en nutriënten (paragraaf 2.2.6) aanvoeren. Bovendien is er wateruitwisseling tussen de Noordzee en de Oostzee. Bruto stroomt er water met een lager zoutgehalte uit de Oostzee in de Noordzee.



Figuur 7. Temperatuur en zoutgehalte. Tijdserie van maandelijkse gemiddelden gemeten in het Marsdiep. De drie lijnen zijn de maximum maand waarde, gemiddelde en minimum maand waarde in dat jaar ; (van Aken 2003),

http://www.nioz.nl/nioz_nl/ccba2464ba7985d1eb1906b951b1c7f6.php

Door dit soort verschillen is het lastig om op basis van enkele puntwaarnemingen conclusies te trekken voor het hele gebied over veranderingen in omgevingsvariabelen. Om te onderzoeken of veranderingen op Noordzee schaal plaatsvinden, en dan niet alleen in temperatuur, zijn er de laatste jaren modellen gemaakt die verschillende oceanografische variabelen terug in de tijd berekenen, gebaseerd op kennis van of aannames over meteorologische, fysische en biochemische processen. De modellen worden o.a. gebruikt voor voorspellingen. Deze primair fysische modellen worden gekoppeld aan biologische modellen, resulterend in ecosysteemmodellen. Er is begonnen met modellen van organismen in laagste trofische niveaus, zoals algen en zoöplankton (ERSEM http://www.nioz.nl/northsea_model, Baretta *et al.* 1995, ECOSMO, Schrum *et al.* 2006). Inmiddels kunnen ook hogere trofische niveaus zoals vissen aan de fysische modellen worden gekoppeld. Dit maakt het mogelijk om historische observaties van bijvoorbeeld veranderingen in vis te relateren aan het klimaat.



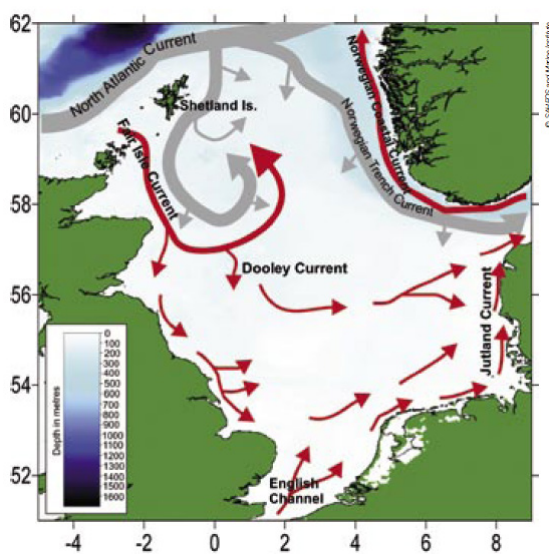
Figuur 8. (links) Maandelijkse oppervlaktetemperatuurkaarten van de Noordzee in 2009, temperatuur in graden Celsius en (rechts) de afwijking van deze temperatuur ten opzichte van het gemiddelde 1971-1993 (BSH 2010)

2.2.2 Stroming en aanvoer water

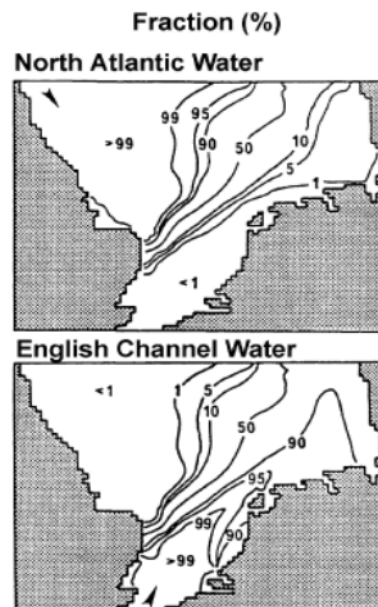
Een van de belangrijke karakteristieken van de Noordzee die de temperatuur en saliniteit bepalen, is de herkomst van het water en waar dit water naar toe gaat. De stroomrichting is voornamelijk tegen de klok in waardoor het water van zuid naar noord langs de Nederlandse kust stroomt (Figuur 9). De stroming langs de Nederlandse kust wordt beïnvloed door de instroom vanuit het Kanaal, dit is echter maar zo'n 10% van de totale instroom. In het noorden stroomt Atlantisch water rond de Shetlandeilanden en

door de Norwegian Trench de Noordzee in (Figuur 10). Dit instromende water verschilt in temperatuur en saliniteit van het al aanwezige water. Op plekken waar de verschillende watermassa's samen komen ontstaan er zogenaamde fronten. Grote fronten in de Noordzee zijn het "Friese Front", dat het water uit de Atlantische Oceaan scheidt van het water uit het Kanaal en het "Deense Front", dat het kustwater van het water van de centrale Noordzee scheidt.

Het overgrote gedeelte van het water gaat uiteindelijk langs het Skagerrak en verlaat het gebied met de kuststroming langs Noorwegen. In gemiddeld ongeveer drie tot vijf jaar is het water in de Noordzee geheel vervangen. Door deze relatief snelle verversing van het water heeft de Noordzee maar een beperkt "geheugen" voor veranderingen die hebben plaatsgevonden. Afwijkingen in zoutgehalte (Salinity Anomalies) duren meestal niet veel langer dan ongeveer drie jaar omdat ze dan al weer uit de Noordzee verdwenen zijn (Lenhart *et al.* 1995 en referenties hierin).



Figuur 9. Strooming in de Noordzee



Figuur 10. Instromend water, Fraction (%) is het gedeelte van de watermassa afkomstig vanuit de Atlantische Oceaan (boven) of het Kanaal (onder) (Reid *et al.* 1989)

De strooming in de Noordzee wordt voor een groot deel bepaald door de wind. Door verandering in wind kan het algemene patroon tijdelijk veranderen of opsplitsen in twee aparte stromingen in het noorden en zuiden. Zelfs volledig stoppen van de strooming kan soms voorkomen (Kauker & Von Storch 2000). Significante verschillen in strooming zijn waargenomen tussen jaren. In 1980 zou er bijvoorbeeld uitstroming via het Kanaal hebben plaatsgevonden, terwijl er in 1990 een ongebruikelijke grote instroom in het noorden plaats heeft gevonden (Delhez *et al.* 2004).

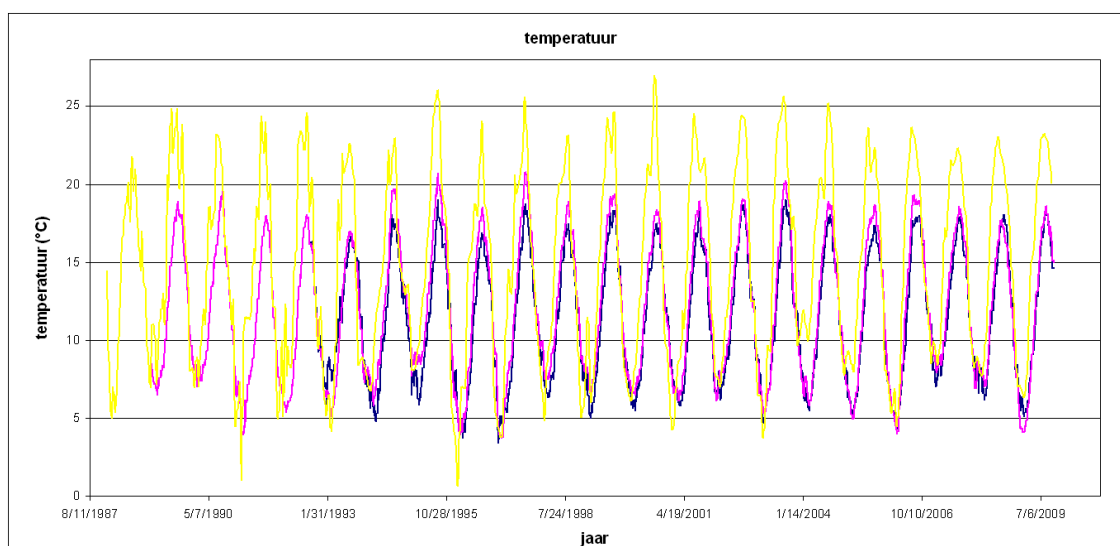
Naast de instroom van oceaanwater, heeft de instroom van zoetwater via rivieren, vooral lokaal, invloed op de strooming. De belangrijkste bron van brakwater is de Oostzee, gemiddeld 1276 km^3 per jaar. De belangrijkste bronnen van zoet water zijn de rivieren langs de Noordzee zelf, die gemiddeld per jaar 370 km^3 aanvoeren (Lenhart *et al.* 1995 en referenties daarin) en neerslag, die per jaar ongeveer 460 km^3 bedraagt. Er verdampt er ook weer een groot gedeelte. In het totaal is het jaarlijks aangevoerde zoetwater maar ongeveer 3% van het volume van de Noordzee, maar lokaal kan het

belangrijk zijn voor stroming, stratificatie en nutriëntenaanvoer(paragraaf 2.2.5 en 2.2.6).

De samenstelling van het Noordzeewater (temperatuur, zoutgehalte en nutriënten) hangt dus af van de herkomst (ocean, Kanaal, Oostzee, rivieren). Veranderingen in de in- en uitstromen zorgen voor veranderingen in de Noordzee, op lokale en/of globale schaal. Hoe veranderingen effect hebben ligt aan het seizoen waarin ze plaatsvinden (is het instromende water op dat moment warmer of kouder dan het water al aanwezig in de Noordzee) en aan de omvang. Een extra regenbuitje zal niet veel gevolgen hebben, maar een volledig verregende zomer, met stortregens, heeft niet alleen direct invloed door verhoogde neerslag maar ook indirect door verhoogde instroom van rivierwater.

2.2.3 Temperatuur

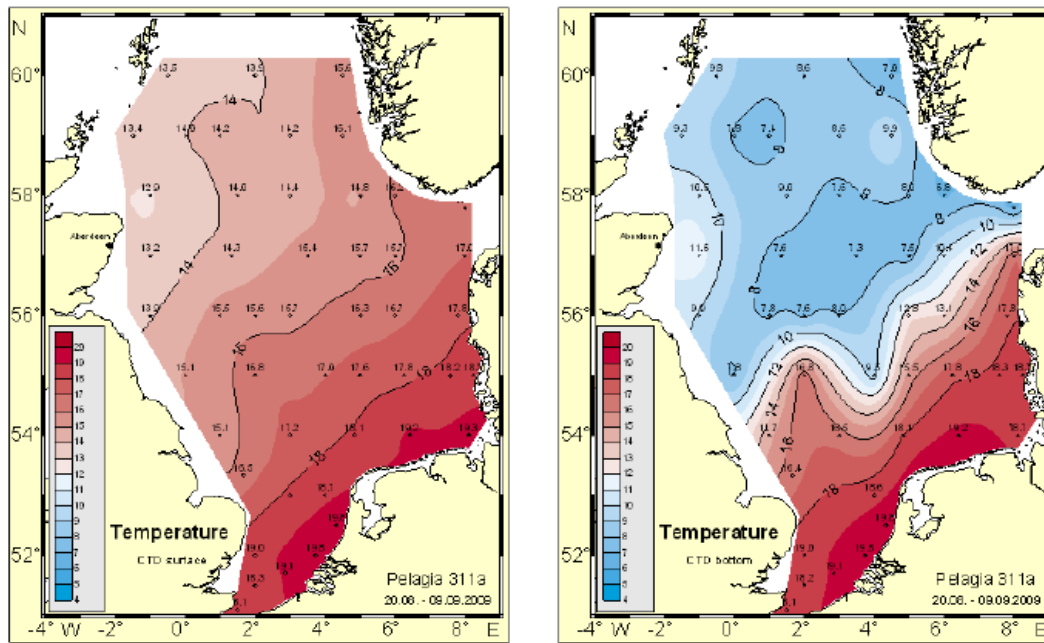
De Noordzeetemperatuur, zoals hierboven beschreven, is niet overal hetzelfde en verandert over het jaar (Figuur 11). De kustzones zijn in de zomer het warmst, maar in de wintermaanden kouder dan de diepere gebieden door de grote afkoeling (Figuur 8). In het zuiden, waar het water gemixt is, is er weinig verschil tussen bodemtemperatuur en oppervlaktetemperatuur. In het noorden is er tijdens stratificatie een verschil van enkele graden tussen de bodem en het oppervlak (Figuur 12). Door de instroom van Atlantisch water in het noorden komt het voor dat met name in de wintermaanden het water in de meest noordelijke gebieden het warmst is (Figuur 8).



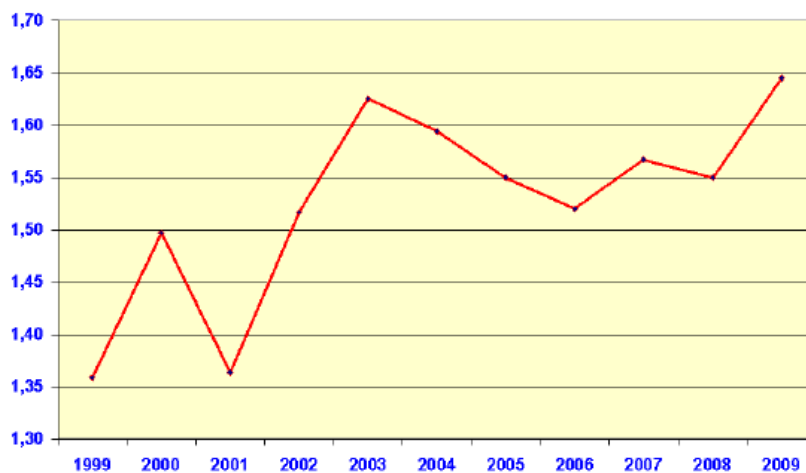
Figuur 11. Dagelijkse temperatuurmetingen, (1988-2009) op drie stations van het meetnet van Rijkswaterstaat. Geel is station IJmuiden (2 km), roze is station Europlatform en blauw is station K13a (bron: waterbase.nl)

De temperatuur van de Noordzee wordt gereguleerd door lokale effecten van zonnewarmte en warmteuitwisseling met de atmosfeer (ICES 2004), en door de instroom van Atlantisch oceaanwater (Corten & Van de Kamp 1996). Becker & Pauly (1996b) concludeerden, op basis van de wekelijkse BSH-observaties aan boord van onderzoeksschepen, commerciële en lichtscheperen, boeien, kuststations en NOAA-satellietdata, dat de oppervlaktetemperatuur geen trend laat zien tussen eind jaren '60 en begin '90. Tussen 1989 en 1994 heeft er een temperatuurstijging in het oppervlaktewater plaatsgevonden die geleid heeft tot het zachtste winterklimaat in vergelijking met de 50 jaar ervoor (Becker & Pauly 1996a). De jaren 1942, 1962 en 1977-79 waren waarschijnlijk het koudst gebaseerd op BSH-temperatuurkaarten van de gehele Noordzee. In 1963 en 1996 werden de laagste temperaturen gemeten, ofwel de

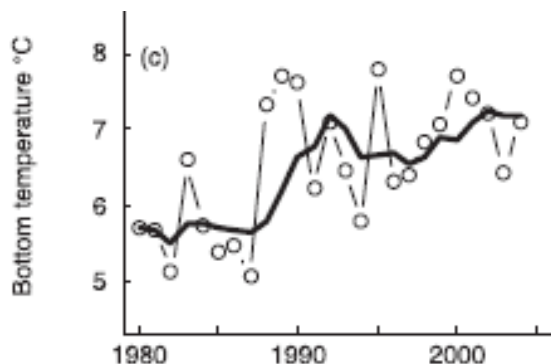
koudste winters. De gemiddelde winter temperatuur is met ongeveer 1.6°C gestegen tussen 1980 en 2004 met een stijging van 1°C van 1988 naar 1989 (Dulvy *et al.* 2008) en is na deze stijging op een warmer niveau gebleven en blijven stijgen (Figuur 14) . Dit is gebaseerd op data verkregen via ICES, tijdseries van bodemtemperatuur (onderste helft van de water kolom) zijn gemiddeld over januari-maart. De Marsdiep-tijdserie (Figuur 7) laat de temperatuursprong in 1989 ook vooral zien in de minimum temperatuur (warmere winter), gevolgd door warme jaren.



Figuur 12. Oppervlakte (links) en bodem (rechts) temperatuur in °C in september 2009 (ICES 2010)



Figuur 13. Totale warmte-inhoud in $J \times 10^{12}$ 1999-2009 (ICES 2010). De hoge waarde in 2009 zou een artefact kunnen zijn, omdat de survey een maand later plaats vond. Maximum temperaturen in de bodemlagen hebben ongeveer een vertraging van een maand

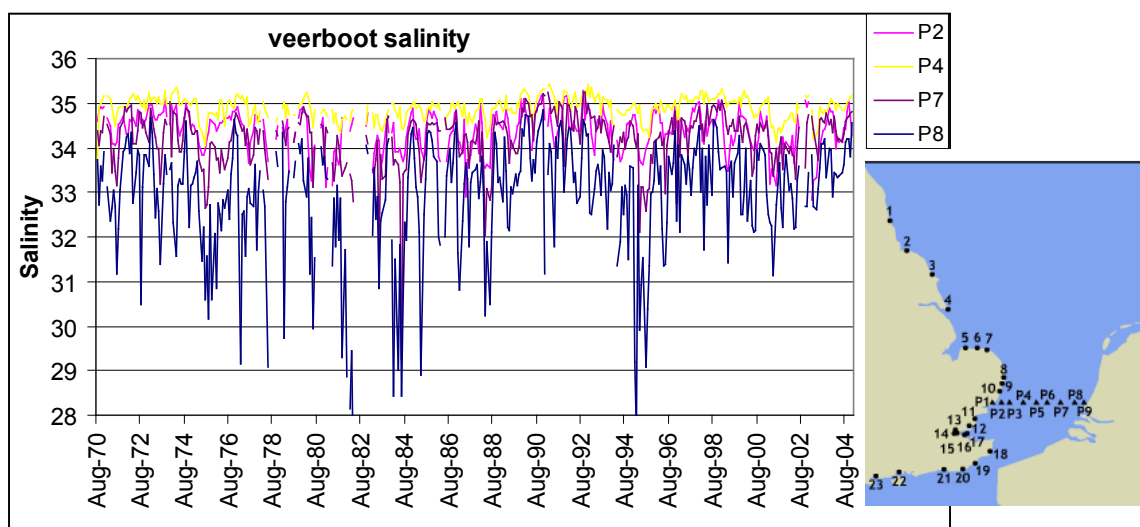


Figuur 14. Gemiddelde winter bodem temperatuur januari-maart (Dulvy et al. 2008)

De totale warmte-inhoud van de Noordzee sinds 1999, gebaseerd op zomer surveys in het gebied in Figuur 12, is weergegeven in Figuur 13. De warmte-inhoud van de oceanen en daardoor ook de Noordzee wordt o.a. beïnvloed door de North Atlantic Oscillation (NAO, paragraaf 2.3.2).

2.2.4 Saliniteit

Het zoutgehalte van de Noordzee wordt bepaald door de instroom van Atlantisch water en lokaal door de instroom van rivieren, verdamping en neerslag (Corten & Van de Kamp 1996). Het zoutgehalte van de Noordzee ligt rond de 34-35 gram per liter; door de instroom van zoet water kan dit lokaal lager komen te liggen. In Figuur 15 is het effect van de uitstroom van zoet water duidelijk te zien op locatie P8 dicht voor de haven van Rotterdam.



Figuur 15. Maandelijkse saliniteit op vier locaties langs het traject van de veerboot van Rotterdam naar Harwich (data CEFAS-website)

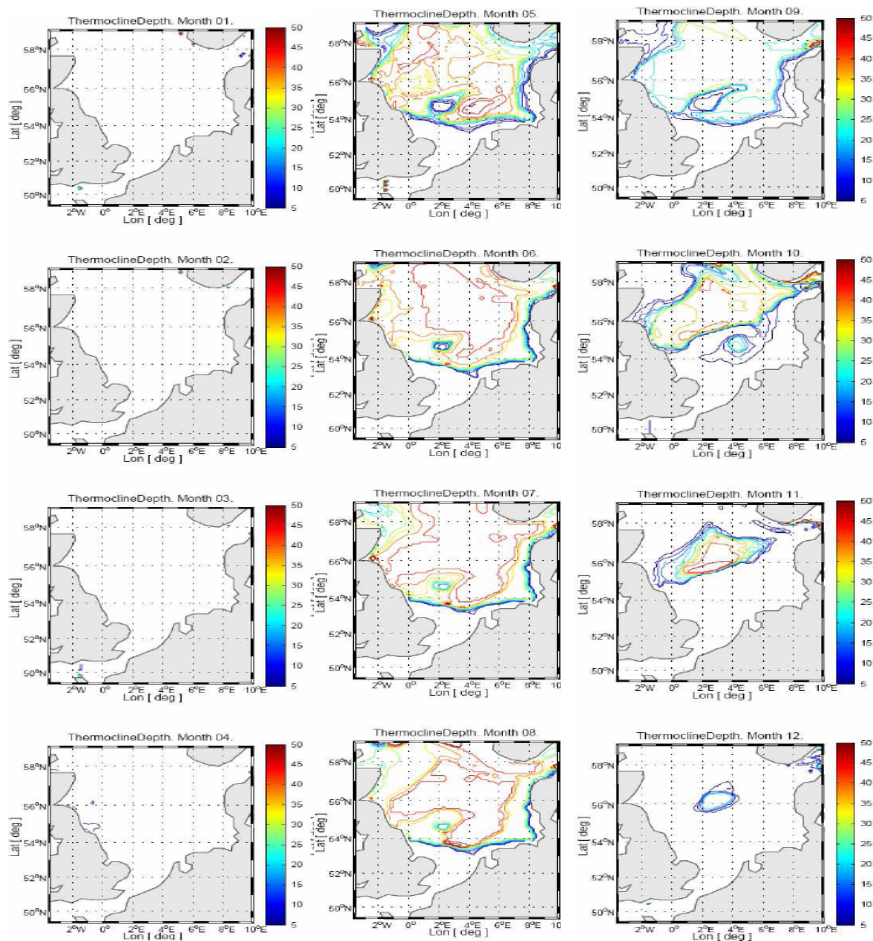
In de noordelijke Noordzee, waar het zoutgehalte vooral wordt bepaald door de Atlantische instroom, is het zouter geworden sinds de jaren '70. In de zuidelijke Noordzee is er geen duidelijke verandering zichtbaar in zoutgehalte (The United Kingdom Marine Climate Change Impacts Partnership (MCCIP)). In de Marsdiep-serie is er een duidelijke afname in zoutgehalte zichtbaar, gerelateerd aan de toegenomen afvoer van rivierwater (Figuur 7). Hierin ligt ook met name de link met klimaatverandering en de mogelijke veranderingen in zoutgehalte. Door toenemende

neerslag en/of door toenemende verdamping kunnen lokaal veranderingen in zoutgehalte optreden. Door het effect op stratificatie (paragraaf 2.2.5) is zoutgehalte van belang en kunnen verandering in zoutgehalte gevolgen hebben voor andere processen en het Noordzee-ecosysteem als geheel.

2.2.5 Stratificatie

Stratificatie treedt op als door verschil in temperatuur (thermocline), zoutgehalte (halocline), zuurstof (chemocline), en/of dichtheid (pycnocline), waterlagen ontstaan die nog maar beperkt met elkaar mixen. In de Noordzee komen haloclines o.a. voor tussen instromend rivierwater en het zoutere zeewater. De menging van het zoete met het zoute water gebeurt maar langzaam waardoor je op grote afstand van de kust nog steeds duidelijk het zoete water terug kunt vinden. De wind kan het mixen versnellen (De Ruijter *et al.* 1997). Veranderingen in rivieruitstroom en windpatronen kunnen dus zorgen voor veranderingen in deze vorm van stratificatie.

Stratificatie door verschil in temperatuur ontstaat iedere zomer in de diepere noordelijke Noordzee en in het gebied tussen Friese Front en Doggersbank. Door de opwarming van het oppervlaktewater ontstaat een temperatuurverschil met het diepere koude water waardoor menging van de volledige waterkolom beperkt wordt (Figuur 16).



Figuur 16. De vorming van de thermocline over het jaar in 1997 gebaseerd op het model ECOSMO (Schrum & Alekseeva, RECLAIM)

Het moment waarop de stratificatie optreedt, de diepte en hoever de stratificatie zich naar het zuiden uitstrekt hangt af van de temperatuur en de wind. Als het oppervlakte-water warmer wordt en er maar weinig wind is, zal de stratificatie sterker zijn. Doordat de waterkolom niet volledig gemixt meer wordt, wordt de warmteflux beperkt. Ook de nutriëntenflux wordt beperkt: in de bovenste waterlaag worden de nutriënten verbruikt door de groei van algen maar niet meer vanaf de bodemlagen aangevuld. Hierdoor wordt de productie van algen in de zomer beperkt. Bij uitbreiding van het gestratificeerde gebied zal deze beperking in een groter gebied plaatsvinden. Bij verandering van windregimes kan de jaarlijkse stratificatie ook toe- of afnemen.

De stratificatie door verschillen in temperatuur vindt alleen plaats tijdens de zomermaanden tot het begin van de herfst. Doordat de stratificatie in de herfst weer verdwijnt en de waterkolom tijdens de winter weer mixt, heeft het Noordzeesysteem geen "geheugen" voor veranderingen in de stratificatie. De omgevingscondities bepalen ieder jaar opnieuw hoever en hoe diep de stratificatie plaatsvindt, zonder dat de omstandigheden in het jaar daarvoor invloed hebben (Lenhart *et al.* 1995). Verandering in stratificatie is een indirect gevolg van klimaatverandering via temperatuur, wind en saliniteit.

2.2.6 Nutriënten

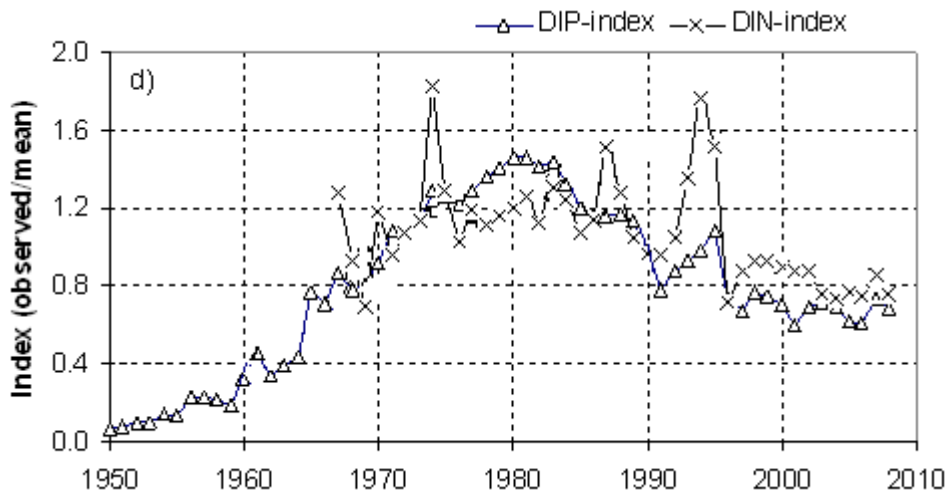
Nutriënten, stikstof, fosfaat en silicaat vertonen in de Noordzee een duidelijk seizoenspatroon (Prandle *et al.* 1997). Er is een duidelijke piek in december-januari, waarna er een snelle daling optreedt als de primaire productie op gang komt tijdens de lentebloei. In mei-augustus worden de hoeveelheden beperkend voor de groei van fytoplankton.

De belangrijkste aanvoer van nutriënten afkomstig van bronnen op het land vindt plaats via rivieren, die 65-80% van de totale stikstof en 80-85% van de totale fosfaat aanvoer voor hun rekening nemen (OSPAR 2000). Het interpreteren van deze getallen is niet zo eenvoudig, aangezien processen in estuaria er voor kunnen zorgen dat de totale input in de Noordzee toch lager is. Zo kunnen ammonia en nitraat omgezet worden in N₂ waardoor het aan de biota wordt onttrokken en kan fosfaat neerslaan in het sediment.

De andere belangrijke bron van nutriënten input in de Noordzee is de instroom via het Kanaal en de Atlantische oceaan. In de winter komen in het noorden met de instroom van oceaanwater nutriënten de Noordzee in. De totale aanvoer uit het noorden is moeilijk te bepalen door grote variatie tussen jaren (OSPAR 2000, Reid *et al.* 2001), maar typische concentraties zijn 12 µmol stikstof /l, 0.8 µmol anorganisch fosfaat /l en 6µmol silicaat /l (NSTF 1993). Modelberekeningen (NORWECOM) schatten de gemiddelde flux van nutriënten voor de periode 1976-1995 op 4 000 ± 1 000 kt N per jaar, 700 ± 200 kt P per jaar en 3 800 ± 1 000 kt Si per jaar (Laane *et al.* 1996, OSPAR 2000).

De aanvoer van silicaat is redelijk constant geweest in de afgelopen jaren en is vaak de eerste beperkende factor voor groei tijdens de lentebloei (NSTF 1993). Marien fytoplankton heeft stikstof en fosfaat nodig in een verhouding van 16:1, waardoor stikstof vaak de beperkende factor is in tegenstelling tot in het zoete water (Nybakken 1993).

Gebaseerd op verschillende meetstations in de oostelijke Noordzee, Helgoland Roads en verschillende Nederlandse stations (www.waterbase.nl), zijn er tijdseries van fosfaat (DIP) en stikstof (DIN) gecreëerd. De tijdserie laat een toename in fosfaat zien vanaf de jaren '70 met een piek in het begin van de jaren '80 waarna de hoeveelheden weer zijn afgenomen. Deze trend was op alle stations vergelijkbaar, de trend in stikstof verschilde tussen de verschillende stations, maar geeft gemiddeld een zelfde beeld als fosfaat (Figuur 17).



Figuur 17. Index voor opgelost anorganisch fosfaat (DIP) en opgelost anorganisch stikstof (DIN). Gebaseerd op Helgoland Road station (Alexander Schroeder, AWI) en Nederlandse kuststations (www.waterbase.nl) van Rijnsdorp, 2009 RECLAIM deliverable 5.1

De toename in fosfaat en stikstof in de rivieren en de Noordzee vanaf de jaren '70 is veroorzaakt door afvoer van hoge gehalten aan nutriënten in het afvalwater. Door een verminderde input van nutriënten in het afvalwater (met name stop van fosfaat in wasmiddelen) en verbeterde waterzuiveringsinstallaties is de input van nutriënten via rivieren weer afgenomen. De toename in nutriënten zorgde voor eutrofiëring (een overmaat aan voedingsstoffen in het water). Dit zorgt ervoor dat snelgroeiende inefficiënte gebruikers van deze voedingsstoffen dominant worden. Vaak zijn dit ongewilde of zelfs schadelijke soorten.

Analyses van het opgeloste anorganische nitraat (DIN) laten zien dat tijdens de winter in de zuidelijke Noordzee de basis het opgeloste organisch stikstof (DON) is dat wordt gerecycled (Hydes *et al.* 1999). De hoeveelheid fosfaat, stikstof en silicaat dat wordt aangevoerd door de oceaan en door rivieren is te weinig om de waargenomen seizoenscyclus van de nutriënten te verklaren. Het recyclen van organische vormen speelt een belangrijke rol (Prandle *et al.* 1997). De hoge productiviteit in de Noordzee komt voort uit de aangevoerde hoeveelheden nutriënten maar ook door een hoge mate van recycling van organische vormen al aanwezig in het systeem.

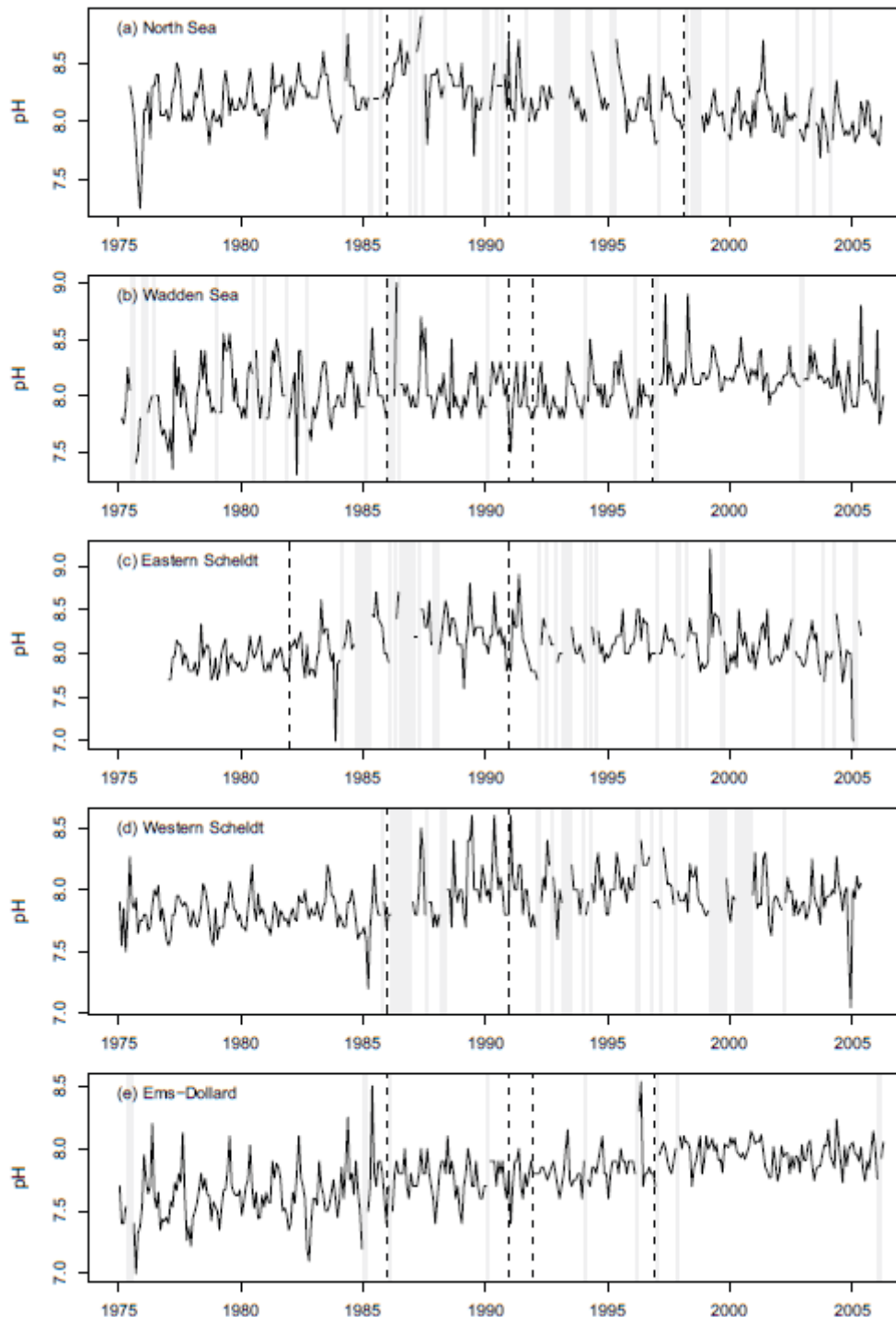
2.2.7 Wind

Wind ontstaat door drukverschillen in de atmosfeer en is daarom gerelateerd aan indices die het verschil in atmosferische druk weergeven, zoals de North Atlantic Oscillation (NAO, paragraaf 2.3.2). De lokale wind kan zeer variabel zijn en in korte tijd van richting en sterkte veranderen. Er zitten duidelijke dagelijkse patronen en ook seizoenspatronen in de windrichting en sterkte, maar over het algemeen zijn deze zeer variabel. De laatste jaren is er in Nederland een toename waargenomen in het aantal dagen waarop de wind uit het (zuid)westen waait en dan warmere landtemperaturen mee brengt (KNMI-website). Verder is er een afname in het aantal stormen waargenomen in de periode 1962-2002 (Smits *et al.* 2005), KNMI), terwijl er in windsterkten geen duidelijke patronen zitten. Zelfs twee relatief dichtbij elkaar gelegen stations (De Bilt en IJmuiden) laten een tegengestelde trend in windsnelheid zien.

2.2.8 Zuurgraad

De zuurgraad wordt gemeten in pH (Figuur 18) dat wordt uitgezet op een logaritmische schaal, waardoor een minimaal verschil in pH al grote verschillen in zuurgraad kan

weergegeven. De meting van pH in zeewater is lastig, door allerlei chemische processen die veranderingen kunnen maskeren of juist versterken. Een verandering in pH komt tot stand als er meer of minder vrije H^+ ionen aanwezig zijn. Een van de processen die hiervoor zorgt is de omzetting van CO_2 en H_2O naar HCO_3^- en een H^+ . Er komen hierbij H^+ -ionen vrij waardoor het water zuurder wordt en de pH daalt.



Figuur 18. Ruwe data van pH in verschillende locaties rond Nederland (Noordzee, Waddenzee, Oosterschelde, Westerschelde, Ems-Dollard) (Provoost et al. 2010)

Veranderingen in pH zijn voor een gedeelte een direct effect van de toename van CO₂ door antropogene invloed. De toename in CO₂ sinds de periode voor de industrialisering heeft geleid tot een reductie in pH van 0.1 in de oppervlaktewateren van de oceaan (Caldeira & Wickett 2003), en een verdere afname in pH met 0.3-0.5 is te verwachten in 2100 (Caldeira & Wickett 2005, Orr *et al.* 2005). Aangezien de pH wordt gemeten op een logaritmische schaal is dat veel ten opzichte van de huidige gemiddelde waarde van 8.2. De verandering in pH kan vervolgens effecten hebben op de mariene organismen en met name de kalkbindende organismen, o.a. koralen, schaaldieren (garnalen en kreeften) en schelpdieren, aangezien kalkhoudende structuren moeilijker te maken zijn en sneller zullen oplossen onder lagere pH. Via deze weg kan de uitstoot van CO₂ de mogelijke gevolgen van klimaatverandering versterken (paragraaf 2.5.6).

2.2.9 Zuurstof

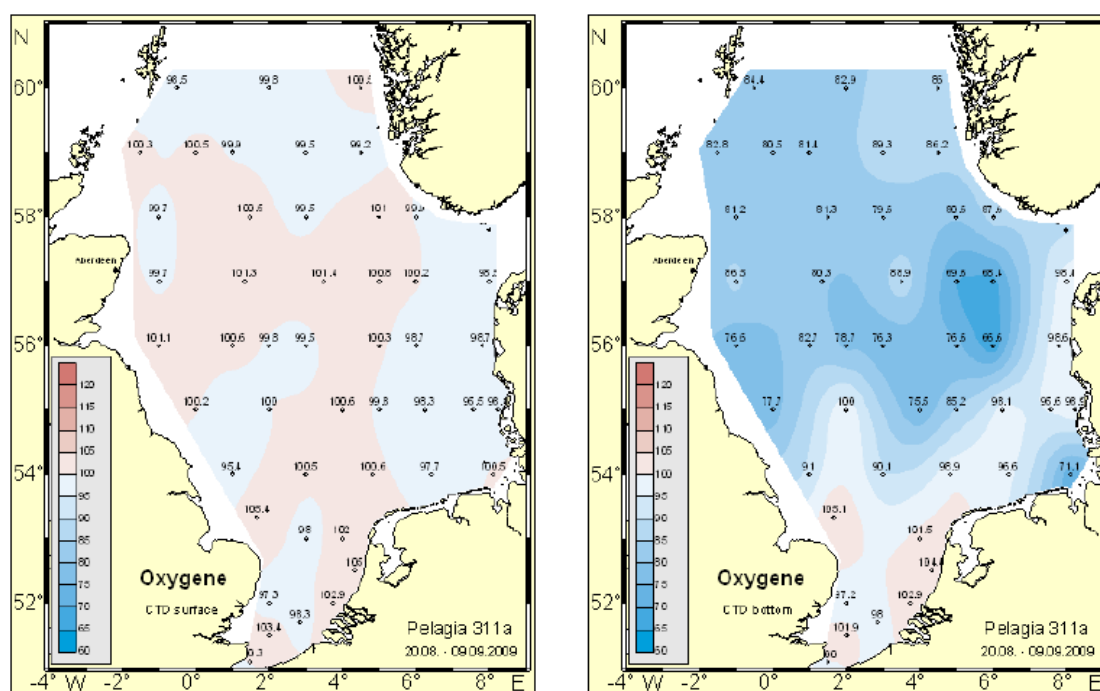
Zuurstof is een belangrijke biochemische component en wordt gebruikt als een sleutelement in de assessment van de status van het marine milieu. Zoals bij de meeste componenten varieert de zuurstofconcentratie in de Noordzee ruimtelijk (Figuur 19) en over tijd. In de late zomer van 2009 was de zuurstofconcentratie relatief laag en had een smal gebied ten westen van Jutland een saturatie lager dan 70% (Figuur 19). Pas onder een saturatie van 40% kan er stress optreden voor mariene organismen (ICES 2010).

De uitputting van zuurstof in het water wordt beïnvloed door verschillende factoren, o.a. fysische en biologische processen (Kemp *et al.* 2009). Warmer water bevat minder zuurstof, dus als over het seizoen de temperatuur toeneemt, neemt de zuurstofsaturatie af. Voor de Oestergronden en de Doggersbank verklaarde de toename in temperatuur respectievelijk 55% en 10% van de afname in zuurstof tijdens de seizoenen 2007 en 2008 (Greenwood *et al.* 2010). Op de Oestergronden bereikte de zuurstofsaturatie 5.2 mg l⁻¹, 60%, en op de Noordelijke Doggersbank 6.2 mg l⁻¹, 71% (Greenwood *et al.* 2010). Dit was vergelijkbaar met eerdere metingen op vergelijkbare locaties. Lagere concentraties op de Oestergronden, 3.2 mg l⁻¹, zijn gemeten in september 2003 (Boers 2005) en lagere saturatie, 46%, in september 1981 (Greenwood *et al.* 2010). In 2003, was het weer erg kalm en warm tijdens de zomer, waardoor er zelfs in oktober nog stratificatie was. Deze verlengde stratificatie zorgde voor een langer geïsoleerde bodem en leidde tot lagere zuurstof concentraties (Greenwood *et al.* 2010).

Langere perioden van stratificatie en warmer water zoals voorspeld in klimaatscenario's kunnen dus leiden tot lagere zuurstofconcentraties. Daarbij komt dat voorspelde extreme kortstondige rivieruitstroom in de kustwateren kan zorgen voor een tijdelijke toename in nutriënten. De nutriënteninput zorgt voor eutrofiering waarbij zuurstof verbruikt wordt en de saturatie verder kan afnemen. Vooral in de jaren tachtig was eutrofiering een probleem, met name in de Duitse Bocht. Echter in de loop van de jaren tachtig begin negentig is dit door een krachtig aanpak van de hoeveelheid nutriënten die zee instromen weer af genomen (Hickel *et al.* 1993).

