



**De staat van de Noordzee**





## De staat van de Noordzee



Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Verkeer en Waterstaat

In het kader van de Noordzeedagen 2014





## Inhoud

*(klik om weer te geven)*

De staat van de Noordzee	13
Stroming en uitwisseling met de oceaan	15
Grootschalige weerpatronen	17
Temperatuur van het zeewater	19
Zeespiegelstijging	23
CO <sub>2</sub> balans	27
Veranderingen in CO <sub>2</sub> concentratie en pH	29
Nutriënten	31
Waar komen nutriënten vandaan?	33
Nutriëntenratio's	35
Chlorofyl	39
Een complex ecosysteem	41
Weer, klimaat en biologische regulering: veranderingen in zoöplankton	43
De zeebodem: een divers habitat	45
Bodemdieren	47
Bodemdieren Nederlandse Continentale Plat	51
Diversiteit bodemgebonden vissoorten	55
Vogels	57
Bruinvis	65
Zeehonden	67
Ecosysteemdiensten	69
Visserij	73
Vervuiling	81
Vervuilende stoffen, temporele trends	85
Plastic in vogelmagen	87
Olie- en gaswinning	89
Windenergie	91
Scheepvaart	93
Zandwinning	95
Bronnenlijst	97
Colofon	99







## De staat van de Noordzee

Nederland leeft met de zee. We halen er lekkernijen uit en genieten van de prachtige natuur. We varen er wel bij (en varen doen we!) maar zijn beducht voor de kracht van de golven. We verzorgen de zee. We beperken vervuiling, proberen duurzaam te vissen, helpen de natuur. En we verwachten veel van de zee. Energie, voedsel, zand: voor veel wat het land niet meer kan leveren, richten wij onze blik naar zee.

Hoe toon je de staat van de zee? Dertig jaar geleden zou je bij deze vraag een grafiek over stijgende vervuiling hebben gezien. De draken van eutrofiëring en vervuiling zijn bedwongen, al blijven ze nieuwe koppen krijgen. Maar andere problemen dienden zich aan: overbevissing, verlies van biodiversiteit, veranderingen in het voedselweb; recenter kwamen daar opwarming, verzuring en, zeespiegelstijging bij. De veelheid aan problemen maakte duidelijk dat een sectorale aanpak, probleem voor probleem, niet vol te houden is. De ecosysteembenadering probeert in samenhang te kijken naar de verschillende onderdelen van 'het systeem zee'. Zij heeft als doel om menselijk gebruik op een innovatieve en duurzame manier in het beheer in te passen. Dat zijn ambitieuze doelstellingen, waarvoor veel kennis nodig is. Welke organismen bevolken de zee, hoe staan ze met elkaar in verband, hoe reageren ze op menselijke activiteiten, hoe veranderen ze met klimaat? En de mens, hoe kan hij het beste vissen, vervuiling voorkomen, en delfstoffen winnen op zee? Waar liggen de gebruiksgrenzen en welke innovatie is nodig om binnen die grenzen te opereren?

Het beheer van de Europese zeeën is gestoeld op de ecosysteembenadering en is vastgelegd in de KRM: Kaderrichtlijn Marien. Lidstaten moeten de ecologische toestand van de zee evalueren en waar nodig verbeteren. Zij moeten het eens worden over een aanpak om de grote complexiteit van organismen, processen, omgevingen en vragen op een geordende en afdwingbare manier te beheren. Dat proces is in volle gang. Het omvat het mobiliseren en vastleggen van bestaande kennis, het opstellen en politiek bekrachtigen van prioriteiten voor beleid en beheer, en het internationaal afstemmen van al deze acties. Het vraagt een engagement van alle belanghebbenden in het zorgen voor de zee op de lange termijn. Nederland heeft in 2012 de toestandsbepaling en de doelstellingen ministerieel vastgelegd, en in 2014 het monitoringprogramma en de indicatoren bepaald. In de komende jaren wordt ook het actieprogramma vastgelegd om te komen tot een goede ecologische toestand in 2020. Vanaf 2020 start een nieuwe zesjarige cyclus. Het InformatieHuis Marien (IHM) is opgericht om het verzamelen, beheren en ontsluiten van gegevens te coördineren ([www.noordzeeloket.nl](http://www.noordzeeloket.nl)).

Dit boekje illustreert waar we over praten als we het hebben over het complexe ecosysteem van de Noordzee. Het toont gegevens over vervuiling, productiviteit, biodiversiteit, visbestanden, menselijk gebruik, klimaat en andere aspecten. Natuurlijk kunnen we slechts een glimp aanbieden van wat beschikbaar is, maar de compilatie toont hoe complex het beheer van de zee is. Ze toont ook dat er internationaal inspanning wordt geleverd om samenhangende databases te bouwen. Dat is een weg die we verder moeten gaan, want zonder deze informatie zal een goed begrip van het ecosysteem niet mogelijk zijn.

Onze compilatie toont ook grote gaten. Er worden voor allerlei MER (Milieu-Effect Rapportage) procedures, bijvoorbeeld voor windparken, waarschijnlijk meer waarnemingen in de Noordzee gedaan dan ooit. Toch hebben we voor de laatste twee decennia nauwelijks gebiedsdekkende overzichten

van vogels, zoogdieren en bodemdieren. Sommige groepen, zoals kwallen, zijn sinds de jaren 1970 niet meer systematisch geïnventariseerd, zodat we daar weinig over kunnen melden. Lijstjes van vervuilende stoffen verschillen per land en bemonstering in open zee is schaars, zodat systematische overzichten moeilijk te maken zijn. Nieuwe vervuilende stoffen en microplastics worden nog niet systematisch onderzocht. Er is werk aan de winkel om het beeld van het 'ecosysteem Noordzee' volledig te maken en actueel te houden, maar er is een basis en er is kennis die daarvoor kan worden ingezet en ontwikkeld.

Nederland heeft de afgelopen decennia grote inspanningen geleverd om de monitoring van het Nederlandse deel van de Noordzee op peil te brengen en te houden. In dit boekje tonen we soms een uitsnede van het NCP (Nederlands Continentaal Plat), maar vaak is de Nederlandse bijdrage deel van een inspanning op de gehele Noordzee. We verwachten dat met de inwerkingtreding van de Kaderrichtlijn Marien monitoring en beheer van de Noordzee in toenemende mate internationaal zullen worden gecoördineerd. Daarin kan Nederland een belangrijke rol spelen. Er is een goede kennisbasis aanwezig, het maatschappelijke belang is groot en, zoals aangetoond in vele kaartjes in dit boekje, de Nederlandse kustwateren zijn een hotspot in de Noordzee. Nutriëntendynamiek, primaire productie, bodemdieren, gebruik en vervuiling, zowat alles kent in deze ondiepe wateren waar grote rivieren, noordelijk Noordzeewater en Kanaalwater samenkomen een geografische piek.

Op vele gebieden, gaande van energie, mineralenwinning, voedselproductie, biotechnologische genenreservoirs tot toerisme, scheepvaart en handel, kijkt Nederland voor de toekomst naar de zee. Dit land is kwetsbaar voor zeespiegelstijging en andere gevolgen van mondiale verandering, maar bekleedt ook wereldwijd een toppositie in het omgaan met de krachten van de natuur. Alle redenen dus om de zee nauwlettend en methodisch in de gaten te houden. Dit boekje probeert te illustreren dat monitoring inzicht en overzicht verschaft, maar evenzeer vragen oproept die nader onderzoek verdienen. Waar onderzoek, monitoring en beheer samenkomen, kan een structurele basis worden gelegd voor toekomstgericht beheer van de zee.

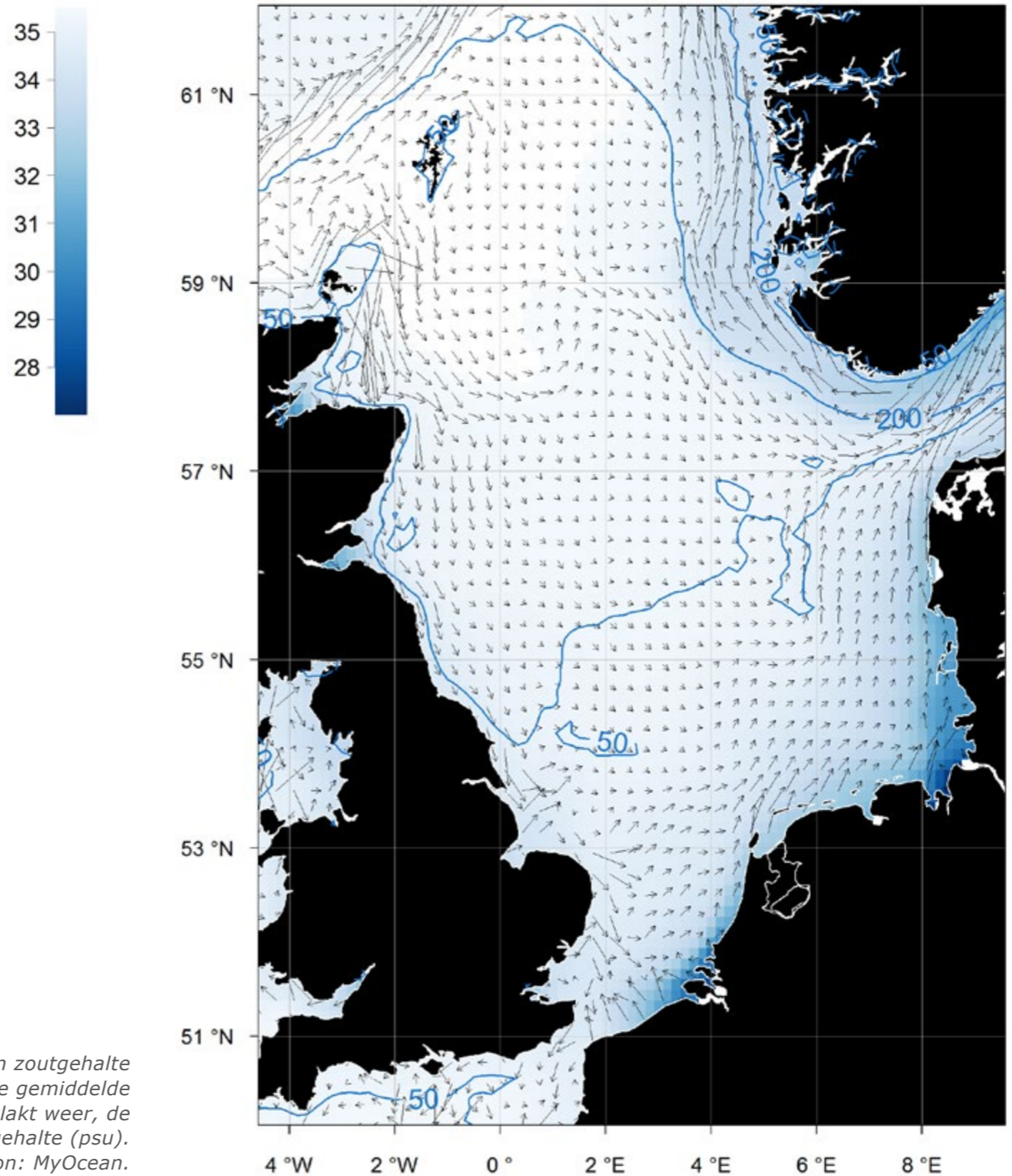
Peter Herman  
Olivier Beauchard  
Luca van Duren

## Stroming en uitwisseling met de oceaan

Het water van de Noordzee is voortdurend in beweging. Hoe het precies stroomt op een bepaald ogenblik, wordt bepaald door getijden, wind, rivieren en oceanen. Gemiddeld over een langere periode stroomt het water in de Noordzee tegen de klok in rond. Bij de noordelijke en zuidelijke grenzen is er uitwisseling met de Atlantische Oceaan. Gemiddeld verblijft een waterpartikel 1 à 2 jaar in de Noordzee en stroomt dan weer terug naar de oceaan. Het zoutgehalte van de oceaan is met ongeveer 35-36 g/kg hoog en constant. Bij de kusten, vooral in de zuidoostelijke hoek, is het water brakker door de instroom van de rivieren, rechtstreeks in de Noordzee of via de uitwisseling met de Oostzee.

Het grootste deel van de Noordzee is ondiep, maar de noordoostelijke hoek is aanzienlijk dieper. Daar concentreert zich de uitstroom. Overigens zijn in diepere delen de stromingen bij het oppervlak en bij de bodem vaak verschillend; hier worden uitsluitend de oppervlaktestromingen getoond.

*Figuur: Gemiddelde waterstroming en zoutgehalte in de Noordzee. De pijlen geven de gemiddelde stroomrichting bij het oppervlakt weer, de kleurcodering toont het zoutgehalte (psu).  
Bron: MyOcean.*



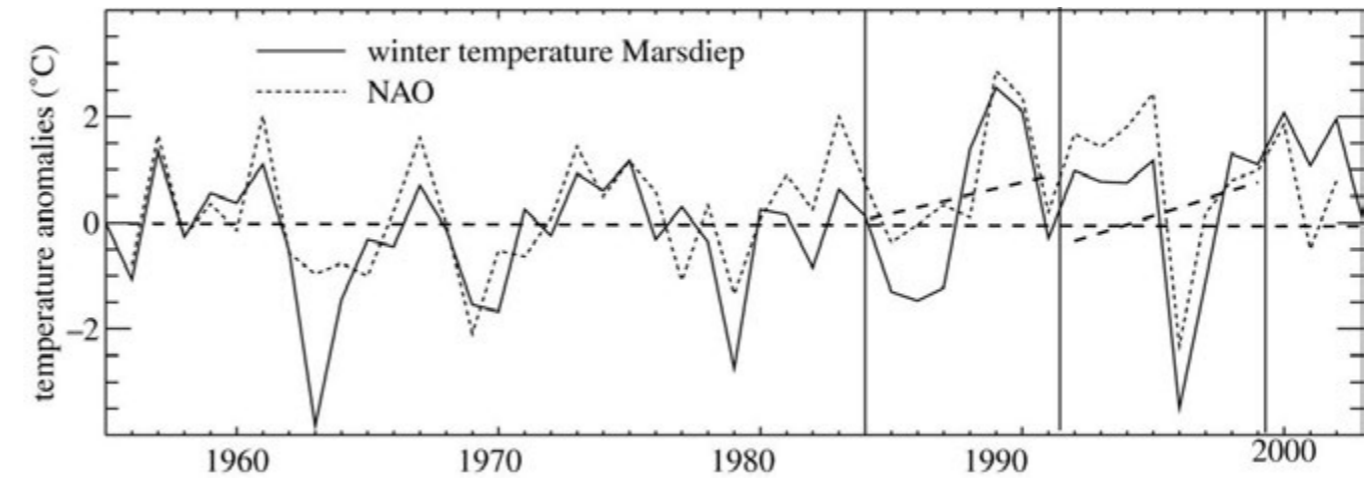


## Grootschalige weerpatronen

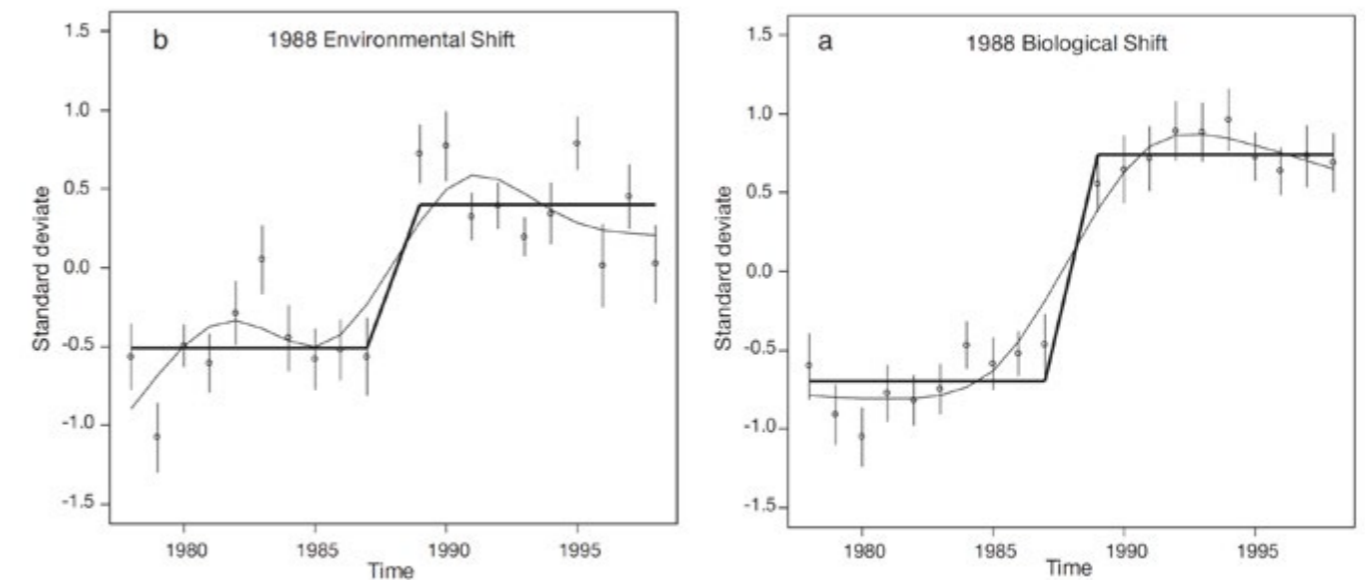
De hydrografie en ecologie van de Noordzee vertonen systematische variaties over meerdere jaren, die synchroon verlopen in zo uiteenlopende tijdseries als temperatuur van het zeewater, aantal wormen in het Balgzand, of aantal eieren per haring. Nu en dan zijn er plotselinge schokken, waardoor het ecosysteem in een ander 'regime' terechtkomt. Sommige soorten worden zeldzamer, andere worden bevorderd. Er treden verschillen op in zoutgehalte en temperatuur van het water, nutriëntenconcentraties vertonen lichtjes andere patronen, stromingen veranderen.

Deze wisselingen worden toegeschreven aan weersomstandigheden, die op hun beurt de oceaanstromingen en daardoor weer de uitwisseling tussen de Noordzee en de oceaan beïnvloeden, en die rechtstreeks inwerken op temperatuur en wind. Twee indicatoren worden hiervoor vaak gebruikt: de indicator voor de gemiddelde temperatuur op het noordelijk halfrond, die vooral aan klimaat is gerelateerd, en de NAO (North Atlantic Oscillation) die aan weerpatronen is gelinkt en is gebaseerd op luchtdrukverschillen tussen IJsland en de Azoren.

De relatief plotselinge veranderingen in het systeem treden geregeld op en bemoeilijken de interpretatie van tijdseries in de Noordzee aanzienlijk, omdat niet steeds duidelijk is wat door variatie op korte termijn wordt veroorzaakt, wat door klimaatverandering, en wat door menselijke invloed.



Figuur: De NAO index is duidelijk gecorreleerd met de zeewatertemperatuur in het Marsdiep. Bron: Tsimplis et al., 2006.



Figuur: Een illustratie van de regimewisseling in de Noordzee van 1988. Gemiddelde en variatie in 28 tijdseries van abiotische omgeving (links) en in 50 tijdseries van biologische variabelen (rechts) tonen tezamen een plotse verandering rond 1988. Bron: Weijerman et al., 2005.

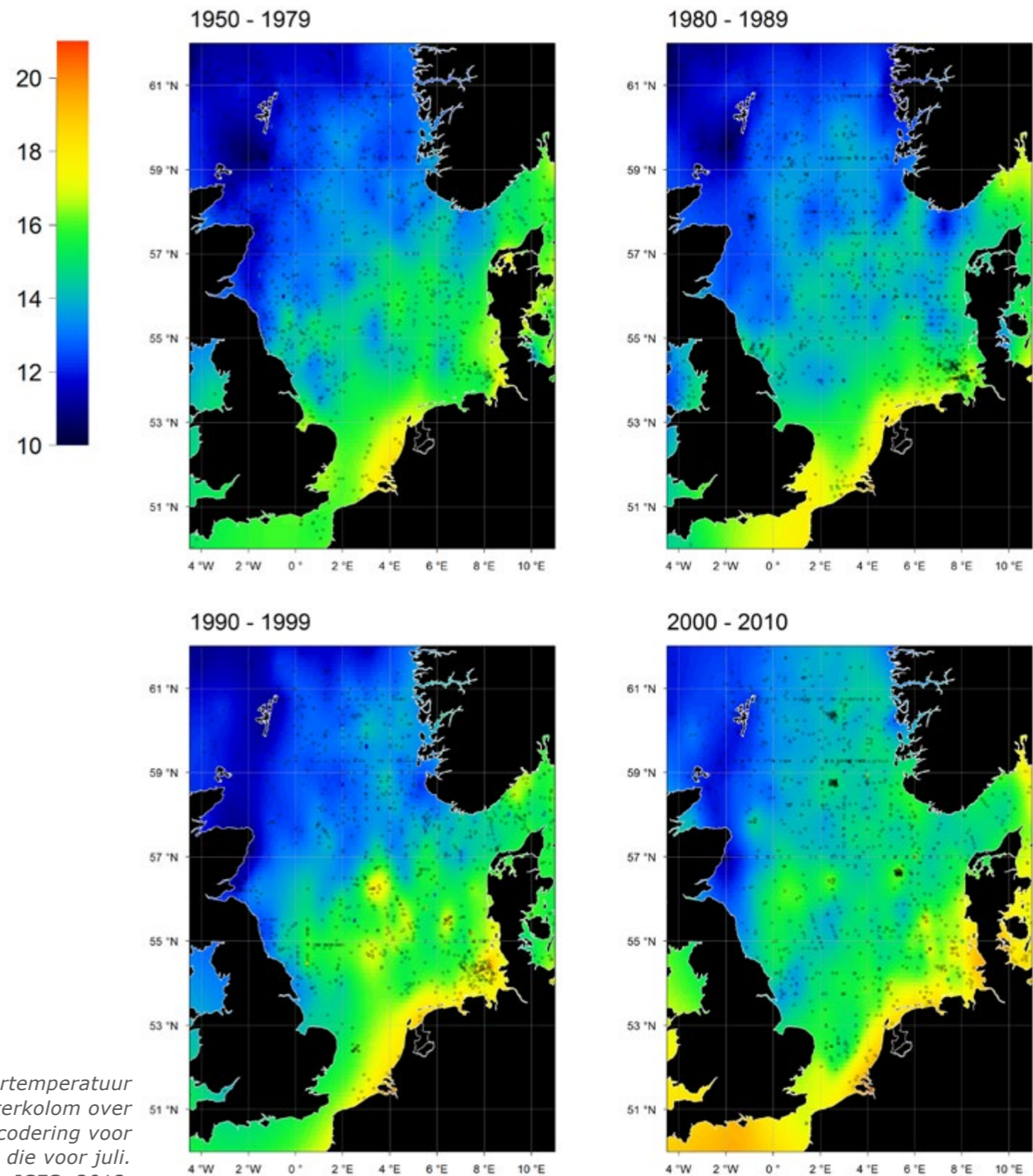
## Temperatuur van het zeewater

Vergeleken met de oceaan is de Noordzee koud in de winter en warm in de zomer; een ondiepe zee volgt de temperatuur van de lucht sneller dan de diepe oceaan.

Op de langere tijdschaal is er sinds het midden van de twintigste eeuw een trend naar opwarming van het water, zeker bij de oppervlakte. We zien in de metingen van temperatuur in de bovenste 10 m dat het zowel in zomer als winter warmer is geworden.

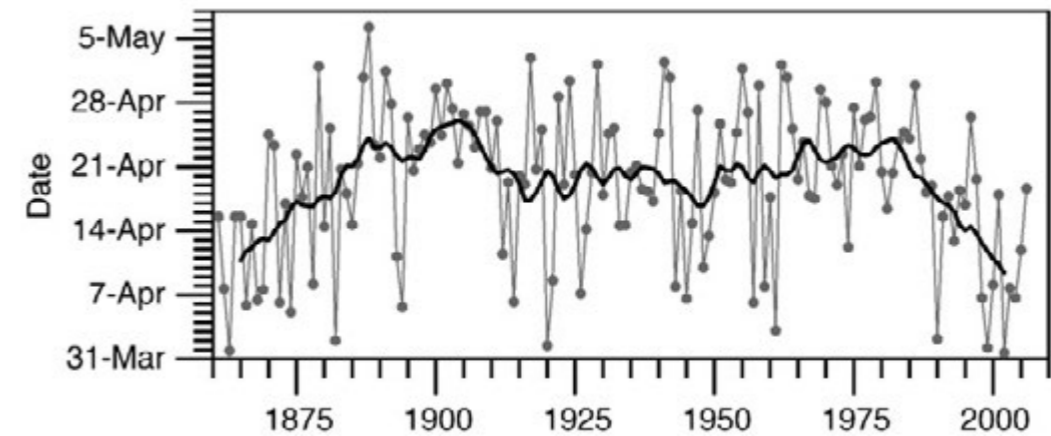
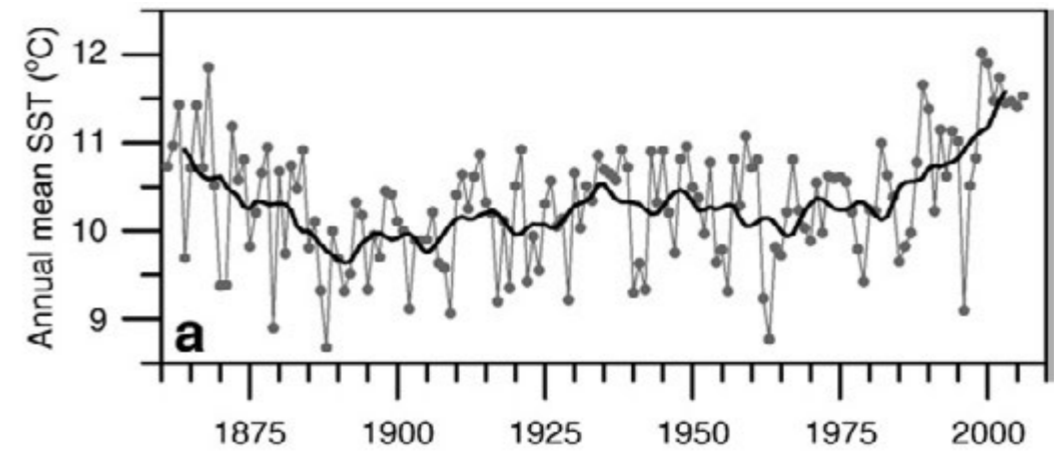
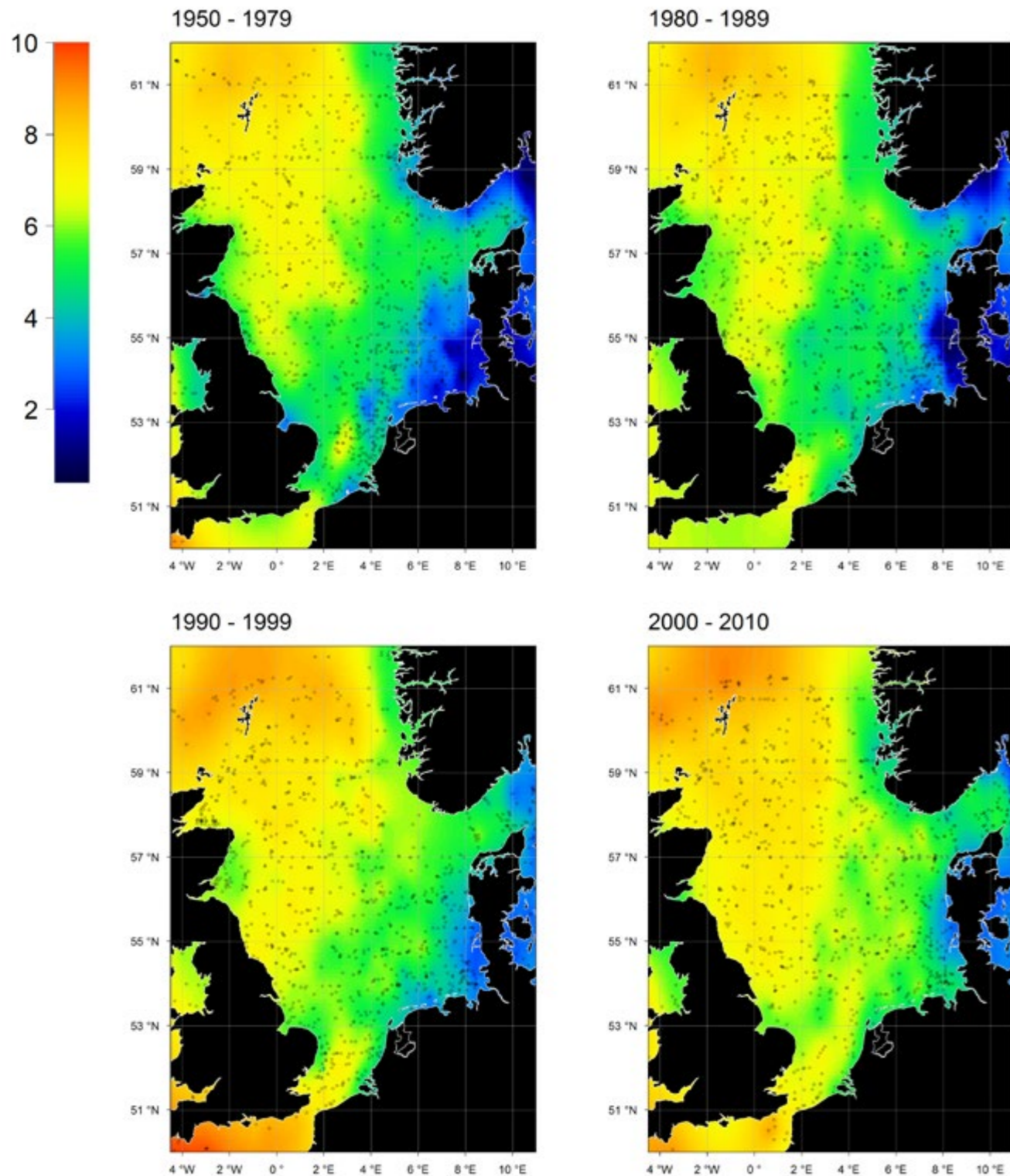
Deze trend wordt bevestigd door metingen langs de Nederlandse kust. Eén van de langste tijdseries is die van dagelijkse temperatuursmetingen in het Marsdiep, tussen Den Helder en Texel, die door het NIOZ en zijn voorgangers wordt bijgehouden.

De veranderingen in temperatuur hebben grote ecologische gevolgen, ook als het maar om fracties van een graad gaat. Als voorbeeld tonen wij de berekende dag waarop het nonnetje, een belangrijk schelpdier in de Waddenzee, zijn eieren en spermatozoïden loslaat in de lente, over de periode van meting (figuur op volgende pagina). Het nonnetje is een heel voorspelbare broeder: als het water de grens van 8,3 °C overschrijdt, begint de reproductie. Voor jaren waarvan de gemiddelde watertemperatuur een graad verschilt, kan het verschil in timing van de broedval gemakkelijk een maand bedragen. Dat is ecologisch heel significant, want het voedsel van de larven (fytoplankton) wordt veel meer door licht/daglengthe dan door temperatuur bepaald, zodat de larven bij verkeerde timing gemakkelijk hun voedsel kunnen mislopen.



*Figuur: De evolutie van de zomertemperatuur in de bovenste 10m van de waterkolom over de afgelopen decennia. De kleurcodering voor deze kaarten verschilt van die voor juli.  
Bron: ICES, 2013.*





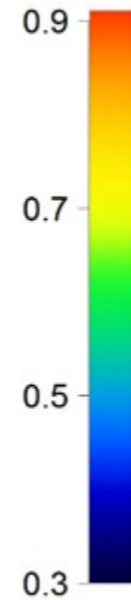
Figuur: De evolutie van de wintertemperatuur in de bovenste 10m van de waterkolom over de afgelopen decennia. Let op: de kleurcodering in deze kaarten verschilt van die voor juli.  
Bron: ICES, 2013.

Figuur: Sinds 1860 wordt de temperatuur van het water in het Marsdiep tussen Den Helder en Texel dagelijks gemeten. De bovenste serie toont de klimaatvariatie op decenniumschaal in deze periode. Dit heeft belangrijke ecologische gevolgen. Geïllustreerd is (onderaan) de variatie in de datum van reproductie van het nonnetje *Macoma balthica*. De y-as toont de voorspelde datum van reproductie, gebaseerd op waargenomen temperaturen in het betreffende jaar. Als het zeewater relatief koud is (bovenste figuur) dan valt de reproductie laat in het jaar (onderste figuur) en omgekeerd.  
Bron: van Aken, 2008.

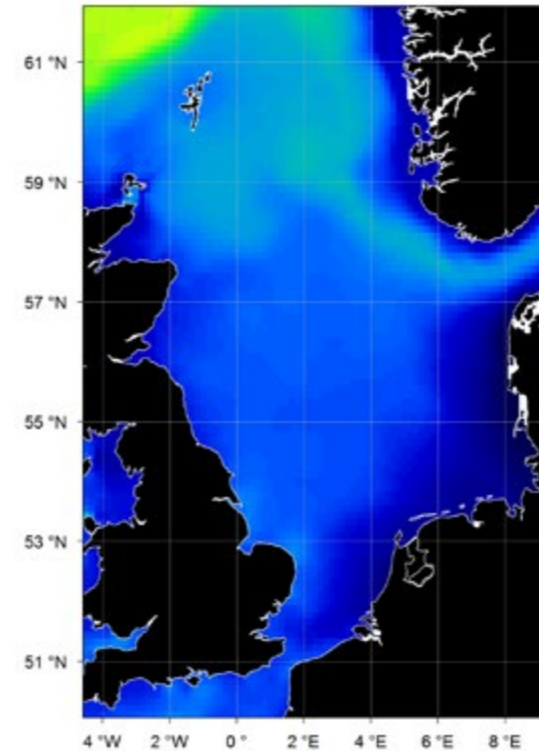


## Zeespiegelstijging

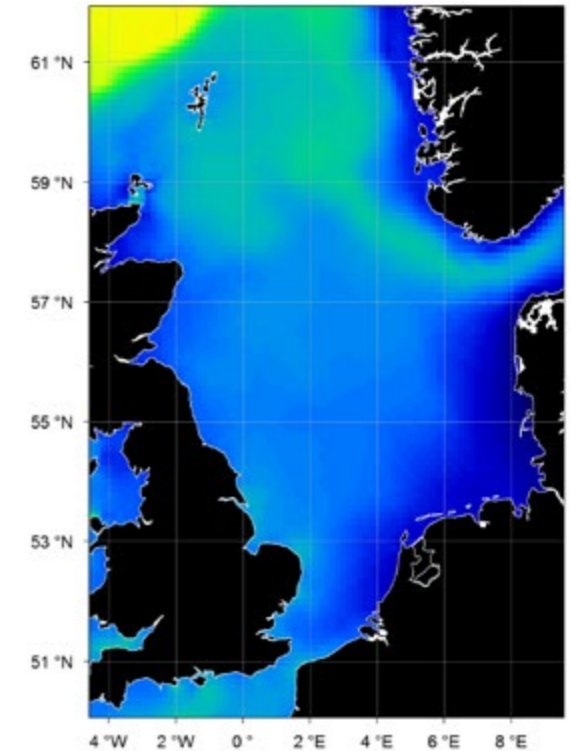
De zee is geen eenvoudige badkuip met een vlak wateroppervlak. Natuurlijk is het al niet gemakkelijk te definiëren wat 'vlak' betekent op de bultige bol die de aarde is, maar door nauwkeurig de zwaartekracht te meten kan voor iedere positie worden berekend wat het theoretische zeeniveau zou zijn bij 'vlakke zee'. Daar wijkt het echte zeeniveau fors (tientallen meters) van af. Dat is een gevolg van stromingen, wind en andere factoren. Het zeeniveau is ook niet constant. Door (vooral) thermische expansie van het zeewater en smelten van ijskappen stijgt de gemiddelde zeespiegel wereldwijd, maar ook hier geldt: niet als een vollopende badkuip! Op sommige plaatsen in de wereldoceaan is de stijging veel sterker dan andere. Dat heeft opnieuw met stromingen en wind te maken, maar ook met het feit dat grote ijsmassa's water aantrekken, en bij smelten een deel van die aantrekkingskracht verliezen. De Noordzee hoort bij de sterk stijgende delen van de wereldoceaan, maar niet tot de recordhouders. Modelberekeningen tonen hoe het gemiddelde niveau van de Noordzee in de afgelopen decennia is geëvolueerd. Dit betreft de afwijkingen ten opzichte van het theoretische niveau.



