



MARINE OMRÅDER 2014

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 167

2015



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

MARINE OMRÅDER 2014

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 167

2015

Jens Würgler Hansen (red.)

Aarhus Universitet, Institut for Bioscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 167
Titel:	Marine områder 2014
Undertitel:	NOVANA
Forfatter:	Jens Würgler Hansen (red.)
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Bioscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	December 2015
Redaktion afsluttet:	Oktober 2015
Faglig kommentering:	Medarbejdere i Naturstyrelsen; DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi; Bo Riemann, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet
Kvalitetssikring, DCE:	Poul Nordemann Jensen
Finansiel støtte:	Miljø- og Fødevareministeriet
Bedes citeret:	Hansen, J.W. (red.) 2015: Marine områder 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 142 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 167 http://dce2.au.dk/pub/SR167.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	I 2014 blev de senere års positive udvikling i havmiljøet fastholdt til trods for, at året var karakteriseret ved forøget afstrømning og dermed tilførsel af næringssalte fra land i starten af året samt usædvanligt høje temperaturer og generelt svage vinde hen over sommeren. Disse forhold forstærkede lagdelingen af vandsøjlen og stimulerede udvikling af iltsvindet i bundvandet. Til trods for den relativt store afstrømning i årets start var næringssaltkoncentrationerne meget lave, og i nogle tilfælde de hidtil laveste siden 1989. Væksten (primærproduktionen) og mængden (klorofyl) af planteplankton var på et lavt niveau, lige som vandet var relativt klart – forholdene i de frie vandmasser var dog lidt dårligere end i 2013. Ålegræssets generelt positive udvikling de senere år blev i de fleste områder fastholdt eller forstærket i 2014, og dybdeudbredelsen af makroalger ved de åbne kyster og på stenrev var markant forøget i forhold til tidligere. Iltsvindets udbredelse i de åbne indre farvande var beskedent trods de ugunstige klimatiske forhold, mens iltsvindet i fjorde og kystnære områder startede tidligere, sluttede senere og var mere intenst end i de senere år. Bestanden af spættet sæl og gråsæl var væsentlig større end for bare få år siden. Til trods for de observerede forbedringer af miljøtilstanden er de danske farvande fortsat meget sårbare over for påvirkninger og endnu langt fra målet om en god miljøtilstand. Ud over belastningen med næringssalte (eutrofiering) påvirkes miljøtilstanden af mange andre forhold såsom miljøfarlige stoffer, fiskeri og klimaforandringer. De fleste miljøfarlige stoffers koncentration var på niveau med eller lavere end tidligere, men koncentrationerne af især kviksølv, TBT, PCB'er og et enkelt tjærestof (PAH) var flere steder så høje, at negative biologiske effekter kan forekomme. Sammenfattende viser dataene fra det nationale overvågningsprogram, at indsatsen for at sikre et bedre havmiljø virker, selvom havmiljøets respons på en mindsket påvirkning er meget kompleks og tager lang tid.
Emneord:	Overvågning, marine områder, miljøtilstand, klima, næringssalte, iltsvind, ålegræs, makroalger, bundfauna, miljøfarlige stoffer, plankton, monitoring, marine areas, environmental quality, climate, nutrients, hypoxia, eelgrass, macroalgae, bottom fauna, hazardous substances
Layout og sproglig kvalitetssikring:	Anne van Acker
Illustrationer:	Forfatterne/Anne van Acker
Foto forside:	Brunalger og rødalger på stenrev i Kattegat. Foto Michael Bo Rasmussen
ISBN:	978-87-7156-169-2
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	142
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR167.pdf
Supplerende oplysninger:	NOVANA er et program for en samlet og systematisk overvågning af både vandig og terrestrisk natur og miljø. NOVANA erstattede 1. januar 2004 det tidligere overvågningsprogram NOVA-2003, som alene omfattede vandmiljøet.

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Summary	11
1 Indledning	12
Del 1 – Påvirkninger af de danske farvande	18
2 Klimatiske forhold	20
3 Næringssalttilførsler fra land	28
4 Kvælstoftilførsel fra luft	29
Del 2 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten	30
5 Næringssaltkoncentrationer	32
6 Planteplankton, dyreplankton og vandets klarhed	43
7 Iltforhold	58
8 Bundplanter: ålegræs og makroalger	67
9 Bundfauna	79
10 Havpattedyr – sæler og marsvin	86
11 Miljøfarlige stoffer og biologiske effekter	98
Del 3 – Sammenfattende diskussion	112
12 Tilstand og udvikling	113
13 Ordliste	119
14 Referencer	126
Bilag 1 Beskrivelse af anvendte indeks og korrektioner for klimatiske variationer	136
Bilag 2 Dataanalyser – bundplanter	142

[Tom side]

Forord

Denne rapport udgives af DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet (DCE) som et led i den landsdækkende rapportering af det Nationale program for Overvågning af Vandmiljøet og Naturen (NOVANA). NOVANA er fjerde generation af nationale overvågningsprogrammer, som med udgangspunkt i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram blev iværksat efteråret 1988. Nærværende rapport omfatter data til og med 2014.

Overvågningsprogrammet er målrettet mod at tilvejebringe det nødvendige dokumentations- og videngrundlag til at understøtte Danmarks overvågningsbehov og -forpligtelser, bl.a. i forhold til en række EU-direktiver inden for natur- og miljøområdet. Programmet er løbende tilpasset overvågningsbehovene og omfatter overvågning af tilstand og udvikling i vandmiljøet og naturen, herunder den terrestriske natur og luftkvalitet.

DCE har som en væsentlig opgave for Miljø- og Fødevareministeriet at bidrage med forskningsbaseret rådgivning til styrkelse af det faglige grundlag for miljøpolitiske prioriteringer og beslutninger. Som led heri forestår DCE med bidrag fra Institut for Bioscience og Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet den landsdækkende rapportering af overvågningsprogrammet inden for områderne ferske vande, marine områder, landovervågning, atmosfæren samt arter og naturtyper.

I overvågningsprogrammet er der en arbejds- og ansvarsdeling mellem fagdatacentre og Naturstyrelsen. Fagdatacentret for grundvand er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), fagcentret for punktkilder hos Naturstyrelsen, mens fagdatacentre for vandløb, søer, marine områder, landovervågning samt arter og naturtyper er placeret hos Institut for Bioscience, Aarhus Universitet og fagdatacentret for atmosfæren hos Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet.

Denne rapport er udarbejdet af Det Marine Fagdatacenter, og den har været i høring i Naturstyrelsen. Rapporten er baseret på data indsamlet af Naturstyrelsens forvaltningsenheder, Det Marine Fagdatacenter, Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Institute of Marine Research in Kiel (IMR) og International Council for the Exploration of the Sea (ICES).

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes sammen med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenter-rapporter i 'Vandmiljø og natur 2014', som udgives af DCE, GEUS og Naturstyrelsen.

Sammenfatning

Jens Würgler Hansen

Den landsdækkende status for havmiljøet i 2014 kan sammenfattes i nedenstående hovedpunkter.

Klimatiske forhold

- Året 2014 var meget varmt både i forhold til normalperioden 1961-1990 (2,3 °C varmere) og perioden 2001-2010 (1,2 °C varmere). Maj, juni og august var de eneste måneder, hvor temperaturen ikke var markant over normalen.
- Vindhastigheden var under normalen igennem hele året med undtagelse af januar. Vind fra sydøst i årets første måneder og september-november resulterede i udstrømning af Østersøvand i starten af året og i efteråret. Svag vind i sommerperioden har formentlig styrket lagdelingen af vandsøjlen.
- Året 2014 var både mere regnfuldt og mere solrigt end normalt. Antallet af solskinstimer var 16 % over normalen og mængden af nedbør 15 % over normalen. En del af nedbøren faldt som skybrud i sommer- og efterårs-månederne.
- Vandtemperaturerne i 2014 var rekordhøje, og i fjordene, ved kysterne og i overfladevandet i de åbne indre farvande var vandet 2,3 °C varmere end normalen og 0,5-1 °C varmere end det hidtil varmeste år i 2008. Bundvandet var 1,8 °C varmere end normalen.
- Havtemperaturen er generelt steget 1-1½ °C i løbet af de sidste 30-40 år, men i 2014 tog temperaturkurven et ekstra trin opad.
- Siden midten af 1980'erne er havvandet blevet mere surt (ca. 0,2 pH lavere i de åbne indre farvande og ca. 0,1 pH lavere i fjorde og kystnære områder).

Koncentrationer af næringssalte

- Kvælstofkoncentrationerne i 2014 var generelt lave for fjorde, kyster og åbne indre farvande, med undtagelse af januar-februar og november-december, hvor stor afstrømning fra land gav højere koncentrationer.
- Fosforkoncentrationerne i 2014 var derimod på niveau med de senere år, dog med lave fosfatkoncentrationer i foråret som følge af et større optag grundet de højere vinterkvælstofniveauer.
- Den potentielle næringssaltbegrænsning i overfladevandet i den produktive periode var stor i 2014, hvilket skyldes de vindsvage forhold, som har reduceret tilførslerne af næringssalte fra bundvand og sediment.
- Koncentrationerne af organisk P i de åbne indre farvande var usædvanlig høje i anden halvdel af 2014, hvilket formentlig skyldes en akkumulering af opløst organisk stof over sensommeren og efteråret som følge af reduceret opblanding af vandsøjlen.
- Kvælstof- og fosforkoncentrationerne udviser klare faldende tendenser siden 1989, især når der tages højde for år til år variationerne i ferskvandsafstrømningen, dog med en tendens til stagnation for fosfor siden 1998 og et mindre fald for kvælstof siden 2003.
- De aftagende næringssaltkoncentrationer tilskrives i stor udstrækning spildevandsrensning af fosfor og en reduktion i landbrugets kvælstofoverskud. Der er altså en tydelig positiv effekt af den danske indsats. Tilsvarende initiativer i vore nabolande kan have medvirket til de lavere koncentrationer i de åbne farvande.

- Siliciumkoncentrationerne i 2014 var på niveau med de seneste 10-15 år. Et kraftigt fald fra februar til marts måned indikerer, at forårsopblomstringen var domineret af kiselalger.

Planteplankton, dyreplankton og sigtddybde

- Forholdene i de frie vandmasser var sammenlignet med 2013 lidt dårligere i 2014 med mere uklart vand, højere klorofylkoncentrationer, mens væksten af planteplankton var på niveau med 2013. De lidt dårligere forhold skyldtes en stor afstrømning/næringssalttilførsel i januar og februar samt varmt og stille vejr i juli, som gav udbredt iltsvind i fjorde og kystnære områder.
- I 2014 var der lige som i 2012 og 2013 en relativ høj sigtddybde (klart vand) både i fjorde og kystnære områder og i de åbne indre farvande. Sigtdybden er steget signifikant siden 1989 både i fjorde og kystnære områder (dog kun for de afstrømningskorrigerede værdier) og i de åbne indre farvande.
- I 2014 var der lige som i 2012 og 2013 en relativ lav koncentration af klorofyl både i fjorde og kystnære områder og i de åbne indre farvande. Klorofyl er faldet signifikant siden 1989 i fjorde og kystnære områder, mens der ikke har været nogen signifikant udvikling i de åbne indre farvande.
- Algevæksten i 2014 var omtrent på niveau med 2013 og bekræfter således den generelt positive udvikling med en aftagende algevækst siden ca. 2004. I fjordene var væksten størst i sensommeren pga. næringssaltfrigivelse forårsaget af iltsvind, og i de åbne farvande var væksten forøget i forårsmånederne pga. en stor vinterafstrømning af ferskvand fra land.
- Der var et signifikant fald i algevæksten over tid for alle områder med 1-2 % pr. år stigende til 4-5 % over de seneste 10 år. Desuden var der en signifikant sammenhæng mellem algevækst og kvælstoftilførsler, således at algevæksten faldt 0,2-0,4 % pr. procent fald i kvælstoftilførslen.
- Biomassen af planteplankton er steget svagt men signifikant i perioden 1989-2014 i fjorde og kystnære områder, mens biomassen har varieret omkring et konstant niveau i de åbne indre farvande.
- Kiselalgernes andel af den samlede kulstofbiomasse af planteplankton har været stigende i fjorde og kystnære områder i perioden 1989-2014, hvorimod der ikke har været nogen trend for kiselalgernes andel i de åbne indre farvande.
- Slægten *Alexandrium*, der i visse tilfælde kan have skadelige økofysiologiske effekter, spiller en minimal rolle i det pelagiske stofkredsløb. Derimod blev der observeret meget høje koncentrationer af *Dinophysis acuminata* (> 20.000 celler l⁻¹) i Limfjordsområdet i sommeren 2014. Desuden blev der målt koncentrationer over de anbefalede niveauer for skaldyrsskeri i Aarhus Bugt, nordlige Kattegat ud for Frederikshavn, samt ved Bornholm i forsommeren og sommeren 2014.
- Årsmiddel biomasserne af mikro-dyreplankton var fortsat lave i 2014.

Iltsvind

- Iltsvindet udviklede sig markant i 2014 i en række kystvande (inkl. fjorde) grundet en varm sommer med forholdsvis svage vinde. Iltsvindet i 2014 var desuden kendetegnet ved at starte meget tidligt og slutte sent.
- De tidligst registrerede iltsvind var sidst i maj (Limfjorden, Aabenraa Fjord, Lillebælt, Flensborg Fjord). Der var fortsat iltsvind en del steder ved iltsvindsrapporteringens afslutning midt i november, og der blev målt iltsvind i Lillebælt og Det Sydfynske Øhav i december.

- Det totale iltsvindsareal i september 2014 var på niveau med 2013, større end de tre forudgående år, men mindre end i årene op til 2010 (om end på niveau med 2007). Knap en tredjedel af iltsvindsarealet var påvirket af kraftigt iltsvind.
- Særlig berørte områder, hvad angår varighed og intensitet af iltsvind, var Limfjorden, Mariager Fjord, det sydlige Lillebælt og tilstødende fjorde samt Det Sydfynske Øhav. I alle disse områder blev der registreret frigivelse af svovlbrinte fra havbunden.
- Iltindholdet i bundvandet i fjorde og kystnære områder var i 2014 det lavest registrerede siden starten af 1980'erne (dog på niveau med 1995 og 2002).
- Iltindholdet i bundvandet i de åbne indre farvande har overordnet været faldende siden midten af 1960'erne, men der har dog været en svag tendens til en positiv udvikling siden 2003.

Bundplanter

- I perioden 1989-2014 har der ikke været en signifikant udvikling i ålegræssets maksimale dybdeudbredelse i nogen af farvandstyperne, mens hovedudbredelsen af ålegræs i inder- og yderfjorde samt Limfjorden er gået signifikant tilbage.
- I de seneste år (2008-2014) er der dog sket en positiv udvikling i hovedudbredelsen for ålegræs i samtlige farvandstyper, og for Limfjorden, yderfjorde og de åbne kyster har der også været en signifikant positiv udvikling i ålegræssets maksimale dybdeudbredelse. I Limfjorden er den maksimale dybdeudbredelse således forøget med 36 % og dybdegrænsen for hovedudbredelsen med 27 % siden 2008.
- For perioden 1989-2014 er der generelt en tendens til, at ålegræsset dækker en stadig mindre del af bunden langs de undersøgte transekter. Siden 2008 har der dog været en signifikant fremgang på 1-2 og 2-4 m's dybde i Limfjorden, samt på 2-4 m's dybde ved de åbne kyster.
- Den reducerede tilførsel af næringssalte ser ud til at have en begyndende positiv effekt på ålegræssets udbredelse. Det kan bl.a. hænge sammen med, at vandet i flere områder er blevet væsentligt klarere gennem de seneste år. Dog er ålegræsbestandene i mange områder reduceret så markant, at den positive udvikling i ålegræssets udbredelse er forsinket i forhold til reduktionen i næringssaltbelastningen.
- Udviklingen i ålegræssets udbredelse og dækningsgrader udviser svingninger gennem hele overvågningsperioden (1989-2014). Derfor bør de positive tendenser i de seneste år (2008-2014) stadig tolkes med varsomhed.
- Set over hele overvågningsperioden (1990-2014) har der været en signifikant positiv udviklingstendens i makroalgernes gennemsnitlige totale dækningsgrad i inderfjorde, yderfjorde, kystområder og på stenrev, mens udviklingen i Limfjorden har været signifikant negativ. Tilsvarende har der været en signifikant positiv udvikling i de kumulerede dækningsgrader i fjorde og åbne kystområder bortset fra i Limfjorden, hvor udviklingen også for denne indikator har været negativ.
- Den totale algedækning på de undersøgte stenrev i Kattegat var generelt god i 2014, hvilket er i overensstemmelse med den forøgede sigtdybde i de åbne indre danske farvande i forårshalvåret 2014.

Bunddyr

- De fleste områder, der blev undersøgt i 2014 (overvejende habitatområder), har ikke tidligere været undersøgt, og det er derfor ikke muligt at beskrive den tidlige udvikling i disse områder.

- Der var ikke nogen tydelig korrelation mellem artsrigdom og saltholdighed mellem prøvetagningsområderne.
- På Store Middelgrund (område 169) i det centrale Kattegat var der en stærk lineær korrelation mellem artsrigdom og dybde/saltholdighed, og der blev observeret den hidtil højeste biodiversitet i et bundfaunasamfund i dansk farvand inden for de seneste 30 års overvågning.

Sæler og marsvin

- Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark og har haft en bestandsfremgang fra ca. 2.000 dyr i 1976 til ca. 16.000 dyr i 2014 hovedsageligt som følge af jagtfredningen i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater med adgangsforbud.
- Spættet sæl er opdelt i fire populationer: Vadehavet, Kattegat, den vestlige Østersø og Limfjorden med vækstrater siden epidemien i 2002 for de første tre på henholdsvis 10 %, 7 % og 13 %. I Limfjorden er der store fluktuationer, der tyder på ind- og udvandring til og fra området, eller at området har nået sin bæreevne.
- Gråsælen har vist fremgang i de seneste 10 år, og i 2014 blev der registreret op til 38 individer i Kattegat, op til 79 i Vadehavet og 263 i den danske del af Østersøen.
- Omkring fem gråsæler fødes nu hvert år i Danmark efter ca. hundrede års pause.
- I den sydlige Nordsø observeredes i alt 132 marsvin heraf 10 kalve. Den gennemsnitlige tæthed for hele området var 0,16 marsvin/km, hvilket er sammenligneligt med niveauerne fra 2011 og 2012 og noget højere end 2013. Der observeredes ingen marsvin i N2000-området 'Vadehavet'.
- Overvågning i Storebælt, Kalundborg Fjord, Lillebælt, Flensborg Fjord, Femern Bælt og nordlige Øresund viste, at marsvin var til stede i alle områder, men at tætheden varierede over året.

Miljøfarlige stoffer og biologiske effekter

- Kviksølv (Hg) og andre tungmetaller, organotin (TBT), tjærestoffer (PAH), bromerede flammehæmmere (for PBDE, men ikke for HCBDD) og PCB (se nedenfor) blev i 2014 målt i koncentrationer over EU's miljøkvalitetskrav (dvs. EQS-værdier) eller andre sammenlignelige internationale miljøvurderingskriterier (dvs. OSPARs EAC- eller ERL-værdier). For disse stoffer er der en risiko for, at de kan have uønskede effekter i vandmiljøet og dermed have betydning for, om lokale danske vandområder kan opnå god økologisk tilstand. For andre stofgrupper som dioxiner, PFAS og klorerede pesticider blev der ikke fundet overskridelser af de anvendte miljøvurderingskriterier, selvom der lokalt var forhøjede niveauer.
- Hg: I 20 % af muslingerne og for alle fisk var niveauet over EQS-værdien.
- Andre tungmetaller: I sediment var indholdet af tungmetallerne Cd, Pb, Cu, Zn, Cr og Zn højere end OSPARs ERL-værdier i 8-36 % af de analyserede prøver.
- TBT: Trods forbuddet mod TBT i skibsmaling målt der stadig koncentrationer over detektionsgrænsen både i prøver fra sediment (25 %), muslinger (75 %) og fisk (70 %). For sediment var 25 % af prøverne over det svenske miljøkvalitetskrav svarende til EQS for sediment, mens for muslinger var 65 % af prøverne over EAC.
- PAH: Muslinger var over EU's EQS-værdi for benzo(b,k)fluoranthren i 6 % af prøverne, men ikke for andre PAH'er. For sediment, forekom der overskridelser af OSPARs ERL-værdier for antracen (3 % af prøverne), indeno(1,2,3-cd)pyren (3 %) og benzo(ghi)perylen (32 %).

- PCB: Indholdet af PCB-congeneren CB118 i fisk lå over OSPARs EAC-værdi i næsten alle prøver, hvilket indikerer, at PCB stadigvæk er et problem i de danske farvande, selv mange år efter at brugen af stoffet er stoppet.
- PBDE: Indholdet af PBDE i fisk overskred med 3-17 gange EU's EQS-værdi i samtlige undersøgte prøver.
- Biologiske effekter: Ålekvabbe udviste betydelige forskelle i påvirkningsgrad mellem forskellige områder, både mht. forekomst af fejludviklede unger, CYP1A-enzymaktivitet og PAH-metabolitter i galde. Der blev fundet en sammenhæng mellem CYP1A-aktivitet og belastningen med PAH og PCB, men ikke mellem fejludviklede unger og de målte miljøfarlige stoffer (måske på nær Hg).

Summary

In 2014, the positive development from previous years was maintained in spite of increased run-off and thus increased nutrients from land at the beginning of the year as well as unusually high temperatures and generally light breezes during the summer. These conditions intensified the stratification of the water column and stimulated the development of oxygen depletion in the bottom water. Despite the relatively large run-off at the beginning of the year, the nutrient concentrations were very low, and in some cases the lowest since 1989.

The growth (primary production) and the amount (chlorophyll) of phytoplankton were at a low level, and the water clarity was relatively high – the conditions of the water bodies were, however, slightly worse than in 2013.

The generally positive development of eelgrass in recent years was maintained or improved in most areas in 2014, and in the coastal areas and on the stone reefs the depth distribution of macro algae had increased significantly compared to previous years.

The development of oxygen depletion in the open waters was modest despite the unfavourable weather conditions, but the oxygen depletion in fjords and coastal areas began earlier, ended later and was more intensive than in recent years.

The populations of harbour seal and grey seal were considerably larger than just a few years ago.

In spite of the improved state of the environment, the Danish waters are still very vulnerable to stress and still far away from the objective of good environmental status. In addition to the load of nutrients (eutrophication), the environmental state is also affected by many other conditions such as environmentally hazardous substances, fishery and climate change.

The concentrations of most of the hazardous substances were at the same levels, or lower, as in previous years, but especially the concentrations of mercury, TBT, PCB and one tar compound (PAH) were so high at several locations that adverse biological effects might occur.

In summary, the data from the national monitoring programme show that the effort made to secure an improved marine environment has succeeded, even though the response of the marine environment to reduced stress is very complex and takes a long time.

1 Indledning

Jens Würgler Hansen & Cordula Göke

De voldsomme iltsvind i 1980'erne, specielt i 1981 og 1986, førte til, at Folketinget i foråret 1987 vedtog Vandmiljøplan I. Formålet med planen var at rette op på vandmiljøet i Danmark ved samlet at reducere udledningerne af kvælstof og fosfor fra landbrug, renseanlæg og industri med hhv. 50 % og 80 %. Reduktionsmålene fra Vandmiljøplan I blev fastholdt i Vandmiljøplan II fra 1998. Med Vandmiljøplan III fra 2004 kom der ekstra fokus på landbrugets tab af fosfor med krav om en halvering af fosforoverskuddet fra markerne inden 2015 kombineret med en yderligere reduktion af kvælstofudvaskningen på mindst 13 % ligeledes inden 2015. Efterfølgende blev der lavet en politisk aftale 'Grøn Vækst' om supplerende tiltag – herunder etablering af randzoner langs vandløb. Indsatsen til forbedring af havmiljøet er siden beskrevet i vandplaner (2009-2015) og nu i de vandområdeplaner (2015-2021), som har været i høring indtil 23. juni og skal være vedtaget senest 22. december 2015.

Folketinget vedtog i 1987, at der skulle etableres et landsdækkende overvågningsprogram for en række fysiske, kemiske og biologiske variable (indikatorer) for at kunne følge effekterne af Vandmiljøplan I. Indikatorerne skulle være nogle, der i særlig grad påvirkes af vandmiljøets eutrofieringsgrad, dvs. mængden af kvælstof og fosfor i vandmiljøet. Det første overvågningsprogram blev gennemført i årene 1988-1997 med en mindre revision i 1993 (*Miljøstyrelsen 1989, 1993*). Resultaterne herfra viste, at de variable, man havde valgt i overvågningsprogrammet, generelt var gode til at beskrive effekter af kvælstof og fosfor for vandmiljøets kvalitet og dermed også anvendelige til at dokumentere forbedringer som følge af Vandmiljøplan I.

Indholdet af vandmiljøplanens overvågningsprogram blev i hovedtræk videreført i det reviderede program, NOVA-2003 (*Miljøstyrelsen 2000*), som blev udført fra 1998 til 2003. Dog blev det tidligere program udvidet med overvågning af miljøfarlige stoffers forekomst, effekter og skæbne i vandmiljøet. Målehyppigheden blev også intensiveret på bl.a. en række kystnære stationer i de åbne farvande i de marine områder, og selvregistrerende målebøjer og modelberegninger blev inddraget i programmet. Den 1. januar 2004 blev det reviderede Nationale Program for Overvågning af Vandmiljøet og Naturen, NOVANA (*Svendsen m.fl. 2004*), iværksat med biodiversitet og naturtyper som nye elementer i overvågningsprogrammet. Det efterfølgende overvågningsprogram, NOVANA 2011-2015, er tilpasset implementeringen af vandramme- og natura 2000-direktiverne. Det betyder bl.a., at den geografiske dækning er øget på bekostning af prøvetagningsfrekvens og tidsserier. I 2014 ophørte overvågningen af biologiske effekter af miljøfarlige stoffer.

Formålet med overvågningen

NOVANA-programmets overordnede formål på det marine område er at følge udviklingen, tilstanden og påvirkningerne af vandmiljøet.

Overvågningen gennemføres i forhold til behovene ud fra følgende kriterier i prioriteret rækkefølge:

- Opfyldelse af Danmarks forpligtigelser i henhold til EU-lovgivning og national lovgivning om overvågning af natur, vandmiljø og luftkvalitet.

- Dokumentation af effekt og målopfyldelse af nationale handleplaner for vandmiljø og natur, herunder vand- og naturplaner efter Miljømålsloven, tiltag på landbrugsområdet samt det landsdækkende luftkvalitetsmåleprogram.
- Opfyldelse af Danmarks forpligtigelser i henhold til internationale konventioner om natur og miljø.

I forlængelse af de overordnede formål skal overvågningen levere datagrundlaget til at:

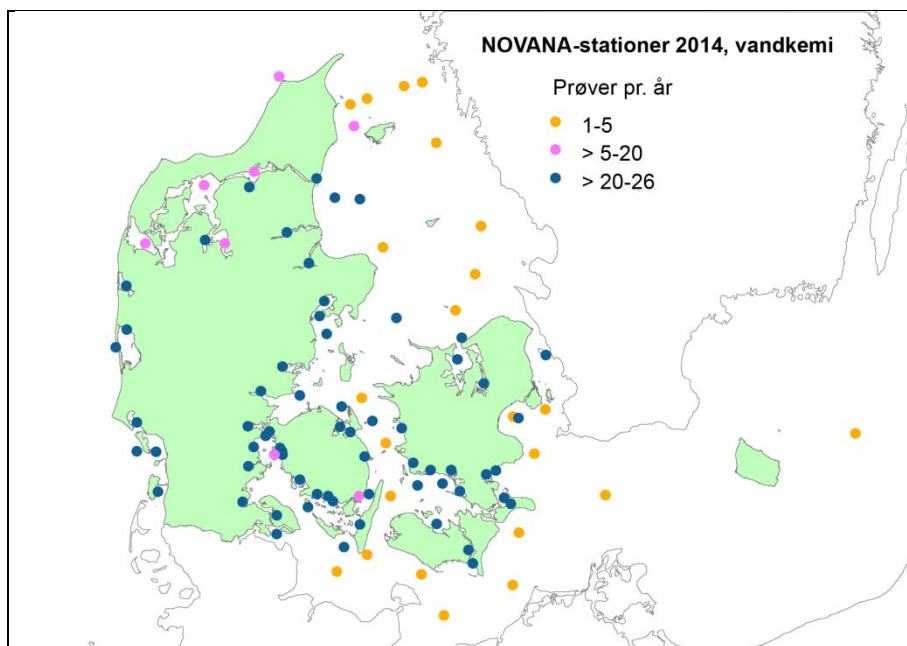
- beskrive den kvantitative udvikling i en række væsentlige fysiske, kemiske og biologiske variable, som bl.a. omfatter blomsterplanter, plankton, makroalger, bundfauna, vandkemi og miljøfarlige stoffer.
- belyse kvantitative sammenhænge mellem næringssalttilførsel og biologiske effekter og redegøre for betydningen af variationer i klima og biologisk struktur.
- give aktuel information om iltsvind.
- vurdere langsigtede ændringer pga. menneskelige aktiviteter, herunder ændret klima og habitatkvalitet.
- etablere kvantitative sammenhænge mellem udledninger og koncentrationer af udvalgte miljøfarlige stoffer i sedimenter og biota i udvalgte områder af kystvandene.

Områder og prøvetagningsprogram

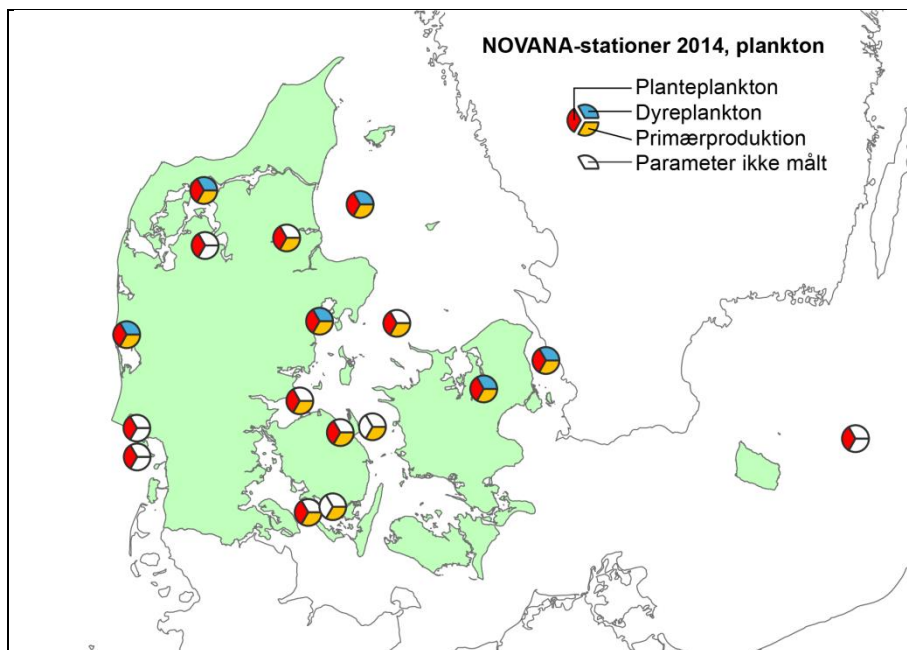
Intensiteten af den nationale overvågning af det marine miljø varierer mellem områderne. Således er tætheden af målestationer samt i nogle tilfælde målefrekvensen og antallet af parametre større i de kystnære områder end i de åbne farvande.

I de forskellige områder og på de forskellige stationstyper er der fokus på følgende tre overordnede elementer: 1) fysiske og kemiske forhold i vandsøjlen, 2) biologiske forhold i vandsøjlen og 3) kemiske og biologiske forhold på bunden. *Figur 1.1-1.7* viser placeringen af NOVANA-stationerne, hvor de forskellige typer målinger er foretaget, som danner grundlaget for denne rapport. I rapporten omtales også overvågning af havpattedyrene spættet sæl, gråsæl og marsvin, og den geografiske fordeling af denne overvågning er beskrevet i kapitlet om havpattedyr.

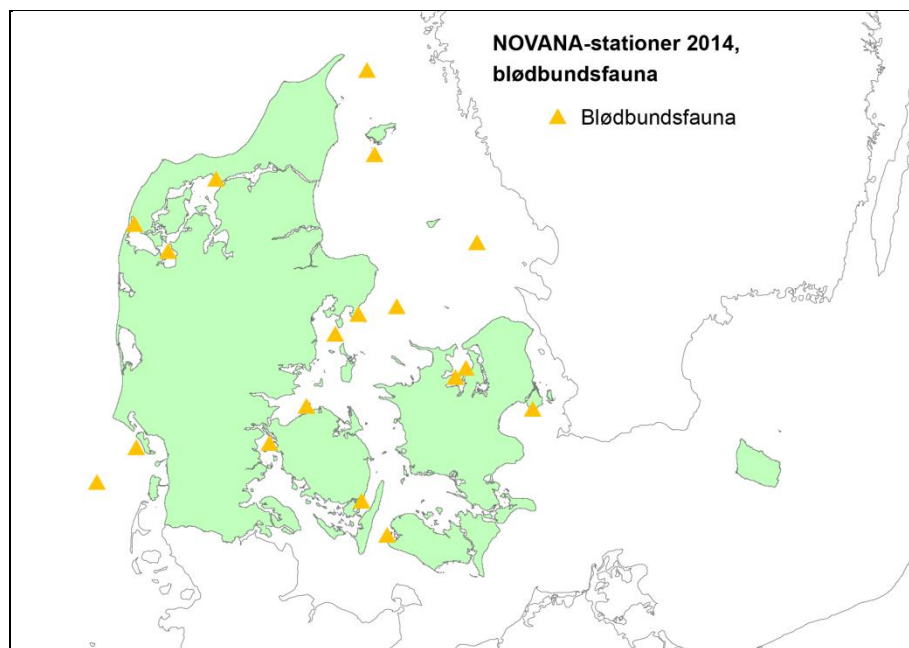
Figur 1.1. Prøvetagningsstationer for vandkemi-, saltholdigheds-, temperatur-, sigtdybde-, klorofyl- og fluorescensmålinger i 2014. Overvågningen af stationen ved Bornholm fordeles i et samarbejde med nabolandene (Tyskland, Sverige og Polen).



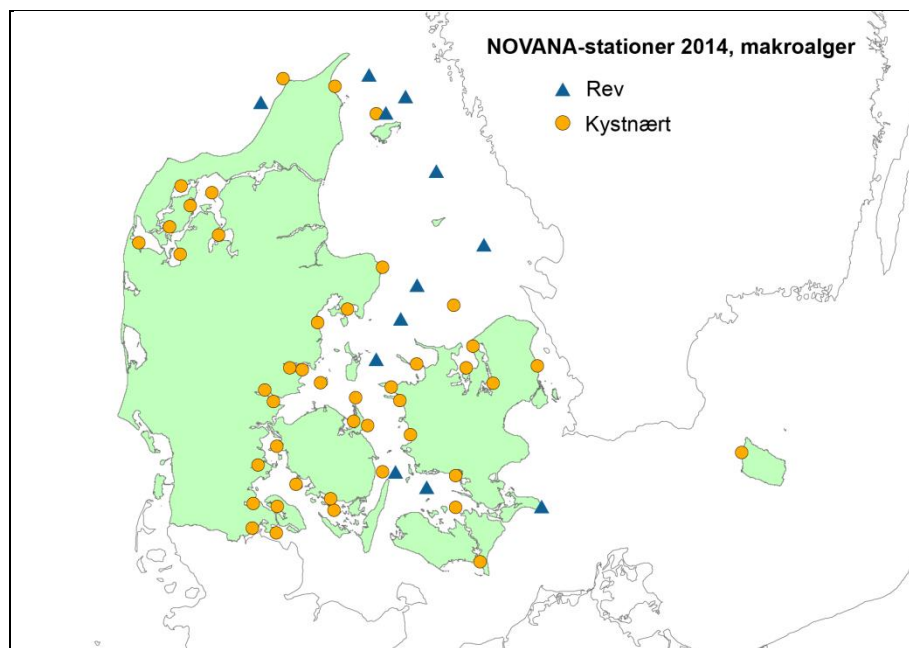
Figur 1.2. Prøvetagningsstationer for dyreplankton, planteplankton og primærproduktion i 2014.



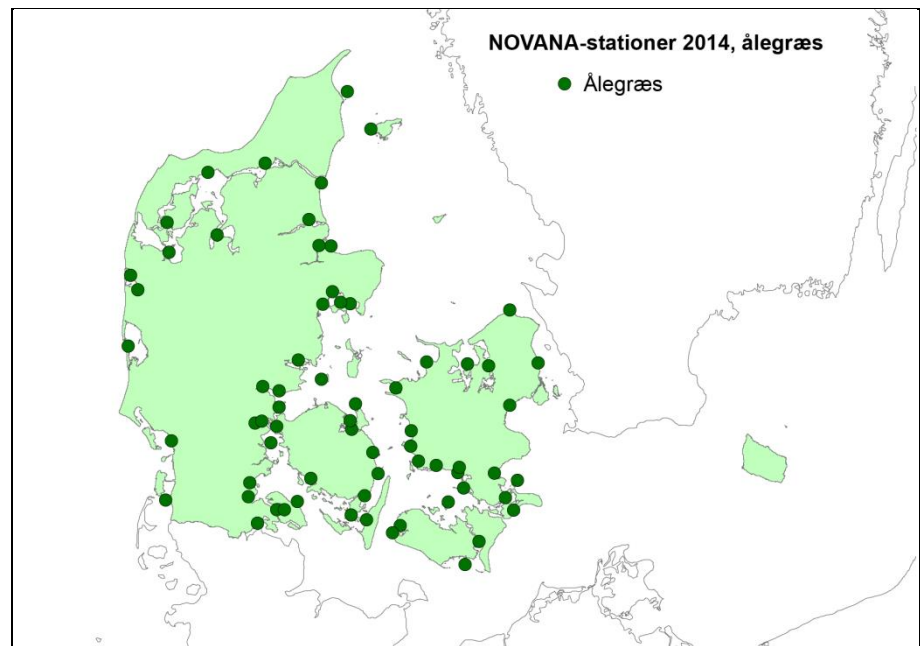
Figur 1.3. Prøvetagningsstationer til undersøgelse af bundfauna i 2014.



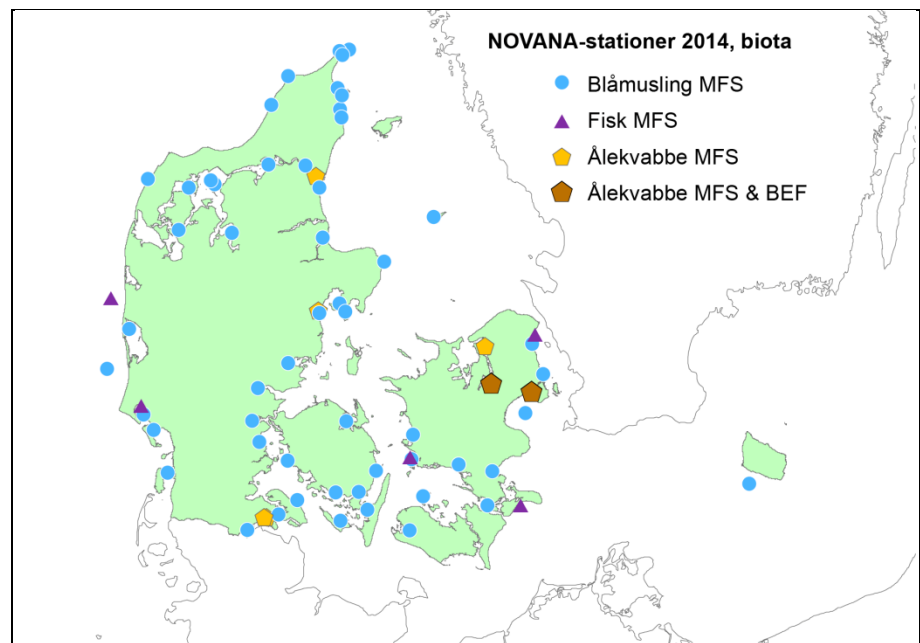
Figur 1.4. Prøvetagningsstationer til undersøgelse af makroalger kystnært og på stenrev i 2014.



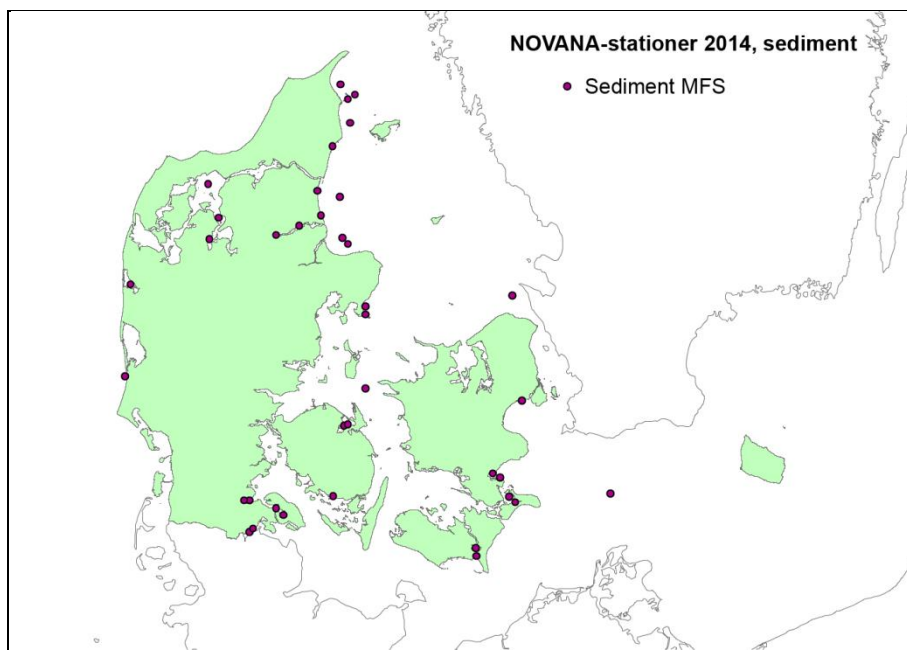
Figur 1.5. Prøvetagningsstationer til undersøgelse af ålegræs i 2014.



Figur 1.6. Prøvetagningsstationer til undersøgelse af miljøfarlige stoffer (MFS) i biota i 2014. BEF = biologiske effekter.



Figur 1.7. Prøvetagningsstationer til undersøgelse af miljøfarlige stoffer (MFS) i sedimenter i 2014.



Del 1 – Påvirkninger af de danske farvande

Jens Würgler Hansen

Miljø- og naturforholdene i de danske farvande er reguleret af de fysiske betingelser og af de menneskeskabte påvirkninger.

De fysiske forhold som vanddybde og bundstruktur er generelt stabile sammenlignet med de betydelige år til år variationer i andre fysiske forhold som ferskvandstilførsel, vandudveksling, strømforhold, saltholdighed, temperatur og lagdeling.

Effekterne af de menneskeskabte påvirkninger varierer i omfang fra år til år og fra område til område dels pga. geografisk og tidslig variation i omfanget og karakteren af de menneskelige aktiviteter, og dels fordi effekten af tab af næringssalte og miljøfarlige stoffer til vandmiljøet afhænger af klimatiske forhold som nedbør, vind og temperatur. Udledning af næringssalte og miljøfarlige stoffer belaster miljøet, men også fiskeri, klapning af opgravet materiale, skibsfart, offshore industri, anlæg på søterritoriet, rekreative aktiviteter og indførsel af fremmede arter påvirker miljøforholdene.

Tilførslen af næringssalte har stor indflydelse på miljø- og naturkvaliteten i farvandene. Udledning af store mængder næringssalte (eutrofiering) i vandmiljøet medfører en stor produktion af planteplankton, som gør vandet uklart. Mindre lys når derfor ned til bunden, hvorfor ålegræs og andre blomsterplanter samt makroalger ikke kan vokse til så stor dybde som tidligere. Når planteplanktonet dør, synker det ned på bunden, hvor bakterier bruger ilt til at nedbryde planktonet. Hvis vandsøjlen er lagdelt, og der ikke tilføres tilstrækkeligt med ny ilt til bundvandet, kan der opstå iltvind, så bunddyr og bundplanter dør og fisk flygter. Eutrofiering kan også øge risikoen for opblomstring af giftigt planteplankton, der kan misfarve vandet, danne skum og producere toksiner, som kan dræbe bunddyr og fisk og medføre skaldyrsgiftning af fugle, sæler og mennesker. Eutrofiering fremmer ligeledes væksten af hurtigvoksende makroalger som søsalat og fedtemøg. Makroalgerne skygger for ålegræsset og andre blomsterplanter og udøver fysisk stress på især blomsterplanternes spirer, når algerne skurer hen over bunden som følge af kraftig vind og strøm. Desuden kan der ske opskyl af alger i store mængder, hvilket forringer strandenes rekreative værdi. Reduceret udbredelse af ålegræsenge og tangskove samt færre bunddyr giver dårligere betingelser for opvækst af fisk. Eutrofiering påvirker således struktur og funktion af økosystemets komponenter (plankton, bundplanter, bunddyr og fisk), hvilket ofte resulterer i en lavere biodiversitet og et mere sårbart miljø.

Siden sidst i 1980'erne er der sket en markant reduktion i tilførslen af næringssalte til vandmiljøet (oligotrofiering). Først førte en forbedring af rensningen af spildevand fra byer og industri til et relativt hurtigt og stort fald i belastningen med fosfor. Siden midten af 1990'erne har der været et stabilt fald i belastningen med kvælstof hovedsageligt som følge af en række tiltag inden for landbruget. Oligotrofiering har bevirket, at koncentrationen af fosfor og kvælstof i havmiljøet er mindsket betydeligt. Det har ført til forbedringer for nogle parametre, mens andre parametre ikke har responderet særlig tydeligt endnu. Oligotrofiering er langt dårligere beskrevet en eutrofiering, da det er en relativ ny proces. Men den tilgængelige viden viser, at oligotrofiering er en kompliceret proces, hvis forløb afhænger af en lang

række andre forhold end næringssaltkoncentrationer, fx hvor meget havbundens struktur har ændret sig i forbindelse med eutrofieringen. For en del af parametrene er der en tidsforsinkelse mellem den mindskede belastning og responset, bl.a. fordi fx de strukturelle forhold har ændret sig. Desuden er det ikke sikkert, at tilstanden vender helt tilbage til tidligere tider, da systemet kan stabilisere sig i en ny tilstand.

Overfiskeri er en anden væsentlig presfaktor på marine økosystemer. Fisk og skaldyr fjernes fra økosystemer, hvilket fører til ændringer i produktion og energitransport mellem fødekæder, og fiskeri med bundtrawl medfører yderligere en fysisk forstyrrelse af havbunden. Fiskeri kan også påvirke systemers følsomhed over for andre presfaktorer som iltsvind, forurening og sygdomsudbrud.

Tilførsler af miljøfarlige stoffer har også indflydelse på økosystemets struktur og funktion. Nogle af disse stoffer påvirker følsomme organismers reproduktion, vækst og adfærd og dermed deres overlevelsessevne. I et antal kystnære områder og åbne farvande forekommer forhøjede niveauer af en række metaller og organiske forbindelser, som kan udgøre en potentiel risiko for økosystemet.

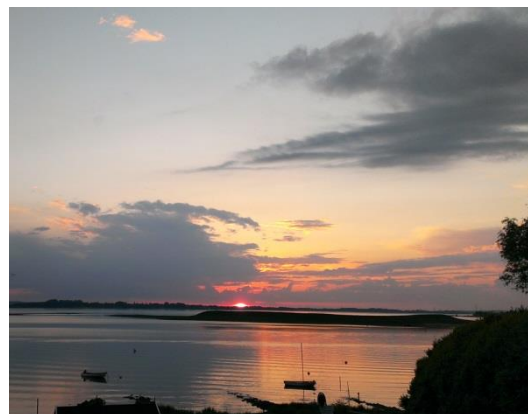
Klimaforandringer er endnu en faktor, som har indflydelse på økosystemerne. Klimaforandringer har en direkte effekt fx gennem stigende temperatur og øget vandstand, men kan også virke indirekte ved at gøre miljøet mere sårbart over for andre presfaktorer såsom iltsvind. Samspillet mellem de direkte og de indirekte effekter af klimaforandringer fører til forandringer, som bringer forstyrrelser i de naturlige forhold og som bl.a. kan påvirke fødekæderne.