De huidige saturatie is dus niet kritiek, maar de meting op de Oestergronden vielen volgens OSPAR criteria (2005) wel onder "deficient" (Greenwood *et al.* 2010). Volgens het laatste OSPAR Quality Status Report (OSPAR 2010) is de Oestergronden echter geen probleemgebied meer in relatie tot eutrofiering. Het kustgebied is volgens OSPAR echter nog steeds een probleemgebied vanwege eutrofiering.

Daar de temperatuurstoename en de stratificatie niet de volledige verandering in zuurstofsaturatie over het seizoen verklaren, hebben Greenwood *et al.* (2010) nog enkele aanvullende mogelijke verklaringen. Een van deze verklaringen is de remineralisatie van omgewoeld sediment door stormen maar ook door bodem-beroerende visserij.



Figuur 19. (links) Zuurstofsaturatie (%) aan het oppervlak en (rechts) bij de bodem gebaseerd op data uit september 2009 (ICES 2010)

2.3 Cycli in klimaat

2.3.1 Introductie

Om processen en langetermijnveranderingen beter te kunnen begrijpen en om voorspellingen te kunnen doen wordt er gezocht naar trends of patronen in het klimaat. Hiervoor worden onder andere indices berekend die langere termijn patronen zichtbaar zouden kunnen maken. Verschillende van deze overkoepelende indices zijn berekend en mogelijke relaties met klimaatvariabelen zijn bepaald.

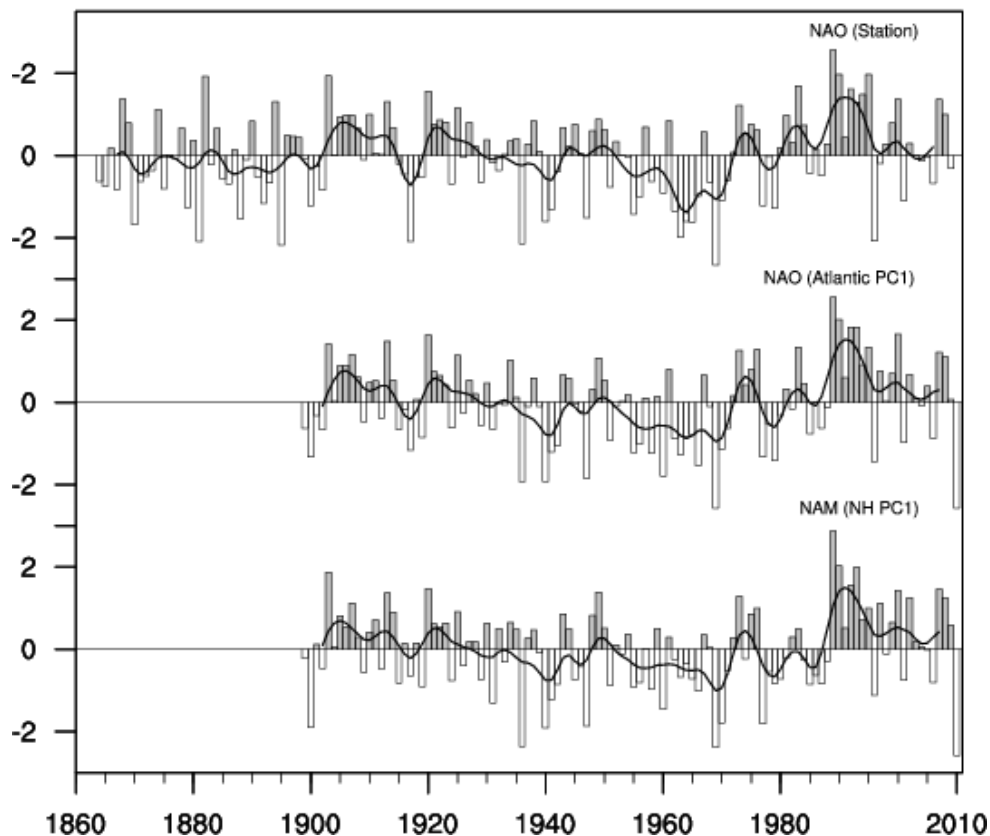
In een eerste blik laten de meeste indices een chaotisch patroon zien, er wordt voor de meeste indices echter wel een cyclus met een min of meer vast staande periode verondersteld. Maar, zoals bijvoorbeeld recente analyses voor Pacific Decadal Oscillation (PDO) hebben laten zien (Overland *et al.* 2006), is er geen duidelijk significant patroon te ontdekken. Er worden voor dezelfde index verschillende tijdsduren voor één cyclus of zelfs verschillende cycli gesuggereerd. De PDO zou twee cycli hebben: 1 van ongeveer 15-25 jaar en 1 van 50 tot 70 jaar (Mantua *et al.* 1997, Mantua & Hare 2002). Dit bemoeilijkt het gebruik in voorspelling van het klimaat.

Het is echter duidelijk dat er verschillende (positieve/negatieve) fases van verschillende indices zijn met een vaak tegengestelde uitwerking op het klimaat en dat de verschillende indices elkaar versterken of maskeren. Ze versterken of maskeren ook een lange termijn verandering in klimaat. De voorspelde toename in temperatuur, kan bijvoorbeeld voor een bepaalde periode gemaskeerd worden doordat een dominante index in een koude fase zit. Daarentegen kan de toename versterkt worden als de index verandert van fase. Dit is zeker iets om rekening mee te houden, in relatie tot de "korte" termijn visie waarvoor deze Natuurverkenning bedoeld is. De hieronder besproken indices zijn de bekendste en meest algemeen gebruikte indices in klimaatdiscussies om verschillen of veranderingen te identificeren.

2.3.2 North Atlantic Oscillation (NAO)

De North Atlantic Oscillation index beschrijft het drukverschil tussen het subtropische atmosferische hogedrukgebied rond de Azoren/Lissabon en het atmosferische lagedrukgebied rond IJsland. Dit verschil in druk is een belangrijke oorzaak van verschil in weer- en klimaatcondities op het noordelijk halfrond. Als de NAO verandert van een positieve naar een negatieve fase of andersom, treden er grote veranderingen op in wind, stormen, luchttemperatuur en neerslag, over de Atlantische Oceaan en aanliggende continenten. De NAO heeft ook effect op oceanen, door veranderingen in o.a. warmte-inhoud, circulatiepatronen en stratificatie (Hurrell & Deser 2010).

SLP-based Indices (Dec-Mar)



Figuur 20. Genormaliseerde indices van de winter (december-maart) NAO. De bovenste grafiek is de index gebaseerd op het drukverschil tussen Lissabon en Reykjavik, genormaliseerd bij de standaardafwijking van het langetermijngemiddelde (1864-1983). De middelste en onderste grafieken zijn de principale component van de belangrijkste empirische orthogonale functie (EOF) van de Atlantische sector en van het noordelijk halfrond (Hurrell & Deser 2010)

De exacte waarde van de NAO kan op verschillende manieren berekend worden, waarbij rekening gehouden moet worden met de ruimtelijke verplaatsing van de drukgebieden. Hurrell & Deser (2010) hebben verschillende methoden geanalyseerd en vergeleken, en concluderen dat er geen duidelijke tijdschaal is waarop veranderingen in de NAO plaatsvinden. Zelfs binnen een seizoen vinden er veranderingen in fase plaats waardoor winters niet alleen gekarakteriseerd kunnen worden door canonical NAO-structuren (de meest gebruikelijk methode, Figuur 20), die 1 fase voor het hele seizoen weergeeft.

Dat er geen duidelijke tijdschaal voor de NAO bepaald kan worden betekent dat de NAO niet goed voorspelbaar is en daardoor ook niet de effecten van de NAO op het Noordzeeklimaat. Een omslag in fase van de NAO kan een veel groter en direct effect hebben op het mariene milieu dan de graduele klimaatverandering.

De relatie tussen NAO en verschillende klimaatvariabelen is met name sterk in Noord-Europa. De relaties kunnen lokaal verschillen (relatie met warmere temperaturen, terwijl op een andere plek er juist een relatie is met koudere temperaturen) en moeten dus apart onderzocht worden (Ottersen *et al.* 2001). De NAO is een goede indicator voor oppervlaktetemperatuur van het Noordzeewater in de winter en voor de sterkte van wind over de Noordzee. Een positieve/hoge NAO wordt gerelateerd aan hoge winter- en lentetemperaturen en een toename van instroom van Atlantisch water door de toename in westelijke wind. De NAO is significant gecorreleerd met de instroom van Atlantisch water in het noorden, de instroom in het zuiden is maar zeer beperkt gecorreleerd met de NAO (Hjøllo *et al.* 2009). Door de link met verschillende klimaatvariabelen heeft de NAO effect op het mariene ecosysteem. Er moet wel gerealiseerd worden dat de NAO zelf geen directe effecten op organismen heeft maar dat dit indirect via de klimaatvariabelen gaat en dat vele van de mechanismen die hier voor verantwoordelijk zijn nog niet goed bekend zijn (Ottersen *et al.* 2001)

2.3.3 El Niño Southern Oscillation (ENSO)

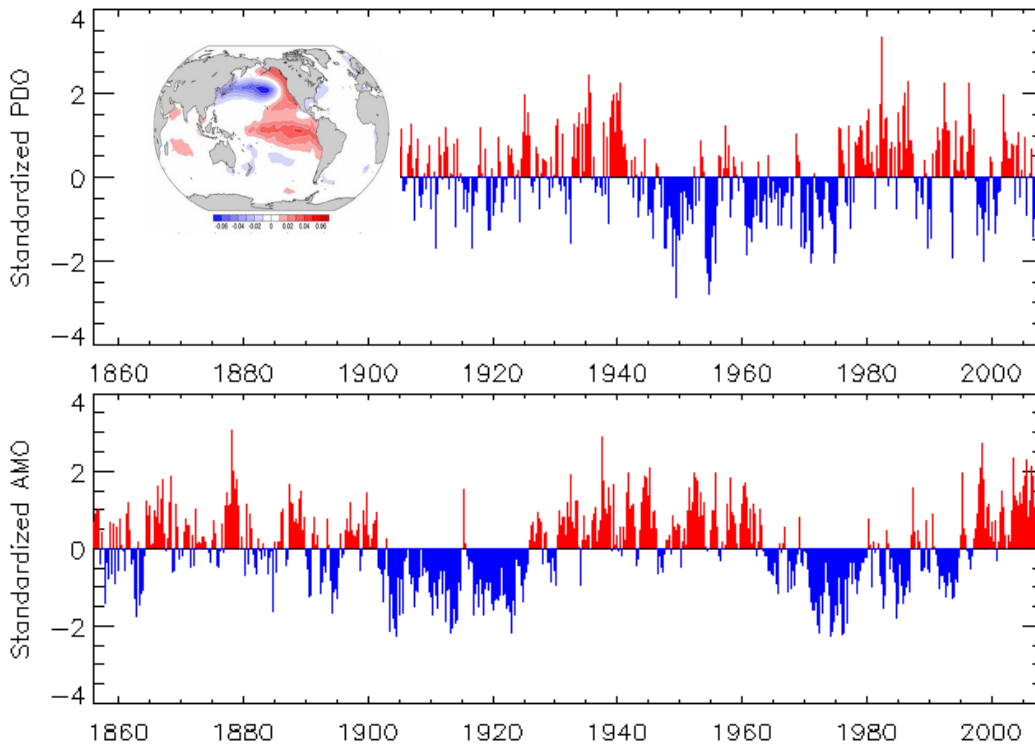
De El Niño Southern Oscillation (ENSO), is minder van directe invloed op het lokale klimaat in de Noordzee, maar is van een groter belang voor het gebied rond de Grote Oceaan. In extreme jaren beïnvloedt de cyclus ook het Europese klimaat. El Niño is het opwarmen van het oppervlaktewater in de Grote Oceaan, en wordt gemeten in graden verschil ten opzichte van de normale temperatuur. Bij een afwijking hoger dan 0.5 °C voor een aantal maanden is er sprake van een El Niño, het tegenover gestelde is La Niña. Een El Niño treedt eens in de 3 tot 7 jaar op. Tijdens een El Niño treedt er verandering op die tropisch oceaanoever vanuit de omgeving van Indonesië richting Zuid-Amerika. In tegenstelling tot normale jaren, bevat dit warmere water minder voedingsstoffen wat slecht is voor de vis in de Peruaanse wateren. Bovendien verdampt dit water sneller, waardoor er veranderingen in neerslag optreden in normaal gesproken droge gebieden in de Andes. Aan de andere kant in Australië en Indonesië leidt het juist tot droogte. Ook buiten dit gebied heeft El Niño effecten, zoals overstromingen aan de ene kant en droogte aan de andere kant. Verder komen er minder orkanen voor boven de Atlantische Oceaan en in het Caribisch gebied en in Nederland lijdt het statistisch gezien tot een relatief nat voorjaar. Mondiaal bekeken leidt El Niño tot opwarming, met de hoogste temperaturen tijdens de extreme El Niño in 1997/98.

Het tegenovergestelde, La Niña, zorgt in onze winter voor meer regen op de Filipijnen, langs de noordkust van Zuid-Amerika en op de benedenwindse eilanden (Aruba, Curaçao en Bonaire) en vaak (maar lang niet altijd) meer regen in zuidelijk Afrika. In Mexico en de zuidelijke Verenigde Staten is het meestal droger dan normaal (website KNMI). Een van de verbanden tussen La Niña en Europees weer is een iets hogere kans op een westelijke circulatie in West-Europa, met als gevolg een zachte winter met veel regen. De kans dat deze voorspelling uitkomt is echter nauwelijks groter dan 50%.

2.3.4 Pacific Decadal Oscillation (PDO) en Atlantic Multi-Decadal Oscillation (AMO)

Twee andere, veel aangehaalde indices, zijn de Pacific Decadal Oscillation (PDO) en de Atlantic Multi-Decadal Oscillation (AMO). De PDO wordt berekend met behulp van principale componenten van de maandelijks verschillen in oppervlaktetemperatuur van het water van de Noord Pacific. De PDO zou twee cycli hebben: 1 van ongeveer 15-25

jaar en 1 van 50 tot 70 jaar (Mantua *et al.* 1997, Mantua & Hare 2002), waarbij een vooral positieve fase wordt afgewisseld door een vooral negatieve fase (Figuur 21). De positieve fase zou resulteren in warmer water rond Noord-Amerika en Alaska en zou leiden tot meer El Niño's. Recente analyses laten zien dat er geen significant patroon te ontdekken is, dus geen duidelijk cyclus, en het daarom nog steeds onmogelijk is om het toekomstige verloop van deze index te voorspellen (Overland *et al.* 2006).



Figuur 21. De indices van de PDO en de AMO en een representatie van de PDO in positieve fase

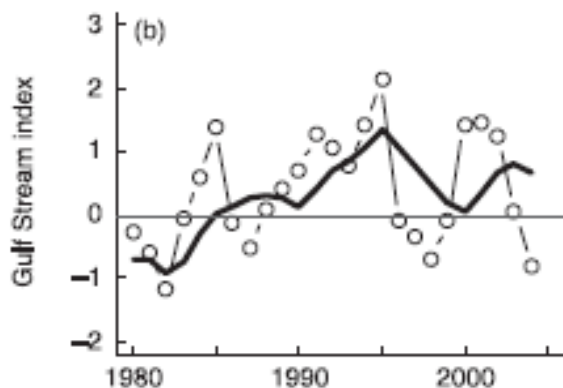
De AMO wordt berekend aan de hand van patronen in oppervlakte temperatuur van de Noord Atlantische Oceaan nadat een lineaire trend is verwijderd. Net als voor de PDO is er nogal wat onduidelijk over de duur van een cyclus van de AMO, en ook voor de AMO geldt dat deze eigenlijk niet te voorspellen is. Meestal wordt er van uit gegaan dat de AMO een cyclus zou hebben van rond de 65 tot 80 jaar (Kerr 2000, Gray *et al.* 2004), de AMO is uit fase met de PDO. Een positieve AMO fase leidt tot meer Atlantische orkanen en hogere jaarlijkse gemiddelde temperaturen en is bijvoorbeeld gerelateerd aan het smelten van de gletsjers in de Alpen (Huss *et al.* 2010).

Als de positieve fasen van de PDO en AMO samen vallen, zou dit zorgen voor een dubbel positief effect op de mondiale temperatuur en anders om. Dit samenvallen zou een aanzienlijk deel van de veranderingen in temperatuur in de laatste 110 jaar kunnen verklaren (mogelijk gemaskeerd door effecten van grote vulkaanuitbarstingen zoals de Krakatoa of de Pinatubo) (D'Aleo, CCM).

Afgelopen jaren waren zowel de AMO als de PDO in een positieve fase, wat voor de extreme opwarming gezorgd kan hebben. De verwachting is dat in ieder geval de PDO naar een koude fase zal gaan, en dat de AMO over het hoogtepunt heen is. Dit zou kunnen zorgen voor een periode van afkoeling. Maar als er een andere lengte voor de cyclus van de AMO wordt aangenomen, zou het kunnen zijn dat de AMO voorlopig nog in de warme fase blijft.

2.3.5 Gulf Stream North Wall (GSNW)

Nog een laatste te bespreken index is de Gulf Stream North Wall (GSNW) (Taylor 1995, 1996). Deze heeft betrekking op de positie van de Golfstroom en dus op de stromingen in de Noord-Atlantische Oceaan. Een meer noordelijke positie van de North Wall is gerelateerd aan warmer en natter weer in Noordwest-Europa (Topliss 1997), en met een toename in zoöplankton productie in de Noordoost-Atlantische Oceaan en de noordelijke en centrale Noordzee (Clark *et al.* 2003b). De GSNW-index is weer gekoppeld aan de NAO-index van twee jaar eerder (Taylor & Stepens 1998, Taylor *et al.* 2002). Een positieve waarde geeft een meer noordelijke positie van de GSNW aan (Figuur 22).



Figuur 22. Gulf Stream North Wall (GSNW) index (Dulvy *et al.* 2008)

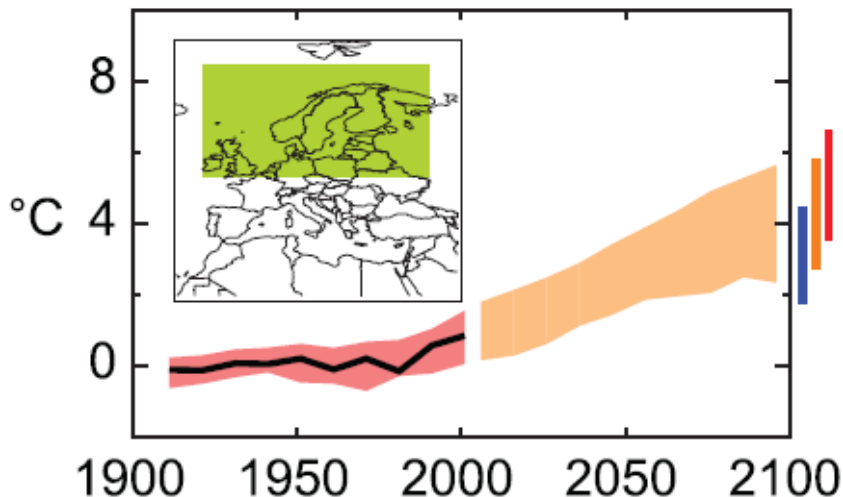
2.4 Klimaatscenario's

2.4.1 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Het 4^{de} assessment report (AR4, IPCC 2007) van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) kwam uit in 2007, het vijfde rapport is gepland voor 2013. Dit is de meest uitgebreide samenvatting van het onderzoek naar de mondiale veranderingen in het klimaat en de oorzaken daarvan. De conclusie van het AR4 was dat de mens door uitstoot van broeikasgassen zorgt voor de opwarming van de aarde. In het rapport worden verschillende modellen besproken waarmee geanalyseerd wordt wat de gevolgen zullen zijn van verder menselijke invloed op het klimaat. Er wordt met name gekeken naar scenario's die de gevolgen van verschillende emissies van broeikasgassen analyseren. Er zijn vier verschillende groepen scenario's (A1 (A1T,A1B,A1F), A2, B1, B2), gebaseerd op het Special Report on Emissions Scenarios (SRES, Nakicenovic *et al.* 2000). Deze scenario's zijn gebaseerd op verschillende ideeën over de ontwikkeling van de mondiale economie en demografie.

Mondiale uitkomsten van modellen geven een stijging van temperatuur van 0,64-0,69°C gemiddeld over 2011-2030 in vergelijking met 1980-1999. In 2046-2065 gaan de verschillende modellen verder uit elkaar lopen en voorspellen ze een temperatuurstoename van 1,3-1,8°C, voor 2090-2099 zijn de verschillen tussen de modellen nog groter: 1,8-4,0°C. De bandbreedte binnen de modellen wordt ook steeds groter, zo voorspelt het warmste scenario gemiddeld 4,0°C warmer, maar liggen de uitkomsten van dit model tussen de 2,4-6,4°C. Verder wordt er voorspeld dat extreme warme temperaturen (hittegolven) vaker voor zullen komen. Neerslag zal over het algemeen toenemen, maar dat dit zal niet overal gelijk zijn. En extreme droogte of extreme neerslag zullen vaker voorkomen. Nog meer klimaatvariabelen worden voorspeld, zoals wind, zeeniveaustijging en verandering pH van de oceaan. De onzekerheid hiervan is nog groter.

De mondiale voorspelling zijn lastig toe te passen op regionaal niveau. Het IPCC heeft daarom de voorspellingen ook regionaal gemaakt. Voor de Noordzee is het meest relevant de beschrijving van de voorspelling voor Europa en het Middellandse Zeegebied. De gemiddelde jaartemperaturen in de Noordepartese regio (NEU) zullen waarschijnlijk stijgen, met de meeste stijging in de winter (2,3-5,3°C in 2080-2099 ten opzichte van 1980-1999, Figuur 23) en in de zomer in Zuid-Europa en het Middellandse Zeegebied (SEM). Daarnaast zullen extreme koude wintertemperaturen afnemen en extreme zomertemperaturen toenemen. Neerslag zal waarschijnlijk toenemen in Noord-Europa en afnemen in het Middellandse Zeegebied. In Midden-Europa zal de neerslag toenemen in de winter en in de zomer afnemen. Wind zal waarschijnlijk (zeer lage zekerheid) toenemen in gemiddelde maar ook in extreme snelheden over Noord-Europa.



Figuur 23. Voorspelde veranderingen in temperatuur in Noord-Europa, gebruikmakend van de verschillende emissie scenario's (AR4, IPCC 2007)

2.4.2 KNMI

In mei 2006 heeft het KNMI nieuwe klimaatscenario's voor Nederland en omgeving gepresenteerd (Van den Hurk *et al.* 2006), in 2009 is er een aanvulling verschenen op deze scenario's (Klein Tank & Lenderink 2009a). Deze zijn gebaseerd op dezelfde bronnen als het AR4 (IPCC 2007). Het KNMI gebruikt de IPCC-scenariuitkomsten op het gebied van temperatuurstijging als basis voor hun eigen scenario's. Van de IPCC-scenario's voorspelt 80% een toename in temperatuur van 1 tot 2°C in 2050. Deze 1 tot 2°C wordt door het KNMI gebruikt als basis voor hun vier scenario's (G/G+, W/W+). De G-scenario's gebruiken 1°C stijging terwijl de W-scenario's 2°C gebruiken. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van een verandering in luchtstromingspatronen in West-Europa, in de +-scenario's worden de luchtstromingspatronen in West-Europa aangepast.

Op basis van waarnemingen is er geconstateerd dat de temperatuur in Nederland en de ons omringende landen sinds 1950 ongeveer twee keer zo snel is gestegen als de wereldgemiddelde temperatuur (Klein Tank & Lenderink 2009a). Alleen de G+/W+ scenario's met veranderingen in de luchtstromingspatronen laten een vergelijkbare sterkere lokale opwarming zien, tot ongeveer 1,5 maal wereldgemiddeld in de zomer. Deze trend is niet zomaar naar toekomst door te trekken. De sterke opwarming in Nederland wordt voor een gedeelte bepaald door factoren die niet eenvoudig naar de toekomst te extrapoleren zijn. De toename in westenwinden is over de laatste decennia vrij extreem geweest. De mechanismen van deze verandering zijn nog niet volledig begrepen, en dus is het onduidelijk of deze trend in dezelfde mate zal doorzetten. Hetzelfde geldt voor de afname van de bewolking. Alleen over de afname van de

luchtvervuiling zijn we zekerder. Het is niet waarschijnlijk dat de lucht in de toekomst in dezelfde mate schoner zal worden (Klein Tank & Lenderink 2009a).

De vier KNMI'06-klimaatscenario's geven een beeld van hoe het toekomstig klimaat in Nederland zich kan ontwikkelen tot 2050 en 2100. De vier scenario's laten een opwarming rond 2050 zien variërend van 0,9°C tot 2,3°C in de winter en 0,9°C tot 2,8°C in de zomer ten opzichte van 1976-2005 (dus een andere referentieperiode dan het IPCC, waardoor vergelijking met de getallen in de vorige paragraaf lastig is). De koudste winterdag wordt 1,0 tot 2,9°C warmer, ook de warmste zomerdag wordt meer dan het gemiddelde warmer met 1,0 tot 3,8°C. Verder neemt in de winter en lente in alle scenario's de neerslag toe en in de zomer en herfst in de G- en W-scenario's. In G+ en W+ neemt de neerslag juist sterk af in de zomer en herfst. Extreme neerslag neemt in alle scenario's in alle seizoenen toe. In de kuststrook lijkt de neerslag zelfs nog te worden onderschat in de modellen. Voor dit gebied dient men rekening te houden met de combinatie van droogte uit de G+/W+ scenario's afgewisseld met (korte) periodes met extreme neerslag uit de G/W-scenario's. Wat betreft het stormklimaat, lijkt de natuurlijke variatie groter te zijn dan de verwachte veranderingen door het broeikas-effect. Er zijn dus geen aanwijzingen voor gerichte veranderingen in wind of de hoeveelheid stormen.

De KNMI-scenario's geven een mogelijk beeld voor 2050 en 2100, scenario's voor over 10 tot 20 jaar worden nog ontwikkeld. Het onderzoek naar de kwaliteit van deze decenniumverwachtingen is nog in volle gang (Klein Tank & Lenderink 2009a). Dit is wel de termijn van de natuurverkenning die hier aangehouden wordt, waardoor dus kwalitatieve onderbouwing van de toekomstvisie (paragraaf 2.6) met behulp van klimaatscenario's niet mogelijk is.

Verder richten de KNMI-klimaatscenario's zich vooral op het landklimaat en niet op de zee. Het lijkt niet mogelijk om de voorspelde stijgingen in temperatuur en/of neerslag rechtstreeks te vertalen naar veranderingen in de temperatuur van de Noordzee.

2.4.3 Scenario's algemeen

Voor het gebruik/misbruik van de klimaatscenario's willen we opmerken dat in menig debat de scenario's worden gepresenteerd als bewezen, betrouwbare voorspellingen van de toekomst. Dit is niet hoe scenario's zijn ontwikkeld of bedoeld. Scenario's zijn een analytisch hulpmiddel voor het verkennen van onzekerheden en worden dus gegenereerd om onzekerheden te verkennen. Ze worden gebruikt voor het ontwerpen van mogelijke, plausibele toekomst in plaats van waarschijnlijke toekomst zoals gepresenteerd in het klimaatdebat. Zodoende maakt het KNMI ook een fout wanneer zij stelt dat dankzij haar steeds betere modellen, zij steeds beter kan voorspellen hoe de toekomst van ons klimaat er uit zal zien (Enserink & Kwakkel 2010).

2.5 Invloed van het klimaat op organismen in de Noordzee

2.5.1 Algemeen

In paragraaf 2.5 nemen we een mechanistische benadering voor het beschrijven van de reactie van organismen op de verandering in het klimaat. Hierbij wordt gebruik gemaakt van specifieke voorbeelden, zoveel mogelijk op de Noordzee gericht, die deze reactie onderbouwen. In veel gevallen is het lastig om de effecten van verschillende klimaatfactoren en andere (antropogene) effecten te onderscheiden. Juist dit probleem met het scheiden van de effecten, is de reden dat we voor de mechanistische benadering hebben gekozen. Op basis van deze benadering alleen kan dus niet bepaald worden hoe het systeem er in de toekomst uit zal zien. Dit kan alleen gedaan worden op

basis van een combinatie van de drivers. De meeste voorbeelden en voorspellingen die hier worden gebruikt geven uitsluitend weer hoe het zou gaan als klimaat de enige driver zou zijn.

Effecten van klimaat op organismen kunnen direct of indirect zijn. Onder directe effecten wordt bijvoorbeeld verstaan dat door opwarming van het water gebieden te warm worden om nog te verblijven. Terwijl onder indirecte effecten, die effecten worden verstaan die via verschillende schakels uitwerking hebben. Bijvoorbeeld effecten van klimaat op het voedsel of juist op de predatoren. In eerste instantie zullen directe effecten worden beschreven, in het tweede deel zullen indirecte effecten beschreven worden.

Deze paragraaf richt zich op de invloed van de stijging van temperatuur, aangezien hier de duidelijkste gevolgen van zijn beschreven, maar ook omdat dit als duidelijkste verandering voortkomt uit de klimaatscenario's. Zoals we in paragraaf 2.2 hebben beschreven zijn de onzekerheden rondom wind en stroming, rivieruitstroom en saliniteit, verzuring etc. veel groter dan voor temperatuur. Voorspellingen van temperatuur op een relatief korte termijn zijn al speculatief, die voor de andere aspecten zijn nog speculatiever.

2.5.2 Organismen en hun omgeving

Organismen zijn geëvolueerd binnen een bepaalde omgeving en zijn daardoor aan deze omgeving aangepast. Sommige zijn aangepast aan zeer specifieke omstandigheden terwijl andere kunnen overleven en floreren binnen een grote range aan verschillende omstandigheden. De omstandigheden creëren grenzen, geografische en temporele, waarbinnen de organismen zich kunnen bevinden. De grenzen kunnen veroorzaakt worden door fysiologische processen (paragraaf 2.5.3) maar ook door fysieke grenzen, zoals bijvoorbeeld het nodig hebben van bepaald substraat (meer in paragraaf 2.5.4). De grenzen sluiten niet uit dat organismen zich langzaam zouden kunnen aanpassen aan andere omstandigheden. Het gevaar van de voorspelde klimaatveranderingen is dat dit zo snel gaat dat vele organismen zich niet snel genoeg aan de veranderingen en daarmee gepaard gaande opschuiving van grenzen zullen kunnen aanpassen.

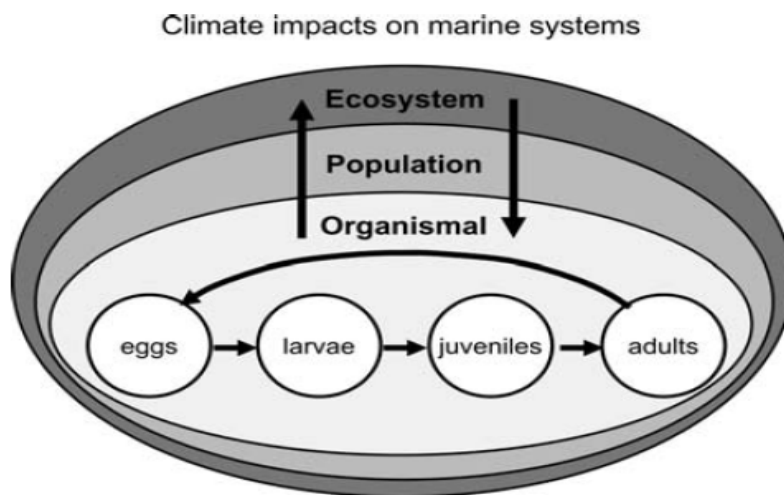
Het is te verwachten dat organismen die binnen een grote range van verschillende omstandigheden kunnen leven veel minder snel last krijgen van veranderingen dan organismen die maar binnen een beperkt milieu kunnen leven. Hetzelfde geldt voor individuen of populaties die voorkomen dichtbij hun grenzen.

Verder is er nog een verschil in hoe organismen kunnen reageren op veranderingen. Korte 'extreme' omstandigheden (extreem warme zomers) kunnen overleefd worden door voor deze omstandigheden te vluchten naar andere gebieden of dieper het sediment in, dit is alleen mogelijk voor mobiele organismen. Andere manieren zijn het overgaan in een soort van rusttoestand, vooral micro-organismen kunnen op deze manier extreme omstandigheden overleven. Immobiele of beperkt mobiele organismen moeten proberen de omstandigheden te overleven en te acclimatiseren. Hierdoor is het te verwachten dat mobiele organismen minder snel last zullen krijgen van veranderingen dan sessiele organismen.

Bij verandering over langere tijd (voorspellingen van de toename in gemiddelde temperatuur), is het meer van belang of de juiste condities beschikbaar blijven zodat deze gevolgd kunnen worden. Sessiele organismen kunnen zich hieraan wel aanpassen doordat veel van deze organismen vrij-levende eieren en/of larven hebben die zich over veel grotere afstand kunnen verplaatsen. In de nieuwe gebieden moeten wel alle benodigde omstandigheden aanwezig zijn voor de verschillende levensstadia.

Zelfs organismen die binnen een beperkt milieu leven, kunnen toch aanzienlijke veranderingen doorstaan, bijvoorbeeld de veranderingen tussen seizoenen. In de winter leven veel organismen bij (veel) koudere temperaturen dan tijdens de zomer. Ze passen echter hun gedrag aan de omstandigheden aan. Bepaalde temperaturen zijn bijvoorbeeld nodig om te groeien tijdens de zomer. Hiervoor moet dan wel meer voedsel beschikbaar zijn. Terwijl tijdens de winter bij koudere temperaturen er een rust kan worden ingelast waardoor veel minder voedsel nodig is. Een warme winter kan bijvoorbeeld ervoor zorgen dat organismen, door een verhoogd metabolisme, de winter niet overleven door voedseltekort, terwijl dezelfde temperaturen in de zomer geen probleem opleveren.

Bij veel mariene organismen stellen verschillende levensstadia verschillende eisen aan hun milieu. Veranderingen die geen probleem opleveren voor volwassen organismen kunnen zorgen dat hun juvenielen niet meer opgroeien. De grenzen voor de volwassenen zijn dan nog niet bereikt, maar als dit voor een langere periode zo blijft zorgt het er waarschijnlijk voor dat de populatie of zelfs de soort zal verdwijnen. Veranderingen in windpatronen tijdens het transport van eieren en larven kunnen bijvoorbeeld problemen opleveren omdat de larven dan op verkeerde plaats uitkomen, terwijl veranderingen in wind een paar weken later geen gevolgen hebben omdat de larven dan al in de juiste gebieden zijn aangekomen en de wind geen invloed heeft op de juveniele of volwassenen. De timing en locatie van verandering is bepalend voor de effecten van de veranderingen (Figuur 24).



Figuur 24. Klimateffecten spelen een rol op alle niveaus van het mariene systeem (Rijnsdorp et al. 2009)

De effecten van veranderingen kunnen op het organismeniveau anders uitpakken dan op het populatie- of soortniveau. Een temperatuurstijging kan er bijvoorbeeld voor zorgen dat individuen in een beperkte kuststrook of baai te maken krijgen met te hoge temperaturen, maar dat de populatie het beter doet omdat een groot gebied dat eerst te koud was nu beschikbaar komt voor de populatie.

Dit alles levert complexe situaties op waarbij de verwachte gevolgen van veranderingen helemaal niet zo hoeven uit te pakken, terwijl volledig onverwachte reacties grote gevolgen kunnen hebben. Deze laatste kunnen al optreden bij minimale verandering en vervolgens een cascade van andere processen beïnvloeden. Zo'n 'tipping point' kan leiden tot een geheel veranderd systeem, of wel een verandering van regime, 'regime shift' (paragraaf 4.4.6).

2.5.3 Fysiologie

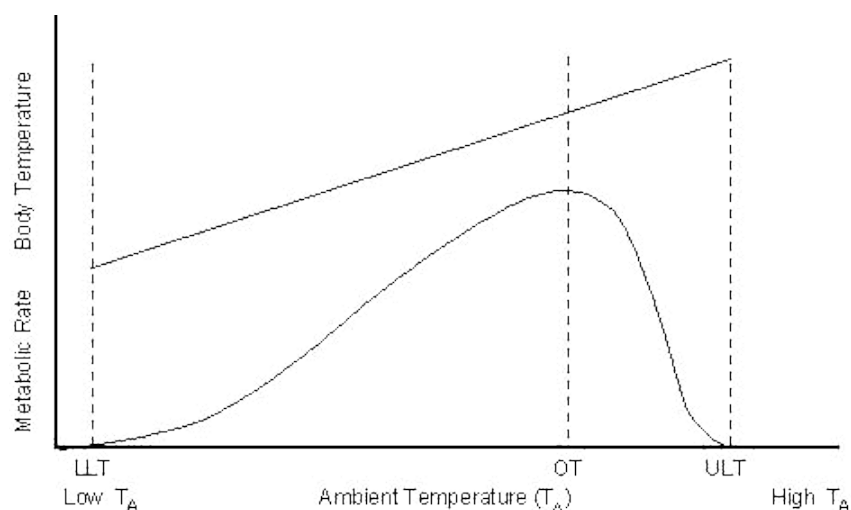
De fysiologische eigenschappen van een organisme bepalen voor een groot gedeelte of een organisme ergens kan voorkomen. In het kader van klimaatverandering zijn met name de fysiologische reacties van belang die beïnvloed worden door temperatuur, zuurstof en zuurgraad. Als grenzen worden bereikt, levert dit in eerste instantie stress op en zal het leiden tot een afname in conditie. De hoogte van de overschrijding van de grenzen als mede de duur van de overschrijding bepaalt de gevolgen en dit kan uiteindelijk lethaal zijn.

Temperatuur

De meeste organismen hebben een range aan temperaturen waarbinnen zij kunnen functioneren en waarbinnen de chemische processen in hun lichaam functioneren. De manier waarop de lichaamstemperatuur gecontroleerd wordt om aan deze eisen te voldoen verschilt. Vogels en zeezoogdieren zijn endotherm en kunnen hun eigen lichaamstemperatuur controleren terwijl de andere organismen poikilotherm zijn, wat betekent dat hun lichaamstemperatuur min of meer gelijk is aan de omgevings-temperatuur. De eerste groep kan vaak een grote range aan temperaturen aan omdat de interne temperatuur min of meer gelijk blijft, deze thermoregulatie kost veel meer energie waarvoor in vergelijking meer voedsel nodig is. Voor deze groep is het onwaarschijnlijk dat veranderingen in temperatuur (in de range zoals voorspeld) direct invloed hebben, indirect via voedsel is wel mogelijk (MacLeod 2009).

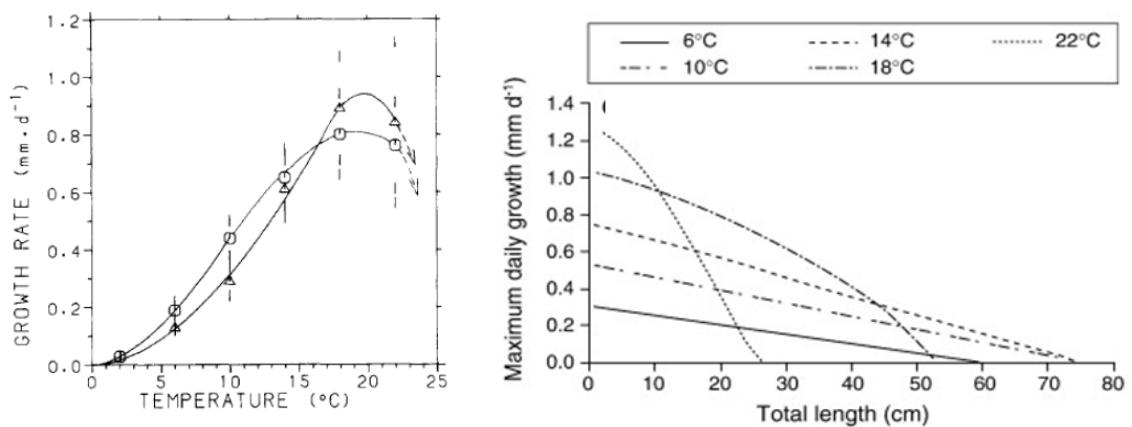
Op de tweede groep, de poikilothermen, heeft temperatuur een direct effect. Bij een verandering in omgevingstemperatuur verandert de interne temperatuur en de door temperatuur gecontroleerde processen. Als de temperatuur hoger wordt, gaan interne processen sneller verlopen totdat een optimum wordt bereikt; na dit optimum nemen de processen snel af. De responsecurve voor temperatuur is asymmetrisch, de afname na het optimum is sneller dan de toename naar het optimum (Figuur 25). De exacte vorm van de figuur en de plaatsing ten opzichte van de omgevingstemperatuur verschilt per organisme (levensstadium en activiteit). In de meeste gevallen is de natuurlijke verspreiding van organismen rondom hun optimumtemperatuur.

Dit betekent dat als de temperatuur toeneemt dit voordelig kan zijn voor de soorten waarvoor de Noordzeetemperatuur onder hun optimum ligt, terwijl het nadelig of zelfs lethaal kan zijn voor soorten waarvoor de omgevingstemperatuur nu al op of boven het optimum ligt.