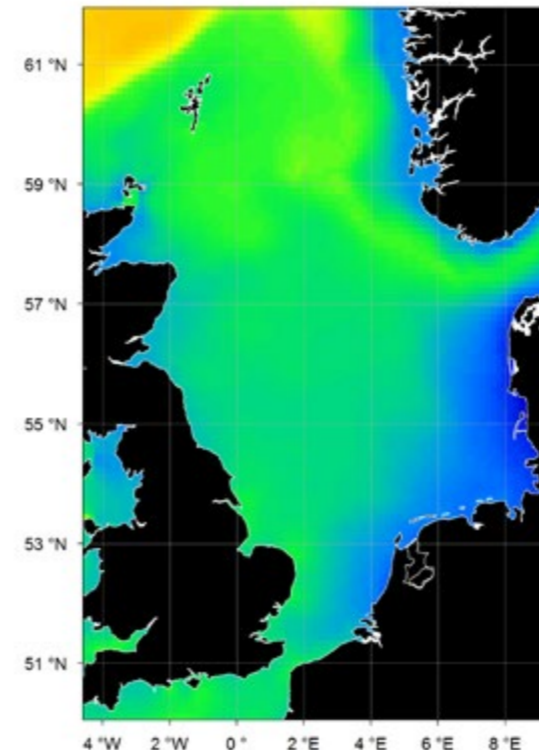
1960 - 1969



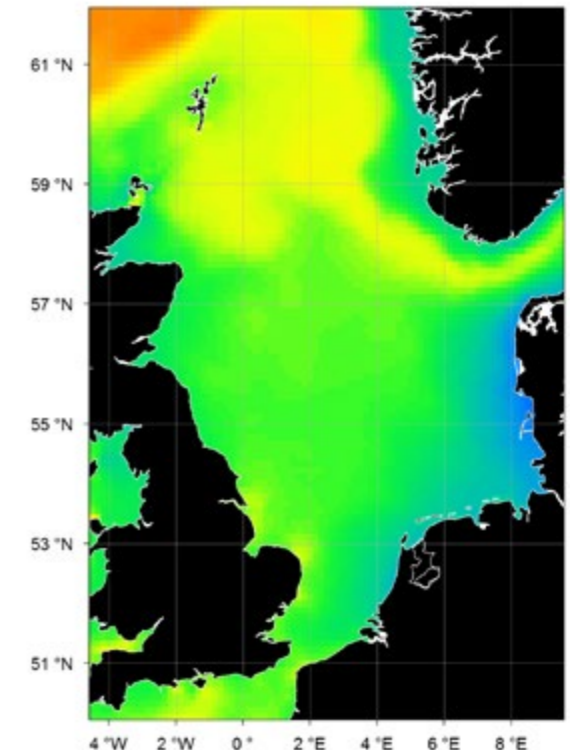
1970 - 1979



1980 - 1989

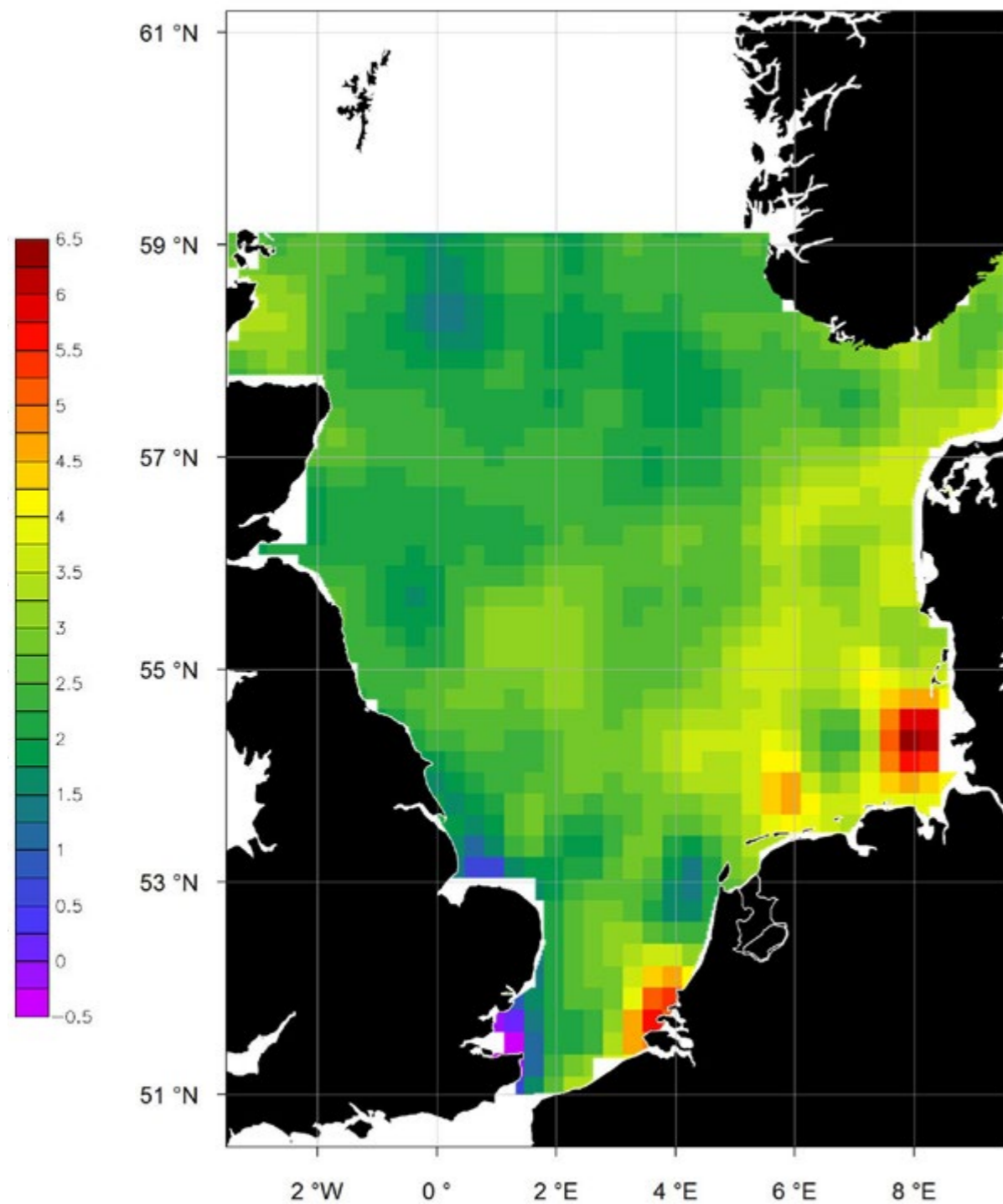


1990 - 2004

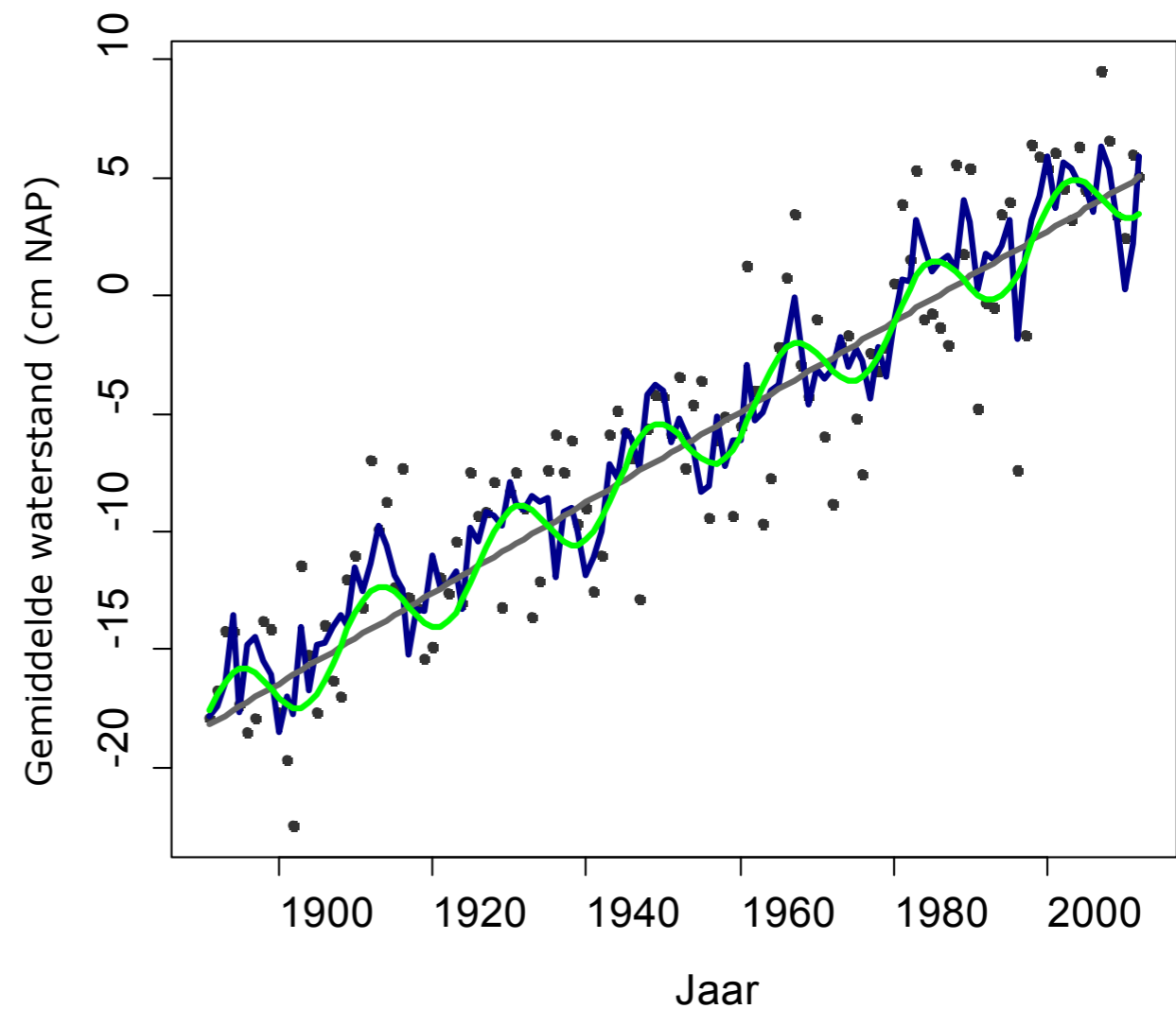


*Figuur: Modelberekeningen die aangeven hoe het zeeniveau in de Noordzee ten opzichte van het theoretische 'neutrale' niveau is geëvolueerd over de afgelopen decennia. Er vindt een algemene stijging van het zeeniveau plaats met enkele mm per jaar, maar deze is niet overal even sterk. Bovendien blijkt duidelijk hoe waterdiepte en stromingen een invloed hebben op het zeeniveau. De schaal is in meter t.o.v. het referentieniveau.*

*Bij de kust wordt het plaatje verder gecompliceerd door het effect van wateropzet. Als de wind het water naar de kust blaast, waar het niet weg kan, kunnen extreme waterniveaus optreden. Dat gebeurt niet overal even intensief. De extremen zijn uiteraard van groot belang voor de kustverdediging. De figuren illustreren de ruimtelijke spreiding van zeespiegelstijging over de Noordzee, en de lange-termijn variatie van de zeespiegel, zoals die is gemeten in vijf kustplaatsen in Nederland over de afgelopen eeuw. De schommelingen in zeespiegel hangen af van stormvoorkomens, gevoeligheid voor wateropzet, en bodemdaling op land. De tijdserie is gevoelig voor de relatieve zeespiegelstijging, maar toont ook weersinvloeden en effecten van lange componenten in het astronomisch getij.*  
Bron: MyOcean.



*Figuur: Gemiddelde snelheden van zeespiegelstijging voor de Noordzee (mm/jaar), zoals die kunnen worden afgeleid uit altimetrie van satellieten. De grote regionale verschillen worden verklaard door stormvoorkomens, gevoeligheid voor wateropzet en bodemdaling op land.  
Bron: de Ronde et al., 2014.*

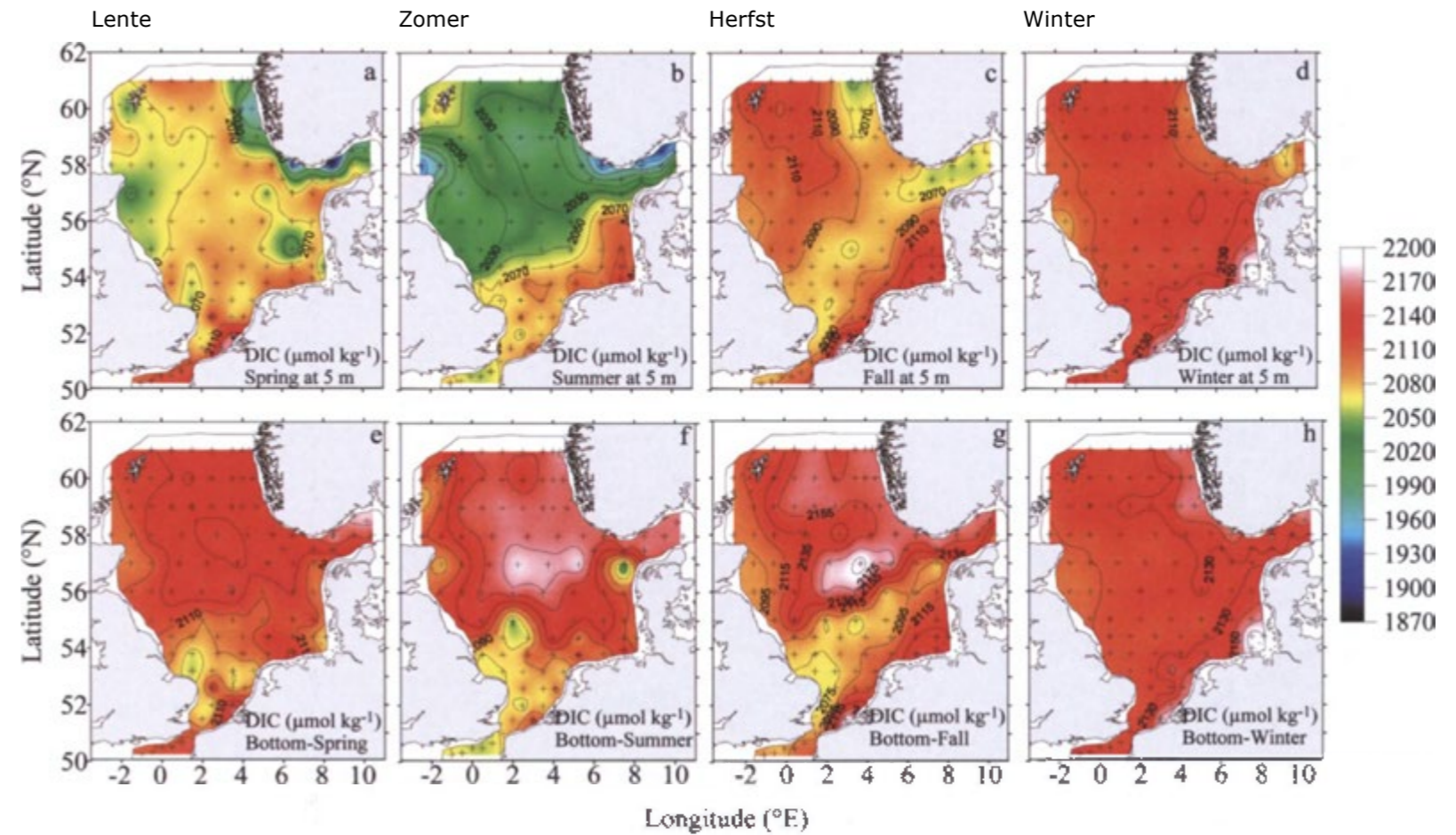


*Figuur: Gemiddelde waterstand per jaar over vijf kustplaatsen langs de Nederlandse kust. De volgende componenten worden successievelijk gecumuleerd getoond: een constante toenamesnelheid van het zeeniveau, een ongeveer 18-jarige cyclus in het getij (groen) en een component die gerelateerd is aan de NAO-index (blauw).  
Bron: de Ronde et al., 2014.*



## CO<sub>2</sub> balans

De Noordzee speelt een actieve rol in de regulering van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer. Er zijn vier belangrijke termen in het budget van koolzuurgas in de zee. Er is aanvoer vanuit de rivieren. Dit is ondanks de kleine bijdrage aan de waterbalans toch een relatief grote term omdat de concentratie van CO<sub>2</sub> en organisch materiaal in het water van rivieren en estuaria heel hoog kan zijn. Uitwisseling met de oceaan in het noorden en via het Kanaal speelt een belangrijke rol – gemiddeld wordt alle Noordzeewater ongeveer eens per 1 tot 3 jaar uitgewisseld. Uitwisseling tussen de zee en de atmosfeer is bepalend voor het budget. In principe neemt de zee CO<sub>2</sub> op als het water onderverzadigd is, en geeft ze CO<sub>2</sub> af als het oververzadigd is. Hoe snel dat gaat hangt af van fysische processen (de gelaagdheid van het water en windafhankelijke oppervlakteprocessen) en van chemische buffering in het zeewater. Tenslotte is de biologische opname en afgifte van CO<sub>2</sub> in productie en consumptie van organisch materiaal een fundamenteel sturend proces. De laagste concentraties van anorganisch opgelost koolstof komen voor wanneer opname door algenbloei de aanvoer uit transport, atmosfeer en afbraak van organisch materiaal het sterkst overstijgt. Hoge concentraties duiden meestal op hogere afbraak dan productie van organisch materiaal. De kaarten (per seizoen en dieptelaag) illustreren dat opname van CO<sub>2</sub> door algen in de oppervlaktelaag van het diepere ('s zomers gelaagde) deel van de Noordzee de belangrijkste kracht is die zorgt voor opname van CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer. Transport van organisch materiaal naar de diepere lagen, en uitwisseling hiervan met de oceaan, zorgen ervoor dat de Noordzee fungeert als een koolstofpomp vanuit de atmosfeer naar de wereldoceaan.



*Figuur: Concentratie opgelost anorganisch koolstof ( $\mu\text{mol kg}^{-1}$ ) in het oppervlaktewater (bovenste rij) en het diepe water (onderste rij) in de vier seizoenen (kolommen): lente (a), zomer (b), herfst (c) en winter (d).  
Bron: Bozec et al., 2006.*



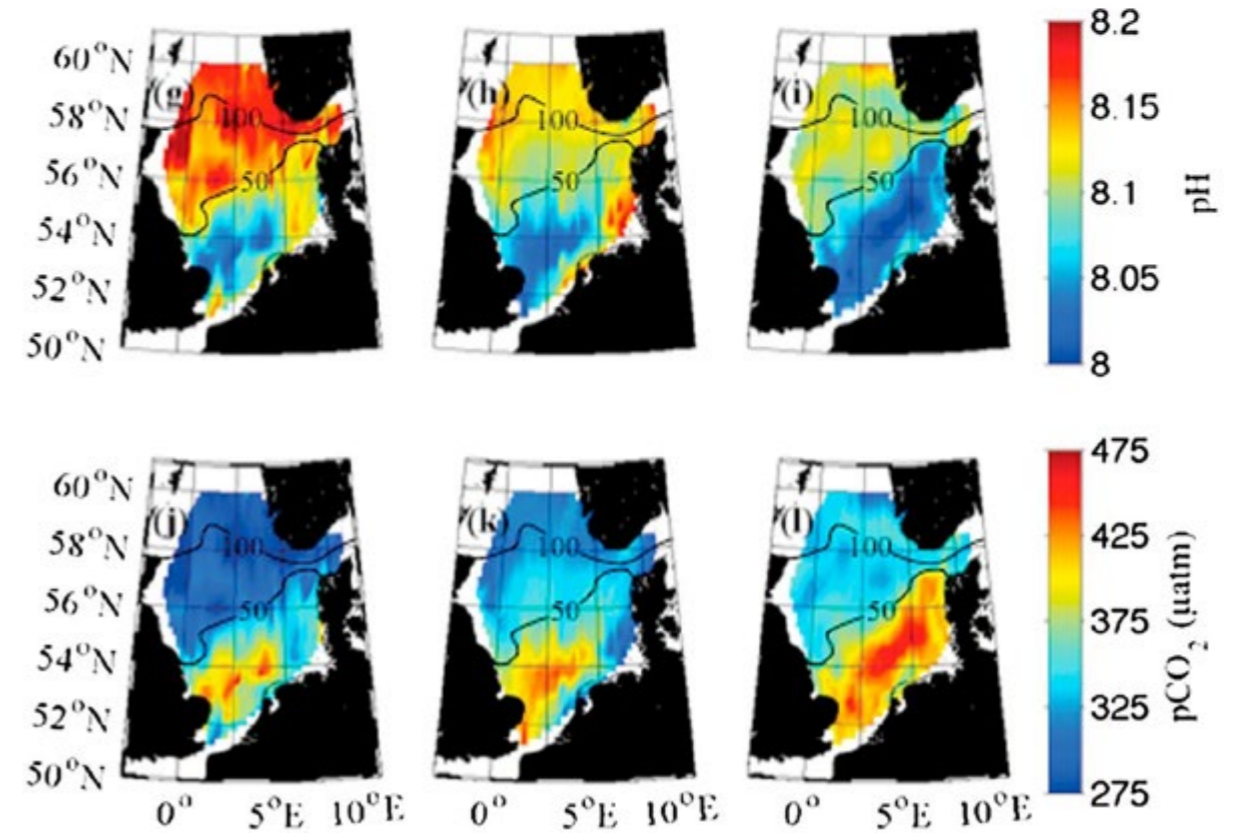
## Veranderingen in CO<sub>2</sub> concentratie en pH

Over de afgelopen decennia zijn trendmatige veranderingen gevonden in de CO<sub>2</sub> concentratie en in de zuurgraad (pH) van het Noordzeewater. Het is methodologisch niet eenvoudig om deze variabelen betrouwbaar te meten, maar steeds betere modellen, veldmetingen en (her-) interpretaties van oudere gegevens hebben toegelaten een vrij betrouwbaar beeld over de laatste decennia op te bouwen.

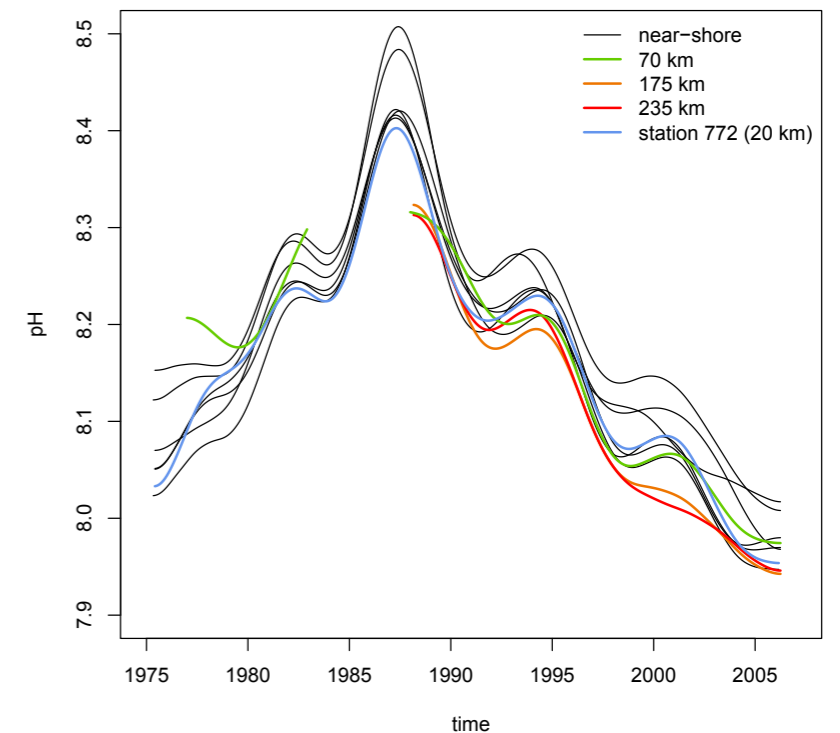
De veranderingen in CO<sub>2</sub> en pH zijn groot in vergelijking tot wat men kan verwachten op basis van de stijgende koolzuurgasconcentratie in de atmosfeer. Er zijn ook andere processen die hierin meespelen.

Onderzoek heeft aangetoond dat de NAO-index, die aangeeft welk weertype overheerst en die samenhangt met de uitwisseling tussen Noordzee en oceaan, ook voor deze variabelen van groot belang is. Daarnaast leert onderzoek van langjarige series in kustwateren (data Rijkswaterstaat) dat er een duidelijke correlatie is tussen eutrofiëring en pH. Gedurende de piek van de eutrofiëring, in de jaren 1980, was de algenproductie hoog. Dit leidde tot een seizoenale verhoging van pH. Met de afname van de nutriënten is ook die piek in pH verminderd en is de Noordzee in relatief korte tijd zuurder geworden. Verzuring is een algemeen fenomeen in de oceaan, maar in kustsystemen zijn veranderingen in de algenproductie verantwoordelijk voor de snelle en grote veranderingen, bovenop een achtergrond van dalende pH veroorzaakt door de stijging van CO<sub>2</sub> concentratie in de atmosfeer.

Het is op dit ogenblik nog niet heel duidelijk wat de ecologische gevolgen zijn van verzuring van de zee. Effecten op individuele organismen zijn beschreven. Deze zijn het sterkst bij soorten met een kalkskelet of schelpen. Bij verzuring wordt het moeilijker kalkstructuren aan te maken, en gaan die structuren ook gemakkelijker spontaan oplossen. Of, en in welke mate, deze effecten op individuen te generaliseren zijn en hoe ze doorwerken op het niveau van populaties en ecosystemen, is op dit ogenblik onderwerp van wereldwijd onderzoek.



*Figuur: pH (bovenste rij) en CO<sub>2</sub> concentratie (onderste rij) in Noordzee-surveys uit 2001, 2005 en 2008. De nieuwste survey uit 2011 is nog niet gepubliceerd, maar bevestigt de trend in deze serie observaties. Bron: Salt et al., 2013.*



*Figuur: Lange-termijncomponenten in de tijdseries (Rijkswaterstaat - MWTL) van pH in het Nederlandse kustwater. De stations dicht bij de kust hebben veel sterkere seizoenscomponenten door een hogere primaire productie, maar de lange-termijncomponenten zijn zeer consistent over de gehele kustzone. Zij relateren aan weerpatronen (NAO en uitwisseling met oceaan), aan veranderde afstroom van nutriënten en organisch materiaal uit de rivieren, en aan de veranderde CO<sub>2</sub> concentratie in de atmosfeer. Bron: Provoost et al., 2010.*

## Nutriënten

Nutriënten zijn minerale stoffen, zoals stikstof (N), fosfor (P) of silicium (Si) die algen nodig hebben om te kunnen groeien. Wanneer algen in de lente fors groeien, putten zij vaak de voorraden nutriënten uit, waardoor de productie stilvalt: nutriënten zijn beperkend voor de productie.

De bronnen van nutriënten in de Noordzee zijn de oceaan, de rivieren en (voor stikstof) de atmosfeer. Menselijke activiteiten op land – vooral landbouw, productie van huishoudelijk afvalwater en verbranding – zijn een belangrijke bron van nutriënten die via rivieren en atmosfeer de zee bereiken. Daardoor kunnen problemen van eutrofiëring ontstaan: het overbemesten van de zee. De productie van algen stijgt, en het organisch materiaal wordt vervolgens afgebroken, wat kan leiden tot zuurstoftekorten.

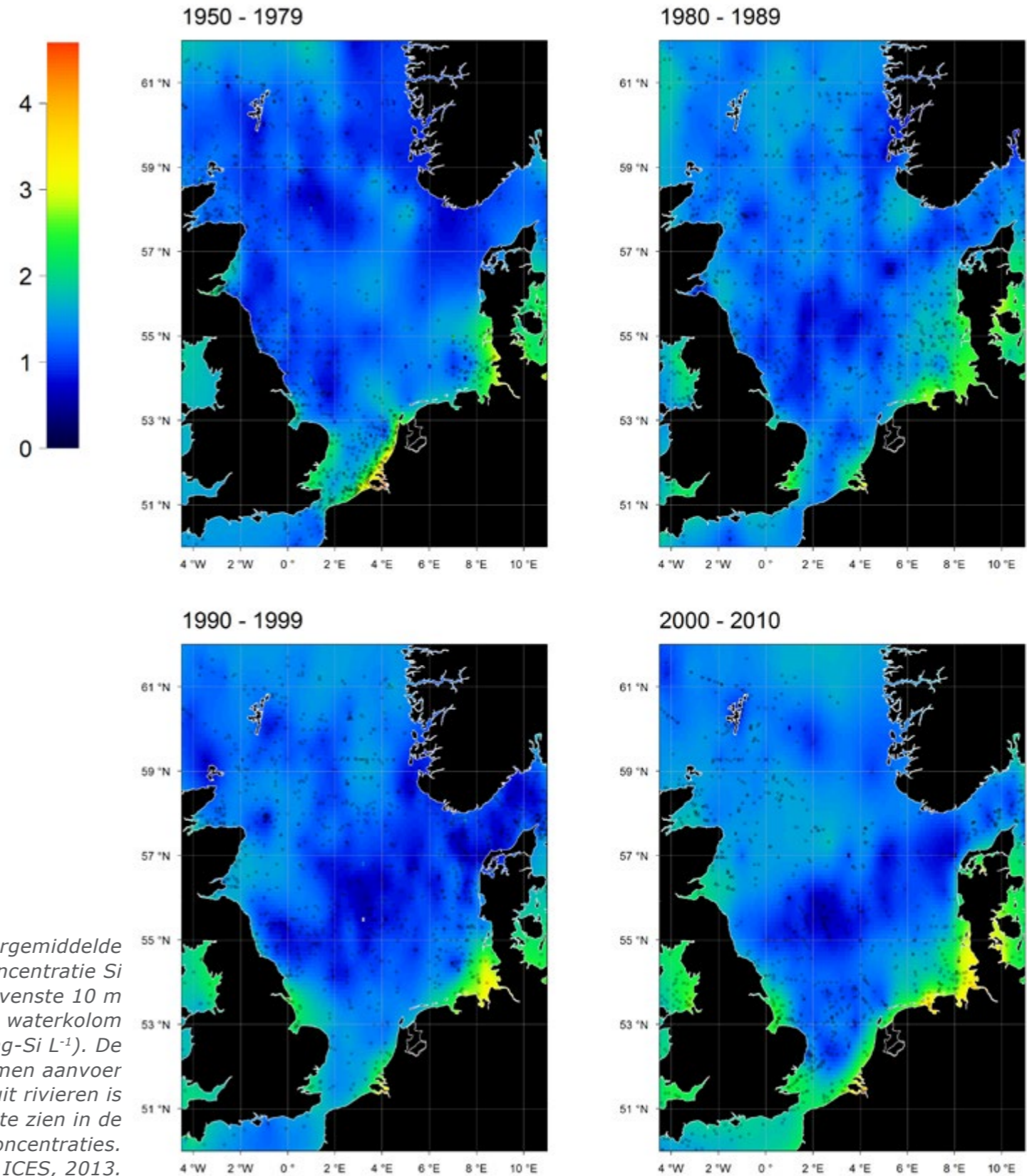
Problemen met eutrofiëring ontstaan wanneer alle nutriënten in overmaat worden aangeboden, maar ook wanneer de verhouding tussen de verschillende nutriënten wordt verstoord. In de oceaan liggen deze verhoudingen vast (de Redfield ratio). Als sommige nutriënten veel meer worden aangeboden dan andere, verandert de soortensamenstelling van de algen. Dit bevordert vaak de bloei van schadelijke (giftige of versturende) algen.

Eutrofiëring in de kustwateren van de Noordzee bereikte een piek in de jaren 1980: er waren toen nog volop rioleringen die het afvalwater ongezuiverd naar zee brachten. Het verbruik van nutriënten in landbouw en huishoudens piekte. Sindsdien zijn belangrijke stappen gezet in het verminderen van de aanvoer. In vergelijking met de situatie eind jaren '80 van de vorige eeuw is de atmosferische afzetting van stikstof met 20% verminderd, al is er de laatste jaren een stijging van stikstof afkomstig van zeeschepen. De aanvoer van fosfor is als gevolg van waterzuivering en politieke veranderingen in Oost-Europa na 1989, verminderd met 80%. De aanvoer van stikstof uit rivieren is minder afgenomen, ongeveer 50%, omdat voor deze componenten meer diffuse bronnen belangrijk zijn, waardoor zuivering moeilijker is dan voor fosfaat.

De zuivering van afvalwaters heeft geleid tot een vermindering van de biologische vraag naar silicaat in rivieren, waardoor concentraties langs de kust relatief zijn toegenomen. Siliciumbronnen worden weinig door de mens beïnvloed, maar opname in het rivierwater wordt bepaald door de concentraties van de andere nutriënten.

Vele estuaria (de Schelde is een schoolvoorbeeld) waren eind Jaren 1980 sterk organisch verontreinigd met lage zuurstofconcentraties tot gevolg. Daardoor waren zij effectieve filters voor nutriënten. Die functie is, als gevolg van sanering van de waterkwaliteit, grotendeels weggefallen zodat verdere verbetering van de waterkwaliteit afhangt van een consequent volhouden van de zuiveringsinspanning.

Bestrijding van eutrofiëring in de kustwateren is een voorbeeld waar volgehouden en internationaal gecoördineerde inspanning heeft geleid tot duidelijke positieve resultaten. Toch zijn nog niet alle problemen opgelost en is blijvende aandacht vereist.