De mange forskellige påvirkninger indgår i en cocktail, hvis samlede effekt er svær at forudsige, lige som det er vanskeligt at adskille effekten af den ene påvirkning fra den anden. Det komplicerer fortolkningen af udviklingen i økosystemerne og gør det vanskeligere at forudsige responsen som følge af en øget såvel som af en reduceret påvirkning.

2 Klimatiske forhold

Jacob Carstensen

Miljøtilstanden i de marine områder er kraftigt påvirket af de klimatiske forhold. Temperaturen påvirker de biologiske processer foruden lagdeling af vandsøjlen og opløseligheden af ilt i vandet. Vinden påvirker både den vertikale opblanding af vand i overfladen og den horisontale advektive transport. Nedbør og afstrømning har betydning for den mængde næringsalte, som udvaskes fra landjorden. Der er store år til år variationer i de klimatiske forhold, som bidrager til at forklare udviklingen i den marine miljøtilstand.



Solnedgang over Roskilde Fjord set fra Klinten i Jyllinge. Foto: Jacob Carstensen.

Metoder og datagrundlag

De klimatiske forhold i Danmark i 2014 beskrives med arealvægtede gennemsnit af temperatur, nedbør og vind for Jylland og øerne fra Danmarks Meteorologiske Instituts klimarapport for 2014 (Cappelen 2015), afstrømningsdata sammensat af opgørelser fra Hedeselskabet (1942-1989) og DCE (1990-2014), samt middel vandtemperaturer beregnet ud fra de nationale overvågningsdata. Disse værdier er sammenholdt med normalperioden 1961-1990 (anvist af World Meteorological Association). Derudover er der anvendt data for vind og global indstråling målt ved Sprogø (1977-1997) og Risø (1995-2014) (Institut for Vindenergi, DTU), H.C. Ørsted Institutet i København (1993-2014) og Højbakkegård ved Høje Taastrup (1974-2000). De meteorologiske tidsserier er sat sammen ved interkalibrering af overlappende perioder. Temperaturen repræsenterer hele vandsøjlen for fjorde og kystnære områder, hvorimod den er opdelt i overflade (≤ 10 m) og bundvand (≥ 20 m) for de åbne farvande.

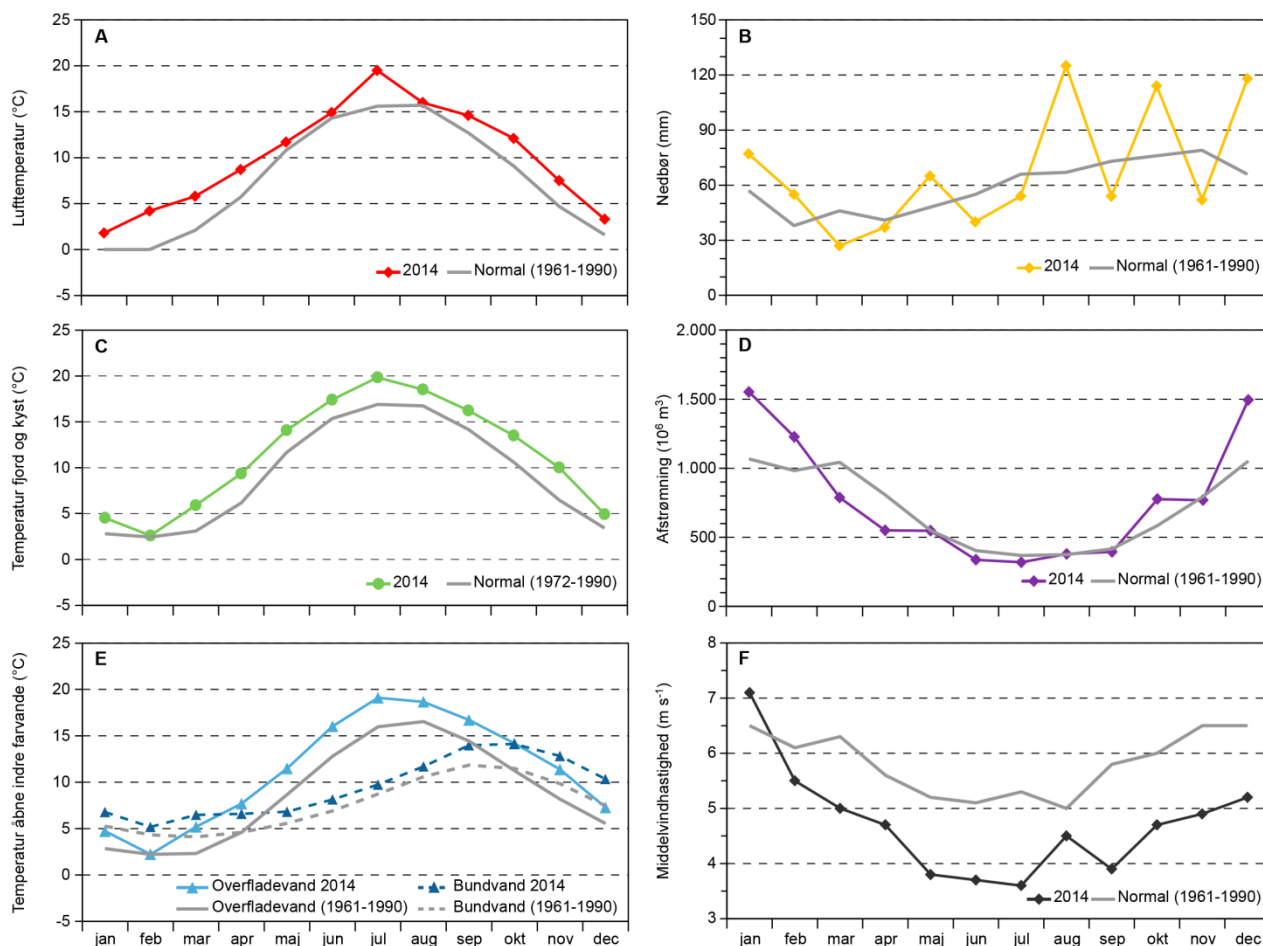
Sæsonvariation i 2014

Vinter (januar - februar)

Vinteren 2014 var meget varm med en lufttemperatur ca. 3°C over normalperioden (figur 2.1), og specielt februar var meget varm (sjette varmeste siden 1874). I januar var vejret mere vekslende mellem milde temperaturer i den første halvdel, og sne og frost i den anden halvdel af måneden. Efter fem relativt kolde vintre (2009-2013) var lufttemperaturen i 2014 på niveau med de milde vintre 2007 og 2008. Januar var meget solfattig (17 mod normalt 43 solskinstimer), hvorimod solen skinnede som normalt i februar. Nedbøren var næsten 40 % højere end normalt i både januar og februar, hvilket resulterede i 36 % højere afstrømning i vinterperioden. Middelvinden var som i normalperioden, men kom hovedsageligt fra sydøstlige (i januar) og sydlige (i februar) retninger (figur 2.2), hvilket var mere usædvanligt.

I januar var temperaturen i overfladevandet $4,5^{\circ}\text{C}$ i fjorde og kystnære områder og $4,7^{\circ}\text{C}$ for de åbne indre farvande, hvilket er $1,8^{\circ}\text{C}$ varmere end

normalen (figur 2.1). I februar faldt overfladevandets temperatur til 2,6 °C og 2,2 °C, hvilket formentlig skyldes udstrømning af koldere og ferskere overfladevand fra Østersøen, som følge af de dominerende vindretninger (figur 2.2). Denne fortolkning understøttes af, at saltholdigheden i overfladevandet i fjorde og kystnære områder og åbne indre farvande faldt i februar (data ikke vist). Temperaturen i bundvandet i de åbne indre farvande var omkring 1 °C varmere end normalt for vinterperioden.



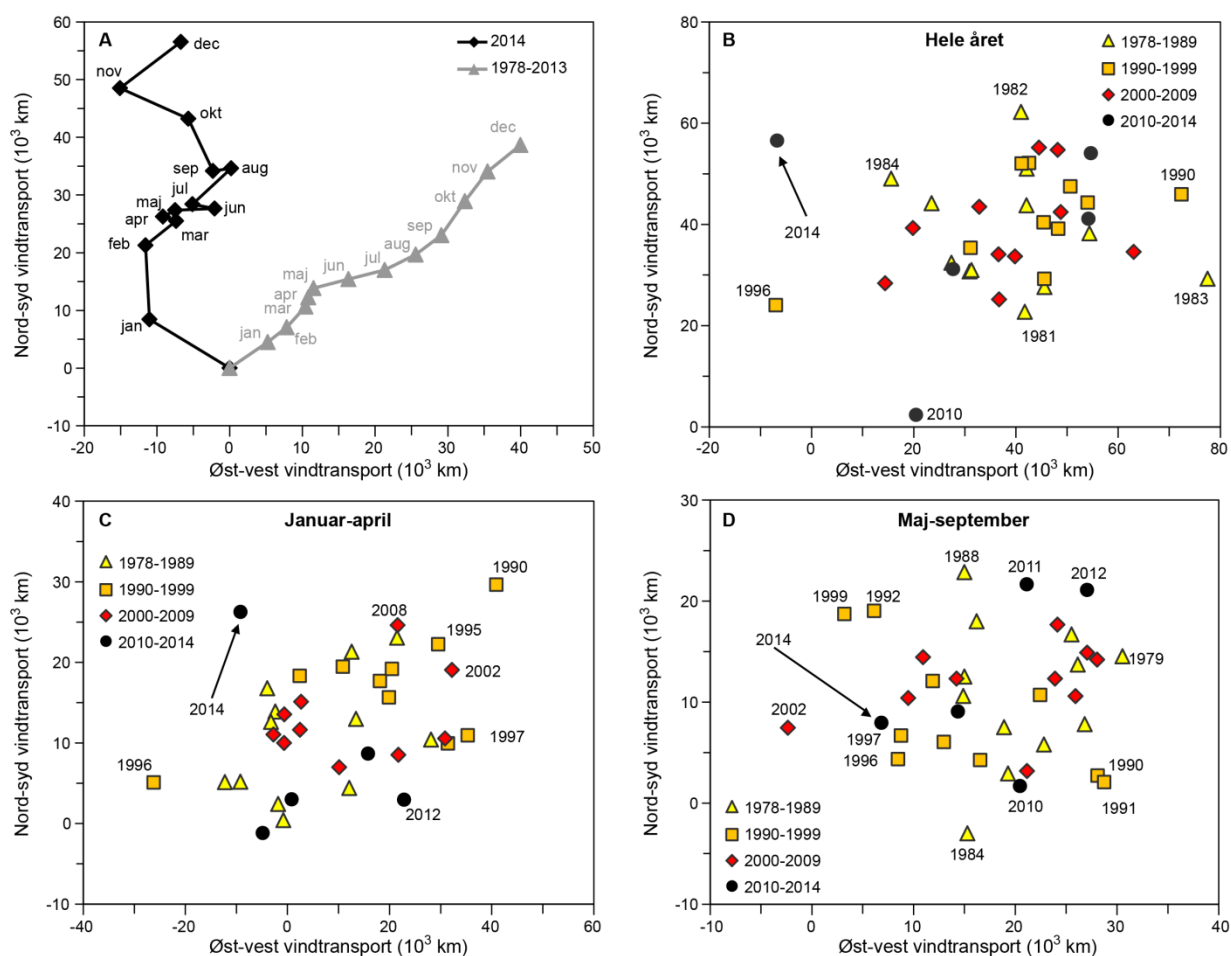
Figur 2.1. Årsvariation i 2014 sammenholdt med normalperioden (1961-1990) for A) lufttemperatur, B) nedbør, C) vandtemperatur for fjord- og kystnære stationer, D) afstrømning, E) vandtemperatur for overflade- og bundvand for stationer i de åbne indre farvande og F) middelvindhastighed. Datakilder: DMI (A, B og F); DCE og Naturstyrelsen (C-E).

Forår (marts - maj)

De varme tendenser fra vinteren fortsatte i forårmånederne, hvor lufttemperaturen som gennemsnit var 2,5 °C varmere end normalt (figur 2.1), og foråret blev det næstvarmeste siden 1874. Specielt marts og april var varmere end normalperioden, hvorimod maj kun var 1 °C over normalen. Foråret var meget solrigt med 151, 198 og 216 solskinstimer i de tre måneder mod normalt 110, 162 og 209 timer. Nedbøren var på niveau med normalperioden med lidt mindre regn i marts og april og lidt mere i maj. Selvom nedbøren kun var 4 % under normalen, blev afstrømningen noget lavere (21 % under normalen). Vinden var generelt svag (4,5 m s⁻¹ i 2014 mod 5,7 m s⁻¹ i normalperioden) og kom hovedsageligt fra det sydvestlige hjørne (figur 2.2). Der blev registreret en storm i midten af marts.

Overfladevandet var ligeledes varmere end normalt igennem forårets tre måneder (2,8 °C og 2,9 °C over normalperioden for henholdsvis fjorde og kystnære

områder og åbne indre farvande). Temperaturen i bundvandet i de åbne indre farvande var også højere i alle forårmånederne – 1,9 °C over normalen.



Figur 2.2. Retningsbestemt vindtransport beregnet som vektorsummen af øst-vest og nord-syd hastighedskomponenten. A) Årsvariation i 2014 måned for måned sammenholdt med tidligere år, B) årlig vindtransport, C) vindtransport fra januar til og med april og D) vindtransport fra maj til og med september. En stor vindtransport fra sydvest medfører generelt en større vandtransport gennem de indre danske farvande, hvilket kan bevirke en større påvirkning af Den jyske Kyststrøm i vintermånedene (jan.-apr.) og en større fornyelse af ilten i bundvandet (maj-sep.). Datakilder: Sund og Bælt Holding, DTU Vindenergi, H.C. Ørsted Institutet.

Sommer (juni - august)

Sommeren 2014 var karakteriseret ved en usædvanlig varm juli måned, hvor døgnmidlen for lufttemperaturen nåede 19,5 °C, hvilket næsten er 4 °C over normalen og den næstvarmeste siden 1874. Temperaturen i juni og august var derimod kun lidt over normalen (omkring 0,5 °C varmere), og august 2014 var køligere end i perioden 2001-2010. Juni og juli bød på masser af sol (547 solskinstimer mod normalt 405 timer), hvorimod solmængden var normal i august. Juni og juli var ligeledes tørre med kun 94 mm mod normalt 121 mm. Derimod blev august våd med næsten dobbelt så meget nedbør som normalt, og enkelte dage kom regnen i form af skybrud. Middelvinden var lav i sommeren 2014 med et gennemsnit på 3,9 m s⁻¹ mod 5,1 m s⁻¹ i normalperioden. August var dog lidt mere blæsende end juni og juli, men stadig under normalperioden.

Det varme sommervejr påvirkede også havtemperaturerne. I fjorde og kystnære områder var vandet 2,3 °C varmere end normalt, overfladevandet i de åbne farvande var 2,8 °C varmere end normalt, og bundvandet i de åbne

farvande var 1,1 °C varmere end normalt (*figur 2.1*). Den kraftige opvarmning af overfladevandet, svage vindforhold og generelt højere saltholdighed i bundvandet end normalt har formentlig styrket lagdelingen og dermed reduceret blandingen af vandmasser over springlaget. Derfor var opvarmningen i bundvandet langsommere end normalt, og temperaturen i bundvandet i sommeren 2014 lå tættere på normalen end i de foregående måneder.

Efterår (september - december)

De varme tendenser fortsatte i efterårsmånederne, hvor lufttemperaturen var ca. 2,4 °C over normalen (*figur 2.1*). Specielt oktober og november var noget varmere end normalen (ca. 3 °C højere). September var forholdsvis solrig (171 solskinstimer mod normalt 128 timer), hvorimod antallet af solskinstimer for de andre efterårsmåneder var lidt under normalen. Nedbørsmængden varierede kraftigt henover efteråret med en tør september, våd oktober, tør november og våd december. Der faldt ca. dobbelt så meget regn i de våde måneder som i de tørre. Samlet set regnede det ca. 15 % mere i efteråret 2014 sammenholdt med normalen, og en del regn faldt som skybrud. Vinden var generelt svag igennem hele efterårsperioden med en middel vindhastighed på 4,7 m s⁻¹ i 2014 mod 6,2 m s⁻¹ i normalen. Vinden kom for det meste fra sydøstlige retninger (september-november), i modsætning til det normale mønster med strømninger fra sydvest. To kraftige blæsevejr ramte Danmark i midten af december. Skiftet fra sydøstlige vinde til kraftigt blæsevejr fra sydvest i december gav anledning til en rekordstor indstrømning af saltvand til Østersøen.

Havtemperaturen i overfladen fortsatte med at være høj i efteråret 2014. Overfladevandet i fjorde og kystnære områder såvel som i de åbne indre farvande var 2,5 °C over normalen (*figur 2.1*). Bundvandstemperaturen var ligeledes usædvanlig varm med 2,7 °C over normalen. Faktisk fortsatte temperaturen i bundvandet med at stige helt frem til oktober, hvor temperaturen normalt vender i september. Bundvandet havde en relativt højere saltholdighed i efterårsmånederne, hvilket indikerer en kraftigere transport af vandmasser fra Skagerrak ind i de indre danske farvande.

Året som helhed

Året 2014 var rekordvarmt med en gennemsnitlig lufttemperatur på 10,0 °C, hvilket er 2,3 °C over normalen og 1,2 °C varmere end i perioden 2001-2010. Lufttemperaturen var højere end normalen i alle årets måneder, og februar og juli var omkring 4 °C varmere end normalt. Maj, juni og august var derimod kun lidt varmere end normalen.

Antallet af solskinstimer var 16 % over normalen i overensstemmelse med tendensen til stigende indstråling siden 1980. Derimod var indstrålingen i 2014 på niveau med perioden efter 2001.

I 2014 faldt der 818 mm regn, hvilket er 15 % over normalen og 6 % højere end gennemsnittet for 2001-2010. Som i de senere år var vinden generelt lav henover året, og kun januar var mere blæsende end normalen. Vinde fra sydlige retninger dominerede i 2014, specielt i vinter og efterårsmånederne. Der var kun én storm og to kraftige blæsevejr henholdsvis i marts og december.

Havtemperaturen i fjorde og kystnære områder såvel som i overfladevandet og bundvandet i de åbne indre farvande var konsekvent højere end normalen for alle 12 måneder. Årsmidlen for havtemperaturen oversteg normalen

med 2,3 °C i fjorde og kystnære områder, med 2,4 °C i overfladevandet i de åbne indre farvande og med 1,8 °C i bundvandet. Desuden var temperaturen i fjorde og kystnære områder og i overfladevandet i de åbne indre farvande henholdsvis 0,5 °C og 1,0 °C varmere end det hidtil varmeste år (2008). Det relativt kolde bundvand i de åbne indre farvande i sommermånederne (kun 1,1 °C over normalen) og den lave vindhastighed kunne tyde på en mindre blanding mellem overfladevand og bundvand foruden en mindre advektiv transport i bundvandet. Derimod har den tiltagende vind fra sydlige retninger i efterårsmånederne formentlig øget den advektive transport i bundvandet.

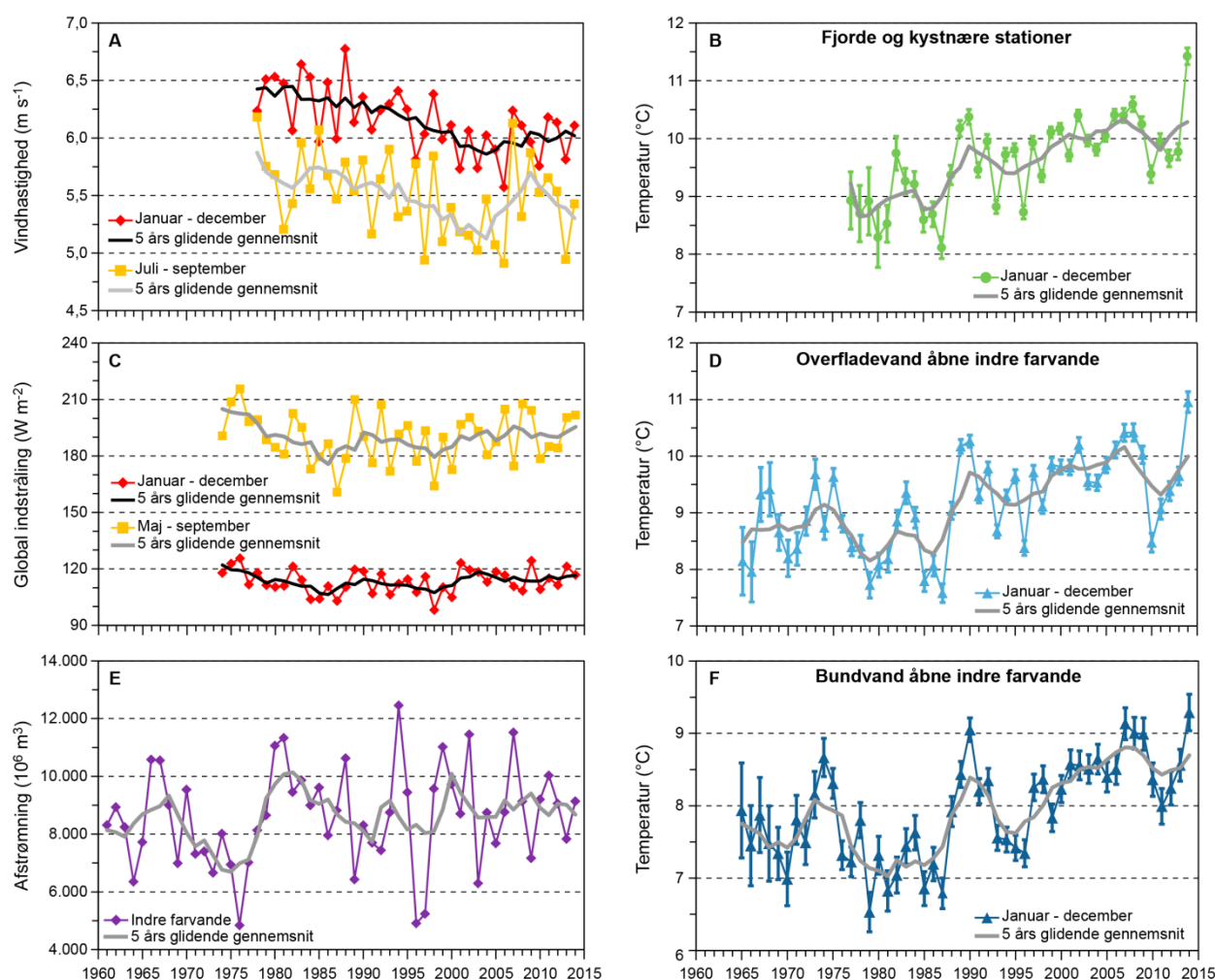
Langtidsudvikling

Den årlige middel vindhastighed er aftaget fra 6,4 m s⁻¹ i 1980'erne til omkring 6,0 m s⁻¹ siden 2000, dog med en stigende tendens i de seneste 10 år (*figur 2.3A*). Der har været en tendens til, at vindhastigheder i juli-september var knap 1 m s⁻¹ lavere sammenlignet med året som helhed, men i perioden 2007-2012 blæste det næsten lige så meget i disse måneder som for året som helhed. Imidlertid var vindhastigheden i 2014 (juli-september) 0,7 m s⁻¹ lavere end årsgennemsnittet. Den lave middelvind i de typiske iltsvindsmåneder har formodentlig styrket lagdelingen af vandsøjlen og dermed bidraget til, at iltsvindets styrke og udbredelse i 2014 blev forstærket i forhold til de seneste 5 år – heraf især 2010-2012 (se *kapitel 7*).

Selvom vinden har været svag siden 2000, og vindretningen i 2014 var usædvanlig, er der ingen indikationer på, at vindretningen generelt har ændret sig siden 1978 (*figur 2.2B-D*). Den dominerende vindretning er oftest fra sydvest i alle årets måneder, men i 2014 var vindtransporten domineret af sydlige og sydøstlige retninger i vinter- og efterårsmånederne, afbrudt af en forholdsvis vindstille forårs- og sommerperiode (*figur 2.2A*). Derved blev den samlede vindtransport for 2014 mere østlig end vestlig, hvilket kun er sket én gang tidligere (1996) siden 1978.

Vindtransporten i januar-april, som har betydning for transporterne af uorganiske næringssalte gennem de indre danske farvande, var gennemgående fra sydlige retninger i 2014 (*figur 2.2C*). Dette har formentlig betydet, at transporten gennem de indre danske farvande har været domineret af udstrømmende Østersøvand, specielt i januar og februar måned, hvor saltholdigheden i overfladevandet i de åbne indre farvande var lavere end normalt. Vindtransporten i maj-september, som kan være afgørende for transporten og opblandingen af bundvand i de åbne indre farvande, var relativt svag og fra sydvestlige retninger (*figur 2.2D*). De svage vinde i denne periode har formentlig medført en mindre transport i både overflade- og bundvand samt en reduceret opblanding af vandsøjlen.

Indstrålingen i 2014 var relativ høj for maj-september men mere normal for året som helhed (*figur 2.3C*). Specielt marts og juli havde markant høj indstråling. Indstrålingen på årsplan og i sommermånederne var høj i midten af 1970'erne i modsætning til de solfattige 1980'ere. Siden er indstrålingen steget igen, men har ikke helt nået niveauet fra 1970'erne.

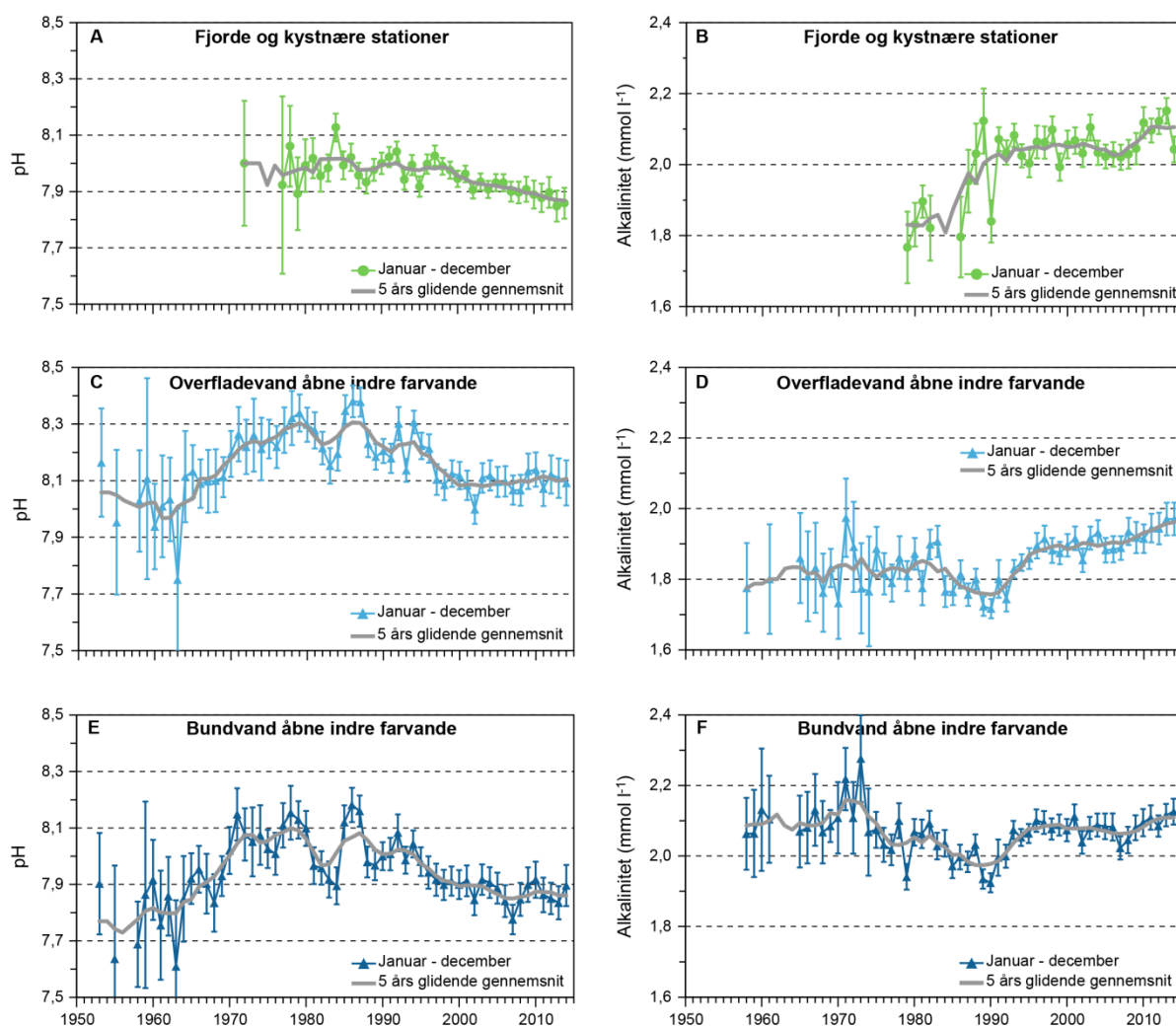


Figur 2.3. Tidlig udvikling for A) vindhastighed, B) vandtemperatur i fjorde og kystnære områder, C) global indstråling, D) overfladevandtemperatur i de åbne indre farvande, E) afstrømning og F) bundvandstemperatur i de åbne indre farvande. Datakilder: Sund og Bælt Holding, DTU Vindenergi, H.C. Ørsted Institutet, Landbohøjskolen (A og C); DCE og Naturstyrelsen (B, D, E og F). Middeltemperaturer er angivet med 95 % konfidensgrænser.

Afstrømningen har også udvist forskellige mønstre i løbet af de sidste 5 årtier (figur 2.3E). I 1960'erne var middelafrømningen 8.500 mio. m³ om året, som faldt til 7.500 mio. m³ i de relativt tørre 1970'ere, hvorefter niveauet steg til 9.400 mio. m³ i de våde 1980'ere. Siden 1990 har afstrømningen i middel været på niveau med normalperioden (1961-1990), om end det karakteristiske ved denne periode er de store variationer mellem årene, som var mest udpræget i 1990'erne. Afstrømningen i 2014 var lidt over gennemsnittet for de seneste 30 år.

Temperaturen i de danske farvande er steget med 1-1,5 °C i løbet af de sidste 30-40 år, og efter fire relativt kolde år (2010-2013) slog havtemperaturen alle tidligere rekorder i 2014. Faktisk overgår 2014 de hidtil varmeste år med 0,5-1 °C for fjorde og kystnære områder samt overfladevandet i de åbne indre farvande. Stigningen i temperaturen fra 2013 til 2014 minder om den karakteristiske overgang i årene 1988-1989, hvor der ligeledes skete et markant skift i temperaturen (figur 2.3B,D & F). Stigningen i bundvandstemperaturen var mindre i 2014 end for overfladevandet, hvilket formentlig skyldes mindre blanding og advektiv transport i sommermånederne. Temperaturudviklingen i de forskellige danske farvande minder om hinanden, og temperaturstigningen foregår som gradvist stigende oscillationer.

Havvandets pH og alkalinitet har ændret sig en del i løbet af de seneste 50 år som følge af flere og modsatrettede processer (figur 2.4, se også Duarte m.fl. 2013). Den forøgede primærproduktion som følge af eutrofieringen har medført et større forbrug af CO_2 og en stigning i pH frem til 1980'erne. Efterfølgende er pH faldet ca. 0,1 i fjorde og kystnære områder og ca. 0,2 i de åbne indre danske farvande, formentlig som en kombineret effekt af øget CO_2 i atmosfæren og faldende tilførsler af næringssalte fra land og atmosfæren, som har reduceret primærproduktionen. Faldet i pH er større end forventet fra den stigende mængde CO_2 i atmosfæren (0,0019 om året; Doney 2010), hvilket kunne indikere en forskydning mellem produktion og respiration. Reduktioner i den atmosfæriske deposition af svovldioxid og faldende opløselighed af CO_2 i vand med stigende temperaturer burde medføre en stigning i pH, men er sandsynligvis af mindre betydning i forhold til de to førstnævnte processer.



Figur 2.4. Årsmiddel ($\pm 95\%$ konfidensgrænser) for pH og alkalinitet i fjorde og kystnære områder (A og B), overfladevand i de åbne indre danske farvande (C og D), og bundvand i de åbne indre farvande (E og F). Datakilder: DCE og Naturstyrelsen.

Faldende pH burde medføre et fald i alkaliniteten, medmindre der tilføres andre kemiske komponenter, som kan forskyde ligevægten inden for karbonsystemet. Alkaliniteten er overvejende steget i perioden med faldende pH (figur 2.4). Den stigende alkalinitet i overfladevandet for de åbne indre farvande, hvor 2014 havde det højeste niveau hidtil (når der ser bort fra den usikre middelværdi i 1971), er formentlig relateret til Østersøens opland,

hvor det svenske landbrugsuniversitet (www.slu.se) har rapporteret om stigende alkalinitet i tilførslerne fra land (figur 2.4D). En del af stigningen i alkalinitet skyldes stigende fosfatkoncentrationer i Østersøen som følge af mere udbredt iltsvind siden 1993 (Carstensen m.fl. 2014a).

Sammenfatning

- Året 2014 var meget varmt både i forhold til normalperioden 1961-1990 og perioden 2001-2010. Maj, juni og august var de eneste måneder, hvor temperaturen ikke var markant over normalen.
- Vindhastigheden var under normalen igennem hele året med undtagelse af januar. Vind fra sydøst i årets første måneder og september-november resulterede i udstrømning af Østersøvand i starten af året og i efteråret. Svag vind i sommerperioden har formentlig styrket lagdelingen af vand-søjlen.
- Året 2014 var både mere regnfuldt og mere solrigt end normalt. Antallet af solskinstimer var 16 % over normalen og mængden af nedbør 15 % over normalen. En del af nedbøren faldt som skybrud i sommer- og efterårs-månederne.
- Vandtemperaturerne i 2014 var rekordhøje, og i fjorde og kystnære områder og i overfladevandet i de åbne indre farvande var vandet henholdsvis 2,3 °C og 2,4 °C varmere end normalen og 0,5 og 1,0 °C varmere end det hidtil varmeste år (2008). Bundvandet var 1,8 °C varmere end normalen.
- Havtemperaturen er generelt steget 1-1,5 °C i løbet af de sidste 30-40 år, men i 2014 tog temperaturkurven et ekstra trin opad.
- Siden midten af 1980'erne er havvandet blevet mere surt (ca. 0,2 pH lavere i de åbne indre farvande og ca. 0,1 pH lavere i fjorde og kystnære områder).
- Overfladevandet i de åbne indre farvande har de senere år haft en stigende alkalinitet, hvilket sandsynligvis skyldes en øget eksport af alkalinitet fra Østersøens opland og øgede fosforkoncentrationer grundet mere udbredt iltsvind i Østersøen.

3 Næringssalttilførsler fra land

Kapitlet er udeladt i år pga. forsinkede data - for informationer om tilførsler til de marine områder fra land henvises til rapporten *Vandløb 2014 (Wiberg-Larsen m.fl. 2015)*.

4 Kvælstoftilførsel fra luft

Kapitlet er udeladt i år pga. forsinkede data - for informationer om kvælstoftilførsler til de marine områder fra luft henvises til rapporten *Atmosfærisk deposition 2014* (Ellermann m.fl. 2015).

Del 2 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

Jens Würgler Hansen

Det overordnede formål med den marine del af NOVANA-programmet er at understøtte internationale forpligtigelser og nationale behov for overvågningsdata om påvirkning, tilstand og udvikling i de danske farvande. Programmet skal således tilvejebringe det nødvendige dokumentations- og videngrundlag i relation til overvågningsbehov og -forpligtigelser i forvaltningen af havmiljøet.

Mange af de miljøindikatorer, som indgår i overvågningsprogrammet, påvirkes i større eller mindre grad af de klimatiske forhold som solindstråling, vind, temperatur og nedbør. Desuden er havets miljøindikatorer under indflydelse af menneskelige aktiviteter især i form af udledning af næringssalte og miljøfarlige stoffer samt erhvervsfiskeri.

Påvirkningerne er dynamiske og miljøindikatorerne responderer ved en variation hen over året og en variation mellem år. Som udgangspunkt kan indikatorernes år til år variation opdeles i en naturlig og en menneskeskabt komponent. Miljø- og naturtilstanden er således underlagt en naturlig variation, som delvist kan skjule den påvirkning, som skyldes menneskelig aktivitet.

For at få et mere retvisende billede af effekterne af miljøforbedrende tiltag er det derfor ønskeligt at 'filtrere' den naturlige variation fra, så ændringer forårsaget af variationer i klimaet udviskes, mens ændringer forårsaget af menneskelige aktiviteter tydeliggøres. Dette er tilstræbt for en række indikatorer ved at korrigere for variationer i klimaet. Klimakorrekktionerne er kun sket i forhold til variationer i ferskvandsafstrømningen til de danske farvande. Klimakorrigerede værdier er således velegnede til at beskrive udviklingen i miljøpåvirkningen, men de fortæller ikke nødvendigvis noget om den aktuelle miljøtilstand, som er styret af de faktiske og ikke de klimakorrigerede forhold.

Analyserne af variation i data anvender et generelt indeks eller en middelværdi dannet ud fra alle målinger for de enkelte indikatorer for at give et nationalt billede af tilstand og udvikling. På den måde udjævnes forskelle mellem lokaliteter, og analyserne fokuserer på ændringer fra år til år. Der er dog foretaget en opdeling på kystnære områder (inkl. fjorde) og havområder (åbne indre farvande), da disse to farvandstyper adskiller sig markant fra hinanden på en række områder. Anvendelsen af et generelt indeks eller middelværdi betyder, at udviklingen lokalt i nogle tilfælde kan være forskellig fra den generelle nationale tendens.

Bilag 1 indeholder en kort beskrivelse af principperne for den anvendte indeksering og klimakorrektion.

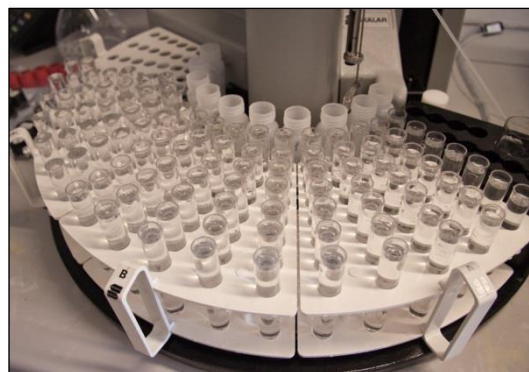
Klimaforandringer påvirker også tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten og komplicerer årsagssammenhængene. Ændringer i miljøtilstanden kan således både skyldes naturlig variation, menneskelig aktivitet og klimaforandringer, hvor sidstnævnte formodentlig især skyldes menneskeskabte forhold. De klimakorrigerede data er således normaliseret i forhold til år til

år variationen i klimatiske forhold, både hvad angår komponenten naturlig variation og komponenten klimaforandringer. En videreudvikling af klimakorrektionerne vil derfor kunne forbedre beskrivelsen af den ikke-klima-relaterede menneskeskabte miljøpåvirkning og dermed effekten af de miljøforbedrende tiltag.

5 Næringssaltkoncentrationer

Jacob Carstensen

Eutrofiering skyldes hovedsageligt en stor tilførsel af næringssalte, som medfører en forøget produktion af bl.a. planteplankton i de danske farvande med deraf afledte effekter. Næringssaltkoncentrationer er derfor vigtige tilstandsvariable for at vurdere vandkvaliteten i de marine områder og indgår desuden til at understøtte klassifikationen af



Prøver klar til analyse af næringssalte.

Foto: Anne van Acker.

de biologiske elementer i de europæiske direktiver. Totalkoncentrationerne af kvælstof (TN) og fosfor (TP) afhænger af tilførslerne fra land, atmosfære, sediment (intern belastning) og udveksling med andre farvande samt fjernelse ved permanent begravelse i sedimenterne og denitrifikation (kun kvælstof). Desuden vil optag i planteplankton i vandsøjlen samt mikroalger og planter på bunden binde vandsøjleens næringssalte, som for størstedelen dog frigives igen, når organismerne dør. Den opløste, uorganiske del af kvælstof (DIN) og fosfor (DIP) optages direkte af havets planter, mens opløst organisk kvælstof og fosfor oftest skal omsættes bakterielt, før de kan optages af planterne. Ved planternes fotosyntese omdannes næringssalte og kulstof til partikulært organisk materiale. Uorganisk opløst silicium (DSi) er desuden et nødvendigt næringssalt for kiselalger. Planteplankton har gennemsnitlig behov for kvælstof og fosfor i mol-forholdet 16:1, også kaldet Redfield-forholdet. Lave værdier (< 10) indikerer, at kvælstof potentielt er begrænsende for primærproduktionen, og høje værdier (> 20) indikerer potentiel fosforbegrænsning.

Metoder og datagrundlag

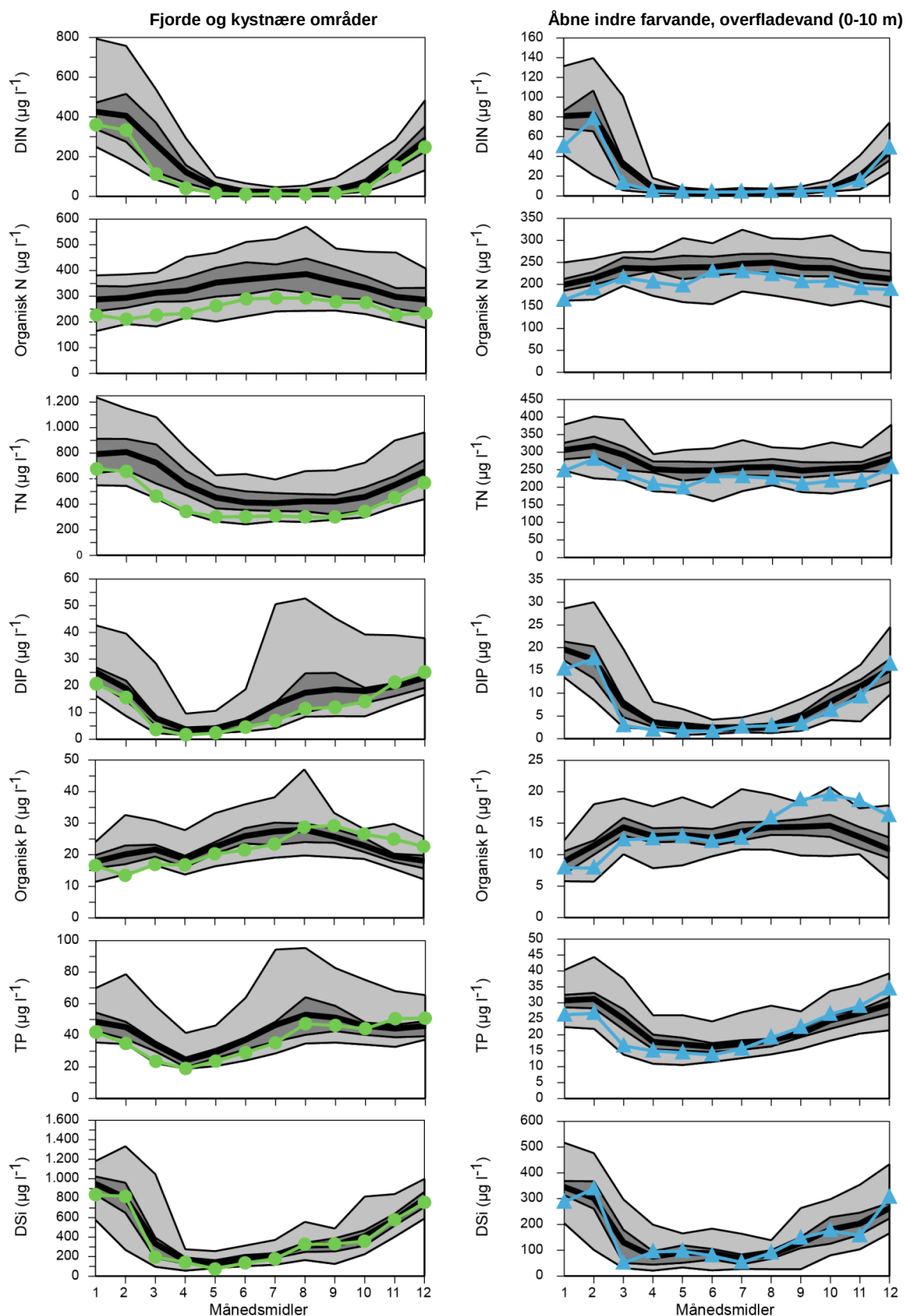
Kapitlet bygger på data fra det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen (NOVANA) i perioden 1989-2014. Prøver er indsamlet og analyseret og data behandlet efter retningslinjerne i de tekniske anvisninger for overvågning af de vandkemiske parametre (Fossing *m.fl.* 2015; Fossing & Hansen 2015).

Stationerne er opdelt i fjorde og kystnære områder samt i de åbne farvande. Årsmidler af næringssaltkoncentrationer er beregnet med en tresidet variansanalyse (Bilag 1). Relationen imellem koncentrationerne og ferskvandsafstrømningen er anvendt til korrektioner for klimatiske variationer i analyser af den tidsmæssige udvikling i næringssaltkoncentrationerne (Bilag 1). Den tidlige udvikling er analyseret ved lineær regression for perioden 1989-2014 og for de seneste 10 år.

Sæsonvariation i 2014

Både kvælstof- og fosforkoncentrationerne har været faldende siden midten af 1990'erne, og niveauerne for 2014 var, som forventet, lavere end langtidsmidlerne (1989-2013). For at vurdere sæsonfordelingen i 2014 er må-

nedsmidlerne for dette år sammenholdt med fordelingen af månedsmidler fra de tidligere år (figur 5.1).



Figur 5.1. Månedsmiddelkoncentrationer af DIN, organisk N, TN, DIP, organisk P, TP og DSi i 2014 for fjorde og kystnære områder (0-10 m, ●) og overfladevandet i de åbne indre farvande (0-10 m, ▲) sammenholdt med langtidsmidlen (1989-2013). Variationen i langtidsmidlen er angivet med minimum og maksimum (lysegrå afgrænsning), nedre og øvre kvartil (mørkegrå afgrænsning) samt middelværdien (fed sort linje).

Kvælstofkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder var generelt lave og væsentlig under langtidsmidlerne i hele året. DIN og TN var dog forholdsvis høje i starten (januar-februar) og slutningen (november-december) af året, hvilket skyldes den større afstrømning fra land i disse måneder (se *kapitel 2*). I maj og august blev de hidtil laveste DIN-månedsmidler registreret, hvorimod der ikke blev registreret rekordlave månedsmidler for hverken organisk N eller TN.

Et næsten tilsvarende mønster gjorde sig gældende for DIN-koncentrationerne i overfladen i de åbne indre farvande, hvor der var meget lave kvælstofkoncentrationer i næsten alle måneder med undtagelse af februar og december. Disse højere DIN-niveauer skyldes den større afstrømning i starten og slutningen af året. Derimod var sommerkoncentrationerne af organisk N og TN høje i forhold til de senere års niveauer. Det stille sommervejr, specielt i juni og juli, har formentlig betydet, at overfladevandet i større grad var påvirket af Østersøvand, som har højere koncentrationer af organisk N. Koncentrationen af organisk N forblev relativt høj i de efterfølgende måneder.

DIP-koncentrationerne i fjorde og kystnære områder var næsten på niveau med langtidsmidlerne igennem det meste af året, bortset fra forårsperioden, hvor de hidtil laveste DIP-niveauer blev registreret i april og maj. Der var også meget lave niveauer for organisk P og TP fra februar til april, og koncentrationen af organisk P i februar var den hidtil lavest registrerede. De lavere fosforkoncentrationer i foråret skyldes den større afstrømning fra land i vintermånederne og dermed højere DIN-niveauer, som har stimuleret en større forårsopblomstring af planteplankton og dermed et større optag af DIP (se *kapitel 6*). På trods af det mere udbredte iltsvind i 2014 (*kapitel 7*) var der ingen forøget opbygning af fosfor i bundvandet i sensommeren/efteråret (resultat ikke vist), hvilket indikerer, at fosforfrigivelsen fra sedimentet har været begrænset formodentlig som følge af, at fosforpuljerne i sedimentet er mindsket i forhold til tidligere (*Riemann m.fl. 2015*). Derimod var der relativt høje koncentrationer af organisk P fra august frem til slutningen af året, hvilket skyldes påvirkningen fra de åbne indre farvande (se nedenfor).