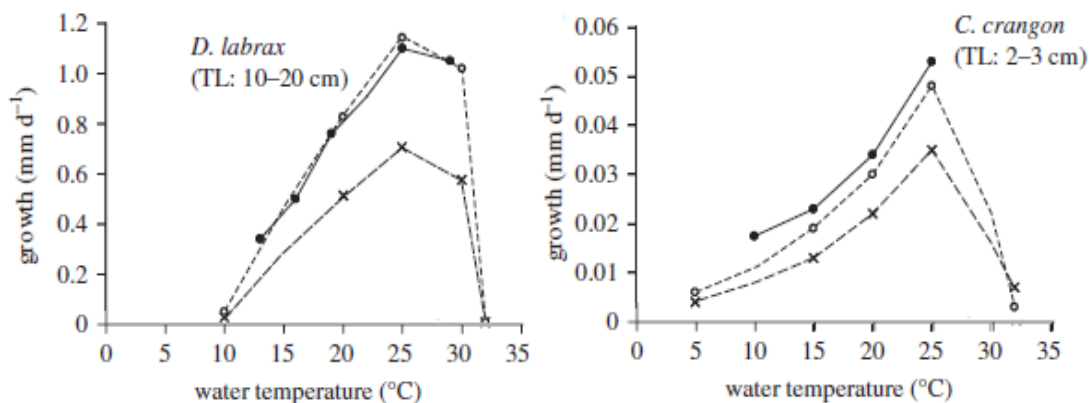


Figuur 25. Lichaamstemperatuur en metabolisme versus de omgevingstemperatuur. LLT= lage letale temperatuur, OT = optimum temperatuur en ULT= hoge letale temperatuur

Als de andere omgevingsfactoren optimaal zijn en de temperatuur stijgt naar de optimumtemperatuur van het organisme, betekent dit dat de interne processen beter gaan verlopen. Dit zorgt voor een verhoogde individuele en populatiegroeisnelheid, maar ook voor een hoger metabolisme en dus een hogere voedselbehoefte. Voor twee in de Noordzee voorkomende platvissoorten zien de groeicurves eruit als in Figuur 26a (Fonds *et al.* 1992). De optimumtemperatuur van beide soorten ligt rondom de 20°C, een temperatuur die in de zomer (tijdens het groeiseizoen van deze soorten) bereikt wordt. In de laatste jaren zijn in de zomer in de kustzone de temperaturen hoger geweest dan de optimumtemperatuur. Dit optimum wordt zelfs nog eerder bereikt voor grotere schol (en bot) zoals te zien is in Figuur 26b (extrapolaties op basis van gewichtsrelaties van kleinere vissen). Grote schollen groeien sowieso al langzamer, maar bij hogere temperaturen (>18°C) groeien de grotere schollen helemaal niet meer en komt de temperatuur dichtbij de hoge letale temperatuur (ULT) zoals weer gegeven in Figuur 25. Daarentegen liggen deze hogere temperaturen dicht bij de optimumtemperatuur van een soort als zeebaars (*Dicentrarchus labrax*) en garnaal (*Crangon crangon*) (Figuur 27)(Freitas *et al.* 2010).

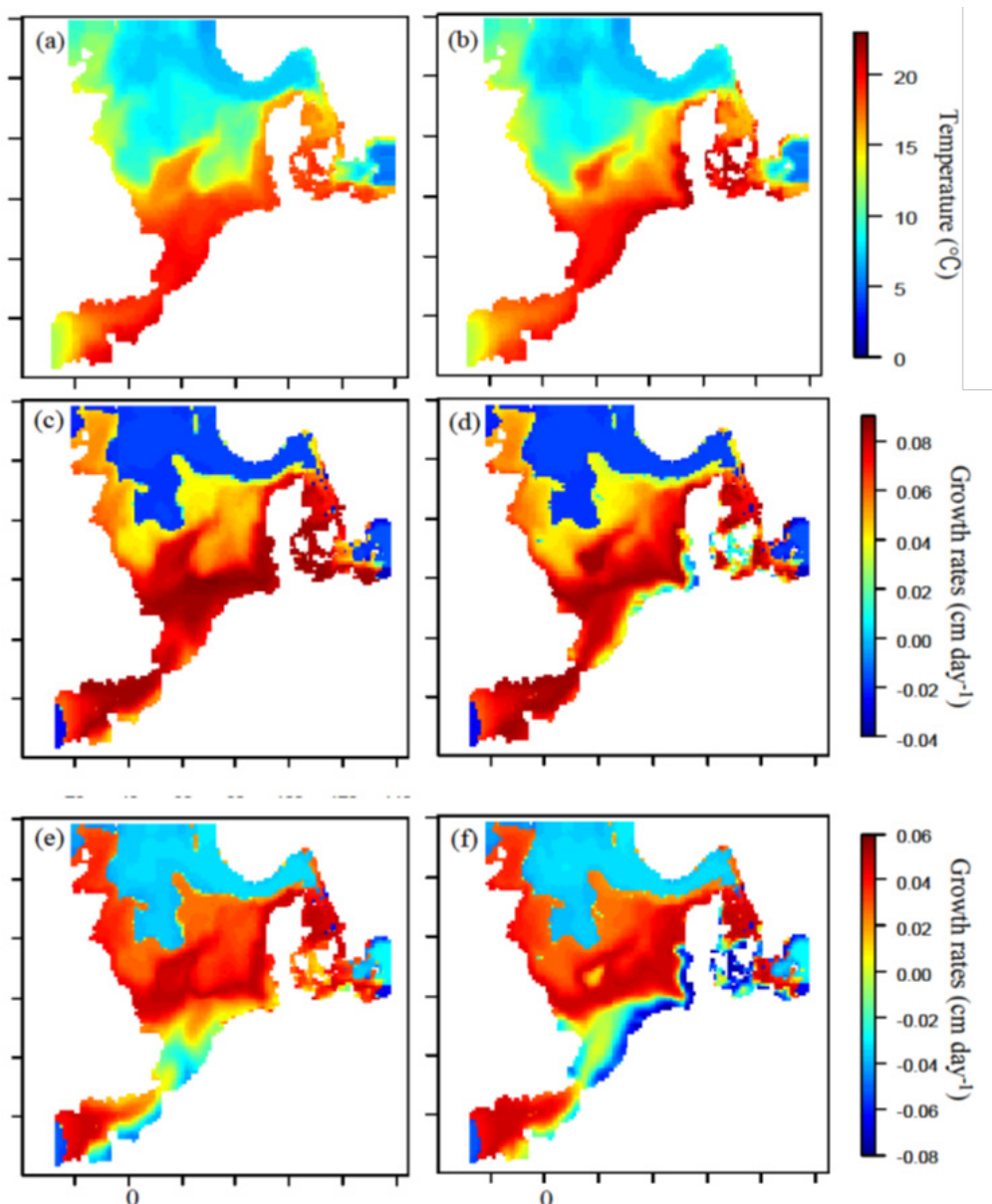


Figuur 26. (a; links) Groeicurve van 0-groep schol (*Pleuronectes platessa*, cirkel) en bot (*Platichthys flesus*, driehoek) bij optimale voedselcondities (Fonds *et al.* 1992). (b; rechts) maximum groei van schol op een bepaalde lengte bij verschillende temperaturen (van der Veer *et al.* 2009)



Figuur 27. Groeicurve van (a; links) zeebaars (*D. labrax*) en (b; rechts) garnaal (*C. crangon*). Dichte punten met continue lijn zijn observaties in het lab; open punten met stippellijn zijn de Dynamic Energy Budget (DEB) gemodelleerde groeisnelheden voor vrouwtjes; kruisjes met stippellijn voor mannetjes (Freitas *et al.* 2010)

In augustus 2002 kwam de temperatuur langs de Nederlandse kust (Figuur 28) boven de optimum groeitemperatuur van schol van 20 cm lengte (Figuur 26b) waardoor de Nederlandse kustzone geen optimaal gebied meer was. Voor 40 cm lange schol is te zien dat de temperatuur in een groot deel van de zuidelijke Noordzee boven de optimum groei temperatuur ligt (Teal *et al.* 2010). Dit zijn resultaten op basis van gemodelleerde temperaturen (ERSEM model) en gemodelleerde groeisnelheden gebaseerd op de relaties in Figuur 26. De functie van de Waddenzee als opgroeigebied voor haring en schol komt door een toename van temperatuur ook onder druk te staan. Om deze functie te vervullen mogen de temperaturen niet veel verder stijgen dan iets boven de 20°C. Bij hogere temperaturen zullen garnalen, krabben en grondels gaan domineren wat recentelijk is waargenomen (H. W. van der Veer & J. IJ. Witte 2009, ongepubliceerde data, in Freitas *et al.* 2010).

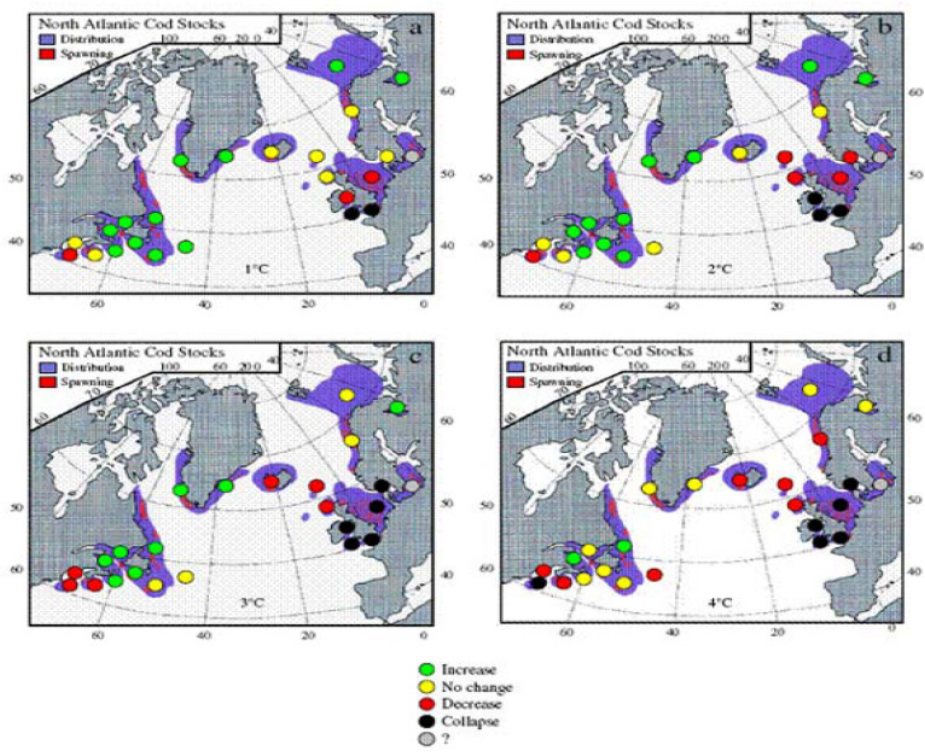


Figuur 28. (a+b) Temperatuur in augustus 1989 en 2002. (c+d) groeisnelheid van schol van 20 cm bij deze temperaturen; (e+f) groeisnelheid van schol van 40 cm (Teal *et al.* 2010). Gebaseerd op gemodelleerde temperaturen en groeisnelheden

Optimale groei kan alleen bereikt worden als andere omstandigheden ook optimaal zijn. Dit zal niet snel het geval zijn, zo kan voedsel bijvoorbeeld een beperking opleveren voor groei. Bij een hoger metabolisme en een hogere groeisnelheid is meer voedsel nodig, en bij 0-groep schol lijkt het er op dat op het einde van het groeiseizoen (als de temperaturen rond het optimum liggen) het voedsel beperkend wordt (Teal *et al.* 2008).

Op lagere trofische niveaus heeft een verhoogde temperatuur een vergelijkbaar effect. Ook het metabolisme van fytoplankton zal stijgen bij hogere temperaturen resulterend in hogere mineralisatie en mogelijk in hogere productie (Richardson & Schoeman 2004). Dit zal tot op zeker hoogte versterkt worden door versterkte stratificatie, veroorzaakt door de stijgende temperatuur. Net als bij vissen zullen andere factoren (die niet veranderen of anders veranderen door het klimaat) beperkend gaan worden. Voor fytoplankton zijn dit in de eerste plaats de nutriënten, die ook nu al beperkend zijn (zie paragraaf 2.2.6), maar ook licht (paragraaf 4.4.3).

Niet alleen lengtegroei en productie, maar ook de ontwikkeling van organismen verloopt sneller rond hun optimale temperatuur. Laboratoriumexperimenten met kabeljauw (*Gadus morhua*) larven laten zien dat hogere temperaturen (tot 7°C, kabeljauw paait in de wintermaanden) leiden tot snellere ontwikkeling (Pepin 1991). Als de watertemperatuur in de winter boven de 7°C blijft zullen kabeljauweieren niet ontwikkelen. Ook volwassen kabeljauw gedijt niet goed bij hoge temperaturen, waardoor er voor kabeljauw een somber beeld wordt geschilderd. De huidige temperaturen in de Noordzee liggen al boven het optimum, de optimum groei lijkt rond de 8,5°C te liggen. Verdere verhoging van de Noordzee temperatuur zorgt dus niet voor verbeterde groei (Clark *et al.* 2003a) en als de jaartemperaturen gemiddeld boven de 12°C komen te liggen is het waarschijnlijk dat kabeljauw alleen al vanwege de temperatuur uit de Noordzee verdwijnt (Figuur 29) (Drinkwater 2005). Dit kan versneld worden door de druk van visserij op het bestand.



Figuur 29. Verwachte verandering in de abundantie van kabeljauwpopulaties bij een stijging van (a) 1°C, (b) 2°C, (c) 3°C, en (d) 4°C boven het niveau van begin 2000 (Drinkwater 2005). Gebaseerd op uitsluitend temperatuurrelaties

Dat eieren en larven sneller ontwikkelen bij hogere temperaturen is voor veel meer soorten waargenomen, enkele voorbeelden uit de Noordzee zijn o.a. schelvis (*Melanogrammus aeglefinus*) (Martell *et al.* 2006), strandkrab (*Carcinus maenas*) (Dawirs 1985). Maar ook de ontwikkeling van oudere individuen gaat sneller. De hogere groeisnelheid gaat gepaard met een snellere ontwikkeling naar geslachtsrijpheid (Rijnsdorp 1993), waardoor deze sneller bijdragen aan de aanwas van de populatie. Door de verhoogde groeisnelheid worden ze sneller vangbaar voor de visserij, waardoor ze uiteindelijk alsnog niet kunnen deelnemen aan de voortplanting en dus niet bijdragen aan de groei van de populatie.

Temperatuursveranderingen hebben een directe invloed op de sterfte, groei en ontwikkeling van de meeste organismen. Het hangt sterk af van de hoogte van de huidige Noordzeetemperatuur ten opzichte van de optimumtemperatuur van het organisme. Als de temperatuur nu onder het optimum ligt, zal de primaire reactie op temperatuur zijn dat ze sneller groeien en ontwikkelen en andersom. Als de temperatuur over het optimum gaat, komt een organisme sneller in de problemen. Hoe de uiteindelijke uitwerking van verhoogde temperatuur uitpakt wordt mede bepaald door andere factoren.

Zuurstof

Bij een gebrek aan zuurstof kunnen alleen een beperkte groep anaerobe organismen (bijna uitsluitend archaea en bacteriën) functioneren. Zones waar (tijdelijk) weinig tot geen zuurstof aanwezig is, zijn waargenomen in het Kattegat en ook de Duitse Bocht (Aarup 1994). Onder hogere temperaturen kan water minder zuurstof bevatten waardoor bij stijgende temperaturen deze zones kunnen uitbreiden. Ook versterkte of verlengde stratificatie kan zorgen voor zuurstofarme zones, omdat het water op de bodem niet meer mixt met het zuurstofrijkere water aan het oppervlak. Daarnaast zakt organisch materiaal uit de bovenste lagen naar de bodem waarbij de mineralisatie zuurstof verbruikt.

Maar ook als er zuurstof aanwezig is, zijn er verschillen tussen organismen. Sommige kunnen voor langere tijd zonder nieuwe toevoer van zuurstof, terwijl andere continue zuurstof toevoer nodig hebben (bijvoorbeeld verschil tussen zeezoogdieren die voor lange tijd onder water op zoek zijn naar voedsel en de mens die maar een zeer korte tijd onder water kan blijven). Daarnaast hebben grotere organismen over het algemeen hogere zuurstofconcentraties nodig dan kleinere, zelfs van dezelfde soort. Onder warmere omstandigheden hebben de meeste organismen meer zuurstof nodig door de eerder beschreven toename in metabolische activiteit terwijl door de hogere temperatuur er per definitie minder zuurstof in het water kan zijn opgelost. Een voorbeeld van de gevolgen blijkt uit onderzoek aan de puitaal (*Zoarces viviparus*) in de Waddenzee (Pörtner & Knust 2007). De combinatie van hogere temperaturen 20-21°C, daardoor lagere zuurstof concentraties en hogere zuurstof behoefte, bleken lethaal te zijn voor grotere puitalen in de Waddenzee in 1997.

Zuurgraad

De effecten van verandering in zuurgraad zijn vooral gerelateerd aan de vorming van kalkhoudende onderdelen. Door een verlaging in pH wordt het proces om kalkhoudende onderdelen (schelpen, botten) te vormen bemoeilijkt, of kunnen schelpen zelfs oplossen. Er is nog onduidelijkheid over de snelheid waarmee de verzuring optreedt, en of organismen inderdaad problemen gaan ondervinden en bij welke concentraties er problemen kunnen optreden. De precieze pH waarop dit problematisch wordt is nog onduidelijk en de laatste tijd zijn er vele onderzoeken gestart naar de mogelijke gevolgen van de verlaging van de pH.

Specifieke voorbeelden van de gevolgen van pH verlaging in de Noordzee zijn er naar ons weten nog niet gevonden. De informatie is vooral afkomstig van experimenten

waarbij de pH snel verlaagd wordt, terwijl in het veld de verandering plaatsvinden over een tijdsbestek van decennia, waardoor soorten zich zouden kunnen aanpassen (Hendriks *et al.* 2010). Effecten van verzuring zijn bijvoorbeeld aangetoond voor mossel (*Mytilus edulis*) larven die voorkomen in de Noordzee. Bij een verlaging van de pH van ~8,1 naar ~7,8 bleven de mosselen 6% kleiner en werden de schelpen 12% minder dik (Gazeau *et al.* 2010). Andere onderzoeken in het lab laten zien dat met realistische verlagingen van pH er verschillende waarneembare effecten op organismen optreden (Fabry *et al.* 2008, Small *et al.* 2010, Gangstø *et al.* 2011).

Niet alleen voor de vorming van kalkhoudende structuren maar ook voor het gedrag zou de verlaging van pH gevolgen kunnen hebben. Zo zouden vislarven van de clownsvijl van de Noordzee bij een verlaagde pH niet meer in staat zijn om predatoren te ruiken en daardoor de predatoren niet meer vermijden (Munday *et al.* 2010). Maar ook zijn er onderzoeken die lieten zien dat er geen effect was van verlaging van de pH, bijvoorbeeld op het sperma van kabeljauw (Frommel *et al.* 2010).

Een ander punt is dat in sommige gebieden de pH aanzienlijk fluctueert per dag (enkele hele punten) doordat algen of zeegrassen CO₂ opnemen tijdens fotosynthese en 's nachts weer CO₂ uitscheiden (Invers *et al.* 1997), terwijl in deze gebieden kalkbindende organismen gewoon functioneren. In de Oosterschelde waar de mossel groeit fluctueert de oppervlakte pH over het seizoen bijvoorbeeld tussen de 8,0 en 8,2 (Gazeau *et al.* 2010).

Het is onduidelijk wanneer er welke effecten optreden als gevolg van de verzuring. Een recente meta-analyse van verandering in zuurgraad in oceaanwater concludeert dat de effecten verschillen tussen soorten en dat de omvang van de effecten klein is (Hendriks *et al.* 2010). Als reactie op deze meta-analyse volgde commentaar dat het voor specifieke soorten of nog belangrijker levensstadia (de bottleneck) toch een wezenlijk effect kan hebben met gevolgen voor de populatie en daarmee het ecosysteem (Dupont *et al.* 2010). Dit is een duidelijk voorbeeld van de discussie die gaande is over de ernst en mogelijke gevolgen van veranderingen in het algemeen en specifiek van de zuurgraad.

Als deze veranderingen al optreden dan ziet het er niet naar uit dat er binnen de termijn waarover deze Natuurverkenning gaat al kritische grenzen in verzuring bereikt zullen worden.

2.5.4 Verspreiding

In 2008 is er een grote meta-analyse aan de verspreiding van mariene soorten in de Europese wateren uitgevoerd (Tasker 2008) die voor de meeste gebieden aan klimaatverandering gerelateerd veranderingen in verspreiding laat zien. Voor de Noordzee werd voor alle groepen (behalve zeezoogdieren) de verwachte verandering in verspreiding gevonden (Figuur 30). Dit betekent echter niet dat klimaat ook echt de driver achter deze verandering is.

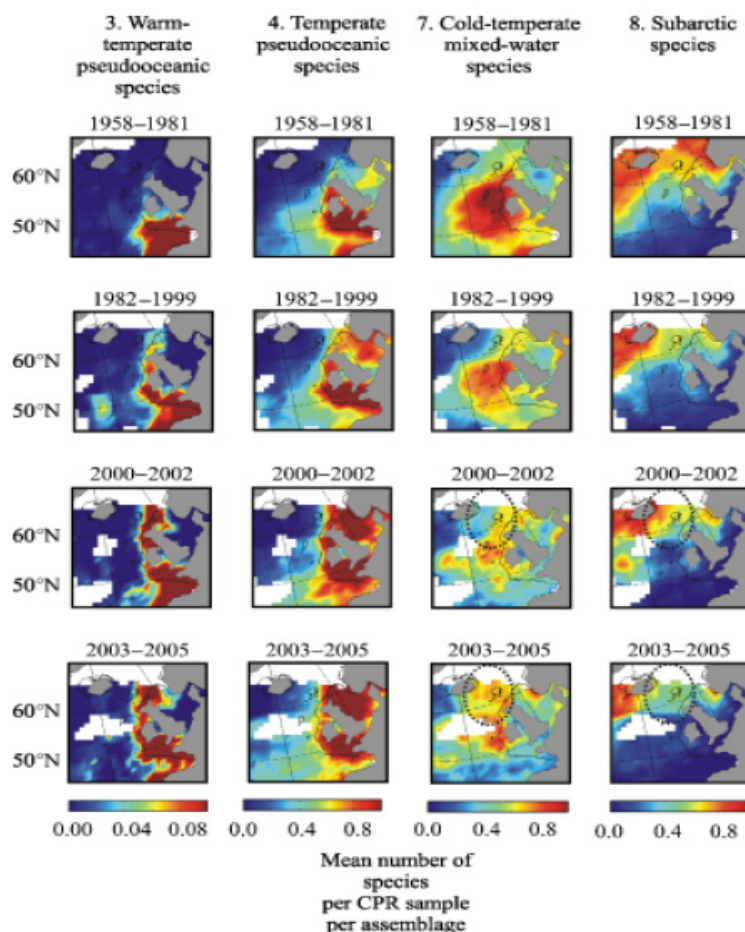
OSPAR region	Zooplankton			Benthos		Fish		Seabirds Distribution and abundance	Total	Change in expected direction (%)
	Distribution	Abundance	Other	Distribution	Abundance	Distribution	Abundance			
II	3	9	61	40	32	42	15	10	212	77%

Figuur 30. Het aantal gevallen waarin een verandering in verspreiding, abundantie of andere kenmerken (zoals seizoensgebonden) is gevonden in OSPAR regio II: de Noordzee. Kleuring: rood >75% was in lijn met de voorspelling op basis van klimaatverandering, geel 50-75% en blauw <50%

De voorspelling op basis van de klimaatverandering is dat soorten hun optimale habitat volgen als deze verandert (Röckmann *et al.* 2011). Over het algemeen zouden soorten als het warmer wordt naar het noorden moeten verplaatsen. Dit betekent dat zuidelijke (Lusitanian) en Atlantische soorten de Noordzee in komen en Boreale soorten zich naar het noorden of uit de Noordzee zouden verplaatsen (Engelhard *et al.* 2011).

Voor zoöplanktonsoorten is het bijvoorbeeld zichtbaar dat warmere soorten de Noordzee in zijn gekomen of zijn toegenomen en dat vooral de subarctische soorten zijn afgenomen (Figuur 31). Ook voor vissen in de Noordzee is deze verwachte verandering gevonden (Perry *et al.* 2005, Cheung *et al.* 2009). De verandering in verspreiding in de Noordzee is echter niet zo rechttoe rechtaan. Dit komt onder andere door de dieptegradiënt, de instroom van warm water vanuit het noorden en het verschil in ruimtelijke verspreiding van temperatuur tussen de seizoenen.

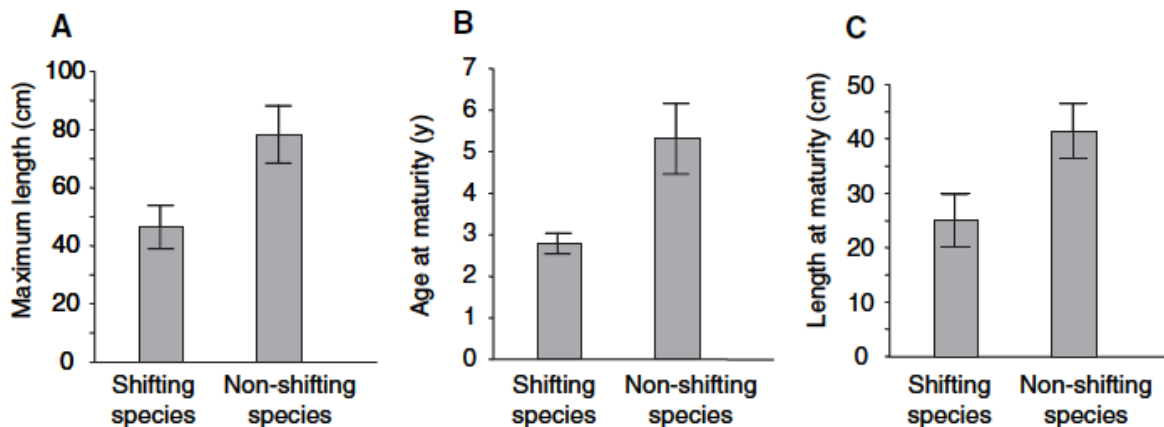
De dieptegradiënt loopt van de kust naar het midden van de Noordzee, terwijl het Doggersbankgebied in het midden van de Noordzee weer ondiep is. Het diepere water is kouder, waardoor soorten meer naar het midden van de Noordzee verspreiden dan uitsluitend naar het noorden. Deze verspreiding naar dieper water is ook gevonden voor een grote groep vissoorten (Van Keeken *et al.* 2007, Dulvy *et al.* 2008). Visserij of veranderingen in het voedselweb kunnen in veel van deze voorbeelden niet worden uitgesloten als sturend of versterkend effect.



Figuur 31. Gemiddeld aantal soorten per Continuous Plankton recorder (CPR) monster, waarbij de soorten zijn verdeeld over biogeografische gemeenschappen (Beaugrand *et al.* 2009)

Dat het meeste (en ook nog warmer) water uit het noorden de Noordzee in stroomt, heeft tot gevolg dat nieuwe soorten zich via het noorden in de Noordzee vestigen en vervolgens naar het zuiden verspreiden. Dit is te zien in Figuur 31, waar het gematigde (temperate) zoöplankton zich vanuit het noorden van de Noordzee lijkt uit te breiden. De seizoendynamiek in temperatuur zorgt dat de kustgebieden in de zomer het warmst zijn, terwijl dezelfde gebieden in de winter het koudst zijn. Een van de suggesties waarom tong (*Solea solea*) naar het zuidoosten lijkt te verplaatsen en niet voldoet aan het algemene beeld (Dulvey *et al.* 2008), is dat de kustgebieden in de winter te koud waren. Nu de winters in het algemeen minder koud zijn, zou tong in de winter ook in deze gebieden kunnen verblijven waardoor ze een meer zuidoostelijke en ondiepere verspreiding hebben gekregen (Dulvy *et al.* 2008). Een andere suggestie is dat het verspreidingsgebied zuidelijker is geworden omdat de monding van de Theems schoner is geworden (Perry *et al.* 2005).

De soorten die naar het noorden verplaatsen hebben een snellere levenscyclus en kleinere lichaamsgrote dan soorten die zich niet hebben verplaatst (Perry *et al.* 2005). Het algemene beeld is dat kortlevende soorten die vroegrijp zijn en een grote reproductiesnelheid hebben (r-strategen) (paragraaf 4.4.1) zich sneller verplaatsen dan K-strategen, met een lange levensduur, een late geslachtsrijpheid en lage reproductiesnelheid (Figuur 32). Verstoringen zoals klimaat maar ook visserij, zorgen ervoor dat R-strategen een voordeel hebben boven K-strategen (Ramirez-Llodra 2002). Doordat de verstoring door visserij een vergelijkbaar effect kan hebben als de verstoring door klimaat is het ook hier lastig om de effecten van klimaat en visserij te scheiden. Visserij zou door het wegvangen van grote vis namelijk de predatiedruk op de kleinere soorten verlagen waardoor deze kunnen toenemen. Dit kan echter niet de snelle noordelijke verplaatsing van enkele kleine platvissoorten verklaren, die meteen na de warme winter in 1989 toenemen in het Duitse Bocht gebied en zelfs noordelijker, en na de koude winter in 1996 weer waren verdwenen, om vervolgens in de later warmere jaren weer toe te nemen (Van Hal *et al.* 2010).

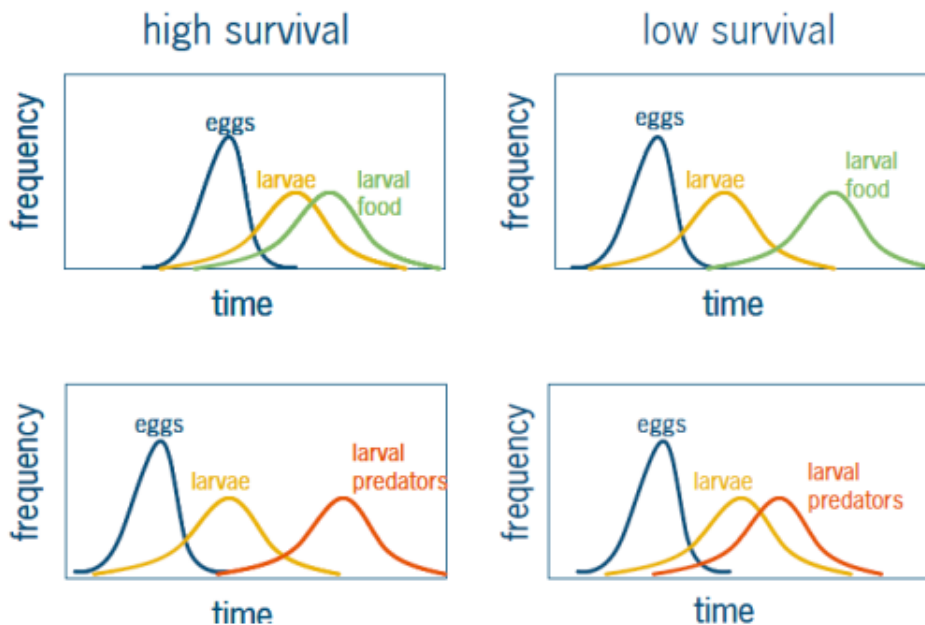


Figuur 32. Verschil in levenscyclus tussen soorten die naar het noorden zijn gegaan ($n=15$) en soorten waarvan de verspreiding niet veranderd is ($n=21$). (a) maximale lengte, (b) geslachtsrijpe leeftijd, (c) lengte bij geslachtsrijpheid (Perry *et al.* 2005)

2.5.5 Temporele en ruimtelijke synchronisatie

Een lastig te onderzoeken, maar belangrijk punt in de relatie tussen klimaatverandering en het succes van soorten is het tijdstip waarop fenologische processen in de jaarcyclus van mariene organismen plaatsvinden. Als het moment van paaien bepaald wordt door de temperatuur in de periode ervoor dan betekent dit dat er vroeger in het seizoen gepaaid zal worden als het warmer wordt (Teal *et al.* 2008) en dat de ontwikkeling van

de eieren/larven ook sneller plaatsvindt. Alle andere belangrijke omgevingsvariabelen moeten op dat moment wel vergelijkbaar zijn. Als de wind en de stroming op dat moment anders is, aangezien die niet (op dezelfde manier) beïnvloed wordt door temperatuur kan het zijn dat de eieren of larven op een verkeerde plek uitkomen (Bolle *et al.* 2009).



Figuur 33. De match-mismatch hypothese volgens (Cushing 1990) uit (Tulp *et al.* 2006). De overlap zoals links weer gegeven zorgt voor hoge overleving, terwijl de overlap zoals rechts weer gegeven zorgt voor een lage overleving

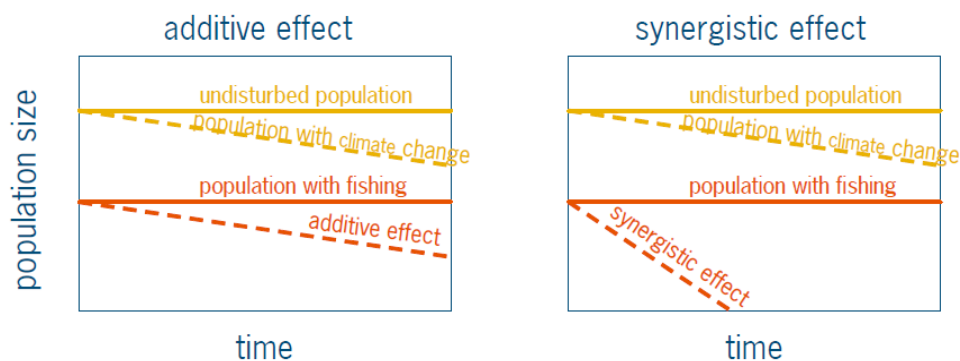
Als de eieren eerder in het seizoen uitkomen, hebben de larven ook eerder in het seizoen voedsel nodig. Voedsel, zoals zoöplankton is weer afhankelijk van de aanwezigheid van hun voedsel, fytoplankton. Deze worden qua timing meer gecontroleerd door de daglengte, hoeveelheid beschikbaar licht, dan door de temperatuur. De ontwikkeling van fytoplankton en daardoor zoöplankton zal daardoor niet eerder in het seizoen gebeuren, waardoor de larven te vroeg zijn en er geen eten beschikbaar is (Figuur 33). Het eerder paaien en sneller ontwikkelen hoeft dus niet te resulteren in een positief effect, omdat de larven nu langzamer ontwikkelen door gebrek aan voedsel of zelfs verhongeren. Een voorbeeld hiervoor is de afhankelijkheid van kabeljauwlarven van de timing van hun voedsel, de temperatuurstijging halverwege de jaren tachtig heeft het planktonstelsel zo veranderd dat de overleving van kabeljauwlarven is afgenomen (Beaugrand *et al.* 2003).

De predatoren van de larven kunnen op dezelfde manier beïnvloed worden door temperatuur en op hetzelfde moment aanwezig zijn als de larven en juvenielen, maar het is waarschijnlijk dat de beïnvloeding van klimaat niet exact op dezelfde manier werkt voor alle organismen. Bij een snellere ontwikkeling onder hogere temperaturen, komen vissen eerder beschikbaar voor hun grootste predator de visserij. Dit kan al in het jaar voordat ze paaien, waardoor ze een grotere kans lopen weggevangen te worden voordat ze bijdragen aan de voortplanting.

2.5.6 Klimaateffecten versterkt

Zoals blijkt uit de hierboven beschreven paragrafen, is er geen eenduidige manier waarop de veranderingen in klimaat gevolgen heeft voor mariene organismen. Dit kan voor sommige positief uitpakken terwijl het voor andere negatief uitpakt. Het kan er ook voor zorgen dat organismen onder stress komen te staan en daardoor vatbaarder zijn voor andere invloeden. Andersom kan het ook zijn dat ze kwetsbaarder zijn voor veranderingen in klimaat omdat ze al onder stress staan door andere invloeden, waardoor de twee factoren elkaar versterken (Figuur 34). Kabeljauw, waarvan de populatie al laag is door bevissing, is bijvoorbeeld veel kwetsbaarder voor een stijging in temperatuur dan wanneer de populatie op een gezond niveau zou zijn geweest (Drinkwater *et al.* 2003).

Niet alleen is het lastig om klimaateffecten afzonderlijk te bestuderen doordat ze niet van effecten van andere invloeden gescheiden kunnen worden, maar in sommige gevallen is het ook niet wenselijk om alleen het effect van klimaat te bekijken omdat het nog verder versterkt kan worden door andere invloeden. De cumulatieve effecten kunnen dus groter zijn dan de effecten afzonderlijk.



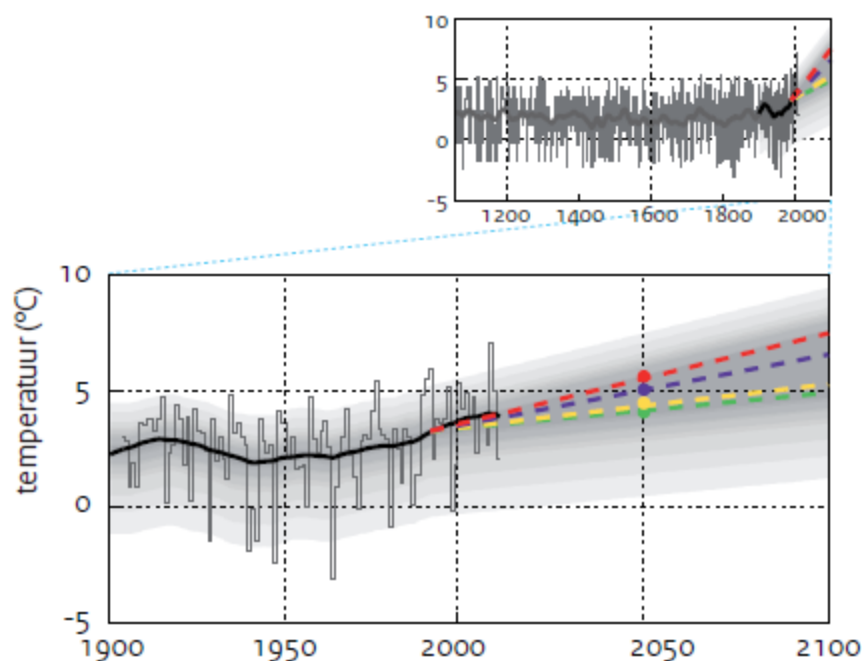
Figuur 34. Effect van twee negatieve factoren op een populatie, (links) beide factoren hebben een effect en verminderen de populatie, (rechts) beide factoren hebben hetzelfde negatieve effect, alleen versterken deze effecten elkaar (Tulp *et al.* 2006)

2.6 Toekomstvisie

2.6.1 Algemeen

Voor een toekomstvisie op de Noordzee onder invloed van klimaatverandering zou het goed zijn als exact voorspeld kan worden welke soorten toe- of af- gaan nemen, wat hun verspreiding zal zijn en in welke verhoudingen deze gaan voorkomen. Nu kan echter alleen voorspeld worden op basis van algemeenheden en gebruik makend van de hiervoor beschreven mechanismen. De mechanistische benadering beschrijft hoe klimaat het ecosysteem mede structureert. Hoe het systeem er daadwerkelijkheid zal gaan zien, hangt af van de snelheid en samenhang van veranderingen in de verschillende onderdelen van het klimaat (synergie en synchronisatie), maar ook van andere drivers, o.a. menselijke invloeden, en hoe deze zich in de toekomst zullen ontwikkelen.

Naast dat het lastig is om te voorspellen hoe de soorten exact gaan reageren, moet er ook de mogelijke verandering in het klimaat tot en met 2040 voorspeld worden. Aangezien het KNMI nog geen decenniumvoorspelling heeft gepubliceerd, moeten we deze voorspellingen doen op basis van de langere termijn verwachtingen voor 2050 of 2100, waarbij we al hebben aangegeven dat de scenario's geen voorspellingstools zijn, maar bedoeld zijn om onzekerheden te verkennen.



Figuur 35. Wintertemperatuur in De Bilt tussen het jaar 1900 en 2008, en de vier klimaatscenario's voor 2050 (Rood en Paars de W- en groen en geel de G-scenario's). De waarden voor 1900 zijn gebaseerd op een temperatuurreconstructie voor de 'Lage Landen'. De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde. De gekleurde gestippelde lijnen verbinden elk klimaatscenario met het basisjaar 1990. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variaties die zijn afgeleid uit de waarnemingen (Klein Tank & Lenderink, 2009)

De voorspellingen van de G/G+ scenario's (minst extreme) zijn dat temperaturen in 2050 tussen de 0,9 en 1,3°C hoger zullen liggen dan het gemiddelde tussen 1976 en 2005 waarmee de scenario's van het KNMI vergeleken worden. Kijken we naar de jaargemiddelde temperatuur in Nederland over 1999-2008 dan is deze 0,8°C hoger dan het gemiddelde van 1976-2005. Daarmee vergeleken zijn de veranderingen in de G/G+ scenario's voor 2050 klein (Klein Tank & Lenderink 2009b), hoewel deze betrekking hebben op een gemiddelde van 30 jaar in plaats van 10. Het gebruik van de G/G+ scenario's zou impliceren dat de temperatuur in Nederland tot 2050 gemiddeld vrijwel niet verder zal toenemen (Klein Tank & Lenderink 2009b) ten opzichte van wat we de laatste 10 jaar hebben gezien (Figuur 35).

Bij gebruik van de extremere scenario's W/W+, met een gemiddelde stijging van 1,7 tot 2,8°C (Van den Hurk *et al.* 2006), zal de temperatuur stijgen ten opzichte van de laatste 10 jaar. Met name de warmste dagen zullen warmer zijn en dus vaker leiden tot 'extreme' situaties, 2,1 tot 3,8°C warmer.

Duidelijk is dat de lagere temperatuurveranderingen in de G/G+ scenario's minder waarschijnlijk zijn dan de hogere temperatuurveranderingen in de W/W+ scenario's. De verandering is echter bepaald voor het Nederlandse landklimaat en niet voor de Noordzee, wat betekent dat de veranderingen niet 1 op 1 kunnen worden overgenomen naar de Noordzee, zeker niet naar een zelfde temperatuurstijging in het Noordzeewater. Daarom zal eerst de vertaling van de op het land gebaseerde klimaatscenario's naar veranderingen in het mariene milieu gedaan moeten worden alvorens goede voorspellingen kunnen worden gemaakt. Dit is onder andere voor de Noordzee geprobeerd met behulp van twee verschillende klimaatmodellen (ECOSMO en

NORWECOM), op basis van de verschillende IPCC-klimaatscenario's. De modellen laten zien dat een stijging van 3°C in luchttemperatuur (hoger dan de extreme W/W+ scenario's) resulteert in een toename van 0,9 tot 2,6°C van het oppervlaktewater en 0,8 tot 1,95°C van het bodemwater, met de maximale toename in de zomer. Hierbij moet worden opgemerkt dat geen van beide modellen het kustwater meenemen. De gemodelleerde toenames zijn vergelijkbaar met andere studies zoals die met het Regional Ocean Model System (ROMS) (Ådlandsvik 2008) of ERSEM (Jason Holt, pers. Communication) (Drinkwater *et al.* 2008).

Als de temperatuur verder stijgt, is het aannemelijk dat de geobserveerde veranderingen doorzetten en dat de Noordzee leefbaarder zal worden voor zuidelijke soorten en dat noordelijke soorten het moeilijker zullen gaan krijgen. Deze laatste verdwijnen dan uiteindelijk waarschijnlijk uit de Noordzee. Dit gebeurt niet voor alle soorten met dezelfde snelheid en wellicht dat sommige soorten zich kunnen aanpassen.

Met name het vaker voorkomen van extreem warme zomers of milde winters kan problemen gaan opleveren voor de noordelijke soorten, omdat ze dan op relatief korte termijn moeten reageren op veranderingen die hun fysiologische grenzen kunnen overschrijden, terwijl ze zich misschien wel kunnen aanpassen aan langzaam toenemende temperatuur. De extremere omstandigheden kunnen lokaal wel voor problemen zorgen, zoals bijvoorbeeld de temperaturen in 1997 problematisch waren voor grote puitaal. Als een soort afhankelijk is van dit specifieke leefgebied heeft dit mogelijk consequenties voor een enkele soort. Maar de meeste Noordzeesoorten zijn niet uitsluitend beperkt tot een klein gebied en kunnen de daarop volgende periode dit gebied weer bevolken.