*Figuur: Jaargemiddelde concentratie Si in bovenste 10 m waterkolom (mg-Si L<sup>-1</sup>). De toegenomen aanvoer vanuit rivieren is duidelijk te zien in de concentraties.  
Bron: ICES, 2013.*



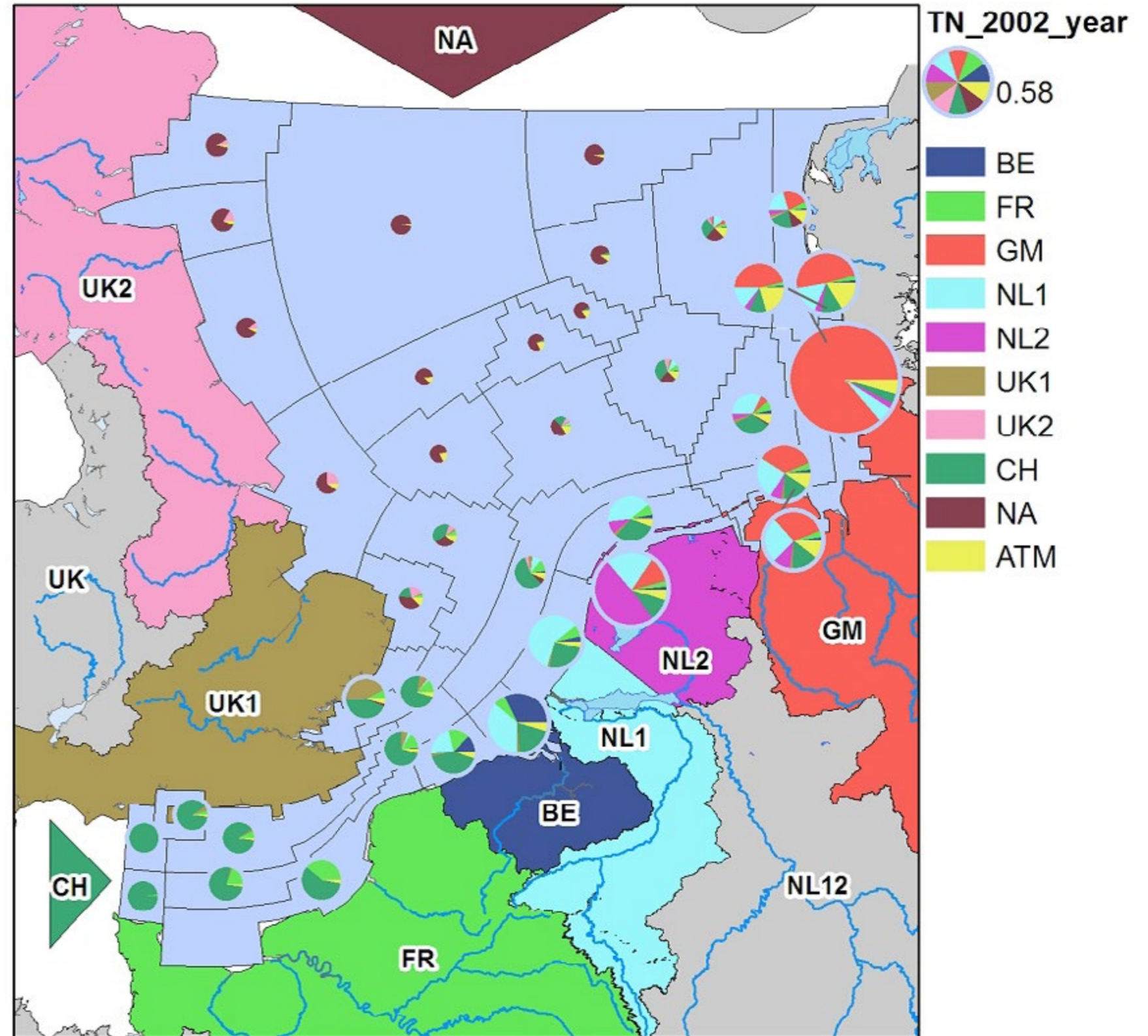
## Waar komen nutriënten vandaan?

Hoewel de rivieren slechts een klein deel bijdragen aan de oorsprong van het water van de Noordzee (dat lees je af aan zoutgehaltes), hebben ze in verhouding een veel grotere bijdrage aan de toevoer van nutriënten. Dat komt omdat de concentraties van nutriënten in het rivierwater vele malen hoger zijn dan de concentraties in de oceaan. De grote invloed van de rivieren is vooral merkbaar in de kustzones.

Geen enkel land is 'baas in eigen huis' en kan de concentraties van nutriënten in het eigen kustwater volledig beheersen; Er zijn immers belangrijke stromingen over de grenzen heen. Dat geldt voor de atmosfeer nog sterker dan voor het water. Het probleem kan alleen op de schaal van de Noordzee worden beheerst en daarom is OSPAR opgericht als de supranationale coördinator van dit beleid.

Maar het is goed dat iedereen weet waarvoor hij verantwoordelijk is. Dat wordt getoond in de kaart, waar totaal stikstof gelabeld is naar oorsprong. Sinds 2002 zijn de absolute concentraties in de kustwateren afgenomen. Het aandeel oceanische nutriënten werd daardoor een beetje hoger; de relatieve rol van de verschillende rivieren in de rivierene fractie is ongeveer gelijk gebleven.

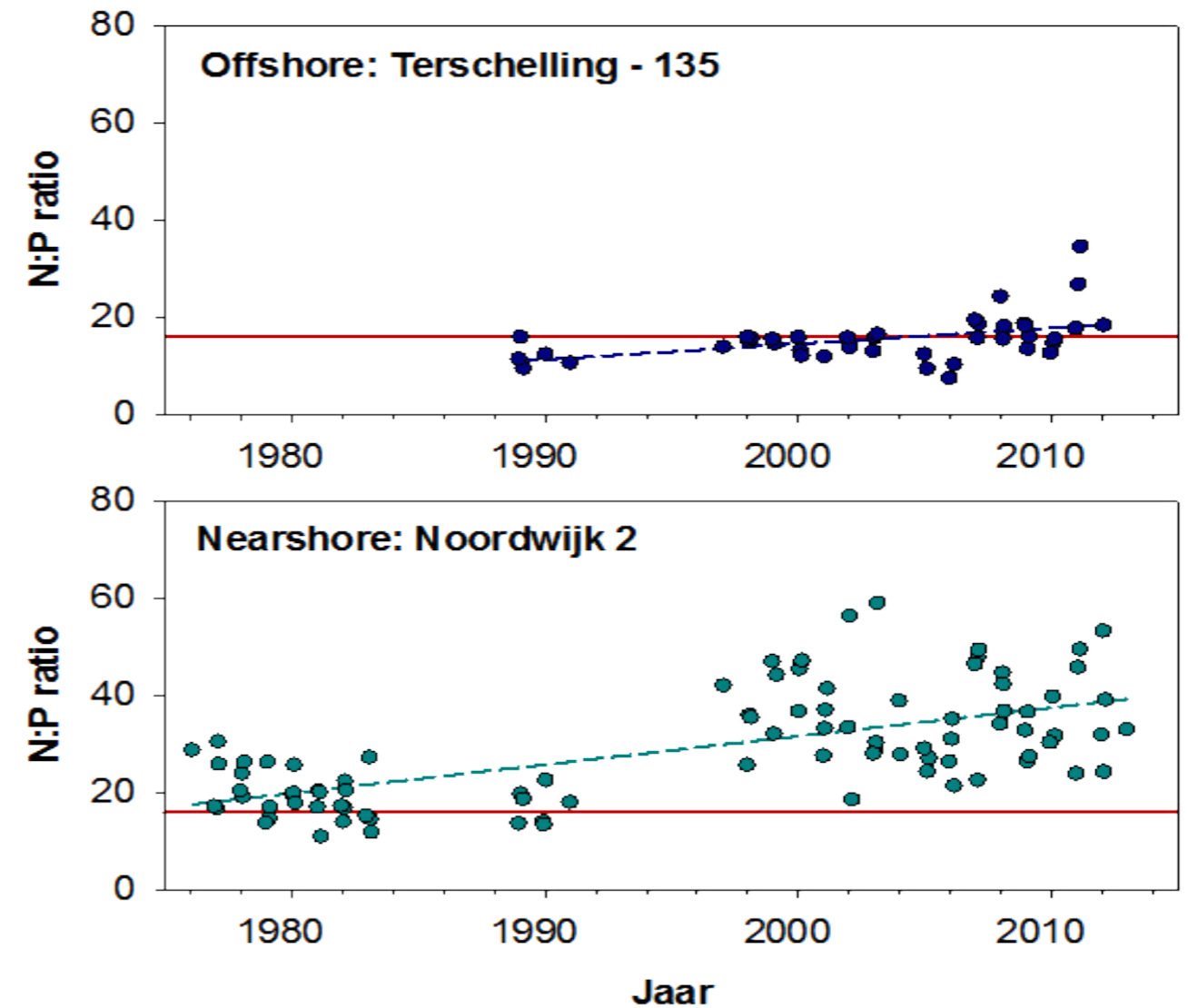
*Figuur: De herkomst van stikstof in verschillende zones van de Noordzee, met onderscheid van atmosferische toevoer, en bronnen in de verschillende rivierbekkens. Oceanische bronnen zijn belangrijks dicht bij de grenzen van de Noordzee, maar in delen van de Noordzee dicht bij de kust zijn rivierbronnen dominant. Er is sprake van aanzienlijk grensoverschrijdend transport, wat aantoont dat de waterkwaliteit van de Noordzee een gedeelde verantwoordelijkheid is van de kuststaten.  
Bron: Los et al., 2014.*



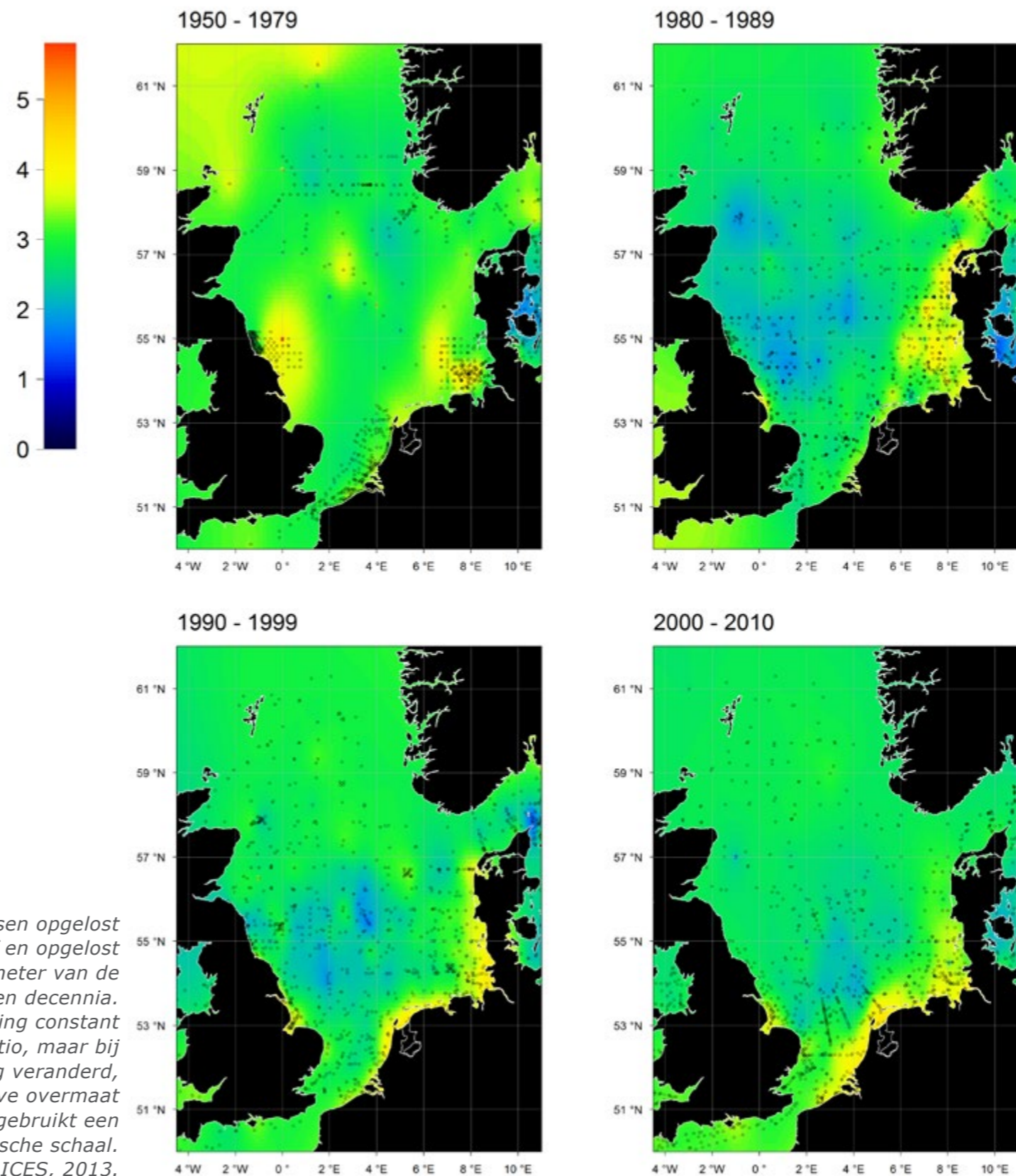


## Nutriëntenratio's

Na de piek van de eutrofiëring is de aanvoer van fosfor vanuit de rivieren sneller gedaald dan de aanvoer van stikstof. Daardoor is een relatieve onbalans ontstaan in de verhoudingen tussen de verschillende nutriënten. Gemiddeld nemen algen stikstof (N) en fosfaat (P) in een min of meer vaste ratio op, de zogenaamde Redfield ratio (N:P is ongeveer 16:1). Wanneer stikstof in overmaat wordt aangevoerd in verhouding tot fosfor, zal nog relatief veel stikstof overblijven wanneer fosfor bijna is uitgeput. Dat bevoordeelt sommige algen, die hierin zijn gespecialiseerd. Vaak zijn dat ongewenste algen. Daarom is, behalve de absolute concentraties nutriënten, ook de ratio van belang voor de waterkwaliteit. In de kustzones is in de laatste decennia een relatief belangrijke onbalans ontstaan, met duidelijke gevolgen voor de algensamenstelling. Gespecialiseerde algen die bij lage fosfor kunnen groeien zijn duidelijk toegenomen in de tellingen; de eetbaarheid van tenminste sommige van deze algen is laag, zodat ze niet gemakkelijk in het voedselweb worden opgenomen.



*Figuur: Tijdserie van N:P ratio's op basis van de winterconcentraties van stikstof en fosfor op een station ver uit de kust (Terschelling -135) en een station vlak bij de kust (Noordwijk-2). De toevoer van fosfor is sneller verminderd dan die van stikstof, waardoor N nu in overmaat aanwezig is in het kustwater. Midden op zee is dit minder nadrukkelijk merkbaar, al worden ook daar af en toe afwijkende ratio's gevonden en lijkt er een stijgende lijn waarneembaar in de N:P ratio. De rode lijn geeft de Redfield ratio weer.  
Bron: Rijkswaterstaat MWTM monitoring.*



*Figuur: Verhouding tussen opgelost anorganisch stikstof en opgelost fosfaat in de bovenste 10 meter van de waterkolom in de afgelopen decennia. In de Oceaan is de verhouding constant en dicht bij de Redfield ratio, maar bij de kust is de verhouding veranderd, met recent een relatieve overmaat stikstof. De figuur gebruikt een logaritmische schaal. Bron: ICES, 2013.*



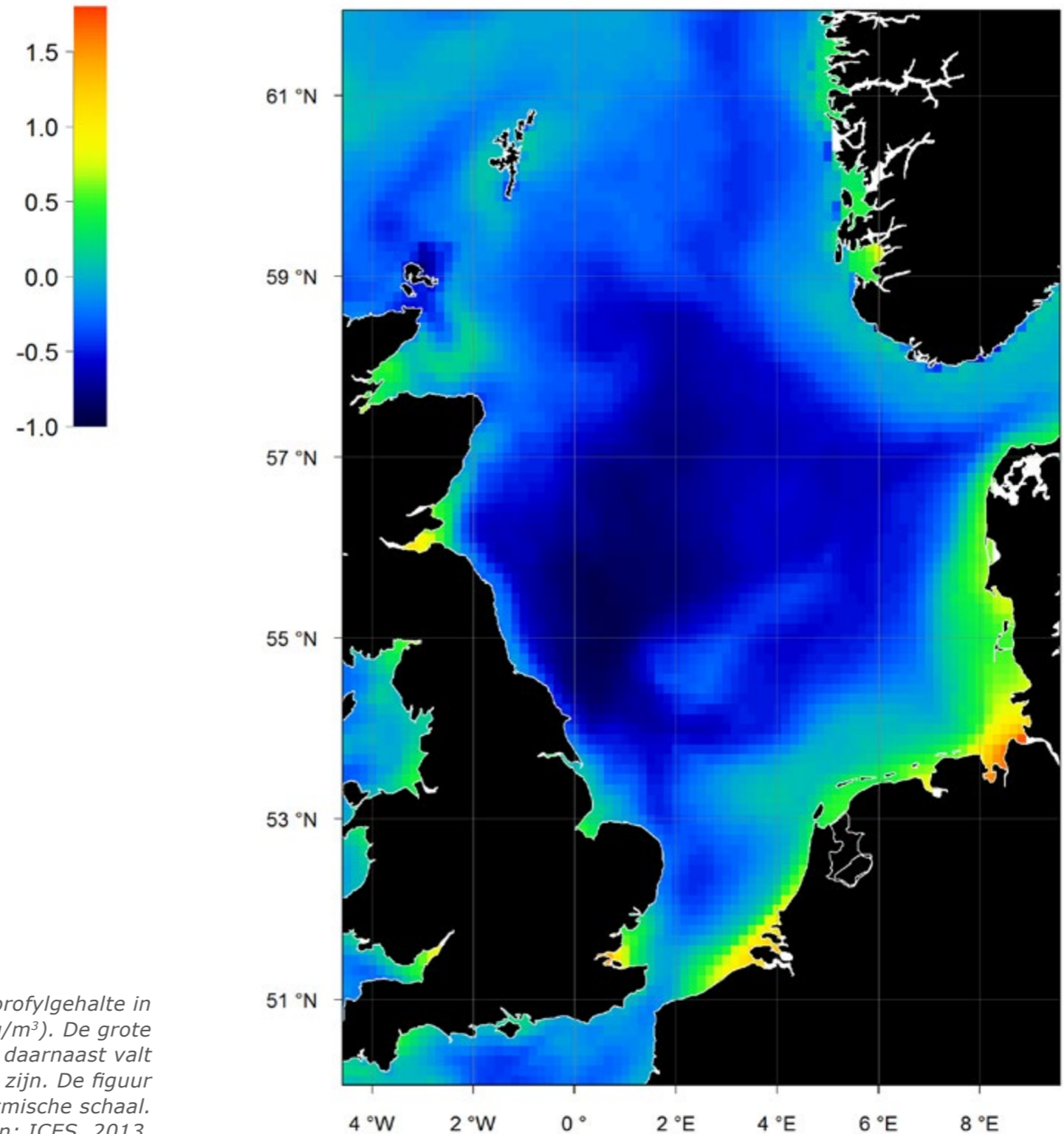
## Chlorofyl

De hoeveelheid algen in het water wordt gemonitord door de concentratie van het belangrijkste pigment, chlorofyl, te meten. Dat kan zowel *in situ* als vanuit de ruimte gebeuren. Hoeveel algen op een bepaalde plaats en tijd aanwezig zijn, wordt bepaald door de hoeveelheid nutriënten (zonder nutriënten is geen groei mogelijk), het beschikbare licht, de waterdiepte, de gelaagdheid van het water, de begrazing door zooplankton en bodemdieren, en het transport door stromingen.

Wiskundige modellen zijn in staat deze complexe functies op een adequate manier te berekenen. Door de beschikbaarheid van goede *remote sensing* beelden kunnen ze steeds beter afgesteld worden. De zwakste schakels in de modellering zijn de biologische factoren, zoals de begrazing, omdat die veel biodiversiteitsgerelateerde informatie nodig hebben. Ook moeilijk blijft het voorspellen van de soortensamenstelling, en daardoor de kwaliteit, van de algen. Grote, goed eetbare algen zoals kiezelwieren worden gemakkelijker opgenomen door het 'grote' voedselweb (dat uiteindelijk tot vis leidt), terwijl kleine soorten vaak alleen in microbiële omzettingen worden verwerkt, zonder dat er hierdoor een grote productiviteit van vis ontstaat.

Het algemene beeld van chlorofylverdeling wordt sterk bepaald door de uitstroom van nutriënten uit de rivieren in de ondiepe kustzone. Dit zijn zeer productieve zones, maar de efficiëntie van het voedselweb is er vaak relatief laag. Een aanzienlijk deel van de algenproductie wordt afgebroken door bacteriën, zonder dat het in de hogere niveaus van het voedselweb terechtkomt.

*Figuur: Langjarig gemiddeld chlorofylgehalte in bovenste 10 m van de waterkolom (mg/m<sup>3</sup>). De grote invloed van de rivieren is duidelijk, en daarnaast valt op dat ondiepere wateren productiever zijn. De figuur gebruikt een logaritmische schaal.  
Bron: ICES, 2013.*



## Een complex ecosysteem

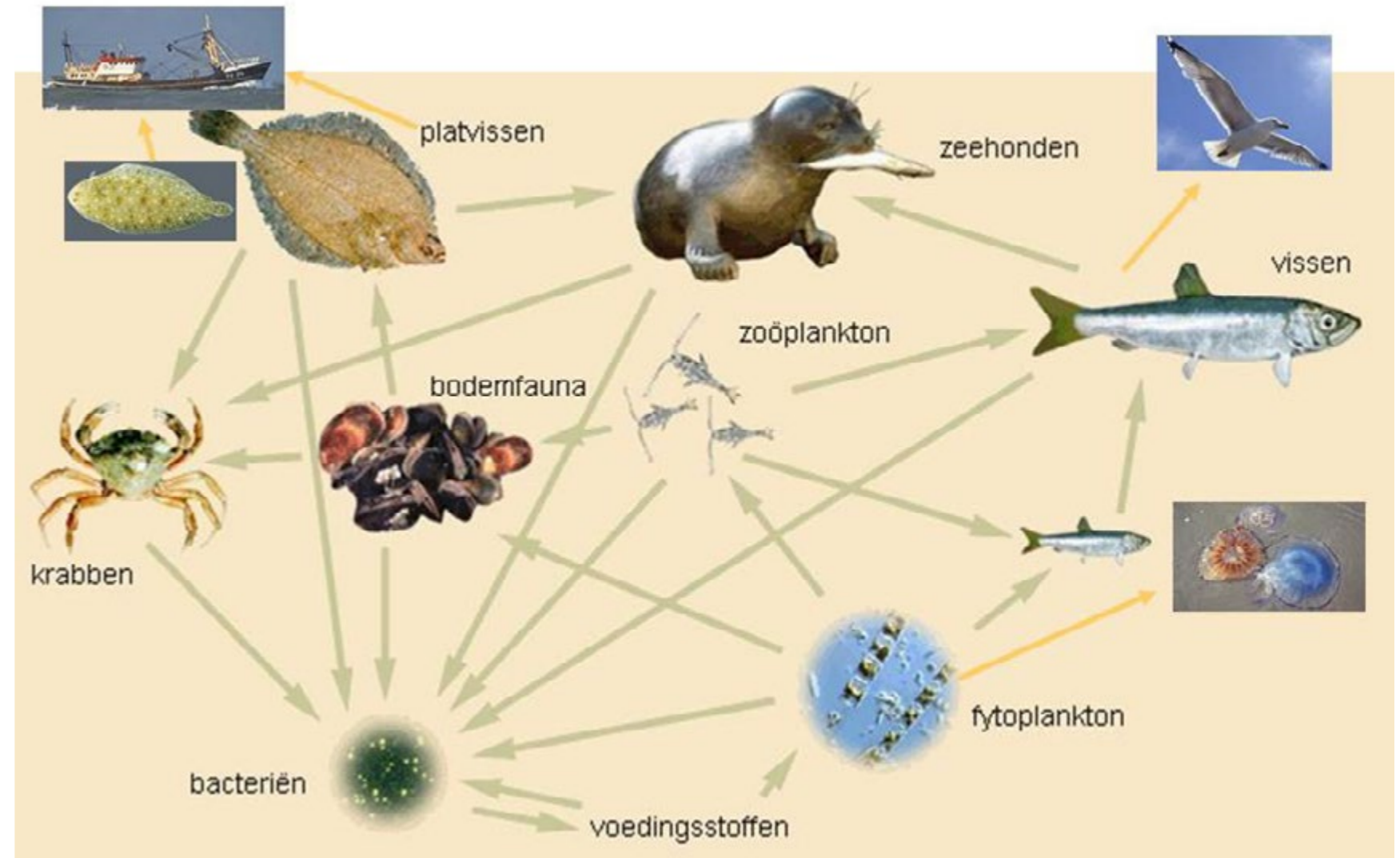
Het behouden en herstellen van biodiversiteit in de zee is een belangrijke internationale doelstelling van het beheer van de zee. Biodiversiteit benoemt de verscheidenheid aan levensvormen – soorten, genen, gemeenschappen. Het is de schat van het leven, de motor van evolutie en van de werking van het ecosysteem. Het is tegelijk zeer moeilijk te bestuderen en te volgen. Duizenden soorten komen voor in de zee, sommige nauwelijks zichtbaar of alleen met moleculaire DNA-analyse te ontdekken, andere moeilijk te bemonsteren en nog moeilijker te herkennen.

Biodiversiteit staat in verband met het functioneren van het voedselweb. Productiviteit is een belangrijke sturende variabele. Bij zeer lage productie daalt het aantal soorten dat nog kan overleven, bij zeer hoge productie worden de meeste soorten weggeconcentreerd door één of enkele dominanten. Maar de diversiteit bepaalt ook zelf weer hoe het voedselweb functioneert (de soorten zijn de knooppunten in het web) en hoe stabiel het is bij schokken in de omgeving.

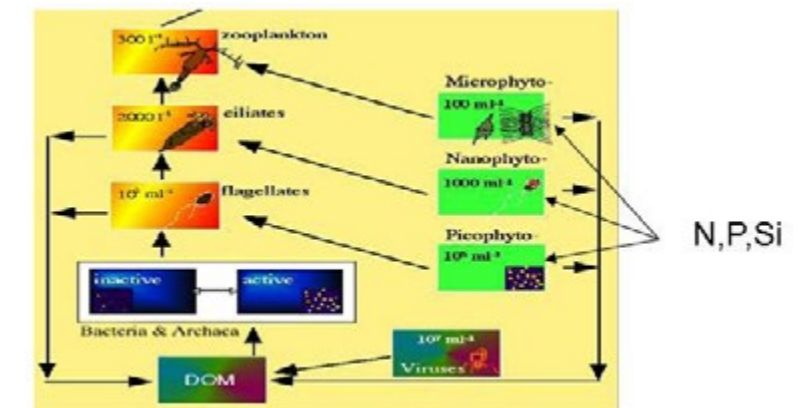
De aard van het habitat bepaalt in sterke mate de biodiversiteit. Soorten zijn aangepast aan specifieke habitats, en zullen niet voorkomen op andere plekken. Habitats met een grote structurele diversiteit, bijvoorbeeld riffen die zelf door organismen worden gevormd, zullen een grotere diversiteit aan soorten kennen. De variabiliteit in het natuurlijke systeem bepaalt mede de biodiversiteit. Variatie in omstandigheden, bijvoorbeeld door fluctuaties in oceaaninvloed, zijn een bron van verstoring die bepaalde soorten kan verdrijven. Maar variatie kan ook nieuwe mogelijkheden bieden, waardoor de biodiversiteit ook kan worden bevorderd.

Biologische processen zoals predatie, concurrentie en recrutering zijn eveneens bepalend voor de grootte en – in extreme gevallen – het overleven van populaties. Vooral voor vissen, die vaak trekken om op welbepaalde plaatsen te paaien, kan het succes van de recrutering van jaar tot jaar sterk wisselen. Bovendien zijn zij kwetsbaar voor veranderingen in het habitat op zeer verschillende plaatsen in de zee.

Menselijke verstoring heeft invloed op de biodiversiteit. Voorbeelden zijn eutrofiëring, veranderde nutriëntenratio's, bevissing, bodemverstoring zoals bij boomkorvisserij, habitatverlies vooral aan kusten, habitatcreatie zoals hard substraat aan windmolens en vervuiling. Het uiteenrafelen van de verschillende bronnen van verstoring en hun effecten op biodiversiteit is een grote wetenschappelijke uitdaging.



Figuur: Vereenvoudigde weergave van het hogere deel van het voedselweb in de Noordzee.  
Bron: Ecomare



Figuur: Schematische weergave van het microbiële deel van het voedselweb.  
Bron: G. Herndl



## Weer, klimaat en biologische regulering: veranderingen in zoöplankton

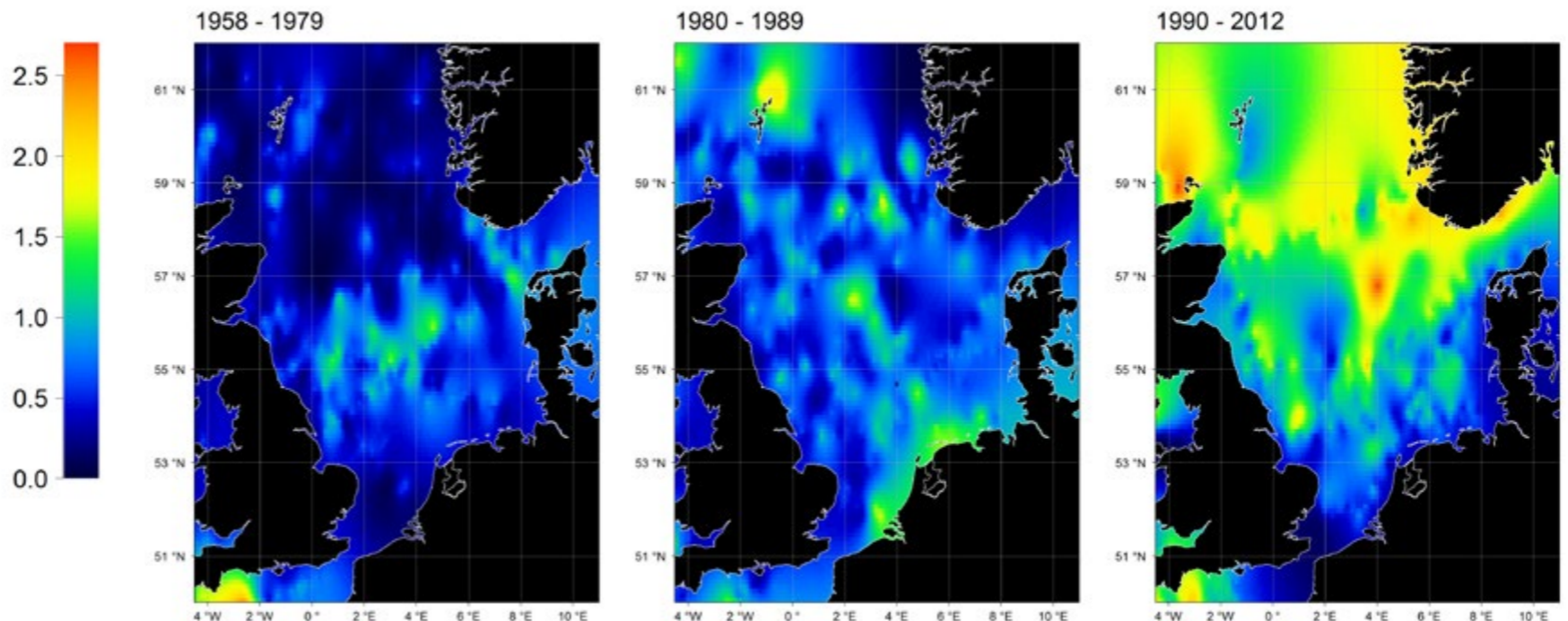
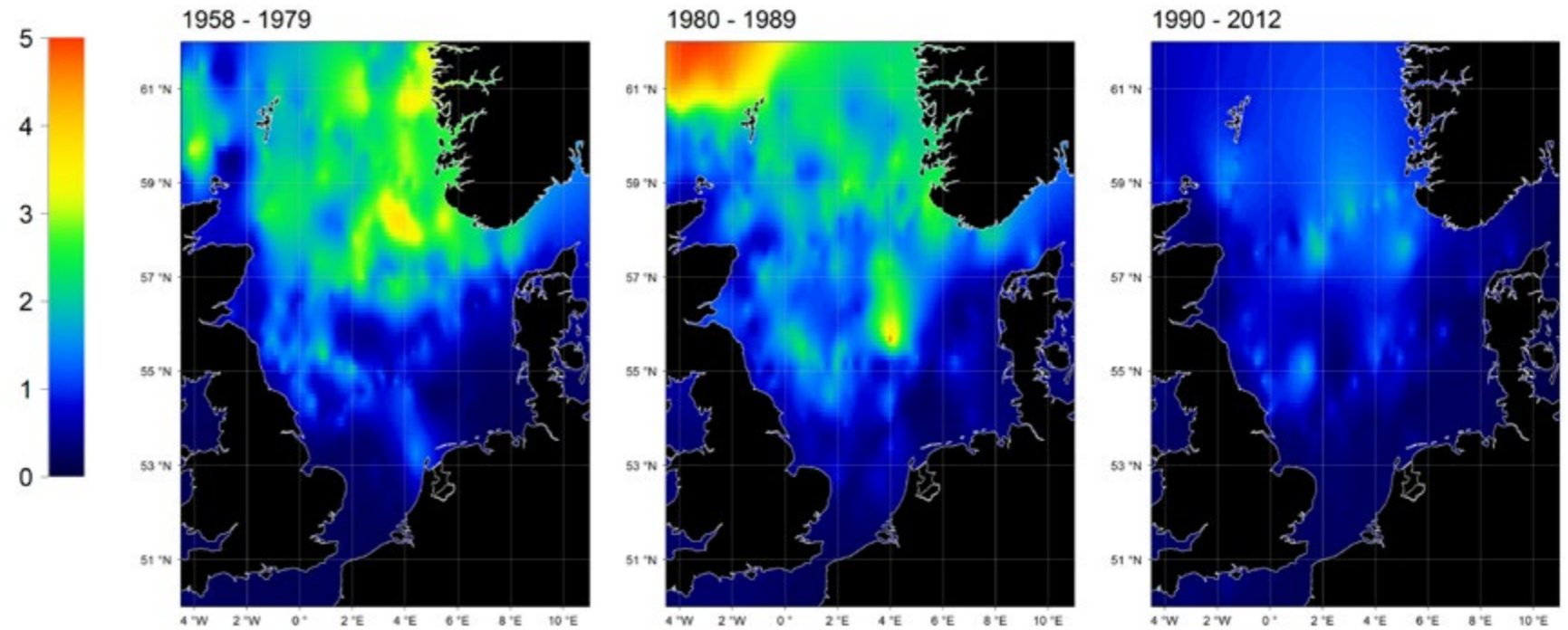
De verschuiving in de *Calanus* soorten (copepoden, kleine kreeftjes behorend tot het dierlijk plankton) in de Noord Atlantische Oceaan is een klassieke illustratie van de grootschalige veranderingen die optreden op zee. De patronen zijn gebaseerd op langjarige observaties met de Continuous Plankton Recorder, een filterapparaat dat door commerciële schepen wordt voortgetrokken en onderweg zooplankton bemonstert. Het wordt al meer dan zeventig jaar op identieke wijze (o.m. met zijden netten) gebruikt.