Fosforkoncentrationerne i de åbne farvande i 2014 var overordnet på niveau med langtidsmidlerne, dog med lidt lavere niveauer i starten af året og højere niveauer i den sidste halvdel af året. DIP-koncentrationen i april var den hidtil laveste, hvorimod koncentrationerne af organisk P var de hidtil højeste i september og november. Mængden af organisk P i overfladevandet steg fra juli til oktober, hvor lagdelingen var mere stabil end normalt. De høje niveauer fra august skyldes formentlig den reducerede opblanding over springlaget på grund af den ringe vind (se *kapitel 2*), hvorved mængden af organisk materiale har akkumuleret. Da primærproduktionen i de åbne indre farvande er stærkt kvælstofbegrænset på denne tid af året, er produktionen delvist baseret på opløst organisk N, hvorfor puljen af organisk N ikke tilsvarende er steget i disse måneder.

Koncentrationen af opløst silicium (DSi) i fjorde og kystnære områder var høj i vintermånederne, hvilket ligesom for DIN og DIP skyldes den større afstrømning i januar og februar. DSi-koncentrationen faldt markant i forbindelse med den kiselalgedominerede forårsopblomstring i marts og var som forventeligt lavest i maj, hvorefter DSi-koncentrationen gradvist steg frem mod december. Udviklingen i DSi-koncentrationen i fjorde og kystnære områder i 2014 var således meget lig den normale sæsonvariation. Det samme

mønster gjorde sig gældende for de åbne indre farvande, hvor DSi-koncentrationen var højest i februar og lavest i marts. Dette kraftige fald i DSi-niveauet i marts viser, at forårsopblomstringen i de åbne indre farvande var domineret af kiselalger (se *kapitel 6*). Andelen af kiselalger i de åbne indre farvande var lav i august, september og oktober (se *kapitel 6*), hvilket formentlig forklarer den hurtigere opbygning af DSi-puljen i overfladevandet i denne periode i de åbne farvande end i fjorde og kystnære områder.

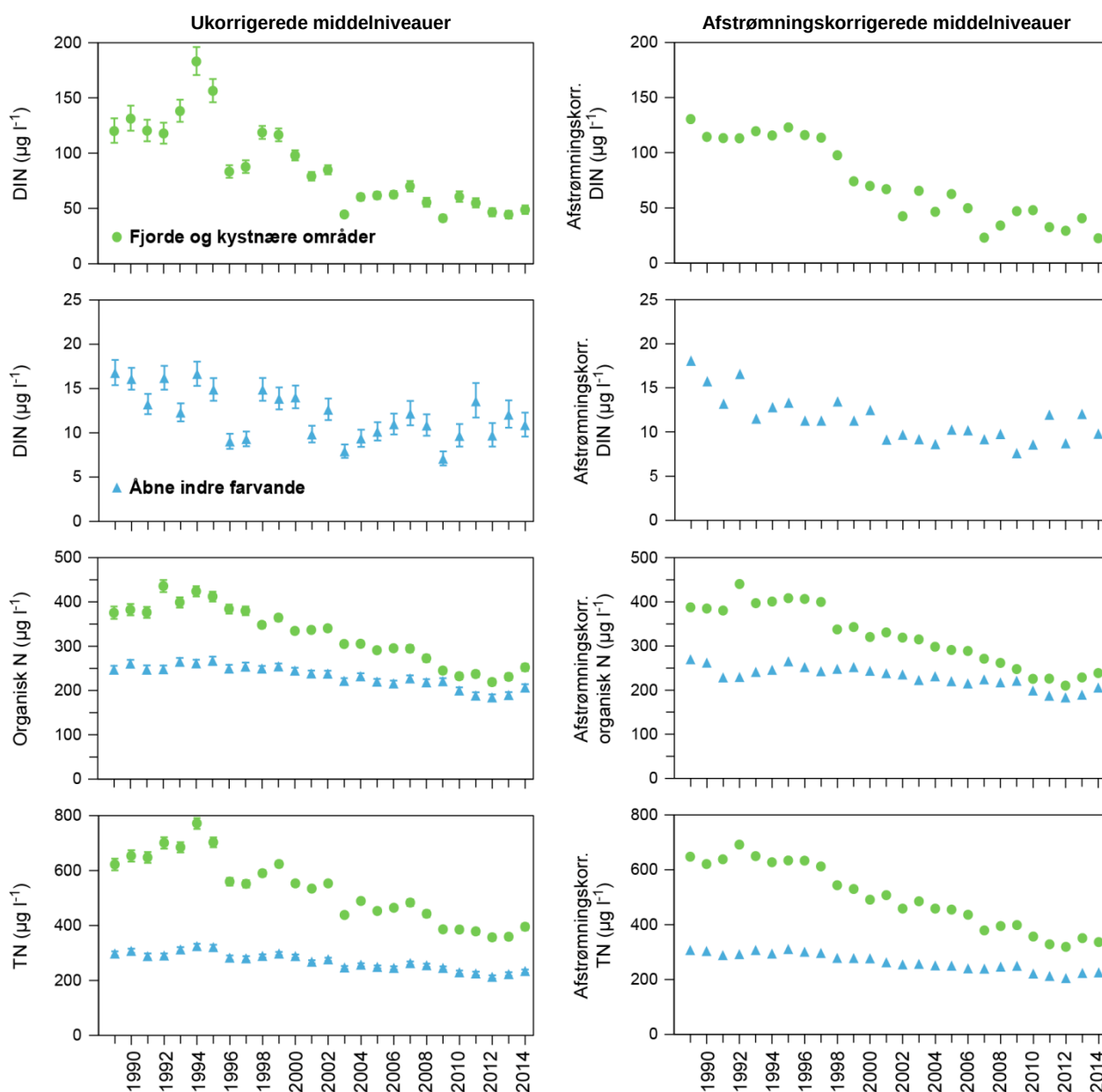
Bundvandet i de åbne indre farvande i januar måned 2014 havde de hidtil laveste niveauer for DIN, DIP og DSi, hvorimod niveauerne for de uorganiske næringssalte var mere normale i resten af året (resultater ikke vist). Disse lave koncentrationer skyldes to kraftige storme i slutningen af 2013, som blandede store mængder overfladevand ned i bundvandet. Derimod blev i maj registreret forholdsvis høje niveauer for specielt DIN og DSi men også DIP. Dette skyldes formentligt indstrømmende vand fra Den Jyske Kyststrøm (se nedenfor). Koncentrationen af organisk N i februar var den hidtil laveste, og generelt var niveauet af organisk N under langtidsmidlen gennem hele året. De lave koncentrationer af organisk N og P i februar skyldes formentlig en større påvirkning af vand fra Nordsøen/Skagerrak, hvilket kan ses i en stigning i saltholdigheden (ikke vist). Koncentrationen af organisk P varierede lidt mere hen over året, og specielt var niveauet relativt højt fra august og året ud, hvilket er forbundet med de højere koncentrationer i overfladevandet. TN i bundvandet var forholdsvis lavt igennem hele året. TP-koncentrationerne var også lave i starten af året, men steg efterfølgende som følge af de højere niveauer af organisk P. Overordnet var årstidsvariationen i næringssaltkoncentrationerne i bundvandet i 2014 som normalt, dvs. uden større afvigelser fra de forventede sæsonmønstre.

Der blev i februar 2014 registreret høje nitratkoncentrationer ($> 180 \mu\text{g l}^{-1}$) på flere stationer i det nordlige og centrale Kattegat med tilhørende saltholdigheder mellem 32 og 33. Det næringsrige vand på 20-40 m's dybde adskilte sig fra det tungere bundvand (saltholdigheder omkring 34) med væsentlig lavere nitratkoncentrationer, hvilket indikerer, at dette mellemlag bestod af vand fra Den Jyske Kyststrøm. Vindene kom overvejende fra syd i februar (se *kapitel 2*), og det har formentlig forstærket Den Jyske Kyststrøm og medført en øget transport ind i Kattegat. Vandmassen kunne følges øst for Anholt i marts, i de dybeste vandlag i Øresund (øst for Ven) i april og ved Griben og Storebælt i maj. Det er sandsynligt, at denne vandmasse kan have stimuleret en højere produktion i forårmånederne i de åbne indre farvande (se *kapitel 6*). Nitratkoncentrationerne i Den Jyske Kyststrøm er dog meget lavere, end de var i 1980'erne og 1990'erne og kun svagt højere end nitratkoncentrationerne i vandmasserne, som kommer fra den centrale del af Nordsøen (omkring $150 \mu\text{g l}^{-1}$).

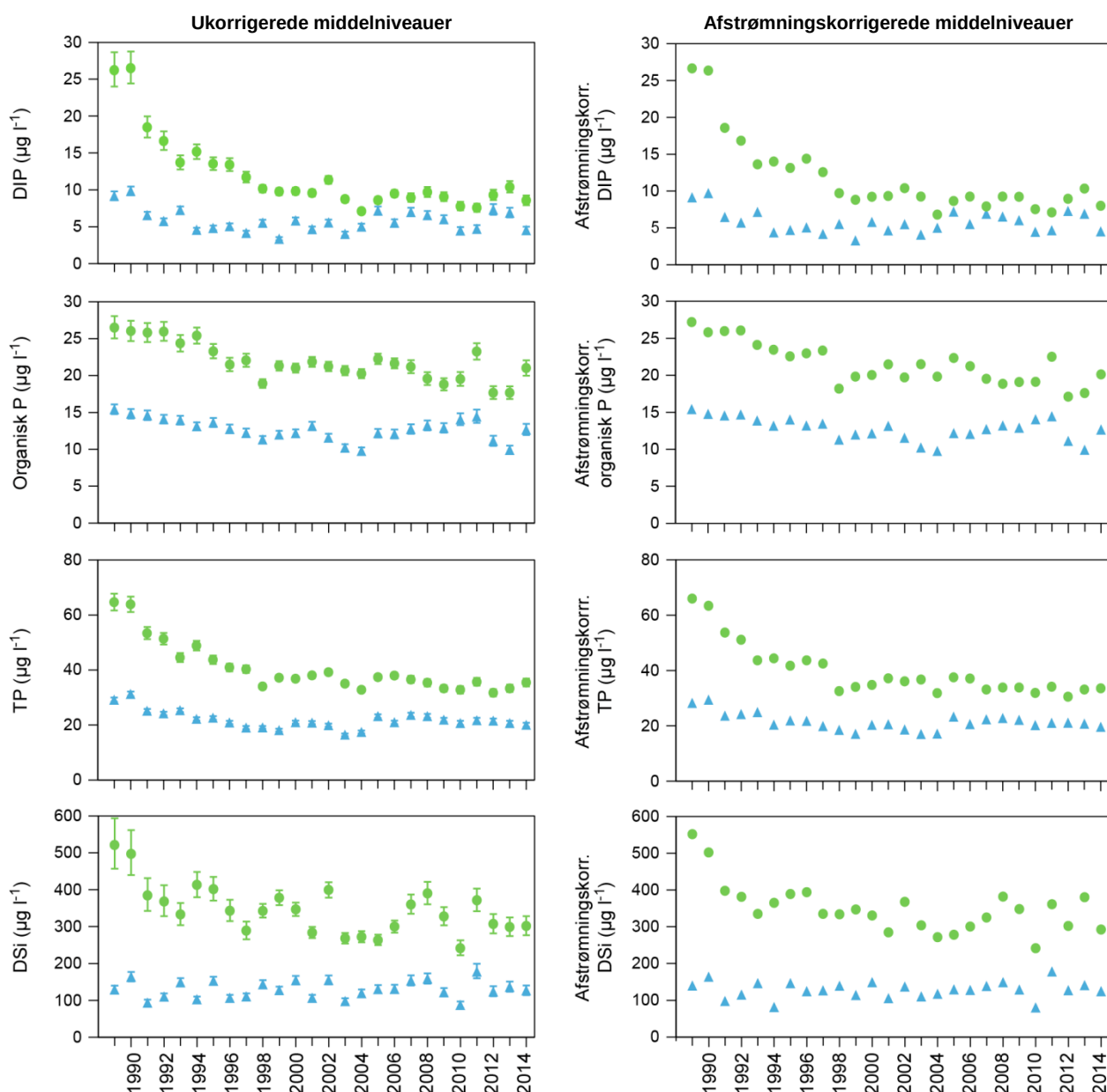
Som helhed var både kvælstof- og fosforkoncentrationerne i 2014 lave i fjorde og kystnære områder. I de åbne indre danske farvande var kvælstofkoncentrationerne også meget lave, hvorimod fosforkoncentrationerne var på niveau med de senere år. Det mest karakteristiske ved 2014 var stigningen i organisk P i overfladevandet i de åbne indre farvande, som til dels også påvirkede niveauerne i bundvandet. Den mest sandsynlige forklaring er en akkumulering af opløst organisk fosfor i overfladevandet som følge af reduceret vandskifte pga. de svage vindforhold. Der var ingen indikationer på større frigivelser af fosfor fra sedimenterne i de åbne indre farvande som følge af iltsvind i 2014 på trods af en reduceret advektiv transport i bundvandet henover sommeren.

Tidlig udvikling i fjorde og andre kystnære områder

Kvælstofkoncentrationerne er generelt faldet siden midten af 1990'erne hovedsageligt som følge af regulering af landbrugsproduktionen. I 2014 var årsmidlerne for DIN, organisk N og TN lave om end lidt højere end de seneste to år (figur 5.2). Årsmidlerne for DIN, organisk N og TN var henholdsvis 49, 252 og 395 $\mu\text{g l}^{-1}$, hvilket er lavere end gennemsnittet for de seneste 10 år. TN-koncentrationen er faldet jævnt siden 1994 og er næsten nået det halve af niveauet fra midten af 1990'erne. DIN-koncentrationen faldt ligeledes fra 1994 og frem til 2003, hvorefter niveauet har ligget rimelig konstant med en årsmiddel omkring 50 $\mu\text{g l}^{-1}$. Koncentrationerne af DIN, organisk N og TN i 2014 var reduceret med henholdsvis 64 %, 37 % og 42 % i forhold til middelniveauet for 1989-1994.



Figur 5.2 fortsætter på næste side ►



Figur 5.2. Årsmiddelkoncentrationer ($\pm 95\%$ konfidensgrænser) af DIN, TN, DIP, TP og DSI i overfladevandet (0-10 m) uden (venstre kolonne) og med (højre kolonne) korrektion for variationer i afstrømning for fjorde og kystnære områder (●) og åbne indre danske farvande (▲). For DIN er fjorde og kystnære områder afbildet adskilt fra åbne farvande og med forskellige y-akser.

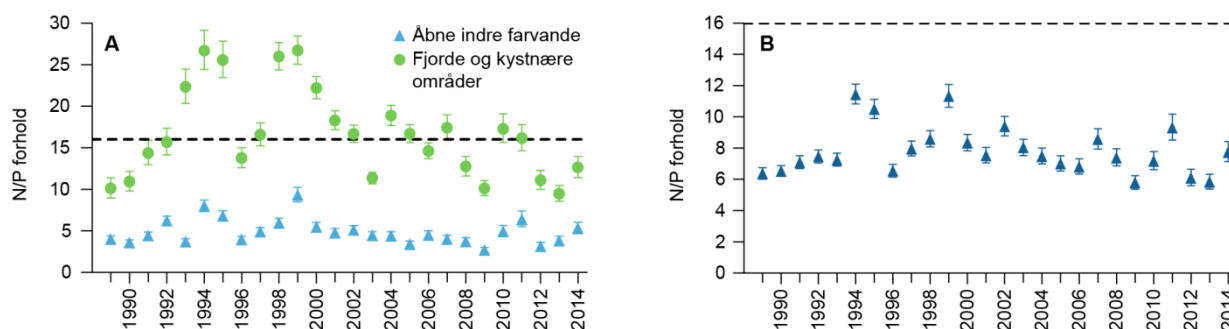
Korrigeres der for år til år variationerne i afstrømningen, var DIN-koncentrationen i 2014 den hidtil laveste og organisk N og TN var på niveau med de seneste fem år. Sammenlignes de afstrørningskorrigerede kvælstofniveauer i 2014 med middelniveauet for 1989-1994, er der sket et fald på 81 %, 40 % og 48 % for henholdsvis DIN, organisk N og TN. Der er en stagnerende tendens for de afstrørningskorrigerede DIN-koncentrationer omkring et niveau på $40 \mu\text{g l}^{-1}$, hvorimod organisk N og TN fortsat falder.

Fosforkoncentrationerne faldt markant i slutningen af 1980'erne og starten af 1990'erne som følge af udbygningen af spildevandsrensningen. Årsmidlen for DIP i 2014 var lidt lavere end gennemsnittet for perioden siden 1998, hvor reduktionerne i punktkildebelastningen var fuldt implementerede. Årsmidlerne for organisk P og TP var derimod lidt højere end gennemsnittet for 1998-2013. Middelniveauerne har siden 1998 ligget stabilt omkring $8-10 \mu\text{g l}^{-1}$ for DIP, $17-22 \mu\text{g l}^{-1}$ for organisk P og $33-38 \mu\text{g l}^{-1}$ for TP. I forhold til 1989 var

fosforkoncentrationerne i 2014 reduceret med 67 % for DIP, 21 % for organisk P og 45 % for TP. Afstrømningskorrektionen havde kun en mindre effekt på fosforniveauerne.

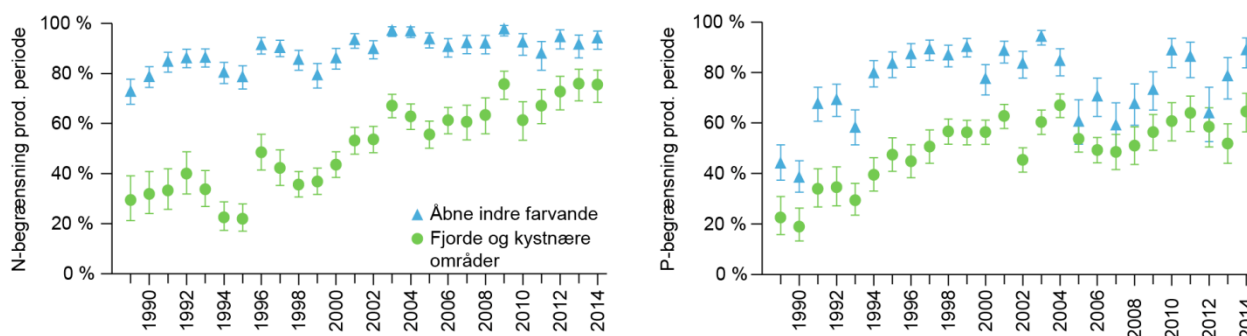
DSi-koncentrationen har varieret mellem 250 og 400 $\mu\text{g l}^{-1}$ siden starten af 1990'erne, og årsmidlen i 2014 var normal (302 $\mu\text{g l}^{-1}$). Afstrømningskorrektionen ændrede ikke niveauet nævneværdigt. DSi-niveauet er normalt resultatet af tre faktorer: Mængden af kiselalger, som sænker niveauet, graden af kvælstofbegrænsning, som giver højere niveauer, og mængden af vand fra den centrale Nordsø, som sænker niveauet. En større andel af kiselalger i 2014 (se kapitel 6) har formentlig resulteret i de lavere DSi-koncentrationer.

Molforholdet mellem årsmidler af DIN og DIP toppede i 1999 og har i de senere år stabiliseret sig lige under Redfield-forholdet 16:1 (figur 5.3A). Dette er en konsekvens af de to forskellige tidlige forløb: 1) DIP faldt frem til midten af 1990'erne og stabiliseredes derefter, og 2) DIN faldt fra midten af 1990'erne frem til ca. 2003 og stabiliseredes derefter. Molforholdet på 13 i 2014 svarer til gennemsnittet for de seneste 10 år.



Figur 5.3. Molforhold mellem årsmidler ($\pm 95\%$ konfidensgrænser) for opløst uorganisk kvælstof (DIN) og opløst uorganisk fosfor (DIP) i A) overfladevand (0-10 m) for fjorde og kystnære områder (●) og åbne indre farvande (▲) og B) bundvand (≥ 15 m) i åbne indre farvande (▲). Den stiplede linje angiver Redfield-forholdet.

Kvælstof er blevet potentielt mere begrænsende siden midten af 1990'erne, mest markant i perioden fra 1998 til 2003, og 2014 havde det tredje højeste potentiale for kvælstofbegrænsning (figur 5.4). I de seneste tre år har kvælstof været potentielt begrænsende i mere end 70 % af den produktive periode. Fosfor blev potentielt mere begrænsende fra 1989-1998, hvorefter fosfor har været potentielt begrænsende i ca. 50-65 % af den produktive periode. Fosforbegrænsningen i 2014 var den hidtil næsthøjeste. Næringssaltbegrænsningen i 2014 var formentlig ekstra høj på grund af den svage vind, som har reduceret tilførslen af næringssalte fra bundvand og sedimenter.



Figur 5.4. Årsmiddel ($\pm 95\%$ konfidensgrænser) for potentiel begrænsning af kvælstof og fosfor i fjorde og kystnære områder (●) og åbne indre farvande (▲) udregnet som sandsynligheden for, at målinger i overfladevandet (0-10 m) i den mest produktive periode (marts-september) lå under værdierne for potentielt begrænset primærproduktion (28 $\mu\text{g l}^{-1}$ for DIN (til venstre) og 6,2 $\mu\text{g l}^{-1}$ for DIP (til højre)).

Tabel 5.1. Trendanalyser for udviklingen i næringssalte siden starten af det nationale overvågningsprogram i 1989 og for de seneste 10 år angivet ved hældningskoefficienten ($\text{mg l}^{-1} \text{år}^{-1}$) og tilhørende P-værdi. Statistisk signifikante trends ($P < 0,05$) er markeret med gråtone. Bemærk at tabellen ud over trendanalyser for fjorde og kystnære områder også omfatter analyser for overfladevand og bundvand for de åbne indre farvande.

Område	Næringssalt	Ukorrigerede		Afstrømningskorrigerede	
		1989-2014	2005-2014	1989-2014	2005-2014
Fjorde og kystnære områder	DIN	-4,266 (<0,0001)	-2,081 (0,0307)	-4,477 (<0,0001)	-2,399 (0,0901)
	Org. N	-8,034 (<0,0001)	-7,866 (0,0036)	-8,597 (<0,0001)	-8,025 (0,0012)
	TN	-14,533 (<0,0001)	-12,621 (0,0029)	-15,230 (<0,0001)	-13,326 (0,0007)
	DIP	-0,518 (<0,0001)	0,001 (0,9944)	-0,535 (<0,0001)	-0,067 (0,9556)
	Org. P	-0,264 (<0,0001)	-0,271 (0,2154)	-0,389 (<0,0001)	-0,282 (0,1713)
	TP	-0,956 (<0,0001)	-0,446 (0,0432)	-0,996 (<0,0001)	-0,470 (0,0328)
	DSi	-5,299 (0,0012)	-0,439 (0,9379)	-5,277 (0,0011)	2,458 (0,6573)
Overfladevand, åbne indre farvande	DIN	-0,214 (0,0016)	0,077 (0,7136)	-0,248 (<0,0001)	0,086 (0,6107)
	Org. N	-2,876 (<0,0001)	-3,785 (0,0145)	-2,621 (<0,0001)	-3,777 (0,0145)
	TN	-3,756 (<0,0001)	-3,958 (0,0108)	-4,001 (<0,0001)	-3,894 (0,0146)
	DIP	-0,048 (0,2375)	-0,120 (0,3661)	-0,045 (0,2708)	-0,119 (0,3689)
	Org. P	-0,092 (0,0149)	0,084 (0,5944)	-0,103 (0,0072)	-0,084 (0,5939)
	TP	-0,209 (0,0114)	-0,282 (0,0269)	-0,183 (0,0165)	-0,278 (0,0220)
	DSi	0,346 (0,5890)	-0,716 (0,8083)	0,192 (0,7509)	0,153 (0,9584)
Bundvand, åbne indre farvande	DIN	-0,588 (0,0223)	-0,800 (0,4103)	-0,465 (0,0009)	-0,762 (0,2030)
	TN	-4,522 (<0,0001)	-4,216 (0,0439)	-4,207 (<0,0001)	-4,125 (0,0184)
	DIP	-0,094 (0,1486)	0,133 (0,3745)	-0,071 (0,3220)	-0,132 (0,3776)
	TP	-0,375 (0,0004)	-0,312 (0,1416)	-0,357 (0,0011)	0,309 (0,1146)
	DSi	0,825 (0,3099)	-5,323 (0,0608)	0,479 (0,4486)	-3,871 (0,0512)

Både de ukorrigerede og de afstrømningskorrigerede næringssaltkoncentrationer udviste alle signifikante fald i perioden 1989-2014 (tabel 5.1). Men til forskel fra tidligere år var faldet i koncentrationer af kvælstof lige så signifikant som for fosfor. Derimod er det kun organisk N, og TN, som har været stærkt signifikant ($P < 0,01$) faldende over de seneste 10 år. Perioden 2005-2014 viste også et svagt signifikant fald i TP. Den potentielle næringssaltbegrænsning i perioden 1989-2014 var signifikant stigende for både kvælstof og fosfor (resultater ikke vist).

Tidlig udvikling i overfladevand i de åbne indre farvande

Kvælstofkoncentrationerne i overfladevandet i de åbne indre farvande i 2014 var på niveau med de senere år (figur 5.2). Generelt har DIN-niveauet ligget stabilt omkring $10 \mu\text{g l}^{-1}$ siden 2001, mens TN er aftaget jævnt fra $300 \mu\text{g l}^{-1}$ i 1989 til omkring $250 \mu\text{g l}^{-1}$ i 2003 og derefter til omkring $225 \mu\text{g l}^{-1}$ i de seneste fem år. Sammenholdt med perioden 1989-1994 var koncentrationerne af DIN, organisk N og TN i 2014 reduceret med 19-29 %.

De afstrømningskorrigerede kvælstofkoncentrationer i 2014 var på niveau med de seneste fem år for organisk N og TN og på niveau med de seneste ca. 15 år for DIN. De afstrømningskorrigerede kvælstofniveauer har været faldende stort set siden 1989, dog med en tendens til stagnation for DIN siden 2000 og et fortsat svagt fald for organisk N og TN. Dette har for DIN og TN resulteret i et niveau på omkring henholdsvis $10 \mu\text{g l}^{-1}$ og $220 \mu\text{g l}^{-1}$ for et år med middel afstrømning.

DIP, organisk P og TP har stabiliseret sig omkring henholdsvis 6, 12 og $21 \mu\text{g l}^{-1}$, dog med en svagt stigende tendens efter 2000. Denne udvikling skyldes sti-

gende fosforniveauer i Østersøen og stigende N-begrænsning i kystzonen, som har øget eksporten af fosfor fra kystzonen.

DSi-niveauet i 2014 ($127 \mu\text{g l}^{-1}$) var gennemsnitlig for hele perioden siden 1989. DSi-koncentrationerne har generelt ikke udviklet sig siden starten af vandmiljøplanernes overvågningsprogram i slutningen af 1980'erne, og normalt ligger årsmidlen mellem 100 og $150 \mu\text{g l}^{-1}$.

Udviklingen i forholdet mellem DIN og DIP i overfladevandet i de åbne farvande har været langt mindre systematisk end for fjorde og kystnære områder, dog kendetegnet ved høje værdier i afstrømningsrige år og tendens til stabilisering på et niveau omkring 4 i overfladevandet (*figur 5.3A*). N/P-forholdet i 2014 var gennemsnitligt for perioden siden 1989.

De faldende koncentrationer af næringssalte i vandet har resulteret i stigende potentiel næringssaltbegrænsning (*figur 5.4*). Væksten af planteplankton har siden 2001 så godt som hvert år været potentielt begrænset af kvælstof i mere end 90 % af den produktive periode. I 2014 var den potentielle kvælstofbegrænsning 94 % i den produktive periode. Den potentielle fosforbegrænsning i 2014 var sammenlignelig med niveauet de seneste 20 år om end i den høje ende. I 2014 var planteplanktonets vækst potentielt begrænset af fosfor i 89 % af den produktive periode, hvilket er det fjerde højeste, som er registreret. Det betyder, at koncentrationerne af både DIN og DIP har været så lave i en stor del af den produktive periode, at begge næringssalte har været potentielt begrænsende samtidig.

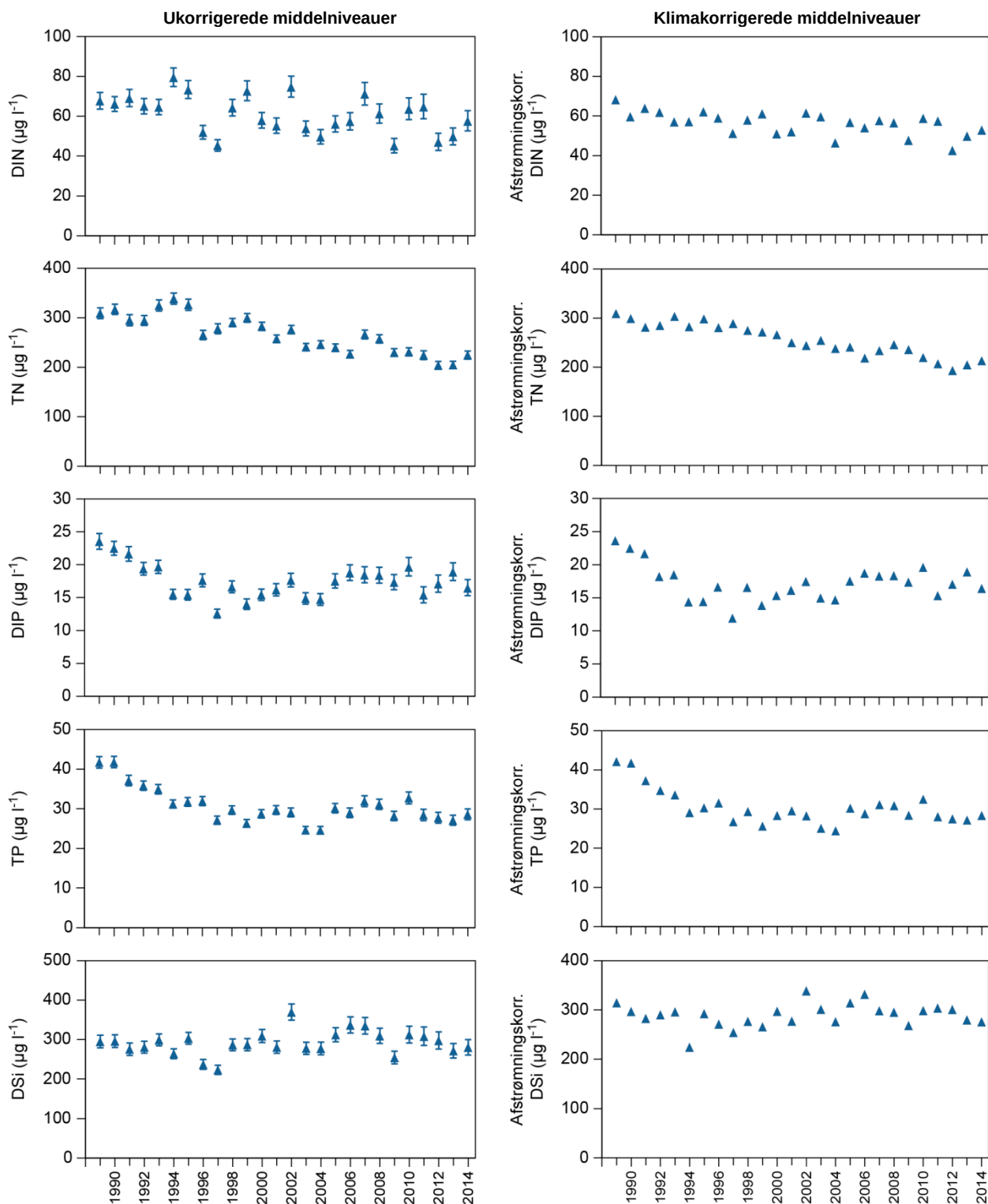
Der er over hele perioden siden 1989 observeret signifikant faldende niveauer for DIN, organisk N, TN, organisk P og TP, både for de afstrømningskorrigerede og ukorrigerede koncentrationer, hvorimod DIP og DSi ikke udviser nogen tendens (*tabel 5.1*). Selv om fosforkoncentrationerne faldt i starten af 1990'erne, så er der ingen udvikling for DIP set over hele perioden. Over de seneste 10 år er de signifikante fald begrænset til organisk N, TN og TP. I overensstemmelse hermed var den potentielle begrænsning af algevæksten kun signifikant stigende for kvælstof for perioden 1989-2014 (resultater ikke vist).

Tidslig udvikling i bundvand i de åbne indre farvande

I 2014 var kvælstofkoncentrationerne i bundvandet i de åbne indre farvande lidt højere end de to foregående år. DIN-koncentrationen var på niveau med de seneste 10-15 år, hvorimod TN-koncentrationen var den fjerde laveste siden 1989 (*figur 5.5*). DIN-koncentrationen er faldet svagt siden 1989, men er ikke ændret i de seneste 10 år, hvorimod TN-koncentrationen er faldet signifikant både siden 1989 og i de seneste 10 år (*tabel 5.1*). TN-niveauet er faldet fra $> 300 \mu\text{g l}^{-1}$ i starten af overvågningsperioden til $224 \mu\text{g l}^{-1}$ i 2014. Efter et svagt fald i starten af overvågningsperioden har DIN-niveauet ligget mellem 50 og $75 \mu\text{g l}^{-1}$ siden 2000.

DIP-koncentrationen faldt frem til 1997 til et niveau omkring $13 \mu\text{g l}^{-1}$, hvorefter der har været en stigende tendens til omkring $18 \mu\text{g l}^{-1}$ (*figur 5.5*). I 2014 var DIP på niveau med de senere år. Det skyldes formodentlig, at årets iltsvind kun førte til en begrænset frigivelse af fosfor fra sedimenterne. De relativt høje koncentrationer de seneste 10 år skyldes en stabil til stigende tilførsel fra land, fosforfrigivelse i tilknytning til iltsvind, øgede DIP-koncentrationer i Østersøen og for nogle års vedkommende en stor forårsopblomstring med efterfølgende sedimentation og remineralisering. TP-koncentra-

tionen i 2014 var på niveau med de seneste godt 15 år, og der har ikke været nogen udvikling siden 1997, efter at TP-niveauet faldt ca. 35 % fra 1989 til 1997. Over hele perioden siden 1989 har der været et signifikant fald i TP, men ikke i DIP (tabel 5.1).



Figur 5.5. Årsmiddeldkoncentration ($\pm 95\%$ konfidensgrænser) af DIN, TN, DIP, TP og DSi i bundvandet (≥ 15 m) for de åbne indre farvande (venstre kolonne) og tilsvarende koncentrationer korrigeret for variationer i afstrømning (højre kolonne).

Der har ikke været nogen generel tendens for DSi for perioden som helhed (*figur 5.5*). Niveauet i 2014 ($280 \mu\text{g l}^{-1}$) var både under gennemsnittet for hele perioden ($291 \mu\text{g l}^{-1}$) og de seneste 10 år ($301 \mu\text{g l}^{-1}$). De afstrømningskorrigerede koncentrationer viser et fald i starten af perioden frem til midten af 1990'erne, efterfulgt af en stigning og siden 2002 et nogenlunde konstant niveau.

Forholdet mellem DIN og DIP har været stigende frem til 1999 og derefter faldende til et niveau omkring 7 i de seneste 10 år (*figur 5.3B*). I 2014 var forholdet lidt højere end normalt, hvilket til dels skyldes påvirkningen af vandmasser fra Den Jyske Kyststrøm, som er kendetegnet ved høje koncentrationer af især DIN.

Sammenfatning

- Kvælstofkoncentrationerne i 2014 var generelt lave for fjorde, kyster og åbne indre farvande, med undtagelse af januar-februar og november-december, hvor stor afstrømning fra land gav højere koncentrationer.
- Fosforkoncentrationerne i 2014 var derimod på niveau med de senere år, dog med lave fosfatkoncentrationer i foråret som følge af et større optag grundet de højere vinterkvælstofniveauer.
- På trods af mere udbredt iltsvind i fjorde og kystnære områder i 2014, blev der ikke observeret større koncentrationer af fosfat i sensommeren, hvilket indikerer, at fosforpuljerne i sedimentet er reduceret.
- Den potentielle næringssaltbegrænsning i overfladevandet i den produktive periode var stor i 2014, hvilket skyldes de vindsvage forhold, som har reduceret tilførslerne af næringssalte fra bundvand og sediment.
- Koncentrationerne af organisk P i de åbne indre farvande var usædvanlig høje i anden halvdel af 2014, hvilket formentlig skyldes en akkumulering af opløst organisk stof over sensommeren og efteråret som følge af reduceret opblanding af vandsøjlen.
- Den Jyske Kyststrøm kunne i 2014 tydelig ses som et mellemlag i det nordlige og centrale Kattegat i februar, hvorfra vandmassen spredte sig videre sydover til det sydlige Kattegat i marts, Øresund i april og Storebælt i maj. Selvom nitratkoncentrationen i Den Jyske Kyststrøm er væsentlig lavere end tidligere, så kan denne vandmasse have bidraget til en øget produktion i forårsperioden og øget N/P ratio i bundvandet.
- Udviklingen i de uorganiske kvælstofkoncentrationer er stagneret, hvorimod de organiske kvælstofkoncentrationer fortsat falder. Dette kan betyde, at der fortsat sker en generel reduktion af organisk materiale i de danske farvande.
- Kvælstof- og fosforkoncentrationerne udviser klare faldende tendenser siden 1989, især når der tages højde for år til år variationerne i ferskvandsafstrømningen, dog med en tendens til stagnation for fosfor siden 1998 og et mindre fald for kvælstof siden 2003.
- De aftagende næringssaltkoncentrationer tilskrives i stor udstrækning spildevandsrensning af fosfor og en reduktion i landbrugets kvælstofoverskud. Der er altså en tydelig positiv effekt af den danske indsats. Tilsvarende initiativer i vore nabolande kan have medvirket til de lavere koncentrationer i de åbne farvande.
- Siliciumkoncentrationerne i 2014 var på niveau med de seneste 10-15 år. Et kraftigt fald fra februar til marts måned indikerer, at forårsopblomstringen var domineret af kiselalger.

6 Planteplankton, dyreplankton og vandets klarhed

Hans H. Jakobsen, Stiig Markager & Jacob Carstensen

Planteplankton er det første led i den pelagiske fødekæde og består af små fritsvævende alger. De fungerer som 'planter', idet de indeholder kloroplaster (grønkorn) og benytter solens lysenergi samt næringssalte i vandet til deres vækst. Noget af planteplanktonet ernærer sig dog desuden delvist som 'dyr' ved at æde andre organismer samtidig med de bibeholder mere eller mindre funktionelle kloroplaster. Planteplankton har korte generationstider, ofte kun en til to dage. Derfor reagerer planteplankton meget hurtigt på forhold, der påvirker deres vækst, fx ændrede tilførsler af næringssalte og lysindstråling.



Kiselalgen *Thalassiosira weissflogii*. Grønkornene (indeholder klorofyl *a*) ses som olivengrønne 'kugler', der er koncentreret i hver ende af cellen. Kiselalger er en særligt vigtig gruppe af planteplankton, som er karakteriseret ved at være omgivet af en skal af silikat og ikke kunne bevæge sig af egen kraft. Foto: Hans H. Jakobsen.

Væksten af planteplankton (primærproduktionen), mængden af planteplankton (klorofyl *a* og kulstofbiomasse) og vandets klarhed (sigtdybde) benyttes, sammen med koncentrationerne af næringssalte (se kapitel 5), til at beskrive miljøtilstanden i de frie vandmasser. De tre parametre er kun svagt forbundet indbyrdes. Planteplanktons vækst er den mest følsomme af parametrene i forhold til ændringer i tilførsler af næringssalte. Mængden af planteplankton påvirkes også positivt af tilførslerne af næringssalte, men der er dog langt fra altid en stærk sammenhæng mellem næringssalte og mængden af planteplankton i de frie vandmasser. Dette skyldes, at en betydelig del af planteplanktonet fjernes fra vandsøjlen af græssende dyreplankton eller sedimenterer ned på havbunden. Generelt øges mængden af dyreplankton ved større tilførsler af næringssalte, således at græsningstrykket stiger, og mængden af planteplankton er derfor mindre påvirket af ændringer i tilførsler af næringssalte end væksten. Fordelen ved at anvende mængden af planteplankton som miljøparameter er, at denne parameter er nemmere at måle repræsenteret ved klorofylkoncentrationen. Dog kan forholdet mellem klorofyl og planteplanktons kulstofbiomasse variere mere end 30 gange afhængig af art, lysforhold og tilgængelighed af næringssalte (Cloern *m.fl.* 1995). Det er derfor nødvendigt at vurdere planteplanktonets kulstofbiomasse uafhængigt af klorofyl, samt undersøge hovedgruppernes bidrag til den tidslige variation, for at vurdere effekterne af næringssalte på planteplanktonsamfundet. Vandets klarhed er kun svagt forbundet med mængden af planteplankton i vandet og afspejler primært den samlede mængde af organisk stof (dødt og levende) i vandet. Det skyldes især, at partikler (detritus) spreder lyset, hvilket forøger lysets vej ned gennem vandet, og dermed forøger lysabsorptionen.

nen. Vandets klarhed påvirker forhold som dybdeudbredelsen af bundplanter, placeringen af planteplanktons vækst i vandsøjlen og forholdene for fisk.

Planteplankton er en kilde til ilt i havet, da der dannes ilt i forbindelse med algernes vækst. Dette mindsker risikoen for iltsvind med efterfølgende negative konsekvenser for det marine liv ved bunden. Samtidig med at planteplankton bidrager med ilt, er planteplankton også en kilde til iltforbrug. Det skyldes, at når planktonet sedimenterer ned på havbunden, omsættes det under forbrug af ilt.

Planteplankton opdeles i forskellige grupper. Kiselalger og furealger (dino-flagellater) er de dominerende algegrupper i de fleste danske fjorde og i de åbne farvande. Sedimentation af furealger og især kiselalger fra overfladevandet forsyner bundlevende dyr med betydelige mængder af organisk materiale og er dermed bl.a. grundlaget for kommercielt vigtige arter som fladfisk og jomfruhummer. Nogle arter af planteplankton producerer giftstoffer, der kan akkumuleres i skaldyr og derigennem potentielt forgifte bl.a. mennesker.

I fjorde og lavvandede kystnære områder vil bundlevende organismer som fx blåmuslinger filtrere en betydelig del af planteplanktonet. I de åbne farvande, hvor vandsøjlen oftest er lagdelt, og i kystnære områder i perioder med lagdeling er dyreplankton de vigtigste græssere. Dyreplankton består af både encellede og flercellede dyr. Vandlopper vil ofte dominere det flercellede dyreplankton, men specielt i kystnære områder kan dafnier og larver af bunddyr i perioder være vigtige. I de indre danske farvande er vinterbestanden af vandlopper lille, da hovedparten overvintrer som hvileæg. Når forårsopblomstringen af planteplankton kommer, er temperaturen i havet stadig lav, og udviklingen af vandloppebestanden går derfor langsomt. Det betyder, at vandlopperne kun er i stand til at æde en mindre del af forårsopblomstringen, hvorfor en stor del vil synke til bunden. Det encellede dyreplankton er bedre i stand til at følge forårsopblomstringen af planteplankton og er samtidig ikke udsat for så kraftig prædation fra vandlopper så tidligt på sæsonen. De vil derfor ofte udgøre den dominerende del af dyreplanktonets biomasse i denne periode. Om sommeren, når vandloppebestanden når sit maksimum, og planteplanktonbiomassen samtidig er relativ lav, vil vandloppernes græsning på de encellede dyreplankton være betydelig. Algevæksten og den efterfølgende græsning spiller således en central rolle i det pelagiske økosystem og udgør grundlaget for de højere led i fødekæden, ultimativt fisk, havpattedyr og fugle.

Dyreplankton er et vigtigt led i økosystemet, idet de kobler primærproducererne med dyr højere i fødekæden. I de frie vandmasser bliver dyreplankton spist af fx fiskelarver, sild, brisling og vandmænd, mens dyreplankton i lavvandede områder i højere grad reguleres af bundlevende dyr. Udviklingen i bestanden af dyreplankton er således på samme tid bestemt af faktorer, der styrer deres vækst, primært temperatur og fødekonzentration, og af tabet som følge af prædation fra større dyr.

Metoder og datagrundlag

Analyserne bygger på data fra det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen i perioden 1975-2014 (fra 1989/2004 betegnet NOVA/NOVANA). Data er indsamlet efter retningslinjerne i de tekniske anvisninger for NOVANA for overvågning af plankton (Kaas & Markager 1998, Jakobsen & Fossing 2015, Markager & Fossing 2015).

Data fra den fælles overfladevands-database, ODA, og svenske data fra SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut) er benyttet til at beskrive udviklingen af klorofyl og lyssvækkelse (sigtdybde) fra 1989 og frem til og med 2014. De årlige middelværdier er beregnet som et gennemsnit af alle stationer inden for hhv. åbne indre farvande samt fjorde og kystnære områder. Til beskrivelsen af klorofyl og lyssvækkelse er benyttet samme metode til indeksering, som er brugt i forbindelse med beskrivelsen af næringssalt-koncentrationer, hvor årsmidler er blevet beregnet med en tresidet varians-analyse for hhv. fjorde, kystvande og åbne farvande (*bilag 1*).

Udvikling i kiselalgesammensætningen over tid er normaliseret for løbende at kunne sammenligne år til år variationerne. Metoden er angivet i *bilag 1*.

Algevæksten (primærproduktionen) i vandet måles som planteplanktons optag af kulstof i en eller flere dybder ved en række lysintensiteter. Ud fra disse målinger fastlægges sammenhængen mellem lys og algevækst. Disse data kombineres med målinger af lyssvækkelse og planteplanktons fordeling ned gennem vandsøjlen, således at man får et mål for algevæksten pr. areal af havoverfladen ($\text{mg kulstof m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). De første målinger er fra 1975, og antallet af stationer i måleprogrammet har varieret gennem årene. I 2014 blev der målt på 13 stationer fordelt på 8 stationer i de åbne indre farvande og 5 i fjorde. Det er dog langt fra alle stationer, som er målt i alle år. Da niveauet for primærproduktionen er forskelligt mellem stationer, vil en middelværdi af de absolutte værdier påvirkes af hvilke stationer, som er målt det enkelte år. Dette kan til en vis grad udjævnes ved at beregne produktionen for hver station og år som procent af middelværdien (PP-%) på den pågældende station (*lign. 1*). Derefter beregnes middelværdien af PP-% pr. år for alle stationer i henholdsvis de åbne indre farvande og fjordene. For at vise den tidslige udvikling i absolutte værdier og niveauforskellen mellem fjorde og åbne indre farvande, er PP-% regnet tilbage til enheden ($\text{mg kulstof m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$) i *figur 6.1* og *6.3* ved at gange med den gennemsnitlige produktion for henholdsvis fjorde og åbne indre farvande. De øvrige beregninger for årsproduktionen (*tabel 6.1* og *6.2*) er udført som PP-%.

$$\text{PP-\% (station, år)} = \text{PP (station, år)} / \text{PP-middel (station)} * 100 \quad (\text{lign. 1})$$

I 1998 blev metoden for måling og beregning af primærproduktionen ændret på en række punkter. Effekterne af disse ændringer er en stigning i arealproduktionen på 13 %, baseret på sammenligninger af data beregnet med begge metoder for 2013. Værdier fra før 1998 er derfor øget med 13 %.