Er hebben in de afgelopen jaren zowel ruimtelijke als temporele verschuivingen plaatsgevonden die gekoppeld worden aan de veranderingen in het klimaat. Het beeld dat we hebben van de Noordzee en ook het gebruik van de Noordzee is hierdoor echter niet of nauwelijks veranderd. Dit is geen garantie voor de toekomst, zelfs niet als de veranderingen in klimaat niet veel anders worden dan in de afgelopen jaren. Het is bijvoorbeeld aannemelijk dat soorten waarbij al een verandering is opgetreden in de timing van de voortplanting, en die daardoor al problemen ondervinden met de timing van hun voedsel, verder zullen verslechteren. De overleving van hun larven is beperkt, waardoor een paar jaar later minder volwassen deelnemen aan de voortplanting wat minder eieren en larven op kan leveren, waarvan de overleving nog steeds beperkt is enz. Dit zou al voor kabeljauw en zandspiering (Van Deurs *et al.* 2009) het geval kunnen zijn. De visserij op deze soorten verslechtert de situatie verder, terwijl de vangsten van de visserij zelf ook zullen afnemen omdat er minder vis van deze soorten aanwezig is.

Onze toekomstvisie voor 2040 is dat het Noordzee-ecosysteem er ongeveer hetzelfde uit zal zien als in de afgelopen jaren, waarbij natuurlijke variatie in het systeem voor grotere verschillen zorgt dan een mogelijke door klimaatverandering gedreven trend. De grootste verandering zal liggen in kleinere hoeveelheden noordelijke soorten terwijl de visserij op meer zuidelijke soorten langzaam zal kunnen toenemen.

Deze toekomstvisie gaat uit van de klimaatscenario's voor de veel verdere toekomst die een geleidelijke toename in temperatuur en een geleidelijke verandering in andere aspecten van het klimaat suggereren. Echter als de klimaatcycli op de korte termijn een sturende rol hebben en de voorspelde veranderingen in de klimaatscenario's in de aankomende periode maskeren is het mogelijk dat het klimaat zelfs tijdelijk kouder wordt en de Noordzee er in 2040 uit zal zien als in de afgelopen periode. Voorlopig zijn de indices zoals de NAO of PDO nog minder voorspelbaar dan gehoopt en is het niet meer dan glazen bol kijken om hierover iets te kunnen zeggen.

Dit probleem van onvoorspelbaarheid is vergelijkbaar voor het fenomeen van de 'tipping points' of 'regime shifts'. Mocht zo'n tipping point bereikt worden of een regime shift plaatsvinden dan is het waarschijnlijk dat de veranderingen in het systeem groter zullen zijn dan op basis van een geleidelijke klimaatverandering verwacht mag worden. Een voorbeeld is als de verminderde aanwas in zandspiering doorzet, die gerelateerd wordt aan een verandering in temperatuur en daardoor verandering in voedselaanbod (verandering in zoöplanktonsoorten waarvan de nieuwe soort veel slechter verteerbaar is en een lagere voedingswaarde heeft (Van Deurs *et al.* 2009). Dan komt er een moment dat deze sleutelsoort op een niveau komt dat zijn predatoren verhongeren (de hypothese is dat bruinvissen grondels eten omdat er te weinig zandspiering beschikbaar is) en daardoor in een slechtere conditie verkeren. Het is echter lastig om te bepalen/voorspellen wanneer dit het geval zal zijn en of de predatoren een andere prooi kunnen vinden. Mocht dit echter niet gebeuren dan is het waarschijnlijk dat de hoeveelheden zeezoogdieren en ook sommige vogelsoorten in aantallen zullen afnemen. Een langzame verandering in temperatuur een groter gevolg heeft op het systeem dan alleen het directe effect op de verspreiding van zoöplankton.

Dit alles maakt een toekomstvisie voor 2040 op basis van veranderend klimaat alleen maar onzekerder. En is de reden dat wij geen gedetailleerde voorspellingen over veranderingen in het systeem kunnen doen.

2.6.2 Klimaat effecten in relatie tot de kijkrichtingen

De Natuurverkenning formuleert kijkrichtingen voor 2040 waarin de verschillende drivers waaronder klimaatverandering, van het ecosysteem gecombineerd worden. Om rekening te houden met het klimaat kan er het beste gekeken worden naar de omstandigheden in de afgelopen 10 tot 15 jaar (de warmere periode) en kunnen trends in de verspreiding van soorten worden doorgetrokken, evenals de toename van zuidelijke soorten.

Het doortrekken van deze trends betekent voor de visserij dat quota afnemen, en daarmee de vangsten van de noordelijke soorten, maar dat tegelijkertijd vangsten van zuidelijke soorten zouden kunnen toenemen.

De beheerder van de Noordzee moet zich wat betreft ruimtelijke maatregelen zoals te beschermen gebieden, in relatie tot het klimaat, afvragen of deze wel op de juiste plaats liggen om de doelen te bereiken. Als het om specifiek habitat als zandbanken, stenen of het Friese Front gaat is dit geen probleem, die worden door de aanwezige vaste fysieke kenmerken bepaald, niet door klimaat. Als het doel het beschermen van specifieke soorten is, zoals juveniele schol in de scholbox, dan moet er bij het aanwijzen van het gebied rekening gehouden worden met een mogelijke verplaatsing van de soort naar het noorden of naar dieper water. Als een gebied aangewezen wordt aan de zuidelijke grens van het verspreidingsgebied van de soort dan is het te verwachten dat de soort zich terug zal trekken uit dit gebied en dat hier de concurrentie met zuidelijke soorten zal toenemen. Dit kan dan betekenen dat beschermde gebieden zouden moeten mee verhuizen naar het noorden of dat er een besluit moet komen dat het vanwege veranderingen in oceanografische en klimatologische omstandigheden niet verstandig is veel moeite te stoppen in plaatsgebonden maatregelen voor het beschermen van deze specifieke soort. Deze oceanografische en klimatologische omstandigheden zijn dan ook opgenomen in de definities van de Goede Milieu Toestand (GMT) in de Kader Richtlijn Marien waar het beleid zich de komende jaren op richt.

Er zijn niet veel mogelijkheden om klimaatveranderingen op zee tegen te gaan. De kijkrichtingen moeten dan ook uitgaan van adaptatie aan veranderingen. Vanuit de zeer economisch gerichte kijkrichting (of vanuit een zeer conservatieve natuur-kijkrichting) zou het wellicht wel mogelijk zijn om te onderzoeken of we door het gericht kweken van

economisch zeer rendabele soorten deze aan te passen zijn aan de veranderende omstandigheden. In een kweekomgeving waar de overige omstandigheden ideaal zijn, kan genetische aanpassing sneller gaan dan de natuurlijke aanpassing aan het klimaat. Genetische manipulatie is ook een optie, vergelijkbaar met de GMO's die gebruikt worden in de akkerbouw. Het uitzetten van deze aangepaste individuen zou kunnen helpen om de soorten sneller aan te passen aan het veranderende klimaat. Op deze manier breng je ander genetisch materiaal het systeem in met alle gevolgen die daarbij horen. Maar als de economische vooruitgang het belangrijkste is, zou dat wellicht een rendabele mogelijkheid kunnen zijn.

Andere plannen in de kijkrichtingen zoals het organiseren van dagtrips of het inrichten van een toeristische locatie op de Doggersbank om zeezoogdieren te bekijken, zouden wel eens bemoeilijkt kunnen worden door veranderingen in het klimaat, aangezien deze zeezoogdieren sterk afhankelijk lijken van een soort als de zandspiering die weer onder druk lijkt te staan door de warmere temperaturen. Het succes van deze onderneming moet afgewogen worden ten opzichte van mogelijke veranderingen in relatie tot klimaat. Deze afwegingen moeten ook gedaan worden voor andere plannen zoals het herstel van de stekelrog of van zeegrasvelden. Het resultaat van uitvoering van deze plannen alsmede de rentabiliteit van de benodigde investeringen hiervoor zullen mede bepaald worden door het klimaat.

2.6.3 Conclusies

Klimaatverandering is zeker een factor waar rekening mee moet worden gehouden in de toekomstvisies, echter op de relatief korte termijn van 30 jaar zal het effect van klimaatverandering vermoedelijk niet de belangrijkste driver zijn. Menselijke activiteiten zullen op deze termijn belangrijkere drivers van verandering zijn, waarbij wel het additieve effect van klimaatverandering niet moet worden vergeten of onderschat.

Menselijke activiteiten zullen dus moeten worden bekeken in het licht van een veranderend klimaat dat over 30 tot 100 jaar zeer waarschijnlijk warmer zal zijn dan vandaag. Dit kan betekenen dat sommige soorten niet te behouden zijn in de Noordzee. Maar het betekent ook dat geplande menselijke activiteiten nu lijken plaats te vinden in een gebied waar geen grote effecten zijn te verwachten, maar dat over 30 tot 100 jaar dit juist in een gebied zou kunnen zijn dat van essentieel belang is voor het overleven van enkele sleutelsoorten. Harde exacte voorspellingen van het klimaat in 2040 voor de verschillende scenario's van CO₂-uitstoot en de mogelijke effecten daarvan op het ecosysteem zijn niet te geven. Hiervoor is een verbetering van de klimaatmodellen nodig, vooral van regionale modellen voor een termijn van 10 tot 20 jaar. Daarnaast moet er een betere vertaalslag komen van de voorspellingen voor het land naar die voor de zee. Op het niveau van organismen is er een beter begrip van direct en indirecte effecten nodig en vooral hoe deze in een ecosysteem context met elkaar in verband staan.

3 Natuurtypen

3.1 Inleiding

De Noordzee is van bovenaf gezien alleen maar 'water', maar onder water is een grote verscheidenheid aan natuur aanwezig. Die verscheidenheid wordt veelal beschreven door verschillende typen habitats te onderscheiden (zie paragraaf 1.4). De habitattypen van de Habitatrichtlijn bieden echter geen volledig beeld van de (natuurlijke) habitats van de Noordzee. De indeling van EUNIS biedt dat wel, maar is te grofschalig voor de zuidelijke Noordzee. De meerwaarde van de indeling door Lindeboom *et al.* (2008b) is de door menselijke invloed nieuw gecreëerde habitats.

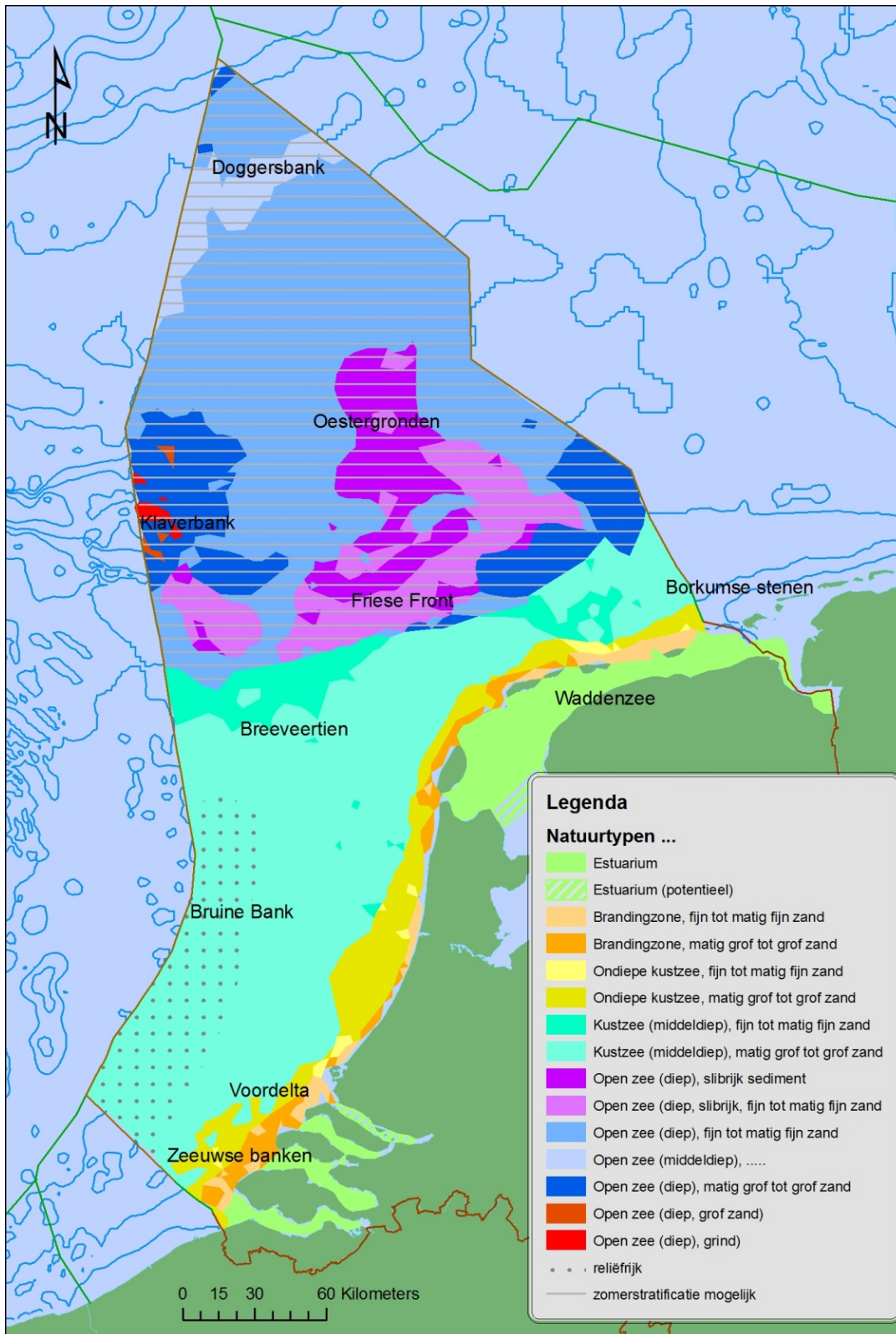
Voor de Natuurverkenning 2011 is voor het Nederlands Continentaal Plat (NCP) een indeling gemaakt in natuurtypen die zijn onderscheiden op basis van abiotische kenmerken met een hoge mate van ecologische relevantie. Deze criteria zijn een combinatie van de criteria gebruikt in andere bestaande indelingen.

De volgende abiotische criteria zijn toegepast:

- Geografische kenmerken: onderscheid wordt gemaakt tussen de Noordzee, de Waddenzee en de (voormalige) estuaria die aan de Noordzee grenzen (zoals de Westerschelde, de Oosterschelde, het Haringvliet en de Eems-Dollard).
- Watermenging: hiervoor is de gelaagdheid van het water als gevolg van temperatuurverschillen gebruikt. Deze gelaagdheid van het water treedt in de zomer op in de diepere delen van de Noordzee, ten noorden van ongeveer de -40 m dieptelijn (Tomczak en Goedecke, 1964). In ondiep water is de gehele waterkolom gemengd.
- Zoet - zout overgang: er kan sprake zijn van een zeer geleidelijke gradiënt, zoals aanwezig in estuaria, of van een scherpere overgang, zoals in de Waddenzee bij de Afsluitdijk.
- Waterdiepte: gebruik is gemaakt van een verdeling in diepte op een 10 meter schaal. Met een maximumdiepte van ca. 50 m zijn er dus 5 diepteklassen.
- Sedimentsamenstelling: de samenstelling van het sediment kan bepaald zijn door de geologische oorsprong (zoals stenen en grind op de Klaverbank) of kan een resultante zijn van de dynamiek van de bodem als gevolg van waterstroming en golfwerking. Te onderscheiden zijn gebieden met:
 - stenen en grind (> 50% > 2 mm);
 - grof zand (>420 µm);
 - middelgrof zand (210-420 µm);
 - fijn zand (<150) en/of slibrijk (>15% <63 µm) zand.

Deze indeling is gebaseerd op de indeling van Zonneveld (1979).

In Figuur 36 is een kaart weergegeven van het NCP op basis van een combinatie van de bovenstaande indeling van de relevante abiotische kenmerken en worden in totaal in de legenda vijftien natuurtypen onderscheiden (met drie aanvullende aanduidingen zoals reliëf en stratificatie). Deze indeling is enigszins vereenvoudigd naar elf geografisch te onderscheiden gebieden met onderscheidende ecologische kenmerken: de natuurtypen. Hiertoe zijn een aantal abiotisch gedefinieerde natuurtypen zoals in Figuur 36 onderscheiden zijn, samengevoegd. Tabel 2 geeft een overzicht van de onderscheiden natuurtypen in relatie tot de abiotische kenmerken zoals onderscheiden in Figuur 36.



Figuur 36. Natuurtypen in de Noordzee, gebaseerd op combinaties van abiotische kenmerken (diepte, sedimentgrootte, slibgehalte, wel/niet in zomer stratificatie mogelijk). Deze kaart is ontwikkeld binnen de NVK

Tabel 2. Overzicht van natuurtypen (verkorte naam en omschrijving zoals in paragraaf 3.2 wordt gebruikt) in relatie tot de in Figuur 36 onderscheiden abiotische kenmerken

Verkorte naam	Omschrijving	Abiotische kenmerken
Estuaria	Estuaria (Westerschelde, Eems-Dollard)	Estuarium, Estuarium (potentieel)
Hard substraat	(Ondiepe) kust met kunstmatig hard substraat	-
Brandingszone	Ondiepe hoogdynamische kustzee tot 10 meter diepte, inclusief brandingszone	Brandingszone, fijn tot matig fijn zand Brandingszone matig grof tot grof zand
Ondiepe kustzee	Ondiepe kustzee van 10-20 meter diepte	Ondiepe kustzee, fijn tot matig fijn zand Ondiepe kustzee matig grof tot grof zand
Waddenzee	Waddenzee	-
Middeldiepe zee	Middeldiepe zee met zandige bodem	Kustzee (middeldiep), fijn tot matig fijn zand Kustzee (middeldiep) matig grof tot grof zand
Doggersbank	Zandbank ver van de kust (Doggersbank)	Open zee (middeldiep)
Friese Front	Diepe zee met slibrijk tot matig fijn zand (Friese Front)	Open zee (diep, slibrijk, fijn tot matig fijn zand)
Diepe zee	Diepe zee met fijn tot grof zand	Open zee (diep), fijn tot matig fijn zand Open zee (diep), matig grof tot grof zand
Oestergronden	Diepe slibrijke zee (Oestergronden)	Open zee (diep), slibrijk sediment)
Klaverbank	Diepe zee met grind en stenen (Klaverbank)	Open zee (diep), grind Open zee (diep, grof zand)

De in Tabel 2 en in paragraaf 3.2 beschreven indeling in natuurtypen is fijnschaliger dan de EUNIS-habitatindeling (<http://eunis.eea.europa.eu>) (zie paragraaf 1.4.2). De EUNIS-classificatie is ook gebaseerd op levensgemeenschappen in relatie tot abiotische kenmerken, maar is te grofschalig voor de diepte voor de zuidelijke Noordzee. Er wordt namelijk alleen onderscheid gemaakt tussen gebieden van de intergetijdenzone, het plat tot een diepte van 200 m en de diepzee (> 200 m). Daardoor vallen vrijwel alle gebieden binnen de klasse tot 200 m diepte. EUNIS onderscheidt ook habitats op basis van de samenstelling van het sediment. Van de in EUNIS gehanteerde klassegrenzen voor de sedimentsamenstelling is voor de indeling van natuurtypen in dit achtergronddocument voor de Natuurverkenning enigszins afgeweken om een hoger onderscheidend vermogen mogelijk te maken.

Op basis van de hierboven beschreven criteria kunnen de volgende elf (natuurlijke, van nature voorkomende) natuurtypen worden onderscheiden (zie paragraaf 3.2.1 tot en met 3.2.11).

In paragraaf 3.3 wordt de menselijke invloed op de natuurtypen van de Noordzee kort geschetst aan de hand van de invloed door verschillende vormen van bodemberoering op de zachte substraten en zowel het verdwijnen als verschijnen van harde substraten en worden de nieuw ontstane 'antropogene' habitats beschreven.

3.2 Beschrijving van de natuurtypen

3.2.1 Estuaria (Westerschelde, Eems-Dollard)

De overgangszone van rivieren met de (kust)zee die onder invloed staan van getijde vallen onder dit natuurtype. Getijdesystemen in Nederland zijn de Westerschelde en de Eems-Dollard.

Het natuurtype bestaat uit een combinatie van verschillende systemen, waarin het zoetwatergehalte afneemt richting zee en er naast geulen ook kwelders en droogvallende platen aanwezig zijn. Deze systemen verkeren in een dynamisch evenwicht met elkaar. Door de grote variatie aan typen systemen binnen dit natuurtype is er een verscheidenheid aan organismen aanwezig.

De hoge productiviteit, zorgt mede voor een grote verscheidenheid aan planten en dieren, waaronder veel vogelsoorten, vissen (waaronder trekvis), en bodemdieren als schelpdieren, schaaldieren en wormen. Voor veel soorten vis fungeert het gebied als opgroeigebied. In beide estuaria komen gewone zeehonden voor die zich daar ook voortplanten. Ook bruinvissen worden in lage aantallen waargenomen, aantallen nemen stroomopwaarts af.

Door herhaaldelijke verdieping van de vaargeul en de intensiteit van menselijk gebruik (o.a. scheepvaart) wordt de natuurlijke dynamiek van sedimentatie en erosie verstoord en bestaat de bodemfauna uit kortlevende en snelgroeiende soorten.

3.2.2 (Ondiepe) kust met kunstmatig hard substraat

Het natuurtype komt langs de kust voor bij de Hondsbossche zeewering en op verscheidene stranden in de vorm van strekdammen. Daarnaast zijn er harde zeeweringen langs de Westerschelde, de Oosterschelde en bij de Maasvlakte, in de delta rondom eilanden en aan sommige koppen en Waddenzeezijde van de Waddeneilanden. Daarnaast zijn er nog harde constructies in de vorm van offshore-platforms, windmolens en wrakken die een (kunstmatig) substraat vormen voor aangroeiende organismen. De omstandigheden zijn vaak hoog-dynamisch door met name golfwerking.

Er is een specifieke zonering van soorten langs de diepte gradiënt en vanwege de hoge dynamiek. Als gevolg van golfwerking kunnen wieren vaak slecht tot ontwikkeling komen. Eventuele wiergroei is bovendien slechts mogelijk in de bovenste decimeters van het sublitoraal vanwege de hoge troebelheid van het water die een gevolg is van de hoge dynamiek. De fauna wordt gekarakteriseerd door een groot aantal sessiele soorten en zeer mobiele soorten, onder meer anemonen, mosselen, zeepokken (*Cirripedia*), vlokreeften (*Gammaridae*), strandkrabben, en zeesterren. Op locaties waar zoetwater invloeden groot zijn (bijv. Westerschelde, Noordzeekanaal bij IJmuiden, Haringvliet-sluizen Nieuwe Waterweg, IJsselmeer) vertoont het zoutgehalte grote variaties en is het totaal aantal soorten lager dan in de volledige zoute versie van dit natuurtype.

Door een toename van het aantal windmolens op zee zal het hard substraat in het offshore gebied toenemen. Daarentegen zal er binnen afzienbare een afname van het aantal offshore-platforms optreden.

3.2.3 Ondiepe hoogdynamische kustzee tot 10 m diepte, inclusief brandingszone

In deze kustzone is het water sterk gemengd en is nauwelijks sprake van een zoutgradiënt. De diepte strekt zich uit tot 10 m diepte en het sediment bestaat uit fijn- en middelgrof zand. Zowel het littorale als sublitorale deel van de kustzone valt onder dit natuurtype. Net als het kunstmatig hardsubstraat wordt dit natuurtype gekenmerkt door hoge dynamiek. Dit natuurtype is aanwezig in de ondiepe kuststrook en omvat de zone waarin ook brekerbanken aanwezig zijn, tot ongeveer 5-8 m diepte en tot ongeveer een halve kilometer uit de kust. Onder het natuurtype vallen ook de getijdegeulen ten noorden/westen van de Waddeneilanden en in de Voordelta. In de getijdegeulen wordt de hoge dynamiek veroorzaakt door de hoge lineaire stroomnelheden.

Langs de kust wordt de hoge dynamiek veroorzaakt door de hoge mate van golfwerking (grote strijklengte).

De hoge mate van hydrodynamiek bepaalt in sterke mate de korrelgrootteverdeling en is daarmee van grote invloed op het voorkomen van bodemdieren. Doordat de bodem in de brandingszone continu in beweging is, is het aantal soorten en totale biomassa beperkt. Een kenmerkende bodemdiersoort voor de brandingszone is de Gemshoornworm (*Scolelepis squamata*). In de diepere delen neemt de stabiliteit van de bodem toe en neemt de biomassa en soortenrijkdom van bodemdieren ook toe. Het water in de geulen en troggen is een belangrijk transportmiddel voor zowel volwassen bodemdieren en vissen, als voor hun larven en juvenielen. Zo is dit natuurtype van belang als kraamkamer van platvissen zoals tong (*Solea solea*), schar (*Limanda limanda*), bot (*Platichthys flesus*) en tarbot (*Psetta maxima*) en voor rondvissen als steenbol (*Trisopterus luscus*) en wijting (*Merlangius merlangus*). In getijdegeulen wordt gevoerageerd door bijvoorbeeld grote sterns (*Sterna sandvicensis*), noordse sterns (*Sterna paradisaea*), visdieven (*Sterna hirundo*) en roodkeelduikers (*Gavia stellata*). In de brandingszone foerageren futen (*Podiceps cristatus*) en meeuwen (*Larus* spp.).

In de wat diepere en stabielere delen, zoals in de troggen tussen de brekerbanken, kunnen ook concentraties van zandkokerwormen (*Lanice conchilega*) aanwezig zijn zij kunnen de mobiele bodem enigszins vastleggen door hun fysische aanwezigheid.

Onder de dynamische omstandigheden in dit kustgebied voelen zich vooral pioniersoorten thuis, en komen doorgaans in hoge dichtheden voor. De kustzone heeft de hoogste biomassa aan benthos van het hele NCP, als gevolg van de hoge productie van algen die als voedsel gebruikt wordt. Vooral weekdieren (Mollusca) en borstelwormen (Polychaeta) dragen bij aan de biomassa. De tegenwoordig meest voorkomende weekdierensoort is de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*), een exoot die eind jaren zeventig van de vorige eeuw voor het eerst in de Noordzeekustzone opdook. Strandschelpen en zwaardschedes vormen concentraties (banken) van dieren van gelijke leeftijd, die enkele jaren kunnen bestaan.

De soortenrijkdom van de visfauna in de gehele kustzone is hoger dan op de rest van het NCP.

In de winter vormt de kustzone een belangrijk foerageergebied voor soorten als zwarte zee-eend en eidereend die leven van schelpdieren. Het gebied is ook een belangrijk opgroeigebied voor enkele mariene (en commercieel ge-exploiteerde) vissoorten. De ondiepe kustzone vormt ook een belangrijk leef- en foerageergebied voor de gewone zeehond en de grijze zeehond. Bovendien worden de droogvallende delen gebruikt als rustgebied.

In dit natuurtype is gestart met de aanleg van een zogenaamde zandmotor, waarmee een grote hoeveelheid zand in de vorm van een haak wordt gestort aan en voor de Zuid-Hollandse kust. De verwachting is dat eroderend zand noordwaarts getransporteerd wordt en na sedimentatie voor een versterking van de stranden zorgt. De mogelijke effecten op de bodemfauna zullen worden onderzocht. De verwachte effecten zijn beschreven in Baptist (2011).

3.2.4 Ondiepe kustzee van 10-20 meter diepte

In de ondiepe kustzee is het water sterk gemengd en is nauwelijks sprake van een zoutgradiënt. De diepte strekt zich uit van 10 tot 20 m diepte en het sediment bestaat uit fijn- en middelgrof zand.

Het natuurtype omvat een groot deel van het kustgebied. De laagdynamische delen bevinden zich buiten de brekerbanken op grotere diepte (10-20m) dan het hoogdynamische natuurtype dat hierboven is beschreven. Door de grotere diepte neemt de stabiliteit van de bodem toe, waardoor bodemdieren betere vestigingskansen krijgen en meer soorten zich kunnen handhaven. Globaal vormt de -20 m dieptelijne ook de begrenzing van de zogenaamde kusttrivier, waarin het zoete voedselrijke rivierwater in een smalle strook langs de kust noordwaarts stroomt. Waar de watermassa van de kusttrivier 'botst' met het zeewater ontstaat fronten.

Fronten zijn plekken in zee waar door dichtheids- of temperatuurverschillen van verschillende watermassa's mengprocessen de primaire productie bevorderen. Dit leidt lokaal tot meer voedsel, wat vissen, vogels en zeezoogdieren aantrekt. Voorbeelden zijn de fronten langs de Hollandse kust waar kustwater, inclusief rivierwater en Kanaalwater, bij elkaar komen. Omdat fronten zich in de waterkolom bevinden is de positie enigszins variabel en is niet een ruimtelijke plaats aan te wijzen waar het front altijd aanwezig is.

De primaire productie in het gebied is hoog dankzij de vele nutriënten en de geringe diepte in combinatie met grote menging van de waterkolom (veel licht, snelle opwarming), wat leidt tot forse groei van plantaardig plankton. Deze algen vormen het voedsel voor roeipootkreeftjes, vislarven, schelpdieren en kreeftachtigen, die op hun beurt weer veel vissen aantrekken. Doordat er weinig grote vissen (predatoren) meer voorkomen, vormt dit deel van de kustzone een ideaal opgroeigebied, bijv. voor juveniele platvissen (tarbot, bot, tong, schar) en ook voor kabeljauw, wijting, steenbol.

Indicatorsoorten voor bodemdiergemeenschappen in het kustgebied zijn onder meer de zandzager (*Nephtys hombergii*), de halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*) en het nonnetje (*Macoma balthica*). In deze zone kan lokaal het aantal soorten bodemdieren en de biomassa hoog zijn. *Spisula*'s en mesheften (*Ensis americanus*) kunnen in de kustzee in banken voorkomen. Deze organismen zitten echter grotendeels in het sediment en vormen geen aanhechtingsplaats voor andere organismen. Als zodanig vormen ze geen te onderscheiden habitat. Wel vormen zij dikwijls een belangrijke voedselbron voor vogels. Het kustgebied van de Noordzee is voor veel vissoorten van belang als opgroeigebied ('kinderkamer'). Bij de bodem levende vissoorten die in het kustgebied voorkomen zijn bijvoorbeeld bot (*Platichthys flesus*), schol (*Pleuronectes platessa*), schar (*Limanda limanda*) en tong (*Solea solea*).

Er zijn verschillende dieren die vis als voedsel gebruiken. In de winterperiode is de zone van belang voor fuut en roodkeelduiker. De ondiepe kustzee is ook een belangrijk leefgebied voor (grijze en gewone) zehonden die er onder meer hun voedsel vinden.

In de ondiepe kustzee vindt veel garnalenvisserij plaats. Omdat een deel van dit natuurtype als Natura 2000-gebieden aangewezen zijn en om economische redenen waarschijnlijk een sanering van de garnalenvloot zal plaatsvinden, zal waarschijnlijk een afname van de garnalenvisserij plaatsvinden. Dit zou kansen bieden voor herstel voor grote en/of langlevende soorten in en op de bodem, zoals voor roggen.

3.2.5 Waddenzee

De Waddenzee wordt door de Waddeneilanden van de Noordzee afgesloten, en staat daar via stroomgaten mee in verbinding. Het water is goed gemengd en er is sprake van een zoet-zout overgang die door de dijken scherper is dan in estuaria. Het sediment bestaat uit slibrijk fijn- tot middelgrof zand. De Waddenzee vormt een natuurtype dat bestaat uit een hoogdynamisch ondiep gebied met droogvallende platen van zand en slib, tussenliggende geulen en kwelders langs de randen van het vaste land en de Waddeneilanden. Stroming, golfslag en getij zorgen in de Waddenzee voor steeds

wisselende omstandigheden in ruimte en tijd. Het complexe systeem wordt in stand gehouden door een evenwicht tussen sedimentatie en erosie. De verschillende (deel)systemen hangen functioneel sterk met elkaar samen. De geulen zorgen voor aan- en afvoer van water, sediment, organisch materiaal, larven en voedingsstoffen. Bij laag water verblijven vissen in de geulen en diepere delen, terwijl ze bij hoog water op de platen foerageren. Garnalen migreren met het getij tussen de droogvallende platen en de aanliggende geulen.

Platen die 25 tot 60% van de tijd droogvallen zijn het rijkst aan bodemleven. Naast droogvaltijd wordt de soortensamenstelling en biomassa ook bepaald door factoren als sedimentsamenstelling, nutriëntengehalte en waterkwaliteit. Er komen veel soorten schelpdieren, kreeftachtigen en wormen voor, waarvan op de meeste plekken slechts een beperkt aantal verantwoordelijk is voor het grootste deel van de biomassa. Deze soorten vormen ook de belangrijkste voedselbron voor vogels en vissen. Zowel als voedselbron als voor de biodiversiteit (soortenrijkdom) zijn (litorale en sublitorale) schelpdierbanken van belang, met name banken van de mossel (*Mytilus edulis*).

Door de hoge productiviteit en diversiteit van het natuurtype is de Waddenzee een belangrijk leefgebied voor een verscheidenheid aan vogelsoorten die er foerageren, rusten en op het aangrenzende land broeden. Het gebied kent een vitale populatie van grijze en gewone zeehond.

Zeegras komt alleen nog lokaal voor op droogvallende platen. De Waddenzee is een belangrijk natuur- en recreatiegebied.

Door maatregelen en ontwikkelingen, zoals een afname van mosselzaadvisserij en garnalenvisserij, ontstaat mogelijk een kans voor de ontwikkeling van extra mosselbanken en misschien ook voor herstel van zeegrasvelden. Ook hier ontstaan kansen voor herstel voor grote en/of langlevende soorten in en op de bodem, zoals voor roggem en wulken.

3.2.6 Middeldiepe zee met zandige bodem

In de middeldiepe zee is het water sterk gemengd en de invloed van zoet water is zeer klein. Bij een waterdiepte van 20 tot 30 m diepte bestaat het sediment er hoofdzakelijk uit middelgrof zand. Plaatselijk komen gebieden voor met een relatief hoge dichtheid aan stenen (Borkumse stenen en voorheen ook nabij Texel).

Tot dit natuurtype kan het hele zuidelijke deel van de Zuidelijke Bocht van de Noordzee worden gerekend, tot ca. 40 km ten noorden van de Waddeneilanden. Door de ondiepte en de sterke stroming aan de bodem is het zand relatief grof. De middeldiepe zee heeft een morfologische structuur met zandgolven en 'wandelende onderwaterduinen' tot een paar meter hoog. De middeldiepe zee heeft een vrij egale verspreiding van bodemfauna, die lokaal wel hoge biomassa's kan bereiken. Hetzelfde geldt voor de visfauna.

Indicatorsoorten voor bodemdiergemeenschappen in deze 20 tot 30 meter diepe zone in de Noordzee zijn de zandzager (*Nephtys hombergii*) en kleine kreeftachtigen (o.a. buldozerkreeftjes, *Bathyporeia* spp.). Soorten die vrijwel uitsluitend in zandige bodems in het zuidelijke deel van de Noordzee voorkomen zijn het zaagje (*Donax vittatus*) en de worm *Aricidea minuta*. Qua dichtheden kunnen de wormen *Spiophanes bombyx* en *Magelona papillicornis* belangrijk zijn, qua biomassa de hartegel (*Echinocardium cordatum*). Deze soort is ook een belangrijke soort in het ecosysteem doordat ze snel en massaal organisch materiaal de bodem inwerkt. Alleen daar waar harde substraten, bijvoorbeeld stenen of scheepswrakken voorkomen, bevindt zich een te onderscheiden

fauna met soorten die zich door hechting aan de harde ondergrond in het gebied kunnen handhaven of die daaronder een schuilplaats vinden.

Het natuurtype is van groot belang voor diverse soorten (volwassen) platvis, waaronder tong, schol en tarbot. Het natuurtype is potentieel geschikt als leefgebied voor roggen die door overbevissing zeldzaam zijn geworden.

In het zuidelijk deel van de Noordzee bevinden zich zones met ondiepe zandbanken. Het water is hier sterk gemengd en is vrijwel volledig zout. De diepte van de toppen van de banken rijkt bij de Zeeuwse tot boven de -20 m, terwijl het omliggende gebied tot 30 m diep is. In de Bruine Banken reiken de toppen tot ca. - 30 m NAP met dalen tot ca 40-45 m diepte. Het sediment in deze gebieden met banken bestaat uit middelgrof zand. Tussen de toppen van de banken en de dalen kunnen aanzienlijke verschillen bestaan in de soortensamenstelling van het benthos (Baptist *et al* 2006).

Indicatorsoorten voor bodemdiergemeenschappen in deze gebieden met banken zijn de zandzagers (*Nephtys* spp.) en de kleine kreeftachtigen als *Bathyporeia guilliamsoniana*. Qua dichtheden kunnen de wormen *Spiophanes bombyx* en *Magelona papillicornis* belangrijk zijn, qua biomassa de hartegel.

De Zeeuwse Banken zijn stuifduinen onder water, die zich verplaatsen. In de winterperiode is het natuurtype bij de kust ook van belang voor vogels, waaronder de roodkeelduiker. De Bruine Banken verplaatsen zich niet en bestaan al honderden jaren. Bij de Bruine Banken komen soorten voor als kleine mantelmeeuw (*Larus fuscus*), drieteenmeeuw (*Rissa tridactyla*), grote jager (*Stercorarius skua*) en zeekoet (*Uria aalge*). Ook worden daar regelmatig bruinvissen waargenomen.

De verwachting is dat in de gehele middeldiepe zee de boomkorvisserij af zal nemen en vervangen wordt door visserijtypen die de bodem minder verstoren. Als er dan ook gebieden komen waar aselectieve visserij met sleepnetten niet meer voorkomt kunnen grote en/of langlevende soorten met langzame reproductie weer een betere kans krijgen zich te ontwikkelen. Het gaat bijvoorbeeld om roggen en tweekleppige schelpdieren.

3.2.7 Zandbank ver van de kust (Doggersbank)

Ook in het centrale deel van de Noordzee bevindt zich een ondiepe zandbank, de Doggersbank. Het water is boven de bank gemengd, maar rondom de bank kan het water in de zomer gestratificeerd zijn. Het water is volledig zout. De diepte van de toppen van de bank reikt in het Nederlandse deel tot boven de -30 m, terwijl het omliggende gebied tot 50 m diep is. Het sediment bestaat uit middelgrof zand.

De Doggersbank, gelegen in het noord(westelijk) deel van het NCP, vormt een overgang tussen het ondiepe zuidelijke deel van de Noordzee en het diepere Noordelijke deel. In een dergelijke ondiepe omgeving bereikt veel golfenergie de bodem en is vaak sprake van een unieke fauna, die zich echter meestal niet onderscheidt door een hogere biodiversiteit (soortenrijkdom). Meestal vormen zich langs de hellingen van de banken 'fronten' waardoor daar lokaal wel hoge biomassa's van bodemdieren worden aangetroffen die vissen en vogels aantrekken. Door de ondiepte en door golfwerking blijft weinig organisch materiaal op de bodem liggen. Het water is helder en door de combinatie met de geringe diepte kan er licht tot op de bodem doordringen waardoor er een groep van specifieke bentische algen en grazers voorkomt.

De soortenrijkdom van het bodemleven is hoog en divers. De top van de bank (het centrale gedeelte, ondiep, dynamisch, zandig) is relatief soortenarm, terwijl de diepe en slibrijke delen (hellingen, slibrijke flanken in de zuidwestelijke hoek) een stuk rijker zijn.

De ondiepe soortenarme delen worden gekenmerkt door amphipoden, soorten die grazen op benthische diatomeeën. Verder de rechtgestreepte platschelp (*Angulus fabulus*) en een aantal soorten borstelwormen.

De fauna langs de diepere zuidflank van de bank wordt gedomineerd door de draadarmige slangster (*Amphiura filiformis*). Filter feeders, zoals tweekleppige schelpdieren, die hun voedsel direct uit de waterkolom halen, vormen een belangrijke component van de gehele fauna rond de Doggersbank. Vanwege het aanwezige voedsel, zoals vooral zandspiering, is de Doggersbank een belangrijk gebied voor zeevogels als alken, zeekoeten en drieteenmeeuwen, en ook voor zeezoogdieren als de bruinvis (*Phocoena phocoena*) en aan de noordzijde de dwergvinvis (*Balaenoptera acutorostrata*).

Ook op de Doggersbank vindt boomkorvisserij plaats. Daarnaast wordt er op zandspiering gevestigd. Door afname van bodem omwoelende visserij en het mogelijk sluiten van gebieden voor sleepnetvisserij krijgen grote en/of langlevende soorten met langzame reproductie weer een betere kans zich te ontwikkelen. Het gaat bijvoorbeeld om roggen en tweekleppige schelpdieren.

3.2.8 Diepe zee met slibrijk tot matig fijn zand (Friese Front)

Het Friese Front is een 'front' (zie natuurtype Kustzee) waarvan de positie wel min of meer vast ligt. In dit gebied spelen een aantal fysische factoren tegelijkertijd een rol. Allereerst loopt het kustfront hier langs. Verder vormt het Friese Front de overgang van ondiepe kust naar dieper water waardoor de stroomsnelheden afnemen en materiaal bezinkt, wat nog versterkt wordt doordat de getijverschillen hier het kleinste zijn. Ook vormt het gebied de grens van het 's zomers gestratificeerde water van de Oestergronden en komt er een zeestroom langs vanaf de Engelse kust die veel erosiemateriaal aanvoert. Al deze processen samen leiden tot het unieke Friese Front met een hoge biomassa van bodemdieren, veel vissen en veel vogels. Hoewel de sturende fysische factoren ieder jaar wel enigszins van plaats kunnen veranderen, is er sprake van een duidelijk ruimtelijk aan te geven gebied Friese Front.

Door de unieke combinatie van meerdere lokale factoren is het waarschijnlijk ook mondiaal gezien een uniek gebied. Het gebied vormt een overgangszone en daardoor zijn er over korte afstanden grote verschillen in de biomassa en soortensamenstelling van het benthos. Van betekenis is onder meer de populatie van de noordkromp (*Arctica islandica*) (Witbaard, 2009). Verder zijn kenmerkend: de korfschelp (*Corbula gibba*), de tweekleppige *Nucula turgida*, de penhoren (*Turitella communis*), de draadarmige slangster (*Amphiura filiformis*), en een aantal gravende kreeftjes en garnalen zoals *Upogebia deltaura* en *Callianassa subterranea*. De kreeftjes spelen waarschijnlijk een grote rol bij de uitwisselingsprocessen tussen water en bodem. De hoge productie in de waterkolom trekt vogels en vissen aan. In de nazomer herbergt het front meer dan 1% van de wereldpopulatie van de grote jager (*Stercorarius skua*) en in de late zomer en het najaar meer dan 20.000 exemplaren van de Europese populatie van zeekoeten (*Uria aalge*).