*Calanus* is een groep van organismen die met recht de 'koeien van de zee' worden genoemd. Zij zijn herbivoor en de belangrijkste schakel tussen de algen (het 'gras van de zee') en de vissen (de 'leeuwen van de zee'). Een volwassen *Calanus* is één tot enkele mm groot en heeft vele aanhangsels die samen een complex filterapparaat vormen. Binnen het geslacht *Calanus* komen meerdere soorten voor. In de Noordzee is de noordelijke soort *Calanus finmarchicus* vervangen door de meer zuidelijke soort *Calanus helgolandicus*. Dit is een kleinere soort met een andere biologie, zodat de verschuiving wellicht ook gevolgen heeft in de rest van het voedselweb. Klimaat en wellicht ook veranderingen in de uitwisseling tussen oceaan en Noordzee hebben de verschuiving in *Calanus* soorten veroorzaakt.



Een vrouwelijke *Calanus finmarchicus* van 2,4 mm lang.

Figuur: Sinds het begin van de jaren 1960 is de noordelijke soort *Calanus finmarchicus* (boven) vervangen door de zuidelijke soort *Calanus helgolandicus*. De figuren gebruiken een relatieve, logaritmische schaal.  
Bron: Bernard et al., 2004.

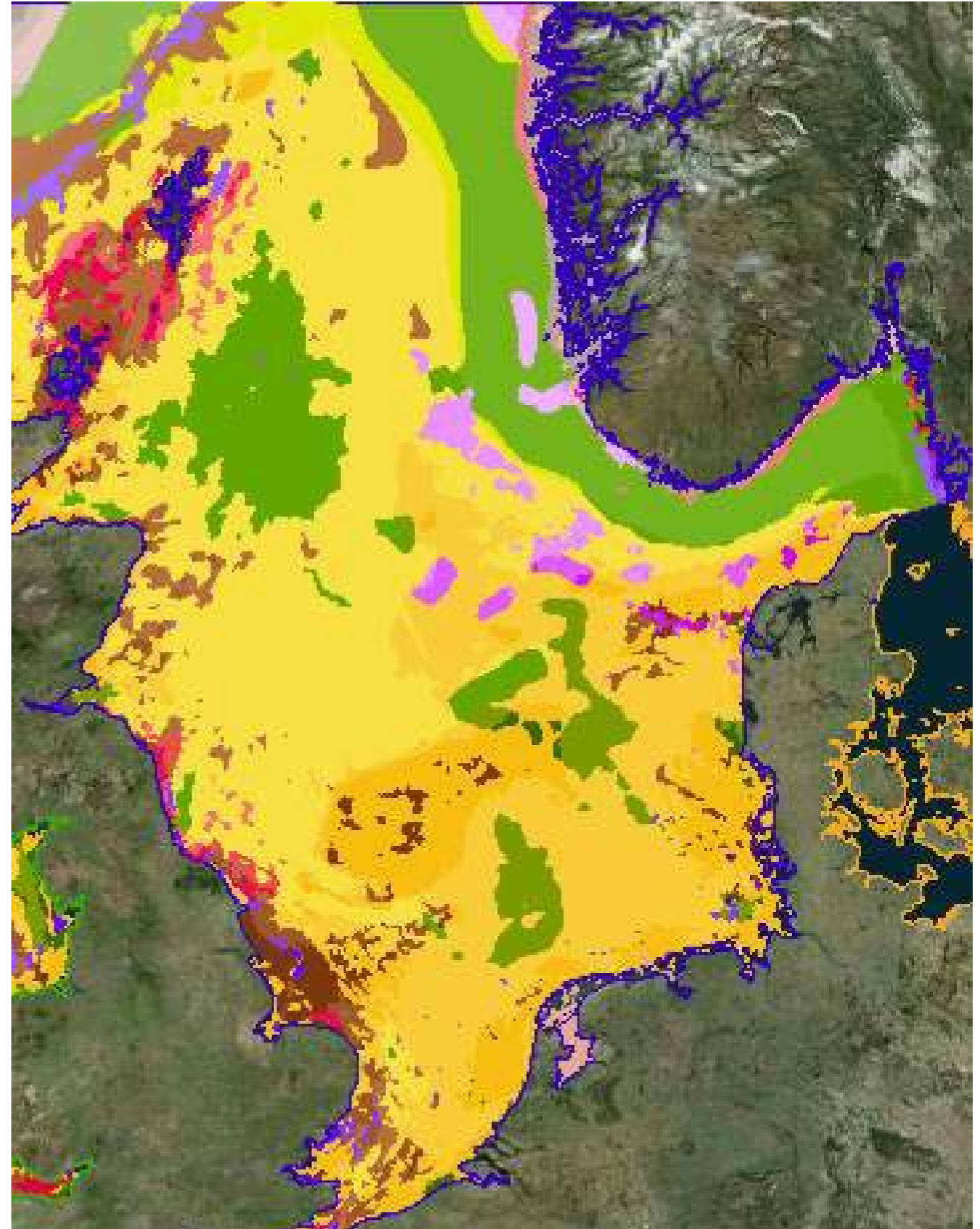


## De zeebodem: een divers habitat

Bodemdieren in de Noordzee vinden op verschillende plekken heel verschillende habitats. Diepte is een belangrijke bepalende factor. In ondiep water (< 20-30m) bereiken de golven bij storm het sediment en kunnen ze flinke verstoring veroorzaken. In dieper water is het water in de zomer gelaagd; fytoplankton bevindt zich dan voornamelijk in de oppervlaktelaag en wordt niet goed naar de bodem gemengd, waardoor de bodemdieren er niet gemakkelijk van kunnen eten. De zeer diepe zone langs de Noorse kust fungeert als een sedimentatiebekken. Veel slib en organisch materiaal komt uiteindelijk hier terecht, nadat het elders in de Noordzee is afgezet en weer opgewoeld. De stroomsnelheid bij de bodem is een andere factor. Bij snelstromend water vinden we mobiel zand, en soms zelfs grind op de bodem, terwijl bij lagere stroomsnelheden slibbige bodems voorkomen. Dat trekt heel andere organismen aan.

Recent zijn grote inspanningen gedaan om onze kennis van de bodemhabitats van de Noordzee te verbeteren. Binnen EMODNET wordt hieraan verder gewerkt, zodat de kennisbasis voldoende is om het voorkomen van bodemdieren zo goed mogelijk te voorspellen.

*Figuur: De verschillende habitats op de bodem van de Noordzee. Gele tinten zijn zand, bruine tinten grover sediment (tot grind), rose tinten rots en groene tinten slib. Voor meer details en meer gedetailleerde kaarten verwijzen wij naar de bronsite.  
Bron: EMODNET Habitats.*





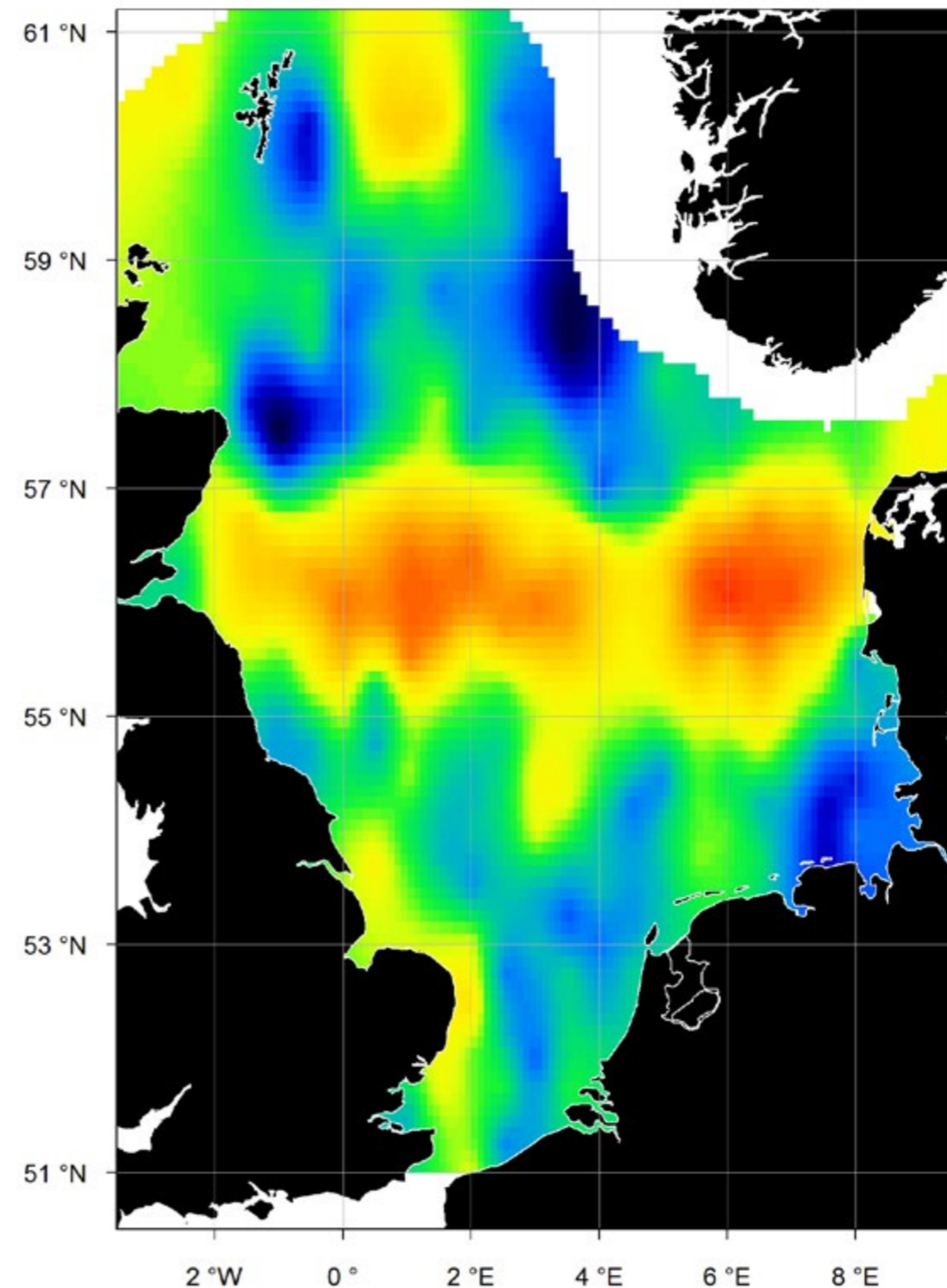
## Bodemdieren

Bodemdieren zijn een zeer diverse groep, met meer dan duizend soorten in de Noordzee.

De diversiteit wordt uitgedrukt als een gewogen functie van aantal soorten (hoe meer soorten, hoe diverser) en de verdeling van individuen over de soorten (hoe gelijkmatiger verdeeld, hoe diverser de gemeenschap).

Al deze soorten worden gekenmerkt door hun grootte, levensduur, de diepte waarop ze voorkomen, aantal eieren en nog een reeks kenmerken. Als ze volgens deze kenmerken worden geklasseerd, dan vallen ze uiteen in vier hoofdgroepen. Opportunisten (*'disturbance resistant'*) zijn vooral kleine wormen, met een korte levensduur en hoog aantal nakomelingen. Trage groeiers (*'stability adapted'*) zijn grote en langlevende soorten, met weinig maar grote nakomelingen, aangepast aan stabiele milieus waarin veel concurrentie voor voedsel optreedt. Zij zijn erg gevoelig voor verstoring, bijvoorbeeld door visserij. Diepe soorten (*'deep burrower'*) hebben grootte en levensduur met de vorige groep gemeen, maar zij komen voor in minder stabiele sedimenten, waar zij voor zichzelf toch goede omstandigheden vinden door diep te graven en zich af te sluiten van de meeste dynamiek. Hun juvenielen zijn echter wel aan grote dynamiek aangepast. Snelle vluchters (*'stress resistant'*) tenslotte zijn soorten die aangepast zijn aan extreem dynamische sedimenten. Zij kunnen meestal goed zwemmen waardoor zij kunnen ontsnappen bij erosie. Vaak hebben ze broedzorg, zodat ze hun eieren meteen veilig kunnen stellen als ze zelf het hazenpad moeten kiezen.

De vier groepen kiezen elk hun gebieden. Afhankelijk van diepte, gelaagdheid, stroomsnelheid en sedimentdynamiek zijn soorten van verschillende groepen dominant. Men herkent in de kaarten duidelijk de dynamische zuidelijke bocht, de relatief stabiele Oestergronden en de Doggerbank als specifieke groeigebieden voor bepaalde groepen. We hebben twee synoptische surveys van de bodemdieren in de Noordzee, uit 1986 en 2000. Zij vertonen grotendeels hetzelfde beeld, maar ondanks de grote inspanningen in bodemdiersurveys in sommige landen, en alle surveys die worden gedaan voor specifieke projecten, hebben we geen recent gebiedsdekkend overzicht meer.

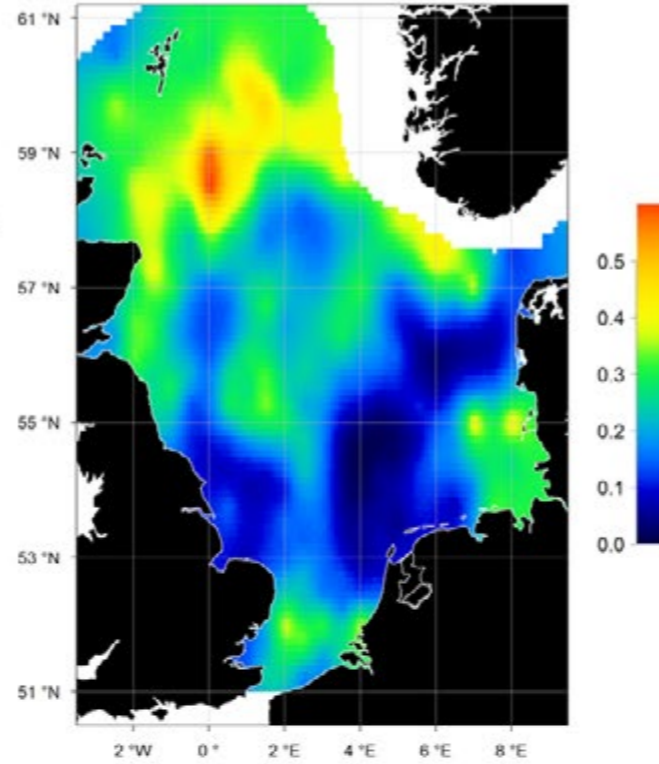


*Figuur: Diversiteit van bodemdieren (Shannon index) in de bemonstering van 1986, een patroon dat ook later werd teruggevonden. Globaal stijgt de diversiteit van zuid naar noord, al vermindert ze weer in de diepere wateren die de overgang naar de oceaan markeren.*

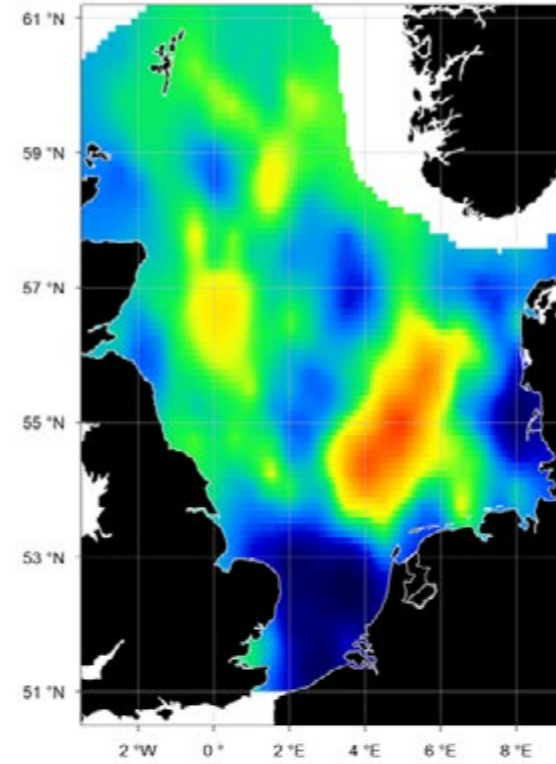
*Bron: Heip et al., 1992.*



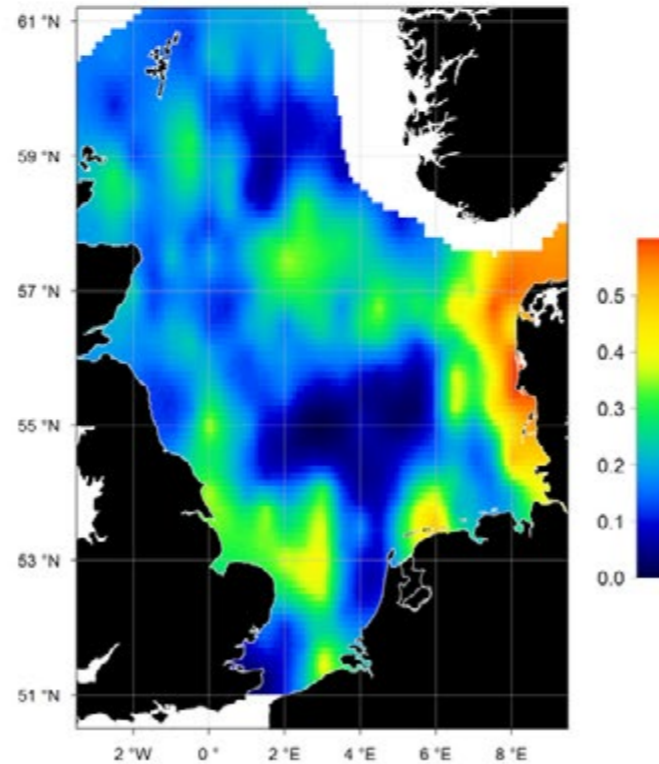
Disturbance resistant



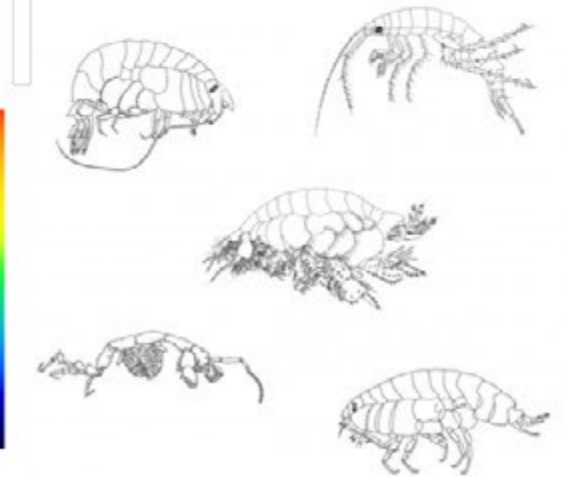
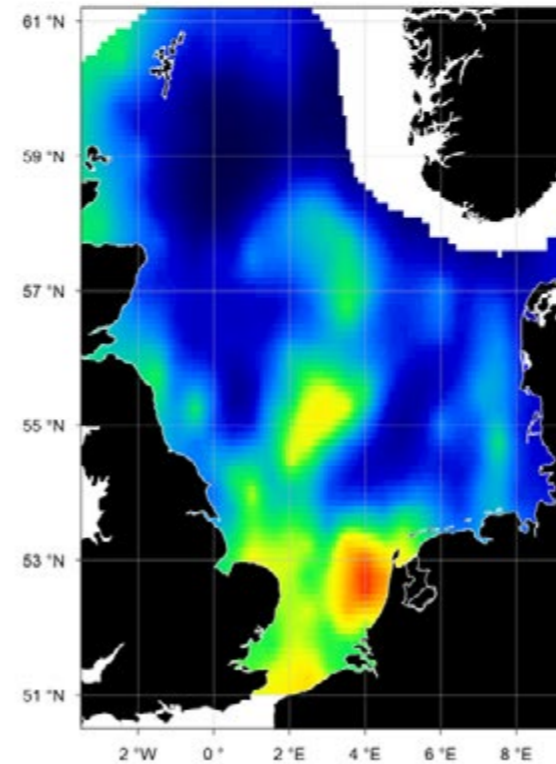
Stability adapted



Deep burrower



Stress resistant

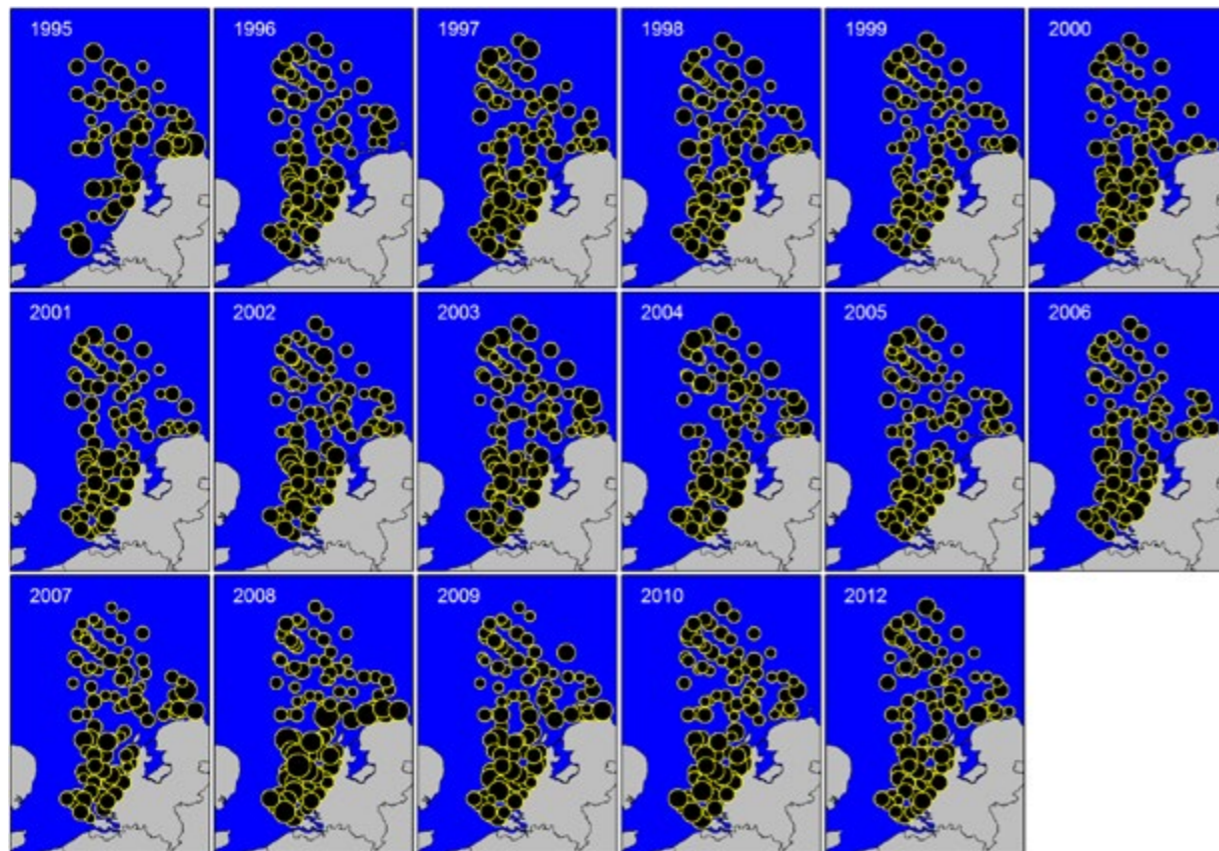


*Figuur: Ruimtelijke verspreiding van de vier soortengroepen in de Noordzee. Gebaseerd op ICES North Sea Benthos Survey 1986. Trends in 2000 zijn zeer gelijkwaardig. Bron: Heip et al., 1992.*



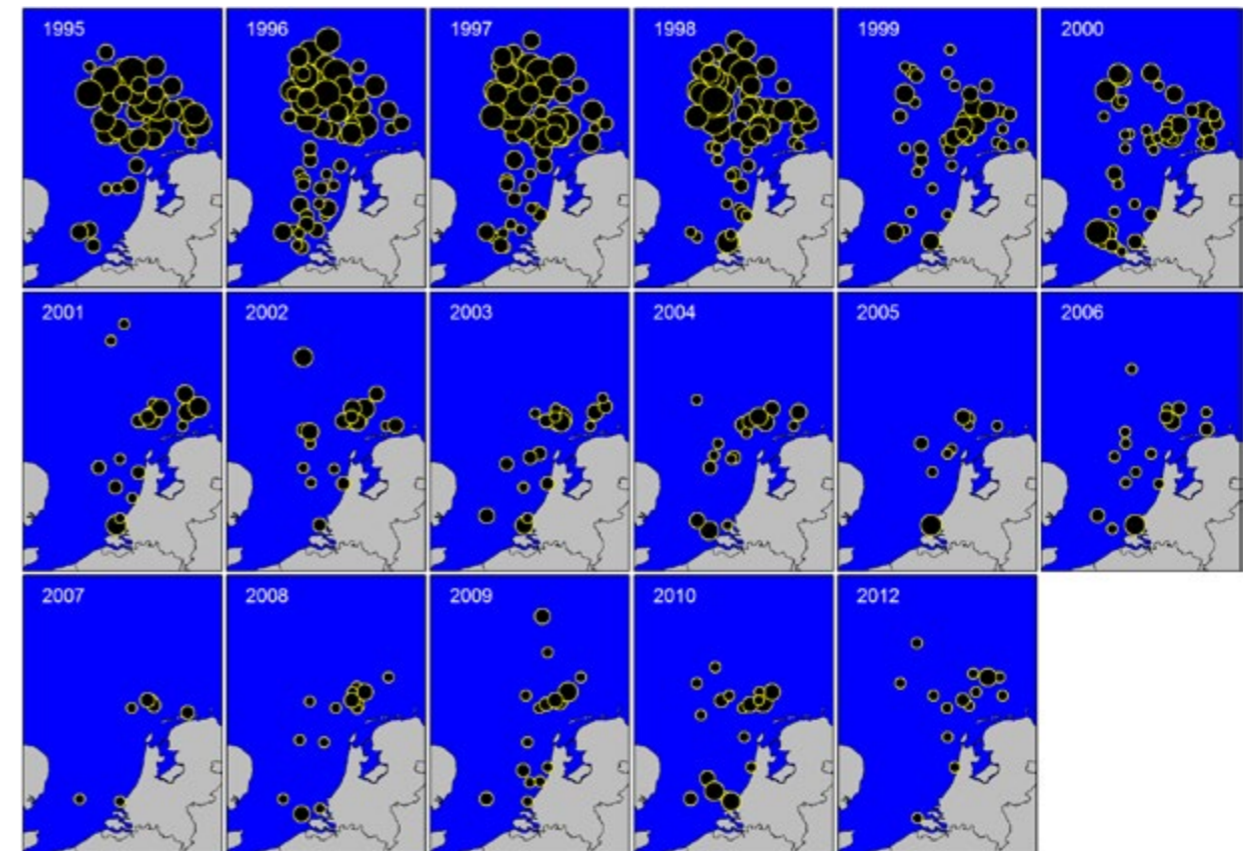
## Bodemdieren Nederlandse Continentale Plat

Voor het Nederlandse Continentale Plat (NCP) is de databeschikbaarheid gelukkig beter. De meeste soorten in deze zone zijn relatief stabiel over de tijd, maar sommige soorten, bijvoorbeeld de slangster *Ophiura*, vertonen sterke trends. Tenminste een deel van die trends lijkt verbonden te zijn met de (veranderende) visserij-intensiteit. Door de grote veranderingen in de visserij in recente jaren, zal het van groot belang zijn dit in de komende jaren te blijven volgen.



*Figuur: Een voorbeeld van een polychaete wormensoort (Nephtys) waarvan de ruimtelijke verspreiding en de aantallen in de voorbije decennia zeer stabiel zijn gebleven. De soort is zeer algemeen verspreid en behoort niet overduidelijk tot één van de uitgesproken functionele groepen.*

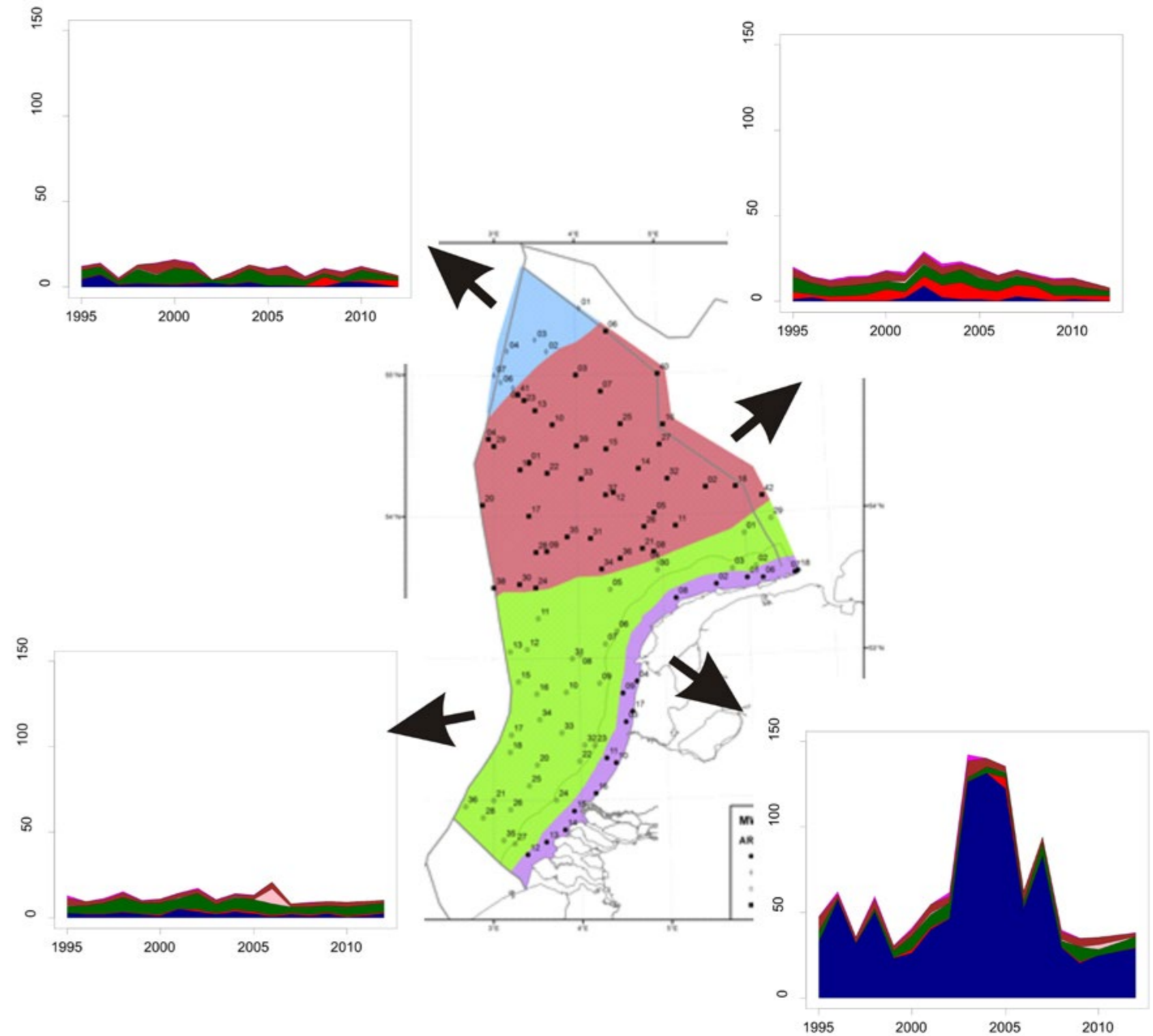
*Bron: Rijkswaterstaat MWTL monitoring.*



*Figuur: Een voorbeeld van een soort (Ophiura sp.) waarvan de ruimtelijke verdeling en aantallen in de voorbije decennia zeer sterk zijn veranderd. Deze relatief grote soort slangster van rustige bodems was dominant op de Oestergronden in het begin van de jaren 1990, maar is sindsdien tamelijk zeldzaam geworden.*

*Bron: Rijkswaterstaat MWTL monitoring.*

Het NCP is relatief rijk aan bodemdieren. Zelfs als men sommige schelpdierbanken bij de kust niet meerekent, blijft de gemiddelde biomassa meer dan dubbel zo hoog als het gemiddelde van de Noordzee als geheel. Binnen dit gebied is de biomassa in de kustzone veel hoger dan elders. Dat wordt vooral verklaard door één soort, *Ensis directus* (de invasieve Amerikaanse zwaardschede). Deze heeft de oorspronkelijke dominante schelpdiersoort, *Spisula* (halfgeknotte strandschelp), bijna geheel verdrongen. Dat levert problemen op voor predatoren die veel *Spisula* aten, zoals zeeëenden. Men ziet echter dat de meeste predatoren zich kunnen aanpassen en nu ook (vooral jonge) *Ensis* zijn gaan eten.