Biomassen for flercellet dyreplankton og kiselalger er fejlbehæftede pga. fejl i biomasseberegningerne i databasen, som ifølge NST kan være gældende for visse data fra perioden 2006-2014. Det flercellet dyreplankton indgår derfor ikke i årets havrapport. For encellet dyre-(protozoer) og planteplankton har DCE trukket data udenom de fejlagtige kodninger og selv skrevet de nødvendigt koder til biomasseberegningerne efter retningslinjerne angivet i den tekniske anvisning (*Jakobsen & Fossing 2015*). Denne beregning er udført for alle data efter 2006. Enkelte data fra 2014 er ikke medtaget i beregningerne, da de er tilknyttet stationer, som er fejlindtastet i databasen. Da data for planteplankton derfor afventer genberegning, betyder dette, at data ikke er officielt kvalitetssikret ved rapportens udfærdigelse. Den afsluttende kvalitetsstikring af data for planteplankton vil blive endeligt fortaget, når biomasserne er genberegnet i ODA.

Sæsonvariation i 2014

Klorofylkoncentrationen var i 2014 lavere end langtidsmidlen for både fjorde og kystnære områder samt åbne indre farvande med undtagelse af månederne januar og maj samt oktober og november i de åbne indre farvande (*figur 6.1A og B*). Den højeste månedlige klorofylkoncentration for de åbne indre farvande var i marts med en værdi på $2,9 \mu\text{g l}^{-1}$ (*figur 6.1B*).

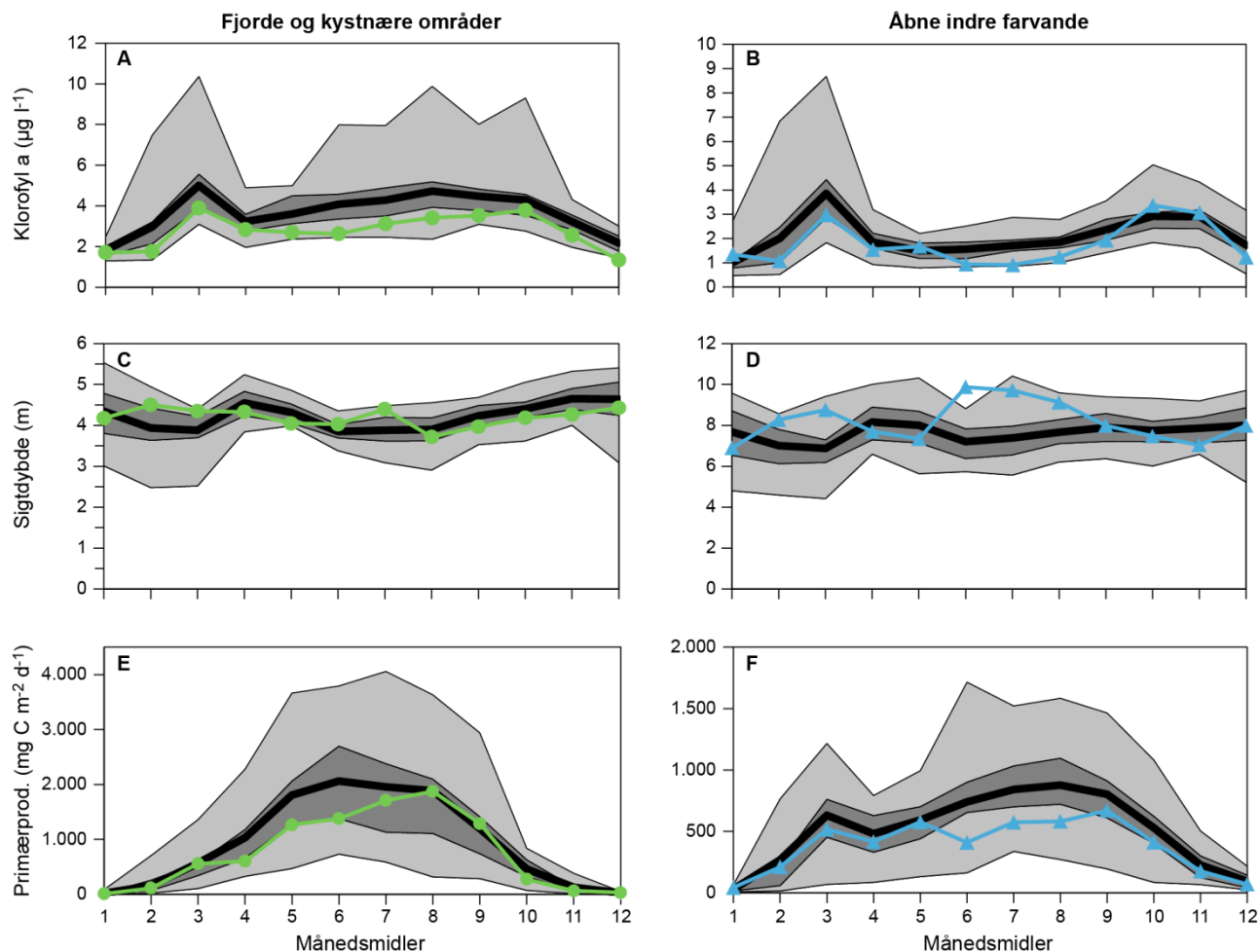
Sigtdybden var højere end langtidsmidlen i februar-marts og juni-juli for alle farvandene og yderligere i august-september for de åbne indre farvande (*figur 6.1C og D*). Det forhøjede klorofylniveau i sommer/tidlig efterår skyldes formodentlig den reducerede opblanding grundet svage vinde, som har givet mulighed for akkumulering af organisk materiale i overfladevandet (se *kapitel 2 og 5*).

Der var ingen signifikant sammenhæng mellem månedlig sigtdybde og klorofylkoncentration for hverken fjorde og kystnære områder eller de åbne indre farvande (resultat ikke vist). Hvilket viser, at andre parametre end klorofyl påvirkede sigtdybden herunder ikke mindst suspenderet dødt organisk materiale.

Den sæsonmæssige fordeling af algevæksten i fjorde og kystnære områder viser, at fra januar til marts fulgte væksten i 2014 middelværdien for hele perioden (*figur 6E*). Fra april til og med juni fulgte væksten den nedre kvartil (25 % percentilen), dvs. markant under middelværdien for hele perioden. I juli nærmede værdierne sig middelværdien for perioden, og fra august og frem lå værdierne ca. på niveau med middelværdien. Dette mønster kan forklares ud fra algevækstens generelle sammenhæng til overfladeindstrålingen og det udbredte iltsvind i 2014 i fjorde og kystnære områder. Fra omkring november til marts var algevæksten primært lysbegrænset. Da overfladeindstrålingen er meget konstant fra år til år (se *kapitel 2 figur 2.3C*), afveg algevæksten i denne periode derfor ikke meget fra langtidsmiddelværdien. Fra april til juli var algevæksten næringssaltbegrænset, idet algevæksten lå omkring den nedre kvartil, hvilket viser, at de gennemførte reduktioner i tilførslerne af næringssalte fra land har reduceret algevæksten. Det udbredte iltsvind i sommer/sensommer 2014 har medført en stor tilførsel af næringssalte fra bunden til vandsøjlen, som har stimuleret algevæksten, der derfor lå på niveau med langtidsmiddelværdien. Det må derfor antages, at uden de gennemførte reduktioner i tilførslen af næringssalte ville algevæksten i 2014 have været betydelig større end langtidsmiddelværdien.

For de åbne farvande er mønsteret det samme, men der ses ikke nogen tydelig effekt af iltsvind. Dette stemmer overens med, at iltsvindet i 2014 hovedsagelig forekom i de kystnære områder. Desuden vil iltsvind i de dybere og lagdelte åbne farvande godt nok tilføre næring fra bunden til vandsøjlen, men næringssaltene når kun i mindre grad op i den øvre belyste del af vandsøjlen og kan derfor ikke stimulere algevæksten før om efteråret, hvor der typisk sker en gradvis opblanding. Kraftigere vinde i længere perioder betyder, at overfladelaget om efteråret gradvist 'gnaver' sig ned i bundlaget og i den proces får tilført næringssalte fra det næringsrige bundvand. Sammenlignet med 2013 viser sæsonfordelingen, at algevæksten i forårsmånederne var betydeligt højere i 2014. Dette må tilskrives en større vinterafstrømning i 2014, især i januar og februar (se *kapitel 2*), som transporterede næringssalte ud i havet, og derved stimulerede algevæksten frem til maj måned, hvor algevæksten var på niveau med langtidsmiddelværdien (*figur 6.2F*).

Samlet viser sæsonfordelingen, at algevæksten er meget følsom for tilførslerne af næringssalte og derfor en god indikator for havmiljøets tilstand. Analysen viser samtidig, at tilstanden generelt er forbedret, idet algevæksten lå under langtidsmiddelværdien en stor del af året. Analysen viser også, at systemet er meget følsomt, og at en høj vinterafstrømning eller udbredt iltsvind om sommeren omgående giver en øget algevækst, som hurtigt ligger tæt på langtidsmiddelværdien.



Figur 6.1. Månedsmidler for 2014 for fjorde og kystnære områder (●, venstre kolonne) og de åbne indre farvande (▲, højre kolonne). Variationen for langtidsmidlen (1989-2013 for sigtdybde og klorofyl, 1975/1977-2013 for primærproduktion) er angivet med minimum og maksimum (lysegrå afgrænsning), nedre og øvre kvartil (mørkegrå afgrænsning) samt middelværdien (fed sort linje).

Tidslig udvikling

Miljøtilstanden i de frie vandmasser var lidt værre i 2014 end i 2013, men var dog stadig bedre end langtidsmiddelværdien for hele perioden. Denne udvikling skyldtes en kombination af høj vinterafstrømning, og dermed højere tilførsler af næringssalte, og udbredt iltsvind i fjorde og kystnære områder udløst af det varme og stille vejr i sommerperioden (se kapitel 2).

Sigtdybde

Middelsigtdybden i 2014 for fjorde og kystnære områder var identisk med den gennemsnitlige årsmiddel for perioden 1989-2013 (4,2 m), men 0,3 m mindre end i 2013 (figur 6.2A). Middelsigtdybden i 2014 for de åbne indre farvande (8,3 m) var også højere end middelsigtdybden for hele perioden 1989-2013 (7,7 m), men også her betydeligt lavere (0,8 m) end i 2013. Det

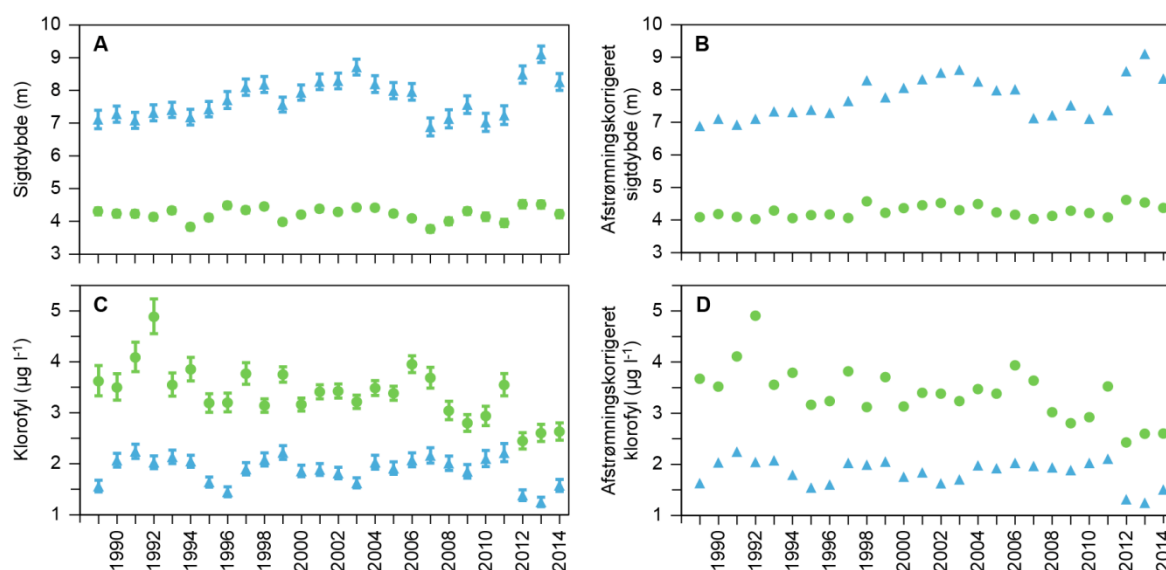
samme mønster gælder også for de afstrømningskorrigerede sigtddybder (figur 6.2B).

Sigtddybden i de åbne indre farvande steg signifikant i tidsperioden fra 1989-2005 ($P < 0,0001$). Den efterfølgende periode fra 2005-2011 var der en aftagende tendens. Denne aftagende tendens blev afbrudt af de høje sigtddybder i 2012, 2013 og 2014, og samlet set er sigtddybde steget signifikant siden 1989 ($P < 0,05$). For fjorde og kystnære områder er billedet anderledes, idet der ikke er en tydelig positiv udvikling over tid. De afstrømningskorrigerede sigtddybder er dog signifikant stigende ($P < 0,05$), dvs. at sigtddybden i dag er højere ved samme afstrømning end tidligere, hvilket antagelig skyldes den lavere tilførsel af næringssalte. Det er tidligere vist for Roskilde Fjord, at der er en signifikant sammenhæng mellem tilførslen af næringssalte og vandets klarhed (Pedersen m.fl. 2014) og for de åbne indre farvande (Lyngsgaard m.fl. 2014).

Klorofyl

Klorofylkoncentrationen var i 2014 markant lavere end middelværdien for perioden 1989-2013, men lidt højere end koncentrationerne i 2012 og 2013 både for fjorde og kystnære områder og de åbne indre farvande (figur 6.2C). Det samme mønster gælder for de afstrømningskorrigerede klorofylkoncentrationer (figur 6.2D).

Den årlige middelkoncentration for klorofyl i fjorde og kystnære områder er faldet signifikant fra 1989 til 2014 ($P < 0,001$). I de åbne indre farvande er der ingen statistisk signifikant tidlig udvikling for perioden, men de afstrømningskorrigerede værdier viser en tendens til et fald ($P = 0,11$).



Figur 6.2. Årsmidler ($\pm 95\%$ konfidensgrænser) for sigtddybde og klorofyl i fjorde og kystnære stationer (●) og i de åbne indre farvande (▲) – afstrømningskorrigerede værdier i højre kolonne.

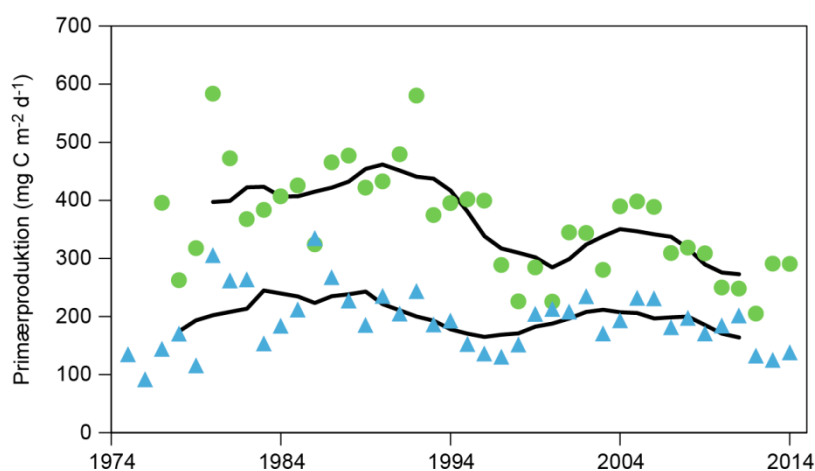
Algevækst (primærproduktion)

Den gennemsnitlige vækst af planteplankton var i 2014 på niveau med 2013 i fjorde og kystnære områder (figur 6.3). Det skyldtes en stigning i Odense Fjord, Roskilde Fjord og Skive Fjord, mens væksten faldt i Ringkøbing Fjord og Mariager Fjord. Stigningen i væksten af planteplankton fra 2012 til 13 er således fastholdt i 2014, men væksten er stadig under langtidsmiddelværdien.

Som det ses af figur 6.1A er det væksten i august og september, som trækker årsmidlen op, hvilket lige som i 2013 antagelig skyldes ret udbredt iltvind i 2014 og deraf følgende frigivelse af næringssalte.

I de åbne områder var væksten af planteplankton en smule højere end i 2013, men stadig på et meget lavt niveau. Tilsvarende lave værdier ikke er observeret siden 1996-97, som var ekstremt tørre år med en meget lille tilførsel af næringssalte. Overordnet viser det, at den meget positive udvikling, med aftagende vækst af planteplankton, fra 2004 og frem stort set er fortsat. På overvågningsstationerne i Øresund og Aarhus Bugt var der et mindre fald i væksten, mens der var en mindre stigning på de øvrige stationer. Som nævnt ovenfor skyldes den lidt højere vækst i 2014 sammenlignet med 2013 en ret høj vinterafstrømning, som stimulerede væksten af planteplankton i forårsmånederne.

Figur 6.3. Årsmidler for algevækst for fjorde og kystnære områder (grøn) og åbne indre farvande (blå). Den sorte linje viser et løbende gennemsnit (år = 7).



Den tidlige udvikling er analyseret vha. lineær regression mellem indeks for algevæksten (arealproduktion) og år i tabel 6.1. For fjorde og kystnære områder har algevæksten været signifikant faldende for hele perioden (1975/77-2014) og for perioder begyndende frem til 1995. Ligeledes for perioden fra 2005 til 2014, hvor faldet var på 4,2 % pr. år ($P < 0,01$). Kun perioden fra ca. 1996 og frem til 2006 var der en stigende tendens, som det også fremgår af figur 6.3. Meget af variationen fra år til år skyldes variationer i afstrømningen, som giver variation i tilførslerne af næringssalte. En analyse af den tidlige udvikling er derfor en svag test for udviklingen og giver kun signifikante resultater over lang tid (se afsnit nedenfor om direkte relationer til kvælstoftilførsler). Sammenlignet med sidste års rapport udviste 10 ud af 16 perioder en signifikant faldende koefficient mod 7 ud af 16 sidste år.

For de åbne farvande er billedet det samme. Her viser perioder fra 1980, 1985, 1998, 2000 og 2005 signifikant faldende produktion med koefficienter fra 1,3 til 5,7 % pr. år (tabel 6.1 og figur 6.3).

De direkte sammenhænge mellem næringssalttilførsler og algervækst er analyseret i tabel 6.2. For fjorde og kystnære områder viser analysen, at algevæksten falder med 0,2 til 0,4 % pr. procent reduktion i kvælstoftilførslerne. Koefficienterne er signifikante for perioden 1984-2014 og 1990-2014 (flere datapunkter, dvs. længere årrække, giver en stærkere test og dermed bedre mulighed for en signifikant sammenhæng). For de åbne indre farvande er koefficienten for kvælstof signifikant for alle tre perioder og med ca. samme koefficienter som for fjorde og kystnære områder. Analysen dokumenterer

således en sammenhæng mellem danske tilførsler af kvælstof og algevæksten i danske farvande i overensstemmelse med andre studier (*Dinesen m.fl. 2011; Lyngsgaard m.fl. 2014*). Sammenlignet med analysen i sidste års rapport er fem ud af seks koefficienter signifikante mod to sidste år, og koefficienterne er steget med i gennemsnit 0,08 % pr. % eller næste 50 % i forhold til sidste års koefficienter. Dette viser, at den positive sammenhæng mellem algevækst og kvælstoftilførsler ser ud til at blive stærkere. Det skyldes delvist, at der i 2014 er et års mere data end i 2013, men mere sandsynligt, at det biologiske system reagerer kraftigere på en reduktion, når systemet bliver næringsbegrænset i en længere del af vækstsæsonen (se nærmere om nærings-saltbegrænsning i *kapitel 5*).

Tabel 6.1. Statistisk analyse af den tidlige udvikling i algevæksten. Koefficienten for udviklingen over tid (procent af middelværdi for hele perioden / år^{-1}) og signifikans er angivet for henholdsvis fjorde og de åbne indre farvande for de angivne årstal og frem til 2013. Statistisk signifikante trends er fremhævet med gråtone.

Periode	Fjorde		Åbne indre farvande	
	Ændring/år (%)	Signifikans (P-værdi)	Ændring/år (%)	Signifikans (P-værdi)
Alle data, se figur 6.3	-1,25	>0,0001	-0,29	0,45
1980 >	-1,76	0,0001	-1,32	0,001
1985 >	-1,88	0,0001	-1,37	0,004
1990 >	-2,11	0,009	-0,81	0,12
1995 >	-0,98	0,16	-0,20	0,79
1998 >	-0,40	0,65	-1,83	0,04356
2000 >	-1,38	0,18	-2,98	0,002
2005 >	-4,22	0,01	-5,70	0,001

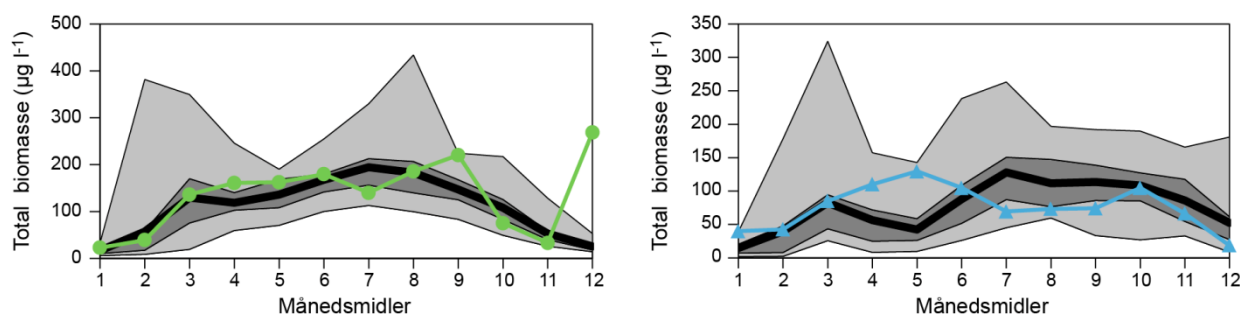
Tabel 6.2. Statistisk analyse af sammenhængen mellem kvælstoftilførsler, lys og algevæksten med koefficienter og P-værdier for fjorde og de åbne indre farvande for de angivne årstal og frem. Statistisk signifikante trends er fremhævet med gråtone.

	Fjorde				Åbne indre farvande			
	N-koef.	P-værdi	Lys-koef.	P-værdi	N-koef.	P-værdi	Lys-koef.	P-værdi
1984 >	0,37	0,003	0,86	0,26	0,28	0,018	-0,11	0,89
1990 >	0,31	0,014	1,57	0,09	0,23	0,026	0,53	0,47
1998 >	0,23	0,150	2,03	0,02	0,42	0,020	1,22	0,16

Planteplankton i 2014

Månedsmidler for kulstofbiomassen af planteplankton i fjorde og kystnære områder i 2014 fulgte overordnet gennemsnittet for perioden 1989-2013 (*figur 6.4*). I 2014 var der dog ikke det typiske fald i biomassen umiddelbart efter forårsopblomstringen. Desuden var kulstofbiomassen høj i september. Månedsmidlen for december er baseret på en enkelt høj prøve indsamlet i Vadehavet, hvorfor biomassebestemmelsen for december ikke er et udtryk for den gennemsnitlige status i fjorde og kystnære områder.

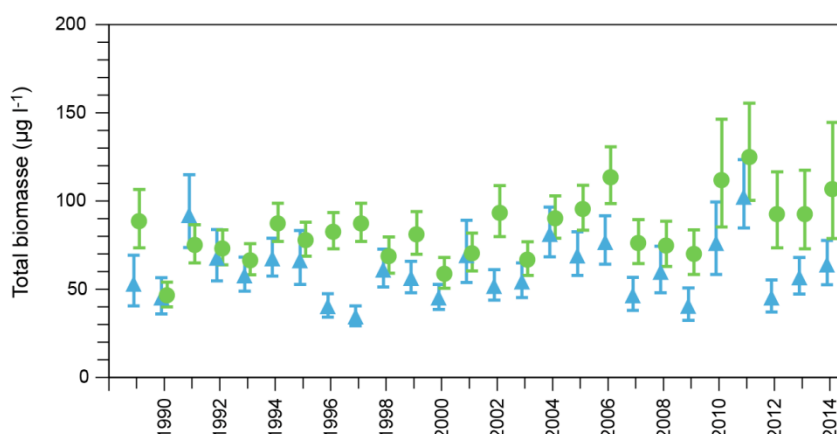
De tilsvarende månedsmiddelværdier for de åbne havområder viste ligeledes forhøjede værdier i de sene forårmåneder (april og maj), mens de øvrige måneder var på niveau eller under hele periodens middelværdier (*figur 6.1*). De forhøjede biomasser i den sene del af foråret kan for de åbne indre farvande og muligvis også for fjorde og kystnære områder forklares med de forhøjede tilførsler af kvælstof hydrørende vandmasser fra Den Jyske Kyststrøm ind i Kattegat og videre ind i Øresund og det nordlige Lillebælt ved Griben i april og maj 2014 (se *kapitel 5*).



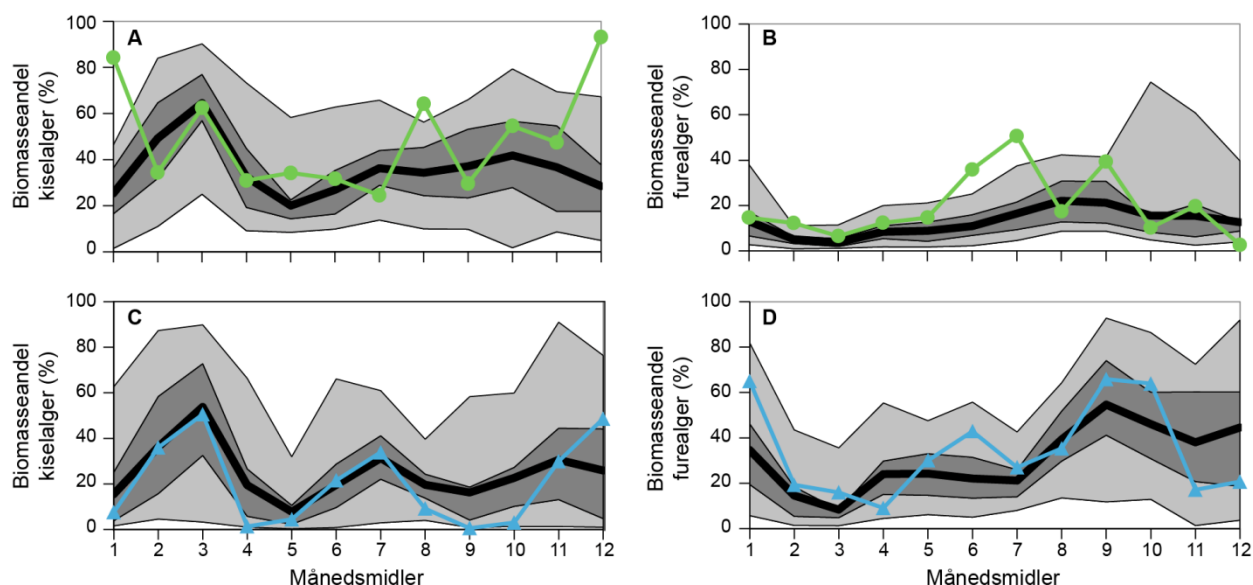
Figur 6.4. Kulstofbiomasse af planteplankton angivet som månedsmidler for 2014 for fjorde og kystnære områder (●, venstre kolonne) og de åbne indre farvande (▲, højre kolonne) angivet i µg kulstof l⁻¹. Variationen for langtidsmidlen (1989-2013) er angivet med minimum og maksimum (lysegrå afgrænsning), nedre og øvre kvartil (mørkegrå afgrænsning) samt middelværdien (fed sort linje).

Årsmiddelbiomassen i fjorde og kystnære områder viser en mindre men signifikant stigning for perioden 1989-2014 (lineær regression, $P < 0,01$), hvorimod der ikke er sket nogen signifikant udvikling i biomassen i de åbne indre farvande (lineær regression, $P > 0,5$) (figur 6.5). De stigende biomasser i fjorde og kystnære områder står i kontrast til de faldende klorofylniveauer. Ud fra de foreliggende data er der ikke nogen umiddelbar forklaring på de modsatte tendenser for klorofyl og biomasse.

Figur 6.5. Årsmidler $\pm$ 95 % konfidensgrænser for biomassen af planteplankton for fjorde og kystnære stationer (●) og de åbne indre farvande (▲).



Fordelingen mellem kiselalger og furealger giver information om planteplanktons vækstbetingelser. For eksempel foretrækker furealger lav turbulens og lagdeling af vandsøjlen, mens kiselalger foretrækker høj turbulens og fuld opblandet vandsøjle. Undersøgelser har indikeret, at der er sket en løbende forskydning mod større biomasser af furealger på bekostning af kiselalger i dele af Østersøen (Wasmund *m.fl.* 2008; Wasmund *m.fl.* 1998). I lyset af klimaændringer samt de reducerede tilførsler af kvælstof og fosfor er det derfor relevant at undersøge forholdet mellem kiselalger, furealger og den totale kulstofbiomasse i fjorde og kystnære områder og i de åbne indre farvande.

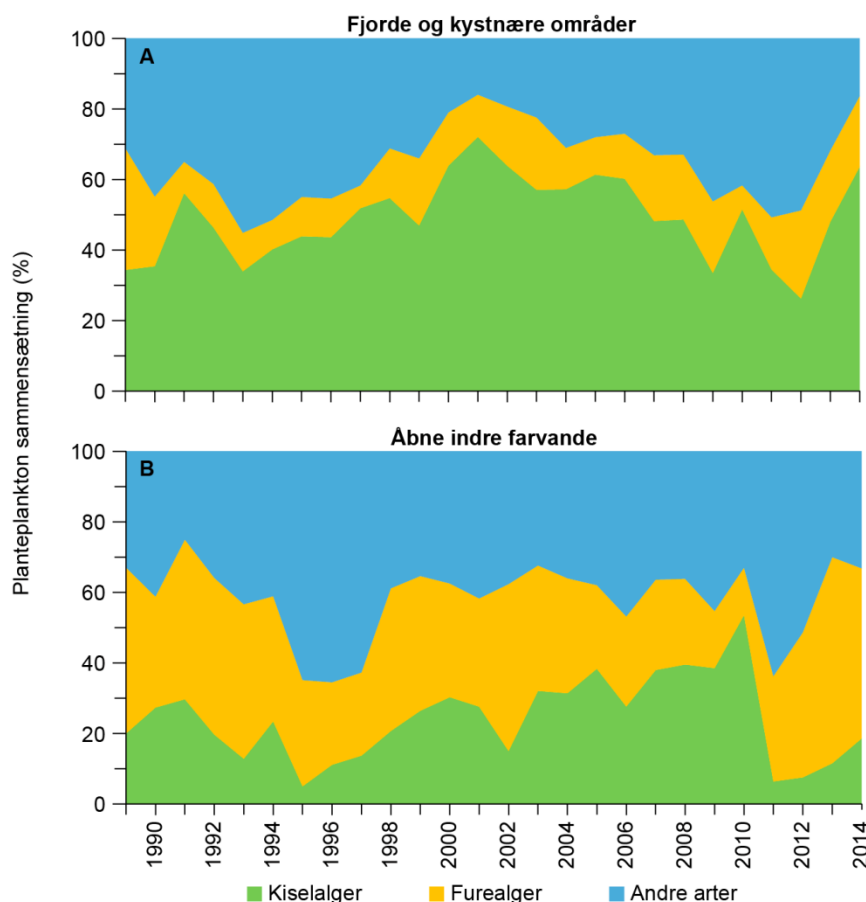


Figur 6.6. Sæsonvariation i bidraget af kiselalger (A, C) og furealger (B, D) til den totale kulstofbiomasse i 2014 for fjorde og kystnære områder (●, øverste række) og de åbne indre farvande (▲, nederste række) angivet i % af den totale biomasse af planteplankton. Variationen for langtidsmidlen (1989-2013) er angivet med minimum og maksimum (lysegrå afgrænsning), nedre og øvre kvartil (mørkegrå afgrænsning) samt middelværdien (fed sort linje).

Den procentvise månedsfordeling af kiselalger og dinoflagellater fulgte i store træk den gennemsnitlige månedsfordeling for periode 1989-2013 i fjorde og kystnære områder samt i de åbne indre farvande (figur 6.6). Det typiske forløb er en kiselalgeopblomstring om foråret og en mindre opblomstring om efteråret. Modsat kiselalgerne, har furealgerne deres dominans i sommer/sensommermånedene (juni/juli-august) i fjorde og kystnære områder (figur 6.6B) og i efterårsmånedene (september og oktober) i de åbne indre farvande, hvor deres biomasse i 2014 udgjorde 60 % af den samlede planteplanktons biomasse (figur 6.6D). Kiselalgerne andel var høj i vintermånedene i fjorde og kystnære områder (figur 6.6A), hvor der var meget vind (se kapitel 2) - dog med forbehold for et beskedent datagrundlag for plankton i januar. Forekomsten af furealger i sommermånedene (juni og juli) i 2014 i fjorde og kystnære områder var over månedsmidlen for perioden 1989-2013, hvilket kan skyldes den reducerede turbulens som følge af svag vind i disse måneder (se kapitel 2). I august måned blæste det lidt mere op (se kapitel 2), hvilket favoriserede kiselalgerne i forhold til furealgerne.

Den relative fordelingen mellem kiselalger, furealger og andre arter beregnet som årsmiddelværdier i perioden 1989-2014 viser, at kiselalger udgør 30-70 % af den samlede biomasse i fjorde og kystnære områder (figur 6.7A) og mellem 5-50 % i de åbne indre farvande (figur 6.7B). Kiselalgerne bidrag til 'planteplankton' sammensætningen var for året 2014 ganske høj (ca. 60 %) i fjorde og kystnære områder, mens den var i den lave ende (ca. 15 %) i de åbne indre farvande.

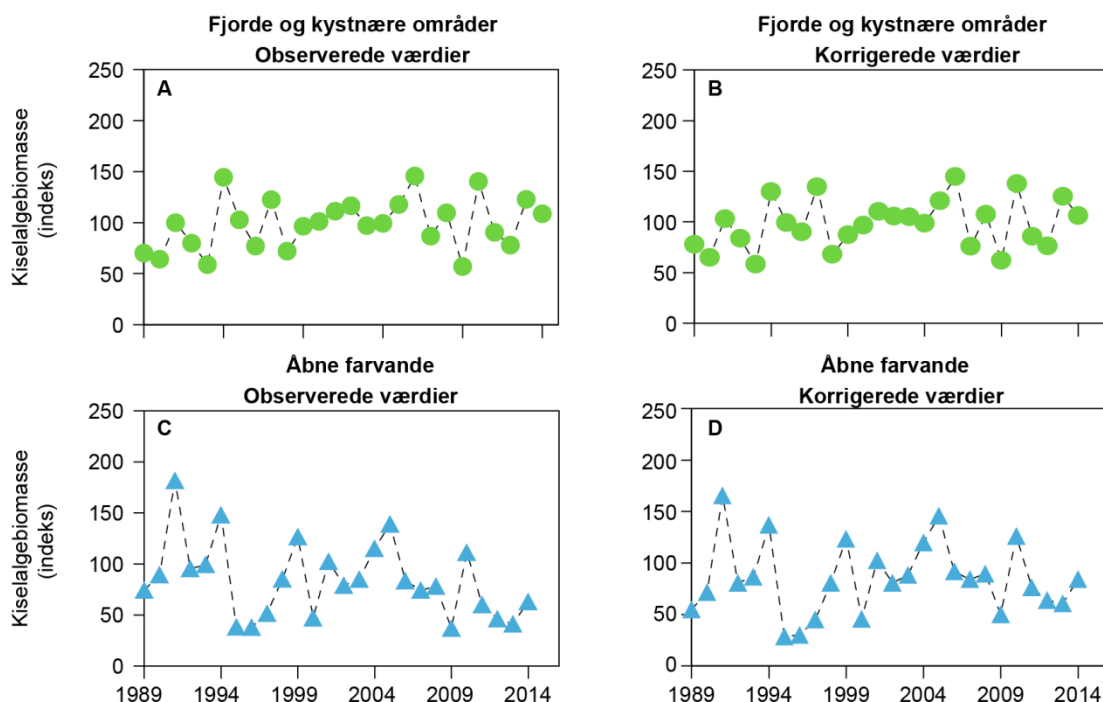
Figur 6.7. Årsmiddel (% biomasse) sammensætning af kiselalger, furealger samt andre arter for perioden 1989-2014. Øverst (A) er fjorde og kystnære områder. Nederst (B) er de åbne indre farvande.



Ændring i planteplanktonsamfundets sammensætning kan have betydning for dyreplankton, der lever af planteplankton. Kiselalger forbindes traditionelt med den klassiske fødekæde, hvor algerne ædes af store vandlopper, der tjener som vigtig fødekilde for fisk, mens andre, ofte mindre bevægelige planteplanktonarter, i højere grad ædes af små encellede dyreplankton.

Indekset for kiselalgerne biomasse har ikke været stigende i perioden 1989-2014 (*figur 6.8A*, $P > 0,1$). Korrektionen af kiselalgebiomassen for afstrømning resulterede i værdien 108 i 2014, dvs. meget tæt på gennemsnittet for perioden (*figur 6.8B*). Det afstrømningskorrigerede kiselalgeindeks varierede meget fra år til år, og der var ikke nogen statistisk signifikant trend (*figur 6.8B*, $P > 0,2$).

I de åbne indre farvande var kiselalgeindekset i 2014 på 63. Selvom indekset var væsentligt lavere i 2014 end den gennemsnitlige værdi, så har der ikke været noget signifikant fald i perioden 1989-2014 (*figur 6.8C*, $P > 0,2$). Det afstrømningskorrigerede algeindeks steg ca. 25 % til 84 i 2014 (*figur 6.8D*). På trods af korrektionen for afstrømning var der ingen statistisk signifikante ændringer i kiselalgeindekset for perioden i de åbne indre danske farvande ($P > 0,90$).



Figur 6.8. Kiselalgeindekset (se nærmere i *bilag 2*) i fjorde og kystnære områder eksklusiv Ringkøbing Fjord (●) og i de åbne indre farvande (▲). Venstre figurkolonne viser data, der ikke er korrigeret for afstrømning, og højre kolonne viser data korrigeret for afstrømning. Ringkøbing Fjord er udeladt fra sammenstillingen, da der midt i 1990'erne skete et markant strukturskifte i fjorden som følge af ændret slusepraksis, hvilket medførte drastiske ændringer i artssammensætningen.

Der er i overvågningsperioden sket ændringer i sammensætningen af planteplankton. Kiselalgerne bidrag til den samlede biomasse af planteplankton har varieret fra år til år (specielt i de åbne farvande), men der har været et signifikant stigende bidrag af kiselalger til den totale biomasse af planteplankton i fjorde og kystnære områder, hvilket ikke har været tilfældet i de åbne indre farvande. Det skal bemærkes, at den stadigt stigende andel af kiselalger i fjorde og kystnære områder er i modsætning til den forventede udvikling som følge af de klimabetingede ændringer i afstrømning og temperatur, der forudsiger en stigende andel af furealger på bekostning af kiselalger (*Wasmund m.fl.* 1998).

Potentielt toksisk og på anden måde skadeligt planteplankton i 2014

Potentielt toksiske alger er medlemmer af furealge-slægten *Dinophysis*. Der blev indrapporteret forekomster af *Dinophysis acuminata* og *Dinophysis norvegica* i flere tilfælde i 2014, hvoraf størstedelen var *Dinophysis acuminata*. Begge arter producerer toksiner, som via opkoncentrering i eksempelvis muslinger kan forårsage diarré (Diarrhetic Shellfish Poisoning, DSP). Giftigheden varierer generelt meget, og der er for *Dinophysis acuminata* rapporteret effekter relateret til konsummuslinger ved cellekoncentrationer fra omkring 200 celler pr. l⁻¹ (*Lassus m.fl.* 1985). I de fleste tilfælde var forekomsten lavere end grænseværdierne for muslingefiskeriet (500 og 1.000 celler l⁻¹ for hhv. *D. acuminata* og *D. norvegica*).

I 2014 blev der i NOVANA-programmet i de åbne indre farvande for *Dinophysis acuminata* målt > 500 celler l⁻¹ i begyndelse af april ud for Sjællands Odde og > 1.000 celler l⁻¹ ved Bornholm (1.500 celler l⁻¹) og ud for Frederikshavn (1.800 celler l⁻¹) midt i maj. Koncentrationen faldt derefter ved Frederikshavn, men var igen høj midt i juni.

I fjorde og kystnære områder var der i Skive Fjord og Løgstør Bredning opblomstringer af *Dinophysis acuminata* til koncentrationer > 500 celler l^{-1} . Især Skive Fjord var plaget af høje koncentrationer (> 20.000 celler l^{-1}) fra midten af juni til hen mod månedens slutning. Herefter aftog mængden til ca. 5.000 celler l^{-1} i midten af juli og efterfølgende 2.500 celler l^{-1} i slutningen af juli. Ligeledes observeredes høje koncentrationer af *Dinophysis acuminata* og *Dinophysis norvegica* (1.700 celler l^{-1}) i Aarhus Bugt i juli 2014.

Andre potentielt toksiske furealger findes i slægten *Alexandrium*. Rapporteringer om forekomsten af denne slægt er i 2014 begrænset til *Alexandrium pseudogonyaulax*. Giftigheden af *Alexandrium pseudogonyaulax* er ukendt, og den producerer så vidt vides ikke PSP (PSP, Paralytic Shell fish Poisoning) og har derfor minimal betydning for mennesker. *A. pseudogonyaulax* er mixotrof og græsser på planteplankton (Blossom *m.fl.* 2012), og den anvender gift til at immobilisere eksempelvis andre furealger, som derefter fortæres. I NOVANA-programmet blev den kun observeret i koncentrationer over 1.000 celler l^{-1} i juli i Skive fjord (2.200-11.345 celler l^{-1}) fra slutningen af juni til slutningen af juli og 5.105 celler l^{-1} i Løgstør Bredning 1. juli. I de åbne indre danske farvande var observationerne sporadiske og få. Disse koncentrationer er dog markant lavere end de cellekoncentrationer på 25.000 celler l^{-1} , som er påvist at have en tydelig akut toksisk motilitets-effekt på planteplankton inden for 30 minutter (Blossom *m.fl.* 2012). Desværre kendes effekten af længerevarende påvirkningen af naturlige koncentrationer af *Alexandrium pseudogonyaulax* på fødekæden ikke, og der mangler systematiske studier, der adresserer effekten på fx fisk og dyreplankton. Overordnet var forekomsten af slægten *Alexandrium* i 2014 ikke alarmerende i hverken de åbne indre farvande eller i fjorde og kystnære områder.

Dyreplankton

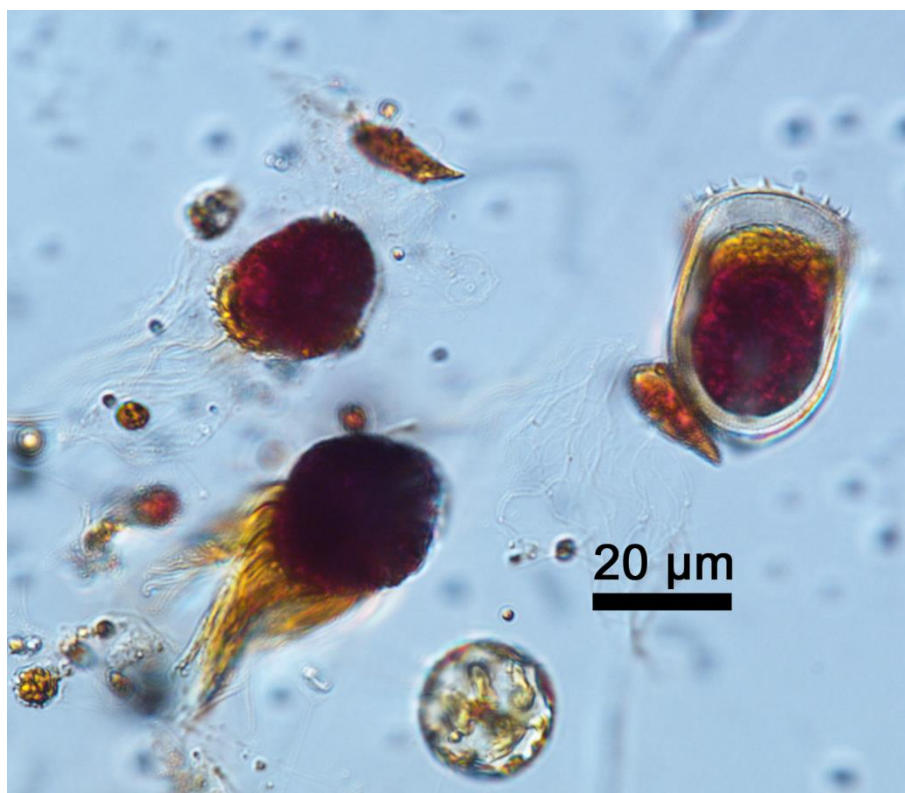
Det flercellede dyreplankton er ikke medtaget i dette års havrapport pga. af problemer med beregning af biomasse.

Det encellede dyreplankton (mikro-dyreplankton) består af ciliater og af en række andre grupper, blandt andet de relativt store heterotrofe furealger og en række mindre flagellater.

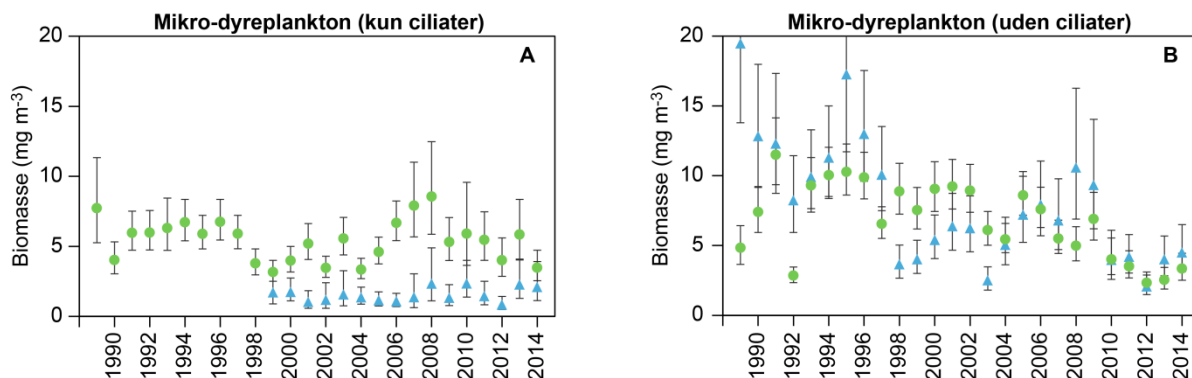
Mikro-dyreplankton har en nøglerolle i transporten af primærproduktionen til de højere trofiske niveauer i fødekæden. Dette gør sig i særdeleshed gældende i sommerperioden, hvor planteplanktoncellerne er små og få og derfor ikke vandloppernes foretrukne bytte. Data på mikro-dyreplankton er derfor fokuseret på sommerbiomassen.

Et stadig større antal arter af især furealger, der førhen blev klassificeret som autotrofe, erkendes i stigende omfang som mixotrofe. Det må derfor antages, at biomassen af heterotrof encellet dyreplankton reelt er større end den beregnede.

Figur 6.9. Samling af ciliater og heterotrofe furealger (formentlig *Gymnodinium spirale*) fikseret i Lugol. De heterotrofe furealger kendes på deres 'feeding filaments', der bruges til at fange og optage bytte. Nederst ses en centrisk kiselalge med spredte grønne kloroplaster. Foto: Hans H. Jakobsen.



I sommeren 2014 var biomassen af ciliater ($3,5 \text{ mg C m}^{-3}$) som i de tidligere år større i fjorde og kystnære områder end i de åbne indre farvande ($2,1 \text{ mg C m}^{-3}$) (figur 6.10A). For det øvrige mikro-dyreplankton er biomasserne 53 % større i de åbne indre farvande ($4,5 \text{ mg C m}^{-3}$) end i fjorde og kystnære områder ($3,4 \text{ mg C m}^{-3}$). I forhold til det øvrige mikro-dyreplankton udgjorde ciliaterne ca. 50 % af den samlede biomasse i fjorde og kystnære områder, mens andelen af ciliater i de åbne farvande udgjorde 31 % af den samlede biomasse.