Vanwege het aanwezige voedsel (met name pelagische vissen) is het Friese Front en het omringende gebied belangrijk voor zeevogels als alken, zeekoeten en drieteenmeeuwen, en ook voor zeezoogdieren als de bruinvis.

3.2.9 Diepe zee met fijn tot grof zand

Direct ten noorden van de 30 m dieptelijn kan tijdens de zomerperiode een thermocline in het volledig zoute water ontstaan. Het sediment in deze zone van 30 tot 40 m diepte

bestaat vooral uit fijn en slibrijk zand. Vanwege de aanvoer van water uit de Atlantische oceaan vanuit het noorden, is het water vrijwel volledig zout.

Dit natuurtype komt voor in een groot deel van het centrale NCP, zoals rond de Oestergronden en het Friese Front (zie Figuur 36).

De diversiteit, dichtheid en biomassa aan bodemdieren in de meer zandige delen van het gebied als geheel is over het algemeen lager dan in de slibrijke delen in deze gebieden. Het gebied ten noorden van de Oestergronden en ten zuiden van de Doggersbank is van speciale betekenis voor de noordkromp (*Arctica islandica*) (Witbaard, 2009). Hier zijn de dichtheden van de noordkromp nog relatief hoog, waarschijnlijk omdat juist in dit gebied weinig met boomkor gevist wordt. Om deze reden wordt hier dit deel van het NCP ook wel het Noordkrompgebied genoemd.

Indicatorsoorten voor dit relatief diepe zandigere natuurtype zijn de wapenworm (*Scoloplos armiger*), de kleine kreeftachtigen *Eudorellopsis deformis* en *Harpinia antennaria*, en de rechtsgestreepte platschelp (*Tellina fabula*). Een kenmerkende soort voor het noordelijke en het centrale deel van het NCP is bijvoorbeeld de perkamentkokerworm (*Chaetopterus variopedatus*) een typische filterfeeder. Belangrijke soorten qua dichtheden zijn de wormen *Spiophanes bombyx* en *Magelona papillicornis*, de draadarmige slangster (*Amphiura filiformis*) en het tweetandschelpje (*Misella bidentata*).

3.2.10 Diepe slibrijke zee (Oestergronden)

Tussen de 40 en 50 m diepte bevindt zich een fijnzandig en zeer slibrijk gebied waar jaarlijks in de zomerperiode een temperatuurgelaagdheid van het water ontstaat.

Dit natuurtype komt voor in de Oestergronden. Door de gelaagdheid van de waterkolom (stratificatie) die in de zomer optreedt bezinken veel (algen)deeltjes naar de bodem. Hierbij wordt de warme gemengde en productieve bovenlaag gescheiden van de koudere onderlaag. Doordat veel deeltjes naar de bodem zakken is er een hoge diversiteit, dichtheid en biomassa aan bodemdieren aanwezig. Indicatorsoorten voor de bodemdiergemeenschappen van de Oestergronden zijn bijvoorbeeld de draadarmige slangster (*Amphiura filiformis*), die een belangrijke soort qua dichtheid is, *Callianassa subterranea* de zeeklit (*Echinocardium cordatum*) en het tweetandschelpje (*Misella bidentata*).

Uit oude kaarten blijkt dat hier tot het eind van de negentiende eeuw uitgestrekte oesterbanken hebben gelegen, maar oesters worden in dit gebied nu niet meer aangetroffen (Lindeboom *et al.* 2005). Overbevissing, klimaatveranderingen en mogelijk ziekten hebben deze oesters uitgeroeid. Het is niet waarschijnlijk dat oesters uit zichzelf weer terugkeren indien de bodem omwoelende visserij afneemt.

3.2.11 Diepe zee met grind en stenen (Klaverbank)

In het noordwestelijk deel van de Nederlandse Noordzee bevindt zich op een diepte van meer dan 30 meter een gebied met grof zand, grind en stenen. Door aanvoer van oceaankwater is het water vrijwel volledig zout en in de zomerperiode ontstaat meestal stratificatie van de waterkolom (thermocline).

Dit gebied met het natuurtype is aanwezig in en rond de Klaverbank. De Klaverbank is het enige grindgebied op het NCP. De Klaverbank heeft een duidelijk hogere soortenrijkdom dan het omringende gebied. Recent zijn aanwijzingen gevonden dat hier ook hogere dichtheden vogels en walvisachtigen worden gevonden. De Klaverbank is een gebied met over relatief korte afstand sterk uiteenlopende biotopen en wordt van

noord-west naar zuid-oost doorsneden door een 60 m diepe geul met slibrijk zand, de Botney Cut, die niet tot dit natuurtype behoort. De Klaverbank zelf karakteriseert zich door de afwijkende bodemsamenstelling (grind) t.o.v. de rest van het NCP, een specifieke begroeiing met kalkroodwieren, bijzondere bodemfauna en bijzondere vogelwaarden. Het gebied is vanwege de bodemsamenstelling afwijkend van de rest van het NCP. Door de mozaïek structuur van het sediment zijn er leef mogelijkheden voor zowel vastzittende organismen als voor een fauna die zachte substraten prefereert. Plaatsen met zeer hoge grindgehalten wisselen af met gebiedsdelen die uit grof zand bestaan. De verspreiding en dichtheid van grote stenen zijn onregelmatig. Deze heterogeniteit speelt zich af op zowel microschaal als op veel grotere schaal, van enkele tot honderden meters of zelfs kilometers. Het gebied biedt door zijn heterogeniteit huisvesting aan allerlei bijzondere levensgemeenschappen. Tot nu toe zijn er 376 diersoorten aangetroffen, waaronder 319 soorten macrobenthos, 44% daarvan is wat het NCP betreft beperkt tot de Klaverbank.

De bodemdiergemeenschap die zich op en in het grind bevindt, is duidelijk anders dan gemeenschappen in zandige en slibrijke bodems. Er komen veel soorten voor die typisch zijn voor een harde ondergrond, zoals zeeanemonen en poliepen die zich hechten aan de harde ondergrond van stenen en grof grind. Ook komen er koudwaterkoralen voor. Door de complexe driedimensionale structuur van deze levensgemeenschap is de soortenrijkdom hoog en vormt het ook een biotoop voor bepaalde vissen, kreeftachtigen en andere kruipende bodemdieren. In het fijnere grind zijn schelpdieren talrijk en deze hebben een hoge individuele biomassa. Deze delen van de Klaverbank zijn van belang voor langlevende schelpdieren zoals de noordkromp (*Arctica islandica*) en de wulk (*Buccinum undatum*). Ook komen er veel zeesterren (bijv. kamster, *Astropecten irregularis*), zeekomkommers en zeeëgels (hartegel) voor.

3.3 Menselijke invloed op de natuurtypen

Inleiding

Menselijke activiteiten hebben op twee manieren een structurerende invloed op de natuurtypen (paragraaf 1.4.3): allereerst door verschillende vormen van bodemberoering van de natuurtypen met zachte substraten (zoals door boomkorvisserij op het gehele NCP en door garnalenvisserij, schelpdiervisserij en zandwinning in de kustzone) en ten tweede door de invloed door de inbreng van hard substraat in de vorm van platforms, windmolens en (scheeps)wrakken.

Beroerde natuurtypen met zacht substraat

De boomkorvisserij die is gericht op het vissen van tong en schol, soorten die vaak enigszins ingegraven op de bodem liggen, gebruikt wekkerkettingen om ze op te jagen. Door het grote aantal kettingen (tot circa 15) dat men gebruikt, wordt het sediment tot op een diepte van 3 tot 8 cm (Deerenberg, *et al.* 2011; in prep.) verstoord, waarbij het effect van de verstoring vergelijkbaar is met die van ploegen van het land. In gebieden waar de boomkorvisserij regelmatig plaatsvindt, ontstaat hierdoor een 'geploegde zeebodem'. Geploegd is gemiddeld >0,5 uur per jaar bevist met een boomkor. De aanwezigheid van waarneembare sporen van vistuigen, met name van de sloffen, is een kenmerk van dit habitatype. Ook regelmatige schelpdiervisserij met zuigkorren, bijvoorbeeld op strandschelpen, kokkels of mesheften, leidt tot een geploegde bodem.

Zowel de op als in de bodem zittende fauna wordt weggevangen, gedood of verspreid. De geploegde zeebodem kenmerkt zich allereerst door het ontbreken van oudere structuurvormende organismen en de daaraan gekoppelde fauna. Ook is er sprake van een verlaagde biodiversiteit van bodemdieren (soortenrijkdom) en ontbreken van organismen die zich pas op oudere leeftijd voortplanten of weinig nakomelingen

produceren. Ten slotte zijn populaties onnatuurlijk opgebouwd door het ontbreken van oudere exemplaren die vaak ook verantwoordelijk zijn voor de voortplanting. De combinatie van een hoge visserijdruk en de beschadiging van op en in de bodem zittende fauna is hier de oorzaak van. Het grootste deel van het NCP bestaat uit 'geploegde' varianten van de natuurtypen.

Gesleepte vistuigen die geen kettingen hebben die over en door de bodem schrapen, zoals gebruikt door de garnalenvisserij of de bordenvisserij, hebben wel invloed op de organismen die op de bodem leven (epifauna), maar beïnvloeden de fauna die in de bodem leeft (infauna) veel minder. In gebieden waar deze vorm van visserij veel voorkomt, leidt dit tot een 'geharkte zeebodem'. De geharkte zeebodem kenmerkt zich door het ontbreken van oudere structuurvormende organismen, een verlaagde biodiversiteit (soortenrijkdom) van op de bodem levende soorten en een onnatuurlijke leeftijdsopbouw van de populaties die door deze vormen van visserij worden gevangen, gedood of beschadigd. Dit habitatype onderscheidt zich van het geploegde habitat door een relatief ongestoorde infauna. Afhankelijk van de visserij-intensiteit zijn de effecten op de epifauna vergelijkbaar.

De geharkte zeebodem bevindt zich in sommige kustgebieden, zoals ten noorden van de Waddeneilanden, lokaal voor de Zeeuwse en Hollandse kust en het sublitoraal van de Waddenzee. Ook de elektrische pulskor sleept meer over dan door de bodem en dit type visserij leidt tot het geharkte type. Bij vervanging van de kettingvisserij door elektrische visserij zou de geploegde bodem zich geleidelijk kunnen ontwikkelen tot het geharkte type.

Garnalenvisserij vindt vooral plaats in de kustzone (tot ca. -20 m diepte en in een bredere strook ten noorden van de Waddeneilanden (tot ca. -30 m). Boomkorvisserij vindt verder uit de kust plaats, vooral ten westen van Holland. Noordelijk van de -30 m dieptelijn neemt de intensiteit van boomkorvisserij af (Deerenberg *et al.* 2010).

Zandwinputten

De (ondiepe) winning van zand met name in het zuidelijke deel van het NCP (de middeldiepe zee) leidt feitelijk niet tot een nieuw habitatype. Per winning mag normaal gesproken tot 2 m diep gewonnen worden. Het zand voor de Maasvlakte II wordt gewonnen tot een diepte van 20 m, omdat anders een oppervlak van 11x30 km zou worden aangetast. Het directe effect van zandwinning is lokaal zeer groot omdat de ter plekke aanwezige bodemfauna wordt gedood en er in eerste instantie een tamelijk kale zeebodem achterblijft. Na de zandwinning treedt echter herstel op van de levensgemeenschap. Afhankelijk van de populatiekarakteristieken (mobiliteit, voortplantingssnelheid, groeisnelheid) van de vernietigde fauna zal dit een aantal jaren in beslag nemen. Daarna zal het habitat zich geleidelijk weer herstellen tot het type dat het vóór de zandwinning was. Herstelde zandwingebieden vormen dus niet een onderscheidend habitatype.

Daar waar diepe zandwinning (10-20 m diep) plaatsvindt zal dit uithollingen van de zeebodem creëren die zich waarschijnlijk wel tot een te onderscheiden habitatype kunnen ontwikkelen. Kenmerkend voor dit habitatype zijn dan een extra invang van organisch materiaal wat tot een lokaal rijkere bodemfauna, inclusief vissen, kan leiden. In extreme gevallen kunnen de putten zuurstofloos worden wat tot specifieke, maar waarschijnlijk minder gewenste karakteristieken zou leiden. Op dit moment vindt dit soort diepere winning plaats in de vaargeulen naar Rotterdam en IJmuiden en in een wingebed voor Maasvlakte II. Of dit tot een te onderscheiden habitatype leidt, wordt nu onderzocht. Er zijn plannen om de reguliere zandwinning ook in diepere putten te laten plaatsvinden. Zodra dit het geval is zal er een nieuw habitatype ontstaan dat afhankelijk van grootte en vorm gedurende decennia kan voortbestaan.

Harde substraten

In het verleden bevond zich hard substraat op het NCP: oesterbanken op de Oestergronden en ten oosten daarvan en in de Nederlandse kustzone in de vorm van grof turf (moorlog op de kaart van Olsen uit 1883) (zie Figuur 42 op pag. 72). Maar beide harde substraten zijn in de afgelopen 100 jaar verdwenen. In het noordelijke deel van het NCP bevindt zich een groot slibgebied dat bekend staat als de Oestergronden en op de oude kaarten van Olsen (1883) staat aangegeven dat een groot deel van dit gebied uit oesterbanken bestond. Van het totaal oppervlak van 10.000 km² (20% van het NCP) dat door oesterbanken werd ingenomen is nu niets meer over. Waarschijnlijk zijn deze oesters door een combinatie van verandering van klimaat, zeestromen en overbevissing volledig verdwenen. Waarschijnlijk vormden deze oesterbanken met de aangehechte fauna een eigen habitat; het slibgebied onderscheidt zich nu nog door een verhoogd aantal soorten.

In het verleden bevond zich ten noorden van Texel een gebied met stenen, de 'Texelse Stenen' genaamd. Vermoedelijk had dit gebied ook een verrijkte fauna. De stenen zijn echter door intensieve visserij vrijwel volledig opgevisst of onder het zand verdwenen en er lijkt geen sprake meer te zijn van een te onderscheiden habitat. Ook ten noorden van het Duitse eiland Borkum bevindt zich een gebied met stenen dat een kleine uitloper heeft op het NCP. In 2009 is het Nederlandse deel van de Borkumer Stenen met behulp van side-scan sonar onderzocht, waarbij is vastgesteld dat er inderdaad grind, stenen en keien aanwezig zijn, maar niet in die mate dat dit gebied als apart grindgebied is te typeren (Bos, IMARES, pers.com.). Nieuwe vormen van hard substraat zijn de platforms en windmolens.

Windmolenparken

Windmolenparken kenmerken zich door de harde structuren van de windmolens, de steenstort rond de molens, de draaiende wieken en door uitsluiting van ander menselijk gebruik in, en een zone rond, de parken en zullen daarom leiden tot een duidelijk te onderscheiden habitattypen. De harde substraten van de palen en de steenstort bieden mogelijkheden tot vestiging van organismen als mosselen, anemonen, algen en zeewieren, etc. Door de toegenomen habitatcomplexiteit ontstaan er ook nieuwe niches die ingevuld kunnen worden door additionele soorten. Als zich een rijke flora en fauna op palen en stenen heeft gevormd, trekt dit ook andere organismen zoals schaaldieren en vissen aan en ontstaat een gebied met een verhoogde biodiversiteit (soortenrijkdom). De dichtheid vissen nabij de paal (15-20 m) is bijvoorbeeld veel hoger dan erbuiten (Couperus *et al.* 2010). Het verschil met vroeger is dat de palen van de windmolens tot boven het wateroppervlak reiken en er nu dus over de volle waterkolom hard substraat aanwezig is waarop zich organismen kunnen vestigen.

Daarnaast is het windmolenpark voor minimaal 20 jaar gesloten voor de visserij. Beide al gerealiseerde windmolenparken en alle geplande parken liggen binnen het habitattypen geploegde zeebodem. Door het verbieden van de visserij in dat gebied kan de fauna zich van de visserijdruk herstellen zolang het park er staat. Concluderend, het habitattypen 'windmolenpark' wordt gekenmerkt door een sterk verhoogde biodiversiteit (soortenrijkdom), met een verhoging van zowel hardsubstraat soorten als van soorten in zandige gebieden die zich bij hoge visserijdruk niet kunnen handhaven. Wel werken de draaiende wieken sterk verstorend op vogelsoorten als jan-van-gent en zeekoet. Als men ecologische waarde hecht aan dit type habitat, waarbij afgezien van exoten, alle zich vestigende organismen kenmerkend van nature in dit gebied voorkomen, zou men kunnen overwegen om in plaats van vele kleine aparte windparken aan te leggen, deze te combineren in één of twee grote windparken, waardoor een aanzienlijk oppervlak van dit habitattypen kan ontstaan, wat door de tijdsfasering van de parken ook zo lang zou bestaan als er windenergie op zee wordt gewonnen (hele tekst overgenomen uit Lindeboom *et al.* 2008b).

Platforms

Platforms voor de winning van olie en gas vormen een hard substraat voor organismen zoals mosselen, algen, wieren en anemonen. Daarnaast is de zone met een straal van 500 m rond het platform een verboden visgebied en is hier dus geen sprake van een geploegde of geharkte zeebodem en kunnen zich soorten handhaven of vestigen die zich onder hoge visserijdruk niet kunnen handhaven in het zandige gebied. De ontwikkeling van dit habitatype is afhankelijk van de levensduur van het platform; als het platform wordt verwijderd verdwijnt ter plaatse ook dit habitatype.

Wrakken

Ook wrakken vormen een hard substraat en fungeren als vestigingsplaats voor organismen zoals mosselen, anemonen en dergelijke. Hierdoor vormen wrakken een onderscheidende habitat met een verhoogde biodiversiteit (soortenrijkdom) van hard substraat organismen en organismen die permanent in of vlakbij het wrak leven, bijvoorbeeld vissen, kreeften en krabben. Vroeger was de omgeving van een wrak ook redelijke gevrijwaard van getrokken vistuigen, omdat noch de positie van het wrak noch de positie van het vissersschip exact bekend was en vissers niet het gevaar wilden lopen op het wrak vast te lopen of hun netten te verliezen. Met de introductie van GPS en nieuwe sonartechnieken is het vissen vlakbij wrakken geen enkel probleem meer en is dit habitataspect verdwenen.

4 Benthos

Benthos of bodemfauna bestaat uit alle ongewervelde fauna (dus geen vissen) die op of in de zeebodem aanwezig is. Hieronder vallen een groot aantal taxonomische groepen, zoals wormen, schelpdieren, anemonen, zakpijpen, krabben, kreeften, mosdiertjes. Ook kan onderscheidt worden gemaakt op basis van ecologie, grootte en functie (Kröncke & Bergfeld 2003). Benthos wordt op verschillende manieren ingedeeld. Meio-, macrobenthos en megabenthos verwijzen naar verschillende groottefracties van het benthos, maar hun precieze afmetingen zijn niet strikt gedefinieerd. Met meiofauna wordt vaak fauna kleiner dan 0,5 of 1 mm bedoeld, met macrofauna groter dan 0,5 of 1 mm en met megafauna groter dan 1 cm (Kröncke & Bergfeld 2003). Met infauna en epifauna wordt aangeduid of het benthos in dan wel op de bodem leeft. Meestal is de epifauna de grotere fauna en dus megafauna. In dit document gaat het vooral over macrofauna en epifauna.

In dit hoofdstuk beschrijven we globaal waardoor de samenstelling van de benthosgemeenschap wordt bepaald. Eerst geven we een algemene beschrijving, daarna een specifieke beschrijving van patronen in de benthosgemeenschap op de schaal van de internationale Noordzee en het NCP.

4.1 Ruimtelijke patronen

Ruimtelijke patronen van bodemfauna hangen in de Noordzee sterk af van de schaal waarop ze worden bekeken. Er zijn patronen op de schaal van de internationale Noordzee zichtbaar, maar ook op die van de Nederlandse Noordzee, en op steeds kleinere schalen daarbinnen (Kröncke & Bergfeld 2003). In Figuur 37 is schematisch weergegeven hoe groot de invloed van elk van deze factoren is op de structuur van het benthos.

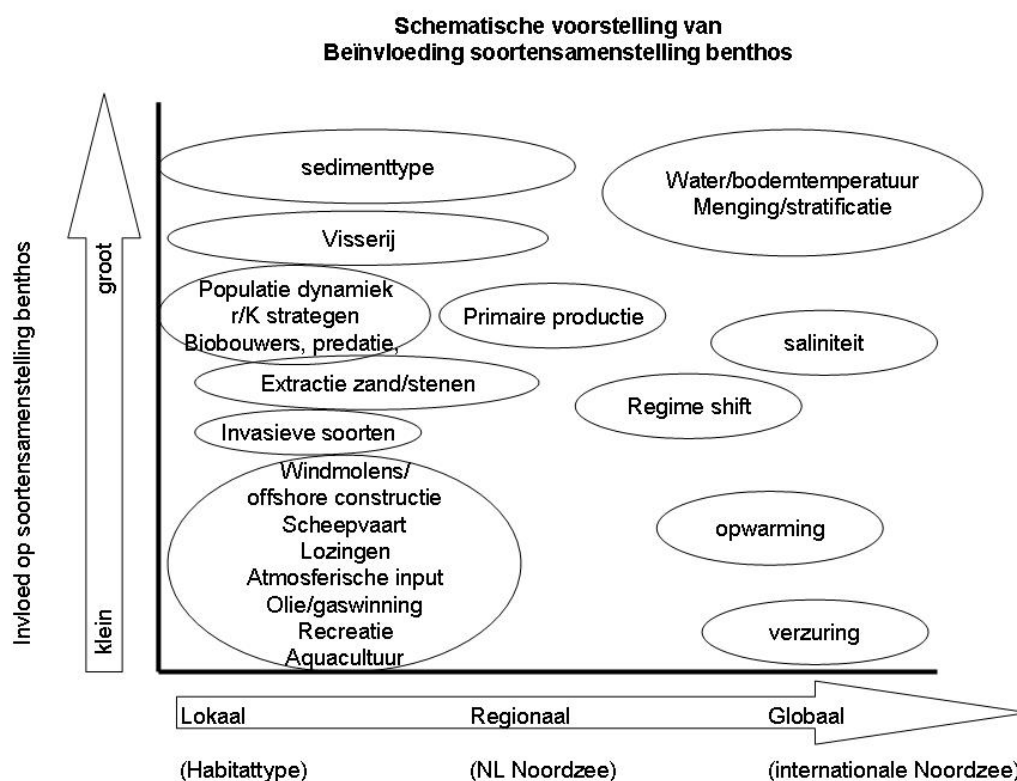
4.1.1 Ruimtelijke patronen onder invloed van natuurlijke factoren

Op de schaal van de internationale Noordzee spelen vooral hydrografische invloeden een belangrijke rol bij de structurering van de benthosgemeenschap: de temperatuur bij de bodem, de saliniteit van het zeewater bij de bodem, en de stress door getij. Stratificatie (paragraaf 2.2.5) is van invloed op de bodemtemperatuur en zorgt voor het onderscheid tussen de benthosgemeenschappen van de diepere (>50 m) en ondiepere delen van de Noordzee. Daarnaast heeft ook de oorsprong van de watermassa invloed op de benthossamenstelling (Atlantisch of via Kanaal). Grofweg zijn de volgende benthosgemeenschappen te onderscheiden op de schaal van de internationale Noordzee: een zuidelijke gemeenschap, een gemeenschap van het oostelijke Kanaal/zuidelijke kust en een noordelijke gemeenschap (dieper dan 50 m) (Reiss *et al.* 2010).

Op kleinere schaal hangt de ruimtelijke verspreiding van soorten sterk samen met de voorkeuren of mogelijkheden van een soort om zich op een bepaalde plek te vestigen. Patronen in soortensamenstelling hangen samen met het type aanwezige ondergrond (bijv. slib, zand, steen, riffen), de dynamiek van het systeem (stabiel of juist hoog dynamisch, wel of geen stratificatie), temperatuur (min, max; stabiel of variabel), voedseltoevoer (overvloedig/beperkend), structurende rol van soorten (bioturbatie, rifvorming), en interacties tussen soorten (competitie, predatie, ziektes).

4.1.2 Menselijke invloed

Naast natuurlijke factoren die van invloed zijn op de soortensamenstelling van benthos, heeft de mens ook een sterke invloed. Menselijke ingrepen veroorzaken verstoring en schade en veranderen daardoor het benthische ecosysteem in zijn faunacompositie en functioneren (Kröncke & Bergfeld 2003). Visserij bijvoorbeeld selecteert sterk op soorten die tegen visserij bestand zijn en op soorten die profiteren van de grote hoeveelheden dode vis en andere discards die overboord worden gegooid en dan als voedsel dienen voor bijvoorbeeld krabben en zeesterren. Effecten van visserij zijn in verschillende studies beschreven (Lindeboom & De Groot 1998, Thrush *et al.* 1998, Groenewold & Fonds 2000, Piet *et al.* 2000). Hetzelfde geldt voor de bodemfauna die zwaar beschadigd achterblijft in het spoor van de visnetten. Ook de introductie van vreemde soorten via ballastwater, aquacultuur, of andere oorzaken kan zorgen voor grote veranderingen. Voorbeelden zijn de introductie van de Japanse oester (*Crassostrea gigas*) en de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis americanus/directus*). In paragraaf 4.5 wordt verder op deze factoren ingegaan.



Figuur 37. Schematische voorstelling van de invloeden (y-as) van de verschillende menselijke en natuurlijke factoren (in ovals) op de soortensamenstelling van het benthos op verschillende schalen (x-as), van lokaal (meters tot kilometers) via regionaal (tientallen kilometers, Nederlandse Noordzee) tot globaal (100-den kilometers, internationale Noordzee). Het schema is niet gebaseerd op cijfers maar op expert judgement van de auteur en op de gegevens in dit achtergronddocument. Het vergelijken van dergelijk factoren blijft tot op zekere hoogte natte vinger werk (schema: O.G. Bos)

4.2 Benthos Internationale Noordzee

Op de schaal van de internationale Noordzee laten meio-, macro- en epifauna een verdeling in drie belangrijke zones zien: de zuidelijke, centrale en noordelijke Noordzee (Kröncke & Bergfeld 2003).

De *macrofauna* kan worden ingedeeld in noordelijke soorten (vanaf het noorden tot de noordelijke rand van de Doggersbank), zuidelijke soorten (vanaf het zuiden tot de 100 m dieptelijn) en een overlappingsgebied (de centrale Noordzee), vooral rond de 70 m dieptelijn. Diepte- en sedimentkarakteristieken zoals korrelgrootte en plantepigmentgehalte zijn de belangrijkste factoren die het gebied in verschillende zones verdelen. Van zuid naar noord neemt het individueel gewicht, dichtheid en diversiteit van macrofauna lineair toe en de biomassa per m² af (Kröncke & Bergfeld 2003). De resultaten van de gebiedsdekkende macrobenthos bemonsteringen van ICES (Figuur 39) komen overeen met dit patroon. Ruimtelijke trends in macrobenthos correleerden goed met één of meer omgevingsvariabelen (Rees *et al.* 2007). De meeste variatie in biologische eigenschappen van het Noordzee macrobenthos konden worden verklaard door omgevingsvariabelen. De diversiteit werd groter bij hogere breedtegraad en biomassa verhoogde met afnemende wintertemperatuur in februari. Er werd geen relatie tussen oppervlakte chlorofyl en biomassa gevonden (Rees *et al.* 2007).

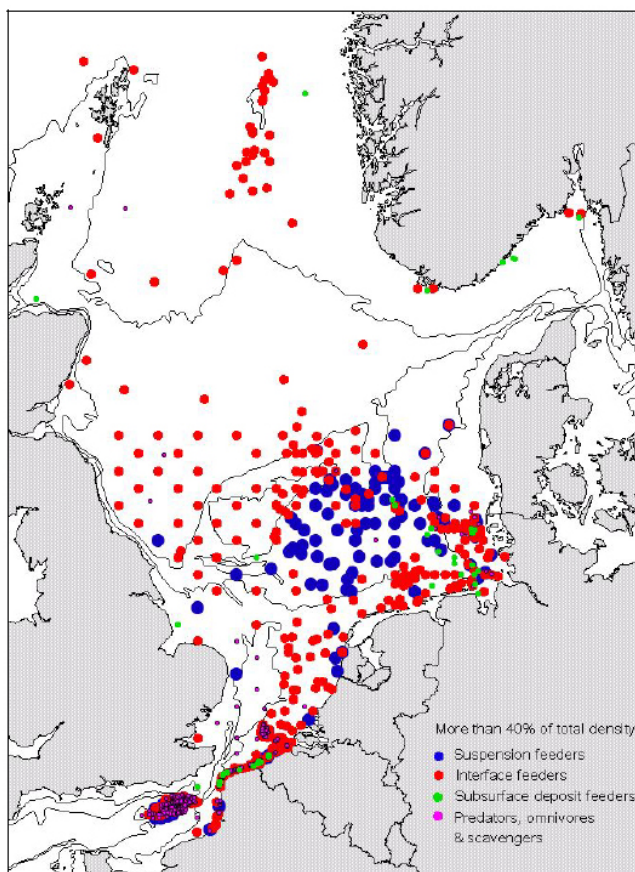
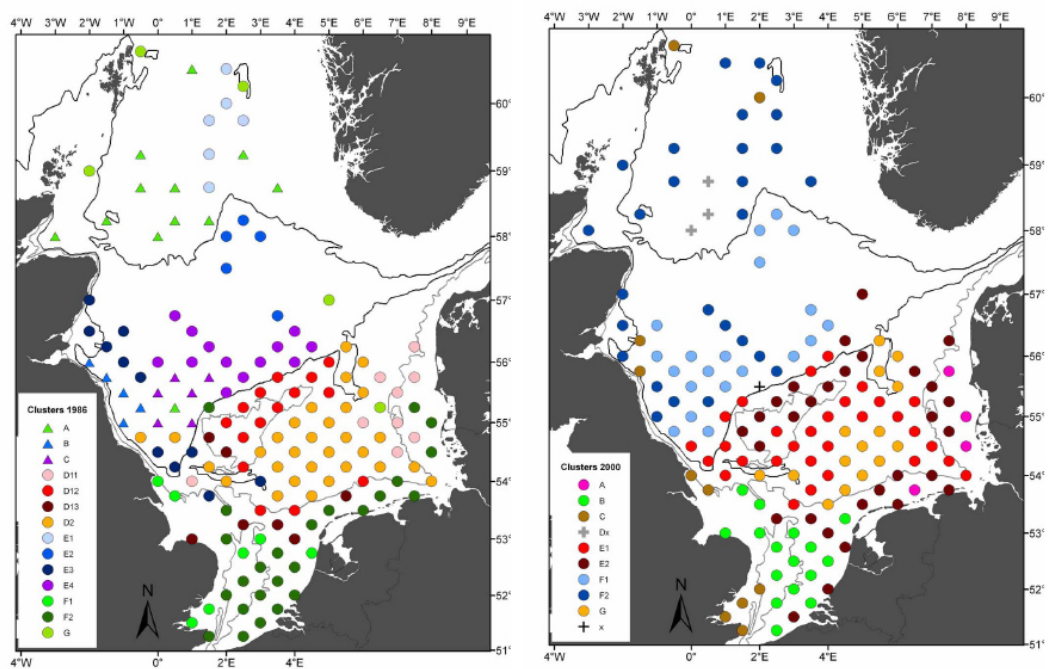
De *meiofauna* wordt in dit document niet behandeld, omdat hierover veel minder informatie beschikbaar is, en deze groep ook geen rol speelt in de toekomstscenario's.

De *epifauna* in de internationale Noordzee toont ook een duidelijke indeling in een noordelijke en een zuidelijke gemeenschap. De soortenrijkdom, de diversiteit en patronen in de epibenthos gemeenschap zijn sterk gecorreleerd met sedimentparameters, bodemtemperatuur en visserijinspanning. In Figuur 40 zijn de clusters ruimtelijk afgebeeld die zijn gebaseerd op een bemonstering met een 2-m boomkor (20 mm uitgestrekte maas), waarbij per monsterpunt circa 400 m² is bevestigd.

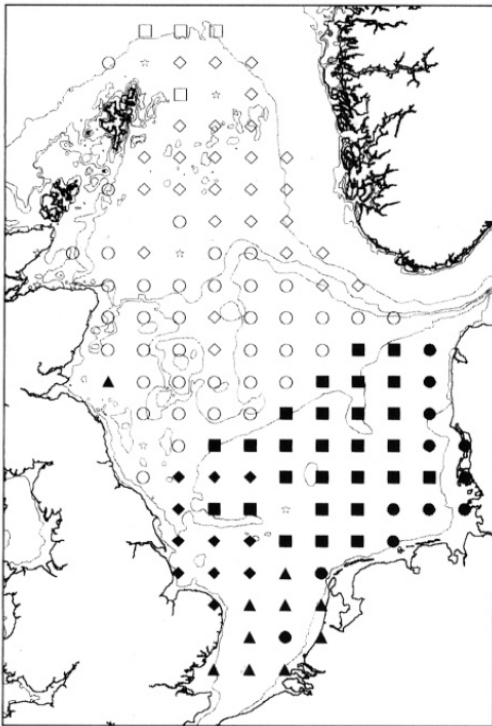
Monsters zijn vervolgens over een zeef van 5 mm gewassen (Callaway *et al.* 2002). In totaal zijn 456 epibenthische soorten aangetroffen (Figuur 41). Binnen de zuidelijke gemeenschap kan een viertal clusters worden onderscheiden, waarbij het onderscheid vooral gebaseerd is op de rijke sessiele fauna aan de Engelse kant, de hoge aantallen van verschillende soorten garnalen in het zuiden en algehele lage soortenrijkdom langs de continentale kust. Sommige soorten kwamen in alle clusters in de zuidelijke Noordzee veelvuldig voor: slangster *Ophiura ophiura*, zeester *Asturias rubens*, heremietkreeft *Pagurus bernhardus* en de gewone zwemkrab *Liocarcinus holsatus* (Figuur 38) (Callaway *et al.* 2002).



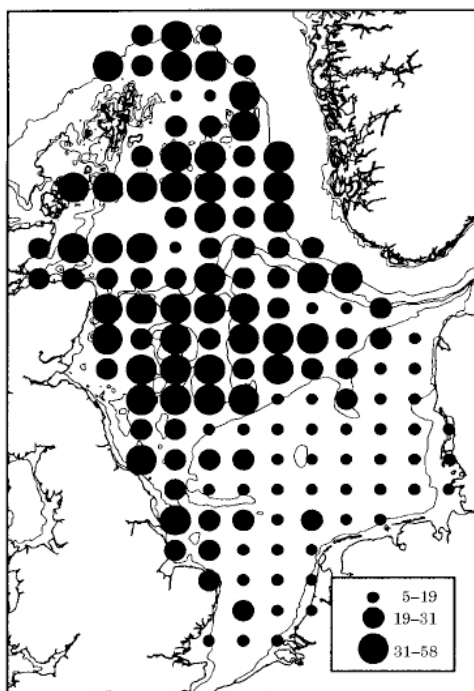
Figuur 38. Algemeen voorkomend epibenthos in de zuidelijke Noordzee: slangster *Ophiura ophiura*, zeester *Asturias rubens*, heremietkreeft *Pagurus bernhardus* en de gewone zwemkrab *Liocarcinus holsatus* (foto's IMARES, Oscar Bos)



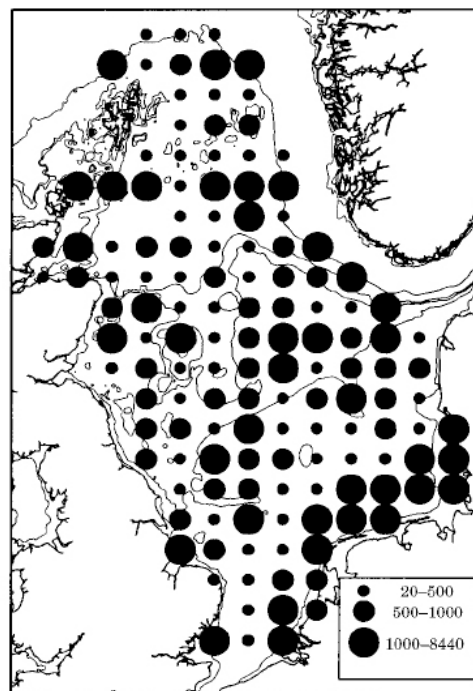
Figuur 39. Ruimtelijke verdeling van clusters (macrobenthos gemeenschappen) in 1986 (boven links) en 2000 (boven rechts), gebaseerd op vierdemachtswortel getransformeerde abundantiegegevens. Verspreiding van dominerende functionele voedselgroepen binnen het macrobenthos in 2000 (Rees et al. 2007)



Figuur 40. Locatie van epibenthos gemeenschappen in de Noordzee in 2000. De verschillende symbolen geven verschillende gemeenschappen weer (Callaway et al. 2002)



(a) Epibenthic species

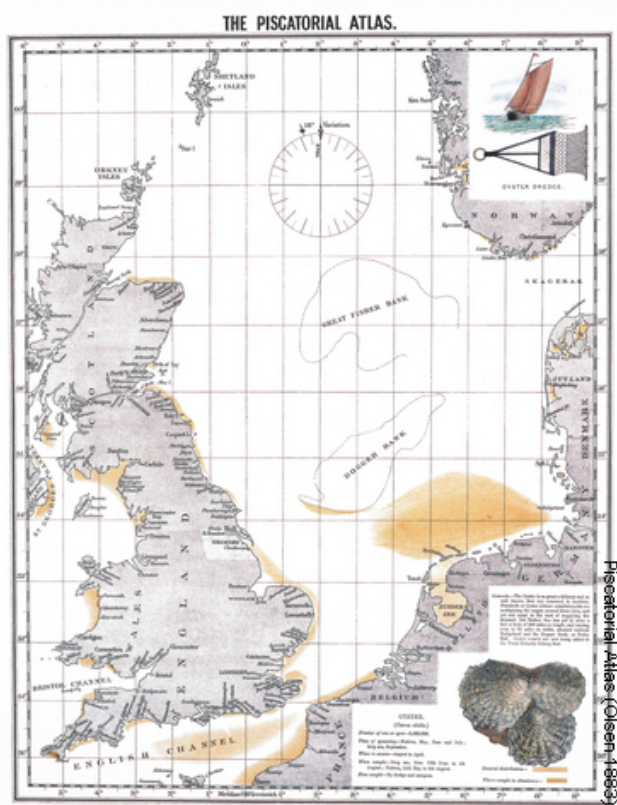


(b) Biomass epibenthic species

Figuur 41. Epibenthos. (a) Aantal soorten per trek (400 m^2) en (b) biomassa per trek (kg natgewicht) (Callaway et al. 2002)

4.3 Ontwikkeling en beïnvloeding benthos op het Nederlands Continentaal Plat (NCP) in de 20^e eeuw

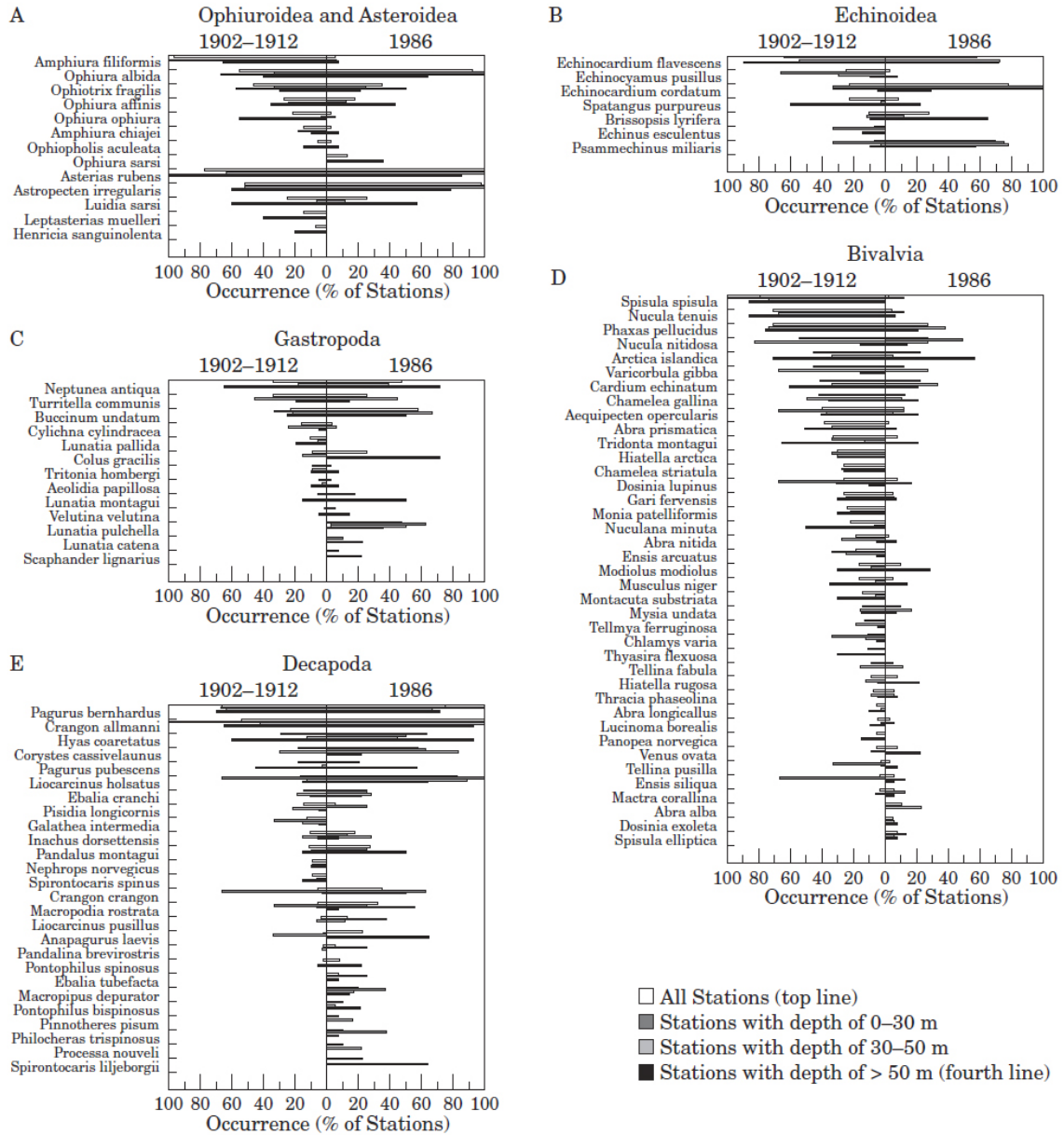
Hoe de Nederlandse Noordzee er vroeger precies heeft uitgezien, is niet bekend. Omdat er al eeuwen gevist wordt is het niet mogelijk om een nul-situatie of onbeïnvloede situatie te beschrijven. Wel is het mogelijk op basis van historische gegevens een beeld van de veranderingen te schetsen. Aan het eind van de 19^e eeuw was er waarschijnlijk een oppervlak van ca. 10 000 km² met oesterbanken bedekt bij en ten oosten van de Nederlandse Oestergronden (Olsen 1883) (Figuur 42). Ook was een grofveengebied aanwezig voor de Hollandse kust. Beide substraattypen waren waarschijnlijk begroeid met hard substraatorganismen (Lindeboom *et al.* 2008b). De oesterbanken zijn waarschijnlijk verdwenen door een combinatie van overbevissing, verandering van klimaat en zeestromen en visserij met stoomtrawlers (Lindeboom *et al.* 2008b).