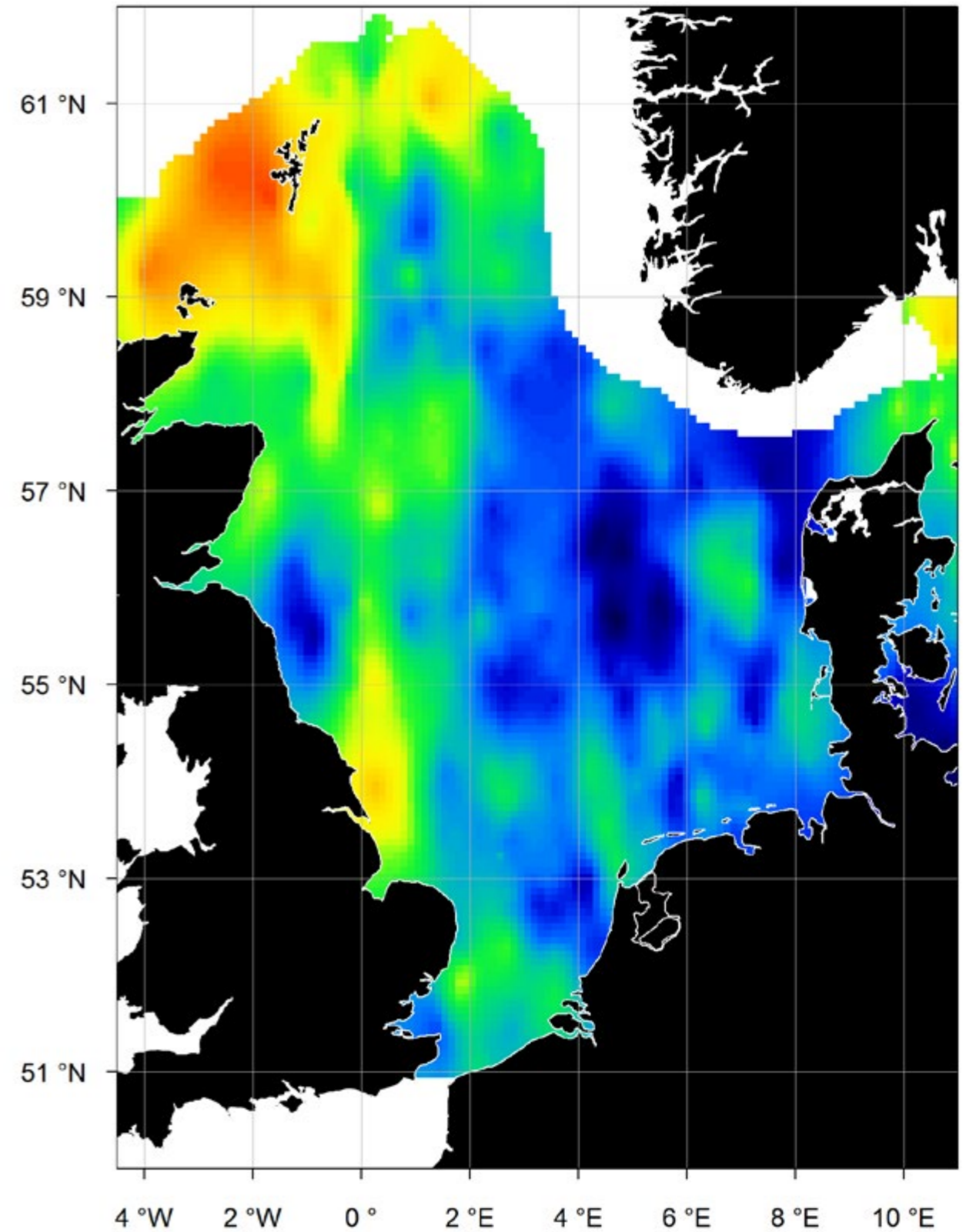
Figuur: Evolutie van de biomassa (g asvrij drooggewicht/m<sup>2</sup>) van bodemdieren in verschillende zones van het NCP over de afgelopen twee decennia. Bron: Rijkswaterstaat MWTL monitoring.



## Diversiteit bodemgebonden vissoorten

Er komen vele soorten vis voor in de Noordzee. Jaarlijkse surveys door ICES brengen die diversiteit in kaart. De uitgebreidste en langst beschikbare serie is die van bodemgebonden vissoorten. Binnen die groep worden de meest soortenrijke gemeenschappen gevonden in diep water, aan de rand van de oceaan en over bodems met grof sediment.

Visetende vogels lijken vaak plaatsen met hoge diversiteit aan vissoorten op te zoeken. Wellicht hebben zij het op die plaatsen relatief gemakkelijk om geschikte prooien te vinden.



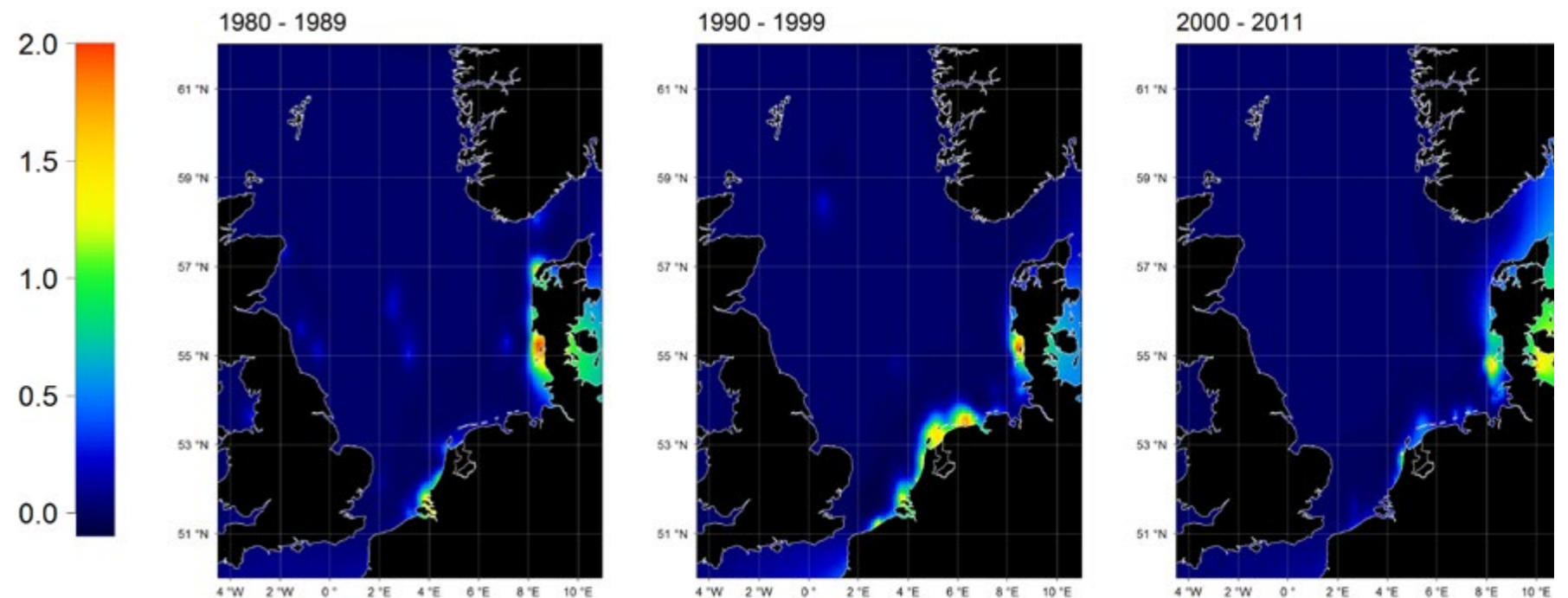
*Figuur: De soortenrijkdom van bodemgebonden vissen, uitgedrukt als aantal soorten gevangen per trek in de langjarige ICES surveys met bodemsleepnetten. Bron: ICES, 2014b.*

## Vogels

De verspreiding van zeevogels in de Noordzee gedurende de broedtijd wordt bepaald door de ligging van belangrijke foerageergebieden binnen bereik van geschikte habitats om te broeden (daarvoor hebben ze bijvoorbeeld steile kliffen nodig, onbegroeide zand, of duingebieden). Het voorkomen als broedvogel, maar ook als doortrekker of wintergast in Nederlandse wateren, hangt niet alleen van het voedselaanbod ter plaatse af, maar ook van de alternatieven. Wanneer de aantallen in onze kustwateren toenemen of juist kunnen achteruitgaan, kan dat zijn omdat er elders, bijvoorbeeld verder noordelijk in de Noordzee veranderingen zijn opgetreden.

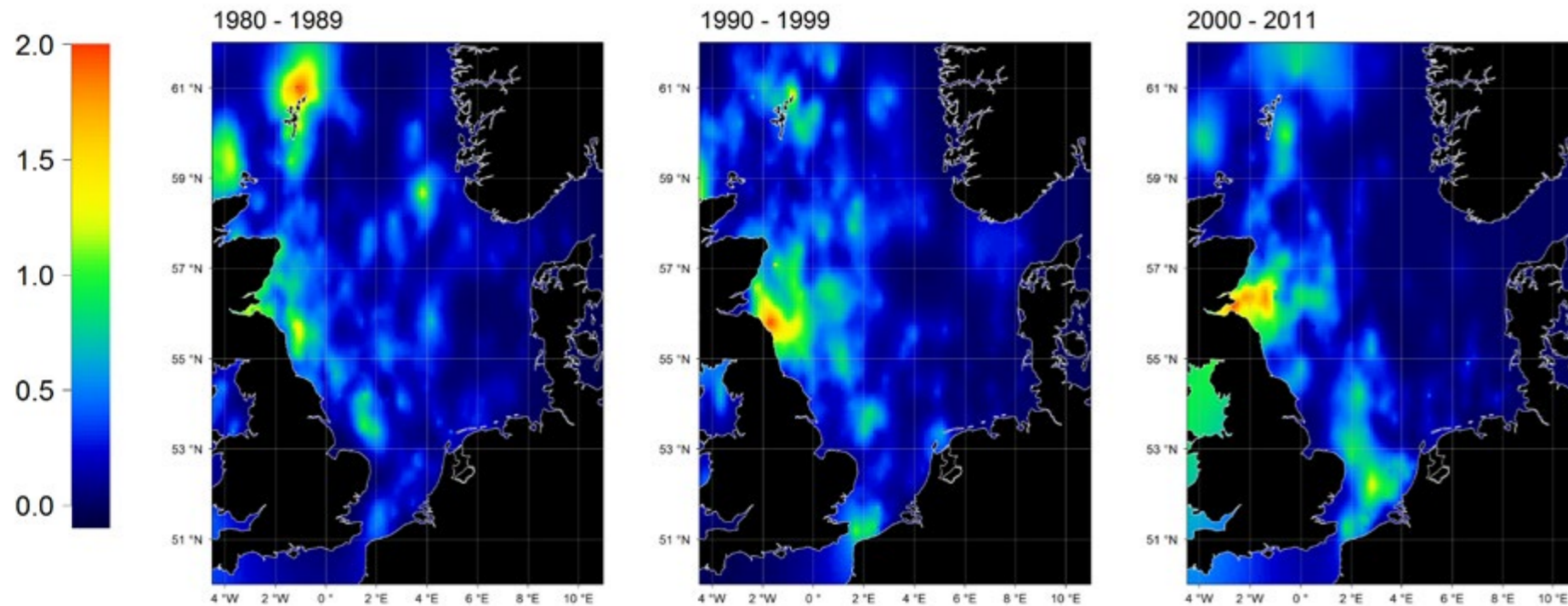
Door de eeuwen heen hebben veel zeevogelpopulaties onder druk gestaan door directe exploitatie (jacht, eierrapen, stroperij), later zijn de effecten van vervuiling prominent voor het voetlicht gekomen (vooral bij viseters, waar hoge accumulatie van persistente organische vervuiling in de jaren 60-80 voortplanting bijna onmogelijk maakte). Daarnaast zijn aspecten als beschikbaarheid van broedgebieden en vooral de voedselbeschikbaarheid bepalend geweest voor het wel en wee van zeevogelpopulaties. De factoren variëren niet alleen op natuurlijke wijze, maar ook als gevolg van een veranderend klimaat of bijvoorbeeld door menselijk handelen (visserij, zandwinning, landaanwinning etc.). Dankzij de overbevissing van vooral grote roofvissen, al dan niet in combinatie met het overboord zetten van ondermaatse vis (discards), zijn veel zeevogels in de afgelopen eeuw sterk in aantal toegenomen (de "overbevissingsparadox"). Die toename is nu grotendeels tot stilstand gekomen.

Als gevolg van deze zeer diverse invloeden is het niet mogelijk één beeld te schetsen van de evolutie van zeevogelpopulaties in de laatste decennia. Wij geven enkele voorbeelden die vooral de verscheidenheid en de complexiteit van het probleem illustreren. De getoonde trends zijn gebaseerd op wat beschikbaar is aan data. Vaak is dit minder dan gewenst zou zijn. De grote concentratie van inspanningen op beperkte zones in de Noordzee zorgt in toenemende mate voor een vertekening van het beeld; er is sterke behoefte aan een meer systematische dekking van het gehele gebied, vergelijkbaar met de ICES surveys voor vissen.



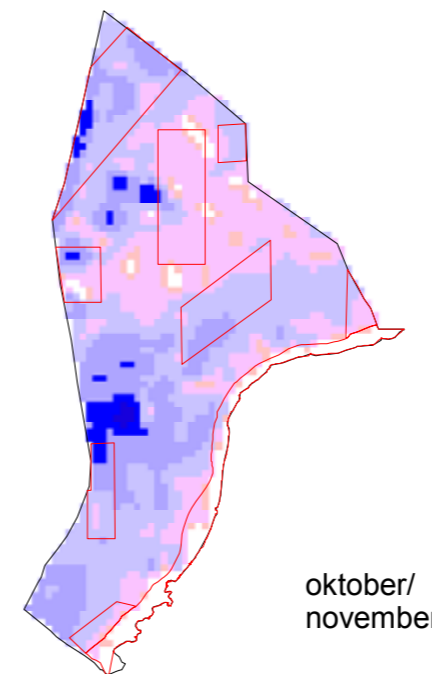
*Figuur: De Zwarte Zee-eend verblijft in de winter aan de Noordzeekusten, waar hij zich voedt met schelpdieren, voorheen vooral Spisula, maar sinds die werd verdreven door Ensis vooral met kleine exemplaren van deze laatste soort. Het grootste deel van de populatie blijft na de broedtijd bij Denemarken, maar de soort overwintert tot in NW Afrika. Hoeveel vogels langs de Nederlandse kust overwinteren heeft ook te maken met de relatieve aantrekkelijkheid van alternatieve gebieden. De figuur toont relatieve aantallen, op een logaritmische schaal. Bron: Reid & Camphuysen, 1998.*



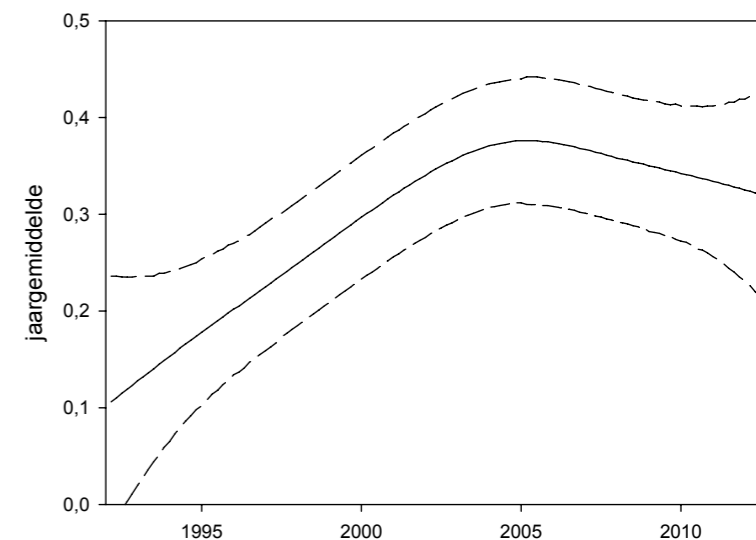


*Figuur: De Jan van Gent is een klifbroeder die zijn voedsel zoekt binnen een straal van ongeveer 180 km rond de broedkolonies. Over de laatste decennia is de populatie sterk toegenomen, waardoor er ook in Nederlandse wateren, waar de soort niet broedt, steeds grotere aantallen worden gezien. De figuur toont relatieve aantallen, op een logaritmische schaal.*

*Bron: Reid & Camphuysen, 1998.*



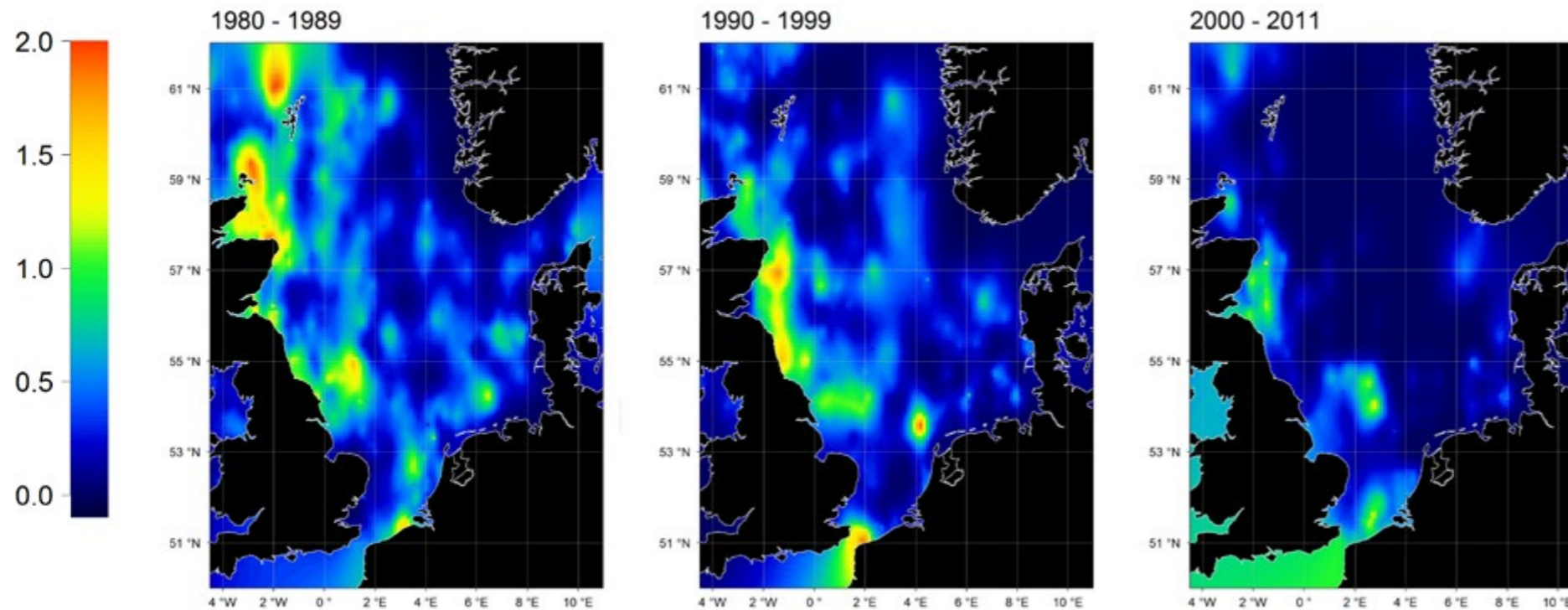
oktober/  
november



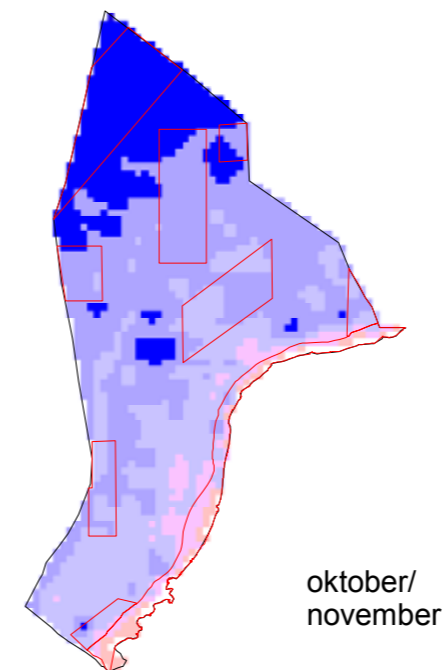
Trend en 95% betrouwbaarheidsinterval van de Jan van Gent op het NCP in 1992-2012.

*Figuur: Observaties van de Jan van Gent in het NCP. Ruimtelijke verspreiding op de piek van de seizoensale dichtheid (links) en langjarige trend (rechts).*

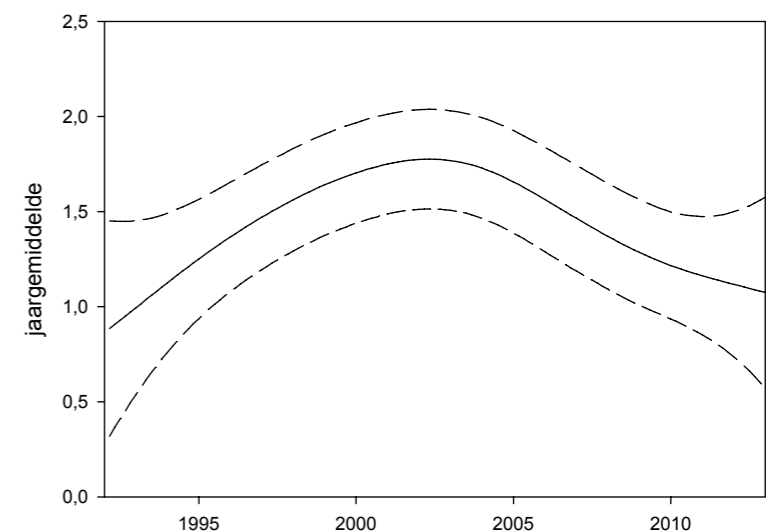
*Bron: Rijkswaterstaat MWTL monitoring.*



*Figuur: De Drieteenmeeuw vormt grote kolonies op kliffen en foerageert vaak samen met Zeekoeten in fronten van twee verschillende watermassa's met een grote voedselrijkdom. De diep duikende Zeekoet is daarbij faciliterend (jaagt vis omhoog). De soort broedt in de Nederlandse Noordzee op gasproductieplatforms, waar de productiefste wateren rond het Friese Front worden benut. Het meer geconcentreerde karakter van de recentere verspreiding is waarschijnlijk een gevolg van de onevenredige verspreiding van de bemonsteringsinspanning. De figuur toont relatieve aantallen, op een logaritmische schaal. Bron: Reid & Camphuysen, 1998.*



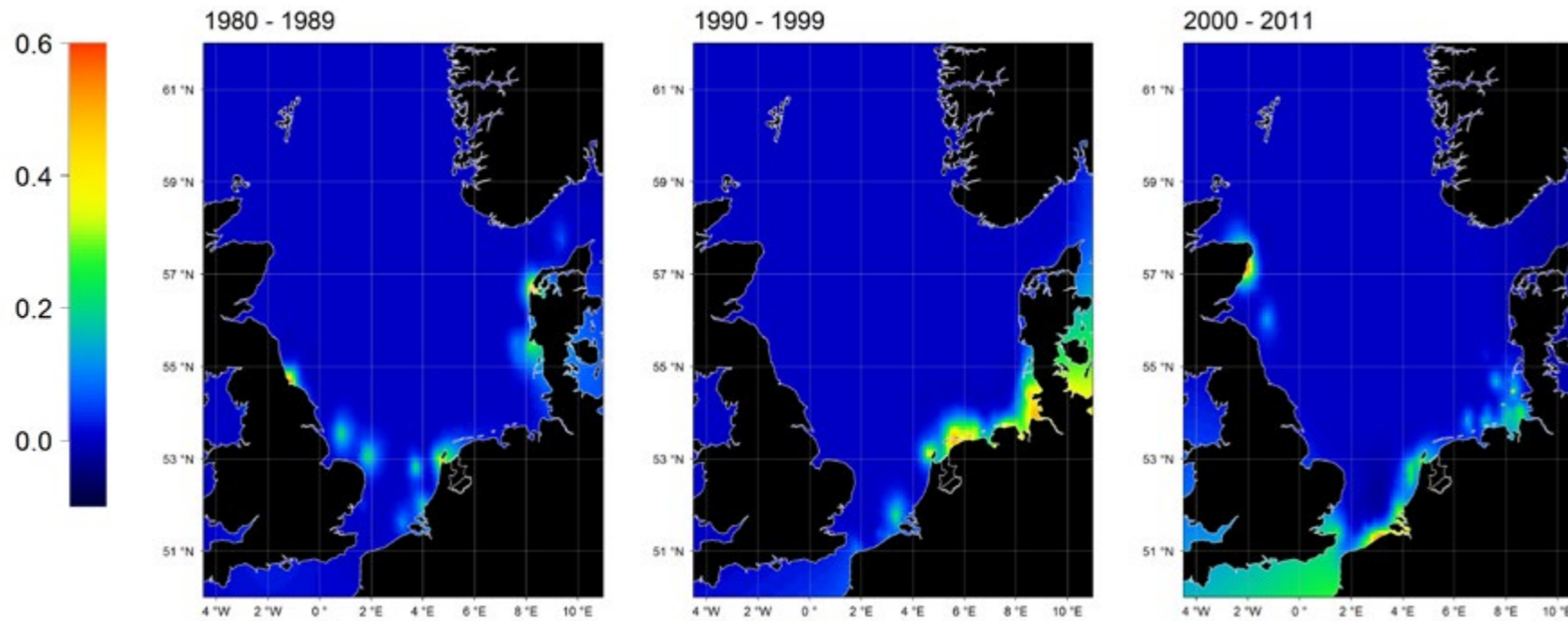
oktober/  
november



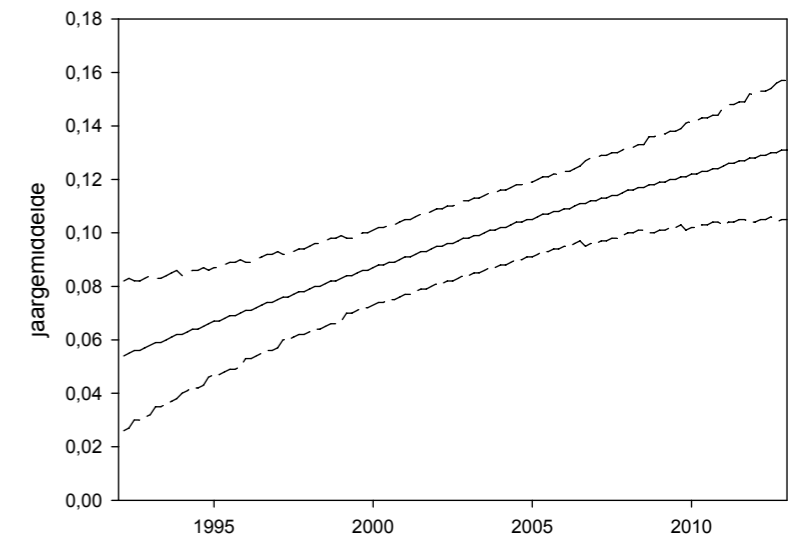
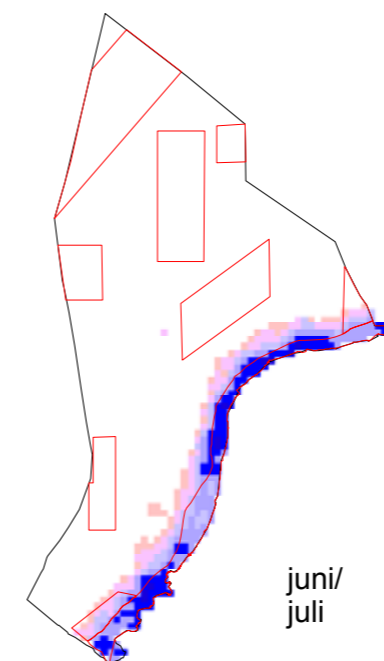
Trend en 95% betrouwbaarheidsinterval van de Drieteenmeeuw op het NCP in 1992-2012.

*Figuur: Observaties van de Drieteenmeeuw in het NCP. Ruimtelijke verspreiding op de piek van de seizoensale dichtheid (links) en langjarige trend (rechts). Bron: Rijkswaterstaat MWTL monitoring.*





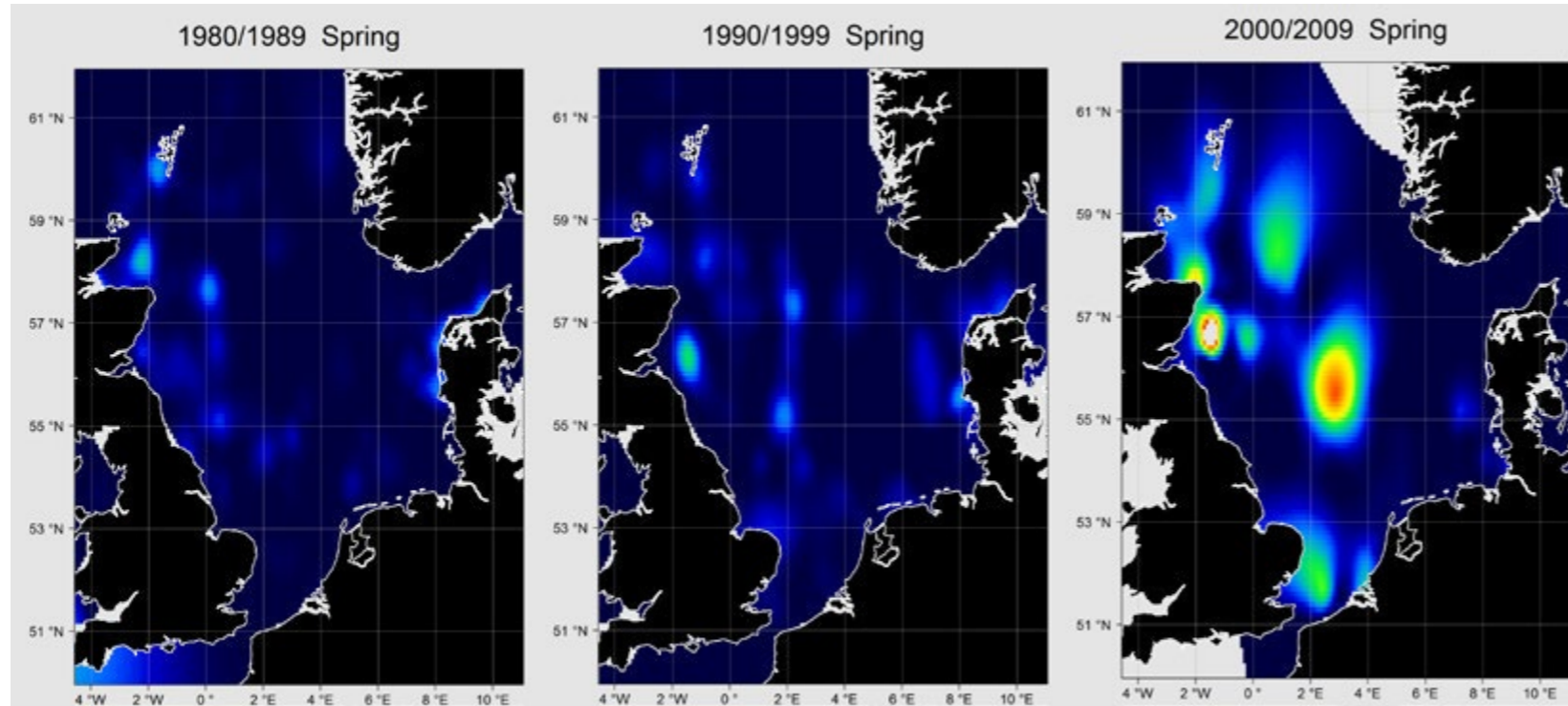
*Figuur: De aantallen van de Grote Stern zijn tussen 1920 en 1950 toegenomen als gevolg van beschermingsmaatregelen. De soort werd zwaar getroffen door chemische vervuiling in het begin van de jaren zestig, maar heeft zich daarna gedeeltelijk hersteld. De aantallen hangen sterk af van geschikte broedgebieden met ruime foerageergelegenheid in de omgeving. Grote Sterns zijn meestal strikt kustgebonden, maar baltsen en paren offshore in het voorseizoen. De figuur toont relatieve aantallen, op een logaritmische schaal.  
Bron: Reid & Camphuysen, 1998.*



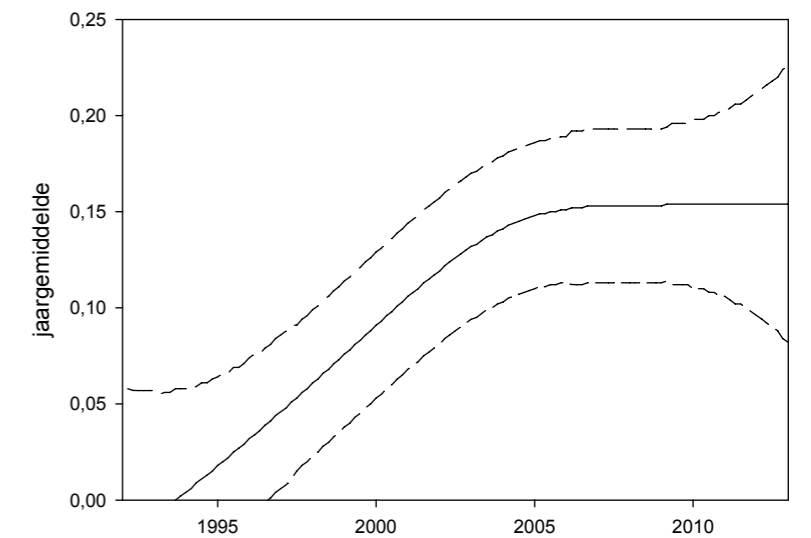
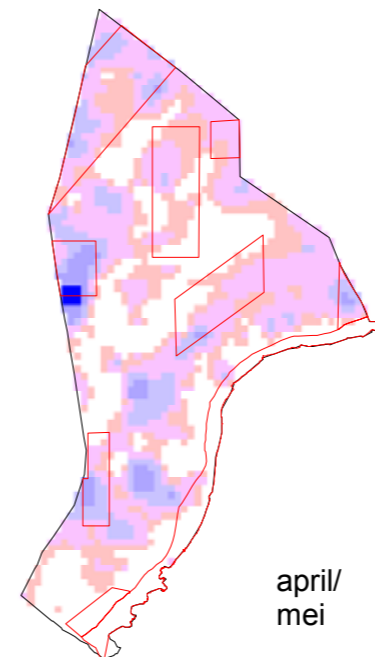
Trend en 95% betrouwbaarheidsinterval van de Grote Stern op het NCP in 1992-2012.