Figur 6.10. Udviklingen i den gennemsnitlige sommerbiomasse (mg m^{-3}) for mikro-dyreplankton i fjorde og kystnære områder (●) og i de åbne indre farvande (▲). Figurerne angiver hhv. biomassen af ciliater (A) og det øvrige mikro-dyreplankton (B).

Siden 2008 er biomassen af ciliater faldet med ca. 41 % i fjorde og kystnære områder og 11 % i de åbne indre farvande (figur 6.10A). For denne gruppe gælder det ligeledes, at biomassen er faldet siden 2008 (57 % i de åbne indre farvande og 33 % i fjorde og kystnære områder). Ciliater har typisk hurtigere vækstrater end de heterotrofe furealger, der udgør hovedparten af det øvrige mikro-dyreplankton (Hansen m.f. 1997; Jakobsen & Hansen 1997). Ciliater æder mindre bytte end fx heterotrofe furealger, der er en anden vigtig mikro-dyreplanktongruppe (Hansen m.fl. 1994).

Når biomasserne af både ciliater og det øvrige mikro-dyreplankton er faldet siden 1989, kan det skyldes to ting. Enten er prædationstrykket fra mesozooplankton (typisk vandløpper) steget, eller også er fødegrundlagene mindsket. Der er for nærværende ikke tilstrækkelig data til rådighed for mesozooplankton til at kunne be- eller afkræfte den første mulighed. Men mængden af klorofyl er faldet de senere år, hvilket kan afspejle en ændring/fald i fødegrundlaget for mikro-dyreplankton og dermed forklare faldet i biomassen af mikro-dyreplankton.

Sammenfatning

- Forholdene i de frie vandmasser var sammenlignet med 2013 lidt dårligere i 2014 med mere uklart vand, højere klorofylkoncentrationer, mens væksten af planteplankton var på niveau med 2013. De lidt dårligere forhold skyldtes en stor afstrømning/næringssalttilførsel i januar og februar samt varmt og stille vejr i juli, som gav udbredt iltsvind i fjorde og kystnære områder.
- I 2014 var der lige som i 2012 og 2013 en relativ høj sigtddybde (klart vand) både i fjorde og kystnære områder og i de åbne indre farvande. Sigtdybden er steget signifikant siden 1989 både i fjorde og kystnære områder (dog kun for de afstrømningskorrigerede værdier) og i de åbne indre farvande.
- I 2014 var der lige som i 2012 og 2013 en relativ lav koncentration af klorofyl både i fjorde og kystnære områder og i de åbne indre farvande. Klorofyl er faldet signifikant siden 1989 i fjorde og kystnære områder, mens der ikke har været nogen signifikant udvikling i de åbne indre farvande.
- Biomassen er steget lidt men signifikant siden 1989, hvilket er i kontrast til udviklingen for klorofyl. Der er ikke nogen umiddelbar forklaring på de modsattede tendenser for biomasse og klorofyl.
- Algevæksten i 2014 var omtrent på niveau med 2013 og bekræfter således den generelt positive udvikling med en aftagende algevækst siden ca. 2004. I fjordene var væksten størst i sensommeren pga. næringssaltfrigtelse forårsaget af iltsvind, og i de åbne farvande var væksten forøget i forårmånederne pga. en stor vinterafstrømning af ferskvand fra land.
- Der var et signifikant fald i algevæksten over tid for alle områder med 1-2 % pr. år stigende til 4-5 % over de seneste 10 år.
- Der var en signifikant sammenhæng mellem algevækst og kvælstoftilførsler, således at algevæksten faldt 0,2-0,4 % pr. procent fald i kvælstoftilførslen.
- Biomassen af planteplankton er steget svagt men signifikant i perioden 1989-2014 i fjorde og kystnære områder, mens biomassen har varieret omkring et konstant niveau i de åbne indre farvande.
- Kiselalgerne andel af den samlede kulstofbiomasse af planteplankton har været stigende i fjorde og kystnære områder i perioden 1989-2014, hvorimod der ikke har været nogen trend for kiselalgerne andel i de åbne indre farvande.
- Slægten *Alexandrium*, der i visse tilfælde kan have skadelige økofysiologiske effekter, spiller en minimal rolle i det pelagiske stofkredsløb. Derimod blev der observeret meget høje koncentrationer af *Dinophysis acuminata* (> 20.000 celler l⁻¹) i Limfjordsområdet i sommeren 2014. Desuden blev der målt koncentrationer over de anbefalede niveauer for skaldyrssfiskeri i Aarhus Bugt, nordlige Kattegat ud for Frederikshavn, samt ved Bornholm i forsommeren og sommeren 2014.
- Årsmiddel biomasserne af mikro-dyreplankton var fortsat lave i 2014.

7 Iltforhold

Jens Würgler Hansen & Jacob Carstensen

Iltsvind er et naturligt fænomen, som forøges i hyppighed, udbredelse, varighed og styrke som følge af eutrofiering (forøget tilførsel af næringssalte fra land og atmosfære) og klimaforandringer. Iltsvind opstår, når iltforbruget i bundvandet er større end ilttilførslen. Iltforbruget skyldes bunddyrs samt bakteriers og andre mikroorganismers respiration ved nedbrydning af organisk stof i vand-

søjlen og sedimentet, og forbrugets størrelse afhænger af mængden og nedbrydeligheden af det organiske stof og af temperaturen. Eutrofiering fører til øget produktion af planteplankton, som synker til bunds og omsættes mikrobielt. Derved stiger iltforbruget, og der kan udvikles iltsvind ved bunden. Klimabetinget temperaturstigning øger også risikoen for iltsvind pga. øget respiration og mindre opløselighed af ilt i vand ved højere temperaturer. Ilttilførslen til bundvandet er først og fremmest styret af vejrforholdene, som er afgørende for omrøringen af vandsøjlen og vandudskiftningen nær bunden. Manglende omrøring kan føre til lagdeling af vandsøjlen og utilstrækkelig ilttilførsel til bunden. Iltsvind opstår derfor typisk i forbindelse med stille, varme perioder med temperaturlagdeling af vandsøjlen, og/eller ved saltlagdeling som følge af indtrængende saltere og tungere bundvand eller ferskere og lettere overfladevand. Længerevarende isdække kan også afkoble ilttilførslen til bundvandet og forårsage iltsvind. Overordnet betragtet er det således eutrofieringen, som skaber grundlaget for iltsvind i et omfang ud over det naturlige, mens det er de klimatiske forhold, som udløser det og er afgørende for år til år variationen i iltvindets geografiske fordeling.



Masseforekomst af den heterotrofe morildflagellat *Noctiluca scintillans* (furealge) i Limfjorden i starten af juli 2014 i forlængelse af iltsvind. Foto: Hans Kielsen.

I Danmark betegnes det som *iltsvind*, når iltkoncentrationen i vandet er 4 mg l^{-1} eller lavere og som *kraftigt iltsvind*, når koncentrationen er under 2 mg l^{-1} – niveauet mellem 2 og 4 mg l^{-1} kaldes for *moderat iltsvind*. Iltsvind forekommer oftest fra juli til november. Iltindholdet i bundvandet er af afgørende betydning for livsbetingelserne for bundplanter, bunddyr og bundlevende fisk. Iltsvind påvirker desuden stofomsætningen og biogeokemien i havbunden og dermed den interne belastning med næringssalte, dvs. frigivelsen af næringssalte fra havbunden til vandfasen. Ved moderat iltsvind søger mange fisk og mere mobile bunddyr væk fra de ramte områder, og under længere perioder med kraftigt iltsvind begynder bunddyrene at dø. Kraftigt iltsvind kan også opstå pludseligt, hvis vind og strøm flytter iltfattigt vand fra et område til et andet, hvorved bunddyr og fisk kan blive fanget i det iltfattige vand. Hvide belægninger af svovlbakterier på havbunden – det såkaldte liglagen – viser, at havbunden er helt uden ilt. I den forbindelse kan der sammen med metanbobler (bundvending) frigives svovlbrinte, som er så giftig, at den slår de fleste tilstedeværende bunddyr og fisk ihjel. Når bunddyrene dør, forsvinder ikke bare fiskenes fødegrundlag, men også bunddyrenes fysiske aktivitet i havbunden (bioturbation), der er vigtig for at holde havbunden velil-

tet og dermed reducere den interne belastning med næringssalte. Der kan gå mange år efter et kraftigt og langvarigt iltsvind, før der igen er etableret et samfund af bunddyr med normal aldersfordeling, artssammensætning og individantal.

Metoder og datagrundlag

Iltindholdet måles med iltsensor og ved Winkler-analyse af vandprøve efter retningslinjerne i de tekniske anvisninger til det nationale overvågningsprogram (Vang & Hansen 2015). Hvis forskellen mellem de to målemetoder er stor, korrigeres sensormålingerne i forhold til Winkler-målingerne. Gennemsnitlige iltkoncentrationer i bundvandet for iltsvindsperioden (juli-november) er beregnet på baggrund af målinger på NOVA/NOVANA-stationer med et veldefineret springlag ($\Delta \sigma_T > 0,5$ for fjord- og kyststationer, og $\Delta \sigma_T > 1$ for stationer i åbne indre farvande). Middelverdierne er korrigeret for forskelle mellem stationer, måneder og prøvetagningsdybder ved statistisk modellering. Stationerne er opdelt i fjorde og kystnære områder og i de åbne farvande.

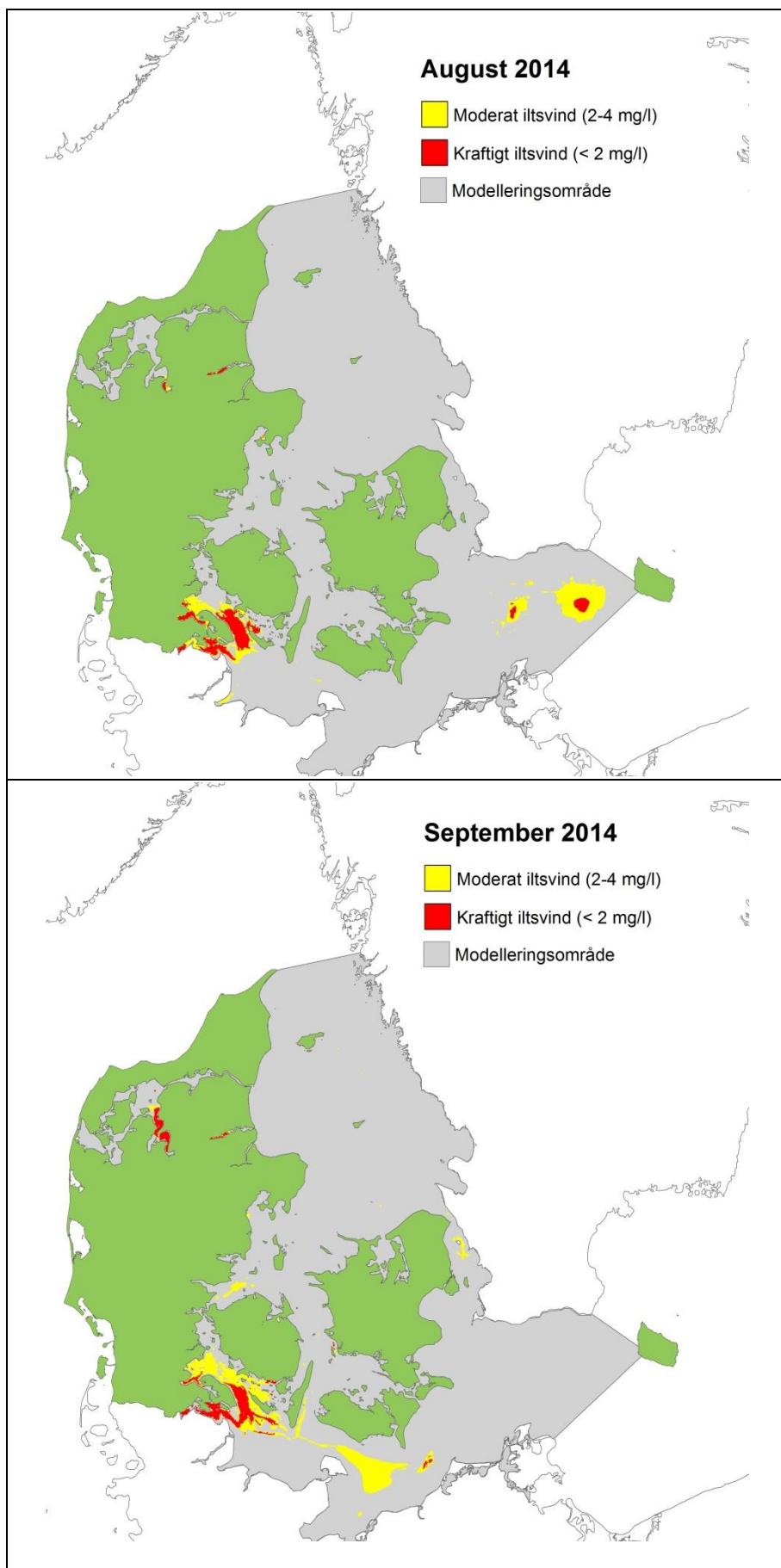
Iltsvindets arealudbredelse er beregnet med en dybdemodel, som angiver iltsvindets udstrækning baseret på iltprofiler målt på en lang række stationer og dybdeforholdene i farvandene.

Året 2014

En varm sommer med svage vinde betød, at iltsvindet i 2014 fik en udbredelse som i 2013, men større end i perioden 2010-2012. Vandtemperaturerne var fra forårets start markant over normalen, hvilket var medvirkende til, at iltsvindet i 2014 startede usædvanlig tidligt og tidligere end i 2013 i en del områder (*kapitel 2*). Desuden styrkede de generelt svage vinde og høje saltholdigheder i bundvandet lagdelingen af vandsøjlen og hæmmede dermed tilførslen af ilt til bundvandet (*kapitel 2*). Kombinationen af usædvanlig høj temperatur og svage vinde i juli bevirkede, at iltsvindet udviklede sig meget markant i løbet af sommeren. Midt i august var der kraftigt vind, hvilket forbedrede iltforholdene betydeligt. Men en ny periode med svage vinde betød, at iltsvindet atter bredte sig i de fleste områder i starten af september. Ud over at starte meget tidligt var årets iltsvind også kendetegnet ved at slutte meget sent. Ved afslutningen af iltsvindsrapporteringen 20. november var der fortsat iltsvind i en del områder, og der blev målt iltsvind i Lillebælt og Det Sydfynske Øhav så sent som i december.

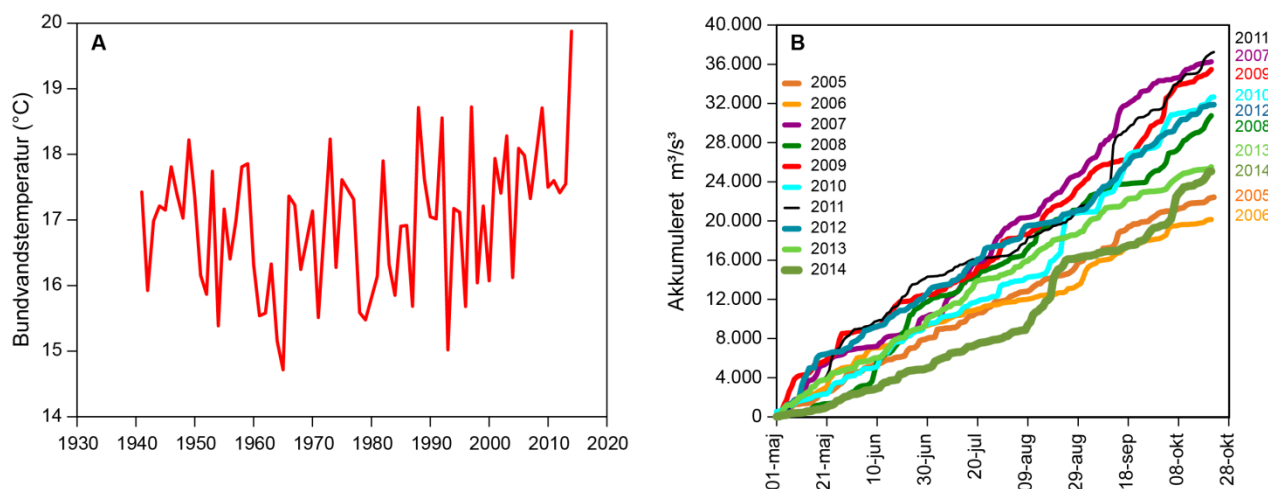
Iltsvindet i 2014 forekom hovedsageligt i fjorde og kystnære områder, men der var også udbredt iltsvind i Østersøen omkring Bornholm. I juli, august, september og oktober var flere områder hårdt ramt af iltsvind (*figur 7.1*, august og september). Nogle steder var der kraftigt iltsvind, iltfrit i bundvandet og frigivelse af giftig svovlbrinte fra havbunden. Der blev registreret døde fisk og bunddyr samt beskadigede bundplanter i de værst ramte områder. Limfjorden, Mariager Fjord, Det Sydfynske Øhav og det sydlige Lillebælt med tilstødende fjorde var særlig berørt af iltsvind. De klimatiske forhold i 2014 minder om situationen i 2008 bortset fra, at vandtemperaturerne var noget højere i 2014 (*kapitel 2*). I 2008 var iltsvindet langt mere udbredt end i 2014, hvilket indikerer, at iltsvindet i 2014 formodentlig ville have udviklet sig noget værre, hvis ikke belastningen af havmiljøet var mindsket siden 2008.

Figur 7.1. Kortene viser den modellerede udbredelse af iltsvind i hhv. medio august og medio september.



Til trods for, at iltsvindet var relativt udbredt i 2014, så blev der ikke registreret iltsvind i Vadehavet eller på de kystnære målestationer i Nordsøen/Vesterhavet og Nordsøen/Skagerrak ud for henholdsvis Ringkøbing/Esbjerg og Hirtshals.

Iltforholdene i Limfjorden var som sædvanlig meget variable, og iltsvindets udbredelse ændrede sig fra uge til uge. Der blev målt iltsvind første gang allerede i slutningen af maj, som i flere områder udviklede sig til kraftigt iltsvind fra starten af juni, og der blev observeret døde fisk i Thisted Bredning. Kraftig vestenvind i slutningen af juli forbedrede iltforholdene kortvarigt, men svag vind og høje temperaturer i juli førte til, at anslået knap en tredjedel af Limfjorden var påvirket af iltsvind i slutningen af måneden. I de hårdest ramte områder var der iltfrit i bundvandet, og svovlbrinte blev frigivet fra havbunden. I disse områder døde store mængder bunddyr, og bundvegetationen var præget af henfald. I starten af august friskede vinden lidt op, og mere vedvarende blæst i midten af august bevirkede en markant forbedring af iltforholdene. Iltsvindet tog til igen i starten af september, men fra starten af oktober var iltsvindet begrænset til Hjarbæk Fjord og et mindre område i Hvalpsund. Vejrforholdene i Limfjordsområdet (og i resten af landet) var usædvanlige i iltsvindsperioden med de hidtil højest registrerede vandtemperaturer og meget svage vinde indtil lidt ind i august og igen fra slutningen af august til midten af september (figur 7.2 og kapitel 2). De klimatiske forhold i 2014 stimulerede således udviklingen af iltsvind.



Figur 7.2. Klimatiske forhold i Limfjorden. A) Bundvandstemperatur ved Vilsund som middel for juli 1941-2014 og B) akkumuleret vind ved Aalborg maj-oktober 2014.

I det nordlige og centrale Kattegat blev der ikke registreret iltsvind i 2014. I Mariager Fjord var der kraftigt iltsvind i hele den indre del i juli, august og september. Midt i august var der iltfrit i hele vandsøjlen i bunden af fjorden, og der blev frigivet svovlbrinte fra fjordbunden, og bunddyr døde i større områder. I løbet af oktober forbedredes iltforholdene, men som normalt blev der målt iltfrie forhold i den dybe centrale del af fjorden til og med iltsvindsrapporteringens afslutning i november. Der blev registreret kortvarigt moderat iltsvind i den indre del af Randers Fjord i starten af august og i Hevring Bugt i starten af oktober 2014, mens der i 2013 ikke blev målt iltsvind i Randers Fjord eller Hevring Bugt.

Der blev først registreret iltsvind i Aarhus Bugt i starten af september, men der var kraftigt iltsvind i Knebel Vig ved den første måling midt i august. I

løbet af oktober etableredes moderat og siden kraftigt iltsvind i Kalø Vig, indtil iltsvindet her ophørte midt i november. I Hjelm Dyb og Ebeltoft Vig blev der målt kortvarigt moderat iltsvind i henholdsvis starten og slutningen af oktober. I Horsens Fjord blev der kun målt iltsvind i den ydre del i slutningen af oktober, mens der i As Vig lige uden for fjorden blev registreret moderat iltsvind fra slutningen af september. I Vejle Fjord var iltførholdene generelt gode, men alligevel blev der fundet døde fisk nær havnen i Vejle i slutningen af september, hvilket formodentlig skyldes, at fiskene er blevet fanget i et meget lokalt opstået iltsvind. Der blev ikke registreret iltsvind i Kolding Fjord i 2014.

I det nordlige Bælthav blev der registreret iltsvind allerede i starten af juni, hvorefter iltindholdet steg lidt, men lå tæt på iltsvindsgrænsen, indtil der igen opstod moderat iltsvind i et større område fra midten af september. Noget usædvanligt var der lidt iltsvind tilbage i området ved iltsvindsrapporteringen afslutning i midten af november.

I det sydlige Lillebælt blev der registreret moderat iltsvind allerede i slutningen af maj, som bredte sig (herunder til det centrale Lillebælt) og udviklede sig til kraftigt iltsvind i løbet af juni. Der blev konstateret frigivelse af svovlbrinte fra august og helt hen i november i de værst ramte områder. Der blev fortsat målt iltsvind på enkelte stationer i Lillebælt efter afslutningen af iltsvindsrapporteringen, og den sidste rest af iltsvind var ikke forsvundet ved årets sidste måling kort før jul.

I Aabenraa Fjord blev der målt iltsvind første gang sidst i maj, og i august var der iltfrie forhold i bundvandet og udvikling af svovlbrinte, hvilket periodevis gentog sig helt hen i november. I første halvdel af august blev der desuden observeret døde fisk. Der var også udbredt iltsvind i Haderslev Fjord, Flensborg Fjord og Sønderborg Bugt, hvor der også blev registreret iltfrie forhold og frigivelse af svovlbrinte på de dybeste lokaliteter. Genner Bugt og Als Fjord blev ligeledes påvirket af iltsvind om end i mindre omfang end i ovennævnte områder. I Augustenborg Fjord blev der ikke registreret iltsvind i 2014.

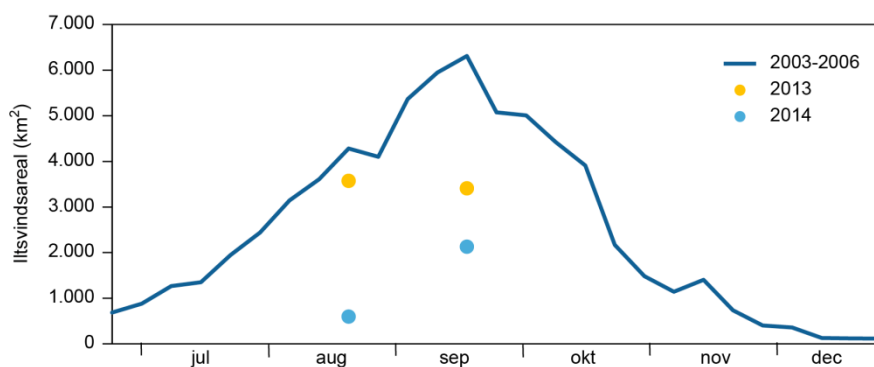
I Det Sydfynske Øhav var der periodevis iltsvind i den nordlige del af området (Ringsgaardebassinet) og mere stabilt om end udbredelsesmæssigt dynamisk iltsvind i den sydlige del af området (Ærøbassinet) fra sidst i juni. Iltsvindet udviklede sig pga. det varme og forholdsvis stille vejr til kraftigt iltsvind i de dybeste områder af Ærøbassinet, hvor der også blev frigivet svovlbrinte. Der var fortsat både moderat og kraftigt iltsvind i Det Sydfynske Øhav ved iltsvindsrapporteringens ophør midt i november. Der blev desuden registreret iltsvind i den nordlige del af Langelandsbælt i midten af oktober og i den nordlige del af Langelandssund midt i november.

I den sydlige del af Kattegat nord for Sjælland og farvandene rundt om Sjælland var iltsvindet mere udbredt end i 2013. Der var lige som i 2013 kortvarigt iltsvind i Sejerø Bugt og Faxe Bugt, men mere udbredt iltsvind i Øresund og det sydlige Kattegat fra september. I det centrale Smålandsfarvand opstod der periodevis iltsvind i Karrebæksminde Bugt, som udviklede sig til kraftigt iltsvind i løbet af november. Syd for Lolland og Falster udvikledes moderat iltsvind, som bredte sig ned i Lübeck Bugt. I Roskilde Fjord og Isefjord blev der ikke registreret iltsvind i 2014.

Der blev registreret iltsvind både vest og øst for Bornholm i 2014. Iltsvindet vest for Bornholm skyldes formodentlig tilførsel af vand fra Kattegat, som dannede et tyndt og forholdsvis stillestående lag af mere salt og dermed tungere bundvand. Bornholmerdybet øst for Bornholm er kendetegnet ved mere eller mindre permanent iltsvind.

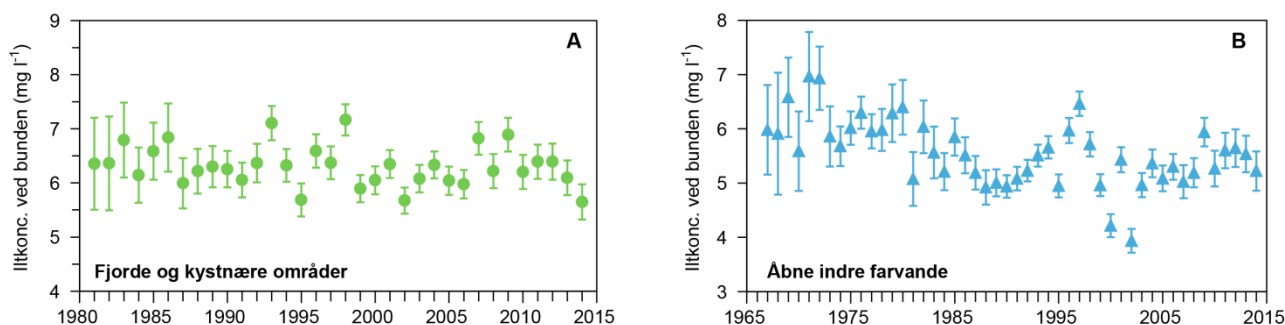
Iltsvind forekommer hovedsageligt fra juli til og med november og topper inden for denne periode typisk i september. Den modellerede arealudbredelse af iltsvind i de indre farvande i første halvdel af september 2014 var markant mindre end middelværdien for 2003-2006, markant større end i første halvdel af august 2014 men mindre end udbredelsen i første halvdel af september 2013 (figur 7.3). Det lavere niveau i august 2014 skyldes den vedvarende blæst i midten af august, som forbedrede iltforholdene. De efterfølgende svage vinde betød, at iltsvindet bredte sig igen i september.

Figur 7.3. Årstidsvariationen af areal ramt af iltsvind ($< 4 \text{ mg l}^{-1}$) som middel for 2003-2006 (uge for uge i sidste halvdel af året) samt for 2013 og 2014 (første halvdel af august og september).



Langtidsudviklingen i iltforhold

I perioderne med lagdeling af vandsøjlen (springlag) var den gennemsnitlige iltkoncentration ved bunden i iltsvindssæsonen i 2014 i de åbne indre farvande og i særdeleshed i fjorde og kystnære områder lavere end de seneste år (figur 7.4). Iltsvindskoncentrationerne var således påvirket af det udbredte iltsvind i 2014, især i fjorde og kystnære områder. Iltkoncentrationen i fjorde og kystnære områder har sammenlignet med de åbne indre farvande varieret inden for et forholdsvis snævert interval, men den gennemsnitlige koncentrationen i 2014 var den laveste siden starten af 1980'erne (dog på niveau med 1995 og 2002). I de åbne indre farvande har iltkoncentrationen været relativt stabil siden 2003, dog med en svag tendens til en stigning, som blev brudt af den lave værdi i 2014. I den forudgående årrække har der både været perioder med fald (1980-1988 og 1998-2002) og stigning (1990-1997), uden at der er nogen entydig forklaring på disse svingninger.



Figur 7.4. Gennemsnitlig iltkoncentration i bundvandet i A) fjorde og kystnære områder og B) åbne indre farvande for juli-november. Bemærk at tidsperioden ikke er den samme på begge figurer.

Der er store regionale forskelle i udviklingen i iltkoncentrationen. Langtidsudviklingen i iltkoncentrationen i bundvandet i den typiske iltsvindsperiode fra juli til og med november har dog generelt vist en faldende tendens i alle danske farvandsområder på nær langs den jyske vestkyst og i de sjællandske fjorde og Smålandsfarvandet (*tabel 7.1*). I godt halvdelen af områderne er ændringen statistisk signifikant, og i disse områder er iltforholdene forringet med 0,010-0,058 mg O₂ l⁻¹ år⁻¹ undtagen i de sjællandske fjorde og Smålandsfarvandet, hvor iltforholdene er forbedret med 0,035 mg O₂ l⁻¹ år⁻¹. Langtidsudviklingen i iltkoncentrationerne er resultatet af forøget næringssaltbelastning (eutrofiering) og efterfølgende en forsinket respons på reduceret næringssaltbelastning (oligotrofiering). Desuden er havtemperaturen steget ca. 1-1,5 °C de sidste 30-40 år (*kapitel 2*), hvilket mindsker opløseligheden af ilt og øger risikoen for iltsvind. I samme periode er hyppigheden af lagdeling af vandsøjlen taget til, hvilket har mindsket tilførslen af ilt fra overfladevandet til bundvandet (*Riemann m.fl. 2015*).

Tabel 7.1. Lineære langtids-trendanalyser af udviklingen i middelkoncentrationen af ilt i bundvandet opdelt på områder. Statistiske signifikante trends ($P < 0,05$) er markeret med gråtone (lys grå = stigning, mørk grå = fald).

Område	Antal år	Antal stationer	Periode	P-værdi	Udvikling (mg l ⁻¹ år ⁻¹)
Vestjyske fjord- og kyststationer	23	4	1989-2014	0,4280	0,013
Limfjorden	35	9	1980-2014	0,0662	-0,026
Østjyske fjorde	42	11	1972-2014	0,6823	-0,003
Fynske fjorde og Det Sydfynske Øhav	37	3	1977-2014	0,0340	-0,023
Sjællandske fjorde og Smålandsfarvandet	29	12	1985-2014	0,0382	0,035
Kattegat	49	18	1966-2014	0,0705	-0,010
Nordlige Bælthav og Storebælt	43	9	1970-2014	0,0468	-0,020
Lillebælt og Femern Bælt	49	6	1965-2014	0,0184	-0,024
Øresund	48	4	1967-2014	0,0330	-0,016
Østersøen	47	9	1966-2014	<0,0001	-0,058

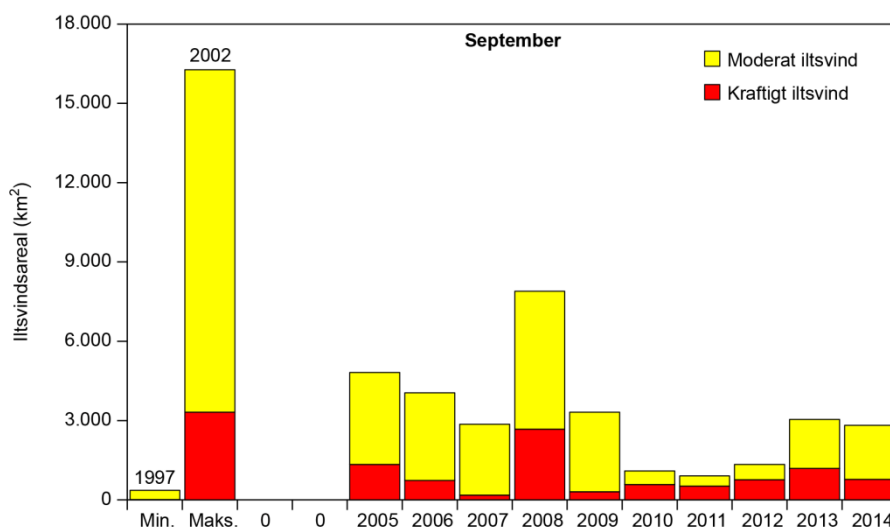
Med henblik på at vurdere om tiltagene til begrænsning af belastningen med næringssalte har haft en effekt på iltforholdene, er det bedre at fokusere på udviklingen de senere år end hele overvågningsperioden. I de seneste 10 år er der trods de dårlige iltforhold i 2014 sket en positiv udvikling for iltforholdene i bundvandet i halvdelen af farvandsområderne (*tabel 7.2*). Denne udvikling er dog kun statistisk signifikant for Kattegat. De områder, som har haft en negativ udvikling de seneste 10 år, er de kendte 'problemområder' i form af fjorde og kystnære områder, mens fremgangen hovedsageligt er sket i de mere åbne farvande. Der er således en klar tendens til, at den positive udvikling for iltforholdene i bundvandet som følge af den reducerede eutrofiering er mest markant i de mere åbne vandområder, hvor den potentielle næringssaltbegrænsning er størst (*kapitel 5*). Til gengæld går det noget langsomt med at få vendt udviklingen i fjorde og de mere lukkede af de kystnære farvande.

Tabel 7.2. Lineære 10-års-trendanalyser af udviklingen i middelkoncentrationen af ilt i bundvandet delt op på områder. Statistiske signifikante trends ($P < 0,05$) er markeret med gråtone (lys grå = stigning). Ændringen i udviklingen i forhold til langtidstrenden (tabel 7.1) er angivet med $\leftrightarrow$ (uændret), $\uparrow$ (forbedret), $\downarrow$ (forringet).

Område	Antal stationer	P-værdi	Udvikling ($\text{mg l}^{-1} \text{år}^{-1}$)	Ændring ift. langtidstrend
Vestjyske fjord- og kyststationer	4	0,2153	0,081	$\uparrow$
Limfjorden	8	0,2814	-0,117	$\downarrow$
Østjyske fjorde	9	0,7746	-0,013	$\downarrow$
Fynske fjorde og Det Sydfynske Øhav	3	0,6650	-0,032	$\leftrightarrow$
Sjællandske fjorde og Smålandsfarvandet	11	0,5768	0,063	$\uparrow$
Kattegat	18	0,0204	0,050	$\uparrow$
Nordlige Bælthav og Storebælt	7	0,3529	0,065	$\uparrow$
Lillebælt og Femern Bælt	6	0,2902	-0,113	$\downarrow$
Øresund	4	0,1066	0,075	$\uparrow$
Østersøen	8	0,7789	0,012	$\uparrow$

Iltsvind har en række uheldige konsekvenser for økosystemet, og det er derfor interessant at følge udviklingen af iltsvind. Der har været meget store udsving mellem årene i det areal af havbunden, som er blevet berørt af iltsvind (figur 7.5). Den hidtil største udbredelse af iltsvind blev registreret i 2002, og opstod som følge af en uheldig kombination af en stor tilførsel af næringssalte, forholdsvis lidt vind og relativ høj bundvandstemperatur. Den hidtil mindste udbredelse af iltsvind blev registreret i 1997, som var det andet år i træk med en usædvanlig lav tilførsel af næringssalte. I 2014 var iltsvindsudbredelsen markant forøget i forhold til det relativt lave niveau i 2010-2012, men på niveau med udbredelsen i 2013, som også var kendetegnet ved høje temperaturer og overvejende svage vinde i juli-september. Knap en tredjedel af iltsvindsarealet var påvirket af kraftigt iltsvind ($< 2 \text{ mg/l}$), hvilket er mindre end for 2010-2013 men på niveau med tidligere.

Figur 7.5. Udviklingen i arealet af moderat iltsvind ($2-4 \text{ mg l}^{-1}$) og kraftigt iltsvind ($< 2 \text{ mg l}^{-1}$) i september i de indre farvande for perioden 2005-2014 samt den største og mindste registrerede arealudbredelse i overvågningsperioden 1989-2014. Til sammenligning har Fyn et areal på ca. 3.000 km^2 og Sjælland et areal på ca. 7.000 km^2 .



Den begrænsede udbredelse af iltsvind i 2010-2012 indikerer, at havbunden var mere robust end tidligere i forhold til at modstå udvikling af iltsvind. Denne robusthed opbygges i perioder med mindre iltsvind ved, at de kemiske og biologiske forhold, som modvirker iltsvind, styrkes. Men 2010-2012 var også kendetegnet ved periodisk relativt meget vind i den typiske iltsvindsperiode. Desuden var der alle tre år (lige som i 2013) i første kvartal forholdsvis lave temperaturer, som betød et større iltindhold i vandet. Desuden har de se-

nere års lave koncentrationer af næringssalte (*kapitel 5*) bidraget til en relativ beskeden forekomst af planteplankton (*kapitel 6*) og dermed forventeligt et mindre iltforbrug ved bunden til omsætning af sedimenteret organisk materiale. Men den markant større udbredelse af iltsvind i 2013 og 2014 viste, at havbunden endnu ikke er mere robust, end at iltsvind kan brede sig over større områder, hvis de vejræssige forhold stimulerer udvikling af iltsvindet. Vejret (vind, indstråling, afstrømning og temperatur) i 2014 mindede meget om forholdene i 2008 (*kapitel 2*), men alligevel var udbredelse af iltsvind i 2013 markant mindre end i 2008. Dette kan med forsigtighed fortolkes i retning af, at havbunden har fået det bedre de seneste år, men stadig er sårbar over for iltsvindsstimulerende vejrlig.

Sammenfatning

- Iltsvindet udviklede sig markant i 2014 i en række kystvande (inkl. fjorde) grundet en varm sommer med forholdsvis svage vinde. Iltsvindet i 2014 var desuden kendetegnet ved at starte meget tidligt og slutte sent.
- De tidligst registrerede iltsvind var sidst i maj (Limfjorden, Aabenraa Fjord, Lillebælt, Flensborg Fjord). Der var fortsat iltsvind en del steder ved iltsvindsrapporteringens afslutning midt i november, og der blev målt iltsvind i Lillebælt og Det Sydfynske Øhav i december.
- Det totale iltsvindsareal i september 2014 var på niveau med 2013, større end de tre forudgående år, men mindre end i årene op til 2010 (om end på niveau med 2007). Knap en tredjedel af iltsvindsarealet var påvirket af kraftigt iltsvind.
- Særlig berørte områder, hvad angår varighed og intensitet af iltsvind, var Limfjorden, Mariager Fjord, det sydlige Lillebælt og tilstødende fjorde samt Det Sydfynske Øhav. I alle disse områder blev der registreret frigivelse af svovlbrinte fra havbunden.
- Iltindholdet i bundvandet i fjorde og kystnære områder var i 2014 det lavest registrerede siden starten af 1980'erne (dog på niveau med 1995 og 2002).
- Iltindholdet i bundvandet i de åbne indre farvande har overordnet været faldende siden midten af 1960'erne, men der har dog været en svag tendens til en positiv udvikling siden 2003.

8 Bundplanter: ålegræs og makroalger

Annette Bruhn, Karsten Dahl, Dorte Krause-Jensen, Steffen Lundsteen & Jacob Carstensen

Enge af ålegræs og andre blomsterplanter samt buskadser og skove af tang (makroalger) vokser langs vores kyster. Disse plantesamfund er meget produktive og fungerer som levested og opvækstområde for en lang række organismer. Planterne fungerer samtidig som et naturligt kystværn, fordi bladene dæmper bølgerne, og havgræssernes net af stængler og rødder i sedimentet stabiliserer havbunden. Desuden virker planterne som partikelfilter og bidrager dermed til at holde vandet klart samtidig med, at de lagrer kulstof og tilbageholder næringssalte. Disse mange nyttige funktioner gør, at havets enge og skove hører til blandt verdens mest værdifulde økosystemer (Costanza *m.fl.* 1997; Barbier *m.fl.* 2011). Men ålegræs og verdens øvrige havgræsser er stærkt truede og forsvinder i øjeblikket med samme hastighed som de tropiske regnskove (Waycott *m.fl.* 2009).



Blodrød ribbeblad (*Delesseria sanguinea*) er én af de smukke rødalger, der udgør underskoven i tangskovene på hård bund i Danmark. Foto: Peter Bondo Christensen.

Både ålegræs og makroalger er væsentlige indikatorer for det kystnære havmiljøes økologiske kvalitet i henhold til EU's vandrammedirektiv. Ålegræs og makroalger benyttes også i vurderingen af tilstanden i habitatdirektivets marine naturtyper, såsom 'stenrev', 'boblerev', 'sandbanker' og 'lavvandede bugter og vige'. Baggrunden for at anvende bundplanterne som indikator er, at de afspejler kvaliteten af en række naturtypers struktur og funktion integreret over et længere tidsrum (Krause-Jensen *m.fl.* 2005; Dahl & Carstensen 2008; Carstensen *m.fl.* 2014b). Ændringer i andre indikatorer som fx klorofylkoncentration, TN-koncentration, sigtdybde og iltforhold er ligeledes nyttige i tolkningen af bundplanternes udvikling.

Et fald i tilførslen af næringssalte til havmiljøet forventes at føre til en reduktion i mængden af planteplankton i vandsøjlen og dermed give mere lys ved bunden, så ålegræs og makroalger får bedre vækstforhold og bedre mulighed for at brede sig på dybere vand. Et større plantedække nedsætter risikoen for, at havbunden hvirvles op og har dermed en selvforstærkende positiv effekt på lysforholdene. En reduceret tilførsel af næringssalte resulterer derudover oftest i færre opportunistiske énarige makroalger og dermed igen bedre lysforhold for ålegræs og flerårige makroalger. Endelig fører en reduktion i næringssalte til færre og mindre alvorlige iltsvind og dermed bedre vækstforhold for bundplanterne.

Fysiske forstyrrelser af havbunden og biologiske interaktioner, som fx søpindsvins græsning, kan også have en markant effekt på bundplanternes udbredelse lokalt og regionalt. Masseforekomst af det grønne søpindsvin (*Strongylocentrotus droebachiensis*) og nedgræsning af bundplanter er observeret i forbindelse med reduceret prædation på søpindsvin fra havoddere og hummere

(Little & Kitching 1996) samt fisk (Tegner & Dayton 2000). Det grønne søpindsvins udbredelse er dog begrænset af et krav om en saltholdighed større end 22-24 promille. Fysisk påvirkning af havbunden – fx i form af trawlfiskeri og hyppige skibspassager – er også sandsynlige årsager til reduceret udbredelse af makroalger på visse lokaliteter (Dahl 2005; Dahl m.fl. 2011).

I dette kapitel analyseres først udviklingen i ålegræssets forekomst langs de åbne kyster, yder- og inderfjorde samt Limfjorden gennem perioden 1989-2014. Analyserne omfatter 'ålegræssets maksimale dybdeudbredelse' defineret som den største dybde med ålegræsskud, 'dybdegrænsen for ålegræssets hovedudbredelse' defineret som den største dybde med mindst 10 % dækning og 'ålegræssets dækning i dybdeintervaller'. Blandt de marine blomsterplanter omfatter analyserne kun ålegræs, fordi ålegræs er langt den mest udbredte blomsterplante på den bløde bund i vores kystområder. I nogle fjorde forekommer også andre rodfæstede blomsterplanter såsom havgræs (*Ruppia* spp.), dværgålegræs (*Zostera noltii*) og børstebladet vandaks (*Potamogeton pectinatus*), som altså ikke indgår i analyserne.

Senere i kapitlet følger analyser af tilstanden og udviklingen i makroalgers dækning langs fjorde og kyster samt på stenrev for perioden 1990-2014. I denne del beskrives den tidsmæssige udvikling i forskellige områder i de indre danske farvande. Analyserne omfatter kun fasthæftede makroalger og ikke forekomster af løstdrivende makroalger. Kapitlet afsluttes med en gennemgang af udviklingen samt natur og miljøtilstanden på udvalgte stenrev i Natura 2000-områder i Kattegat.

Metoder og datagrundlag

Ålegræs

Data

Analyserne bygger på data indsamlet som del af det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen (NOVANA) i perioden 1989-2014. Data er indsamlet efter retningslinjerne i de tekniske anvisninger for NOVANA for det marine miljø (Høgslund m.fl. 2013). I undersøgelserne indsamles data direkte for ålegræssets maksimale dybdegrænse og dækningsgrader langs transekterne. Ålegræssets hovedudbredelse er baseret på følgende beregninger og modelleringer.

Beregning af ålegræssets hovedudbredelse

Ålegræssets hovedudbredelse – defineret som den største dybde med 10 % dækning – er beregnet ved lineær interpolation af punktobservationer af ålegræssets dækningsgrad. Frem til 2001 opgjorde dykkere én samlet dækning (skala fra 1-5) pr. dybdeinterval, men efter 2001 er dækningen (i procent) opgjort i punkter langs dybdegradienter, hvilket gør det muligt at fastlægge hovedudbredelsen mere præcist. For data frem til 2001 er dækningen i intervaller omregnet til punktobservationer på følgende måde:

- Den gennemsnitlige dækning i et interval repræsenterer intervallets middeldybde. Eksempel: Hvis intervallet 4-6 m har en dækning på 15 %, fastsættes intervallets midtpunkt, dvs. dybden 5 m, til 15 % dækning.
- Hvis det dybeste interval har en dækning over 10 %, har vi antaget, at den største dybde i intervallet har dækningen 0,1 %. Eksempel: Hvis intervallet 4-6 m er det dybeste og har en dækning på 15 %, dækker ålegræsset 0,1 % på 6 m's dybde.

I sjældne tilfælde, hvor den dybeste punktobservation er større end 10 %, repræsenterer denne dybde hovedudbredelsesdybden. Teoretisk set burde punktobservationerne tilpasses med en eksponentielt aftagende funktion, svarende til lysets svækkelse, men denne metode er for usikker for data før 2001, fordi det er nødvendigt at fastsætte dækningen for det yderste ålegræsstrå som en arbitrær lav værdi (fx 0,1 eller 0,01 %), og det har stor betydning, om den ene eller anden værdi bruges.

Modellering af ålegræsindikatorer

Samtlige data er analyseret områdevist, hvor alle stationer inden for et delområde indgår som tilfældige delprøver (stokastisk effekt). Data er grupperet i farvandstyperne 'åbne kyster', 'yderfjorde', 'inderfjorde' og 'Limfjorden'. Inddelingen er foretaget ud fra det hydrologiske referencesystem. De områder, som indgår i beregningerne for de enkelte farvandstyper, fremgår af Bilag 2. De efterfølgende analyser inkluderer samtlige data om ålegræssets dybdegrænse og dækning i AQUA-basen, eksklusiv dybdegrænser der falder sammen med transektets maksimale dybde samt dybdegrænser lavere end 1,5 m, da det antages, at disse er bestemt af fysiske forhold snarere end af lysbegrænsning. Analyserne omfatter også delområder, der kun har været undersøgt et enkelt eller få år. Dette kan lade sig gøre uden at skævvride det samlede datasæt, fordi vi benytter en generaliseret lineær model.

Modellen antager, at variationer i dybdegrænsen (X) afhænger af fjordområde og undersøgelsesår, som begge er deterministiske effekter: $X_{ijk} = \text{område}_i + \text{år}_j + e_{ijk}$, hvor e_{ijk} er residualvariationen. Dækningsgraden (Y) modelleres separat for hvert af intervallerne 1-2, 2-4, 4-6 og 6-8 m og inden for intervallerne antages en lineær dybdeafhængighed for punktmålingerne, dvs. $Y_{ijk} = \text{område}_i + \text{år}_j + \text{dybde}_{ijk} + e_{ijk}$. Modellen vægter de enkelte observationer i forhold til år, område og dybde og udregner samlede årsmidler for alle områder for hvert år som marginale middelværdier i modellen. Disse marginale middelværdier er ikke påvirket af skift i prøvetagningen mellem forskellige områder.