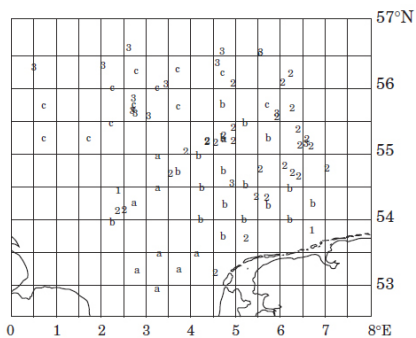
Figuur 42. Platte oesterbanken volgens Olsen (1883)

Na de Tweede Wereldoorlog nam de visserijdruk op het NCP sterk toe (Rijnsdorp *et al.* 2008), waarbij vooral boomkorvisserij vanaf de jaren zestig de bodem sterk heeft veranderd. Wanneer een boomkor een stuk zeebodem bevist, worden niet alleen doelsoorten zoals schol en tong gevangen, maar komt ook veel ondermaatse vis en benthos aan boord. In het spoor van de boomkor wordt verder 5 tot 40% van de gastropoden, zeesterren, kleine en middelgrote kreeftachtigen en annelide wormen direct gedood (Bergman & Van Santbrink 2000). Door deze voortdurende visserijdruk is het bodemecosysteem gewijzigd van een systeem met hoge biodiversiteit (soortenrijkdom) en relatief veel oudere exemplaren in een verarmd systeem met een onnatuurlijke leeftijdsopbouw (Lindeboom *et al.* 2008b).

In Figuur 43 en 44 zijn de verschillen weergegeven tussen de benthossamenstelling in 1902-1912 en 1986, gebaseerd op een combinatie van onderzoek van museumcollecties en veldwerk (Rumohr & Kujawski 2000). Hieruit komt duidelijk naar voren dat schelpdieren, die kwetsbaar zijn voor visserij, zijn afgenomen op het NCP en dat predatoren die profiteren van visserij, zoals zeesterren en krabben in aantal zijn toegenomen. Ook de Vooy *et al.* (1993, 2004) trekken de conclusie dat opportunistische soorten sterk zijn toegenomen onder invloed van visserij.



Figuur 43. Aanwezigheid van verschillende benthossoorten in zuidelijke Noordzee begin 20^e eeuw (1902-1912) en in 1986. (ruimtelijke schaal is min of meer het NCP, zie Figuur 44) (Rumohr & Kujawski 2000)



Figuur 44. Verspreiding bemonsteringsstations in 1902-1912 (1=<30m, 2=30-50 m, 3=>50 m) en 1986 (a=<30m, b=30-50 m, c=>50 m) (Rumohr & Kujawski 2000), waarop de grafieken in Figuur 43 zijn gebaseerd

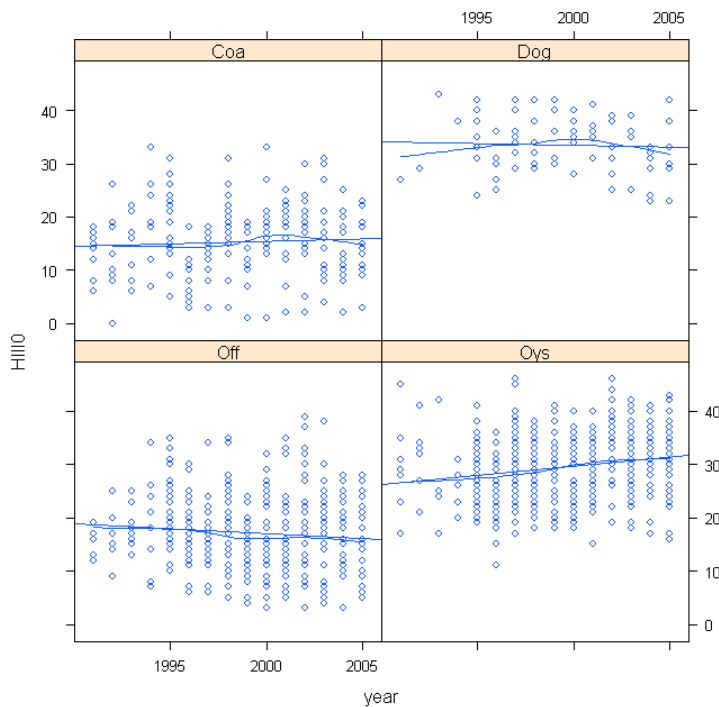
Een langjarig monitoringsprogramma van macrobenthos is het BIOMON-programma van het MWTL-programma. Benthos uit het BIOMON-programma over de periode 1985-1995 is samengevat in de bodemdierenatlas van Holtmann *et al.* (1996) en over de periode 1995-2005 in de Ecologische Atlas Noordzee (Lindeboom *et al.* 2008a). Deze gegevens laten vooral ruimtelijke patronen zien. Op de schaal van het NCP is een duidelijke onderverdeling van het macrobenthos in vier geografische clusters te maken (Daan & Mulder 2009): (1) de Doggersbank, (2) de Oestergronden, (3) het zuidelijke offshore gebied en (4) de kustzone. Op het niveau van de benthosgemeenschap waren in de periode 1991-2005 geen trends te onderscheiden. De soortenrijkdom was consistent het hoogst op de Doggersbank en in de Oestergronden, gemiddeld twee keer zo hoog als in de overige gebieden (Figuur 45). (Craeymeersch *et al.* 2008, Daan & Mulder 2009). Dit patroon is onder meer gerelateerd aan een hogere stabiliteit en een sterke invloed van Atlantisch water. De lagere diversiteit in de kustzone wordt verklaard door lagere saliniteit, hogere variabiliteit in klimatologische en hydrologische omstandigheden en verstoring door de mens zoals vervuiling en eutrofiering (Craeymeersch *et al.* 2008).

In de kustzone, waar relatief weinig soorten voorkomen, maar waar de biomassa per m² het grootst is, hebben in de afgelopen decennia duidelijke veranderingen plaats gevonden. Terwijl in de jaren negentig nog rijke *Spisula subtruncata* schelpdierbanken in de kustzone voorkwamen, is tegenwoordig de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus* / *Ensis americanus*) een van de dominante soorten en zijn de Spisulabanken voor het grootste gedeelte verdwenen (Figuur 46), mogelijk door visserij, maar dat is waarschijnlijk niet de enige oorzaak.

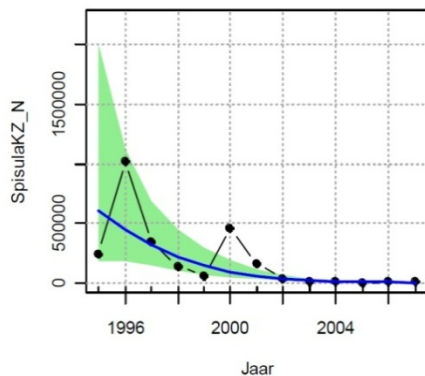
De schelpdiersurveys van IMARES laten zien dat de hoogste biomassa's worden gevonden in de kustzone. Dit komt door de aanwezigheid van schelpdierbanken van vooral *Ensis americanus* (Figuur 48), hoewel ook otterschelpen *Lutraria lutraria* sterk in opmars zijn, (Figuur 47). Over megabenthos komt kennis beschikbaar uit het project BSIK (NIOZ, Rob Witbaard), waarin de Nederlandse Noordzee bemonsterd is met een bodemschaaf, waarmee grotere bodemdieren worden gevangen. De resultaten zullen in de vorm van een atlas worden gepresenteerd. In Figuur 49 is de biodiversiteit (soortenrijkdom) weergegeven, die op basis van deze schaaftdata is samengesteld (Bos *et al.* 2011).

In het noordelijk deel van het NPC, ten noorden van het Friese Front, wordt de macrobenthosgemeenschap gekarakteriseerd door een hoge soortenrijkdom, een relatief groot aantal lang levende soorten (> 10 jaar) en 'grotere' macrobenthossoorten (>1 g asvrijdrooggewicht). Het megabenthos kent de grootste soortenrijkdom in de Oestergronden en het Friese Front, waarbij aangetekend moet worden dat gebrek aan data voor de Klaverbank geen data voor dat gebied konden worden gebruikt. Het zuidelijke deel van het NCP, onder de Bruine Bank, is relatief arm aan soorten, zowel wat macrobenthos als wat megabenthos betreft. De kustzone wordt gekenmerkt door een laag aantal soorten, maar een hoge biomassa (Figuur 49) (Bos *et al.* 2011).

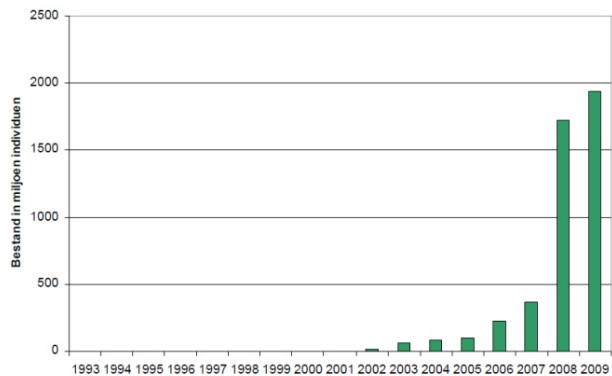
Wanneer in de toekomst beschermde gebieden worden ingesteld en wanneer daar decennia niet wordt gevisd, verwachten we in diepere stabiele delen van het NCP rijke gemeenschappen met o.a. langlevende en langzaam voortplantende soorten zoals de noordkromp. In gebieden met een grote natuurlijke dynamiek verwachten we een minder opvallend herstel. Op plekken waar visserij met dezelfde intensiteit en op dezelfde manier plaats blijft vinden zal de situatie niet veranderen en zullen opportunistische soorten het goed blijven doen. Omdat windmolenparken waarschijnlijk sterk in aantal zullen toenemen, zal het areaal met hardsubstraatsoorten gaan toenemen en daarmee waarschijnlijk ook de biodiversiteit (soortenrijkdom) (paragraaf 3.3). Hoe schelpdierbanken in de kustzone er over 30 jaar uitzien is niet te voorspellen. Dit is afhankelijk van bodemverstoring in de vorm van kustsuppleties, waterstromingen, voedselbeschikbaarheid, introductie van exoten, herintroducties (bijv. oesters) en andere factoren. Schelpdierbestanden fluctueren sterk in omvang.



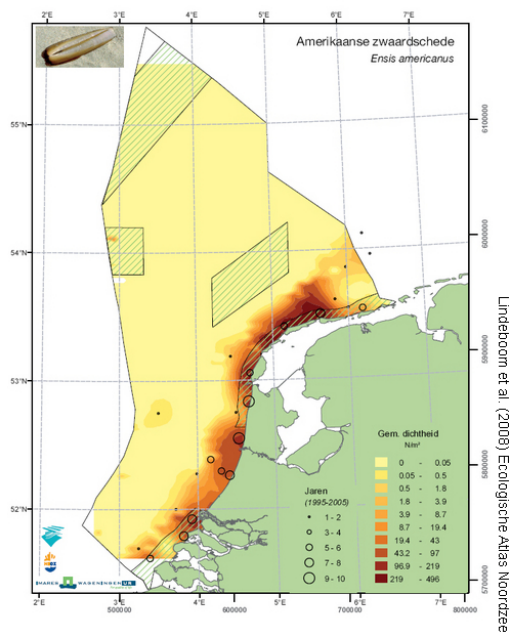
Figuur 45. Het aantal BIOMON-benthossoorten is vrij stabiel per deelgebied in de Noordzee (Craeymeersch et al. 2008)



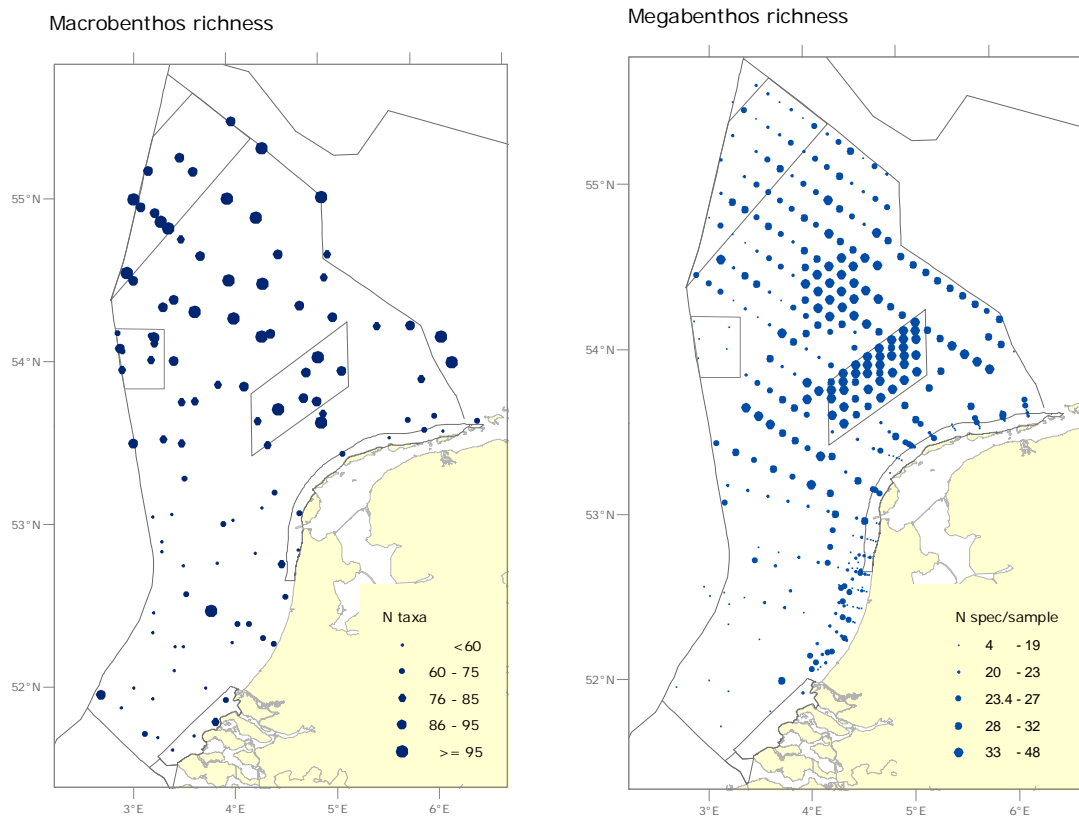
Figuur 46. Aantallen van Spisula in de kustzone (Meesters et al. 2009)



Figuur 47. Berekend bestand otterschelpen Lutraria lutraria 1993-2009 (Daan & Mulder 2009, Goudswaard et al. 2009)



Figuur 48. Verspreiding van Amerikaanse zwaardschede *Ensis americanus*/*Ensis directus* (Lindeboom et al. 2008a)



Figuur 49. Soortenrijkdom (aantal soorten) van macrobenthos (BIOMON 1985-2005) en megabenthos (Triple-D, eenmalig) (Bos et al. 2011). NB. In de rechterkaart zijn geen data van de Klaverbank opgenomen, want die waren niet vergelijkbaar

4.4 Autonome ontwikkelingen van het benthos (niet door de mens te beïnvloeden)

In de volgende paragrafen gaan we dieper in op de factoren die de structuur van het benthos kunnen beïnvloeden, waarna we in Tabel 4 en Tabel 5 een kort overzicht presenteren van de sterkte van elke factor. Eerst behandelen we de natuurlijke factoren en daarna de factoren waar de mens invloed op heeft en die dus via het beleid kunnen worden beïnvloed.

4.4.1 Populatiedynamiek

De meeste benthossoorten kennen een ingewikkelde en onvoorspelbare populatiedynamiek. Populaties verschillen enorm in grootte van jaar tot jaar, zonder dat duidelijk is aan te geven wat de sturende factoren zijn. Veel benthossoorten kennen een ingewikkelde levenscyclus, waarbij vaak sprake is van externe bevruchting en vrij zwemmende larven die uiteindelijk een geschikt substraat moeten vinden om zich te vestigen. Deze levensfasen spelen zich af in verschillende onderdelen van het ecosysteem (waterkolom, bodem). Tijdens verschillende fasen van de levenscyclus hebben daardoor ook verschillende processen invloed op groei en sterfte, zowel dichtheidsafhankelijke (bijv. concurrentie om ruimte of voedsel) als dichtheids onafhankelijke processen (bijv. lethale temperaturen). Vaak spelen een groot aantal factoren tegelijkertijd of achter elkaar een rol.

Voorbeeld: populatiedynamiek van schelpdieren

Schelpdieren produceren grote aantallen pelagische larven, die weken door het water zweven en dan een geschikt substraat moeten vinden om zich te kunnen vestigen en overleven. De larvale en juveniele sterfte is vaak hoog, tot meer dan 99% van ei tot volwassene. De aantallen larven die in het water zweven, kunnen enorm zijn: metingen bij Texel laten zien dat er zo'n 80-400 schelpdierlarven per liter (Bos *et al.* 2006) worden aangetroffen in het voorjaar en de zomermaanden (alle soorten samen). Aantallen schelpdierlarven zijn dus waarschijnlijk niet beperkend voor de populatiegroei. Andere factoren zoals voedselbeschikbaarheid, predatie, fysische processen en geschikt substraat zijn dat wel. Voor mossellarven (*Mytilus edulis*) is de aanwezigheid van geschikt hard substraat van belang. Zodra nieuw hard substraat beschikbaar is, zoals touwen in mosselzaadinstallaties (MZI's) zien we dat dit onmiddellijk met jonge mosselen begroeid raakt. Vervolgens is het wel of niet aanwezig zijn van een predator als garnalen of zeester (*Asterias rubens*) van belang voor het overleven van de kleine mosselen tot mosselzaad (Kamermans *et al.* 2009). Bij jonge nonnetjes (*Macoma balthica*) lijkt predatie door garnalen belangrijk te zijn (Bos *et al.* 2006). De populatiedynamiek kan slechts ten dele worden beïnvloed door de mens, door bijvoorbeeld het veranderen van de structuur van de soortengemeenschap (wegvissen van predatoren, wegvissen van de soort zelf), veranderen van areaal aan geschikt habitat (door aanleg van windparken, uitsluiten van visserij, of (in het verleden) kalkbestreken dakpannen), door veranderen van voedselbeschikbaarheid (nutriëntenbeschikbaarheid), vervuiling, etc.

r- en K-strategen

Hoe sterk een populatie kan groeien of herstellen hangt samen met de reproductieve capaciteit. Er zijn verschillen tussen r- en K-strategen. r-Strategen zijn soorten met korte levensduur die snel in dichtheid kunnen toenemen. Ze zijn vroeg geslachtsrijp, klein, hebben een hoge fecunditeit en produceren kleine eieren. Deze life-history strategie is kenmerkend voor soorten in variabele en onvoorspelbare omgevingen. K-strategen zijn soorten met een lange levensduur, een late geslachtsrijpheid en lage fecunditeit. Ze produceren een hoge kwaliteit nakomelingen (grote eieren). Deze life-history strategie past bij soorten in een constante of voorspelbare omgeving.

Verstorings zoals visserij zorgen ervoor dat r-strategen een voordeel hebben boven K-strategen (Ramirez-Llodra 2002). De naam r- en K-strategen werd bedacht door MacArthur & Wilson (1967) en slaat op de parameters r (groei) en K (draagkracht) in het model $dN/dt = r N(1-N/K)$.

4.4.2 Biobouwers

Biobouwers kunnen zorgen voor substraat dat als vestigingsplek voor diverse andere benthossoorten dient. In de Waddenzee en de Delta hebben mosselen en tegenwoordig ook de Japanse oester (*Crassostrea gigas*), een exoot, een grote invloed als biobouwer (paragraaf 4.4.4). In modderige substraten zoals op de Oestergronden kan de moddergarnaal *Callianassa subterranea* door het graven van complexe gangenstelsels zorgen voor een verandering van de omgeving. Bij het Friese Front aan de zuidelijke rand van de Oestergronden heeft een grootschalige verandering plaatsgevonden binnen een tijdsbestek van enkele jaren van een gemeenschap waarin de draadarmige slangster *Amphiura filiformis* in de jaren negentig domineerde naar een gemeenschap waarin *C. subterranea* domineerde rond 2000 (Amaro 2005), zonder dat er een duidelijk aanwijsbare oorzaak voor was (Van Nes *et al.* 2007).

4.4.3 Effect van klimaatverandering: opwarming van de zee

Benthossoorten kennen een bepaalde geografische verspreiding die onder andere wordt bepaald door de minimale en maximale temperaturen nodig voor overleving en voortplanting. Voor 'koudbloedige' soorten als de mossel (*Mytilus edulis*) en het nonnetje (*Macoma balthica*) zijn koude winters gunstig, zolang het niet te hard vriest, omdat ze dan gedurende de winter energie besparen en zo in het voorjaar meer energie voor de voortplanting overhouden. Opwarming van de zee kan betekenen dat ze tijdens de winter zelf meer energie moeten gebruiken voor het onderhoud en dan minder overhouden voor de reproductie. Zuidelijke soorten die aangepast zijn aan de warmere omstandigheden zijn dan in het voordeel (Beukema *et al.* 2009).

Opwarming van de zee kan ook zorgen voor vervroeging van het paaiseizoen bij temperatuur geïnduceerde voortplanting. Nonnetjes paaien bij zo'n 8°C (Philippart *et al.* 2003 en referenties daarin). Bij het nonnetje zorgen warmere winters voor een vroeger paaiseizoen, waardoor de larven mogelijk uit fase zijn met hun voedsel (fytoplankton) (Figuur 33) en daardoor langzamer groeien dan na koude winters. De juveniele nonnetjes vormen voedsel voor garnalen, die kleine schelpen boven grote schelpen prefereren (Philippart *et al.* 2003 en referenties daarin).

Bovendien trekken garnalen na warme winters eerder de Waddenzee binnen dan na koude winters. Zo zijn de juveniele nonnetjes na warme winters niet alleen door hun grootte een eenvoudiger prooi voor garnalen, maar worden ze ook blootgesteld aan een hogere predatiedruk van de garnalen (Philippart *et al.* 2003 en referenties daarin).

Bij de zeeklit (*Echinocardium cordatum*) is het effect precies andersom: op basis van waarnemingen met de Continuous Plankton Recorders wordt geconcludeerd dat warmere winters leiden tot een betere match tussen voedsel en larven, waardoor de zeeklit zich in de periode 1988-2002 over een groter gebied heeft kunnen verspreiden dan in de periode 1949-1987 (Kirby *et al.* 2007).

Verschillende auteurs verwachten in de toekomst een shift naar een meer diverse, warm water fauna als de trend van een stijgende zeewatertemperatuur doorgaat (zie referenties in Kröncke & Bergfeld 2003 (p 212))

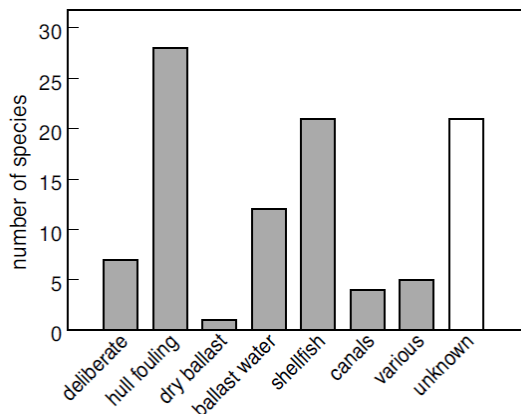
4.4.4 Exoten

In de Noordzee zijn tal van exoten aanwezig, maar wat wordt verstaan onder exoten en natuurlijk aanwezig soorten? Rond 18.000 jaar geleden lag de zeespiegel immers 100 m lager, waardoor vrijwel de gehele Noordzee droog lag. Pas na de laatste ijstijd is de huidige Noordzee ontstaan. Door het smelten van het ijs schoof de grens van de zee waarschijnlijk met maximaal enkele honderden meters per jaar op, een expansiesnelheid die door soorten aan de rand van de zee waarschijnlijk eenvoudig kon worden bijgehouden. Langzamerhand is de Noordzee toen bevolkt geraakt vanuit de omliggende wateren (Wolff 2005). Als natuurlijk aanwezige soorten beschouwen we daarom de soorten die zich sinds de IJstijd in de Noordzee hebben gevestigd zonder hulp van de mens (Figuur 50).



Figuur 50. Gebied van waaruit mariene organismen Nederland door natuurlijke verspreiding kunnen bereiken (Wolff 2005)

Exoten die niet van nature in de Noordzee horen, kunnen op verschillende manieren de Noordzee bereikt hebben: door transport via de sloopshuid (aangroei), door als zwevende larve in ballastwater mee te liften, met schelpdier importen, door kanalen die zeeën met elkaar verbinden, door introductie ten behoeve van aquacultuur, als geïmporteerd visvoer of door andere mechanismen zoals het legen van aquaria in de natuur. Langs de Noordzeekusten zijn sinds de Middeleeuwen op die manier meer dan 112 nieuwe soorten geïntroduceerd, waarvan het merendeel van buiten Europa (Figuur 51). Het oudste voorbeeld is de strandgaper *Mya arenaria* die mogelijk al voor de jaren 1245-1295 vanuit de VS in Europa is geïntroduceerd (Reise *et al.* 1998, Wolff 2005).



Figuur 51. Meest waarschijnlijk vectoren van transport naar Europa van in Nederland voorkomende exotische niet inheemse mariene en estuariene soorten (Wolff 2005)

In de Waddenzee en de Delta heeft in recente jaren de introductie van de Japanse oester (*Crassostrea gigas*) gezorgd voor een grote verandering in het ecosysteem. In 1966 werd oesterkwekers verteld dat de soort geen kwaad kon, omdat de temperatuur van het water toch te laag zou zijn voor voortplanting, maar dat bleek niet te kloppen. De soort is vooral succesvol omdat hij geen natuurlijke vijanden heeft en een biobouwer of *ecosystem engineer* is, die de omgeving naar z'n hand zet. De grote filtratiecapaciteit van de oesters heeft invloed op de hoeveelheid fytoplankton, waardoor voor zoöplankton en vis uiteindelijk minder voedsel beschikbaar is. Een ander effect in de Oosterschelde is dat grofweg 95% van de schelpdierlarven door oesters uit het water wordt gefiltreerd, waardoor de mosselstand mogelijk wordt beïnvloed. Aan de andere kant zorgt de Japanse oester voor de vorming van complexe rifstructuren die voor een grotere habitat heterogeniteit zorgen en daardoor voor een grotere plaatselijke biodiversiteit (Troost 2010).

In de kustzone is de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus* of *Ensis americanus*, Figuur 52) enorm toegenomen tot een bestand van tientallen miljarden individuen in Nederlandse wateren in de laatste 10 jaar. De soort komt van oorsprong uit de Verenigde Staten en is in 1979 in de Duitse bocht voor het eerst waargenomen (Wolff 2005). De Amerikaanse zwaardschede graaft zich in de bodem in en vormt daardoor geen rif waar andere soorten van profiteren. Kleine individuen dienen als vogelvoer. Eidereenden (*Somateria mollissima*) en scholeksters (*Haematopus ostralegus*) kunnen dichtheden van *Ensis* in de Waddenzee waarschijnlijk sterk beïnvloeden (Freudentahl *et al.* 2010).



Figuur 52. Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*)

4.4.5 Verzuring van de zee

De verandering in pH of wel verzuring van de zee (paragraaf 2.2.8) heeft mogelijk gevolgen voor het benthos. Het gevolg is dat benthos in de Noordzee te maken krijgt met verzuring waar schelpdieren en andere soorten met kalkhoudende skeletten last van zouden kunnen krijgen. Mosselen (*Mytilus edulis*) vertoonden verminderde calcificatiesnelheden (Hendriks *et al.* 2010). Een meta-analyse van experimentele verzuringsstudies laat zien dat soorten er in het algemeen mogelijk beter tegen kunnen dan gedacht. Het effect van verzuring lijkt uit proeven dus voorlopig mee te vallen en leidt op het eerste gezicht niet tot veranderde soortensamenstelling of biodiversiteit (soortenrijkdom) van benthos op het NCP binnen de periode van nu tot 2040.

4.4.6 Regime shifts

Omdat regime shifts lijken samen te hangen met grootschalige klimatologische processen, zoals temperatuur en meer of minder instroom van Atlantisch water in de Noordzee, zijn ze niet direct door de mens te beïnvloeden (zie Hoofdstuk 1).

4.5 Stuurbare ontwikkelingen van benthos (door de mens te beïnvloeden)

Door ICES worden de volgende menselijke activiteiten genoemd die potentieel invloed hebben op benthos in kustgebieden en open zee (Rees *et al.* 2007).

- Commerciële visserij/bodemvisserij;
- Olie- en gasexploitatie;
- Scheepvaart, inclusief olielozingen, ballastwater-introducties en vuillozingen;
- Kust/offshoreconstructie, inclusief windmolenparken (grote ontwikkelingen vooral sinds 2000);
- Baggeren/verwijderen ten behoeve van vaargeul/havenonderhoud en -ontwikkeling;
- Urbane/industriële lozingen naar estuariën en kustwateren;
- Atmosferische input, inclusief emissies uit landbouw en van motorvoertuigen;
- Klimatologische invloeden (voor zover ze door menselijke activiteiten worden beïnvloed);
- Landbouwactiviteiten/ nutriënteninvoer via afwatering;
- Aquacultuur;
- Extractie van zand en stenen;
- Kustrecreatie/toerisme/militaire oefengebieden;
- Natuurbeschermingsmaatregelen;

In de volgende paragrafen wordt voor de Noordzee per effect de kennis samengevat.

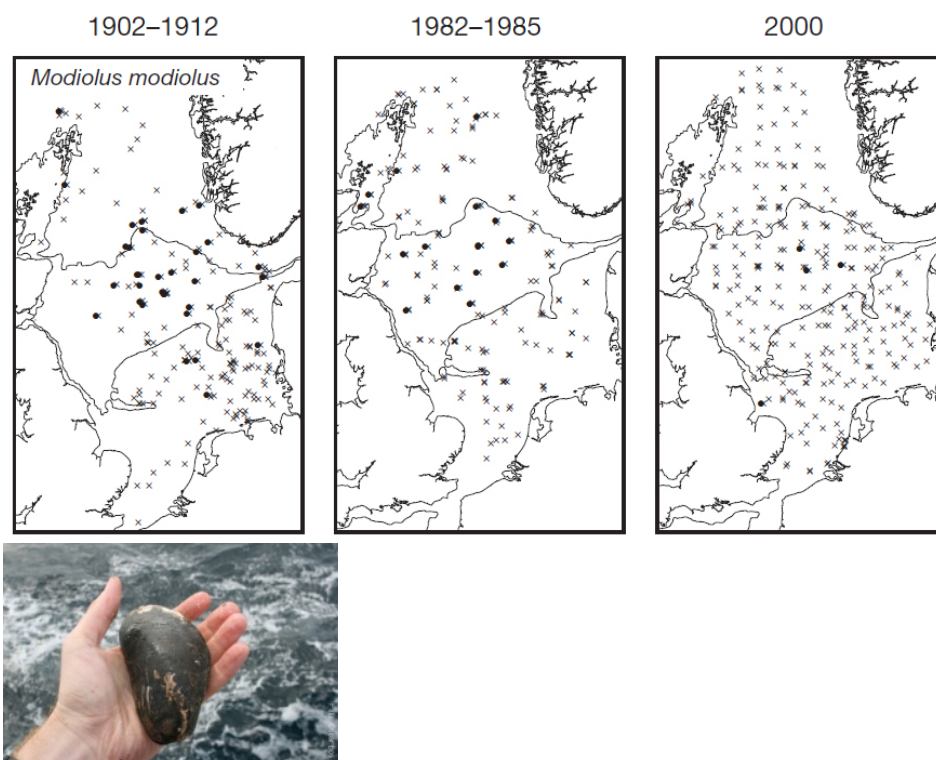
4.5.1 Boomkorvisserij

Hoewel er veel studies zijn uitgevoerd naar de invloed van boomkorvisserij op benthische gemeenschappen, is het effect van visserij niet altijd even duidelijk omdat benthische gemeenschappen grote natuurlijke temporele en ruimtelijke variatie vertonen. Verder is vergelijking met een oorspronkelijke situatie in de Noordzee niet mogelijk, omdat er al eeuwen in de Noordzee wordt gevisst en er geen ongestoorde referentiesituaties zijn die kunnen worden onderzocht (Robinson & Frid 2008). De potentiële invloed van boomkorvisserij hangt bovendien af van factoren zoals het bodemtype, de samenstelling van de benthische gemeenschap, en natuurlijke verstoring.



Figuur 53. Effect van boomkorvisserij (bron: Ecomare)

Boomkorvisserij zorgt voor een afvlakking van het natuurlijke bodemprofiel, waardoor bijvoorbeeld zandribbels en door bioturbatie gevormde hopen verdwijnen. De kettingen die over en door de bodem slepen zorgen ervoor dat kwetsbare soorten zoals hartegels en hydrozoa direct beschadigd raken en gedood worden, terwijl andere soorten zoals gastropoda en heremietkreeften ontsnappen of overleven (De Groot 1984). Een visualisering van de effecten is weergegeven in Figuur 53. Van de ca 20 g/m²/j secundaire productie in de zuidelijke Noordzee (Duineveld *et al.* 1991), komt na een enkele bevissing met een boomkor plaatselijk ca. 6-13% vrij voor aaseters en de detritus-voedselketen, waarmee boomkorvisserij de voedselketen versnelt en op die manier bijdraagt aan een verhoogde secundaire productie (Groenewold & Fonds 2000). Een substantieel deel van de productie van bodemdieren komt als voedselbron beschikbaar voor aaseters (o.a. vis) en het verdere voedselweb (Groenewold & Fonds 2000). De bodemvisserij zorgt zo voor een verandering van soortensamenstelling, populatie structuur, afname van dichtheden en het verdwijnen van kwetsbare soorten (Duineveld *et al.* 2007). Schelpdieren in de zuidelijke Noordzee (ongeveer het NCP gebied) zijn bijvoorbeeld sterk afgenomen (zie Figuur 43), terwijl aaseters en predatoren zoals kreeftachtigen, gastropoda en zeesterren zijn toegenomen (Rumohr & Kujawski 2000). Vergelijking van epibenthos bemonsterd in verschillende perioden (1902–1912, 1982–1985 en 2000) in de internationale Noordzee liet zien dat meestal de langlevende en langzaam groeiende soorten met kwetsbare schelpen of schalen ruimtelijk sterk zijn afgenomen, vooral in de centrale en zuidelijke Noordzee, terwijl een aantal andere soorten in verspreiding zijn toegenomen. Een voorbeeld van de afname van de paardemossel is geven in Figuur 54.



Figuur 54. Voorbeeld van ruimtelijke trends op de internationale Noordzee: Paardemossel (*Modiolus modiolus*) is afgenomen (Callaway *et al.* 2007)

Onbeviste gebieden

Een van de weinige gebieden zonder visserij zijn veiligheidszones van 500 m rondom offshore installaties, waar schepen om veiligheidsredenen niet mogen varen. Hier ontstaan 'beschermde' eilandjes. Het bodemleven rond het productieplatform L07A,

nabij het Friese Front, heeft zich zo 20 jaar lang ongestoord door visserij kunnen ontwikkelen, terwijl er omheen intensief werd gevist. In 2004 zijn rondom het platform de beviste en onbeviste gebieden vergeleken om de langetermijneffecten van boomkorvisserij op de diversiteit en samenstelling van de bodemgemeenschap in de zuidelijke Noordzee in kaart te brengen (Duineveld *et al.* 2007).

De verschillen waren duidelijk. Opvallend in het onbeviste gebied waren de hogere dichtheden kwetsbare schelpensoorten, zowel langlevende soorten (noordkromp *Arctica islandica*, bolle papierschelp *Thracia convexa* en gedoornde hartschelp *Cardium echinatum*) als korter levende soorten (glanzende dunschaal *Abra nitida* en sabelschede *Cultellus pellucidus*). Ook waren de dichtheden van diep gravende garnalen en kreeftjes (*Callinassa subterranea*, *Upogebia deltaura*) hoger. De gravende kreeftjes hebben een groot effect op bodemstructuur, bodemchemie, mineralisatie en op de verspreidingspatronen van andere soorten bodemdieren.

De bemonstering van de bodemgemeenschap liet verder zien dat er in het onbeviste gebied meer soorten aanwezig waren en dat er een hogere biodiversiteit (soortenrijkdom) was. Uit dit onderzoek is af te leiden dat de boomkorvisserij niet alleen leidt tot effecten op soortsniveau maar ook op ecosystemniveau (Duineveld *et al.* 2007).

4.5.2 Olie- en gasexploitatie

Sinds de jaren zestig van de vorige eeuw wordt olie en gas geëxploiteerd in de Noordzee (Figuur 55). Tot 1993 werd oliehoudend boorgruis en boorspoeling geloosd bij de boorinstallaties (Daan & Mulder 1996). Tegenwoordig wordt de boorspoeling enkele malen hergebruikt en vervolgens als afval afgevoerd. Ook boorgruis wordt als afval afgevoerd. Vervuiling door lozing van boorgruis en boorspoeling heeft vooral lokaal een invloed op het benthos. Verschillende studies laten zien dat benthos vaak op dezelfde manier reageert (Kröncke & Bergfeld 2003). Dicht bij de bron van vervuiling komen hoge dichtheden voor van slechts een paar soorten (organisch verrijkingseffect) of een gereduceerd aantal individuen van een beperkt aantal soorten (smothering of toxisch effect). De diversiteit en soortenrijkdom zijn laag in de directe nabijheid van de installatie en zijn na circa 2 km weer op normaal niveau.



Figuur 55. Productieplatform op de Noordzee

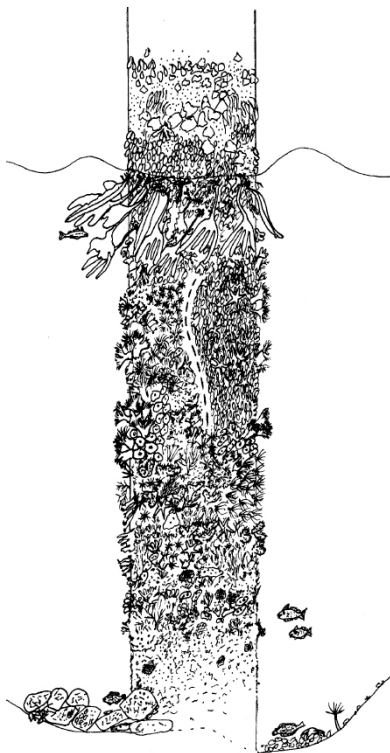
De veranderingen in de benthosgemeenschap zijn meestal gerelateerd aan de totale hoeveelheid koolwaterstof, barium en strontium in het sediment, maar ook aan zware metalen (Kröncke & Bergfeld 2003). Soorten die het meest tolerant zijn voor vervuiling zijn de polychaete wormen *Capitella capitata*, *Chaetozone setosa* en *Ciratullus cirratus* en de tweekleppige *Thyasira sarsi* (Kröncke & Bergfeld 2003). Na het stoppen van lozingen kan het meer dan acht jaar duren voordat de oude situatie weer hersteld is, afhankelijk van de afstand tot de vervuilingbron (Daan & Mulder 1996). Hoe het anno 2011 is gesteld met het vervuilingseffect bij boorinstallaties is niet bekend. Naar verwachting neemt het vervuilingseffect in de toekomst af omdat lozingen sinds 1993 verboden zijn.

4.5.3 Scheepvaart, inclusief olielozingen, ballastwater-introducties en vuillozingen

Olielozingen door de scheepvaart en door andere bronnen zijn sinds de jaren '50 afgenomen. Tellingen van op het strand gevonden dode vogels laten zien dat vanaf begin jaren zestig tot 2009 het percentage olievogels grofweg is gehalveerd (Camphuysen 2010). Ballastwaterintroducties zijn hierboven behandeld (zie paragraaf 4.4.4 'Exoten').

4.5.4 Kust/offshoreconstructie, inclusief windmolenparken (grote ontwikkelingen vooral sinds 2000)

Het voornaamste effect van windmolenparken is dat er nieuw hard substraat wordt aangeboden in de vorm van palen en steenstort rondom de palen, zodat typische hard substraatsoorten zich er gaan vestigen. Verder is visserij in verband met de veiligheid in een straal van 500 m rondom windmolenparken uitgesloten.



Figuur 57. Zonering van aangroei op windmolen-palen. Schema van Hiscock et al. (2002)



Figuur 56. Windmolenpark voor de kust van Egmond (foto IMARES, Steve Geelhoed)

In de aangroei op Britse windmolenpalen kunnen drie zones (van boven naar beneden) worden onderscheiden (Bessell 2008):

- De zeepokken zone;
- De infralitorale mossel *Mytilus edulis* zone;
- De zeeanjelier (*Metridium senile*) fouling communities.

Een iets andere zonering wordt gegeven door Hiscock *et al.* (2002), waarin rond de waterlijn een kelpzone aanwezig is en als alternatief voor de mosselzone ook een anemoonzone aanwezig kan zijn (Figuur 57).

In Nederland is ook een dergelijk patroon aanwezig. In 2008 is in het OWEZ (Offshore Windfarm Egmond aan Zee; Figuur 57) de epifaunasamenstelling bepaald van een paar windmolenpalen. Ook hier domineren mosselen (*Mytilus edulis*) in de bovenste 10 meter vanaf het wateroppervlak (Bouma & Lengkeek 2009). De tweede zone vanaf 10 m wordt gedomineerd door de amfipode *Jassa sp.*, de zeeanjelier en een aantal andere anemoonsoorten, en de gorgelpijppoliep *Tubularia larynx*. In totaal werden op palen 30 soorten aangetroffen, en 11 tot 17 soorten op de steenstort rondom de palen. Elke paal heeft grofweg een oppervlakte van 250 m². De steenstort heeft een diameter van circa 25 m (oppervlakte dus circa 490 m²). Predatoren zoals zeesterren foerageren onder meer op mosselen die van de palen afvallen. Deze nieuwe hard substraat gemeenschappen vormen een voedselbron voor kabeljauw (*Gadus morhua*) en steenbolk (*Trisopterus luscus*). De aangroei op palen in het Deense windmolenpark Horn's Rev lijkt op de Nederlandse, met dien verstande dat er nog een extra algenzone aanwezig is vlakbij het oppervlak (Bouma & Lengkeek 2009). Bij Belgische windparken is per windmolen met een betonnen fundering circa 650 m² beschikbaar voor sublitorale organismen en 90 m² voor litorale organismen. Bij de windmolens op de Thorntonbank werden 3,5 maand na plaatsing van de molens al 49 verschillende soorten aangetroffen, waarvan 44 soorten evertibraten (Kerckhof *et al.* 2009).