*Figuur: Observaties van grote stern in NCP. Ruimtelijke verspreiding op de piek van de seizoenale dichtheid (links) en langjarige trend (rechts).  
Bron: Rijkswaterstaat MWTL.*

## Bruinvis



*Figuur: Waarnemingen van bruinvis op zee, in de lentemaanden. Er is een duidelijke toename van de waarnemingsfrequentie over tijd. De verspreiding lijkt zich ook meer naar zuidelijk uit te breiden. Zeezoogdieren hebben in de jaren 60-80 erg geleden onder de vervuiling met PCB's en andere organische vervuilende stoffen. Sindsdien is een herstel waargenomen, al zijn nieuwe bedreigingen nooit ver. Bepaalde vormen van visserij kunnen voor de bruinvis bedreigend zijn. Verder is de soort erg gevoelig aan onderwatergeluid, en met toenemende activiteit op de Noordzee neemt ook verstoring toe.  
Bron: Reid & Camphuysen, 1998.*



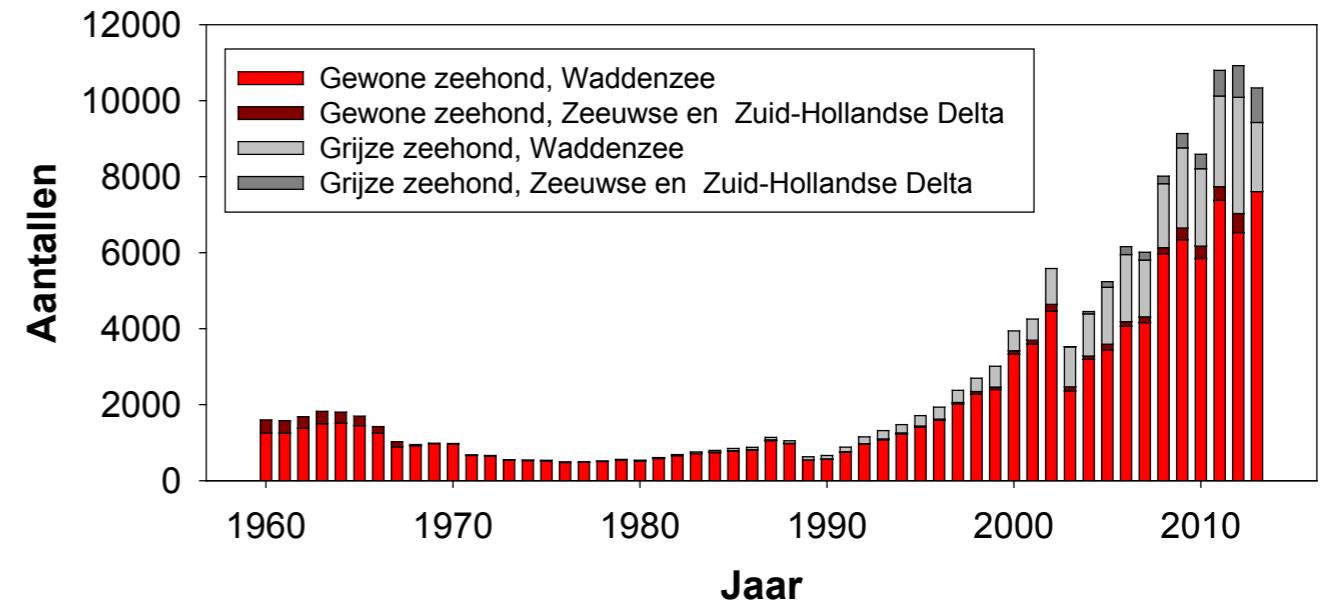
Trend en 95% betrouwbaarheidsinterval van de Bruinvis op het NCP in 1992-2012.

*Figuur: Observaties van de Bruinvis in het NCP. Ruimtelijke verspreiding op de piek van de seizoenale dichtheid (links) en langjarige trend (rechts).  
Bron: Rijkswaterstaat MWTl monitoring.*



## Zeehonden

In de Noordzee komen twee soorten zeehonden voor. De gewone en de grijze zeehond. De meeste dieren zitten in de Waddenzee, maar sinds het begin van de jaren '90 worden er ook in de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Delta regelmatig zeehonden gezien. Als toppredatoren kunnen deze dieren gezien worden als een indicator voor de gezondheid van het systeem. In 1988 en 2002 werd de zeehondenpopulatie getroffen door een virusziekte en liepen aantallen sterk terug. De laatste decennia neemt hun aantal spectaculair toe. Ook in andere landen rond de Noordzee is deze toename zichtbaar. Met name grijze zeehonden in Engeland en Schotland zijn sterk toegenomen. Men neemt aan dat de verbeterde waterkwaliteit een belangrijke factor is. Dit heft waarschijnlijk sterk bijgedragen aan een hogere reproductie en een lagere vatbaarheid voor ziekten.



*Figuur: Zeehonden in het Nederlandse deel van de Noordzee.  
Bron: Compendium voor de leefomgeving: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl1231-Gewone-en-grijze-zeehond-in-Waddenzee-en-Deltagebied.html?i=19-135>.*

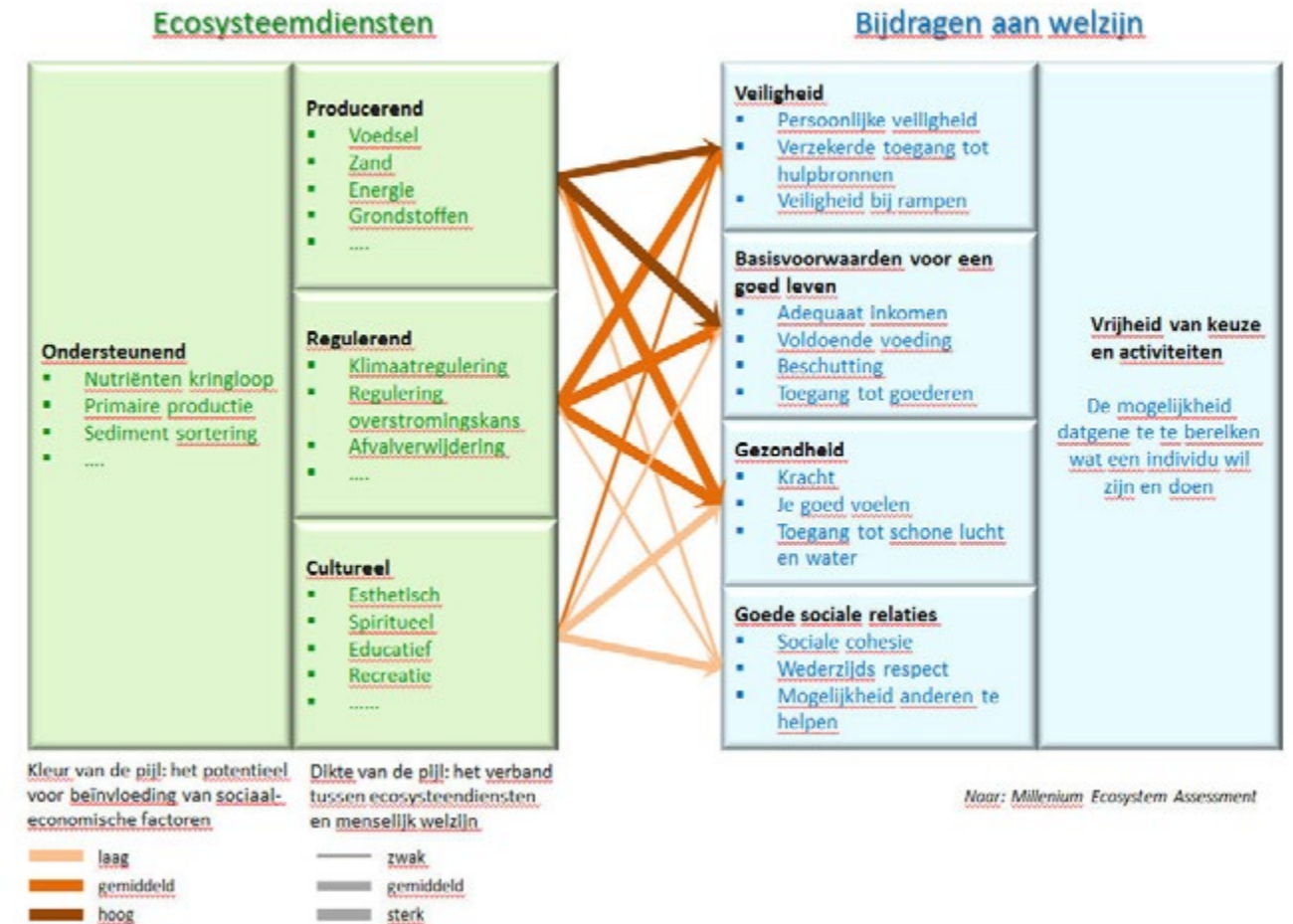
## Ecosysteemdiensten

Het concept "ecosysteemdiensten" staat voor alle producten en baten, geleverd door ecosystemen, die op de één of andere manier bijdragen aan het welzijn van de mens. Het begrip is vooral bekend geworden door de "Millennium Ecosystem Assessment" (MEA). Onderstaand figuur is een enigszins aangepaste versie van het schema zoals in het MEA rapport uit 2006.

De meest grijpbare ecosysteemdiensten van de Noordzee zijn de **producten** zoals vis, bouwzand, energie (gas, olie, wind) en grondstoffen zoals kalk uit schelpen, basisgrondstoffen voor cosmetica uit algen, etc. Iets minder voor de hand liggend, maar niet minder belangrijk zijn **regulerende** processen, zoals klimaatregulering via het vastleggen van kooldioxide of het verminderen van overstromingskans door de aanwezigheid van intergetijdenplaten, kwelders of eilanden voor de kust. Deze producten en diensten dragen bij aan ons welzijn in de vorm van voedselvoorziening, aanleveren van bouw materiaal voor infrastructuur en het creëren van een veilige leefomgeving. Daarnaast zijn er ook nog diensten die op een andere manier aan ons welzijn bijdragen en in sommige gevallen minder grijpbaar zijn. Een wandeling op het strand in de frisse zeelucht is gezond. Mensen hechten waarde aan de prachtige kustlandschappen, de mooie vogels, het gevoel van de wind in de zeilen van je boot en voor de duikers, de fascinerende onderwaterwereld. Deze baten worden samengevat als **culturele** ecosysteemdiensten. Zij vertalen zich, ondermeer via toeristische diensten, ook in echte inkomsten die verbonden zijn met de zee. Al deze directe ecosysteemdiensten zijn niet mogelijk zonder allerlei **ondersteunende** processen. Zonder primaire productie geen algen, geen zoöplankton en dus ook geen broodje haring.

Deze ecosysteemdiensten vertegenwoordigen een bepaalde waarde voor ons. Het bepalen van deze baten van het natuurlijke systeem in is de laatste jaren een aparte tak van onderzoek geworden. Sommige diensten zijn gemakkelijk in geld uit te drukken, zoals de economische waarde van de visserijsector. Andere baten zijn veel minder gemakkelijk te kwantificeren. Het belang van dit 'valoriseren van ecosysteemdiensten' zit vooral in de communicatie. Het beschermen van een gebied "om een paar zeehondjes te redden" kan rekenen op minder steun van de gemiddelde belastingbetaler dan het beschermen van een stuk zee of land "omdat het anders geld kost". De uitdaging is om ook die baten die niet gemakkelijk uit te drukken zijn in Euro's toch goed mee te kunnen wegen.

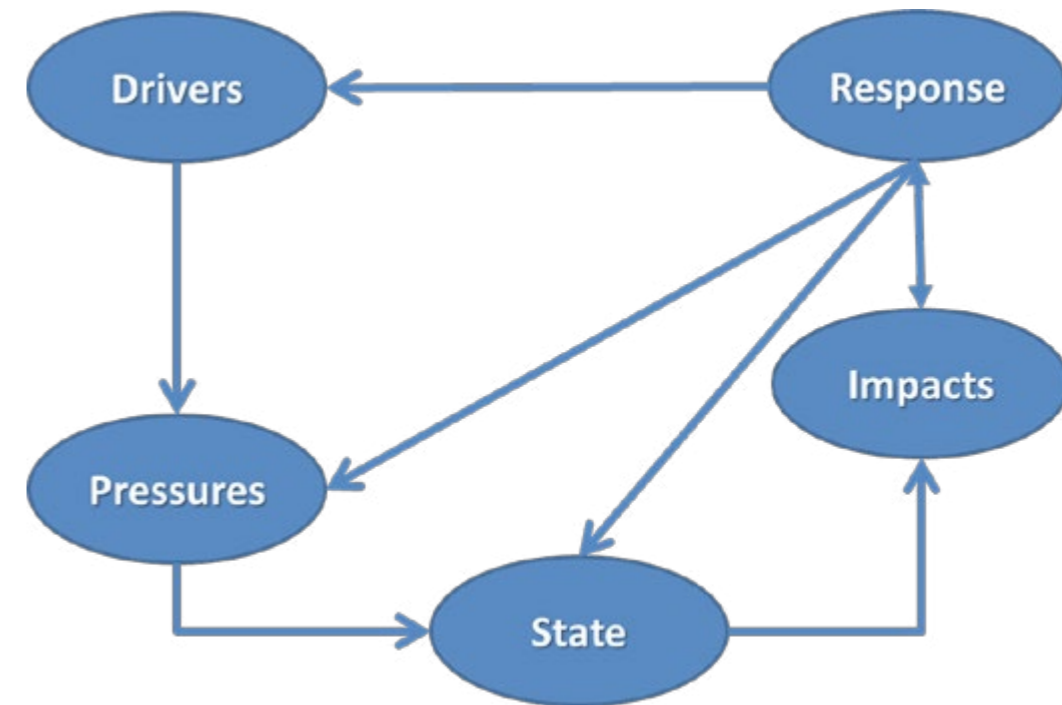
Het concept is de basis voor de Kaderrichtlijn Mariene Strategie. Hierin wordt een ecosysteembenadering toegepast voor het reguleren van menselijke activiteiten om daarmee een duurzaam gebruik van mariene goederen en diensten mogelijk te maken. Het Europese milieubeleid laat daarmee een verandering zien over de laatste 30 jaar. Deze is veranderd van bescherming van individuele soorten (bv. in de Vogelrichtlijn), via het beschermen van habitats en het in stand houden en verbeteren van verbindingen tot het duurzamer benutten van ecosysteemdiensten.



Figuur: Een overzicht van de belangrijkste ecosysteemdiensten en de wijze waarop zij aan het menselijk welzijn bijdragen. Gebaseerd op het 'Millennium Ecosystem Assessment'.



Voor het reguleren van menselijke activiteiten om de verschillende ecosysteemfuncties te kunnen waarborgen is inzicht nodig in ingreep-effectrelaties tussen menselijke activiteiten en het ecosysteem. Dit wordt inzichtelijk gemaakt door het "DPSIR" model, dat de samenhang tussen samenleving, milieu, natuur en natuurbeleid beschrijft. Onder de **Drivers** verstaat met allerlei menselijke factoren zoals industrie, mijnbouw, landbouw, visserij en ruimtelijke ordening. Ook algemene maatschappelijke factoren, zoals demografie en economische groei, of natuurlijke fenomenen, hebben direct of indirect invloed op het Noordzee ecosysteem. De drivers oefenen druk (**Pressures**) uit op het systeem via bv. emissies van vervuilende stoffen, geluid, verstoring. Deze beïnvloeden de ecologische toestand (**State**) van het systeem. In de KRM wordt deze toestand gemeten met indicatoren. Een verandering in de toestand kan een Impact hebben op de verschillende ecosysteemdiensten. Wanneer we goed inzicht hebben in de relaties binnen een ecosysteem, kan de maatschappij besluiten tot maatregelen (**Response**) om de veranderingen in de toestand van het mariene milieu en het verlies aan biodiversiteit te verminderen of in het vervolg te voorkomen. Een maatregel kan gericht zijn op een druk (**P**) factor (b.v. het reduceren van emissies), maar kan ook op een **Driver** zoals restricties op de visserij- of transportsector. Het kan ook gericht zijn op het verbeteren van de toestand (**S**) door restauratiemaatregelen.

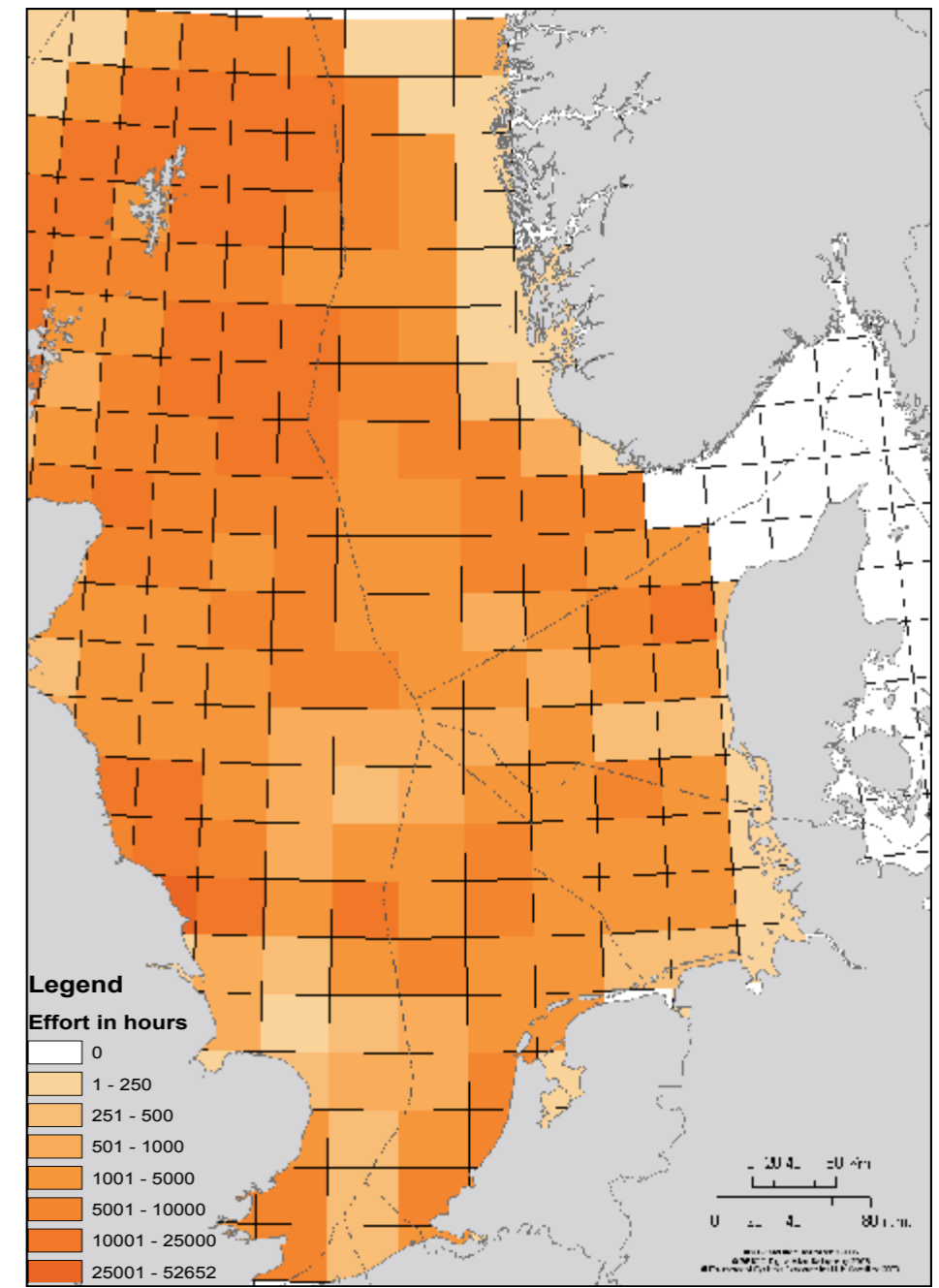
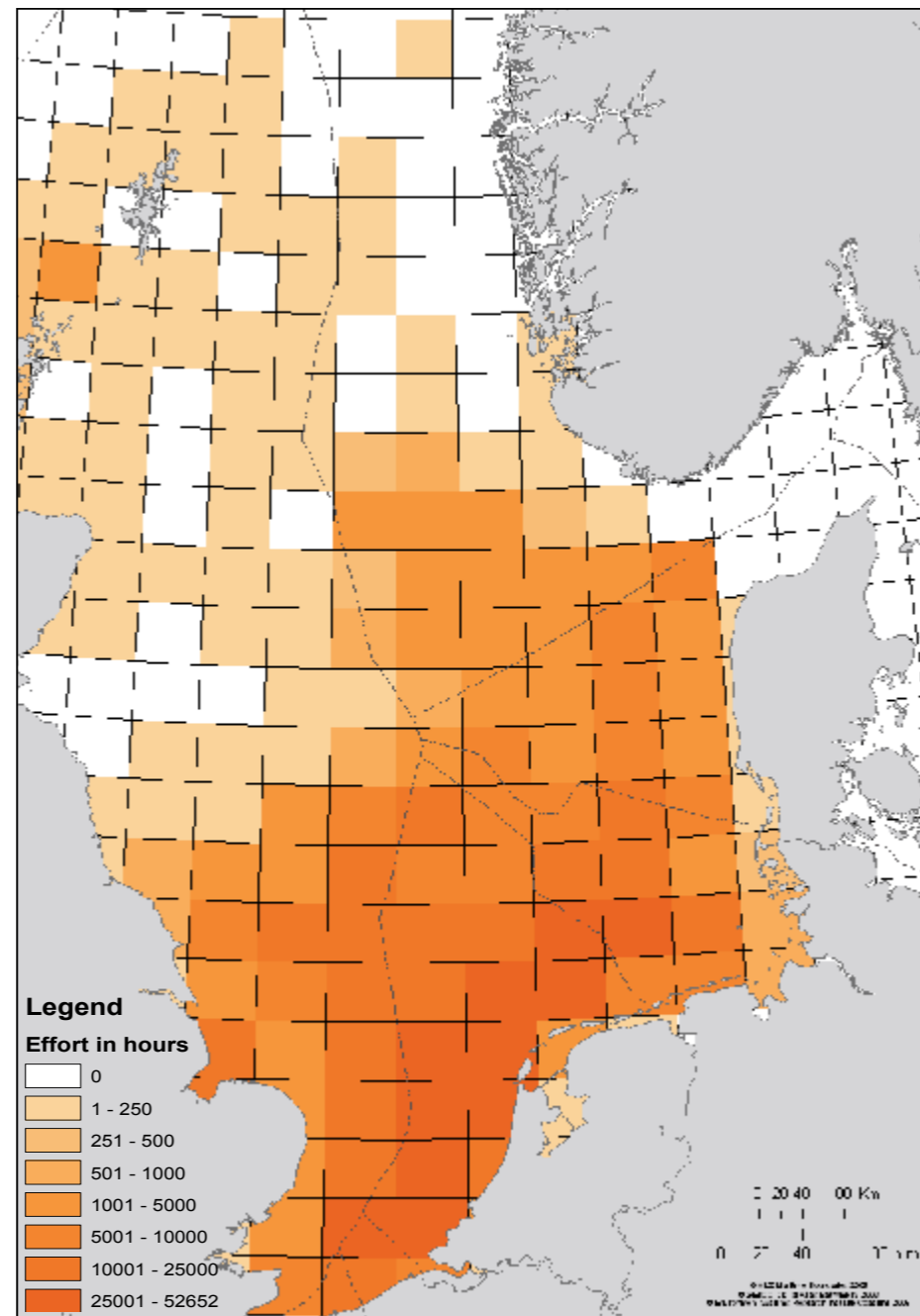


*Figuur: Het DPSIR model dat de relatie beschrijft tussen de maatschappij en de staat van het natuurlijk milieu. Dit model is de basis voor de implementatie van de Kaderrichtlijn Marien, en helpt om het overzicht te bewaren van observaties en maatregelen ter verbetering van de ecologische toestand van het systeem, met daarin de menselijke activiteiten als onderdeel verweven.*

## Visserij

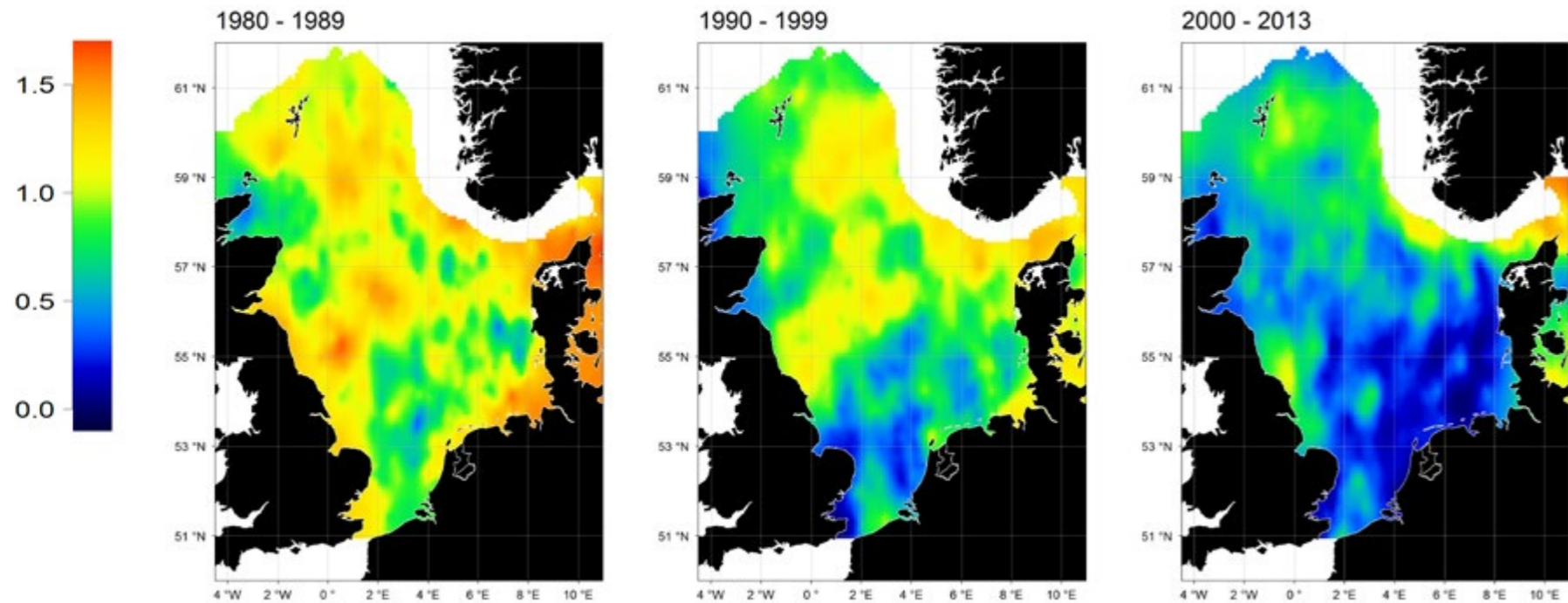
De Noordzee is een productieve kustzee die traditioneel sterk bevestigd wordt. In de afgelopen anderhalve eeuw heeft die visserij een grote intensivering gekend. Hoewel het aantal vissers en schepen is afgenomen, is door mechanisering en automatisering de efficiëntie van de schepen zeer toegenomen. Het gevolg was een hoge visserijdruk, en een toename van de sterfte van de vis door visserij. Wanneer die sterfte te hoog is in vergelijking met de draagkracht van de populatie, heeft dat twee gevolgen. De populatie wordt zeer kwetsbaar en kan bij natuurlijk voorkomende fluctuaties onder een kritische drempel komen, waardoor herstel moeilijk wordt, en de vissers besteden veel energie om relatief weinig vis te vangen. Om deze problemen te verminderen is de gemeenschappelijke Europese visserijpolitiek de laatste jaren veranderd. Gestreefd wordt naar een regulering van de visvangst die de populaties toelaat zich te herstellen tot een niveau waarin ze maximale productiviteit bereiken. Tegelijk wordt een verbod ingesteld op het overboord gooien van oogstbare vis, zodat betere controle mogelijk is van de werkelijke vangstinspanning. Deze regulering zal een aantal ecologische gevolgen hebben die nu nog moeilijk te overzien zijn. Men verwacht dat vogels die van visafval leefden het moeilijker gaan krijgen. Ook zou het kunnen dat meer concurrentie om voedsel gaat optreden tussen de verschillende vissoorten, als hun aantallen toenemen. Hoe dit precies gaat uitpakken is een spannende vraag, die de komende jaren intensief onderzoek zal vragen.

Naast de veranderingen in het Europese visserijbeleid, is er ook een technologische revolutie aan de gang in de bodemvisserij. De klassieke boomkor, die zeer bodemverstorend is en heel veel energie vraagt, wordt steeds minder populair als gevolg van de stijging van de brandstofprijzen en het verstrengen van de milieunormen. In toenemende mate wordt de boomkor door nieuwe tuigtypes (bijvoorbeeld sumwing of pulskor) vervangen. De gevolgen daarvan voor het milieu en de vispopulaties zijn nog niet helemaal duidelijk.

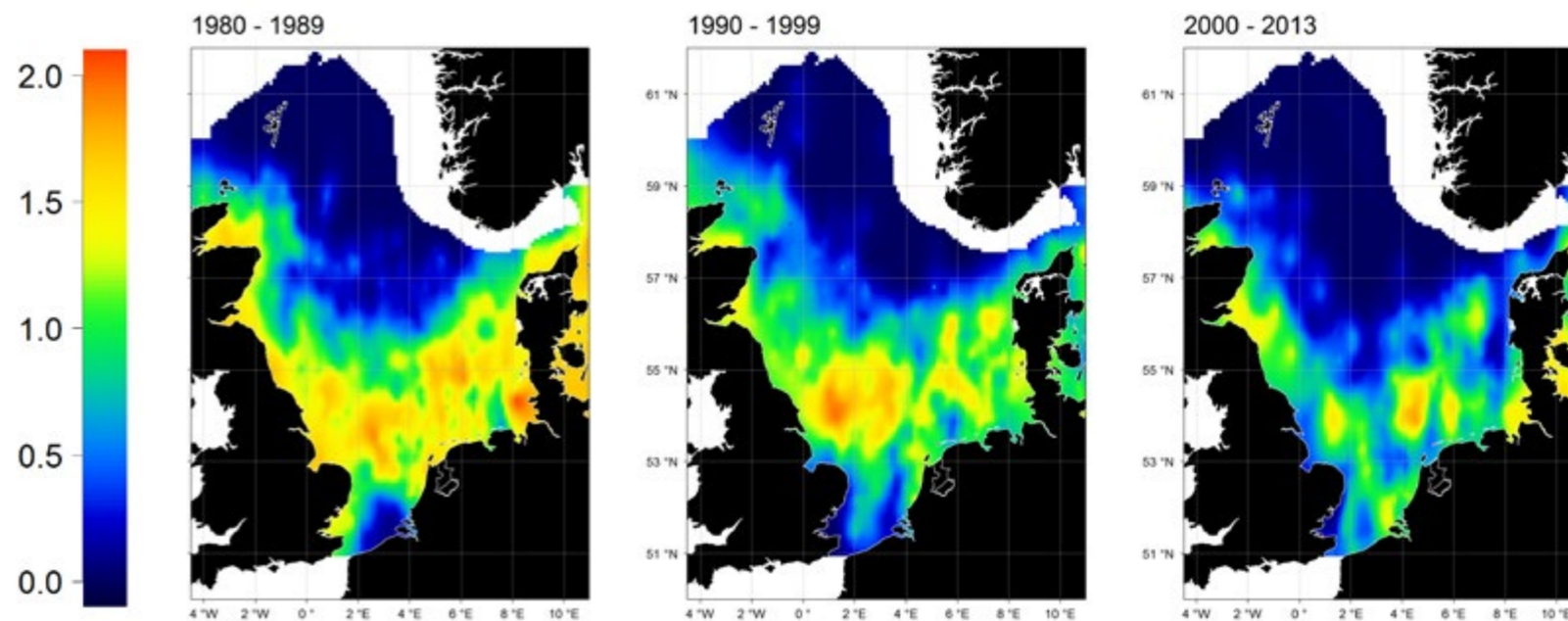


Figuur: Visserijintensiteit in de Noordzee met boomkorren (links) en otter trawls (rechts). Data tot 2004; laatste jaren zijn er aanzienlijke verschuivingen maar synoptische kaarten zijn moeilijk te vinden.  
Bron: Paramor et al., 2009.