Den tidlige udvikling i middelværdierne for dybdegrænse og dækningsgrad er analyseret vha. lineær regressionsanalyse for perioderne 1989-2014 og 2008-2014 (JMP 10.0, SAS Inc.). P-værdier $< 0,05$ betragtes som signifikante.

Makroalger

Data

Analyserne bygger på data indsamlet som del af det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen (NOVANA) i perioden 1989-2014. Data er indsamlet efter retningslinjerne i de tekniske anvisninger for NOVANA for det marine miljø (Høgslund m.fl. 2014; Lundsteen & Dahl under udarbejdelse). I trendanalyserne er udeladt data fra programmets første år (1989), hvor dækningsgraden var påfaldende lav, hvilket kunne tyde på, at undersøgelserne på daværende tidspunkt ikke helt var indarbejdet. Der er desuden sket en metodeændring, da dækningsgrader til og med 1993 på stenrev i åbne farvande og til og med 2000 i det kystnære program blev angivet i en grovere skala inddelt i fem niveauer og ikke direkte i procent. Fra 2001 blev det præciseret i de tekniske retningslinjer, at vegetationens dækning kun skulle gives for stabilt substrat. Desuden gik det kystnære program over til at opgøre dækningsgraden inden for tre områder á 25 m² i hvert dybdeinterval fremfor et generelt estimat for hele dybdeintervallet.

Vækstvilkårene for makroalger i form af lysnedtrængning og fysisk eksponering er meget forskellige fra lukkede fjorde til stenrev i åbne farvande. Derfor er data grupperet i farvandstyperne 'stenrev', 'åbne kyster', 'yderfjorde', 'inderfjorde' og 'Limfjorden', så udviklingen inden for de forskellige farvandstyper kan vurderes. For hver farvandstype er udviklingen analyseret ved hjælp af to indikatorer: 1) makroalgernes 'totale dækning' på den stabile hårde bund, som kan antage værdier i intervallet 0-100 % og 2) makroalgernes 'kumulerede dækning' – dvs. summen af de enkelte arters dækning på den stabile hårde bund, som kan antage værdier, der er betydeligt større end 100 %, eftersom algerne kan vokse i etager oven på hinanden. Data er beregnet som årsmidler baseret på alle delområder inden for hver farvandstype.

Modellering af dækningsgrader

Dækningsgraderne er modelleret for en fast dybde for hver farvandstype baseret på overvågningsdata indsamlet langs hele den del af dybdegradienten, hvor algerne er lysbegrænsede (modelleringen er foretaget på samme måde som i Carstensen m.fl. 2008, kapitel 3). Der er altså tale om et slags avanceret gennemsnit af de vurderede dækningsgrader, beregnet via en dybde-model for en fast dybde, som varierer mellem farvandstyperne.

Den totale dækning er modelleret for dybder på 5 m i Limfjorden, 10 m i inderfjordene og 15 m i de øvrige områder, mens den kumulerede dækning er modelleret for dybder på 3 m i Limfjorden, 6 m i inderfjordene og 10 m i de øvrige områder. Det har ingen betydning for forløbet af udviklingstendenserne, hvilken dybde man benytter, men da den totale dækning reagerer mere trægt på ændringer i lysforhold end den kumulerede dækning, fremgår udviklingstendenserne i den totale dækning tydeligere, når de illustreres for lidt dybere vand, hvor effekten af en ændring i lysforholdene er større.

Alle udviklingstendenser er analyseret ved lineær regressionsanalyse af årsmidlerne for perioden 1990-2014 (JMP 10.0, SAS Inc.). P-værdier < 0,05 betragtes som signifikante.

Ålegræs

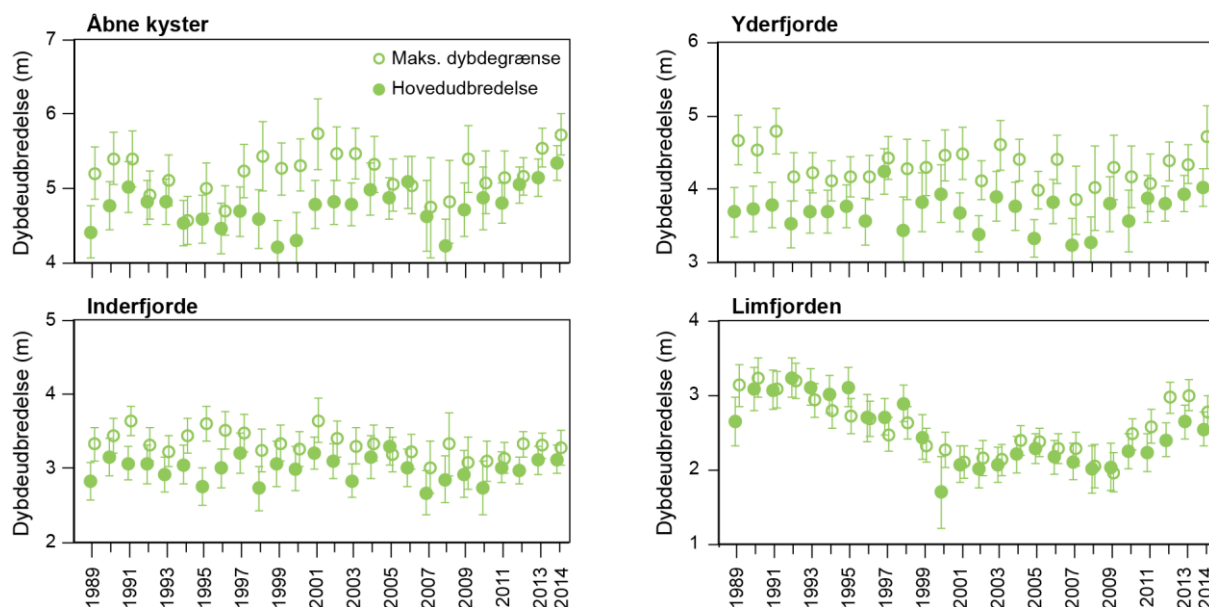
Ålegræssets dybdeudbredelse og dækning er grupperet for farvandstyperne 'åbne kyster', 'yderfjorde', 'inderfjorde' og 'Limfjorden'.

Tidslig udvikling i ålegræssets dybdeudbredelse

Ålegræssets maksimale dybdeudbredelse (årsmidler) var størst langs de åbne kyster (4,6-5,7 m), mindre i yderfjordene (3,9-4,8 m) og mindst i inderfjordene (3,0-3,6 m) og i Limfjorden (2,0-3,2 m) i perioden 1989-2014 (*figur 8.1*).

Dybdegrænsen for hovedudbredelsen (årsmidler) fulgte samme mønster som den maksimale dybdeudbredelse. Hovedudbredelsen viste dermed også den dybeste udbredelse langs de åbne kyster (4,2-5,3 m), mindre dybdeudbredelse i yderfjordene (3,2-4,2 m) og mindste dybdeudbredelse i inderfjordene (2,7-3,3 m) og Limfjorden (1,7-3,2 m) (*figur 8.1*). Forskellen mellem den maksimale dybdeudbredelse og hovedudbredelsen var størst (0,7 m) i yderfjordene og mindst i inderfjordene (0,2 m). I 2014 var både hovedudbredelsen og den maksimale dybdeudbredelse ved de åbne kyster den dybeste, der er observeret siden 1989. I Limfjorden blev der observeret en tilbagegang i både ålegræssets maksimale dybdeudbredelse og hovedudbredelse i forhold til 2013. Denne tilbagegang kan skyldes de høje vandtemperaturer og det særdeles kraftige iltvind i Limfjorden i 2014 (*kapitel 7*).

I overvågningsperioden 1989-2014 har udviklingen i hovedudbredelsen og den maksimale dybdeudbredelse ikke været signifikant i nogen af område-typerne. Dette skyldes, at den reduktion i ålegræssets dybdeudbredelse, der forekom gennem den første del af overvågningsperioden (1989-2007), efterhånden er opvejet af den positive udvikling, der overordnet er observeret i de seneste år (2008-2014).



Figur 8.1. Ålegræssets maksimale dybdeudbredelse (●) og dybdegrænsen for hovedudbredelsen (○) i perioden 1989-2014 for åbne kyster, yder- og inderfjorde samt Limfjorden (middel $\pm$ 95 % konfidensgrænser). Bemærk forskellige y-akser. Det forekommer en gang imellem (i data fra Limfjorden), at hovedudbredelsesdybden tilsyneladende overstiger den maksimale dybdeudbredelse. Det er et artefakt, der skyldes, at hovedudbredelsen bliver udregnet/interpoleret for hvert transekt ud fra dækningsgrader langs dybdegradienten, mens den maksimale dybde bliver vurderet direkte i felten ud fra ca. syv delprøver pr. dybdegradient. Bilag 2 viser hvilke områder, der indgår i beregningerne for hhv. inderfjorde, yderfjorde og åbne kyster.

Den positive udvikling i de seneste år betyder, at den maksimale dybdeudbredelse siden 2008 er forøget med 36 % i Limfjorden, 19 % langs de åbne kyster og 17 % i yderfjordene, mens dybdeudbredelsen for hovedudbredelsen samtidig er øget med 27 % i Limfjorden, 26 % langs de åbne kyster, 23 % i yderfjordene og 9 % i inderfjordene.

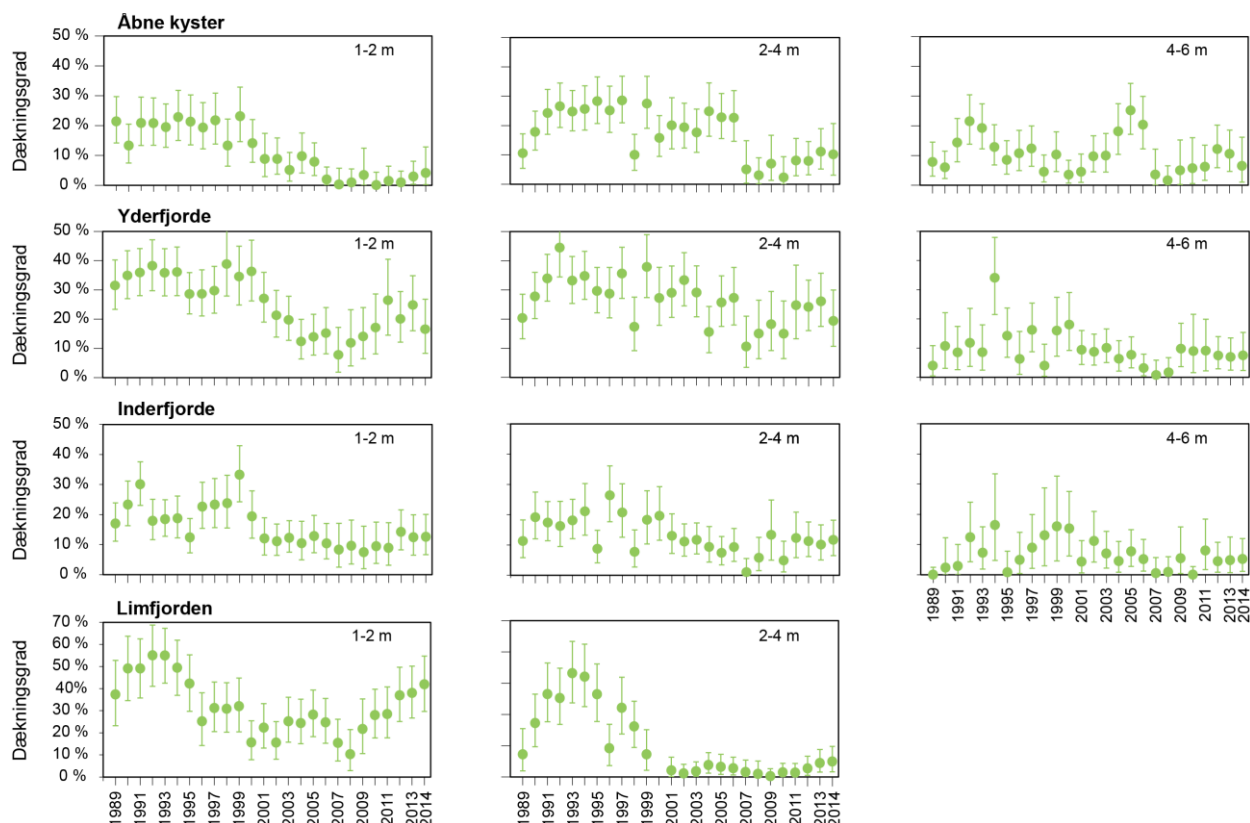
Den samlede udvikling langs kyster og fjorde dækker over store forskelle mellem områder (Hansen (red.) 2012, kap. 12). Der er fortsat dybe, stabile ålegræsbestande i Øresund og Køge Bugt. De ligeledes dybe bestande i Præstø Fjord, Sejerø Bugt og Det Sydfynske Øhav er i stadig fremgang. De seneste års markante positive udvikling i ålegræssets maksimale dybdeudbredelse i Flensborg Fjord og Odense Fjord er fortsat i 2014, mens den maksimale dybdeudbredelse af ålegræs i Als Sund, Vejle Fjord, Aarhus Bugt og Aabenraa Fjord ser ud til at stabiliseres. I flere områder var der i 2014 en mindre tilbagegang i ålegræssets maksimale udbredelse i forhold til året før, dog uden at bryde den generelle positive udvikling. Det gjaldt for Kalundborg Fjord, Roskilde Fjord, Horsens Fjord, Nibe-Gjøl Bredning, Løgstør Bredning, Skive Fjord samt Isefjord Inderbredning.

Ålegræssets dækning i dybdeintervaller

Udviklingen i ålegræssets dækningsgrad er analyseret for 1-2, 2-4 og 4-6 m's dybde for de åbne kyster, yderfjordene og inderfjordene samt for 1-2 og 2-4 m's dybde i Limfjorden, hvor ålegræsset sjældent optræder dybere end 4 m

(figur 8.2). Analyser for helt lavt vand (0-1 m) er udeladt, fordi dækningen her primært er reguleret af bølger og vind samt evt. isskrining og derfor kun delvist afspejler ændringer i næringssaltbelastningen.

Ålegræssets dækningsgrad er typisk størst på relativt lavt vand og mellem- dybder (1-2 m og 2-4 m), hvor lysforholdene er gode og eksponeringen markant mindre end på helt lavt vand (Krause-Jensen *m.fl.* 2003). Dækningsgraden varierer betydeligt mellem år og mellem områdetyper. På 2-4 m's dybde dækkede ålegræsset eksempelvis 2-29 % af bunden langs de åbne kyster, 11-44 % i yderfjordene, 1-26 % i inderfjordene og 0-33 % i Limfjorden i perioden 1989-2014 (figur 8.2).



Figur 8.2. Ålegræssets dækning i perioden 1989-2014 for åbne kyster, yder- og inderfjorde samt Limfjorden (middel $\pm$ 95 % konfidensgrænser). Venstre kolonne viser udviklingen på lavt vand (1-2 m), midterste kolonne viser udviklingen på mellemdybder (2-4 m), og højre kolonne viser udviklingen på større dybde (4-6 m). Bilag 2 viser hvilke områder, der indgår i beregningerne for hhv. inderfjorde, yderfjorde og åbne områder.

Der er generelt en tendens til, at ålegræsset dækker en stadigt mindre del af bunden langs de undersøgte transekter gennem perioden 1989-2014 (figur 8.2). Dækningen er faldet signifikant på både 1-2, 2-4 og 4-6 m's dybde i samtlige områder. Siden 2008 har der dog været signifikant fremgang i dækningsgraden af ålegræs på 1-2 og 2-4 m's dybde i Limfjorden, og langs de åbne kyster er der i samme periode sket en signifikant fremgang i dækningsgraden på 2-4 m's dybde. I yderfjordene på 1-2 og 2-4 m's dybde er der sket en tilbagegang i dækningsgraden i forhold til 2013.

Diskussion af ålegræssets udvikling

Med en vis forsigtighed kan man tolke den generelt positive udvikling i ålegræssets dybdeudbredelse og dækningsgrad siden 2008 som en forsinket respons på det faktum, at kvælstofkoncentrationen er faldet siden starten af

90'erne (*Riemann m.fl. 2015*). Sigtdybden har været markant forøget, og koncentrationen af klorofyl tilsvarende markant reduceret i alle farvandsområder i de sidste tre år (*kapitel 6*). Dette kan tolkes som tegn på et begyndende skift i primærproduktion fra planteplankton i vandsøjlen til bundplanter, altså tegn på en tilbagevenden til et mindre næringsbelastet havmiljø (*Krause-Jensen m.fl. 2012*).

Det er ikke enestående, at udviklingen i ålegræssets udbredelse er træg og forskudt i tid i forhold til reduktionen i næringssaltbelastning. Der er mange eksempler fra andre kystområder på, at strukturskift eller ændrede miljøforhold i øvrigt forsinket eller forhindrer en tilbagevenden til situationen fra før, eutrofieringen satte ind (*Duarte m.fl. 2009; Carstensen m.fl. 2011a; Nyström m.fl. 2012*). Selvom udledningen af næringssalte til havmiljøet reduceres, vil der være en pulje af ophobede næringssalte i havbunden bundet i sedimenteret organisk materiale, som har ophobet sig gennem årene med høj næringssaltbelastning. Denne pulje kan frigives igen og udgøre en intern belastning, der forsinket effekten af den reducerede næringssaltbelastning fra land. Desuden kan rekolonisering af ålegræs være en langsommelig proces med tidshorisonter på op til årtier (*McGlathery m.fl. 2012; Duarte 1995; Olesen & Sand-Jensen 1994*). Når ålegræs reduceres markant eller helt forsvinder fra et område, hvirvles bunden eksempelvis lettere op og skaber dårligere lysforhold og en mere ustabil forankring for de nye ålegræsplanter, som derfor får vanskeligere ved at etablere sig (*Carr m.fl. 2010*). Globale klimaforandringer som eksempelvis opvarmning kan påvirke ålegræs i negativ retning ved at stimulere respiration mere end fotosyntese og dermed øge ålegræssets lyskrav (*Stæhr & Borum 2011*). Højere temperaturer øger også risikoen for iltsvind (*Conley m.fl. 2007*), og gør samtidig ålegræsset mere sårbart over for iltsvind (*Pulido & Borum 2010*). Dårlige lysforhold spiller dog en langt større rolle end temperaturstigninger for ålegræssets dybdeudbredelse langs vores kyster (*Stæhr & Borum 2011*).

Makroalger

Makroalgeskovene på den hårde bund består primært af rød- og brunalger, der på vanddybder med rigeligt lys kan vokse i flere lag. I kystnære områder med ringe sigtdybde vil den samlede algedækning hurtigt aftage mod dybere vand, mens man på stenrev i åbne farvande, med bedre lysforhold, kan observere flerlaget vegetation ned til 10-12 m's dybde. Med stigende dybde aftager den oprette algevegetations dækning på stenene, mens man fortsat kan finde skorpeformede alger, selv hvor lyset er aftaget til under 1 % af indstrålingen ved overfladen. Den totale algedækning har vist sig at være en robust indikator for vandkvaliteten på vanddybder, hvor vegetationen ikke fuldt ud dækker stenedes overflader, mens den kumulative algedækning kan anvendes i et større dybdeinterval.

Makroalgernes dækning er grupperet for farvandstyperne 'stenrev', 'åbne kyster', 'yderfjorde', 'inderfjorde' og 'Limfjorden'. Makroalgernes dækning er opgjort for den totale og kumulerede dækning, hvor den totale dækning er den samlede dækning set ovenfra, mens den kumulerede dækning er summen af de enkelte arters dækning (nærmere forklaring se afsnittet *Metoder og datagrundlag*).

Tidslig udvikling i udbredelsen af makroalger i fjorde, kystområder og på stenrev

Den totale algedækning (modelleret for 15 m's dybde) varierer betydeligt mellem årene, men lå omtrent inden for det samme niveau for stenrevne

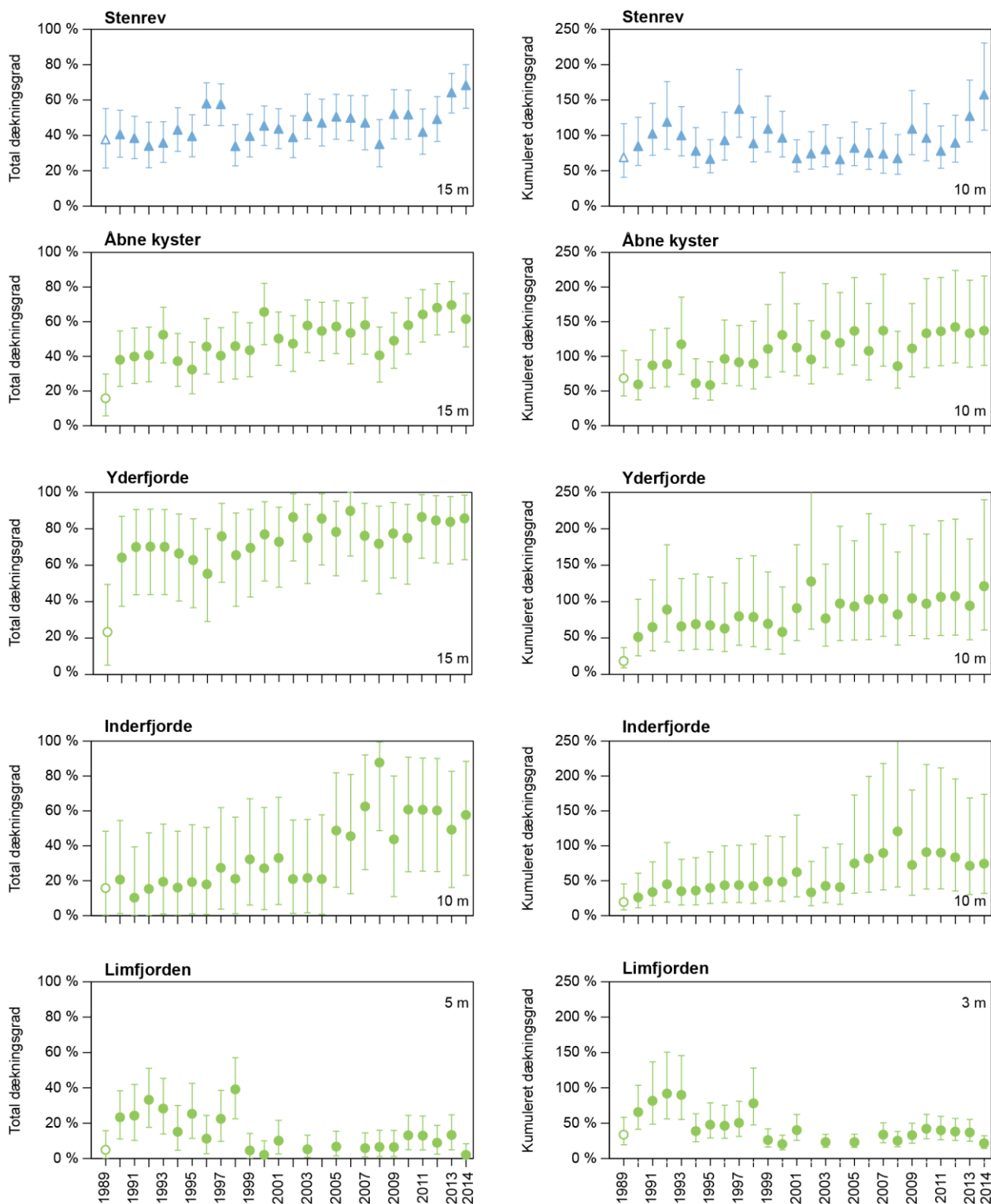
(34-68 %), de åbne kyster (16-69 %) og yderfjordene (23-89 %). Modelleringsdybden for inderfjorde og Limfjorden var lavere (henholdsvis 10 og 5 m), og dækningsgraderne var derfor ikke direkte sammenlignelige med dækningen på stenrev, åbne kyster og yderfjorde. På trods af den lavere modelleringsdybde var dækningsgraden af den totale algedækning stadig lavere i Limfjorden (2-39 %) og til dels i inderfjordene (10-88 %) end i yderfjorde, åbne kyster og på stenrevene (*figur 8.3, venstre kolonne*).

Algernes kumulerede dækning (modelleret for 10 m's dybde) var lidt højere på stenrevne (65-157 %) end langs de åbne kyster (58-142 %) og en del højere end i yderfjordene (18-127 %). På trods af den lavere modelleringsdybde (3 m) var den kumulerede algedækning lav i Limfjorden (20-92 %), som det også var tilfældet for den totale dækning, mens algedækningen i inderfjordene (20-121 %, 6 m) matchede yderfjordene (*figur 8.3, højre kolonne*).

Der var en signifikant positiv udviklingstendens i den totale dækningsgrad gennem perioden 1990-2014 i samtlige farvandstyper, bortset fra i Limfjorden, hvor udviklingstendensen var signifikant negativ. Den positive udvikling betyder, at det totale makroalgedække siden 1990 er øget med 26 % ved de åbne kyster, 21 % i yderfjordene, 54 % i inderfjordene og 17 % på stenrevne, mens det er gået 20 % tilbage i Limfjorden.

Der var ligeledes i hele overvågningsperioden en signifikant positiv udvikling i algernes kumulerede dækningsgrad i inderfjorde, yderfjorde og langs åbne kyster. Makroalgernes kumulerede dækningsgrad i Limfjorden udviste en signifikant negativ udviklingstendens, mens der ikke kunne påvises en signifikant udvikling for den kumulerede dækning på stenrevne. Over hele perioden (1990-2014) er det kumulerede makroalgedække øget med 63 % ved de åbne kyster, 49 % i yderfjordene og 63 % i inderfjordene, mens det er gået 45 % tilbage i Limfjorden. I Limfjorden har der dog været en tendens til øget makroalgedækning (både kumuleret og total) siden 1999, en udvikling som blev brudt af de lave dækningsgrader i 2014. De høje vandtemperaturer samt det kraftige iltsvind i Limfjorden i sommeren 2014 kan være en årsag til den markante tilbagegang i både den totale og kumulerede dækningsgrad af makroalger i Limfjorden fra 2013 til 2014 (*kapitel 7*).

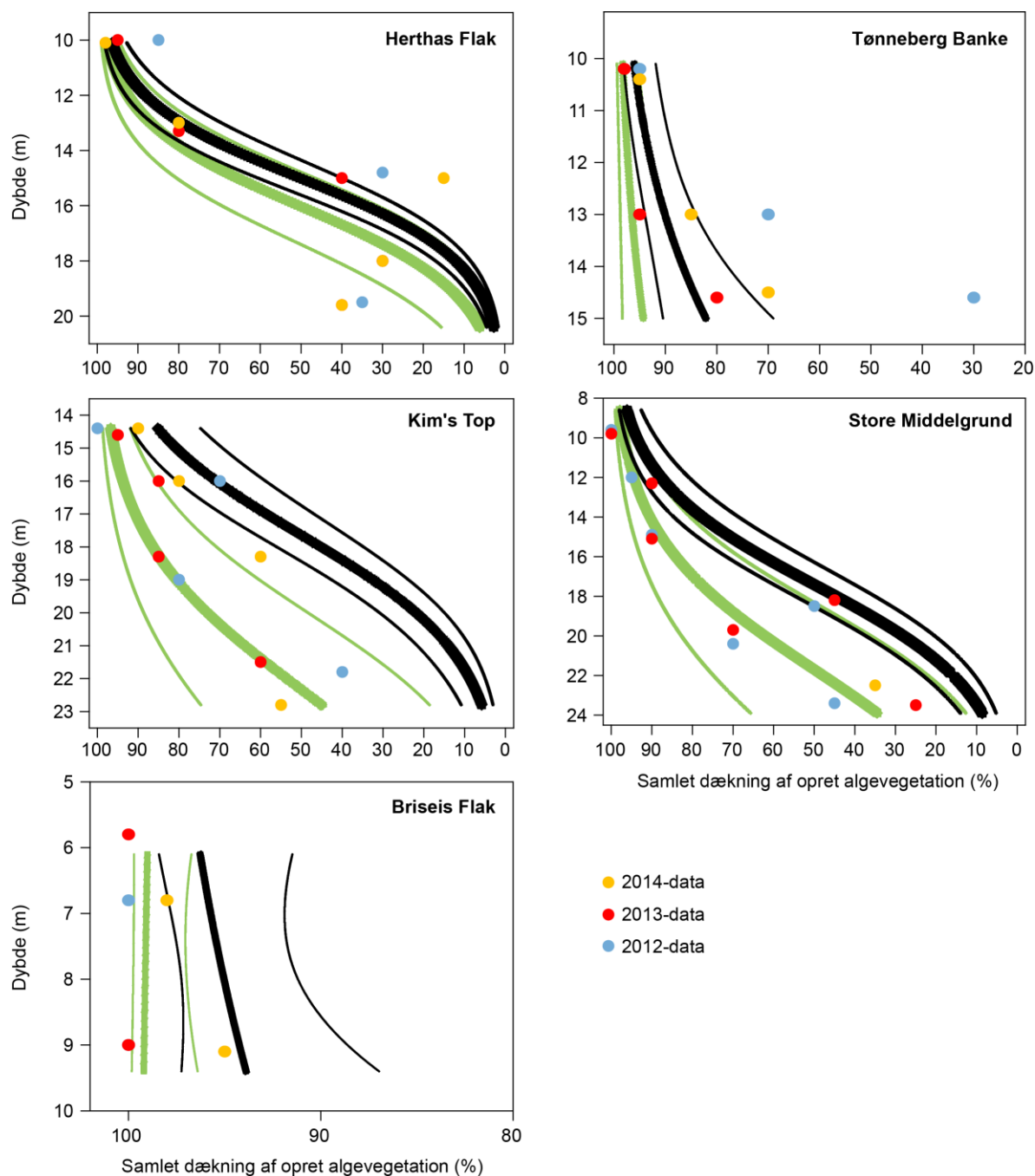
Både makroalgernes totale dækningsgrad og den kumulerede dækning i kystvande er negativt koblet til kvælstofkoncentrationen (*Krause-Jensen m.fl. 2007*). Der er også en negativ kobling mellem tilførslen af kvælstof i forårshalvåret og makroalgernes dækningsgrad på stenrev i Kattegat (*Dahl & Carstensen 2008*). Lysindstråling og forekomst af søpindsvin bidrager også til at forklare variationen i makroalgernes dækning. Modelbeskrivelsen af makroalgernes dækningsgrad forklarer op til 80 % af variationen i både den totale og den kumulerede algedækning på de udvalgte stenrev ($r^2 > 0,80$, $P < 0,0001$).



Figur 8.3. Makroalgernes totale dækningsgrad (venstre kolonne) og kumuleret dækningsgrad (højre kolonne) i perioden 1989-2014 for stenrev, åbne kyster, yder- og inderfjorde samt Limfjorden (middel $\pm$ 95 % konfidensgrænser). 1989 (Δ / $\circ$) er udeladt af trendanalyserne, da dækningsgrad er påfaldende lav, muligvis fordi overvågningsmetoden ikke var helt indarbejdet det første undersøgelsesår.

I mangel på ældre data, som kan bidrage til at definere en biologisk målsætning, kan modelværktøj bruges til at estimere den algedækning, der repræsenterer grænsen mellem fx gunstig og ikke gunstig bevaringsstatus for stenrev i Natura 2000-områder. En sådan estimering forudsætter fastlagte grænseværdier for kvælstoftilførsel eller alternativt sigtdybde. Modellerne giver

mulighed for at beregne algedække i relation til kvælstoftilførsel og lysindstråling for de enkelte stenrev. Det er således muligt at modellere algernes dybdeudbredelse i scenarier, hvor kvælstoftilførslen er ændret, mens klimatiske forhold og græsningstryk er konstante.



Figur 8.4. Aktuelle samlede (totale) dækningsgrader af den samlede oprette algevegetation på undersøgelsesstationer på fem rev i Kattegat for 2012-2014 og modellerede dækninger (uden korrektion for variation i indstråling i forårshalvåret) for to senarier med forskellig kvælstoftilførsel. De sorte linjer angiver den gennemsnitlige modellerede algedækning med tilhørende 95 % konfidensgrænser svarende til den gennemsnitlige TN-tilførsel for forårshalvåret i perioden 1994-2006 på 48.000 tons. Det andet scenarium (grønne linjer) svarer til en referencelignende situation med en tilførsel på 10.000 tons i forårshalvåret. Begge scenarier er baseret på en antaget græsning af søpindsvin svarende til 0,1 % dækning og en solindstråling fra maj til juli svarende til gennemsnittet for perioden 1994-2006.

Algevegetationens dækning langs dybdegradier på fem stenrev i Kattegat blev modelleret for to scenarier for kvælstoftilførsel (figur 8.4). Det ene scenarium repræsenterer den gennemsnitlige tilførsel af næringssalte til Kattegat i forårshalvåret for perioden 1994-2006, mens det andet repræsenterer en tilstand med stærkt reduceret kvælstoftilførsel i forårshalvåret. Det ses tydeligt, at en reduktion af kvælstoftilførslen har en gunstig effekt på den totale dækning af opret algevegetation på stenrev og tillige øger algenes dybdeudbredelse.

Algevegetationen på de fem udvalgte stenrev har generelt været høj og haft en god dybdeudbredelse de seneste tre år, i flere tilfælde på niveau med de modellerede referenceforhold (figur 8.4). På Store Middelgrund, hvor fysiske forstyrrelser prægede algevegetationen og bundfaunaen på 15 og 18 m's dybde i 90'erne og 00'erne, er algedækket nu reetableret (figur 8.4). Desuden er bestanden af grønne søpindsvin på fx Schultz's Grund på retur, og algevegetationen er under genetablering.

Diskussion af makroalgenes udvikling

Den positive udvikling i makroalgenes dækningsgrad i inder- og yderfjorde samt langs de åbne kyster og på stenrev må ses som en konsekvens af en forbedret vandkvalitet (Riemann m.fl. 2015). De mindskede næringssaltkoncentrationer i vandet reducerer væksten af planteplankton og opportunistiske énårige makroalger og bidrager til klarere vand. Det stimulerer makroalgenes vækst og mulighed for at etablere sig i dybere områder. Samtidig har de reducerede næringssaltkoncentrationer formentlig begrænset mængden af énårige epifytter på de flerårige alger og dermed yderligere bidraget til bedre vækstforhold. De kraftige flerårige makroalger, som brunalgerne fingertang (*Laminaria digitata*), sukkertang (*Saccharina latissima*), palmetang (*Laminaria hyperborea*), blæretang (*Fucus vesiculosus*) og savtang (*Fucus serratus*), har et lavere næringsbehov og kan hen over sommeren leve på næringssalte oplagret i løbet af vinter og forår, hvor koncentrationerne af næringssalte er højest (Pedersen & Borum 1997; Bartcsch m.fl. 2008). Disse arter har derfor en konkurrencefordel af de faldende næringssaltkoncentrationer sammenlignet med de mere næringssaltkrævende énårige alger.

Sammenfatning

- I perioden 1989-2014 har der ikke været en signifikant udvikling i ålegræssets maksimale dybdeudbredelse i nogen af farvandstyperne, mens hovedudbredelsen af ålegræs i inder- og yderfjorde samt Limfjorden er gået signifikant tilbage.
- I de seneste år (2008-2014) er der dog sket en positiv udvikling i hovedudbredelsen for ålegræs i samtlige farvandstyper, og for Limfjorden, yderfjorde og de åbne kyster har der også været en signifikant positiv udvikling i ålegræssets maksimale dybdeudbredelse. I Limfjorden er den maksimale dybdeudbredelse således forøget med 36 % og dybdegrænsen for hovedudbredelsen med 27 % siden 2008.
- For perioden 1989-2014 er der generelt en tendens til, at ålegræsset dækker en stadig mindre del af bunden langs de undersøgte transekter. Siden 2008 har der dog været en signifikant fremgang på 1-2 og 2-4 m's dybde i Limfjorden samt på 2-4 m's dybde ved de åbne kyster.
- I 2014 er ålegræssets dybdeudbredelse øget bl.a. i Sejerø Bugt, Det Sydfynske Øhav, Flensborg Fjord og Odense Fjord. En svag tilbagegang i forhold til 2013 er observeret i Isefjord Inderbredning, Nibe-Gjøl Bredning, samt Horsens Fjord, Kalundborg Fjord, Roskilde Fjord, Løgstør

Bredning og Skive Fjord – dog uden at bryde den generelt positive udvikling gennem de seneste år.

- Den observerede tilbagegang i ålegræssets dybdeudbredelse i nogle af de ovenfor nævnte fjorde kan være forårsaget af de høje sommertemperaturer og kraftige iltsvind i 2014.
- Den reducerede tilførsel af næringssalte ser ud til at have en begyndende positiv effekt på ålegræssets udbredelse. Det kan bl.a. hænge sammen med, at vandet i flere områder er blevet væsentligt klarere gennem de seneste år. Dog er ålegræsbestandene i mange områder reduceret så markant, at den positive udvikling i ålegræssets udbredelse er forsinket i forhold til reduktionen i næringssaltbelastningen.
- Udviklingen i ålegræssets udbredelse og dækningsgrader udviser svingninger gennem hele overvågningsperioden (1989-2014). Derfor bør de positive tendenser i de seneste år (2008-2014) stadig tolkes med varsomhed.
- Set over hele overvågningsperioden (1990-2014) har der været en signifikant positiv udviklingstendens i makroalgernes gennemsnitlige totale dækningsgrad i inderfjorde, yderfjorde, kystområder og på stenrev, mens udviklingen i Limfjorden har været signifikant negativ. Tilsvarende har der været en signifikant positiv udvikling i de kumulerede dækningsgrader i fjorde og åbne kystområder bortset fra i Limfjorden, hvor udviklingen også for denne indikator har været negativ.
- Den totale algedækning på de undersøgte stenrev i Kattegat var generelt god i 2014, hvilket er i overensstemmelse med den forøgede sigtdybde i de åbne indre danske farvande i forårshalvåret 2014.
- Græsning forårsaget af søpindsvin er et aftagende problem for vegetationen på stenrevet Schultz's Grund.
- De biologiske forhold på undersøgelsesstationer på stenrevet Store Midelgrund, der tidligere har været påvirket af fysiske forstyrrelser, er nu reetableret.

9 Bundfauna

Jørgen L. S. Hansen, Alf B. Josefson & Ciarán Murray

Havbunden i de danske farvande består af forskellige typer af havbund varierende fra ler over blødt mud til groft sand. Til disse bundtyper er der knyttet artsrige dyresamfund, som udgør en meget vigtig del af havets økosystem og er fødegrundlaget for en stor del af de bundlevende fisk. Bundfaunaen spiller ligeledes en vigtig rolle for processerne i vandsøjlen og i havbunden, idet bundfaunaen omsætter en stor del af havets primærproduktion (planteproduktion). De bunddyr (filtratorer), som lever af at filtrere vandet, kan på lavt vand forekomme i så stor tæthed og biomasse, at de er i stand til at regulere planteplanktonet i hele vandsøjlen, hvis den ikke er lagdelt.



Molboøsters (*Arctica islandica*, Linnaeus 1767).

Foto: Steffen Lundsteen.

På større vanddybder, hvor der ikke er planteproduktion, udgør det organiske materiale, der sedimenterer ud af vandsøjlen til havbunden, grundlaget for bundens fødekæde. Det omsættes af sedimentædere, enten på sedimentoverfladen eller når det senere bliver nedblandet i sedimentet. Dermed er bundfaunaen et meget vigtigt bindeled mellem planteproduktionen i de frie vandmasser, omsætningen på havbunden og de højere led i fødekæden, især fugle og bundlevende fisk, som lever af bunddyr. Herudover er nogle arter af bløddyr og krebsdyr, som fx muslinger og jomfruhummer, kommercielt vigtige for erhvervsfiskeriet.

De enkelte arter af bunddyr repræsenterer vidt forskellige livsformer og tilpasninger, og på baggrund af deres ernæring kan de opdeles i forskellige grupperinger. Ud over filtratorer og sedimentædere, beskrevet ovenfor, er der græssere og rovdyr. Græsserne findes typisk på lavere vand med planteproduktion på bunden, som de græsser direkte på. For hele bundfaunasamfundet gælder, at jo mere organisk materiale, der er til rådighed enten som suspenderet stof i vandsøjlen eller deponeret på og i sedimentet, jo højere biomasse kan bundfaunasamfundet opnå. Dermed kan eutrofiering (forøget tilførsel af organisk materiale) medføre en øget biomasse af bundfaunaen. Tilførslen af meget organisk materiale til bunden øger dog samtidig iltforbruget i bundvandet og dermed risikoen for iltsvind, som kan skade bundfaunaen og i værste fald udslette hele bunddyrssamfund. Effekten af eutrofiering varierer fra sted til sted, men risikoen for at bundfaunaen rammes af iltsvind, er størst i de områder, hvor ventilationen af bundvandet er ringe og rammer derfor især dybe områder med en lagdelt vandmasse. I visse områder i de danske farvande er iltsvind et tilbagevendende problem, som nogle år skader bundfaunaen i store områder. Eutrofiering, miljøfarlige stoffer og fysisk forstyrrelse af havbunden påvirker bundfaunaens sammensætning og diversitet, og derfor kan bundfaunaen bruges til at vurdere den generelle miljøkvalitet og ændringer i miljøkvaliteten.

Det dyresamfund, der lever på sedimentbunden (blødbundsfauna eller infauna), har en artssammensætning, der adskiller sig fra de dyresamfund, som findes på steder med hård bund som fx stenrev (hårdbundsfauna eller epifauna). I dette kapitel beskrives resultater af den nationale overvågning af blødbundsfaunaen. Der er en lang tradition i Danmark for at undersøge dyrelivet på disse bundtyper. Således blev en række af de stationer, der indgår i det nuværende overvågningsprogram, indsamlet første gang for godt 100 år siden i 1911 af C. G. J. Petersen i forbindelse med hans kortlægning af bundfaunaen i de indre danske farvande. Formålet var dengang at vurdere fødegrundlaget for fiskebestandene. Overvågningen af bundfaunaen i nyere tid er for en stor del sket på kystnære stationer omfattet af vandrammedirektivet og stationer på mere åbent vand omfattet af internationale konventioner (især HELCOM) og senest havstrategidirektivet. Fra 2012 er overvågningen af den danske blødbundsfauna udvidet med prøvetagning i naturtyper, der omfattes af habitatdirektivet.

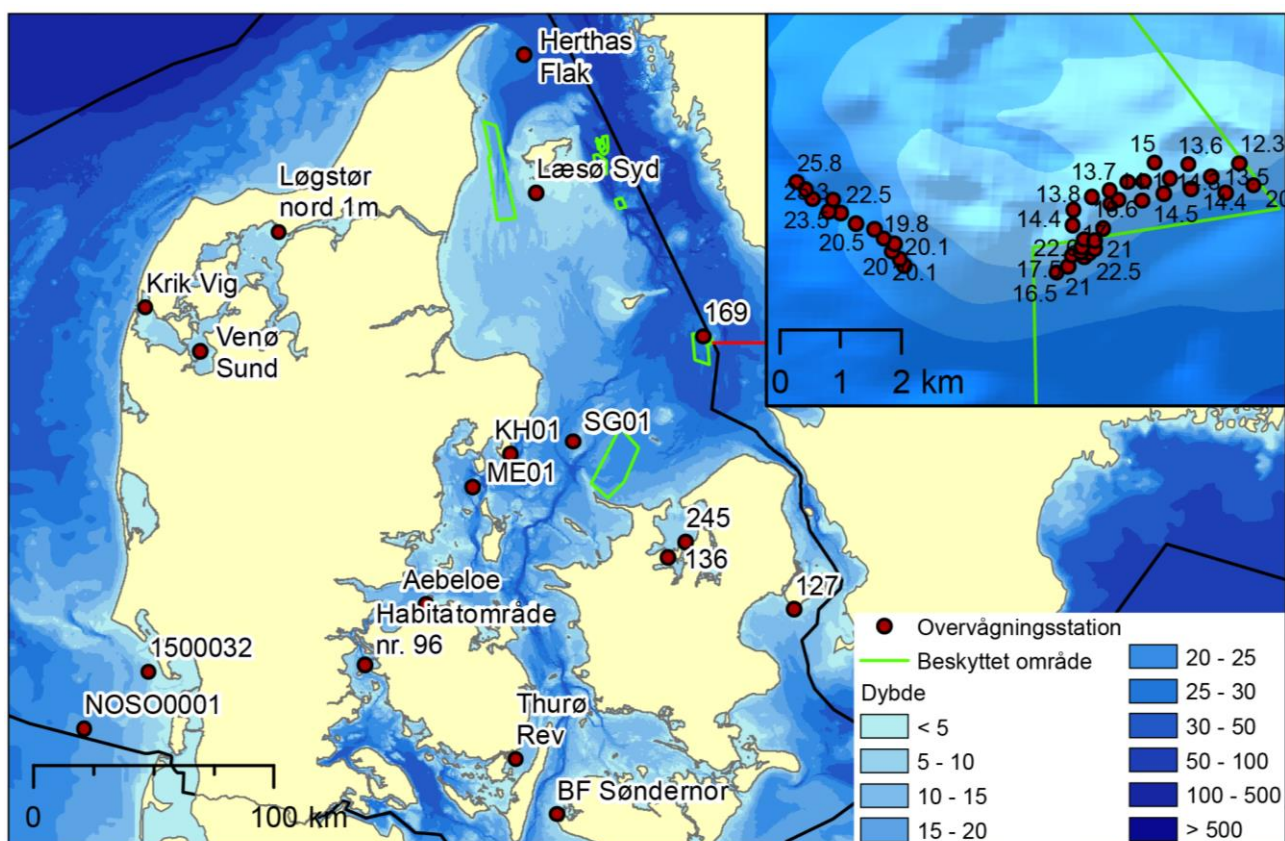
Metoder og datagrundlag

I overensstemmelse med programbeskrivelsen for den nationale overvågning, blev der ikke taget bundprøver i 2014 på de 21 HELCOM-stationer i de åbne farvande, hvorfra der findes tidsserier, der går tilbage til 1994. Det er de stationer, der plejer at indgå i afrapporteringen af tidslig udvikling af bundfaunaen i de åbne farvande. Der blev heller ikke, som planlagt, taget bundprøver i 2014 på de 48 tidstrendstationer, der blev besøgt i 2013. Der henvises derfor til foregående års rapporter vedr. den tidslige udvikling i bundfaunaen i disse områder.

For 2014 er der rapporteret bundfauna fra 18 'nye' områder (*figur 9.1*) som supplement til de 23 områder, der blev rapporteret for 2012. Størstedelen af de 18 områder er beliggende i naturtyper omfattet af habitatdirektivet - fortrinsvis naturtyperne lavvandede bugte og vige (naturtype nr. 1160), laguner (nr. 1150) og sandbanker (nr. 1110). Men der er også en række stationer beliggende i åbne områder herunder fire stationer, som ligger i samme områder som nogle af HELCOM-stationerne. Det drejer sig om stationsområderne Hertas Flak, Store Middelgrund (169), Schultz's Grund (SG01) og Mejl Flak (ME01). Status for bundfaunaen i de tre af disse områder (Hertas Flak, Schultz's Grund, Mejl Flak) vil blive beskrevet sammen med de kystnære områder, da der ikke findes sammenlignelige tidsserier til vurdering af udviklingen i bundfaunaen i disse områder.

Data er indsamlet efter retningslinjerne i den tekniske anvisning for NOVANA for overvågning af bunddyr (*Hansen & Josefson 2014*). Materialet blev indsamlet med Haps-bundhenter, og der blev i de fleste områder taget 42 delprøver. Beregnede mål for artsrigdom (S) er baseret på puljer á 7 hapsprøver således, at der for hvert område med 42 prøver foreligger 6 replikater. Puljerne er sammensat tilfældigt i forhold til variationer i det fysiske miljø inden for prøvetagningsområderne. For Store Middelgrund (område 169) er der dog foretaget særskilte analyser, hvor prøverne er grupperet efter dybde.

I hele datamaterialet varierer prøvetagningsdybden fra 0,5 m til 26,5 m og saltholdigheden, der er beregnet ud fra den nærmeste hydrografistation, varierede mellem 8 (Amager ved Kongelunden) og 33 (bundvandet i Kattegat).