4.5.5 Baggeren/verwijderen ten behoeve van vaargeul/haven- onderhoud en -ontwikkeling

Om de havens van Antwerpen en Rotterdam bereikbaar te houden, wordt in de Westerschelde en in de Nieuwe Waterweg gebaggerd. Lokaal is de invloed op het benthos groot, maar voor het Noordzeebenthos hebben dergelijke activiteiten waarschijnlijk geen invloed, omdat het opgewoelde slib waarschijnlijk niet langs de hele kuststrook wordt verspreid.

4.5.6 Urbane/industriële lozingen naar estuariën en kustwateren

Bodemdieren nemen zware metalen op uit het sediment tijdens het foerageren. Via de voedselketen treedt er een verrijkingseffect op dat doorloopt tot toppredatoren aan het eind van de voedselketen. In tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht zijn concentraties zware metalen vaak hoger in individuen uit de centrale Noordzee dan uit de kustzone. Dit komt omdat zware metalen vooral aan kleideeltjes binden, die bij voorkeur door benthische organismen worden gegeten. Gebieden met een relatief lage kleifractie (<0,063 mm) zoals de zandige Doggersbank bevatten per kleideeltje daarom meer zware metalen dan gebieden met een grotere fractie klei zoals in de Duitse Bocht. Zware metalen zorgen voor een gereduceerde fitness van dieren die tot uiting komt in een lage vruchtbaarheid, lage groeisnelheden en veranderd gedrag. Zware metalen kunnen ook dodelijk zijn.

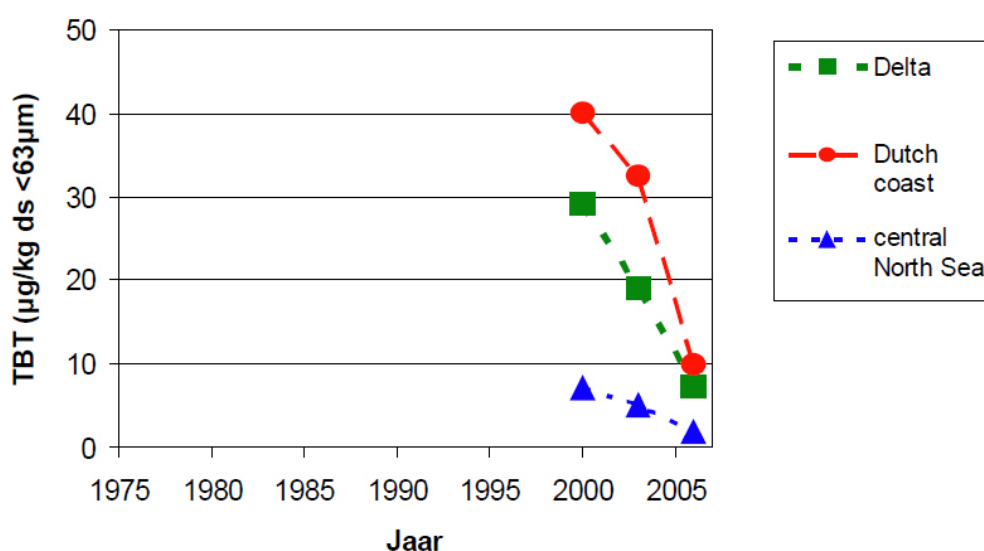
Trend: de concentraties in het oppervlakesediment van de Nederlandse kustzone van de meeste metalen zijn sterk gedaald sinds 1980 (Tabel 3). Na 2000 zijn concentraties nog maar zeer langzaam afgenomen. Het gebied met de hoogste concentraties is langs

de Hollandse kust, de laagste concentraties worden 50-70 km uit de kust gevonden (Hegeman & Laane 2008).

Organische stoffen. De bekendste stof is TBT die als aangroei werende verf (antifouling) op schepen werd gebruikt tot en met 2008. De stof veroorzaakte imposex, het verschijnsel waarbij vrouwelijke slakachtigen zoals de wulk mannelijke geslachtskenmerken kregen en zich niet meer konden voortplanten (Mensink 1999). De concentratie TBT is sinds 2000 sterk gedaald (Figuur 58). PCB's en in mindere mate PAK's zijn afgenomen sinds de jaren tachtig van de vorige eeuw (Tabel 3). In het algemeen hebben ze effect op de fysiologie en biochemie van organismen. In dit achtergronddocument worden de effecten van deze stoffen echter niet verder behandeld.

Tabel 3. Percentage afname in de mediaan concentratie van metalen (Cd, Cu, Zn, Cr, Hg, Ni en As) en organische stoffen (PCB, somPAK, HCB, TBT) in het oppervlakte sediment (fractie < 63µm) van de Hollandse Kust in de periode 1981 – 2006 (Hegeman & Laane 2008)

	Afname (%)	Referentiejaar
Cadmium (Cd)	81	1981
Koper (Cu)	52	1981
Zink (Zn)	47	1981
Lood (Pb)	51	1981
Chroom (Cr)	48	1981
Kwik (Hg)	73	1981
Nikkel (Ni)	26	1981
Arseen (As)	40	1981
PCB (som 7)	80	1986
somPAK (som 6 Borneff)	55	1986
HCB	86	1986
TBT	75	2000



Figuur 58. Concentratie Tributyltin (TBT) in oppervlaktesediment (fractie < 63 micrometer) in drie deelgebieden van het NCP (mediaan) (Hegeman & Laane 2008)

4.5.7 Atmosferische input, inclusief emissies uit landbouw en van motorvoertuigen

De effecten van atmosferische input op benthos zijn in dit document niet onderzocht.

4.5.8 Klimatologische invloeden (voor zover ze door menselijke activiteiten worden beïnvloed)

Klimatologische invloeden zijn beschreven in paragraaf 2.5.

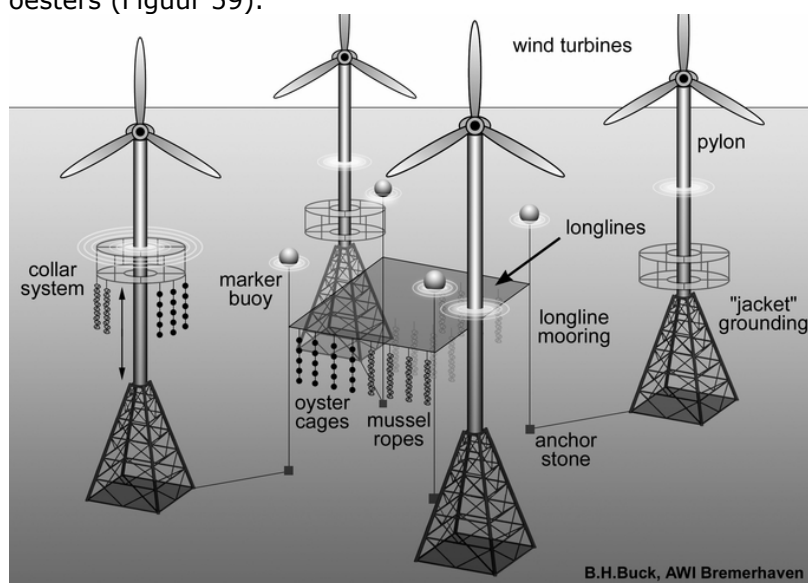
4.5.9 Landbouwactiviteiten/ nutriënteninvoer via afwatering

Eutrofiëring van het mariene milieu kan leiden tot sterke toename van benthische biomassa. Door de toename van limiterend nutriënten, voornamelijk stikstof (N) en fosfor (P), kan er eutrofiëring optreden, waardoor de primaire productie hoger wordt en daarmee de hoeveelheid organisch materiaal in de waterkolom en op de bodem toeneemt. De benthische biomassa kan vervolgens toenemen, maar een teveel aan organisch materiaal kan door mineralisatie ook tot zuurstofgebrek en zelfs zuurstofloosheid leiden, waardoor bodemdieren massaal kunnen sterven (Kröncke & Bergfeld 2003). In de Nederlandse Noordzee is nu juist het omgekeerde aan de hand. De eutrofiëring neemt af waarbij P sneller daalt dan N waardoor de N:P ratio verandert. Er zijn aanwijzingen dat deze daling in de kustzone en westelijke Waddenzee tot een afname van draagkracht en dus lagere biomassa's leidt.

4.5.10 Aquacultuur

Op dit moment vindt er (nog) geen aquacultuur plaats in de Nederlandse Noordzee, maar er zijn wel Mosselzaadinvanginstallaties (MZIs) aanwezig in het Waddengebied en in de Delta. De effecten van mosselzaadinvanginstallaties (MZIs) op benthos in de Voor-delta zouden kunnen zijn dat er organisch materiaal (pseudofaeces) accumuleert in de bodem, dat weer vrij zou kunnen komen en in periodes met nutriënttekorten de primaire productie zou kunnen stimuleren. In de Waddenzee werd geconstateerd dat bodemfauna door organische verrijking in het centrum van een MZI-installatie armer kan zijn dan erbuiten, i.e. meer wormen en een kleinere soortenrijkdom (Scholten *et al.* 2007).

Toekomstige windmolenparken bieden mogelijkheden voor maricultuur van mosselen en oesters (Figuur 59).



Figuur 59. Mogelijkheden voor schelpdiercultures in windmolenparken (http://www.awi.de/en/research/new_technologies/marine_aquaculture_maritime_technologies_and_iczm/)

4.5.11 Extractie van zand en stenen

Extractie van zand komt vooral voor in het Nederlandse en van stenen in het Britse deel van de Noordzee (Figuur 60). Door het verwijderen van substraat en het vervolgens op andere locatie te deponeren, veranderen de sedimentsamenstelling, morfologie, en topografie van de zeebodem. De infauna en epifauna worden daarbij sterk verstoord. Over het algemeen gesproken is de fauna van estuariene modderige gebieden aangepast aan sterke verstoring. De bodemfauna bestaat uit opportunistische soorten die na een verstoring de bodem snel koloniseren. In de meer zanderige en grindachtige bodems duurt het langer voordat herstel optreedt. Afhankelijk van de natuurlijke dynamiek duurt het minimaal twee tot drie jaar voordat de benthische gemeenschap hersteld is en langer als zeldzame langzaam groeiende componenten in de gemeenschap aanwezig waren. Bij rifstructuren zoals Sabellaria riffen zijn hersteltijden van vijf tot tien jaar realistisch (Kröncke & Bergfeld 2003).



Figuur 60. Zandsuppletie bij Texel (foto Hans Verdaat)

Neveneffecten van zand- en steenextractie zijn remobilisatie en vrijkomen van vervuilende stoffen, nutriënten en organisch materiaal, verminderd voedselaanbod voor vissen, vernietiging of verstoring van paaiplaatsen voor vissen en vermindering van visserij door een veranderde topografie van de zeebodem. Omdat de meeste studies van korte duur zijn, is het effect van verstoring op lange termijn vaak niet bekend (Kröncke & Bergfeld 2003).

Sinds 1974 is circa 450 miljoen m³ zand gewonnen op het NCP, waarvan 175 miljoen m³ uit de vaargeulen. Dit komt overeen met een totaal oppervlak van 119 km², uitgaande van een winningsdiepte van 2 meter. Jaarlijks wordt ongeveer 25 miljoen m³ zand gewonnen, waarvan de helft voor gebruik op land en de andere helft voor kustverdediging. Zandwinning vindt in het algemeen plaats buiten de 20 meter dieptelijn, tot een diepte van 2 meter.

Wanneer de plannen van de Deltacommissie worden uitgevoerd neemt de hoeveelheid suppletiezand toe van 12 miljoen m³ tot 85 miljoen m³ per jaar. Voor de aanleg Maasvlakte 2 wordt 300 miljoen m³ zand gewonnen. Voor de winning (13-20 meter diep) wordt circa 15 km² zeebodem gebruikt. Als compensatie voor de bouw van tweede Maasvlakte wordt in een deel van de Voordelta de bodemfauna extra beschermd. In het project 'Building with Nature' wordt onderzocht hoe zandwinning ecologisch zo verantwoord mogelijk kan plaatsvinden.

De Klaverbank was van 1987 tot 2001 in beeld als locatie voor de winning van grind (Van Moorsel 2003), maar in 2003 is afgezien van de winning, omdat de hoeveelheid winbaar grind te gering was.

4.5.12 Kustrecreatie/toerisme/militaire oefengebieden

Bodemdieren ondervinden waarschijnlijk geen specifieke effecten van kustrecreatie of toerisme. Militaire oefengebieden op zee zorgen waarschijnlijk voor lokale vervuiling door het afschieten van zware metaal houdende munitie, maar effecten daarvan zijn niet onderzocht in dit achtergronddocument.

4.5.13 Natuurbeschermingsmaatregelen

Door gebieden voor visserij te sluiten kunnen individuen ouder worden en zal een natuurlijkere leeftijdsopbouw ontstaan. Kwetsbare en langlevende soorten krijgen een kans om ongestoord te groeien. In de Nederlandse Noordzee zijn dergelijke gebieden er nog niet. Er is wel de scholbox, maar hoewel zware boomkorvisserij daar niet mag, zijn eurokotters (<300pk) en garnalenvisserij er wel toegestaan. Ook het bodembeschermingsgebied in de Voordelta is al een aantal jaar van kracht, alleen ook hier mag wel (in beperkte mate) garnalenvisserij plaatsvinden.

4.6 Samenvatting effecten

In Tabel 4 en Tabel 5 zijn de effecten die in de voorgaande paragrafen zijn beschreven samengevat.

Tabel 4. Overzicht autonome invloeden op benthos en trend per ontwikkeling

Autonome ontwikkelingen			
Natuurlijke processen	Zorgen voor veranderingen in	Trends	Aangetoonde effecten (met referentie) en potentiële effecten (geen referenties gevonden)
1. Fysische processen in de waterkolom	<u>Stroming</u> : stroomsnelheid, bodemdynamiek, transport van sediment, larven <u>Golven</u> : bodemdynamiek, stratificatie <u>Temperatuur</u> : stratificatie, groeisnelheid <u>Saliniteit</u> : <u>Fronten</u> : opwelling, voedselbeschikbaarheid <u>Wind</u> : waterstromen, golven en stratificatie <u>Neerslag</u> : saliniteit, nutriënten <u>Waterdiepte</u>	<u>Temperatuur</u> : toename; soms grotere sprongen in temperatuur <u>Wind</u> : variabel <u>Neerslag</u> : seizoengebonden toename	<u>Fysische effecten algemeen</u> : veroorzaken een (natuurlijke) variatie in soortensamenstelling, soorten-rijkdom en biomassa (Lavaleye, 2000; Craeymeersch <i>et al.</i> 2008) <u>Stroming</u> : bepalend voor verspreiding van soorten (eieren, larven) <u>Golven</u> : zorgen voor dynamische bodemstructuur die geschikt is voor een beperkt aantal soorten <u>Temperatuur</u> : bepalend voor voortplantingsmogelijkheden van benthos. <u>Fronten</u> : leiden tot extra voedselproductie voor benthos <u>Wind</u> : kan leiden tot andere voedselstromen
2. Fysische processen op de bodem	<u>Sedimentatie</u> <u>Korrelgrootte</u> <u>Hard/zacht substraat</u> <u>Slibpercentage</u>	Stabiel	<u>Sedimentsamenstelling</u> sterke invloed op soortensamenstelling (Lavaleye 2000; Craeymeersch <i>et al.</i> 2008). Benthosgemeenschappen correleren met sedimenteigenschappen

Autonome ontwikkelingen			
Natuurlijke processen	Zorgen voor veranderingen in	Trends	Aangetoonde effecten (met referentie) en potentiële effecten (geen referenties gevonden)
3. Biologische processen	<u>Primaire productie</u> <u>Voedselweb</u> : predatie, competitie <u>Regime shifts</u> <u>Populatiedynamiek</u> <u>Habitatbouwers</u> (ecosysteem engineers)	Deze processen zijn sterk dynamisch	<u>Primaire productie</u> : heeft invloed op productie benthos (Philippart <i>et al.</i> 2007a) <u>Voedselweb</u> : samenstelling is veranderd (zie visserij) <u>Regime shifts</u> : verschuiving van soortensamenstelling (Weijerman <i>et al.</i> 2005) shifts kunnen door meerdere drivers veroorzaakt worden, o.a. klimaat of zeestromingen <u>Populatiedynamiek</u> : natuurlijke veranderingen zijn slecht voorspelbaar <u>Ecosysteem engineers</u> : beïnvloeding van bodemstructuur door benthos, biotoopvorming: bepaalde soorten kunnen de bodemstructuur veranderen en daardoor geschikt maken voor andere soorten of soorten juist uitsluiten (bioturbatie, rifvorming); bijv. oester/mosselbanken vormen sub-sstraat voor andere soorten (Troost, 2010) en de Moddergarnaal <i>Callianassa subterranea</i> graaft gangenstelsels (Amaro, 2005)

Tabel 5. Overzicht van (stuurbare) antropogene invloeden op benthos en trend per ontwikkeling

Stuurbare ontwikkelingen			
Antropogene invloeden en activiteiten (Drivers)	Fysieke/ecologische invloeden (Pressures)	Trends	Aangetoonde effecten (met referentie) en potentiële effecten (geen referenties gevonden)
1. Visserij (pelagisch, demersaal of bodemvisserij; passief of actief)	<u>Afname visbestand</u> <u>Lengte/grootte selectieve afname van bestanden</u> (toename van kleinere exemplaren) <u>Afname predatorsoorten</u> (toename van kleinere soorten) <u>Bijvangst</u> <u>Discards</u> (= toevoegen van voedsel) <u>Bodemberoering</u>	Afname inspanning van de vloot (met name grote segment); Toename andere technieken (pulskor, sumwing, twinrig); Toename passieve technieken (staand want); Afname discards (ban op discards?)	<u>Discards</u> : vormen een voedselbron voor bepaalde benthos soorten <u>Bodemberoering</u> : habitats worden verstoord; samenstelling benthos verandert door selectie op aaseters, r-strategen; reductie of verdwijnen van kwetsbare schelpdiersoorten en andere kwetsbare soorten (Bergman, 1991, 1992; Bergman & Van Santbrink, 2000; Rumohr & Kujawski, 2000; Bergman <i>et al.</i> 2005)
2. Olie en gas exploitatie	<u>Exploratie</u> : ontploffingen <u>Constructie platforms</u> (geluid door heien) <u>Olielozingen</u> <u>Lozing boorspoeling</u> <u>Bodemdaling</u> <u>Visserijvrije zone</u> <u>Habitat hard substraat</u> <u>Onderwater geluid</u>	Afnemend in aantal; lozingen zijn sinds 1990 al ver afgenomen	<u>Vervuiling</u> : kan tot afname soortenrijkdom leiden (Duineveld <i>et al.</i> 2007) <u>Visvrije zone</u> : kan leiden tot toename soortenrijkdom (Duineveld <i>et al.</i> 2007)

Stuurbare ontwikkelingen			
Antropogene invloeden en activiteiten (Drivers)	Fysieke/ecologische invloeden (Pressures)	Trends	Aangetoonde effecten (met referentie) en potentiële effecten (geen referenties gevonden)
3. Scheepvaart	<u>Emissie van verbrandingsgassen</u> (zwavel e.a.) <u>Olielozingen</u> <u>Ballastwaterlozingen</u> (introductions exoten) <u>Afvallozingen</u> <u>Vervuiling door TBT</u> (antifouling) <u>Onderwater geluid</u>	<u>Algemeen</u> : intensiteit toenemend; maatregelen om vervuiling/lozing tegen te gaan; afname sinds 1990 <u>Olielozingen</u> : ? <u>Ballastwater</u> : wordt in de toekomst mogelijk minder een probleem door maatregelen <u>Afvallozingen</u> : ? <u>TBT</u> : afnemend (Evans <i>et al.</i> , 1996) <u>Onderwatergeluid</u> : ?	<u>Olielozingen</u> : effect op plankton en filterfeeders <u>Ballastwater</u> : introductie invasieve soorten (Wolff 2005) <u>TBT</u> : leidt tot imposex = vrouwelijke slakken krijgen mannelijke geslachtskenmerken (Evans <i>et al.</i> 1996) <u>Onderwatergeluid</u> : weinig bekend
4. Windmolenparken	<u>Verandering habitat</u> <u>Barrièrewerking</u> <u>Toename hard substraat</u> <u>Visserijvrije zones</u> <u>Onderwater geluid</u> (met name door heien tijdens constructie)	Sterk toenemend; grote ontwikkelingen vooral sinds 2000	<u>Toename hard substraat</u> : toename specifieke soorten op windmolens (Bouma & Lengkeek, 2009) <u>Visserijvrije zones</u> : toename kwetsbare benthos soorten
5. Baggeren vaargeulen en havens	<u>Verwijdering substraat</u> <u>Waterdiepte</u> <u>Afname doorzicht</u> .(slib) <u>Baggerstort</u>	Gelijk of toenemend (afhankelijk van ontwikkeling havens)	<u>Verwijdering substraat</u> : vernietiging bestaand benthos (lijkt waarschijnlijk op effect van zandwinning)
6. Emissies (naar kustwater, estuaria, volle zee of via de atmosfeer; uit stedelijk gebied, industrie of landbouw)	<u>Input nutriënten</u> <u>Input toxische stoffen</u> <u>Kunststoffen/plastics</u>	Afnemend? Kunststoffen toenemend	<u>Input nutriënten</u> : afnemende eutrofiering zorgt voor veranderde N/P-verhouding, mogelijk effect zijn plaagalgae (Philippart <i>et al.</i> , 2007a); verandering in benthos samenstelling (Philippart <i>et al.</i> 2007a) <u>Input toxische stoffen</u> : mogelijke selectie op opportunisten die tegen vervuiling kunnen
7. CO ₂ -emissies	<u>Klimaatverandering</u> : temperatuuroename en grotere stormfrequentie <u>Verzuring door CO₂</u>	<u>Temperatuur</u> : toename <u>Stormfrequentie</u> : toename? <u>pH</u> : afname	<u>Afname pH</u> : verzuring kan effect hebben op kalkvorming bijv. bij schelpdieren (zie review Henriks <i>et al.</i> 2010)
8. Aquacultuur (wieren, MZI's, schelpdieren, wormen en/of vis)	<u>Ruimtebeslag</u> <u>Introductie van exoten</u> (invasief)	Toenemend	<u>Toename ruimtebeslag</u> : minder plek voor oorspronkelijke fauna <u>Introductie van exoten</u> : door transport van bijv. mosselen naar NL liften exoten mee (Rilov <i>et al.</i> 2009)
9. Zandwinning	<u>Verwijdering substraat</u> <u>Verdieping</u> <u>Natuurbouw</u> <u>Afname doorzicht</u> <u>Verstoring</u>	Toenemend (zowel ophoogzand op land als voor kustverdediging)	<u>Verwijdering substraat</u> : vernietiging habitat en fauna; hersteltijd enkele jaren (Van Dalen & Essink 2001; Kröncke & Bergfeld 2003) <u>Natuurbouw</u> : variatie in reliëf en diepte biedt kans op diversiteit bodemfauna
10. Zandsuppleties	<u>Bedekking bodemfauna</u> <u>Sedimentsamenstelling</u> <u>Afname doorzicht</u> <u>Verstoring</u>	Toenemend	<u>Bedekking bodemfauna</u> : meestal in voorreef waar lokale fauna toegedekt wordt (Van Dalen & Essink 2001; Kröncke & Bergfeld 2003)

Stuurbare ontwikkelingen			
Antropogene invloeden en activiteiten (Drivers)	Fysieke/ecologische invloeden (Pressures)	Trends	Aangetoonde effecten (met referentie) en potentiële effecten (geen referenties gevonden)
11. Kustrecreatie, watertoerisme	<u>Rustverstoring</u> <u>Vervuiling</u>	Toenemend	Weinig invloed
12. Militair gebruik (varen, vliegen, schieten, munitie opruimen e.d.)	<u>Verstoring</u> . (geluid) <u>Input toxische stoffen</u>	Afnemend	Weinig invloed
13. Beschermd (natuur)gebied	<u>Minder menselijke druk</u> (bijv. visserij, zandwinning)	Toenemend	<u>Sluiting van gebieden voor visserij:</u> zal zorgen voor toename biodiversiteit (soortenrijkdom)

Literatuur

- Aarup T (1994) Interpretation of satellite ocean color data of the transition zone between the North Sea and the Baltic Sea. dissertation, University of Copenhagen
- Ådlandsvik B (2008) Marine downscaling of a future climate scenario for the North Sea. *Tellus A*, 60: 451-458.
- Amaro TPF (2005) The benthic shift of the Frisian Front (Southern North Sea) ecosystem: possible mechanisms. PhD thesis, Wageningen University
- Baptist MJ, J van Dalfsen, A Weber, S Passchier & S van Heteren (2006) The distribution of macrozoobenthos in the southern North Sea in relation to meso-scale bedforms. *Est Coastal Shelf Sci* 68:538-546.
- Baptist, MJ (2011) Zachte kustverdediging in Nederland; scenario's voor 2040. *Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011*. Wageningen, Wettelijke Onderzoektaken Natuur & Milieu, WOt-werkdocument 260.
- Baretta JW, Ebenhoh W, Ruardij P (1995) The European regional seas ecosystem model, a complex marine ecosystem model. *Netherlands Journal of Sea Research* 33:233-246
- Beaugrand G (2004) The North Sea regime shift: evidence, causes, mechanisms and consequences. *Progress in Oceanography* 60:245-262
- Beaugrand G, Brander KM, Lindley JA, Souissi S, Reid PC (2003) Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature* 426
- Becker GA, Pauly M (1996a) Sea surface temperature changes in the North Sea and their causes. *ICES Journal of Marine Science* 53:887-898
- Becker GA, Pauly M (1996b) Sea surface temperature changes in the North Sea and their causes. *ICES J Mar Sci* 53:887-898
- Bergman M (1991) Long term effects of beamtrawl fishing on the benthic ecosystem in the North Sea. In: Effect of beamtrawl fishery on the bottom fauna in the North Sea II- the 1990 studies Report No. Beon 3, 's Gravenhage
- Bergman M (1992) Long term effects of beamtrawl fishing on the benthic ecosystem in the North Sea. In: Effect of beamtrawl fishery on the bottom fauna in the North Sea II- the 1991 studies Report No. Beon 16, 's Gravenhage
- Bergman MJN, Duineveld GCA, Lavaleye MSS (2005) Long term closure of an area to fisheries at the Frisian Front (SE North Sea): effects on the bottom fauna. Report No. NIOZ 2005-6, NIOZ / Alterra Texel
- Bergman MJN, Van Santbrink JW (2000) Mortality in megafaunal benthic populations caused by trawl fisheries on the Dutch continental shelf in the North Sea in 1994. *ICES J Mar Sci* 57:1321-1331
- Bessell A (2008) Kentish Flats Offshore Wind Farm Turbine Foundation Faunal Colonisation Diving Survey. Report No. 08/J/1/03/1034/0839, EMU Ltd, Southampton
- Beukema JJ, Dekker R, Jansen JM (2009) Some like it cold: populations of the tellinid bivalve *Macoma balthica* (L.) suffer in various ways from a warming climate. *Mar Ecol Prog Ser* 384:135-145
- Boers M (2005) Effects of a deep sand extraction pit. Final report of the PUTMOR measurements at the Lowered Dump Site, Rijkswaterstaat, The Netherlands, RIKZ/2005.001, 87
- Bolle LJ, Dickey-Collas M, van Beek JKL, Erftemeijer PLA, Witte JIJ, van der Veer HW, Rijnsdorp AD (2009) Variability in transport of fish eggs and larvae. III. Effects of hydrodynamics and larval behaviour on recruitment in plaice. *Marine Ecology Progress Series* 390:195-211

- Bos OG, Hendriks IE, Strasser M, Dolmer P, Kamermans P (2006) Estimation of food limitation of bivalve larvae in coastal waters of north-western Europe. *J Sea Res* 55:191-206
- Bos OG, Witbaard R, Lavaleye M, Van Moorsel G, Teal LR, Van Hal R, Van der Hammen T, Ter Hofstede R, Van Bemmelen R, Witte RH, Geelhoed S, Dijkman EM (2011) Biodiversity hotspots on the Dutch Continental Shelf: A Marine Strategy Framework Directive perspective. Report number C071/11, IMARES IJmuiden
- Bouma S, Lengkeek W (2009) Development of underwater flora and fauna communities on hard substrates of the offshore wind farm Egmond aan Zee (OWEZ). Report No. 08-220, Bureau Waardenburg bv
- BSH (2010).
<http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/Meeresoberflaechentemperatur/anom.jsp#SSTM>
- Caldeira K, Wickett ME (2003) Oceanography: Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425:365-365
- Caldeira K, Wickett ME (2005) Ocean model predictions of chemistry changes from carbon dioxide emissions to the atmosphere and ocean. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 110:C09S04
- Callaway R, Alsvag J, de Boois I, Cotter J, Ford A, Hinz H, Jennings S, Kroncke I, Lancaster J, Piet G, Prince P, Ehrich S (2002) Diversity and community structure of epibenthic invertebrates and fish in the North Sea. *Ices Journal of Marine Science* 59:1199-1214
- Callaway R, Engelhard GH, Dann J, Cotter J, Rumohr H (2007) A century of North Sea epibenthos and trawling: Comparison between 1902-1912, 1982-1985 and 2000. *Marine Ecology Progress Series* 346:27-43
- Camphuysen KCJ (2010) Declines in oil-rates of stranded birds in the North Sea highlight spatial patterns in reductions of chronic oil pollution. *Marine Pollution Bulletin* 60:1299-1306
- Cheung WWL, Lam VWY, Sarmiento JL, Kearney K, Watson R, Pauly D (2009) Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries*
- Clark RA, Fox CJ, Viner D, Livermore M (2003a) North Sea cod and climate change - modelling the effects of temperature on population dynamics. *Global Change Biology* 9:1669-1680
- Clark RA, Frid CLJ (2001) Long term changes in the North Sea ecosystem. *Environmental reviews* 9:131-187
- Clark RA, Frid CLJ, Nicholas KR (2003b) Long-term, predation-based control of a central-west North Sea zooplankton community. *ICES Journal of Marine Science* 60:187-197
- Corten A, van de Kamp G (1996) Variation in the abundance of southern fish species in the southern North Sea in relation to hydrography and wind. *ICES Journal of Marine Science* 53:1113
- Couperus, B., Winter, E., van Keeken, O., van Kooten, T., Tribuhl, S., and Burggraaf, D. (2010). Use of high resolution sonar for near turbine fish observations (DIDSON) – We@Sea 2007-002. Report number C138/10. 29 pp.
- Craeymeersch JA, Witbaard R, Dijkman E, Meesters HWG (2008) Ruimtelijke en temporele patronen in de diversiteit van de macrobenthische infauna op het Nederlands Continentaal Plat. Report No. C070/80, IMARES
- Cushing DH (1990) Plankton production and year-class strength in fish populations - An update of the match mismatch hypothesis. *Advances in Marine Biology* 26:249-293
- Daan R, Mulder M (1996) On the short-term and long-term impact of drilling activities in the Dutch sector of the North Sea. *ICES J Mar Sci* 53:1036-1044
- Daan R, Mulder M (2009) Monitoring the invertebrate benthic fauna in the Dutch sector of the North Sea 1991-2005: an overview. Report No. 2009-5, NIOZ
- Dawirs RR (1985) Temperature and larval development of *Carcinus maenas* (Decapoda) in the laboratory; predictions of larval dynamics in the sea. *Marine Ecology Progress Series* 24:297-302

- Deerenberg, C., L.R. Teal, D. Beare & J.T. van der Wal (2010). FIMPAS project – Pre-assessment of the impact of fisheries on the conservation objectives of Dutch marine protected areas. IMARES Report C071/10.
- Deerenberg, C., F. Heinis en R.H. Jongbloed (2011, in prep.). Passende Beoordeling Boomkorvisserij op vis in de Nederlandse kustzone: Algemeen deel. HWE en IMARES, IMARES rapport.
- De Groot SJ (1984) The impact of bottom trawling on benthic fauna of the North Sea. *Ocean Management* 9:177-190
- De Jong DJ (1999) Ecotopes in the Dutch Marine Tidal Waters: A proposal for a classification of ecotopes and a method to map them. Report No. 99.017 801, RIKZ
- De Ruijter WPM, Visser AW, Bos WG (1997) The Rhine outflow: A prototypical pulsed discharge plume in a high energy shallow sea. *Journal Of Marine Systems* 12:263-276
- De Vooy CGN, Dapper R, Van der Meer J, Lavaleye MSS, Lindeboom HJ (2004) Het macrobenthos op het Nederlands Continentale Plat in de Noordzee in de periode 1870-1914 en een poging tot vergelijking met de situatie in de periode 1970-2000. Report No. 2004-2, NIOZ, Texel
- De Vooy CGN, Witte JI, Dapper R, Van der Meer J, Van der Veer HW (1993) Lange termijn veranderingen op het Nederlands Continentaal Plat van de Noordzee: Trends in evertbraten van 1931-1990. Report No. 1993-17, NIOZ, Texel
- Delhez ÉJM, Damm P, de Goede E, de Kok JM, Dumas F, Gerritsen H, Jones JE, Ozer J, Pohlmann T, Rasch PS, Skogen M, Proctor R (2004) Variability of shelf-seas hydrodynamic models: lessons from the NOMADS2 Project. *Journal of Marine Systems* 45:39-53
- Drinkwater KF (2005) The response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to future climate change. *ICES Journal of Marine Science* 62:1327-1337
- Drinkwater KF, Belgrano A, Borja A, Conversi A, Edwards M, Greene CH, Ottersen G, Pershing AJ, Walker H (2003) The response of marine ecosystems to climate variability associated with the Northern Atlantic Oscillation. *Geophysical Monograph* 134:211-234
- Drinkwater K, Skogen M, Hjøllø S, Schrum C, Alekseeva I, Huret M, Léger F (2008) 4.1 The effects of future climate change on the physical oceanography and comparisons of the mean and variability of the future physical properties with present day conditions. RECLAIM Deliverable 4.1.
- Ducrottoy J-P, Elliott M, De Jonge V (2000) The North Sea. *Marine Pollution Bulletin* 41:5-23
- Duineveld GCA, Bergman MJN, Lavaleye MSS (2007) Effects of an area closed to fisheries on the composition of the benthic fauna in the southern North Sea. *ICES J Mar Sci* 64:899-908
- Duineveld GCA, Künitzer A, Niermann U, De Wilde PAWJ, Gray JS (1991) The macrozoobenthos of the North Sea. *Neth J Sea Res* 28:53-65
- Dulvy NK, Rogers SI, Jennings S, Stelzenmüller V, Dye SR, Skjoldal HR (2008) Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: a biotic indicator of warming seas. *Journal of Applied Ecology* 45:1029-1039
- Dupont S, Dorey N, Thorndyke M (2010) What meta-analysis can tell us about vulnerability of marine biodiversity to ocean acidification? *Estuarine, coastal and shelf science* 89:182-185
- Engelhard GH, Ellis JR, Payne MR, ter Hofstede R, Pinnegar JK (2011) Ecotypes as a concept for exploring responses to climate change in fish assemblages. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 68:580-591
- Enserink B, Kwakkel J (2010) Gebruik en misbruik van scenarios in het klimaatdebat "Politologen etmaal 2010" 27 en 28 mei 2010, Leuven
- EU (1992) Council Directive 92/43/EEC. On the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. European Commission, Brussels
- Evans SM, Evans PM, Leksono T (1996) Widespread Recovery of Dogwhelks, *Nucella lapillus* (L.), from Tributyltin Contamination in the North Sea and Clyde Sea. *Marine Pollution Bulletin* 32:263-269

- Fabry VJ, Seibel BA, Feely RA, Orr JC (2008) Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science* 65
- Fonds M, Cronie R, Vethaak AD, Vanderpuyl P (1992) Metabolism, food-consumption and growth of plaice (*Pleuronectes platessa*) and flounder (*Platichthys flesus*) in relation to fish size and temperature. *Netherlands Journal of Sea Research* 29:127-143
- Freitas V, Cardoso JFMF, Lika K, Peck MA, Campos J, Kooijman SALM, van der Veer HW (2010) Temperature tolerance and energetics: a dynamic energy budget-based comparison of North Atlantic marine species. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365:3553-3565
- Freudentahl A, Nielsen M, Jensen T, Jensen K (2010) The introduced clam *Ensis americanus* in the Wadden Sea: field experiment on impact of bird predation and tidal level on survival and growth. *Helgoland Marine Research* 64:93-100
- Gangstø R, Joos F, Gehlen M (2011) Sensitivity of pelagic calcification to ocean acidification. *Biogeosciences* 8:433-458
- Gazeau F, Gattuso JP, Dawber C, Pronker AE, Peene F, Peene J, Heip CHR, Middelburg JJ (2010) Effect of ocean acidification on the early life stages of the blue mussel *Mytilus edulis*. *Biogeosciences* 7:2051-2060
- Goudswaard PC, Perdon KJ, Kesteloo JJ, Jol J, Van Zweeden C, Jansen JM (2009) Mesheften (*Ensis directus*), Strandschelpen (*Spisula subtruncata*), Kokkels (*Cerastoderma edule*), Mosselen (*Mytilus edulis*) en Otterschelpen (*Lutraria lutraria*) in de Nederlandse kustwateren in 2009. Report No. C086/09, IMARES
- Gray ST, Graumlich LJ, Betancourt JL, Pederson GT (2004) A tree-ring based reconstruction of the Atlantic Multidecadal Oscillation since 1567 AD. *Geophysical Research Letters* 31:4
- Greenwood N, Parker ER, Fernand L, Sivyer DB, Weston K, Painting SJ, Kröger S, Forster RM, Lees HE, Mills DK, Laane RWPM (2010) Detection of low bottom water oxygen concentrations in the North Sea; implications for monitoring and assessment of ecosystem health. *Biogeosciences* 7:1357-1373
- Groenewold S, Fonds M (2000) Effects on benthic scavengers of discards and damaged benthos produced by the beam trawl fishery in the southern North Sea. *ICES Journal of Marine Science* 57:1395-1406
- Hegeman WJM, Laane RWPM (2008) Concentraties, Trends en Normtoetsing van chemische stoffen in het oppervlakte sediment van het Nederlandse Continentale Plat (1981-2006), Deltares
- Hendriks IE, Duarte CM, Álvarez M (2010) Vulnerability of marine biodiversity to ocean acidification: A meta-analysis. *Estuarine, coastal and shelf science* 86:157-164
- Hickel, W., Mangelsdorf, P., and Berg, J. 1993. The human impact in the German Bight: Eutrophication during three decades (1962–1991). *Helgoland Marine Research*, 47: 243-263.
- Hiscock K, Tyler-Walters H, Jones H (2002) High Level Environmental Screening Study for Offshore Wind Farm Developments – Marine Habitats and Species Project. Report from the Marine Biological Association to The Department of Trade and Industry New & Renewable Energy Programme. (AEA Technology, Environment Contract: W/35/00632/00/00.).
- Hjøllo SS, Skogen MD, Svendsen E (2009) Exploring currents and heat within the North Sea using a numerical model. *Journal of Marine Systems* 78:180-192
- Holtmann SE, Groenewold A, Schrader KMH, Asjes J, Craeymeersch JA, Duinenveld GCA, Van Bostelen AJ, Van der Meer J (1996) Atlas of the zoobenthos of the Dutch Continental Shelf. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, North Sea Directorate: Rijswijk:244 p.
- Hurrell JW, Deser C (2010) North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation. *Journal of Marine Systems* 79:231-244
- Huss M, Hock R, Bauder A, Funk M (2010) 100-year mass changes in the Swiss Alps linked to the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Geophysical Research Letters* 37:L10501

- Hydes DJ, Kelly-Gerreyn BA, Le Gall AC, Proctor R (1999) The balance of supply of nutrients and demands of biological production and denitrification in a temperate latitude shelf sea - a treatment of the southern North Sea as an extended estuary. *Mar Chem* 68:117-131
- ICES (2004) The Annual ICES Ocean Climate status summary 2003/2004. Report No. No. 269
- ICES (2010) Report of the Working Group on Oceanic Hydrography (WGOH), 9–11 March 2010, Brest, France. ICES CM 2010/SSGEF:08. 158pp.
- Invers O, Romero J, Pérez M (1997) Effects of pH on seagrass photosynthesis: a laboratory and field assessment. *Aquatic Botany* 59:185-194
- IPCC (2007) Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group I. Climate change 2007: the physical basis, summary for policymakers. Available from: www.ipcc.ch.
- Jak RG, Bos OG, Witbaard R, Lindeboom HJ (2009) Instandhoudingsdoelstellingen Natura 2000-gebieden Noordzee. Report No. C065/09, IMARES
- Kamermans P, Blankendaal M, Perdon J (2009) Predation of shore crabs (*Carcinus maenas* (L.)) and starfish (*Asterias rubens* L.) on blue mussel (*Mytilus edulis* L.) seed from wild sources and spat collectors. *Aquaculture* 290:256-262
- Kauker F, von Storch H (2000) Statistics of "Synoptic Circulation Weather" in the North Sea as derived from a multiannual OGCM simulation. *Journal of Physical Oceanography* 30:3039-3049
- Kemp WM, Testa JM, Conley DJ, Gilbert D, Hagy JD (2009) Temporal responses of coastal hypoxia to nutrient loading and physical controls. *Biogeosciences* 6:2985-3008
- Kerckhof F, Norro A, Jacques T, Degraer S (2009) Chapter 4. Early colonisation of a concrete offshore windmill foundation by marine biofouling on the Thornton Bank (southern North Sea). in: Degraer, S. *et al.* (Ed.) (2009). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: State of the art after two years of environmental monitoring. pp. 39-51.
- Kerr RA (2000) A North Atlantic climate pacemaker for the centuries. *Science* 288:1984-1986
- Kirby RR, Beaugrand G, Lindley JA, Richardson AJ, Edwards M, Reid PC (2007) Climate effects and benthic–pelagic coupling in the North Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 330:31-38
- Kirkby J (2007) Cosmic Rays and Climate. *Surveys in Geophysics* 28:333-375
- Klein Tank AMG, Lenderink G (2009a) Klimaatverandering in Nederland, Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's, KNMI, Bilt
- Klein Tank AMG, Lenderink G (2009b) Klimaatverandering in Nederland, Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's.
- Kröncke I, Bergfeld C (2003) North Sea benthos: A Review. *Senckenbergiana Maritima* 33:205-268
- Laane RWPM, Southward AJ, Slinn DJ, Allen J, Groeneveld G, de Vries A (1996) Changes and causes of variability in salinity and dissolved inorganic phosphate in the Irish Sea, English Channel, and the Dutch coastal zone, Vol. Academic Press, London (UK)
- Laban C (2004) Geologisch onderzoek grindgebied Klaverbank. Samenvattend onderzoek rapport uitgevoerd van 1999 tot en met 2001. TNO-NITG 04-022-C. 42pp.
- Lavaleye MSS (2000) Karakteristieke macrobenthos levensgemeenschappen van het NCP & Trendanalyse van de macrobenthos diversiteit van de Oestergronden en het Friese Front (1991-1998): Ecosysteendoelen Noordzee Report No. 2000-9, NIOZ
- Lenhart HJ, Radach G, Backhaus JO, Pohlmann T (1995) Simulations of the north sea circulation, its variability, and its implementation as hydrodynamical forcing in ERSEM. *Netherlands Journal of Sea Research* 33:271-299
- Leopold MF, Dankers N (1997) Natuur in de zoute wateren. Achtergronddocument 2c bij de Natuurverkenning '97.
- Lindeboom HJ, De Groot SJ (1998) IMPACT-II The effects of different types of fisheries on the North Sea and Irish Sea benthic ecosystems, Netherlands Institutes for Sea Research