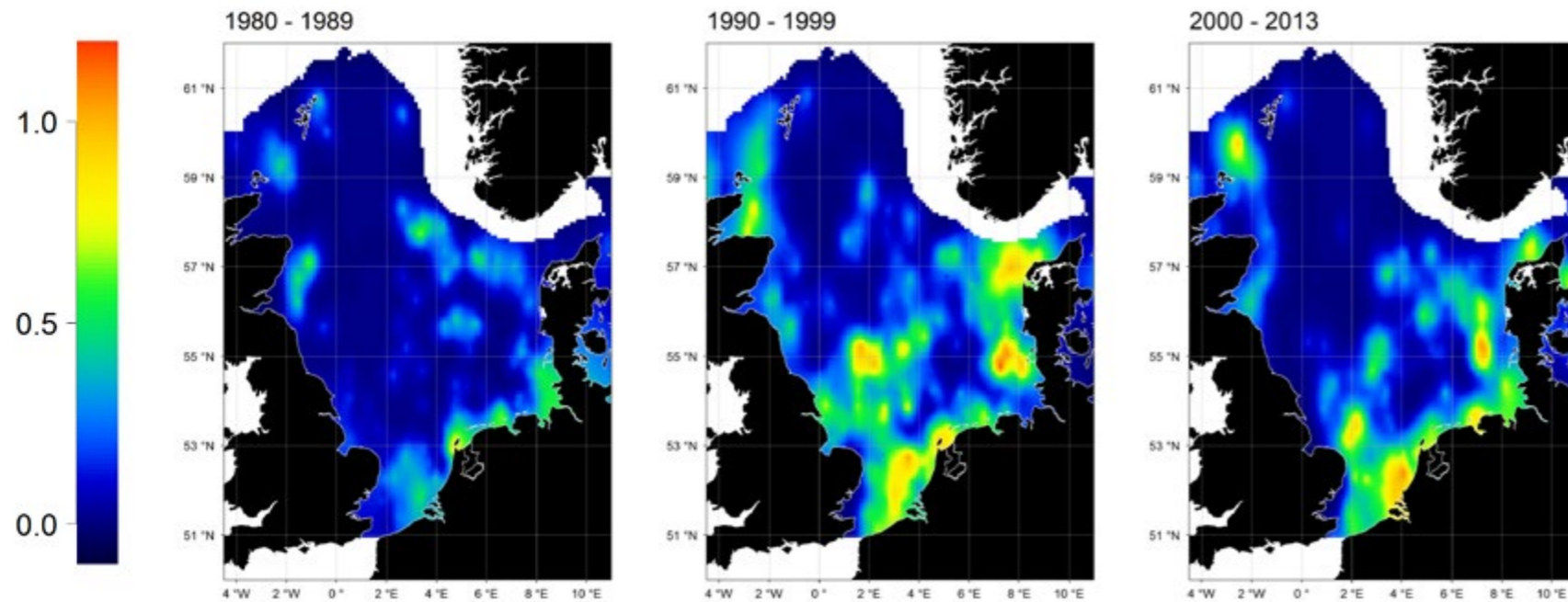




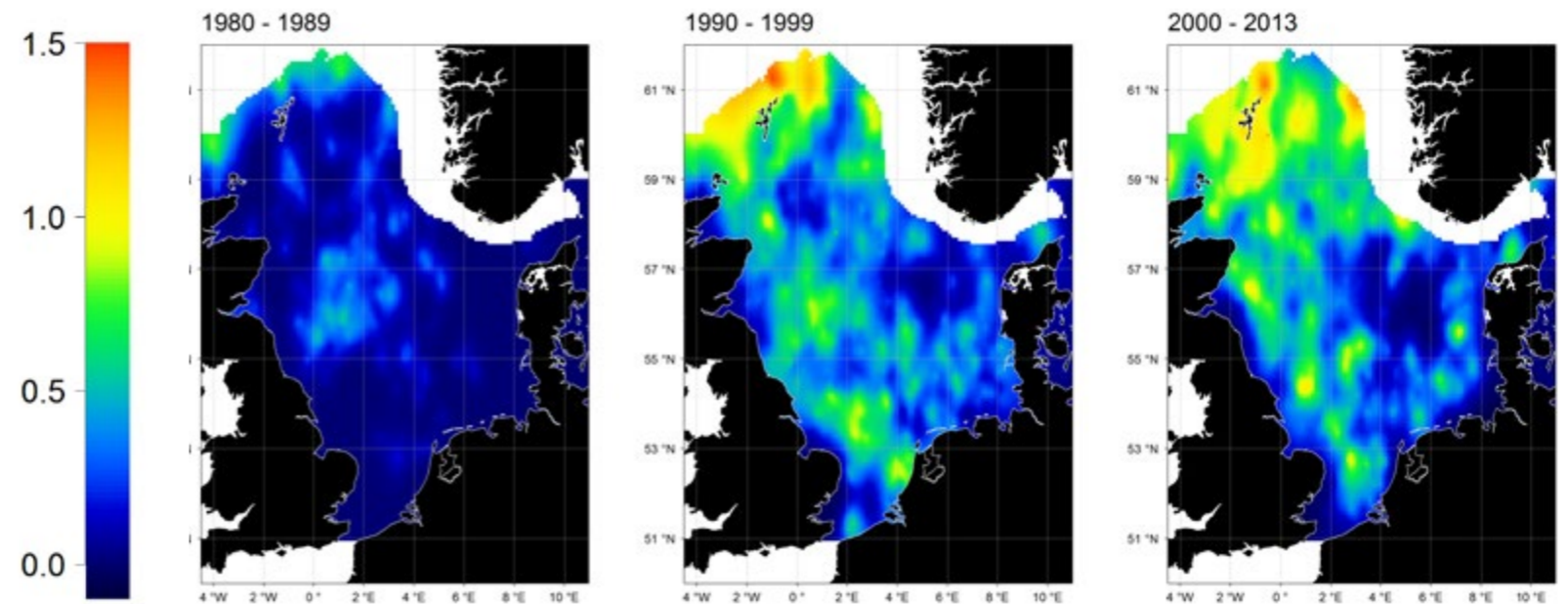
*Figuur: Dichtheid van kabeljauw in de ICES bottom trawls over de laatste decennia. Opvallend is de sterke achteruitgang van de soort in de zuidelijke Noordzee. Strenge vangstbeperkingen zijn van kracht, maar herstel heeft zich nog niet echt aangediend. Kaart gebaseerd op relatieve dichtheden in de trawls, met identieke logaritmische schaal voor de drie kaarten. Bron: ICES, 2014b.*



*Figuur: De dichtheid van sprot is afgenomen over de laatste decennia. De soort wordt vooral bevist voor vismeel en -olie, maar de visserijdruk is de laatste jaren afgenomen. Deze soort wordt niet kwantitatief bemonsterd in deze dataset, maar relatieve veranderingen zijn consistent weergegeven. Kaart gebaseerd op relatieve dichtheden in de trawls, met identieke logaritmische schaal voor de drie kaarten. Bron: ICES, 2014b.*

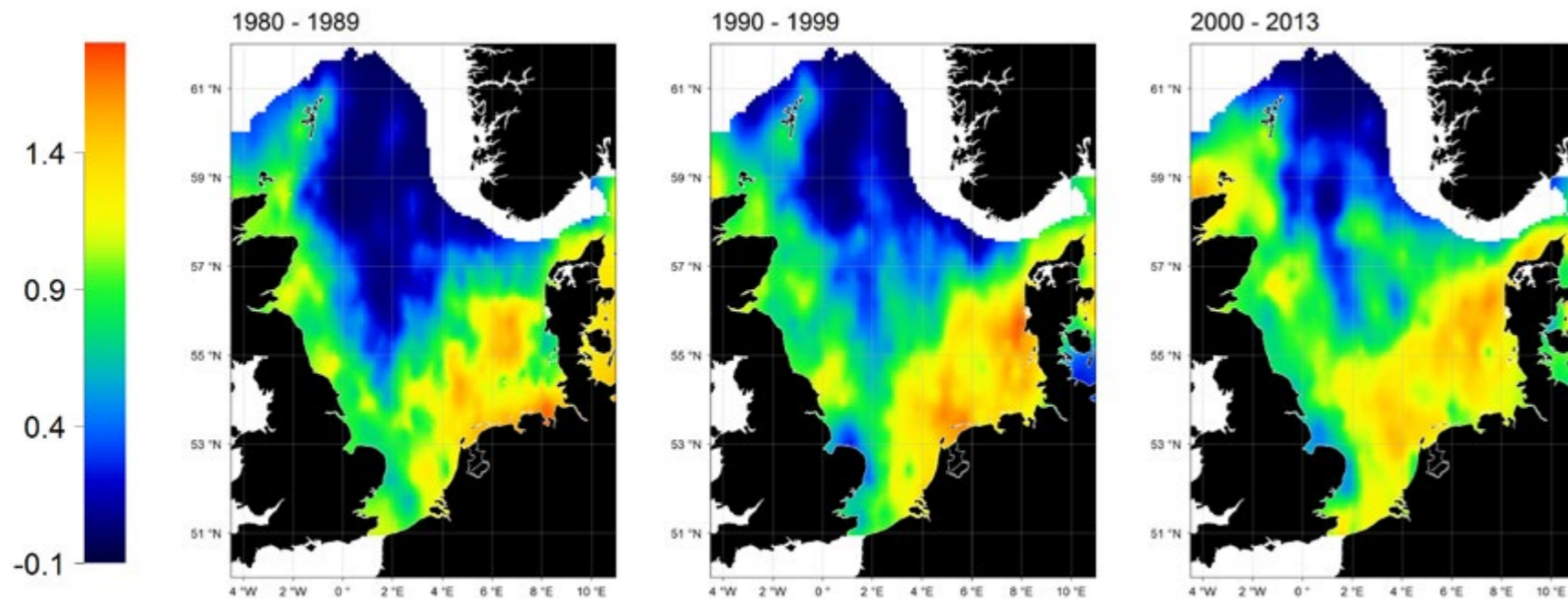


*Figuur: De zandspiëring is een complex van meerdere soorten die weinig worden bevestigd. Het is zeer belangrijk voedsel voor vogels en zeezoogdieren. Industriële vangst langs de Schotse kusten gaf aanleiding tot vermindering van vogelstanden en is nu beter gereguleerd. In de Zuidelijke Noordzee lijkt er een toename plaatsgevonden te hebben. Kaart gebaseerd op relatieve dichtheden in de trawls, met identieke logaritmische schaal voor de drie kaarten. Bron: ICES, 2014b.*

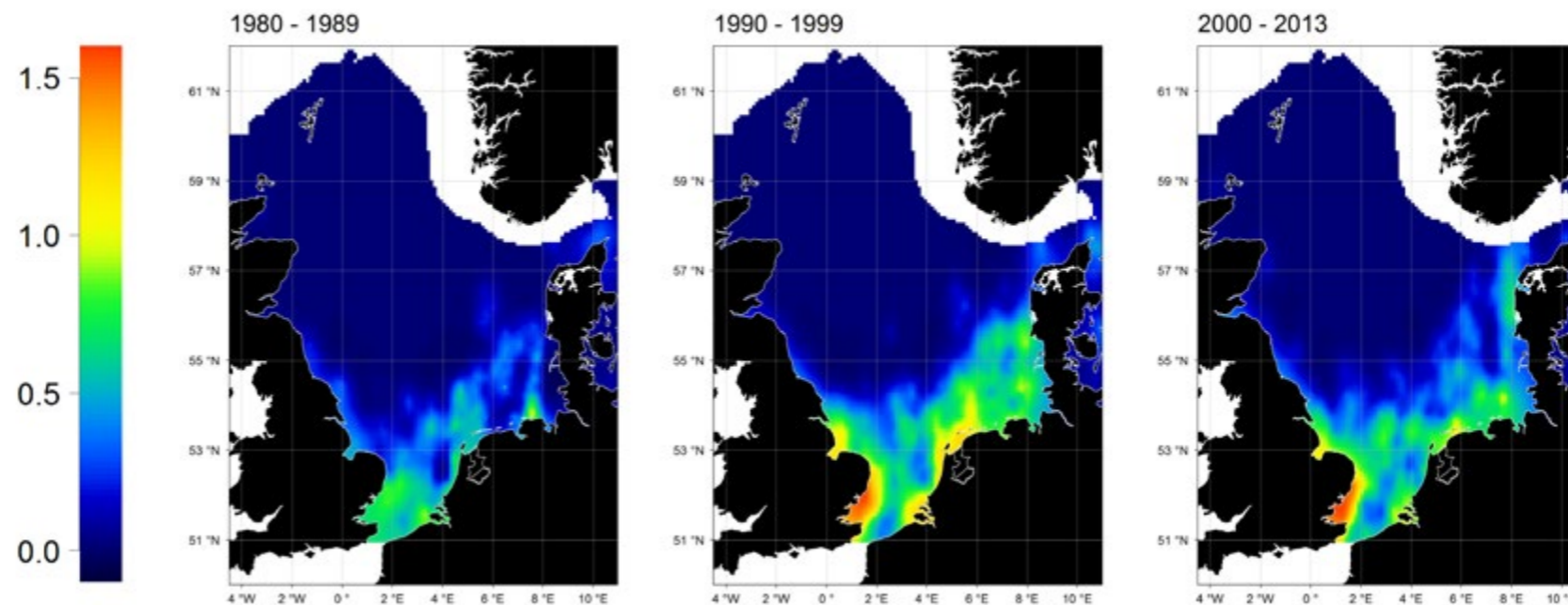


*Figuur: De makreel ('tonijn van de Noordzee') is een snelle zwemmer die zich als jonge vis met zooplankton voedt, en daarna met kleine visjes zoals haring en sprot. Hij komt voor in grote scholen. In de jaren zestig is de Noordzeepopulatie zo goed als verdwenen. Sindsdien komen in de Noordzee vissen van de westelijke populatie voor, die paait ten westen van de Britse eilanden maar als jonge vis de Noordzee opzwemt vanuit het noorden. De populatie breidt zich uit rond FarOer en IJsland. Ondanks moeilijkheden om in de internationale oceaan tot een algemeen beheersplan te komen, is de huidige stand van de populatie tamelijk gunstig. Kaart gebaseerd op relatieve dichtheden in de trawls, met identieke logaritmische schaal voor de drie kaarten. ICES, 2014b.*





*Figuur: De schol is een belangrijke soort voor de Nederlandse visserij. Er werd vooral met boomkorren op gevist, maar door de hoge brandstofprijs is die visserij meer en meer omgeschakeld naar duurzamer technieken zoals de SUMWING, eventueel in combinatie met de pulskor. Voor de schol heeft de beleidsverandering in de visserij zeer positief uitgedaakt. De stand van de populatie is historisch hoog, en het gewenste niveau van exploitatie (maximale duurzaam oogstbare productie) is bereikt. De schol is als jonge vis erg afhankelijk van kustsystemen zoals de Waddenzee, en trekt later de volle zee op. De kwaliteitsverbetering in de kustwateren heeft de soort misschien ook bevorderd. Kaart gebaseerd op relatieve dichtheden in de trawls, met identieke logaritmische schaal voor de drie kaarten.  
Bron: ICES, 2014b.*



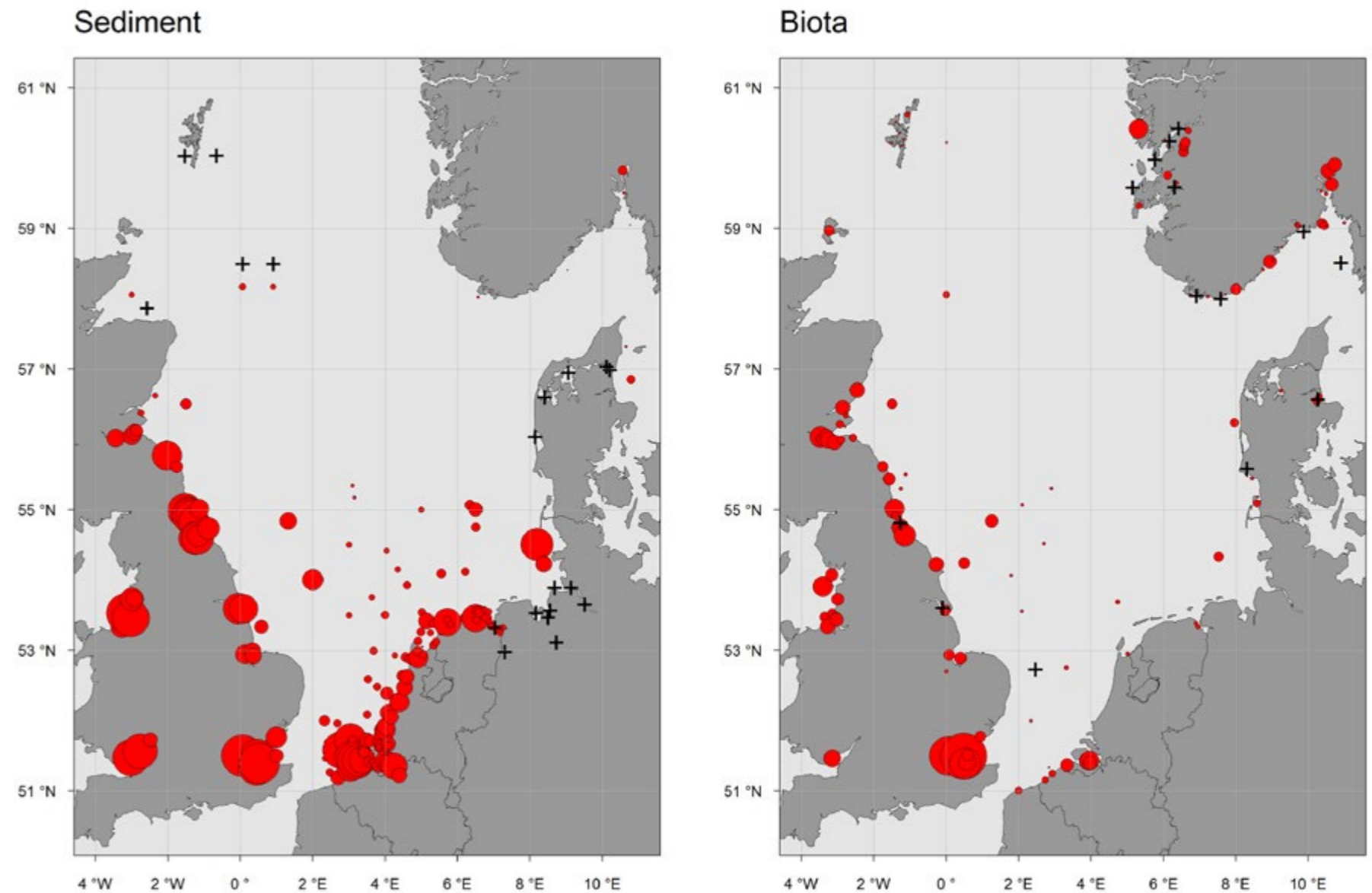
*Figuur: De tong is misschien wel de belangrijkste soort in de Nederlandse boomkorvisserij. De populatie schommelt sterk omdat slechts nu en dan een sterke jaarklasse voorkomt. Visserijdruk en populatie schommelen de laatste jaren rond een duurzaam niveau, mede door de gedeeltelijke omschakeling van de boomkorvisserij. Kaart gebaseerd op relatieve dichtheden in de trawls, met identieke logaritmische schaal voor de drie kaarten.  
Bron: ICES, 2014b.*

## Vervuiling

Er zijn zeer veel vervuilende stoffen die in delen van het mariene milieu voor problemen zorgen of gezorgd hebben: metalen, persistente organische verbindingen, nanodeeltjes, organotin verbindingen, pesticiden, microplastics etc. Het opvolgen van al deze verbindingen op het niveau van de Noordzee is beperkt gecoördineerd. Er is een lijst van stoffen die in vele landen worden onderzocht, zij het meestal in kustgebonden stations en er wordt in verschillende compartimenten gemeten. Daarnaast voeren alle landen ook nog onderzoek uit naar stoffen die in hun situatie belangrijk zijn, maar die niet noodzakelijk internationaal breed worden opgevolgd. Dat maakt het produceren van vergelijkende kaarten moeilijk.

Bestaande informatie is samengebracht door OSPAR op een interactieve website die per stof of stoffengroep aangeeft wat de tendens is in plaatsen waar de stof intensief genoeg is bemonsterd. Wij verwijzen naar deze site (<http://dome.ices.dk/osparmime/main.html>) voor details.

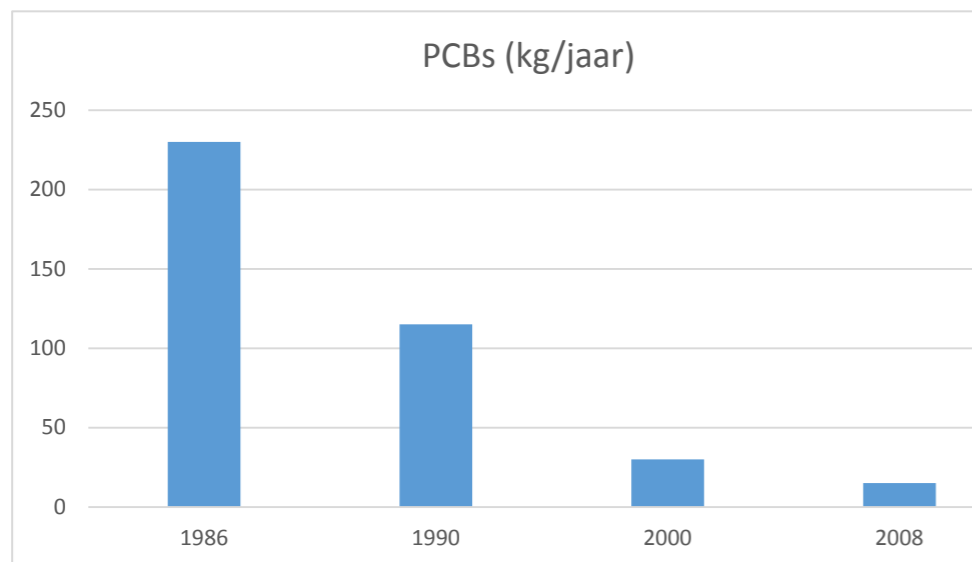
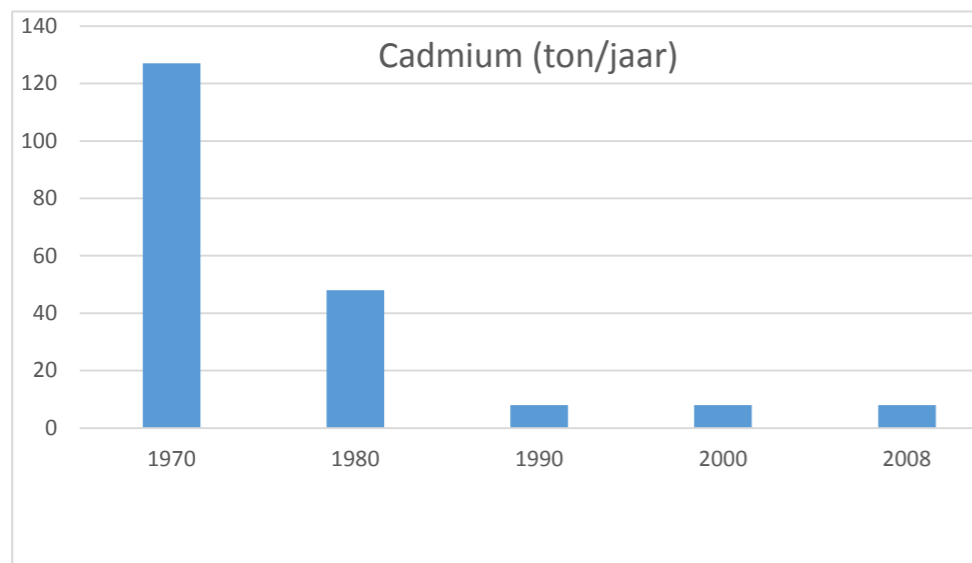
De kaart die we tonen geeft voor twee verschillende matrices, sediment en biota (vis) een samenvatting van de resultaten. Over alle stoffen, hebben we per station de fractie uitgerekend van stoffen die de kritische drempel (mogelijk ecologisch effect, soms net anders gedefinieerd want de normen zijn per stoffengroep verschillend) overschrijden. Het beeld toont duidelijk dat de sterkste vervuiling wordt gevonden bij de kust, en met name bij de uitstroom van rivieren. Wel is de bemonsteringsinspanning in volle zee uiterst beperkt. Niet getoond in deze kaart, maar overduidelijk uit de onderliggende data: in bijna alle gevallen is de trend over de tijd dalend. De aanvoer van de meeste stoffen vanuit de rivieren is sterk gedaald in de afgelopen decennia. Men kan berekenen hoe lang het duurt om de ecologische norm te behalen bij een reductie of uitschakeling van de riviervracht. Voor tributyltin bijvoorbeeld, zal de norm nog decennia worden overschreden zelfs wanneer er geen productie en gebruik van de stof meer is. Die erfenis vertaalt zich in de rode punten op de kaart, en zal nog een hele tijd worden meegedragen ook als de controle op afvalwateren even scherp blijft als de afgelopen jaren.



*Figuur: Overzicht van de fractie vervuilende stoffen die (nog) in een te hoge concentratie voorkomen. De cirkel is groter naarmate er een groter aandeel van de onderzochte stoffen problematische concentraties vertonen in (links) sediment en (rechts) biota. Hotspots van vervuiling bevinden zich dicht bij de monding van belangrijke rivieren en over het algemeen langs de kust. Grote delen van de open zee zijn zeer schaars bemonsterd.*

*Bron: OSPAR.*





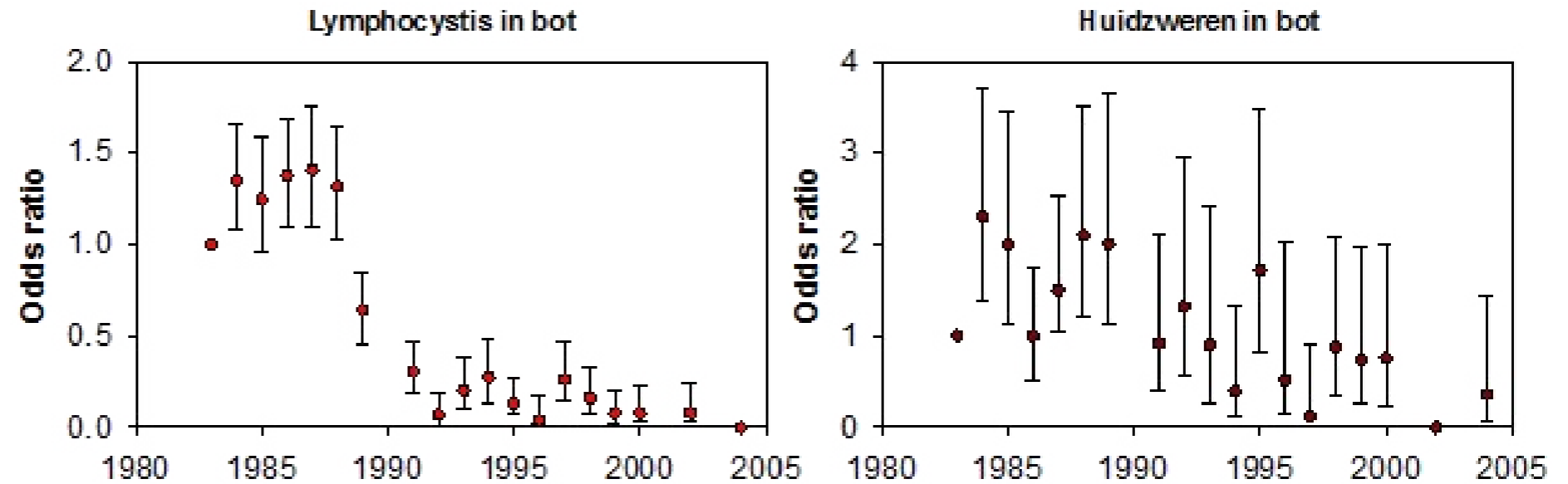
*Figuur: Trend in de gemiddelde toevoer van chemische verontreiniging door de Rijn en de Maas naar de Nederlandse kustzone. De toevoer, hier geïllustreerd voor een zwaar metaal en een groep organische vervuilende stoffen, is sterk gedaald in de afgelopen decennia. Dit is te danken aan veel strengere milieunormen op het land en bij de rivieren.*

*Bron: Laane et al., 2005, 2013.*

## Vervuilende stoffen, temporele trends

Verschiede visziekten, zoals leverkanker en huidzweren en -ziekten, kunnen een indicator zijn van een slechte ecosysteemgezondheid. Een aantal van dit soort ziekten kunnen statistisch in verband gebracht worden met het voorkomen van vervuilende stoffen in het water. Van twee platvissoorten (schar en bot) zijn lange termijn datasets beschikbaar van het voorkomen van toxische stoffen in de lever en het voorkomen van bepaalde ziekten. Deze data zijn verzameld op een aantal verschillende plaatsen in de Noordzee, zowel vlakbij de kust als midden op de Noordzee. Enkele stations zijn bemonsterd sinds de jaren tachtig. Het betreft stoffen zoals cadmium, PCB's, en hexachloorbenzeen, dus stoffen die niet van nature in de Noordzee voorkomen, maar afkomstig zijn van menselijke bronnen.

Over de jaren is een afname te zien van de meeste toxische stoffen in de levers van vissen en gekoppeld daaraan is tevens een afname te zien in het voorkomen van verschillende visziekten. De conclusie is dat de waterkwaliteit m.b.t. vervuiling de afgelopen decennia geleidelijk is verbeterd, wat geleid heeft tot een gezondere vispopulatie.



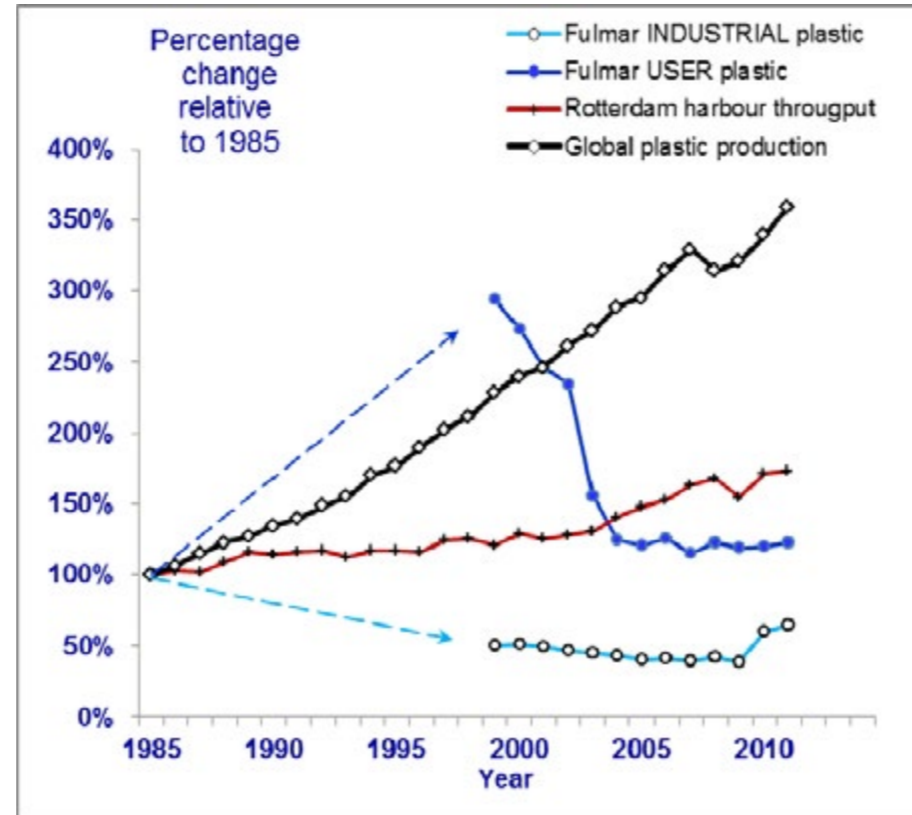
*Figuur: Lange termijn data voor de kans op het voorkomen van visziekten in de Bot, afkomstig van een monsterlocatie vlak voor de Hollandse kust (station F3). De data zijn uitgedrukt relatief, t.o.v. het eerste jaar. Data zijn gecorrigeerd voor effecten van lengte en geslacht. Error bars zijn 95% betrouwbaarheidsintervallen.  
Bron: Vethaak et al., 2009.*



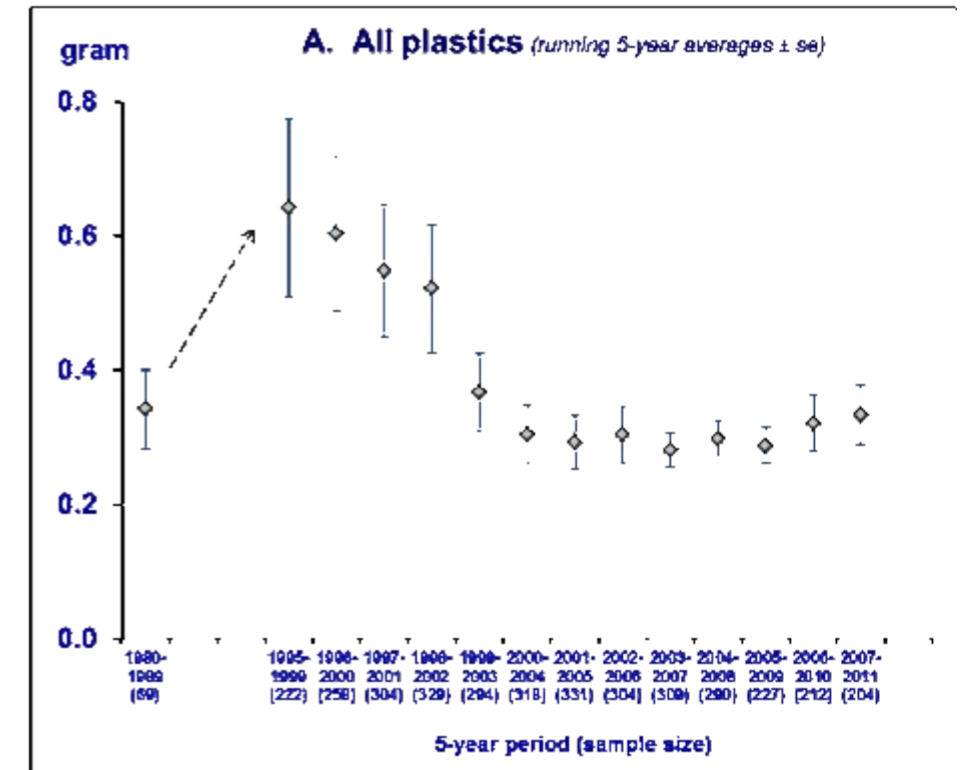
## Plastic in vogelmagen

Plastic in zee is een probleem. Dat geldt niet alleen op de open oceaan, waar grote drijvende massa's plastic door de circulaire stromingen (Gyres) bij elkaar worden gehouden, maar ook in kustzeeën. Organismen beschouwen plastic als voedsel, slikken het in sommige vogelsoorten kunnen vervolgens nog maar moeilijk van de ballast plastic in hun magen afkomen, met negatieve gevolgen voor hun voeding en overleving.

Sinds 1990 wordt plastic in vogelmagen van de Noorse stormvogel gemonitord in het Nederlands continentaal plat en door Rijkswaterstaat gerapporteerd. Hier tonen wij de massa plastic gevonden in de magen in de periode 1990-2011. Er is een forse vermindering opgetreden rond 1995, maar daarna zijn de waarden gestabiliseerd op een niveau dat nog steeds als schadelijk wordt ingeschat. Alle statistieken over het gebruik van plastic (bv. de totale hoeveelheid plastic die wordt vervoerd over de Noordzee, het gebruik in de oeverlanden, de scheepvaartintensiteit op de Noordzee) tonen over deze periode een sterke stijging. Als de vervuiling stabiel blijft bij toenemend gebruik, dan heeft het beleid in elk geval relatief succes gehad. Tot dat beleid behoort de verplichting afval op zee bij te houden, gratis aflevering van afval in de havens, en algemene bewustmaking van het probleem. De laatste jaren krijgt ook microplastic steeds meer aandacht.