Figur 9.1. Bundfaunaprøvetagningsområder der blev besøgt i 2014. Hvert undersøgelsesområde består af 42 individuelle prøvetagningspositioner. Indsat kort viser placeringen af de 42 prøvetagningspositioner i område 169. Dybden er angivet over hver prøvetagningsposition i område 169. Områder, der er indrammet med grønt, angiver placeringen af de områder, som Naturstyrelsen har foreslået at beskytte mod fiskeri.

Resultater fra overvågningen af bunddyr

Det totale prøvemateriale omfattede i alt 401 taxa fordelt på ca. 43.191 individer af bundfauna (inkl. lidt epifauna som fx mosdyr (bryozoer)). De tre almindeligste arter er anført for hvert område i tabel 9.1.

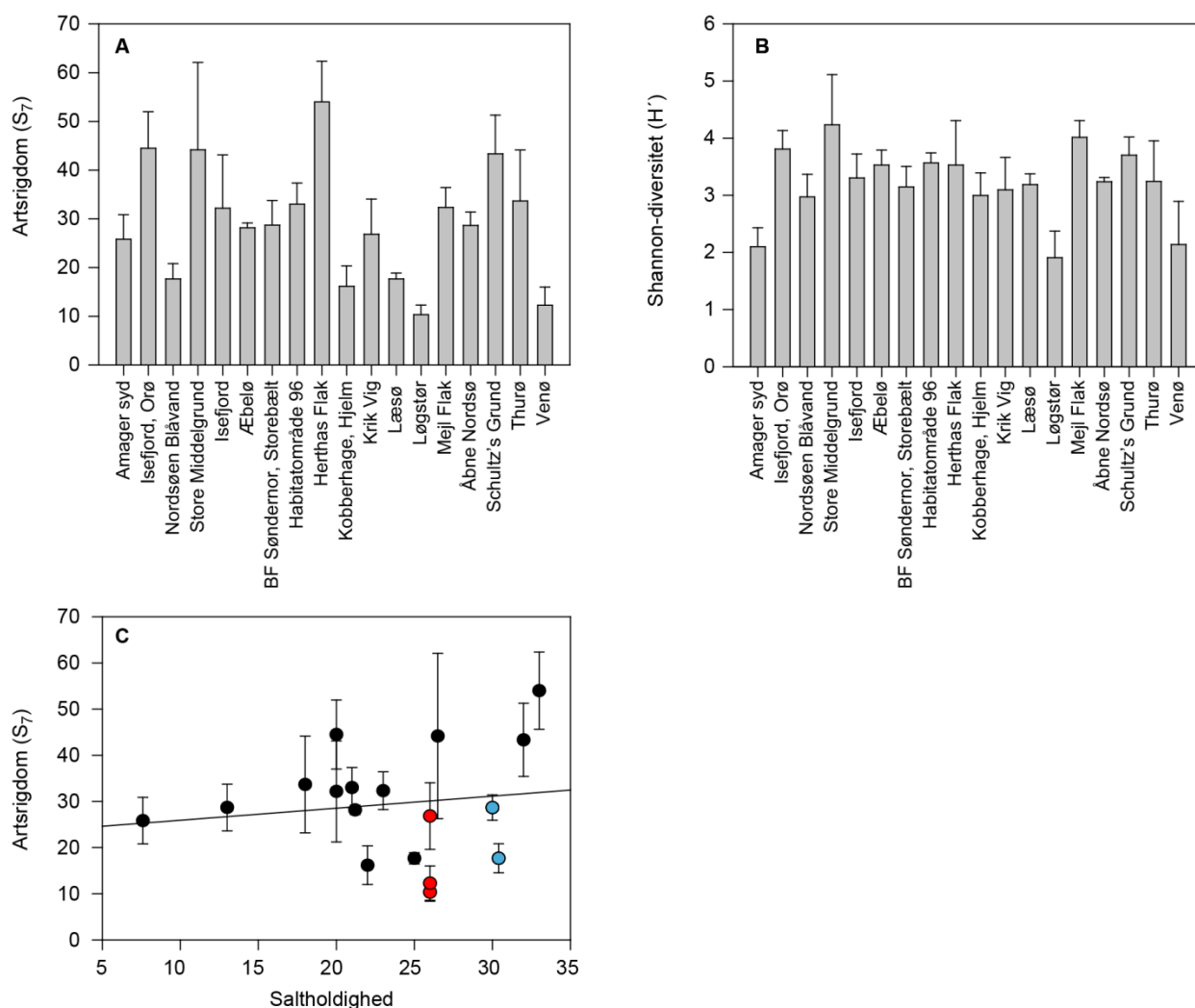
Tætheden af individer, i det der langt overvejende var habitatområder, varierede over næsten to størrelsesordner, fra < 1000 individer/m² i Venø Sund i Limfjorden til knap 19.000 individer/m² i område 127. Med én undtagelse var antallet af individer fra områder med totale tætheder > 4.000 stærkt domineret af dyndsnegle (arter af slægten *Hydrobia*), og på nogle af disse områder også børsteormen *Pygospio* og blåmuslinger (*Mytilus edulis*). Områderne med store individtætheder udgøres ofte af blødbund og tilhører fortrinsvis kategorien 'lavvandede bugte og vige' samt 'laguner/nor'. På de mere eksponerede og sandede områder, som fx 'banker' i de åbne områder, er faunaen ud over børsteormen *Pygospio* domineret af børsteorme som *Scoloplos armiger*, *Spiophanes bombyx* og *Ophelia borealis*, phoroniden *Phoronis* og muslingerne af slægten *Spisula*, *Fabulina* og *Angulus*.

Tabel 9.1. Total individtæthed og dominerende taxa i rangorden efter individtæthed for hvert af 18 områder. Procentandel af den totale individtæthed er angivet i parentes efter hver art.

Område	Ind/m ²	Dominant 1	Dominant 2	Dominant 3
127, Amager syd	18.843	<i>Mytilus edulis</i> (43)	<i>Hydrobia</i> (36)	<i>Pygospio</i> (9)
136, Isefjord, Orø	9.514	<i>Corophium insidiosum</i> (19)	<i>Pygospio</i> (15)	<i>Chironomidae</i> (11)
BF Søndernor, Storebælt	7.949	<i>Hydrobia</i> (37)	<i>Mytilus edulis</i> (14)	<i>Tubificoides</i> (8)
Thurø Rev, Langelandsund	5.296	<i>Pygospio</i> (37)	<i>Hydrobia</i> (7)	<i>Polydora cornuta</i> (6)
Herthas Flak, nordlige Kattegat	3.961	<i>Amphiura filiformis</i> (41)	<i>Mysella bidentata</i> (16)	<i>Pholoe baltica</i> (5)
Krik Vig, Nissum Bredning i Limfjorden	3.400	<i>Pygospio</i> (34)	<i>Capitella capitata</i> (16)	<i>Spio filicornis</i> (6)
Schultz's Grund (SG01), sydlige Kattegat	3.275	<i>Phoronis muelleri</i> (32)	<i>Mysella bidentata</i> (10)	<i>Electra pilosa</i> (8)
245, Isefjord	2.892	<i>Podocoryne carnea</i> (23)	<i>Nemata</i> (18)	<i>Tubificoides</i> (16)
Habitatområde nr. 96, Bredingen Nord i Lillebælt	2.832	<i>Mysella bidentata</i> (30)	<i>Corbula gibba</i> (19)	<i>Scoloplos armiger</i> (9)
NOSO0001, Åbne Nordsøen	2.737	<i>Spiophanes bombyx</i> (36)	<i>Lanice conchylega</i> (9)	<i>Scoloplos armiger</i> (8)
Æbelø	2.671	<i>Pygospio</i> (31)	<i>Spio filicornis</i> (8)	<i>Tubificoides</i> (8)
Store Middelgrund (169), i Kattegat	2.101	<i>Phoronis muelleri</i> (16)	<i>Amphiura filiformis</i> (7)	<i>Mysella bidentata</i> (6)
1500032, Nordsøen Blåvand	1.665	<i>Fabulina fabula</i> (26)	<i>Spiophanes bombyx</i> (24)	<i>Mysella bidentata</i> (15)
Mejl Flak (ME01), nordlige Bælthav	1.495	<i>Mysella bidentata</i> (12)	<i>Bittium reticulatum</i> (11)	<i>Echinocyamus pusillus</i> (10)
Kobberhage (KH01), Hjelm Dybøstlige Kattegat	1.387	<i>Paraonis fulgens</i> (32)	<i>Bathyporeia sarsi</i> (15)	<i>Angulus tenuis</i> (13)
Løgstør nord 1 m, Løgstør Bredning i Limfjorden	1.319	<i>Spio filicornis</i> (53)	<i>Scoloplos armiger</i> (27)	<i>Marenzelleria viridis</i> (5)
Læsø Syd, centrale Kattegat	1.011	<i>Scoloplos armiger</i> (35)	<i>Ophelia borealis</i> (12)	<i>Angulus tenuis</i> (10)
Venø Sund, Limfjorden	968	<i>Mysella bidentata</i> (68)	<i>Capitella capitata</i> (5)	<i>Nephtys hombergi</i> (4)

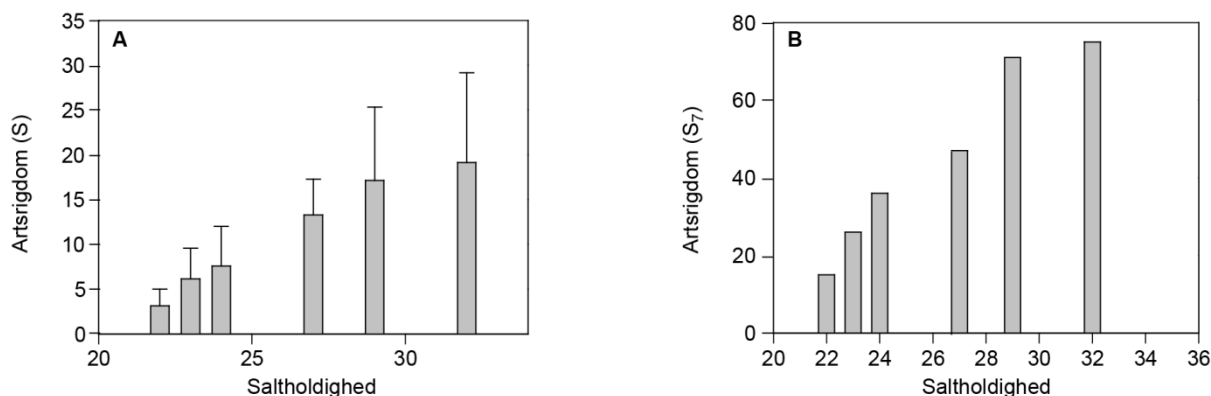
Artsdiversitet

I det samlede datasæt var den gennemsnitlige artsrigdom i 7 hapsprøver 29 arter, og tallet varierede fra 6 til 76 arter (figur 9.2A). Området 'Løgstør nord' havde den laveste gennemsnitlige artsrigdom (10) og Store Middelgrund (område 169) den højeste (54). Den gennemsnitlige Shannon-diversitet var 3,2 og varierede fra 1 til 4,8 (et enkelt prøvesæt fra Store Middelgrund nåede 5,4 – men her var meget forskellige prøvetagningssteder, med meget forskellige bundfaunasamfund blevet puljet, hvilket ikke giver en sammenlignelig værdi) (figur 9.2B). Der var ikke nogen tydelig korrelation mellem artsrigdommen og saltholdigheden mellem de forskellige prøvetagningsområder (figur 9.2C).



Figur 9.2. Beregninger af A) artsrigdom (S_7 : antal arter i 7 hapsprøver), B) artsdiversitet (Shannon-diversitet), C) Artsrigdom versus saltholdighed beregnet ud fra nærmeste hydrografistation (røde symboler angiver stationer i Limfjorden og blå symboler stationer i Nordsøen). Usikkerhedsbjælker angiver standardafvigelse.

Store Middelgrund (område 169), som blev indsamlet første gang i 2014, ligger tæt ved stenrevet Store Middelgrund i det centrale Kattegat tæt på grænsen til svensk farvand (figur 9.1). I modsætning til prøvetagningen i de øvrige 17 stationsområder, så dækker de 42 prøvetagningspositioner i dette område en dybdegradient (12-26 m). Det betyder, at der også er en gradient i saltholdigheden på tværs af området grundet saltlagdelingen i Kattegat. Der blev ikke foretaget CTD-målinger på disse stationer, men på den nærliggende station 413 viste saltholdighedsmålinger fra 2014, at middelsaltholdigheden varierede fra 21 til 33 i dette dybdeinterval. Derfor forventes der betydelige variationer i bundfaunasammensætningen inden for området. Ved at pulje hapsprøverne 7 og 7 efter stigende dybde (i modsætning til at pulje hapsprøverne i tilfældig rækkefølge som for de øvrige områder) ses en meget stærk lineær korrelation mellem artsrigdommen og dybden/saltholdigheden, både når det gælder artsrigdommen i én hapsprøve, og for puljer af 7 hapsprøver (figur 9.3A, B). Den gennemsnitlige artsrigdom i en prøve var således 3,1 arter/prøve på de laveste vanddybder og hele 19 arter/prøve på de syv dybeste prøvetagningspositioner. Der blev i en enkelt prøve registreret 40 arter, hvilket er det hidtil højeste registrerede artsantal i de seneste 30 års overvågning.



Figur 9.3. Beregninger af A) artsrigdom i én hapsprøve og B) artsrigdom i 7 hapsprøver versus saltholdigheden på prøvetagningsdybden i stationsområdet Store Middelgrund i det centrale Kattegat. Usikkerhedsbjælker repræsenterer standardafvigelse.

Diskussion

Der foreligger ikke tidsserier fra de 18 bundfaunaområder, der blev undersøgt i 2014. Nærværende analyse skal derfor ses som et øjeblicsbillede af tilstanden i 2014 i de undersøgte områder. Artsrigdommen viste mod forventning (Josefson *m.fl.* 2014; Zettler *m.fl.* 2007) ikke nogen tydelig korrelation med saltholdigheden på tværs af alle områder. Dette skyldes formentlig data for Limfjorden, hvor artsdiversiteten var lav og saltholdigheden forholdsvis høj. I modsætning hertil var der en tydelig korrelation mellem saltholdigheden og artsrigdommen på Store Middelgrund (område 169) i det centrale Kattegat, hvor artsrigdommen var lav over saltspringlaget, som lå i 12-15 m, og meget høj under springlaget. Dette område, som ikke tidligere har været undersøgt, er specielt på grund af den høje artsdiversitet. Der skal naturligvis tages forbehold for, at resultaterne fra Store Middelgrund har anekdotisk karakter, da der kun er tale om få prøver og kun fra et år. Men, hvis efterfølgende undersøgelser kan bekræfte den høje artsdiversitet, så er dette interessant af flere grunde. For det første ligger området inden for et af de områder, som Naturstyrelsen har foreslået, skal beskyttes mod fiskeri med slæbende redskaber. De aktuelle prøver vil dermed kunne indgå i en baseline, og data dokumenterer, at området i det mindste har potentiale for høj biodiversitet og dermed er berettiget som beskyttet område. For det andet illustrerer dette område meget tydeligt betydningen af vandets saltholdighed for biodiversiteten. Det er velkendt, at diversiteten stiger med saltholdigheden (fx Remane 1934, Zettler *m.fl.* 2007, Josefson *m.fl.* 2014). Men i de fleste andre områder vil man ofte finde, at saltholdigheden co-varierer med gradienten i eutrofierings- og produktionsforholdene, fordi næringssaltene langt overvejende tilføres med ferskvand. Dette er ikke tilfældet på Store Middelgrund, da saltgradienten er vertikal, og hele området derfor er udsat for de samme produktionsforhold. Årsagen til den høje biodiversitet på Store Middelgrund er ukendt. En hypotese er, at området har været friholdt for forstyrrelse fra trawling grundet beliggenheden i nærheden af stenrevet Store Middelgrund. For at afklare denne hypotese er det nødvendigt med en meget detaljeret kortlægning af området kombineret med bundfaunaprøvetagning.

Sammenfatning

- De fleste områder, der blev undersøgt i 2014, har ikke tidligere været undersøgt, og det er ikke muligt at beskrive den tidlige udvikling.
- Der var ikke nogen tydelig korrelation mellem artsrigdom og saltholdighed mellem prøvetagningsområderne.

- På Store Middelgrund (område 169) i det centrale Kattegat var der en stærk lineær korrelation mellem artsrigdom og dybde/saltholdighed, og der blev observeret den hidtil højeste biodiversitet i et bundfaunasamfund i dansk farvand inden for de seneste 30 års overvågning.

10 Havpattedyr - sæler og marsvin

Signe Sveegaard, Anders Galatius & Jonas Teilmann

Danmarks tre mest talrige havpattedyr er spættet sæl, gråsæl og marsvin. Alle tre arter er beskyttet i henhold til habitatdirektivet. Marsvinet er nævnt i Bilag II og IV, og begge sælarter i Bilag II og V. For arter på habitatdirektivets Bilag II skal der udpeges beskyttede områder – Natura 2000-områder (N2000-områder). Marsvin skal derudover beskyttes i hele deres udbredelsesområde (Bilag IV), og sæler kan blive genstand for forvaltningstiltag, hvis en overvågning viser, at disse arters udbredelse er i tilbagegang (Bilag V).



Marsvin ved Fyns Hoved. Foto: Signe Sveegaard.

Metoder og datagrundlag

Natura 2000-områder

I 2010 var 16 N2000-områder udpeget for marsvin, og fra 2011 indgår overvågning af marsvin i disse områder i det nationale overvågningsprogram NOVANA.

I henhold til habitatdirektivet er der for spættet sæl og gråsæl udpeget hhv. 25 og 9 N2000-områder (*figur 10.1*). Af disse i alt 25 områder (9 områder er udpeget for begge sælarter) findes faste kolonier af spættet sæl på land i 17 af områderne, mens gråsælerne opholder sig jævnligt på land i 7 af de udpegede områder for denne art. Disse områder har indgået i den nationale overvågning i Kattegat og Vadehavet siden 1976 (standardiseret siden 1979) og i Limfjorden og Østersøen siden 1990. Uden for disse N2000-områder overvåges desuden enkelte lokaliteter, hvor sæler forekommer på land.

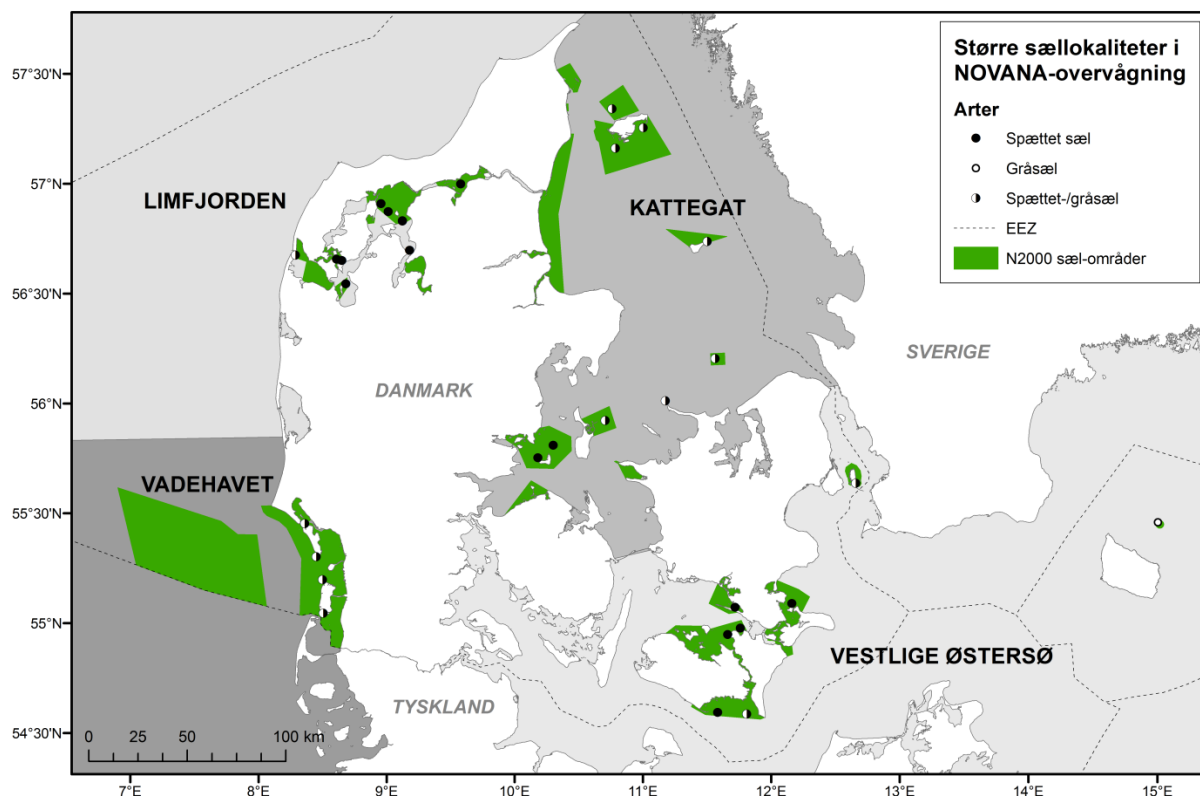
Overvågning af sæler

Fra 2011 er systematiske tællinger af gråsæler i yngle- og fældeperioderne blevet en integreret del af det nationale overvågningsprogram (NOVANA). Før blev gråsæl kun registreret i tilknytning til optællinger af spættet sæl i august.

I det nuværende program flyovervåges spættet sæl og gråsæl i tre perioder:

- 1) Februar/marts er yngleperiode for gråsælerne i Østersøen; her fokuseres overvågningen på gråsælunger i Østersøen og Kattegat. December er yngleperiode for gråsæler i Nordsøen. Fra 2014 er der påbegyndt overvågning af gråsælunger i Vadehavet og Limfjorden i denne måned.
- 2) I maj/juni fælder gråsælerne i Østersøen, og de spættede sæler føder deres unger. I denne periode estimeres ungeproduktionen for spættede sæler og antallet af gråsæler i de indre farvande.

- 3) I august fælder de spættede sæler og optælles tre gange i hvert af områderne Kattegat, Limfjorden og Østersøen og to gange i Vadehavet. Tællingerne af de spættede sæler i august bruges til at overvåge udviklingen i den samlede bestand i Danmark (Teilmann *m.fl.* 2010).



Figur 10.1. Kort over N2000-områder for spættet sæl og gråsæl i danske farvande. Større kolonier med spættet sæl og lokaliteter, hvor der jævnligt observeres gråsæler, er vist med forskellig signatur. Bemærk at spættet sæl har en koloni på Sjællands Rev, hvor den ikke er beskyttet, og at gråsælen jævnligt observeres ved Nordre Rønner nord for Læsø, hvor den ikke er på udpegningsgrundlaget.

Overvågning af marsvin

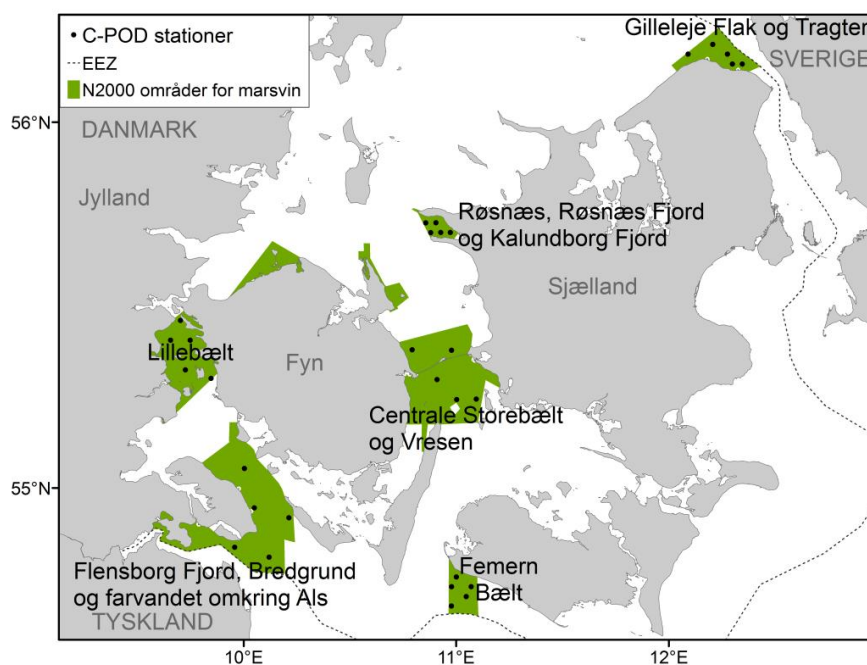
Marsvin overvåges ved brug af forskellige metoder alt efter de logistiske muligheder og sammenlignelighed med tidligere data fra de forskellige områder.

I løbet af NOVANA-perioden 2011-2015 udføres følgende overvågning:

- 1) I Skagerrak (tre habitatområder for marsvin) og den sydlige Nordsø (to habitatområder for marsvin) gennemføres en årlig optælling fra fly i alle fem habitatområder i juli. Flyet flyver i fastlagte transekter, og to observatører optæller alle marsvin på hver sin side af flyet. Flyovervågning udføres fra 600 fods højde (ca. 200 m) ved brug af standardmetoder for linjetransekter, distance-sampling (Buckland *m.fl.* 2001), og observations-procedurer (Scheidat *m.fl.* 2008; Gilles *m.fl.* 2009).
- 2) I de indre danske farvande overvåges de seks vigtigste habitatområder for marsvin med stationære akustiske lyttestationer (C-PODs, 5 i hvert område). Disse områder er 'Lillebælt', 'Flensborg Fjord, Bredgrund og farvandet omkring Als', 'Røsnæs, Røsnæs Fjord og Kalundborg Fjord', 'Centrale Storebælt og Vresen', 'Gilleleje Flak og Tragten' og 'Femern Bælt' (figur 10.2). Der overvåges to habitatområder ad gangen, og hvert område overvåges to gange et år inden for perioden 2011-2015. I juni

2011 blev de første C-PODs udsat i habitatområderne i Kalundborg Fjord og Storebælt. Som følge af samarbejdet med NaturErhvervstyrelsen om effekter af brug af pingere i garnfiskeri blev de 10 stationer i Storebælt og Kalundborg Fjord dog fastholdt i stedet for at rykke til to nye habitatområder. I februar 2013 blev 10 nye stationer udlagt i N2000-områderne i Lillebælt og Flensborg Fjord og har stået der frem til maj 2014. I april 2014 udlagdes 10 nye stationer i habitatområderne i Femern Bælt og det nordlige Øresund.

Figur 10.2. Placering af akustiske dataloggere (C-PODs) i seks N2000-områder. EEZ (Exclusive Economic Zone) indikerer afgrænsningen af de danske farvande.



De fem C-PODs i hvert område er placeret på tilfældigt udvalgte positioner for at give et generelt billede af marsvinetætheden i området. Udstyret er alt efter forholdene enten placeret på havbunden med et anker og en akustisk udløser eller med anker og overfladebøje. De registrerede marsvinelyde analyseres som antal minutter pr. døgn, hvor marsvin er detekteret (marsvine-positive minutter = Porpoise Positive Minutes = PPM). Herefter udregnes et gennemsnit per døgn for de fem stationer i hvert område og til sidst et gennemsnit af PPM/døgn for hver måned.

- 3) I de indre danske farvande foretages desuden to gange inden for perioden 2011-2016 en akustisk overvågning fra skib, hvor de vigtigste N2000-områder gennemsejles (2011 og 2013), og en gang i perioden (2012) laves en total optælling af bestanden i de indre farvande svarende til de tidligere gennemførte SCANS-optællinger (Hammond m.fl. 2013).

Resultater fra overvågningen

Med inddragelse af overvågningsresultater for 2014, beskrives i det følgende bestandsudviklingen af spættet sæl, gråsæl og marsvin i de danske farvande.

Spættet sæl

Nationalt

Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark. Spættet sæl forekommer især i kystnære farvande, hvor der er rigelig føde, og hvor der findes uforstyrrede yngle-/hvilepladser på sandbanker, rev, holme og øer. Den danske bestand er opdelt i fire forvaltningsområder (Vadehavet, Limfjorden,

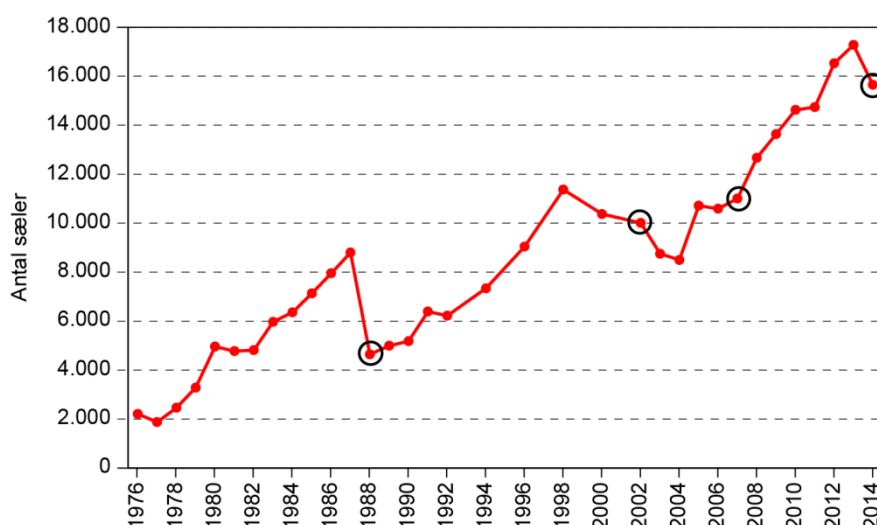
Kattegat og den vestlige Østersø) på baggrund af genetiske forskelle og satellitmærkede dyrs brug af farvandene (figur 10.1; Olsen m.fl. 2014).

I 1988 og 2002 ramte to store epidemier, med den mæslinge-lignende virus *phocine distemper virus* (PDV) de spættede sæler og slog 20-50 % af bestandene ihjel (figur 10.3; Härkönen m.fl. 2006). I 2002 ramte epidemien flere lokaliteter efter optællingerne i august, således at den samlede nedgang i bestanden først sås i 2003. Efter 1988 og indtil 2002 steg bestanden i gennemsnit med 11 % hvert år. Fra 2002-epidemien frem til 2014 var den gennemsnitlige årlige stigning 6 %. En mindre epidemi af ukendt oprindelse blev registreret på Anholt og den svenske vestkyst i 2007 (Härkönen m.fl. 2008). Kun nogle hundrede spættede sæler døde i sommeren 2007, og effekten på den samlede danske bestand var ikke synlig i overvågningsresultaterne. I sommeren/efteråret 2014 blev de spættede sæler i Kattegat, Limfjorden og Vadehavet ramt af en ny epidemi, som denne gang skyldtes fugleinfluenza. Mange hundrede spættede sæler døde i Kattegat, Limfjorden og Vadehavet (Bodewes m.fl. 2015; Krog m.fl. 2015).

Potentielt kan de store PDV-epidemier vende tilbage med > 10 års intervaller, når andelen af sæler uden immunitet (dvs. født efter 2002) når en vis størrelse, og smitten er til stede. Smitten formodes at komme fra de store arktiske sælbestande, hvor virusset cirkulerer, uden at sælerne ser ud til at dø af det. En teori er, at gråsæler, der bevæger sig meget mere omkring end spættet sæl, muligvis smittes længere nordpå og bringer smitten sydpå, hvor de spættede sæler lever. Ingen af de ovenstående epidemier ser ud til at have været dødelig for gråsælerne, selvom det er påvist, at de blev smittet af PDV i 1988 og 2002 (Härkönen m.fl. 2006; Härkönen m.fl. 2007a). Effekten af epidemierne på antallet af spættede sæler forventes at være 5-10 år fra smittetidspunktet afhængig af den enkelte bestands størrelse (Olsen m.fl. 2010).

Den totale bestand af spættet sæl i Danmark (sæler talt på hvilepladserne plus den andel af sæler, der antages at være i vandet under optællingen) har udviklet sig fra ca. 2.000 dyr i 1976 til ca. 16.000 dyr i 2014 (figur 10.3). Bestandsfremgangen tilskrives jagtfredningen af arten i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater i de følgende år med adgangsforbud og derfor god ungeoverlevelse (Jepsen 2005).

Figur 10.3. Det totale antal spættet sæl i Danmark i perioden 1976-2014 – opgjort ud fra tællinger på landgangspladser samt den gennemsnitlige andel af sæler i vandet (32 % i Vadehavet - Ries m.fl. 1998, 43 % i øvrige farvande - Härkönen m.fl. 1999). I perioden 1976-1978 er antallet estimeret ud fra forskellige typer tællinger, som ikke er standardiserede. De fire epidemier i 1988, 2002, 2007 og 2014 er vist med cirkler.

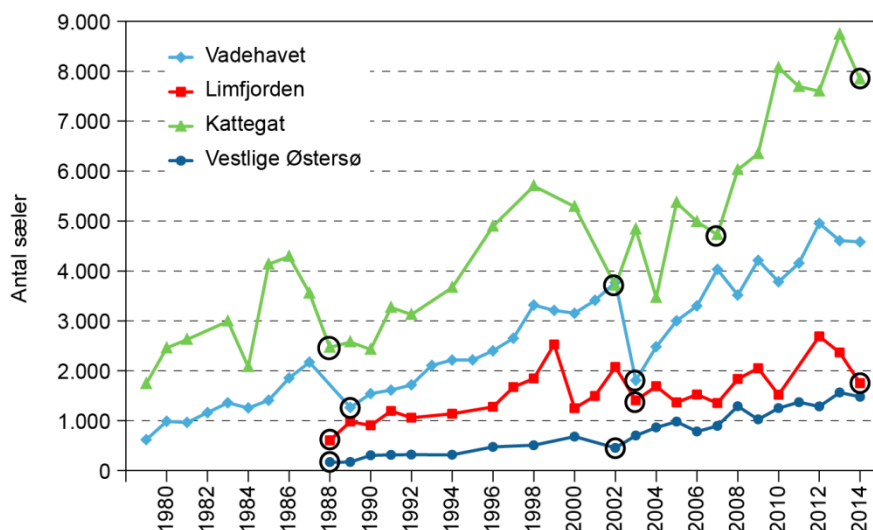


I de sidste par år er antallet af gråsæler, især i den vestlige Østersø, steget kraftigt (se omtale af gråsæler længere fremme). Det er uvist, hvordan det vil påvirke spættede sæler, men da gråsælen er større og mere aggressiv, samtidig med at der er et stort overlap mellem arternes fødepræferencer og landgangspladser, er en negativ påvirkning af antallet af spættede sæler en mulighed.

Vadehavet

Bestanden i Vadehavet er spredt over hele Vadehavets kystlinje og deles således med Tyskland og Holland. I forbindelse med fældningen i august 2014 estimeredes bestanden i den danske del af Vadehavet til at være 4.600 spættede sæler, det samme som i 2013 (figur 10.4). Vadehavssælerne blev hårdt ramt af begge PDV-epidemier, eftersom omkring halvdelen af sælerne i området døde i både 1988 og 2002. Fra epidemien i 2002 er bestanden i Vadehavet vokset med 10 % om året i gennemsnit, tæt på den teoretisk maksimale vækstrate for populationer af spættet sæl (*Härkönen m.fl. 2002*). Siden 2006 har vækstraten dog kun været 5 %; den aftagende tilvækst kunne tyde på enten migration til andre områder eller tæthedsafhængighed, hvor antallet af sæler er begrænset af føde- eller pladsmangel. Der blev i 2014 talt 654 unger i ynglesæsonen i den danske del af Vadehavet, 7 % flere end i 2013, og generelt på niveau med tællingerne fra 2010 til 2013. Fugleinfluenzaepidemien ramte først sælerne i Vadehavet efter optællingerne i august og har således ingen indflydelse på tallene fra 2014.

Figur 10.4. Antal spættet sæl i Danmark delt op på bestandene i Vadehavet, Limfjorden, Kattegat og den vestlige Østersø i perioden 1979-2014 – opgjort ud fra tællinger på landgangspladser samt den gennemsnitlige andel af sæler i vandet (32 % i Vadehavet - *Ries m.fl. 1998*, 43 % i øvrige farvande - *Härkönen m.fl. 1999*). Den første optælling efter epidemierne i 1988, 2002, 2007 og 2014 er markeret med cirkler.



Limfjorden

Spættet sæl i Limfjorden består af to forskellige bestande (*Olsen m.fl. 2014*). Det er sandsynligt, at den selvstændige population i de centrale bredninger består af sæler, der har været i Limfjorden, før forbindelsen til Nordsøen sandede til omkring år 1100. Der opstod igen forbindelse mellem Limfjorden og Nordsøen ved Agger Tange under stormfloden i 1825, og i Nissum Bredning lever en bestand, der minder om en blanding af sælerne i de centrale bredninger og Vadehavet. Der har været store udsving i antallet af spættede sæler i Limfjorden, og overordnet er der ikke, som i de andre områder, set en entydig vækst i bestanden over de seneste 10 år (figur 10.4). Dette skyldes formentlig, at antallet af sæler har nået bæreevnen for området, så sælerne er begrænset af føde og plads, eller at økosystemet er ustabil, og sælerne derfor forlader Limfjorden i perioder. I 2014 blev bestanden estimeret til at bestå af 1.750 spættede sæler, hvilket er 26 % færre end opgjort i 2012. Dette er en dramatisk tilbagegang, men tallene for Limfjorden kan som sagt fluktuere en del. Det er en mulighed, at fugleinfluenzaepidemien har ramt Limfjorden

hårdt. Mindst 100 døde spættede sæler blev registreret i fjorden, men det faktiske dødstal er formentlig langt højere, da der ikke har været nogen systematisk optælling af døde sæler. Optællingerne de kommende år vil give et bedre billede af effekten af epidemien. Der bliver ikke talt unger i Limfjorden.

Kattegat

Populationen af spættet sæl i Kattegat deles med Sverige. I den danske del af Kattegat estimeredes antallet i forbindelse med optællingen under fældningen i august 2014 til at være 7.800 spættede sæler – en tilbagegang på 10 % i forhold til 2013 (*figur 10.4*). Tilbagegangen kan skyldes fugleinfluenzaepidemien, da næsten 400 døde sæler registreredes i Kattegat i løbet af foråret og sommeren, hvilket ligesom i Limfjorden er et minimumstal. Siden epidemien i 2002 er bestanden vokset med gennemsnitligt 7 % om året. I Kattegat er der foretaget optællinger af unger i ynglesæsonen siden 2009. I 2009 og 2010 blev andelen af unger opgjort til at udgøre hhv. 14 % og 12 % af bestanden i de talte områder (ingen tællinger i området omkring Samsø i de to år). Fra 2011 blev tællingen af unger udført i hele den danske del af Kattegat. I 2014 taltes 1.852 unger svarende til 24 % af den estimerede bestand. I perioden 2011-2013 taltes mellem 14 og 21 % af den estimerede bestand. Årets ungetal i 2014 er det absolut højeste talt i Kattegat, hvilket er en indikation på, at fugleinfluenzaen ikke skyldtes en generelt svækket sundhedstilstand. Det talte antal unger er et minimumsestimat af årets ungeproduktion, da ungerne fødes over en længere periode og ikke er på land samtidig. Desuden er der i opgørelsen anvendt korrektionsfaktor for voksne i vandet, men denne faktor kunne være anderledes for unger. For at kunne lave fortolkninger angående udvikling i bestandens demografi, og de faktorer der påvirker ungeproduktionen, er der behov for en længere tidsserie.

Vestlige Østersø

I den vestlige Østersø forekommer mange mindre kolonier spredt over et stort område. Det betyder, at de enkelte kolonier kan være sårbare over for forandringer såsom forstyrrelser og epidemier, specielt hvis der ikke er nogen fast udveksling af sæler mellem kolonierne. Der blev ikke registreret forhøjet dødelighed i 2014, så fugleinfluenzaen er ikke nået dette område. I 2014 blev bestanden estimeret til ca. 1.500 individer, hvilket er lidt lavere end estimatet i 2013 (*figur 10.4*). Efter epidemien i 2002 var estimatet 450 individer; siden har den gennemsnitlige årlige vækstrate været 13 %. Samtidig med denne høje tilvækst har den vestlige Østersø oplevet en kraftig vækst i antallet af gråsæler i de senere år (se herunder). Gråsælerne har derfor indtil videre ikke haft negative effekter på antallet af spættet sæl i området.

Gråsæl

Nationalt

Gråsælen er ligesom spættet sæl knyttet til de kystnære farvande, hvor der er rigelig føde, og hvor der findes uforstyrrede yngle-/hvilepladser på ubeboede øer samt sandbanker, rev og skær. Gråsælen var frem til 1800-tallet en almindelig og udbredt sælart i de danske farvande og ynglede frem til omkring år 1900 ved de danske kyster. Efter at have været udryddet i Danmark i ca. 100 år er gråsælen i løbet af de sidste godt 10 år genindvandret og forekommer nu regelmæssigt på lokaliteter i Kattegat, Østersøen og Vadehavet. På Rødsand ved Gedser er der siden 2003 observeret årlige fødsler, mens der i de senere år også er observeret yngleforsøg på Søndre Rønner, Borfeld og i Vadehavet (*Härkönen m.fl. 2007b; Jensen m.fl. i trykken*). I Danmark lever to adskilte bestande af gråsæler, den ene i Nordsøen med hovedudbredelse omkring Storbritannien og i det tyske og hollandske Vadehav og den anden i Østersøen med hovedudbredelse omkring Stockholm, Estland og det sydlige Finland. (*Härkönen m.fl. 2007b*). I Kattegat forekommer sæler fra begge be-

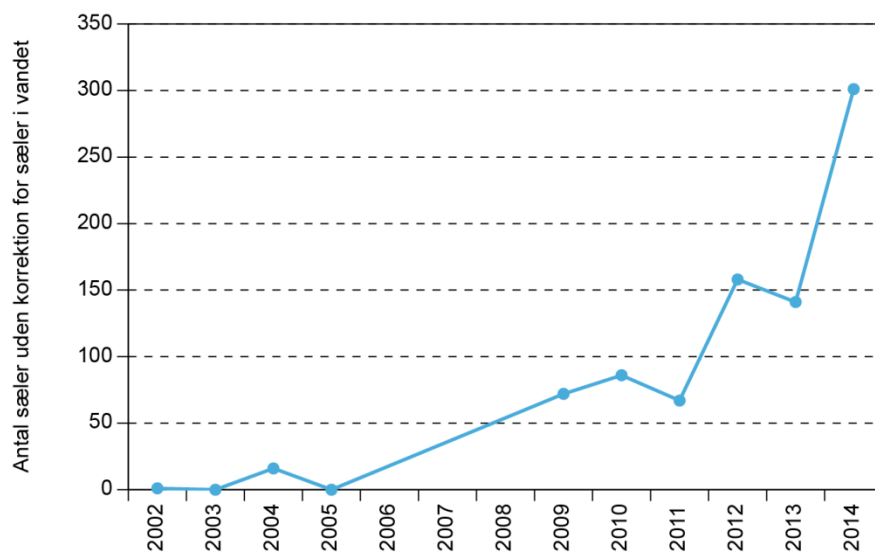
stande. Flertallet af genetiske prøver indsamlet i Kattegat repræsenterer sæler fra Nordsøen (*Fietz m.fl. under udarbejdelse*), mens de registrerede fødsler ligger i Østersø-sælernes yngleperiode.

Satellitsporing har vist, at gråsælerne i den danske del af Østersøen er en del af Østersø-bestanden, der deles med Finland, Estland og Sverige (*Dietz m.fl. 2003; Dietz m.fl. 2015*).

Østersøen

Der er i den vestlige Østersø udført forsøgsvisse optællinger i gråsælernes fældeperiode fra slutningen af maj til starten af juni i 2002-2005, her blev talt fra 0 til 12 individer (*figur 10.5*). Ved flyovervågning i 2009 og 2010 blev der talt hhv. 67 og 41 gråsæler. Christiansø har de største forekomster af gråsæl i Danmark, og i 2011-2014 blev 33- 99 % af gråsælerne registreret her. De 301 sæler talt i 2014 repræsenterer mere end en fordobling i forhold til 2013 og er det højeste antal, der er blevet registreret i fældesæsonen.

Figur 10.5. Antal talte gråsæler i den danske del af Østersøen i perioden 2002-2014 – opgjort ud fra flytællinger på hvilepladserne i fældeperioden fra slutningen af maj til starten af juni (tal angiver faktiske tællinger, da der ikke er justeret for evt. sæler i vandet). For Christiansø er tællingerne for perioden 2002-2010 foretaget med teleskop fra land, mens de fra 2011 blev foretaget fra fly.



Kattegat

I Kattegat blev der fra 1979 til 2006 observeret færre end 10 gråsæler i forbindelse med overvågning af spættede sæler i august. I 2007 og 2008 blev der for første gang registreret et større antal, henholdsvis 32 og 68 gråsæler på Læsø og Anholt i august. Fra 2010 er der hvert år foretaget flyvninger i perioden omkring 1. marts for at registrere gråsælsfødsler. I den forbindelse blev der på Borfeld nord for Læsø set mellem 46 og 76 gråsæler i perioden 2010-2013; i 2014 var der 29. Det højeste antal i Kattegat i 2014 var i maj, hvor der taltes 38 individer.

Vadehavet

I den danske del af Vadehavet er der fra december 2014 foretaget optællinger i gråsælernes yngleperiode. Optællinger af fældende gråsæler indledes i 2015. I forbindelse med de årlige optællinger af spættet sæl i juni og august registreredes en stabil fremgang i observationerne fra op til 13 gråsæler i 2006 til op til 79 gråsæler i 2014.

Gråsælunger

Fra og med 2003 er der årligt observeret op til fem levende gråsælunger i februar-marts på danske lokaliteter. I 2014 blev der i de indre farvande registreret fire gråsælsfødsler – alle på Rødsand. I 2008 blev der i marts for første gang set en levende gråsælunge i Kattegat ved Søndre Rønner, Læsø. I 2013 fødtes to unger på Borfeld ved Læsø, og i december 2014 blev den første gråsælunge født i Vadehavet registreret. Disse observationer viser, at gråsælen

nu igen yngler regelmæssigt i Danmark efter ca. hundrede års pause. Ydermere bliver der hvert år set enkelte unge gråsæler langs den jyske vestkyst, som må antages at være strejfer fra Vadehavet eller De Britiske Øer.

Stigningen i antallet af gråsæler over hele landet i de seneste år kan ikke forklares med den beskedne reproduktion fra danske ynglende gråsæler. Stigningen må derfor skyldes et skift i udbredelsen af gråsæler fra den nordlige del af Østersøen til den sydlige del og et skift nordpå fra Holland og Tyskland til den danske del af Vadehavet. Årsagen til ændringen i udbredelsen er muligvis bedre fødetilgang i takt med den stigende torskebestand i Østersøen eller pladsmangel på deres foretrukne lokaliteter i andre lande. De fleste gråsæler i danske farvande er også kun på visit og formodes at returnere til deres oprindelige fødested, når de selv skal yngle. Bestanden af ynglende danske gråsæler er derfor formentlig maksimalt 20 individer.

Marsvin

Marsvinet er Danmarks mest almindelige hval, og den eneste der med sikkerhed yngler her. Baseret på studier af morfologi, genetik og satellitmærkning opdeles marsvin i de danske farvande i minimum tre populationer: 1) Østersøen fra omkring Bornholm og østover, 2) de indre danske farvande (inkl. Bælthavet, Øresund, sydlige Kattegat og vestlige Østersø) og 3) nordlige Kattegat, Skagerrak og Nordsøen.

Marsvin i Nordsøen er muligvis opdelt i flere populationer. Bestanden i Østersøen er erklæret 'kritisk truet' af IUCN (International Union for Conservation of Nature). I forvaltningssammenhæng er det vigtigt at administrere hver population separat, da de har forskellig bevaringsstatus og er udsat for forskellige trusler.