- Lindeboom H.J., J. Geurts van Kessel & L. Berkenbosch (2005). Gebieden met bijzondere ecologische waarden op het Nederlands Continentaal Plat. Rapport RIKZ/2005008, Den Haag / Alterra rapport 1109, Wageningen: 103 p.
- Lindeboom HJ, Dijkman EM, Bos OG, Meesters EH, Cremer JSM, De Raad I, Van Hal R, Bosma A (2008a) Ecologische Atlas Noordzee ten behoeve van gebiedsbescherming, Wageningen IMARES
- Lindeboom HJ, Witbaard R, Bos OG, Meesters E (2008b) Gebiedsbescherming Noordzee: Habitattypen, instandhoudingsdoelen en beheersmaatregelen. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-werkdocument 114
- MacArthur R, Wilson EO (1967) The Theory of Island Biogeography, Princeton University Press (2001 reprint), ISBN 0-691-08836-5M. .
- MacLeod CD (2009) Global climate change, range changes and potential implications for the conservation of marine cetaceans: a review and synthesis. *Endangered Species Research* 7:125-136
- Mann ME, Bradley RS, Hughes MK (1998) Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature* 392:779-787
- Mantua NJ, Hare SR (2002) The Pacific decadal oscillation. *J Oceanogr* 58:35-44
- Mantua NJ, Hare SR, Zhang Y, Wallace JM, Francis RC (1997) A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull Amer Meteorol Soc* 78:1069-1079
- Martell DJ, Kieffer JD, Trippel EA (2006) Effects of the embryonic thermal environment on haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) developmental trajectories through exogenous feeding stages. *Marine Biology* 149:177
- MCCIP (2009) Marine Climate Change Ecosystem Linkages Report Card 2009, MCCIP, Lowestoft
- McGlade JM, Sherman K, Skjoldal HR (2002) 12 The North Sea Large Marine Ecosystem. In: *Large Marine Ecosystems, Vol Volume 10*. Elsevier, p 339-412
- Meesters HWG, Ter Hofstede R, De Mesel I, Craeymeersch JA, Deerenberg C, Reijnders PJH, brasseur SMJM, Fey F (2009) De toestand van de zoute natuur in Nederland. Vissen, benthos en zeezoogdieren. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 97.
- Mensink BP (1999) Imposex in the common whelk, *Buccinum undatum*. PhD thesis, NIOZ/Wageningen UR
- Munday PL, Dixon DL, McCormick MI, Meekan M, Ferrari MCO, Chivers DP (2010) Replenishment of fish populations is threatened by ocean acidification. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107
- Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grüber A, Jung TY, Kram T, Lebre La Rovere E, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Riahi K, Roehrl A, Rogner H-H, Sankovski A, Schlesinger M, Shukla P, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N, Dadi Z (2000) Special Report on Emissions Scenarios
- NSTF (1993) North Sea quality status report. Fredensborg: Oslo and Paris Commissions.
- Nybakken JW (1993) *Marine Biology: an ecological approach*, Vol. Harper Collins College Publishers, New York
- Olsen OT (1883) The piscatorial atlas of the North Sea, English and St. George's Channels, illustrating the fishing ports, boats, gear, species of fish (how, where, and when caught), and other information concerning fish and fisheries, Vol. Taylor and Francis, London, UK
- Orr JC, Fabry VJ, Aumont O, Bopp L, Doney SC, Feely RA, Gnanadesikan A, Gruber N, Ishida A, Joos F, Key RM, Lindsay K, Maier-Reimer E, Matear R, Monfray P, Mouchet A, Najjar RG, Plattner G-K, Rodgers KB, Sabine CL, Sarmiento JL, Schlitzer R, Slater RD, Totterdell IJ, Weirig M-F, Yamanaka Y, Yool A (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437:681-686
- OSPAR (2000) Quality Status Report 2000 Region II - the Greater North Sea. London: OSPAR Commission

- OSPAR (2010) Quality Status Report 2010. OSPAR Commission. London. 176 pp.
- Ottersen G, Planque B, Belgrano A, Post E, Reid PC, Stenseth NC (2001) Ecological effects of the North Atlantic Oscillation. *Oecologia* 128:1-14
- Overland JE, Percival DB, Mofjeld HO (2006) Regime shifts and red noise in the North Pacific. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 53:582-588
- Pepin P (1991) Effect of temperature and size on development, mortality, and survival rates of the pelagic early life history stages of marine fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48:503-518
- Perry AL, Low PJ, Ellis JR, Reynolds JD (2005) Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science* 308:1912-1915
- Petit JR, Jouzel J, Raynaud D, Barkov NI, Barnola JM, Basile I, Bender M, Chappellaz J, Davis M, Delaygue G, Delmotte M, Kotlyakov VM, Legrand M, Lipenkov VY, Lorius C, Pepin L, Ritz C, Saltzman E, Stievenard M (1999) Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399:429-436
- Philippart C, Beukema J, Cadée G, Dekker R, Goedhart P, van Iperen J, Leopold M, Herman P (2007a) Impacts of Nutrient Reduction on Coastal Communities. *Ecosystems* 10:96-119
- Philippart CJM, Anadón R, Danovaro R, Dippner JW, Drinkwater KF, Hawkins SJ, O'Sullivan G, Oguz T, Reid PC (2007b) Impacts of Climate Change on the European Marine and Coastal Environment. *Marine Board Position Paper* 9
- Philippart CJM, van Aken HM, Beukema JJ, Bos OG, Cadee GC, Dekker R (2003) Climate-related changes in recruitment of the bivalve *Macoma balthica*. *Limnology and Oceanography* 48:2171-2185
- Piet GJ, Rijnsdorp AD, Bergman MJN, van Santbrink JW, Craeymeersch J, Buijs J (2000) A quantitative evaluation of the impact of beam trawling on benthic fauna in the southern North Sea. *ICES Journal of Marine Science* 57:1332
- Pörtner HO, Knust R (2007) Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance. *Science* 315:95-97
- Prandle D, Hydes DJ, Jarvis J, McManus J (1997) The seasonal cycles of temperature, salinity, nutrients and suspended sediment in the southern North Sea in 1988 and 1989. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 45:669-680
- Provoost P, van Heuven S, Soetaert K, Laane R, Middelburg JJ (2010) Long-term record of pH in the Dutch coastal zone: a major role for eutrophication-induced changes. *Biogeosciences Discuss* 7:4127-4152
- Ramirez-Llodra E (2002) Fecundity and Life-history Strategies in Marine Invertebrates. *Advanced Marine Biology* 43:88-170
- Rees HL, Eggleton JD, Rachor E, Vanden Berghe E (eds) (2007) Structure and dynamics of the North Sea benthos. *ICES Cooperative Research Report* 288
- Reid PC, Borges MdF, Svendsen E (2001) A Regime shift in the North Sea circa 1988 linked to changes in the North Sea horse mackerel fishery. *Fisheries Research* 50:163-171
- Reid PC, Edwards M (2001) Long-term changes in the Pelagos, Benthos and Fisheries of the North Sea. *Senckenbergiana Maritima* 31:107-115
- Reid PC, Taylor AH, Stevens J (1989) The hydrography and hydrographic balances of the North Sea. In: E. Salomons, B. L. Bayne, Duursma EK, Forstner U (eds) *Pollution of the North Sea and Assessment*. Springer, Berlin
- Reise K, Gollasch S, Wolff W (1998) Introduced marine species of the North Sea coasts. *Helgoland Marine Research* 52:219-234
- Reiss H, Degraer S, Duineveld GCA, Kroncke I, Aldridge J, Craeymeersch JA, Eggleton JD, Hillewaert H, Lavaleye MSS, Moll A, Pohlmann T, Rachor E, Robertson M, Vanden Berghe E, van Hoey G, Rees HL (2010) Spatial patterns of infauna, epifauna, and demersal fish communities in the North Sea. *ICES J Mar Sci* 67:278-293
- Richardson AJ, Schoeman DS (2004) Climate Impact on Plankton Ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science* 305:1609-1612
- Ricker WE (1954) Stock and recruitment. *J Fish Res Bd Can* 11:559-623

- Rijnsdorp AD (1993) Relationship between juvenile growth and the onset of sexual maturation of female North Sea plaice, *Pleuronectes platessa* L. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 50:1617-1631
- Rijnsdorp AD, Peck MA, Engelhard GH, Mollmann C, Pinnegar JK (2009) Resolving the effect of climate change on fish populations. ICES Journal of Marine Science 66:1570-1583
- Rijnsdorp AD, Poos JJ, Quirijns FJ, HilleRisLambers R, De Wilde JW, Den Heijer WM (2008) The arms race between fishers. Journal of Sea Research 60:126-138
- Rilov G, Crooks JA, Gollasch S, Haydar D, Minchin D, Wolff WJ, Reise K (2009) Introduced Aquatic Species of the North Sea Coasts and Adjacent Brackish Waters. In: Biological Invasions in Marine Ecosystems, Vol 204. Springer Berlin Heidelberg, p 507-528
- Robinson LA, Frid CLJ (2008) Historical Marine Ecology: Examining the Role of Fisheries in Changes in North Sea Benthos. Ambio 37:362-372
- Röckmann C, Dickey-Collas M, Payne MR, van Hal R (2011) Realized habitats of early-stage North Sea herring: looking for signals of environmental change. ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil 68:537-546
- Rumohr H, Kujawski T (2000) The impact of trawl fishery on the epifauna of the southern North Sea. ICES J Mar Sci 57:1389-1394
- Scholten MCT, Veenstra FA, Jongbloed RH (2007) Perspectieven voor mosselzaadinvang (MZI) in de Nederlandse kustwateren: Een evaluatie van de proefperiode 2006-2007. Report No. C113/07, Wageningen IMARES, IJmuiden
- Schrum C, Alekseeva I, St. John M (2006) Development of a coupled physical-biological ecosystem model ECOSMO: Part I: Model description and validation for the North Sea. Journal of Marine Systems 61:79-99
- Small D, Calosi P, White D, Spicer JJ, Widdicombe S (2010) Impact of medium-term exposure to CO₂ enriched seawater on the physiological functions of the velvet swimming crab *Necora puber*. Aquatic Biology 10:11-21
- Smits A, Klein Tank AMG, Können GP (2005) Trends in storminess over the Netherlands, 1962-2002. Int J Climatol 25:1331-1344
- Tasker ML (ed) (2008) The effect of climate change on the distribution and abundance of marine species in the OSPAR Maritime Area, Vol 293, Copenhagen
- Taylor AH (1995) North-south shifts of the gulf-stream and their climatic connection with the abundance of zooplankton in the UK and its surrounding seas. ICES Journal of Marine Science 52:711-721
- Taylor AH (1996) North-south shifts of the Gulf Stream: Ocean-atmosphere interactions in the North Atlantic. Int J Climatol 16:559-583
- Taylor AH, Allen JJ, Clark PA (2002) Extraction of a weak climatic signal by an ecosystem. Nature 416:629-632
- Taylor AH, Stepens JA (1998) The North Atlantic oscillation and the latitude of the Gulf Stream. Tellus Series A-Dynamic Meteorology And Oceanography 50:134-142
- Teal LR, De Leeuw JJ, Van der Veer HW, Rijnsdorp AD (2008) Effects of climate change on growth of 0-group sole and plaice. Marine Ecology Progress Series 358:219-230
- Teal LR, van Hal R, van Kooten T, Rijnsdorp AD (2010) Bio-energetics underpin spatio-temporal dynamics in North Sea plaice (*Pleuronectes platessa* L.) – ICES Annual Science Conference
- Thrush SF, Hewitt JE, Cummings VJ, Dayton PK, Cryer M, Turner SJ, Funnell GA, Budd RG, Milburn CJ, Wilkinson MR (1998) Disturbance of the marine benthic habitat by commercial fishing: Impacts at the scale of the fishery. Ecological Applications 8:866-879
- Tomczak G. & E. Goedecke (1964). Die thermische schichtung der NordSee und Monatskarten der Temperature der Nordsee. Ergänzungsh. Dt. Hydrogr. Z. B(4)(8): 182 pp.
- Topliss B (1997) Climate links across the North Atlantic. Ocean Challenge 7:40-46

- Troost K (2010) Causes and effects of a highly successful marine invasion: Case-study of the introduced Pacific oyster *Crassostrea gigas* in continental NW European estuaries. *Journal of Sea Research* 64:145-165
- Tulp IYM, van Hal R, Rijnsdorp AD (2006) Effects of climate change on North Sea fish and benthos, IMARES, IJmuiden
- Van Aken HM (2003) 140 years of daily observations in a tidal inlet (Marsdiep). *ICES Marine Science Symposia*, 219: Hydrobiological Variability in the ICES Area, 1990 - 1999:359-361
- Van Dalftsen JA, Essink K (2001) Benthic Community Response to Sand Dredging and Shoreface Nourishment in Dutch Coastal Waters. *Senckenbergiana Maritima* 31:329-332
- Van den Hurk B, Klein Tank A, Lenderink G, van Ulden A, van Oldenborgh GJ, Katsman C, van den Brink H, Keller F, Bessembinder J, Burgers G, Komen G, Hazeleger W, Drijfhout S (2006) KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. Report No. KNMI Scientific Report WR 2006-01, KNMI, Bilt
- Van der Veer HW, Cardoso J, Peck MA, Kooijman S (2009) Physiological performance of plaice *Pleuronectes platessa* (L.): A comparison of static and dynamic energy budgets. *J Sea Res* 62:83-92
- Van Deurs M, Van Hal R, Tomczak MT, Jónasdóttir SH, Dolmer P (2009) Recruitment of lesser sandeel *Ammodytes marinus* in relation to density dependence and zooplankton composition. *Mar Ecol Prog Ser* 381
- Van Franeker JA, Heubeck M, Fairclough K, Turner DM, Grantham M, Stienen EWM, Guse N, Pedersen J, Olsen KO, Andersson PJ, Olsen B (2005) 'Save the North Sea' Fulmar Study 2002-2004: a regional pilot project for the Fulmar-litter-EcoQO in the OSPAR area. , Alterra, Texel
- Van Hal R, Smits K, Rijnsdorp AD (2010) How climate warming impacts the distribution and abundance of two small flatfish species in the North Sea. *J Sea Res* 64:76-84
- Van Keeken O, Van Hoppe M, Grift RE, Rijnsdorp AD (2007) Changes in the spatial distribution of North Sea plaice (*Pleuronectes platessa*) and implications for fisheries management. *J Sea Res* 57:187-197
- Van Moorsel GWNM (2003) Ecologie van de Klaverbank, Biotasurvey 2002, Ecosub, Doorn
- Van Nes EH, Amaro T, Scheffer M, Duineveld GCA (2007) Possible mechanisms for a marine benthic regime shift in the North Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 330:39-47
- Weijerman M, Lindeboom H, Zuur AF (2005) Regime shifts in marine ecosystems of the North Sea and Wadden Sea. *Mar Ecol-Prog Ser* 298:21-39
- Witbaard R (2009) De Noordkromp. *De levende Natuur* 110:263-265.
- Wolff WJ (2005) Non-indigenous marine and estuarine species in The Netherlands. *Zool Med Leiden* 79:1-116
- Zonneveld, J.I.S., 1979. Physical Geography in the Netherlands. *Erdkunde* 33, 1-10.

Kwaliteitsborging en verantwoording

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 57846-2009-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2012. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Het laatste controlebezoek vond plaats op 22-24 april 2009. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Milieu over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2013 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

WOT-werkdocument 255
Projectnummer: 430.82010.67

Dit werkdocument is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: Prof. Dr. H.J. Lindeboom
Directeur Wetenschap

Handtekening: 

Datum: September 2011

Akkoord: Drs. F.C. Groenendijk
Afdelingshoofd Ecosystemen

Handtekening: 

Datum: September 2011

Verschenen documenten in de reeks Werkdocumenten van de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu vanaf 2009

Werkdocumenten zijn verkrijgbaar bij het secretariaat van Unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, te Wageningen. T 0317 – 48 54 71; F 0317 – 41 90 00; E info.wnm@wur.nl

De werkdocumenten zijn ook te downloaden via de Wot-website www.wotnatuurenmilieu.wur.nl

2009

- 126** *Kamphorst, D.A.* Keuzes in het internationale biodiversiteitsbeleid; Verkenning van de beleidstheorie achter de internationale aspecten van het Beleidsprogramma Biodiversiteit (2008-2011)
- 127** *Dirkx, G.H.P. & F.J.P. van den Bosch.* Quick scan gebruik Catalogus groenblauwe diensten
- 128** *Loeb, R. & P.F.M. Verdonschot.* Complexiteit van nutriëntenlimitaties in oppervlaktewateren
- 129** *Kruit, J. & P.M. Veer.* Herfotografie van landschappen; Landschapsfoto's van de 'Collectie de Boer' als uitgangspunt voor het in beeld brengen van ontwikkelingen in het landschap in de periode 1976-2008
- 130** *Oenema, O., A. Smit & J.W.H. van der Kolk.* Indicatoren Landelijk Gebied; werkwijze en eerste resultaten
- 131** *Agricola, H.J.A.J. van Strien, J.A. Boone, M.A. Dolman, C.M. Goossen, S. de Vries, N.Y. van der Wulp, L.M.G. Groenemeijer, W.F. Lukey & R.J. van Til.* Achtergrond-document Nulmeting Effectindicatoren Monitor Agenda Vitaal Platteland
- 132** *Jaarrapportage 2008.* WOT-04-001 – Koepel
- 133** *Jaarrapportage 2008.* WOT-04-002 – Onderbouwend Onderzoek
- 134** *Jaarrapportage 2008.* WOT-04-003 – Advisering Natuur & Milieu
- 135** *Jaarrapportage 2008.* WOT-04-005 – M-AVP
- 136** *Jaarrapportage 2008.* WOT-04-006 – Natuurplanbureaufunctie
- 137** *Jaarrapportage 2008.* WOT-04-007 – Milieuplanbureaufunctie
- 138** *Jong de, J.J., J. van Os & R.A. Smidt.* Inventarisatie en beheerskosten van landschapselementen
- 139** *Dirkx, G.H.P., R.W. Verburg & P. van der Wielen.* Tegenkrachten Natuur. Korte verkenning van de weerstand tegen aankopen van landbouwgrond voor natuur
- 140** *Annual reports for 2008; Programme WOT-04*
- 141** *Vullings, L.A.E., C. Blok, G. Vonk, M. van Heusden, A. Huisman, J.M. van Linge, S. Keijzer, J. Oldengarm & J.D. Bulens.* Omgaan met digitale nationale beleidskaarten
- 142** *Vreke, J., A.L. Gerritsen, R.P. Kranendonk, M. Pleijte, P.H. Kersten & F.J.P. van den Bosch.* Maatlat Government – Governance
- 143** *Gerritsen, A.L., R.P. Kranendonk, J. Vreke, F.J.P. van den Bosch & M. Pleijte.* Verdrogingsbestrijding in het tijdperk van het Investeringsbudget Landelijk Gebied. Een verslag van casusonderzoek in de provincies Drenthe, Noord-Brabant en Noord-Holland
- 144** *Luesink, H.H., P.W. Blokland, M.W. Hoogeveen & J.H. Wisman.* Ammoniakemissie uit de landbouw in 2006 en 2007
- 145** *Bakker de, H.C.M. & C.S.A. van Koppen.* Draagvlakonderzoek in de steigers. Een voorstudie naar indicatoren om maatschappelijk draagvlak voor natuur en landschap te meten
- 146** *Goossen, C.M.,* Monitoring recreatiegedrag van Nederlanders in landelijke gebieden. Jaar 2006/2007
- 147** *Hoefs, R.M.A., J. van Os & T.J.A. Gies.* Kavelruil en Landschap. Een korte verkenning naar ruimtelijke effecten van kavelruil
- 148** *Klok, T.L., R. Hille Ris Lambers, P. de Vries, J.E. Tamis & J.W.M. Wijsman.* Quick scan model instruments for marine biodiversity policy
- 149** *Spruijt, J., P. Spoorenberg & R. Schreuder.* Milieueffectiviteit en kosten van maatregelen gewasbescherming
- 150** *Ehlert, P.A.I. (rapporteur).* Advies Bemonstering bodem voor differentiatie van fosfaatgebruiksnormen
- 151** *Wulp van der, N.Y.* Storende elementen in het landschap: welke, waar en voor wie? Bijlage bij WOT-paper 1 – Krassen en het landschap
- 152** *Oltmer, K., K.H.M. van Bommel, J. Clement, J.J. de Jong, D.P. Rudrum & E.P.A.G. Schouwenberg.* Kosten voor habitattypen in Natura 2000-gebieden. Toepassing van de methode Kosteneffectiviteit natuurbeleid
- 153** *Adrichem van, M.H.C., F.G. Wortelboer & G.W.W. Wamelink (2010).* MOVE. Model for terrestrial Vegetation. Version 4.0
- 154** *Wamelink, G.W.W., R.M. Winkler & F.G. Wortelboer.* User documentation MOVE4 v 1.0
- 155** *Gies de, T.J.A., L.J.J. Jeurissen, I. Staritsky & A. Bleeker.* Leefomgevingsindicatoren Landelijk gebied. Inventarisatie naar stand van zaken over geurhinder, lichthinder en fijn stof
- 156** *Tamminga, S., A.W. Jongbloed, P. Bikker, L. Sebek, C. van Bruggen & O. Oenema.* Actualisatie excretiecijfers landbouwhuisdieren voor forfaits regeling Meststoffenwet
- 157** *Van der Salm, C., L. M. Boumans, G.B.M. Heuvelink & T.C. van Leeuwen.* Protocol voor validatie van het nutriëntenemissiemodel STONE op meetgegevens uit het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid
- 158** *Bouwma, I.M.* Quicksan Natura 2000 en Programma Beheer. Een vergelijking van Programma Beheer met de soorten en habitats van Natura 2000
- 159** *Gerritsen, A.L., D.A. Kamphorst, T.A. Selnes, M. van Veen, F.J.P. van den Bosch, L. van den Broek, M.E.A. Broekmeyer, J.L.M. Donders, R.J. Fontein, S. van Tol, G.W.W. Wamelink & P. van der Wielen.* Dilemma's en barrières in de praktijk van het natuur- en landschapsbeleid; Achtergronddocument bij Natuurbalans 2009
- 160** *Fontein R.J., T.A. de Boer, B. Breman, C.M. Goossen, R.J.H.G. Henkens, J. Luttik & S. de Vries.* Relatie recreatie en natuur; Achtergronddocument bij Natuurbalans 2009
- 161** *Deneer, J.W. & R. Kruijne. (2010).* Atmosferische depositie van gewasbeschermingsmiddelen. Een verkenning van de literatuur verschenen na 2003
- 162** *Verburg, R.W., M.E. Sanders, G.H.P. Dirkx, B. de Knegt & J.W. Kuhlman.* Natuur, landschap en landelijk gebied. Achtergronddocument bij Natuurbalans 2009
- 163** *Doorn van, A.M. & M.P.C.P. Paulissen.* Natuurgericht milieubeleid voor Natura 2000-gebieden in Europees perspectief: een verkenning
- 164** *Smidt, R.A., J. van Os & I. Staritsky.* Samenstellen van landelijke kaarten met landschapselementen, grondeigendom en beheer. Technisch

- achtergronddocument bij de opgeleverde bestanden
- 165 *Pouwels, R., R.P.B. Foppen, M.F. Wallis de Vries, R. Jochem, M.J.S.M. Reijnen & A. van Kleunen*. Verkenning LARCH: omgaan met kwaliteit binnen ecologische netwerken
- 166 *Born van den, G.J., H.H. Luesink, H.A.C. Verkerk, H.J. Mulder, J.N. Bosma, M.J.C. de Bode & O. Oenema*. Protocol voor monitoring landelijke mestmarkt onder een stelsel van gebruiksnormen, versie 2009
- 167 *Dijk, T.A. van, J.J.M. Driessen, P.A.I. Ehlert, P.H. Hotsma, M.H.M.M. Montforts, S.F. Plessius & O. Oenema*. Protocol beoordeling stoffen Meststoffenwet- Versie 2.1
- 168 *Smits, M.J., M.J. Bogaardt, D. Eaton, A. Karbauskas & P. Roza*. De vermaatschappelijking van het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid. Een inventarisatie van visies in Brussel en diverse EU-lidstaten
- 169 *Vreke, J. & I.E. Salverda*. Kwaliteit leefomgeving en stedelijk groen
- 170 *Hengsdijk, H. & J.W.A. Langeveld*. Yield trends and yield gap analysis of major crops in the World
- 171 *Horst, M.M.S. ter & J.G. Groenwold*. Tool to determine the coefficient of variation of DegT50 values of plant protection products in water-sediment systems for different values of the sorption coefficient
- 172 *Boons-Prins, E., P. Leffelaar, L. Bouman & E. Stehfest (2010)* Grassland simulation with the LPJmL model
- 173 *Smit, A., O. Oenema & J.W.H. van der Kolk*. Indicatoren Kwaliteit Landelijk Gebied
- 2010**
- 174 *Boer de, S., M.J. Bogaardt, P.H. Kersten, F.H. Kistenkas, M.G.G. Neven & M. van der Zouwen*. Zoektocht naar nationale beleidsruimte in de EU-richtlijnen voor het milieu- en natuurbeleid. Een vergelijking van de implementatie van de Vogel- en Habitatrichtlijn, de Kaderrichtlijn Water en de Nitraatrichtlijn in Nederland, Engeland en Noordrijn-Westfalen
- 175 *Jaarrapportage 2009*. WOT-04-001 – Koepel
- 176 *Jaarrapportage 2009*. WOT-04-002 – Onderbouwend Onderzoek
- 177 *Jaarrapportage 2009*. WOT-04-003 – Advisering Natuur & Milieu
- 178 *Jaarrapportage 2009*. WOT-04-005 – M-AVP
- 179 *Jaarrapportage 2009*. WOT-04-006 – Natuurplanbureaufunctie
- 180 *Jaarrapportage 2009*. WOT-04-007 – Milieuplanbureaufunctie
- 181 *Annual reports for 2009*; Programme WOT-04
- 182 *Oenema, O., P. Bikker, J. van Harn, E.A.A. Smolders, L.B. Sebek, M. van den Berg, E. Stehfest & H. Westhoek*. Quickscan opbrengsten en efficiëntie in de gangbare en biologische akkerbouw, melkveehouderij, varkenshouderij en pluimveehouderij. Deelstudie van project 'Duurzame Eiwitvoorziening'
- 183 *Smits, M.J.W., N.B.P. Polman & J. Westerink*. Uitbreidingsmogelijkheden voor groene en blauwe diensten in Nederland; Ervaringen uit het buitenland
- 184 *Dirkx, G.H.P. (red.)*. Quick responsefunctie 2009. Verslag van de werkzaamheden
- 185 *Kuhlman, J.W., J. Luijt, J. van Dijk, A.D. Schouten & M.J. Voskuilen*. Grondprij斯卡arten 1998-2008
- 186 *Slangen, L.H.G., R.A. Jongeneel, N.B.P. Polman, E. Lianouridis, H. Leneman & M.P.W. Sonneveld*. Rol en betekenis van commissies voor gebiedsgericht beleid
- 187 *Temme, A.J.A.M. & P.H. Verburg*. Modelling of intensive and extensive farming in CLUE
- 188 *Vreke, J*. Financieringsconstructies voor landschap
- 189 *Slangen, L.H.G*. Economische concepten voor beleidsanalyse van milieu, natuur en landschap
- 190 *Knotters, M., G.B.M. Heuvelink, T. Hoogland & D.J.J. Walvoort*. A disposition of interpolation techniques
- 191 *Hoogeveen, M.W., P.W. Blokland, H. van Kernebeek, H.H. Luesink & J.H. Wisman*. Ammoniakemissie uit de landbouw in 1990 en 2005-2008
- 192 *Beekman, V., A. Pronk & A. de Smet*. De consumptie van dierlijke producten. Ontwikkeling, determinanten, actoren en interventies.
- 193 *Polman, N.B.P., L.H.G. Slangen, A.T. de Blaeij, J. Vader & J. van Dijk*. Baten van de EHS; De locatie van recreatiebedrijven
- 194 *Veeneklaas, F.R. & J. Vader*. Demografie in de Natuurverkenning 2011; Bijlage bij WOT-paper 3
- 195 *Wascher, D.M., M. van Eupen, C.A. Mûcher & I.R. Geijzendorffer*. Biodiversity of European Agricultural landscapes. Enhancing a High Nature Value Farmland Indicator
- 196 *Apeldoorn van, R.C., I.M. Bouwma, A.M. van Doorn, H.S.D. Naeff, R.M.A. Hoefs, B.S. Elbersen & B.J.R. van Rooij*. Natuurgebieden in Europa: bescherming en financiering
- 197 *Brus, D.J., R. Vasat, G. B. M. Heuvelink, M. Knotters, F. de Vries & D. J. J. Walvoort*. Towards a Soil Information System with quantified accuracy; A prototype for mapping continuous soil properties
- 198 *Groot, A.M.E. & A.L. Gerritsen, m.m.v. M.H. Borgstein, E.J. Bos & P. van der Wielen*. Verantwoording van de methodiek Achtergronddocument bij 'Kwalitatieve monitor Systeeminnovaties verduurzaming landbouw'
- 199 *Bos, E.J. & M.H. Borgstein*. Monitoring Gesloten voer-mest kringlopen. Achtergronddocument bij 'Kwalitatieve monitor Systeeminnovaties verduurzaming landbouw'
- 200 *Kennismarkt 27 april 2010*; Van onderbouwend onderzoek Wageningen UR naar producten Planbureau voor de Leefomgeving
- 201 *Wielen van der, P.* Monitoring Integrale duurzame stallen. Achtergronddocument bij 'Kwalitatieve monitor Systeeminnovaties verduurzaming landbouw'
- 202 *Groot, A.M.E. & A.L. Gerritsen*. Monitoring Functionele agrobiodiversiteit. Achtergrond-document bij 'Kwalitatieve monitor Systeeminnovaties verduurzaming landbouw'
- 203 *Jongeneel, R.A. & L. Ge*. Farmers' behavior and the provision of public goods: Towards an analytical framework
- 204 *Vries, S. de, M.H.G. Custers & J. Boers*. Storende elementen in beeld; de impact van menselijke artefacten op de landschapsbeleving nader onderzocht
- 205 *Vader, J. J.L.M. Donders & H.W.B. Bredenoord*. Zicht op natuur- en landschapsorganisaties; Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 206 *Jongeneel, R.A., L.H.G. Slangen & N.B.P. Polman*. Groene en blauwe diensten; Een raamwerk voor de analyse van doelen, maatregelen en instrumenten
- 207 *Letourneau, A.P, P.H. Verburg & E. Stehfest*. Global change of land use systems; IMAGE: a new land allocation module
- 208 *Heer, M. de*. Het Park van de Toekomst. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 209 *Knotters, M., J. Lahr, A.M. van Oosten-Siedlecka & P.F.M. Verdonschot*. Aggregation of ecological indicators for mapping aquatic nature quality. Overview of existing methods and case studies

- 210 *Verdonschot, P.F.M. & A.M. van Oosten-Siedlecka.* Graadmeters Aquatische natuur. Analyse gegevenskwaliteit Limnodata
- 211 *Linderhof, V.G.M. & H. Leneman.* Quickscan kosteneffectiviteitsanalyse aquatische natuur
- 212 *Leneman, H., V.G.M. Linderhof & R. Michels.* Mogelijkheden voor het inbrengen van informatie uit de 'KRW database' in de 'KE database'
- 213 *Schrijver, R.A.M., A. Corporaal, W.A. Ozinga & D. Rudrum.* Kosteneffectieve natuur in landbouwgebieden; Methode om effecten van maatregelen voor de verhoging van biodiversiteit in landbouwgebieden te bepalen, een test in twee gebieden in Noordoost-Twente en West-Zeeuws-Vlaanderen
- 214 *Hoogland, T., R.H. Kemmers, D.G. Cirkel & J. Hunink.* Standplaatsfactoren afgeleid van hydrologische model uitkomsten; Methode-ontwikkeling en toetsing in het Drentse Aa-gebied
- 215 *Agricola, H.J., R.M.A. Hoefs, A.M. van Doorn, R.A. Smidt & J. van Os.* Landschappelijke effecten van ontwikkelingen in de landbouw
- 216 *Kramer, H., J. Oldengarm & L.F.S. Roupioz.* Nederland is groener dan kaarten laten zien; Mogelijkheden om 'groen' beter te inventariseren en monitoren met de automatische classificatie van digitale luchtfoto's
- 217 *Raffe, J.K. van, J.J. de Jong & G.W.W. Wamelink (2011).* Scenario's voor de kosten van natuurbeheer en stikstofdepositie; Kostenmodule v 1.0 voor de Natuurplanner
- 218 *Hazeu, G.W., Kramer, H., J. Clement & W.P. Daamen (2011).* Basiskaart Natuur 1990rev
- 219 *Boer, T.A. de.* Waardering en recreatief gebruik van Nationale Landschappen door haar bewoners
- 220 *Leneman, H., A.D. Schouten & R.W. Verburg.* Varianten van natuurbeleid: voorbereidende kostenberekeningen; Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 221 *Knegt, B. de, J. Clement, P.W. Goedhart, H. Sierdema, Chr. van Swaay & P. Wiersma.* Natuurkwaliteit van het agrarisch gebied
- 2011**
- 222 *Kamphorst, D.A. & M.M.P. van Oorschot.* Kansen en barrières voor verduurzaming van houtketens
- 223 *Salm, C. van der & O.F. Schoumans.* Langetermijneffecten van verminderde fosfaatgiften
- 224 *Bikker, P., M.M. van Krimpen & G.J. Rimmelink.* Stikstof-verteerbaarheid in voeders voor landbouwhuisdieren; Berekeningen voor de TAN-excretie
- 225 *M.E. Sanders & A.L. Gerritsen (red.).* Het biodiversiteitsbeleid in Nederland werkt. Achtergronddocument bij Balans van de Leefomgeving 2010
- 226 *Bogaart, P.W., G.A.K. van Voorn & L.M.W. Akkermans.* Evenwichtsanalyse modelcomplexiteit; een verkennende studie
- 227 *Kleunen A. van, K. Koffijberg, P. de Boer, J. Nienhuis, C.J. Camphuysen, H. Schekkerman, K.H. Oosterbeek, M.L. de Jong, B. Ens & C.J. Smit (2010).* Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee in 2007 en 2008
- 228 *Salm, C. van der, L.J.M. Boumans, D.J. Brus, B. Kempen & T.C van Leeuwen.* Validatie van het nutriëntenemissiemodel STONE met meetgegevens uit het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) en de Landelijke Steekproef Kaartenheden (LSK).
- 229 *Dijkema, K.S., W.E. van Duin, E.M. Dijkman, A. Nicolai, H. Jongerius, H. Keegstra, L. van Egmond, H.J. Venema & J.J. Jongsma.* Vijftig jaar monitoring en beheer van de Friese en Groninger kwelderwerken: 1960-2009
- 230 *Jaarrapportage 2010.* WOT-04-001 – Koepel
- 231 *Jaarrapportage 2010.* WOT-04-002 – Onderbouwend Onderzoek
- 232 *Jaarrapportage 2010.* WOT-04-003 – Advisering Natuur & Milieu
- 233 *Jaarrapportage 2010.* WOT-04-005 – M-APV
- 234 *Jaarrapportage 2010.* WOT-04-006 – Natuurplanbureauafunctie
- 235 *Jaarrapportage 2010.* WOT-04-007 – Milieuplanbureauafunctie
- 236 *Arnouts, R.C.M. & F.H. Kistenkas.* Nederland op slot door Natura 2000: de discussie ontrafeld; Bijlage bij WOT-paper 7 – De deur klemt
- 237 *Harms, B. & M.M.M. Overbeek.* Bedrijven aan de slag met natuur en landschap; relaties tussen bedrijven en natuurorganisaties. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 238 *Agricola, H.J. & L.A.E. Vullings.* De stand van het platteland 2010. Monitor Agenda Vitaal Platteland; Rapportage Midterm meting Effectindicatoren
- 239 *Klijn, J.A.* Wisselend getij. Omgang met en beleid voor natuur en landschap in verleden en heden; een essayistische beschouwing. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 240 *Corporaal, A., T. Denters, H.F. van Dobben, S.M. Hennekens, A. Klimkowska, W.A. Ozinga, J.H.J. Schaminée & R.A.M. Schrijver.* Stenoeciteit van de Nederlandse flora. Een nieuwe parameter op grond van ecologische amplitudo's van de Nederlandse plantensoorten en toepassingsmogelijkheden
- 241 *Wamelink, G.W.W., R. Jochem, J. van der Gref, C. Grashof-Bokdam, R.M.A. Wegman, G.J. Franke & A.H. Prins.* Het plantendispersiemodel DIMO. Ter verbetering van de modellering in de Natuurplanner (werktitel)
- 242 *Klimkowska, A., M.H.C. van Adrichem, J.A.M. Jansen & G.W.W. Wamelink.* Bruikbaarheid van WNK-monitoringgegevens voor EC-rapportage voor Natura 2000-gebieden. Eerste fase
- 243 *Goossen, C.M., R.J. Fontein, J.L.M. Donders & R.C.M. Arnouts.* Mass Movement naar recreatieve gebieden; Overzicht van methoden om bezoekersaantallen te meten
- 244 *Spruijt, J., P.M. Spoorenberg, J.A.J.M. Rovers, J.J. Slabbekoorn, S.A.M. de Kool, M.E.T. Vlaswinkel, B. Heijne, J.A. Hiemstra, F. Nouwens & B.J. van der Sluis.* Milieueffecten van maatregelen gewasbescherming
- 245 *Walker, A.N. & G.B. Woltjer.* Forestry in the Magnt model.
- 246 *Hoefnagel, E.W.J., F.C. Buisman, J.A.E. van Oostenbrugge & B.I. de Vos.* Een duurzame toekomst voor de Nederlandse visserij. Toekomstscenario's 2040
- 247 *Buurma, J.S. & S.R.M. Janssens.* Het koor van adviseurs verdient een dirigent. Over kennisverspreiding rond phytophthora in aardappelen
- 248 *Verburg, R.W., A.L. Gerritsen & W. Nieuwenhuizen.* Natuur meekoppelen in ruimtelijke ontwikkeling: een analyse van sturingsstrategieën voor de Natuurverkenning. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 249 *Kooten, T. van & T.C. Klok.* The Mackinson-Daskalov North Sea EcoSpace model as a simulation tool for spatial planning scenarios
- 250 *Bruggen van, C., C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen, J.F.M. Huijsmans, S.M. van der Sluis & G.L. Velthof.* Ammoniakemissie uit dierlijke mest en kunstmest 1990-2008. Berekend met het Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA)
- 251 *Bruggen van, C., C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen, J.F.M. Huijsmans, S.M. van der Sluis & G.L. Velthof.* Ammoniakemissie uit dierlijke mest en kunstmest in 2009. Berekend met het Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA)

- 252 *Randen van, Y., H.L.E. de Groot & L.A.E. Vullings.* Monitor Agenda Vitaal Platteland vastgelegd. Ontwerp en implementatie van een generieke beleidsmonitor
- 253 *Agricola, H.J., R. Reijnen, J.A. Boone, M.A. Dolman, C.M. Goossen, S. de Vries, J. Roos-Klein Lankhorst, L.M.G. Groenmeijer & S.L. Deijl.* Achtergronddocument Midterm meting Monitor Agenda Vitaal Platteland
- 254 *Buiteveld, J. S.J. Hiemstra & B. ten Brink.* Modelling global agrobiodiversity. A fuzzy cognitive mapping approach
- 255 *Hal van R., O.G. Bos & R.G. Jak.* Noordzee: systeemodynamiek, klimaatverandering, natuurtypen en benthos. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 256 *Teal, L.R..* The North Sea fish community: past, present and future. Background document for the 2011 National Nature Outlook
- 257 *Leopold, M.F., R.S.A. van Bemmelen & S.C.V. Geelhoed.* Zeevogels op de Noordzee. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 258 *Geelhoed, S.C.V. & T. van Polanen Petel.* Zeezoogdieren op de Noordzee. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 259 *Kuijs, E.K.M. & J. Steenbergen.* Zoet-zoutovergangen in Nederland; stand van zaken en kansen voor de toekomst. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 260 *Baptist, M.J.* Zachte kustverdediging in Nederland; scenario's voor 2040. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 261 *Wiersinga, W.A., R. van Hal, R.G. Jak & F.J. Quirijns.* Duurzame kottervisserij op de Noordzee. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 262 *Wal J.T. van der & W.A. Wiersinga.* Ruimtegebruik op de Noordzee en de trends tot 2040. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 263 *Wiersinga, W.A. J.T. van der Wal, R.G. Jak & M.J. Baptist.* Vier kijkrichtingen voor de mariene natuur in 2040. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 264 *Bolman, B.C. & D.G. Goldsborough.* Marine Governance. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011
- 265 *Bannink, A.* Methane emissions from enteric fermentation in dairy cows, 1990-2008; Background document on the calculation method and uncertainty analysis for the Dutch National Inventory Report on Greenhouse Gas Emissions
- 266 *Wyngaert, I.J.J. van den, P.J. Kuikman, J.P. Lesschen, C.C. Verwer & H.H.J. Vreuls.* LULUCF values under the Kyoto Protocol; Background document in preparation of the National Inventory Report 2011 (reporting year 2009)