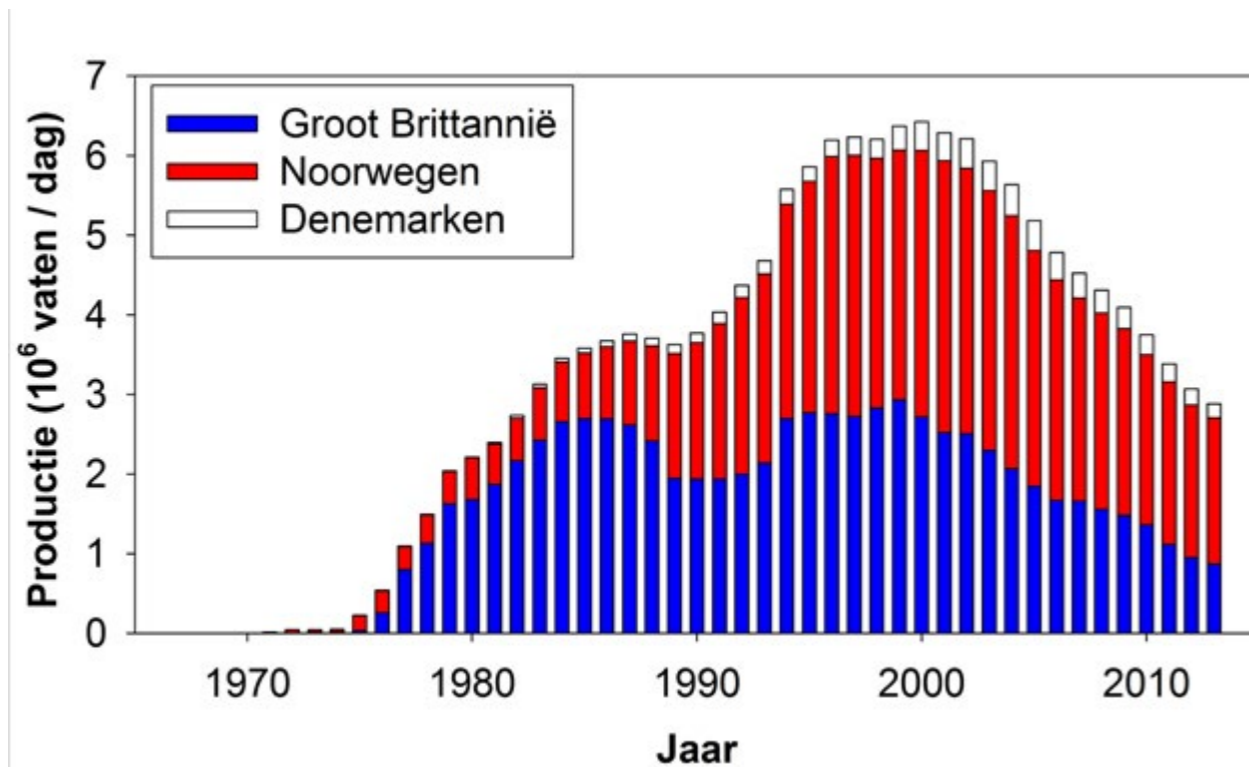
*Figuur: Hoewel het gebruik van plastic wereldwijd sterk is toegenomen, en ook de scheepvaart op de Noordzee is toegenomen, is de hoeveelheid plastic in vogelmagen niet meegestegen. Dat is een relatief succes.  
Bron: van Franeker, 2013.*



*Figuur: De gemiddelde hoeveelheid plastic die in magen van de Noorse stormvogel wordt gevonden, is tussen 1990 en 1995 fors afgenomen, maar sindsdien gestabiliseerd op een niveau dat hoger ligt dan de streefwaarde.  
Bron: van Franeker, 2013.*

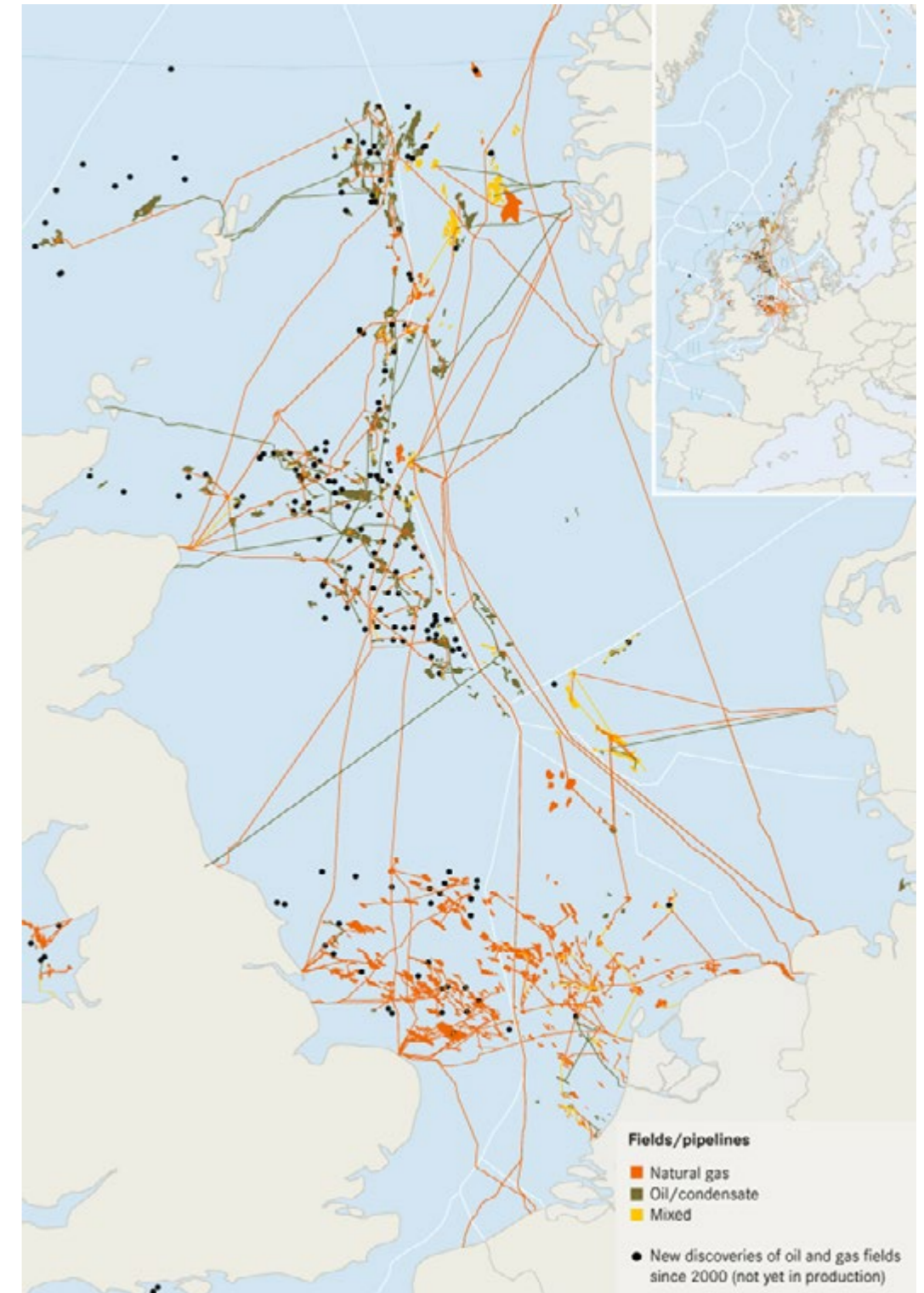
## Olie- en gaswinning

De Noordzee is een belangrijke bron van energie. Sinds 1964 wordt er op de Noordzee olie en gas gewonnen. De belangrijkste olieproducenten zijn Noorwegen, het Verenigd Koninkrijk en Denemarken. Nederland produceert verhoudingsgewijs weinig olie, maar wel een substantiële hoeveelheid gas. Eind jaren negentig van de vorige eeuw, en de eerste paar jaar van deze eeuw lag de productie van Noordzee olie rond de 6 miljoen vaten per dag. De olievoorraad begint intussen merkbaar te slinken en de laatste 10 jaar is er een duidelijke afname in productie te zien.



Verloop van olieproductie op de Noordzee sinds 1964. De bijdrage van Nederland is te klein om weer te geven.

Bron: van Duren, data: BP.



Figuur: Noordzee olie- en gasproductie gebieden.

Bron: OSPAR quality status report, 2010.

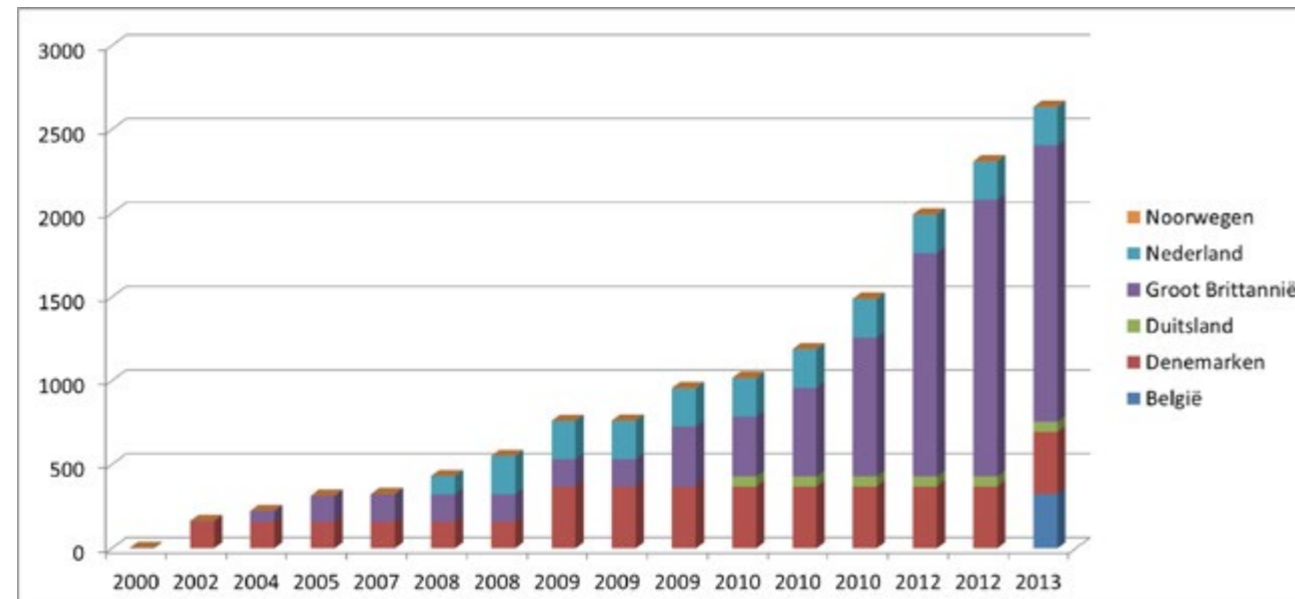


## Windenergie

Omdat enerzijds de voorraden fossiele brandstof aan het opraken zijn en anderzijds het besef is doorgedrongen dat de grote CO2 uitstoot die hiermee gepaard gaat negatieve effecten voor het leven op aarde heeft, zijn er wereldwijd initiatieven voor het ontwikkelen van duurzame energiewinning. Een van deze bronnen is de wind. Omdat op land de ruimte voor windparken beperkt is en het op zee vaak harder waait is er een sterke ontwikkeling op de Noordzee voor offshore windparken.

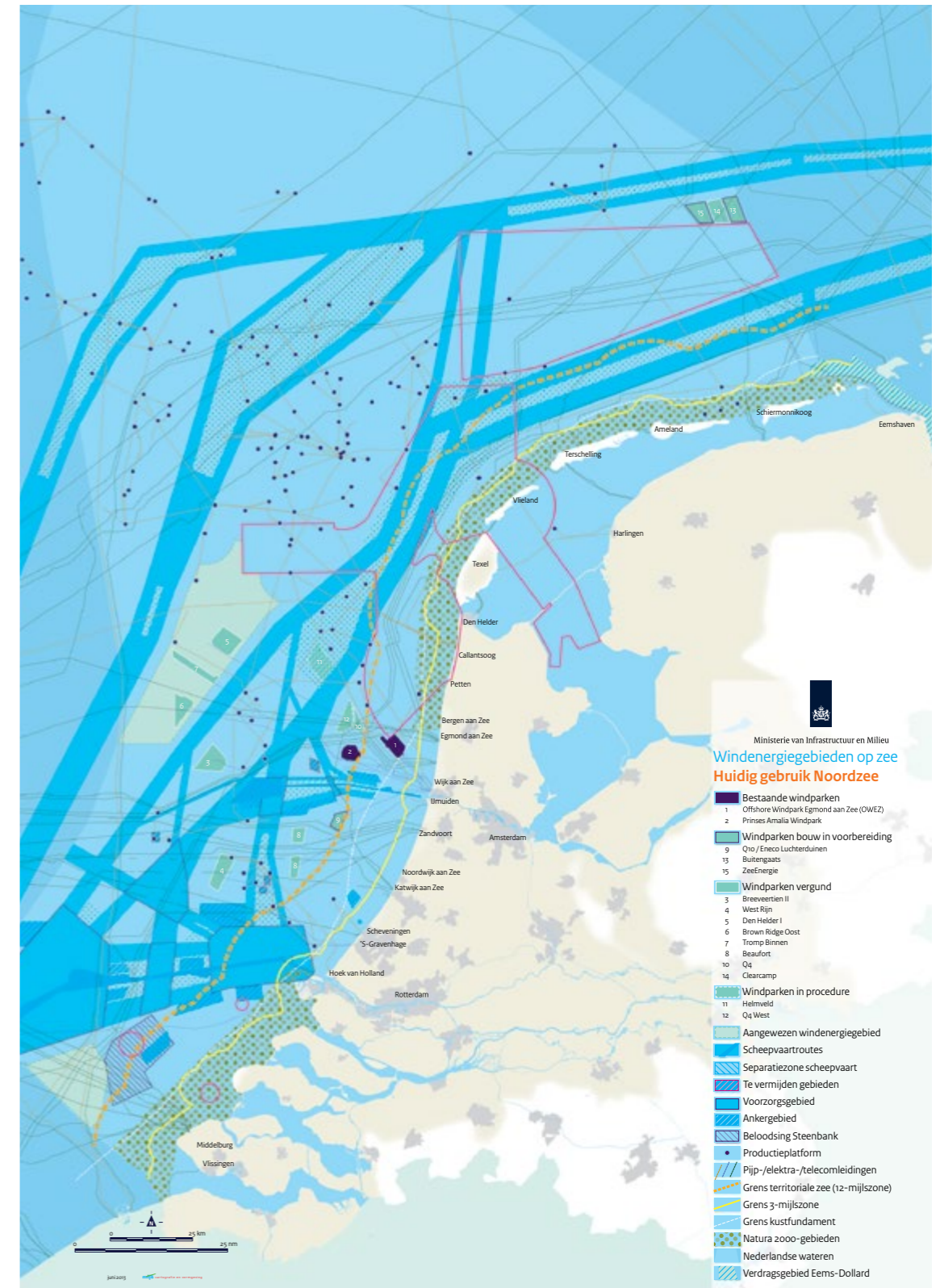
Nederland is een relatief kleine speler op deze markt. Groot-Brittannië heeft het grootste aantal en daarmee ook de grootste capaciteit aan windparken. De eerste twee windturbineparken die op de Nederlandse Noordzee werden gebouwd, zijn het offshore Windpark Egmond aan Zee (8 mijl uit de kust) en het Prinses Amalia Windpark (buiten de 12-mijlszone). Ze beslaan een oppervlakte van respectievelijk 26,8 en 16,6 km<sup>2</sup>. De komende jaren zullen, met subsidie, naar verwachting nog drie parken worden gebouwd: windpark Luchterduinen (Q10) voor de Hollandse Kust en de parken Buitengaats en Zee-Energie ten noorden van de Waddeneilanden (de zogenoemde Geminiparken). Voor de overige vergunningen die in 2009 zijn verleend, maar geen subsidie hebben gekregen, is een besluit tot behoud van de vergunningen tot 2020 genomen.

Het grootste deel van de bodem van de Noordzee bestaat uit zand. De aanwezigheid van deze windparken (en andere constructies zoals olieplatforms) vormen nieuw hard substraat in de Noordzee, waarmee er ruimte komt voor een hele andere diergemeenschap. Daarnaast mag er binnen in de windmolenparken ook niet gevisst worden. Er lopen intussen verschillende studies naar de effecten van deze structuren op de verspreiding van hard-substraatgemeenschappen en de effecten van het uitsluiten van visserij binnen deze oppervlakten. Daarnaast lopen er verschillende studies die de mogelijkheid onderzoeken om deze offshore platforms ook andere functies te geven, zoals bijvoorbeeld aquacultuur.



Figuur: Ontwikkeling van de capaciteit (in MW) van windparken op de Noordzee in de verschillende Noordzeelanden.

Bron: van Duren, data: List of offshore wind farms in the North Sea.



Nederlandse windparken op de Noordzee, in gebruik en vergund.

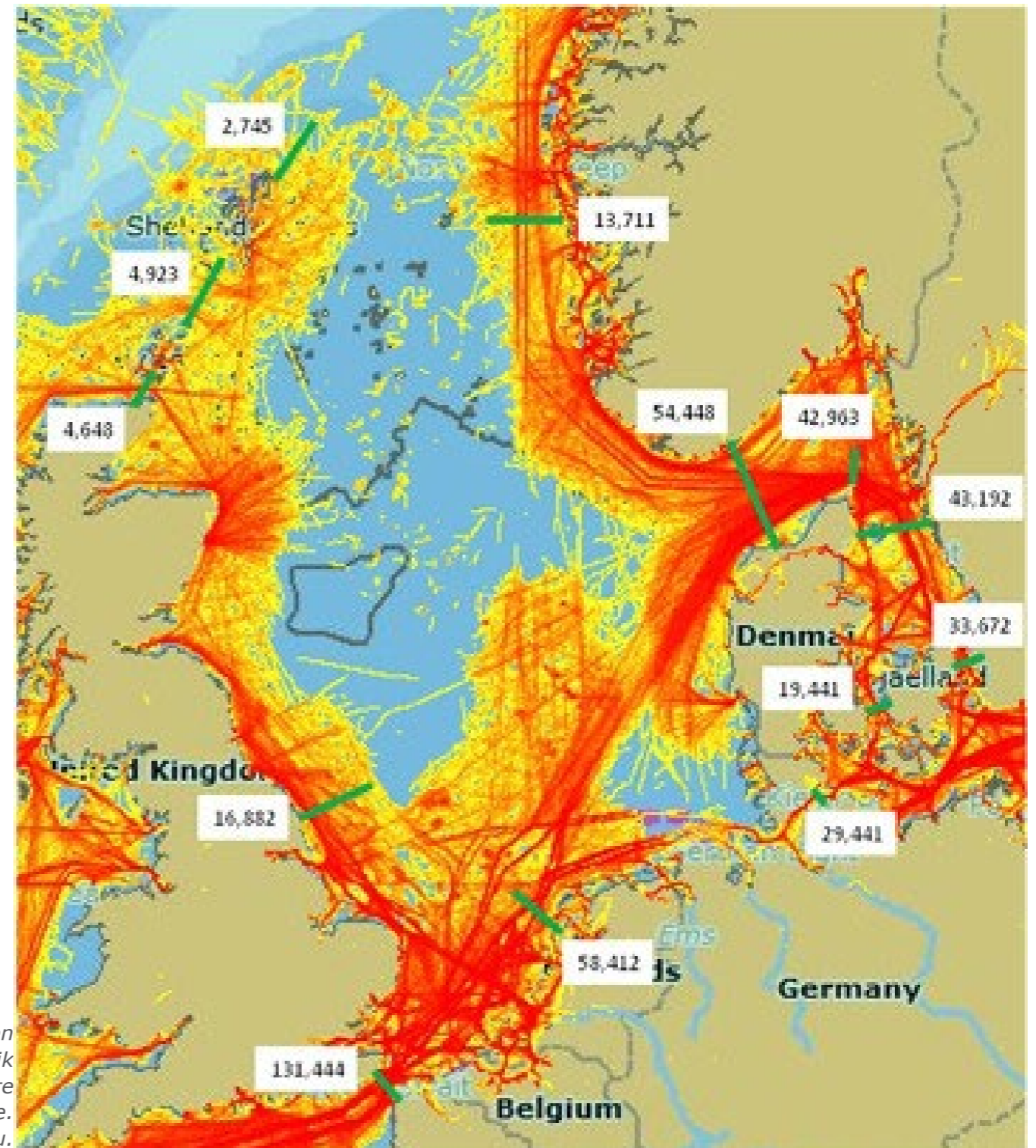
Bron: Noordzeeloket, Rijksoverheid.

## Scheepvaart

De Noordzee is zeer druk bevaren. Het transport van goederen stijgt al jarenlang sterk, zowel in volume als in waarde, en weerspiegelt daarmee de toenemende globalisering van de economie. De scheepvaart zelf, maar ook de landgebonden activiteiten die ermee zijn verbonden, zoals havens, scheepsonderhoud en -bouw, logistiek op het land etc., behoren tot de belangrijkste economische sectoren uit de 'blue growth', de groeisectoren die verbonden zijn met het gebruik van de zee. Deze belangrijke activiteit stelt voorwaarden aan het beheer van de zee. Er is voldoende ruimte nodig om veilige corridors voor het scheepvaartverkeer te creëren; niet alle constructies op zee (bijvoorbeeld windparken en aquacultuur) kunnen overal worden ingeplant. Bij de havens zijn baggeringrepen noodzakelijk voor de bevaarbaarheid. Havenuitbreiding vergen soms diepe ingrepen in het mariene landschap, zoals onlangs nog getoond bij de uitbreiding van de Maasvlakte.

De scheepvaart is een bron van welvaart, maar ook een bron van vervuiling. De zware stookolie die op schepen wordt gebruikt is verantwoordelijk voor een belangrijk deel van de atmosferische stikstof- en zwavelbelasting van de zee. Ballastwater zorgt voor introductie van exotische soorten, die soms invasief worden. Kanalen heffen biogeografische grenzen op en bevorderen daardoor ook invasies. Om al deze redenen krijgt vergroening van de scheepvaart steeds meer aandacht. Het is een werk van lange adem, door de lange levensduur van schepen en het multinationale karakter van de sector.

*Figuur: De Noordzee is één van de drukst bevaren zeeën ter wereld. De vaardichtheid is ruimtelijk variabel maar de veiligheid stelt grenzen aan andere ontwikkelingen op zee.  
Bron: Accseas, [www.accseas.eu](http://www.accseas.eu).*



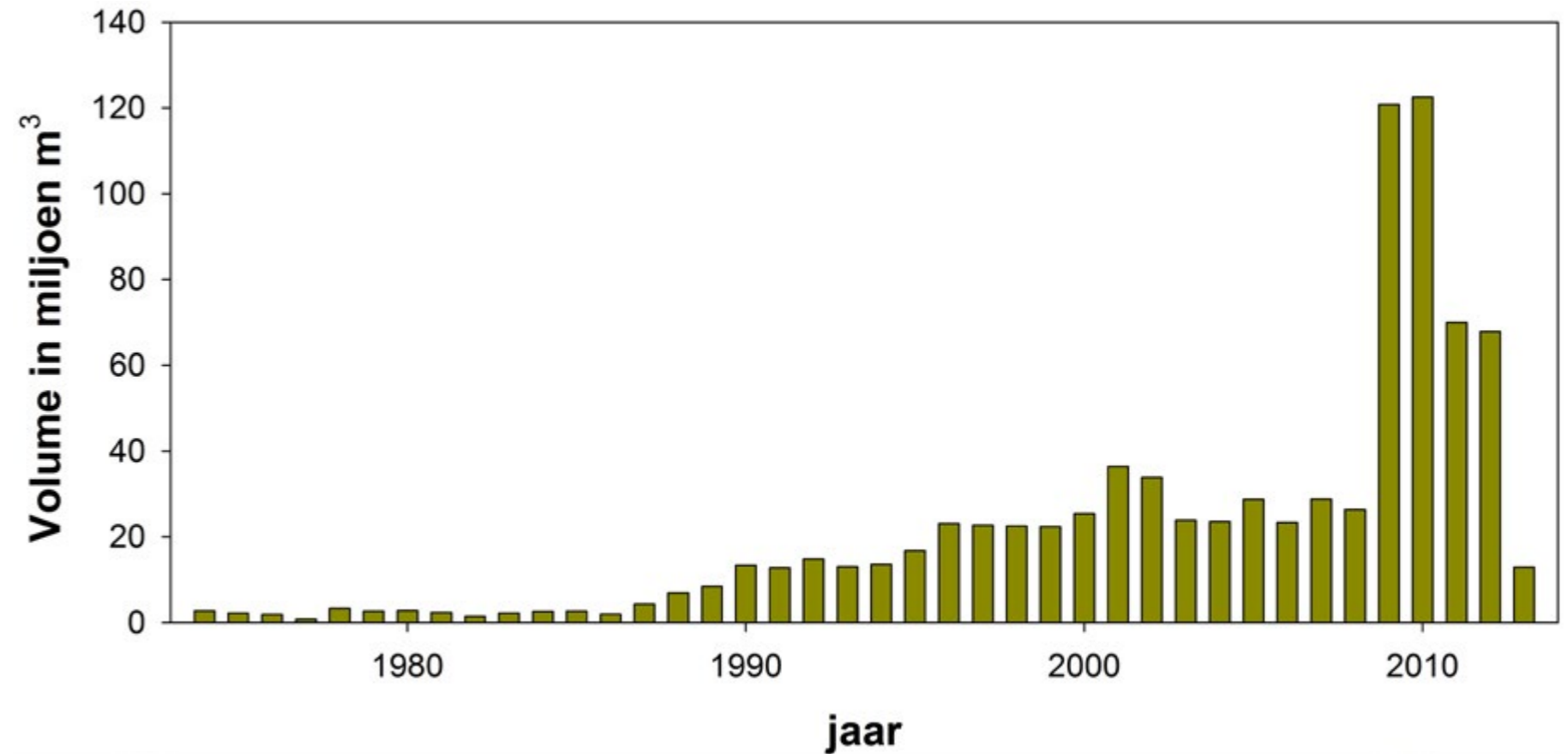


## Zandwinning

Zand is een belangrijke delfstof. Het wordt gebruikt voor landophoging bij bouwprojecten op land, maar voor Nederland is minstens zo belangrijk het gebruik van zand voor versterking van ons kust. Zand wordt voornamelijk gewonnen m.b.t. sleepopperzuigers. Deze schepen hebben een zeer groot laadvermogen, variërend van 1000 m<sup>3</sup> tot 7000 m<sup>3</sup>. Via één of twee zuigbuizen wordt zeewater en zand van de toplaag van de zeebodem opgezogen terwijl het schip vaart. Normale zandwinning gaat tot een diepte van twee meter, maar in sommige gevallen kan dat tot zes meter diep. Het water en een deel van het slib en fijne zand vloeit weer terug in zee.

Op het Nederlands Continentaal Plat wordt jaarlijks gemiddeld 25 miljoen m<sup>3</sup> zand gewonnen waarvan ongeveer de helft voor kustsuppleties. Dit gebeurt zeewaarts van de -20 m diepte lijn. Nederland onttrekt van alle Noordzeelanden de grootste hoeveelheid zand aan de Noordzee, deels vanwege de grote hoeveelheden die voor het versterken van het kustfundament worden gebruikt. Dit betreft deels strandsuppleties, maar de laatste jaren wordt de grootste hoeveelheid zand onderwater vlak voor de kust gestort.

Dit gemiddelde is voor het reguliere gebruik. Hierin zijn bijzonder grote projecten, zoals de aanleg van de Tweede Maasvlakte (vanaf 2008) in sinds niet meegerekend. Daarvoor is ongeveer 300 miljoen m<sup>3</sup> noodzakelijk. Ook de grote proefsuppletie, de Zandmotor bij Ter Heijde (2011-2012) van 21,5 miljoen m<sup>3</sup> is hierin niet meegerekend. In de figuur hiernaast is de historische ontwikkeling van de totale volumes aan zandwinning te zien. Zeespiegelstijging en toenemende bedrijvigheid zullen de vraag naar suppletiezand in de toekomst verder doen toenemen.



*Historische gegevens zandwinning op zee. Het overgrote deel is gewonnen op het Nederlands Continentaal Plat. Een kleine bijdrage wordt geleverd door de Euro-Maas geul naar de Rotterdamse haven en de IJ-geul richting Amsterdam.  
Bron: ICES, 2010, 2014a.*

## Bronnenlijst

- Accseas EU project. [www.accseas.eu](http://www.accseas.eu) (scheepvaartintensiteit)
- Barnard, R., Batten, S., Beaugrand, G., Buckland, C., Conway, D. V. P., Edwards, M., . . . Continuous Plankton, R. (2004). Continuous plankton records: Plankton atlas of the North Atlantic Ocean (1958-1999). II. Biogeographical charts. *Marine Ecology Progress Series*, 11-75.
- Bozec, Y., Thomas, H., Schiettecatte, L.-S., Borges, A. V., Elkalay, K., & de Baar, H. J. W. (2006). Assessment of the processes controlling seasonal variations of dissolved inorganic carbon in the North Sea. *Limnology and Oceanography*, 51(6), 2746-2762.
- De Ronde, J. G., F. Baart, F., C. A. Katsman, C.A., Vuik, V. (2014). Zeespiegelmonitor. 1208712-000, Deltares, Delft, the Netherlands.
- Compendium voor de Leefomgeving. Aantallen zeehonden in Nederlandse kustwateren op basis van data IMARES, Rijkswaterstaat en de Provincie Zeeland. <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl1231-Gewone-en-grijze-zeehond-in-Waddenzee-en-Deltagebied.html?i=19-135>
- EMODNET Habitats. <http://www.emodnet-seabedhabitats.eu/default.aspx?page=1974>
- Heip, C., Basford, D., Craeymeersch, J. A., Dewarumez, J. M., Dorjes, J., Dewilde, P., . . . Soltwedel, T. (1992). TRENDS IN BIOMASS, DENSITY AND DIVERSITY OF NORTH-SEA MACROFAUNA. *Ices Journal of Marine Science*, 49(1), 13-22. doi: 10.1093/icesjms/49.1.13
- ICES (2010). Report of the Working Group on the Effects of Extraction of Marine Sediments on the Marine Ecosystem (WGEXT). ICES CM 2010/SSGHIE:10, Djurönäset, Sweden.
- ICES (2013). Dataset on Ocean Hydrography. The International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen, Denmark.
- ICES (2014a). First Interim Report of the Working Group on the Effects of Extraction of Marine Sediments on the Marine Ecosystem (WGEXT), 2-5 June 2014, Reykjavik, Iceland, ICES CM 2014/SSGHIE:07.
- ICES (2014b). International Bottom Trawl Survey data set. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen, Denmark.
- Laane, R.W.P.M., De Voogt, P., Bik, M.H. (2005). Assessment of organic contaminants in the Rhine Estuary. Handbook Environmental Chemistry, vol. 5, part X, Springer Verlag, Berlin, Germany, 307-368.
- Laane, R. W. P. M., Vethaak, A. D., Gandrass, J., Vorkamp, K., Koehler, A., Larsen, M. M., & Strand, J. (2013). Chemical contaminants in the Wadden Sea: Sources, transport, fate and effects. *Journal of Sea Research*, 82, 10-53. doi: 10.1016/j.seares.2013.03.004
- Los, F. J., T. A. Troost, T.A., van Beek, J.K.L. (2014). Finding the optimal reduction to meet all targets—Applying Linear Programming with a nutrient tracer model of the North Sea. *Journal of Marine Systems* 131, 91-101.
- Myocean: Producten gegenereerd met behulp van MyOcean <http://www.myocean.eu/>
- Noordzeeloket, Rijksoverheid. Overzichtskaart gerealiseerde en gegunde windparken op het NCP. <http://www.noordzeeloket.nl/functies-en-gebruik/windenergie/>
- OSPAR Quality Status Report (2010). Data olie- en gaswinning. [http://qsr2010.ospar.org/en/ch07\\_01.html](http://qsr2010.ospar.org/en/ch07_01.html)
- OSPAR gegevens chemische vervuiling: <http://dome.ices.dk/osparmime/main.html>
- Paramor, O.A.L., Allen, K.A., Aanesen, M., Armstrong, C., Hegland, T., Le Quesne, W., Piet, G.J., Raakær, J., Rogers, S., van Hal, R., van Hoof, L.J.W., van Overzee, H.M.J., and Frid C.L.J. (2009) **MEFEPO North Sea Atlas**. University of Liverpool. ISBN0 906370 60 4.
- Provoost, P., van Heuven, S., Soetaert, K., Laane, R. W. P. M., & Middelburg, J. J. (2010). Seasonal and long-term changes in pH in the Dutch coastal zone. *Biogeosciences*, 7(11), 3869-3878. doi: 10.5194/bg-7-3869-2010
- Reid J.B., Camphuysen C.J. (1998). JNCC. The European Seabirds at Sea database. Biol. Cons. Fauna 102: 291.
- Rijkswaterstaat MWTL (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands). <http://www.informatiehuismarien.nl/> en Waterbase: [http://www.rijkswaterstaat.nl/water/water-data\\_waterberichtgeving/watergegevens](http://www.rijkswaterstaat.nl/water/water-data_waterberichtgeving/watergegevens)
- Salt, L. A., Thomas, H., Prowe, A. E. F., Borges, A. V., Bozec, Y., & de Baar, H. J. W. (2013). Variability of North Sea pH and CO2 in response to North Atlantic Oscillation forcing. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 118(4), 1584-1592. doi: 10.1002/2013jg002306
- Tsimplis, M. N., Shaw, A. G. P., Flather, R. A., & Woolf, D. K. (2006). The influence of the North Atlantic Oscillation on the sea-level around the northern European coasts reconsidered: the thermocline effects. *Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 364(1841), 845-856. doi: 10.1098/rsta2006.1740
- van Aken, H. M. (2008). Variability of the water temperature in the western Wadden Sea on tidal to centennial time scales. *Journal of Sea Research*, 60(4), 227-234. doi: 10.1016/j.seares.2008.09.001
- van Duren. Data van BP website voor olie- en gaswinning in de Noordzee. <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/energy-charting-tool.html>
- van Duren. Data in [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_offshore\\_wind\\_farms\\_in\\_the\\_North\\_Sea](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_offshore_wind_farms_in_the_North_Sea). Deze data zijn weer afkomstig van de 4C offshore Wind Farms Database: <http://www.4coffshore.com/offshorewind/>
- van Franeker, J.-A., SNS Fulmar study group (2013). Fulmar Litter EcoQO monitoring along Dutch and North Sea coasts - Update 2010 and 2011. IMARES Report C076/13. IMARES, Texel. 61pp.
- Vethaak, A. D., Jol, J. G., & Pieters, J. P. F. (2009). Long-Term Trends in the Prevalence of Cancer and Other Major Diseases Among Flatfish in the Southeastern North Sea as Indicators of Changing Ecosystem Health. *Environmental Science & Technology*, 43(6), 2151-2158. doi: 10.1021/es8028523
- Weijerman, M., Lindeboom, H., & Zuur, A. F. (2005). Regime shifts in marine ecosystems of the North Sea and Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 298, 21-39. doi: 10.3354/meps298021
- WORMS (World Registry of Marine Species), photo gallery.



## Colofon

De Staat van de Noordzee is samengesteld in het kader van de Noordzeedagen 2014, gehouden op het NIOZ, Texel op 2 & 3 oktober.

De Noordzeedagen vormen het jaarlijkse terugkerende congres waar wetenschappers, beleidsmakers en het bedrijfsleven elkaar ontmoeten en informatie delen die betrekking heeft op de Noordzee.

Deze uitgave is digitaal beschikbaar via de website [www.noordzeedagen.nl](http://www.noordzeedagen.nl)

Dit boekje is samengesteld door Peter Herman (teksten, samenstelling), Olivier Beauchard (databeheer, cartografie) van het NIOZ en Luca van Duren (teksten, samenstelling) van Deltares.

Vormgeving: Marieke Vloemans, NIOZ  
Eindredactie: Jan Boon, NIOZ

Wij danken Jaap Graveland, Suzanne Stuijzand, Andrea Houben, Hein de Baar, Kees Camphuysen, Han Lindeboom en Remi Laane voor tekstsuggesties, illustratiemateriaal, commentaar en hulp bij de redactie. Het beheer van de data en de cartografie werden mogelijk gemaakt door de EU projecten DEVOTES en EMODNET-biology.

### Copyright foto's

Jan Boon (pagina 1)  
Paolo Stocchi (pagina 5)  
Janine Nauw (pagina 9)  
Klaas Kikkert (pagina 99)  
Anna Rabitti (pagina 103)

### Disclaimer

Niets uit deze uitgaven mag worden overgenomen en/of vermenigvuldigd op welke manier dan ook zonder voorafgaand schriftelijk toestemming van de uitgever.









Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee

Het NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee is het oceanografische instituut voor Nederland. Het instituut verricht zowel fundamenteel als toegepast wetenschappelijk onderzoek om kennis te verzamelen over estuaria, zeeën en oceanen. Het instituut ondersteunt het onderzoek en onderwijs in de mariene wetenschappen in Nederland en in Europa.

# Deltares

Enabling Delta Life



Deltares is een onafhankelijk toegepast kennisinstituut op het gebied van water, ondergrond en infrastructuur. Wereldwijd werken we aan slimme innovaties, oplossingen en toepassingen voor mens, milieu en maatschappij. We richten ons voornamelijk op delta's, kustregio's en riviergebieden.



IMARES

WAGENINGEN UR

IMARES is hét Nederlandse instituut voor toegepast marien ecologisch onderzoek met als doel kennis vergaren van en advies geven over duurzaam beheer en gebruik van zee- en kustgebieden.



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Rijkswaterstaat is de uitvoeringsorganisatie van het ministerie van Infrastructuur en Milieu en werkt dagelijks aan een veilig, leefbaar en bereikbaar Nederland.