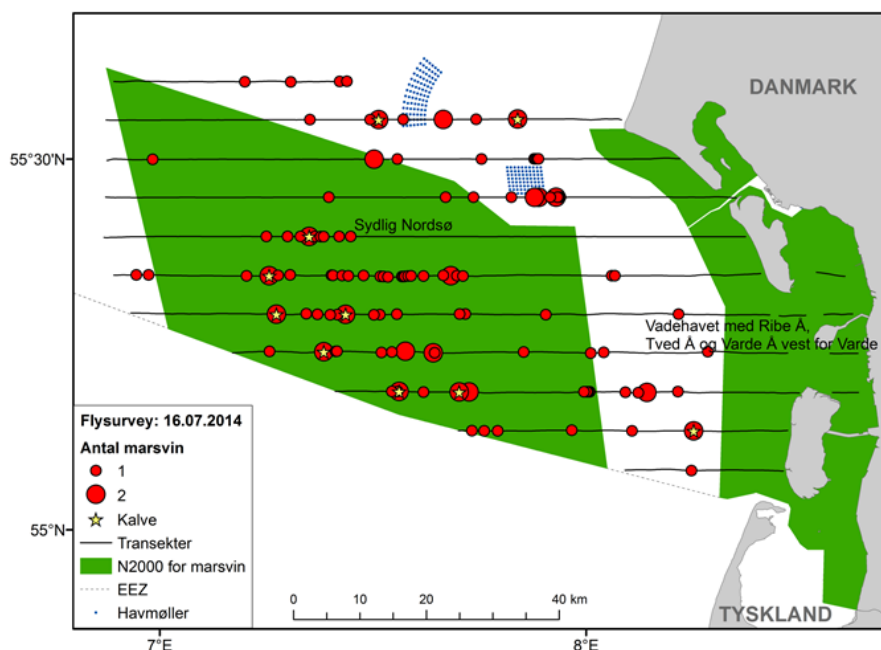
Den største trussel mod marsvin menes at være utilsigtet bifangst i fiskegarn. Der findes ingen nyere studier af problematikken, men fra 1987-2001 druknede gennemsnitligt 5.900 marsvin årligt blot i det danske garnfiskeri i Nordsøen (Vinther & Larsen 2004). Udover bifangst, kan undervandsstøj, habitatdestruktion, fødemangel som følge af overfiskning og forurening også have negativ indflydelse på marsvins udbredelse og sundhedstilstand.

Marsvin har store udbredelsesområder, der strækker sig ud over grænserne for de udpegede habitatområder, og overvågningen skal derfor ikke blot inkludere habitatområderne, men hele marsvinets udbredelsesområde.

Flyovervågning

Flyoptællingen i den sydlige Nordsø blev udført 17. juli 2014 (figur 10.6). I alt observeredes 132 marsvin fordelt i grupper med op til to individer i hver og en gennemsnitlig gruppestørrelse på 1,18 (tabel 10.1). I gennemsnit i hele survey-området observeredes flere dyr end i 2013, således at tætheden igen er oppe på niveauet i 2011 og 2012 (figur 10.7). Det er stadig uvist, hvorfor antallet var så lavt i 2013.

Figur 10.6. Flyovervågning i den sydlige Nordsø udført 17. juli 2014.



Ligesom i 2012 var tætheden i N2000-området 'Sydlig Nordsø' i 2014 væsentlig højere end tætheden uden for N2000-områder, hvilket indikerer, at området er vigtigt for marsvin i denne periode (*figur 10.7*). Marsvinene blev fortrinsvis observeret i den centrale del af N2000-området. I 2014 observeredes i alt 10 kalve – heraf 7 i 'Sydlig Nordsø', der betragtes som yngleområde.

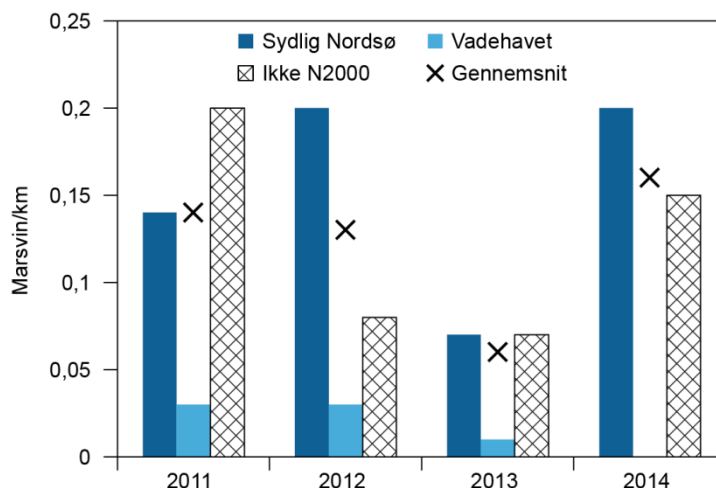
Antallet af observationer i 'Vadehavet' har været lavt alle år (2011-2014), men i 2014 observeredes for første gang ikke et eneste marsvin. Disse optællinger indikerer, at området har relativt lille betydning for marsvin i juli og august.

Alle år overvågningen af marsvin har stået på (2011-2014) er der observeret en del marsvin i området nær havmølleparkerne nord for 'Sydlig Nordsø'.

Tabel 10.1. Oversigt over effort (= fløjet transekt), observationer og tæthed for flyoptælling foretaget 17. juli 2014 i den sydlige Nordsø. Antal individer inkluderer kalve.

År	2014	2014	2014	2014
Område	Effort (km)	Antal individer	Heraf kalve	Marsvin/km
Sydlig Nordsø	424	85	7	0,20
Vadehavet	105	0	0	0,00
Ikke N2000	305	47	3	0,15
Σ	834	132	10	0,16

Figur 10.7. Antal marsvin observeret pr. fløjet km i og uden for N2000-områder observeret under flyovervågning i Nordsøen 2011-2014.



Flyovervågningen i Skagerrakområdet blev ikke foretaget i 2014, da vejret ikke var egnet til flyovervågning på de dage, der var afsat til opgaven.

Passiv akustisk monitorering

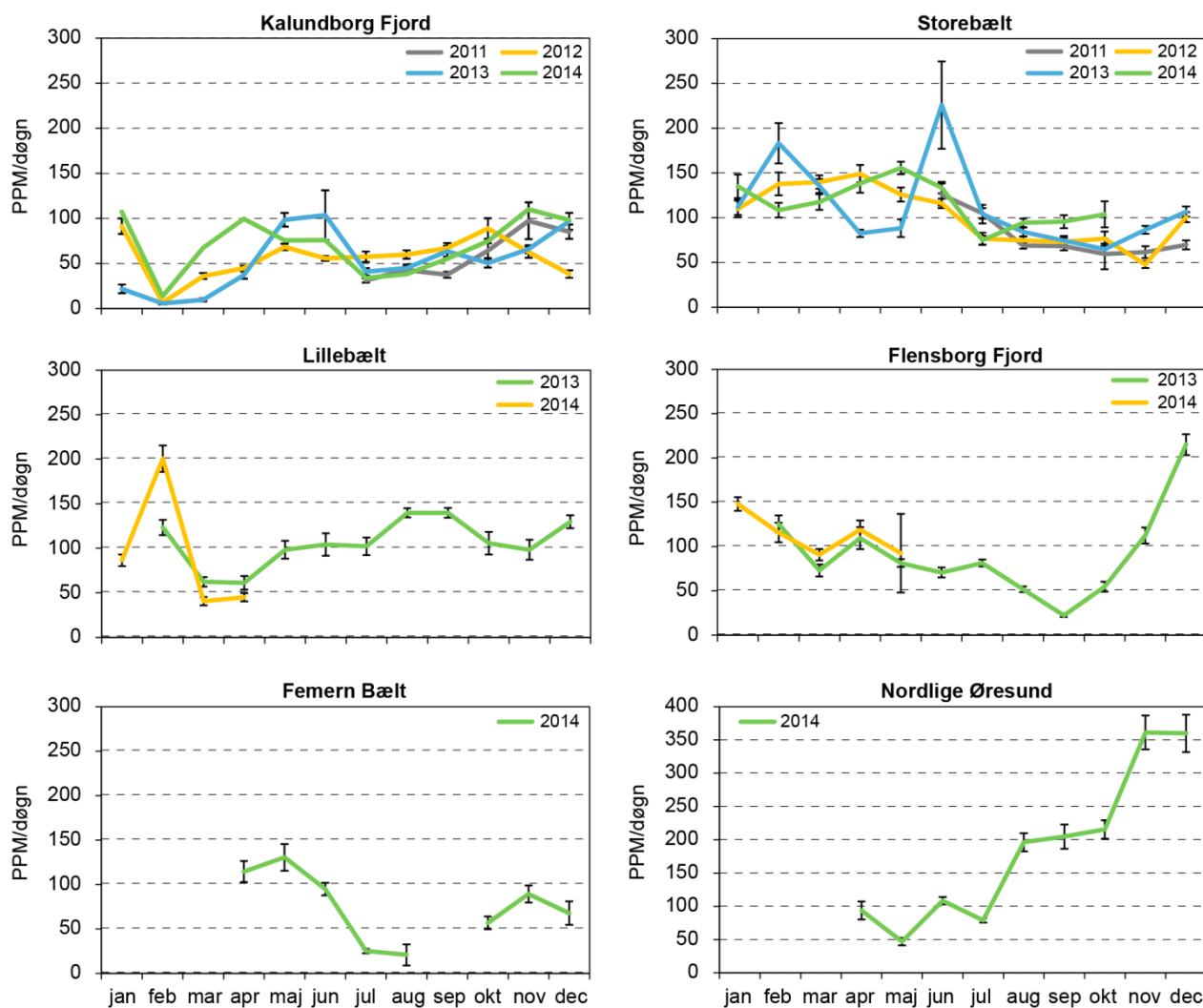
Overvågning af marsvin med passiv akustisk monitorering giver et bedre billede af marsvins brug af et område over tid end andre metoder, da monitoreringen foregår dag og nat gennem hele året.

Resultaterne viser, at gennemsnitligt PPM/døgn pr. måned varierer mellem positioner og måneder i de seks områder, men ligger generelt på niveauer mellem 0 og 200 PPM/døgn med undtagelse af november og december i det nordlige Øresund, hvor der i gennemsnit registreredes over 350 PPM/døgn (figur 10.8).

I Flensborg Fjord og Nordlige Øresund var der et højt niveau af lydtektioner fra november til januar. Flere områder har imidlertid flere peaks med relativt mange detektioner. I Kalundborg Fjord blev således både registreret mange marsvin fra april til juni og fra november til januar, og i Femern Bælt toppede registreringerne i april-juni og i november. I Lillebælt var der både mange marsvin i februar og august-september. Storebælt havde flest marsvin fra januar til juni. Det formodes, at disse fluktuationer hænger sammen med den sæsonmæssige udbredelse af marsvins føde.

Der ses kun en relativt lille variation fra år til år i de områder, som vi har flere års data fra. Dette indikerer, at marsvin i de indre danske farvande har en fast årlig rytme, hvor de benytter områderne i varierende grad gennem året.

En interessant observation er den høje tæthed af marsvin i Øresund sidst på året. Dette område er tidligere undersøgt ved brug af data fra satellitmærkede marsvin (1997-2010) og akustiske survey (2007), hvilket viste, at området havde højest tæthed fra april til oktober og ikke som her observeret i november og december. De kommende års indsamling af C-POD-data i området kan vise, om denne forskel repræsenterer et sæsonskift i marsvins brug af området.



Figur 10.8. Gennemsnit af marsvinepositive minutter (PPM) pr. døgn fordelt på måneder for de fem akustiske lytteposter i seks N2000-områder i de indre danske farvande 2011-2014. Vertikale linjer indikerer standardafvigelse fra middelværdien.

Sammenfatning

- Fra 1976 til 2010 har overvågningen af marine pattedyr i danske farvande haft fokus på spættet sæl. Fra 2011 er både gråsæl og marsvin en integreret del af det nationale overvågningsprogram (NOVANA).
- Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark og har haft en bestandsfremgang fra ca. 2.000 dyr i 1976 til ca. 16.000 dyr i 2014, hovedsageligt som følge af jagtfredningen i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater med adgangsforbud.
- Spættet sæl er opdelt i fire populationer: Vadehavet, Kattegat, den vestlige Østersø og Limfjorden med vækstrater siden epidemien i 2002 for de første tre på henholdsvis 10 %, 7 % og 13 %. I Limfjorden er der store fluktuationer, der tyder på ind- og udvandring til og fra området, eller at området har nået sin bæreevne.
- Gråsælen har vist fremgang i de seneste 10 år, og i 2014 blev der registreret op til 38 individer i Kattegat, op til 79 i Vadehavet og 263 i den danske del af Østersøen. Det forventes, at den generelle stigning i antallet fortsætter i alle områder i de kommende år.
- Omkring fem gråsæler fødes nu hvert år i Danmark efter ca. hundrede års pause.

- Ved flyoptælling i den sydlige Nordsø observeredes i alt 132 marsvin, heraf 10 kalve. Den gennemsnitlige tæthed for hele området var 0,16 marsvin/km, hvilket er sammenligneligt med niveauerne fra 2011 og 2012 og noget højere end 2013. Der observeredes ingen marsvin i N2000-området 'Vadehavet'. Tætheden i N2000-området 'Sydlig Nordsø' var højere end tætheden uden for N2000-områder.
- Passiv akustisk monitorering i Storebælt, Kalundborg Fjord, Lillebælt, Flensborg Fjord, Femern Bælt og Nordlige Øresund viste, at marsvin var til stede i alle områder, men at tætheden varierede over året. Der var kun lille variation fra år til år i områderne med flere års data. Dette indikerer, at marsvin i de indre danske farvande har en fast årlig rytme for, hvilke områder de benytter på bestemte årstider.

11 Miljøfarlige stoffer og biologiske effekter

Martin M. Larsen & Jakob Strand

Alle miljøfarlige stoffer i det nationale overvågningsprogram (NOVANA) er udvalgt på baggrund af viden om deres forekomst og potentiale for skadelige effekter i det marine miljø. Mange af disse stoffer kan påvirke dyrs vækst, reproduktion, adfærd eller på anden måde nedsætte deres overlevelse. En del af stofferne er også sat i forbindelse med fx hormonforstyrrende effekter.

I kapitlet anvendes en del forkortelser for stoffer, miljøkvalitetskriterier og konventioner. Der er derfor bagerst i kapitlet indsat en liste med en udspecificering af de anvendte forkortelser.

Metoder og datagrundlag

Overvågning i 2014

Den marine overvågning omfatter både analyser af tungmetaller og en række organiske miljøfremmede stoffer i sediment, muslinger og/eller fisk, se *tabel 11.1*. Data er indsamlet efter retningslinjerne i de tekniske anvisninger for overvågning af miljøfarlige stoffer i sediment, muslinger og fisk (Larsen 2013a,b,c) samt biologiske effekter i fisk (Strand 2013). I forbindelse med overgangen til en ny programperiode i 2011 skete en mindre justering af stoflisten (parametre og matricer), som analyseres i NOVANA. NOVANA-temarapporten om miljøfremmede stoffer og tungmetaller *Bouttrup m.fl. (2015)* indeholder en behandling af data fra 2004 til 2013. I dette års havrapport er derfor kun medtaget data fra 2014.

For sediment, muslinger (blåmusling eller sandmusling) og fisk (ålekvalbe, skrubbe eller rødspætte) udføres undersøgelserne en gang årligt, men ikke alle stoffer måles på alle stationer og i alle organismer og matricer. Hvor der i muslinger måles på puljede prøver af hele bløddele, så analyseres stofferne i fisk i puljede prøver af udvalgte organer, dvs. i lever (metaller, TBT, PFAS) eller muskel/filet (kviksølv, PCB, klorerede pesticider, PBDE, dioxiner). For skrubbe analyseres PCB og klorerede pesticider dog i individuelle prøver af lever i stedet for muskel for at opretholde eksisterende tidstrendsstationer. For ålekvalber er hanner foretrukket, fordi hunnerne hvert år reducerer deres indhold af organiske forureninger i forbindelse med deres reproduktion, hvor en stor del af deres belastning bliver overført til ungerne (Dahllöf m.fl. 2011). I sediment analyseres den fraktion, som er mindre end 2 mm. I mod-



NOVANA-analyserne foretages kun i den øverste cm, som er det lag, der typisk repræsenterer de seneste 3-7 år afhængig af sedimentationshastigheden. Foto: Martin M. Larsen.

sætning til organismer, som typisk afspejler påvirkningen de seneste uger/måneder, vil den øverste cm af sediment (mm i Vadehavet) analyseret i NOVA/NOVANA typisk repræsentere de sidste 3-7 års påvirkning. Derfor blev sedimentprøver i de første overvågningsprogrammer udtaget med 3-5 års interval, mens der i det nuværende NOVANA-program udtages sedimentprøver hvert år, men på forskellige stationer.

Tabel 11.1. Oversigt over stofgrupper som er analyseret i marine miljøprøver som en del af NOVANA-programmet i 2014.

Stofgruppe	Sediment	Muslinger	Fisk
Tungmetaller ¹	X	X	X
Organotinforbindelser (bl.a. TBT)	X	X	(X) ³
Tjærestoffer (polyaromatiske kulbrinter = PAH'er)	X	X	-
Phthalater og alkylphenoler	X	-	-
Dioxin, furaner og dioxinlignende PCB'er	X	(X) ⁴	X
Klorerede pesticider og øvrige PCB'er	-	-	X
Bromerede flammehæmmere ²	-	-	X
Perfluorerede alkylede stoffer (PFAS)	-	-	X

¹ Kviksølv (Hg), cadmiun (Cd), bly (Pb), kobber (Cu), nikkel (Ni), krom (Cr), arsen (As), zink (Zn). Desuden sølv (Ag) i muslinger, da stoffet indgår i EU's skaldyrskategori.

² PBDE og HCBDD.

³ Kun i ålekvabber.

⁴ Kun i 7 udvalgte prøver årligt.

I tillæg til de kemiske målinger er der også undersøgt for forskellige biologiske indikatorer på nogle udvalgte stationer for at vurdere, i hvilket omfang de miljøfarlige stoffer også giver sig udslag i direkte målbare effekter på dyrelivet i de danske farvande. Frem til og med 2013 blev der lavet effektundersøgelser på blåmusling og ålekvabbe årligt ved 12 stationer, mens der i 2014 var to stationer med ålekvabbe, der blev undersøgt for forekomst af de biologiske effekter CYP1A-aktivitet, PAH-metabolitter i galde og reproduktiv succes.

Baggrund for analyser af tungmetaller

De analyserede metaller forekommer alle naturligt i havmiljøet med et såkaldt baggrunds niveau. Ved forhøjede niveauer er alle tungmetaller skadelige for organismer i vandmiljøet. Menneskeskabt forurening kan give forhøjede værdier både gennem diffus- og punktkildeforurening. Cd og Hg er begge giftige i meget lave koncentrationer for de fleste former af liv og opkoncentreres bl.a. i lever. Hverken Cd, Hg eller Pb har nogen kendt nyttevirkning i organismer. Ni, Cu og Zn er nødvendige mikronæringsstoffer, dog med snævre grænser mellem nytte- og skadevirkning. Muslinger anvendes som generel indikator for belastningen med miljøfarlige stoffer som fx tungmetaller i havmiljøet, da de generelt opkoncentrerer miljøfarlige stoffer i forhold til de koncentrationer, der findes i havvand. Derved repræsenterer koncentrationen i muslinger typisk et integreret niveau for stationen over de sidste dage til måneder afhængig af hvilket stof, der måles. Muslinger er desuden velegnede som indikatorer, da de er stationære og mangler kapacitet til at nedbryde de fleste organiske miljøfremmede stoffer (se nedenfor). Udover muslinger analyseres der også i fisk, så det også kan vurderes, i hvilket omfang der sker en ophobning, som i sidste ende kan udgøre en risiko for de øverste led i fødekæden. De bundlevende fisk ålekvabbe og fladfisk som skrubbe er valgt som gode områdespecifikke monitoringsorganismer i

kystnære områder, fordi de er mere stationære sammenlignet med mere pelagiske fisk som torsk og sild.

I sedimenter er der et naturligt indhold af miljøfarlige metaller, der afhænger af sedimenttypen. For finkornede sedimenter stammer en del af metalindholdet fra det geologiske materiale, hvorimod der stort set ikke naturligt er miljøfarlige metaller i sandede sedimenter. Mineralerne i det finkornede sediment indeholder naturligt lithium (Li) og aluminium (Al), som ikke stammer fra menneskelig påvirkning, og kan derfor anvendes som indikator for indholdet af finkornede partikler (Loring 1990). OSPARs normaliseringsmetode er beskrevet i detaljer i rapporten *Marine Områder 2003 (Ærtebjerg m.fl. 2004)*. Det finkornede materiale, specielt ler, har en meget større overflade med netto negativ ladning, der tiltrækker de fleste opløste metaller. Det betyder, at forurening med metaller fanges på leret, men ikke på sand, og dermed får endnu et højere indhold af metaller end det naturlige, forhøjede indhold i mineralerne. For at sammenligne områder er det derfor nødvendigt at normalisere til samme indhold af finkornet materiale (dvs. Li eller Al) for at undgå fortynding af det forurenende indhold med sand. Mange organiske forureninger bindes også til det finkornede sediment, og anbefalingen til prøvetagning er, at der skal indsamles i sedimentationsområder, dvs. områder med finkornet sediment frem for sandede områder, der ofte omlejres og derfor ikke er repræsentative for området, der prøvetages fra.

Baggrund for analyser af organiske miljøfremmede stoffer

Muslinger og sediment analyseres for forskellige forbindelser indeholdende organotin, herunder antibegroningsmidlet tributyltin (TBT), samt tjærestoffer (PAH), som kommer fra forbrænding og oliespild. Udover PAH'er analyseres også for naphthalen, som er en to-ringet aromatisk hydrocarbon og derfor ikke en egentlig poly-aromatisk hydrocarbon (PAH), da de er defineret som havende mindst tre aromatiske ringe. Naphthalen har samme kilder som PAH'erne og behandles derfor sammen med dem. Der analyseres for dioxin i fisk, sediment og i syv udvalgte muslingeprøver fra syv stationer. De dioxinlignende forbindelser er en stofgruppe, der ud over de egentlige dioxin-forbindelser også omfatter furaner og de mere dioxinlignende coplanare poly-chlorerede biphenyler (PCB'er). Dioxiner og furaner dannes bl.a. ved afbrænding af plastmaterialer, hvorimod PCB kommer fra den tidligere udbredte anvendelse som flammehæmmer i bl.a. transformatorolie og fugematerialer. De individuelle dioxinlignende forbindelser (kaldet congener) har forskellig giftighed, men den samlede belastning af de dioxinlignende forbindelser kan omregnes til en samlet giftighed kaldet en tox-ekvivalent (TEQ) i henhold til WHO (2005). I sedimenter analyseres desuden for forskellige blødgørere (phthalater) og alkylphenoler (nonyl- og octylphenoler), der dels anvendes i plastprodukter som stabilisator, dels som detergent i en række industrielle produkter.

I fisk analyseres for de forbudte klorerede pesticider DDT, HCH, HCB og chlordan (trans-nonachlor) samt PCB. Herudover analyseres for bromerede flammehæmmere (PBDE), perfluorerede stoffer (PFAS'er) og de dioxinlignende stoffer, som er tilføjet, efter en screening påviste deres forekomst i fisk (Strand m.fl. 2007). PFAS, PCB og klorerede pesticider måles i leveren, da fiskene især opkoncentrerer dem i leveren, og koncentrationen af PFAS i muskel er under detektionsgrænsen. Svenske undersøgelser tyder på en faktor 10 forskel mellem lever- og muskelkoncentrationer af PFAS i en lang række fiskearter (Faxneld m.fl. 2014), som også er på linje med den faktor 10, der er

blevet vurderet at være gældende for de klorerede pesticider HCH, HCB og DDT i fisk (OSPAR 2005).

Vurdering af målte koncentrationer i forhold til miljøvurderingskriterier

Til at vurdere de miljøfarlige stoffers betydning for miljøtilstanden anvendes fortrinsvis EU's miljøkvalitetskrav (EQS, Environmental Quality Standards). Ved at sammenstille de målte koncentrationer med miljøkvalitetskravene kan den kemiske status i regi af EU's vandrammedirektiv vurderes i forhold til, om belastningen med miljøfarlige stoffer udgør en risiko for at kunne forårsage skader på miljøet (EU 2013). For en række af de i NOVANA analyserede miljøfarlige stoffer, hvor EQS-værdier endnu ikke er fastlagt, anvendes desuden et sæt vejledende miljøvurderingskriterier som er fastsat af den nordatlantiske havkonvention OSPAR (Oslo-Paris konventionen). OSPARs EAC-værdier (Ecotoxicological Assessment Criteria) anvendes på muslinger og fisk, og ERL-værdier (Effect Range Low, US-EPA) anvendes på sedimenter (OSPAR 2009). For TBT i sediment anvendes dog et svensk vurderingskriterium, som er fastsat i henhold til EU's retningslinjer (TGD, Technical Guidance Document) på baggrund af økotoksikologiske data (*Havs- og Vattenmyndigheten* 2015). For fisk anvendes en omregningsfaktor på 10, når PFOS, HCB, HCH og DDE er målt i lever i stedet for muskel i henhold til approksimationer anført af OSPAR (2005) og *Faxneld m.fl.* (2014). EAC-værdierne for specifikke PCB-congenerer i fisk er normaliseret til lipidindholdet, hvorved brugen af en omregningsfaktor mellem lever og muskel ikke er nødvendig.

Belastningen med tungmetaller i muslinger og fisk sammenholdes udover ovennævnte miljøvurderingskriterier også med EU's fødevarerkrav (EU 2006, 2011) for at vurdere, om belastningsgraden i de pågældende områder kan være problematisk i forhold til at anvende de indsamlede muslinger og fisk til fødevarer (tabel 11.2).

OSPAR har et generationsmål, som siger, at i 2020 (OSPAR 2009) skal alle miljøfarlige stoffer være på niveau med baggrundskoncentrationen. For at kontrollere dette, er der udviklet baggrundsvurderingskriterier (BAC, Background Assessment Criteria) for sediment og muslinger (OSPAR 2009). Disse kriterier er også anvendt her for at se, om det er realistisk at nå dette mål, der gælder for alle medlemslande inkl. Danmark. Frem til 2013 har det vejledende norske klassificeringssystem, udarbejdet af Statens Forurensningstilsyn (SFT 1997, delvist opdateret i 2007), også været anvendt i NOVA/NOVANA for at have vurderingskriterier på flest mulige stoffer. Men det stigende antal EQS-værdier og den øgede fokus på vandramme- og havstrategidirektivet har betydet, at det norske system ikke er anvendt i denne rapport.

Tabel 11.2. Internationale vurderingskriterier fra EU (2006, 2008, 2011, 2013) og OSPAR (2005, 2009), som er anvendt til at vurdere indholdet af metaller og organiske miljøfarlige stoffer i NOVANA-prøver fra 2014.

Reference	Sediment ¹		Muslinger				Fisk (muskel)			
	BAC	ERL	BAC	EAC	EQS	Fødevarer	BAC	EAC	EQS ⁷	Fødevarer
	OSPAR	OSPAR	OSPAR	OSPAR	EU	EU	OSPAR	OSPAR	EU	EU
Basis ²	TV	TV	TV	TV	VV	VV	VV	VV	VV	VV
Stof	Enhed	μg kg ⁻¹	μg kg ⁻¹	μg kg ⁻¹	μg kg ⁻¹	μg kg ⁻¹	μg kg ⁻¹	μg kg ⁻¹	μg kg ⁻¹	μg kg ⁻¹
Kviksølv	70	150	90		20	1000	35		20	500
Bly	38000	47000	1300			1500	26			300
Cadmium	310	1200	960			1000	26			50
Nikkel	36000									
Tributyltin (TBT)		0,8 ⁴	5	12						
Naphthalen	8	160		340						
Antracen	5	85		290						
Phenanthren	32	240	11	1700						
Pyren	24	665	9	100						
Benz[a]anthracen	16	261	2,5	80						
Chrysene	20	384	8,1							
Fluoranthren	39	600	12,2	110	30					
Benzo(a)pyren	30	430	1,4	600	5	5				
Benzo(b,k) fluoranthren	-	-			5					
Benzo(g,h,i) perylen	80	85	2,5	110	5					
Indeno(1,2,3- cd) pyren	103	240	2,4		5					
PAH (Σ4) ⁵						35				
DDT (p,p-DDE)	0,09	2,2	0,63				0,1	50		
Hexachlorcyclohexan (γ-HCH)	0,13	3,0	0,97	1,45				1,1		
Perfluorooctansulfonsyre (PFOS)									9,1	
Dioxiner, furaner og DL-PCB ³					0,0065	0,0065			0,0065	0,0065
CB118	0,17	0,6	0,6	1,2			0,1	24 (ift. LV) ⁶		
CB153	0,19	40	0,6	80			0,1	1600 (ift. LV) ⁶		
Non-DL PCB (Σ6)										75
PBDE (Σ6)									0,0085	
hexabromcyclododecan (HBCDD)									167	
Heptachlor og heptachlorepoxyd									0,0067	

¹ Sediment: BAC og EAC er for organiske miljøfarlige stoffer normaliseret til 2,5 % TOC for organiske stoffer - og for metaller til 5 % Al (eller 55 mg/kg Li).

² Basis for enhederne: TV: tørvægt, VV: vådvægt og LV: lipidindhold.

³ Angivet som TEQ-værdier (WHO 2005). Gælder ikke for ål og visse ferskvandsfisk som bl.a. gedde.

⁴ Nyt svensk vurderingskriterium for TBT i sediment, som er afledt i henhold til EU's retningslinjer på baggrund af data fra økotoxikologiske tests. Værdien er i denne tabel justeret ift. OSPARs anbefalinger på 2,5 % Totalt Organisk Carbon (TOC) i sedimentet i stedet for til 5 % som foreskrevet i retningslinjerne.

⁵ PAH (Σ4): Sum af benzo(a)pyren, benz(a)anthracen, benzo(b)fluoranthren og chrysen, non-DL PCB (Σ6): sum af CB28, 52, 101, 153 og 180), PBDE (Σ6): sum af BDE28, 47, 99, 100, 153 og 154.

⁶ Angivet med enhed normaliseret i forhold til lipidindhold (LV) i stedet for til vådvægt (VV).

⁷ EQS for de lipofile og biomagnificerende stoffer PBDE, dioxin, HBCDD, HCH og HCBDD normaliseres til 5 % lipid, svarende til proxy for fisk på trofisk niveau 4.5 i henhold til EC guidance document (EU 2014).

Resultater fra overvågningen i 2014

Muslinger: metaller, PAH, TBT og dioxin

Metaller

For metallerne var bly og kviksølv henholdsvis 38 % og 29 % over BAC (tabel 11.3), hvilket er en mindre andel end i 2013. Der er kun defineret EQS-værdi for Hg, og i 2014 var 20 % over EQS, hvilket også er en lavere andel end de foregående to år, hvor der var ca. 40 % over EQS. Generelt gælder EQS-værdierne for hele fisk (undtagen PAH'er), men andre arter kan anvendes (inkl. muslinger), hvis de giver samme beskyttelsesniveau. I den nyeste vejledning fra EU (2013) anbefales lipid-normalisering til 5 % lipid for lipofile forbindelser, en sådan normalisering er ikke foretaget i denne rapport. For cadmium var 42 % over BAC, hvilket er lidt flere end i 2013. Lige som i 2014 havde ingen af muslingeprøverne et metalindhold over grænserne for fødevarer.

Tabel 11.3. Vurdering af koncentrationen af kviksølv (Hg), cadmium (Cd) og bly (Pb) i muslinger efter OSPARs baggrundsvurderingskriteriet (BAC, tørstof) og EU's EQS og fødevarergrænseværdier (omregnet til vådvægt) fra tabel 11.1. i.d.: ikke defineret. Procentvis andel af prøver (n = 66).

Tilstand	Hg	Cd	Pb
Under BAC (%)	62	58	71
Under EQS (%)	80	i.d.	i.d.
Under EU fødevarer (%)	100	100	100
Over EU fødevarer (%)	0	0	0

Sandmuslingerne har generelt et højere indhold af tungmetaller end blåmuslinger, da de lever nedgravet i sediment og har et andet akkumulationsmønster. I 2014 var indholdet af Ag og Cu igen højest i sandmuslinger fra Ringkøbing fjord, og næsthøjest for Ni og Cr, kun overgået af koncentrationerne i Nivå Bugt for Cr og Ni med en ud af tre prøver. Koncentrationerne af Pb i blåmusling var højest i Øresund (belastning fra rensningsanlægget Lynetten) og Køge Bugt med ca. 8 gange højere end medianværdien.

For As blev der fundet meget høje koncentrationer i blåmuslinger fra Aalborg Bugt (Dokkedal), 4 gange højere end de næsthøjeste koncentrationer og ca. 8 gange over medianværdien. Generelt var arsen-indholdet i blåmuslinger fra det nordvestlige Kattegat forhøjede i forhold til resten af landet.

PAH'er

For tjærestofferne (PAH) overskred indholdet i fire områder, svarende til 6 % af prøverne, EQS-værdien for benzo(b,k)fluoranthener i 2014. For de øvrige fire individuelle EQS-værdier for PAH'er blev der ikke fundet overskridelser (tabel 11.4). Resultaterne blev også sammenholdt med OSPARs EAC. De højeste koncentrationer for 9 ud af 22 PAH'er blev fundet i blåmuslinger fra Kolding Havn. For naphthalen blev de højeste koncentrationer målt i blåmuslinger indsamlet nord for Skagen. Det samlede indhold af PAH i blåmuslingerne fra Skagen var også forholdsvis højt (omkring 50 % højere end medianen), men niveauet var dog ca. det halve sammenlignet med 2013. Se sidste års rapport for yderligere bemærkninger (Hansen (red.) 2015, kapitel 11).

Tabel 11.4. Indholdet af tunge PAH'er (tjærestoffer) i muslinger er sammenholdt med BAC, EQS, EAC og EU fødevarekriterier. Opgørelsen er baseret på den procentvise andel af analyserede prøver i 2014.

Tilstand	Fluoranthren	Benzo(a)pyren	Benzo(b,k) fluoranthren	Benzo(g,h,i) perylene	Indeno(1,2,3-cd) pyren
Under BAC (%)	24	40	i.d.	36	62
Under EQS (%)	100	100	94	100	100
Under EAC (%)	100	100	i.d.	i.d.	i.d.
Under EU fødevare (%)	i.d.	100	i.d.	i.d.	i.d.
Over EU fødevare (%)	i.d.	0	i.d.	i.d.	i.d.

Organotin/TBT

Indholdet af TBT i muslinger var i 62 % af prøverne over EAC-værdien (tabel 11.5). TBT er således fortsat et miljøfarligt stof som vurderes at udgøre en udbredt risiko for effekter i økosystemet. I prøverne fra 2014 var 10 % flere prøver over EAC end i 2013, trods en generel tendens til faldende niveauer i de danske farvande gennem det seneste årti (*Boutrup m.fl. 2015*). I ca. en fjerdedel af prøverne blev der ikke påvist TBT, dvs. at koncentrationerne var under detektionsgrænsen på 0,5-1 µg TBT-Sn kg⁻¹. Prøver under detektionsgrænsen betragtes som lavere end BAC.

Dioxin, furaner

Ingen af de seks muslingeprøver, der blev analyseret for dioxiner, furaner og dioxinlignende PCB'er lå over EQS-grænsen baseret på WHO's TOX-ækvivalenterne (TEQ). Det højeste indhold af dioxin blev fundet i blåmuslinger nord for Rømø (Juvre Dyb) i Vadehavet, hvor niveauet var på ca. halvdelen af TEQ. Men da der kun var medtaget tre 'non-ortho' og ikke de syv 'mono-ortho' congenere (*Van den Berg m.fl. 2006*), der indgår i TEQ, kan grænsen i princippet være overskredet for denne prøve. For de øvrige fem stationer var dioxinindholdet så lavt, at det er meget usandsynligt at komme over EQS-grænsen, selv om der kun blev målt tre coplanare PCB'er.

Tabel 11.5. Indholdet af organotin (TBT) og tjærestoffer (PAH) i muslinger sammenholdt med OSPARs BAC og EAC-kriterier. Opgørelsen er baseret på den procentvise andel af analyserede prøver i 2014.

Tilstand	TBT	Anthracen	Phenanthren	Pyren	Benz[a]anthracen
Under BAC (%)	23	94	50	26	18
Under EAC (%)	38	100	100	100	100
Over EAC (%)	62	0	0	0	0

Fisk: metaller og organiske stoffer

Både metaller og en række bioakkumulerbare organiske miljøfremmede stoffer blev analyseret i de tre fiskearter ålekvabbe, skrubbe og rødspætte, som i 2014 blev indsamlet ved henholdsvis 7, 4 og 1 stationer i danske farvande. Alle stoffer er analyseret i puljeprøve bestående af muskel/filét fra 10 fisk på nær PCB'er og klorerede pesticider i skrubbe, hvor der er analyseret 10 individuelle leverprøver for at opretholde eksisterende tidstrendsstationer. Nedenfor er indholdet af miljøfarlige stoffer vurderet ud fra gennemsnitsbetragtninger i forhold til miljøvurderingskriterierne, og vurderingerne anses derfor at være repræsentative for beskrivelse af belastningsgraden i de pågældende områder.

Metaller

For metaller er det især Hg der fremstår som et problem, da indholdet i samtlige analyserede muskelprøver oversteg EU's EQS-værdi på 20 µg kg⁻¹ vådvægt med 1,5-17 gange i ålekvabbe og 3-8 gange i fladfisk. På denne baggrund vurderes det, at Hg stadig udgør en væsentlig miljørisiko for fiskespisende fugle og pattedyr i de danske farvande. I denne sammenhæng kan det også nævnes, at EQS-værdien for Hg også var lavere end OSPARs

BAC-værdi for fisk. Indholdet af kviksølv er dog under fødevarekravet på 500 µg kg⁻¹ vådvægt, så indholdet af Hg i disse fiskearter vurderes ikke at udgøre en risiko for mennesker.

For de andre metaller i fisk er der ikke fastsat EQS- eller EAC-værdier. Der forefindes dog EU-fødevarekrav for Cd og Pb i havfisk. For Cd, som er målt i leverprøver, var niveauet i samtlige prøver på nær to over fødevarekravet på 50 µg kg⁻¹ vådvægt, men da niveauet i muskel normalt er 50-100 gange lavere end i lever, vurderes niveauet af Cd ikke som et væsentligt fødevareproblem. Indholdet af Pb i fiskelever var under fødevarekravet i alle prøverne – og det vurderes også at gælde for muskelprøverne.

Organiske miljøfarlige stoffer

For de organiske miljøfremmede stoffer fremstår især de bromerede flammehæmmere i form af PBDE og PCB som stoffer, der i dag kan udgøre en risiko for fiskespisende dyr og mennesker. PBDE-indholdet var overskredet med 3-17 gange EU's EQS-værdi på 8,5 ng kg⁻¹ vådvægt i samtlige muskelprøver.

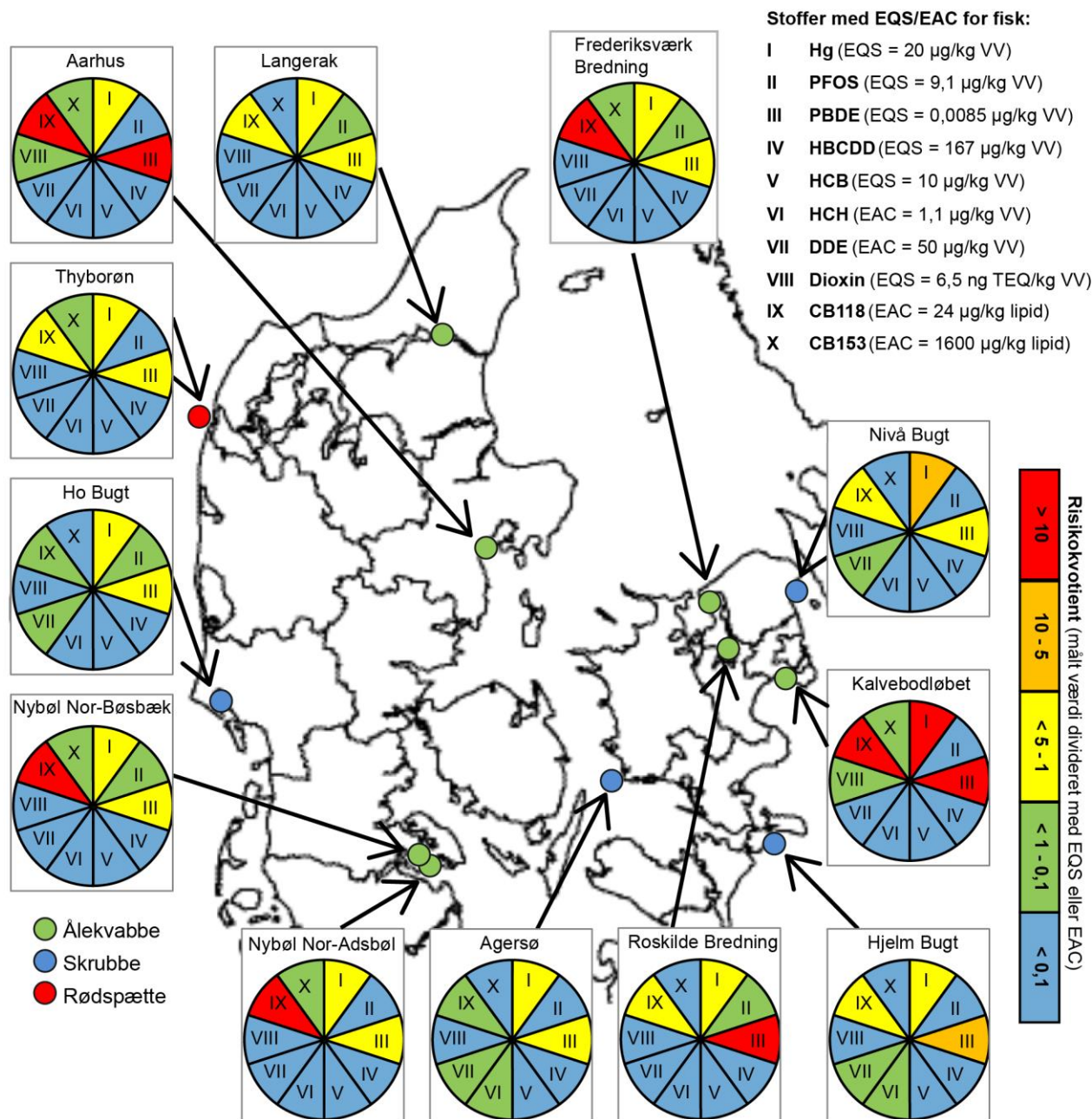
For PCB var det kun for den mere dioxinlignende PCB-congener CB118, at der var overskridelse af OSPARs EAC-værdi på 24 µg kg⁻¹ lipid, og det endda for 10 ud af 12 stationer med et indhold på op til 30 gange over EAC-værdien. Til gengæld var der ingen overskridelse i nogle af prøverne af EU's EQS-værdi på 6,5 ng TEQ kg⁻¹ vådvægt som mål for en samlet dioxinbelastning i fisk. Indholdet af dioxin er 5-100 gange lavere end EQS-værdien, men ikke alle de relevante dioxin-lignende PCB'er indgår i måleprogrammet, hvorfor PCB's andel var underestimeret i forhold til beregningen af en samlet TEQ-værdi for dioxinlignende stoffer, sandsynligvis med en faktor 2-5.

For de klorerede pesticider HCB, HCH og DDE samt den anden type af bromerede flammehæmmere HBCDD var der heller ingen overskridelse af EQS-værdierne for fisk, som er blevet fastsat af EU eller OSPAR.

For PFOS, var indholdet i ingen af 12 analyserede leverprøver højere end EU's EQS-værdi på 9,1 µg kg⁻¹ vådvægt, efter at koncentrationen var divideret med faktor 10 for at tage højde for forskelle mellem muskel og lever. Ud over PFOS blev der i alle de analyserede prøver af fiskelever også fundet andre poly-fluorerede alkylerede forbindelser (PFAS). PFOS udgør i reglen 54-74 % af den samlede mængde PFAS efterfulgt af stofferne PFUnA (5-19 %), PFDA (3-12 %), PFNA (2-12 %), PFOSA (1-12 %) og PFOA (0,6-8 %). Stoffet PFHxS var under detektionsgrænsen i samtlige prøver i 2014. Der findes ingen fastsatte miljøvurderingskriterier for forekomsten af de andre PFAS-forbindelser i fisk.

Organotinforbindelserne tributyltin (TBT), triphenyltin og deres nedbrydningsprodukter blev fundet i samtlige leverprøver af ålekvabbe. Modsat i muslinger var det i fisk, ligesom de tidligere år, triphenyltin fremfor TBT, der i reglen var den dominerende forbindelse. Der findes dog ingen fastsatte miljøvurderingskriterier for forekomsten af TBT og triphenyltin i fisk.

I figur 11.1 er en samlet oversigt for de 12 lokaliteter, hvor der blev indsamlet fisk i NOVANA-programmet i 2014. Af figuren fremgår indholdet af kviksølv og de forskellige organiske miljøfremmede stoffer. Desuden er angivet en vurdering af stofferens potentiale for uønskede effekter i havet for de stoffer, hvor der eksisterer EQS- eller EAC-værdier.



Figur 11.1. Vurdering af indholdet af miljøfarlige stoffer i fisk (ålekvalbe, skrubbe og rødspætte) indsamlet på 12 danske lokaliteter i 2014. Indholdet af miljøfarlige stoffer er vurderet i forhold til eksisterende miljøkvalitetskrav og -kriterier (I - X), der enten er fastsat af EU (EQS-værdier) eller af OSPAR (EAC-værdier). Farveskalaen med blå, grønne, gule, orange og røde farver angiver risikokvotienten, som er beregnet som de målte koncentrationer divideret med de nævnte miljøvurderingskriterier.

Ud over de miljøfarlige stoffer, der overvåges som en del af NOVANA-programmet, gennemføres der løbende screeningsundersøgelser for de stoffer, som hidtil ikke har indgået i overvågningen, men som er aktuelle ud fra internationale forpligtigelser og/eller har særlig national interesse. For eksempel er der for nylig lavet en screeningsundersøgelse af nye prioriterede stoffer, som påviste, at stofferne heptachlor og heptachlorepoxyd forekommer både i ferskvand og marine miljøer i Danmark, og at heptachlor epoxyd overskred EU's EQS-værdi for fisk i 70 % af prøverne (Vorkamp m.fl. 2014). På baggrund af resultaterne af disse screeningsundersøgelser og anden relevant viden vurderes det, hvilke miljøfarlige stoffer der skal indgå som en del af NOVANA-programmet.

Sediment: metaller, TBT, PAH og dioxin

Der blev taget prøver i mange forskellige typer sediment, lige fra gytje med højt indhold af kulstof (TOC, total organic carbon) ved Okseøerne i Flensborg Fjord og ved Blåkilde i Mariager Inderfjord (TOC ~ 9-11 %) til sandede sedimenter fra Vesterhavet og Horsens Fjord (TOC < 0,5 %). Generelt var antallet af undersøgte prøver i 2014 fordelt nogenlunde ligeligt mellem prøver med < 1 %, 1-5 % og over 5 % TOC. OSPAR anvender normalt normalisering til 2,5 % TOC, dvs. ca. halvdelen af prøverne blev justeret op og den anden halvdel ned ved normalisering. For metallerne fandtes de højeste værdier i Kolding Fjord (Zn, Cu, Cr, As, Hg), Guldborgsund (Cd), Frederikssund i Roskilde Fjord (Pb, Zn, Cu, Cd) og Øresund (Pb, As, Hg). For at sammenligne data fra sandede sedimenter med områder med finkornet sediment anvender OSPAR normalisering til 25 mg/kg lithium, svarende til en medianværdi af aluminium på 5,3 % tæt på OSPARs anbefalede 5 % - lithium og aluminium er indikatorer for indholdet af ler/silt. For danske sedimenter er indholdet typisk < 5 % Al (90 % af prøverne), så med normalisering til lithium er 75 % af metalkoncentrationer i sandede sedimenter øget ved normaliseringen.

Metaller

I forhold til OSPARs BAC- og ERL-kriterier var 23-36 % af Cu, Zn, Pb, Cd og 8-15 % Hg, Cr, Ni til stede i så høje koncentrationer, at effekter ikke kan afvises (tabel 11.6). Bemærk at for Cr og Ni er ERL enten ikke defineret eller lig BAC, dvs. 90 % af prøverne er på baggrundsniveauer. I tabel 11.6 er klassifikationen også angivet for de direkte målte koncentrationer. Det giver nogle færre prøver over ERL-grænserne - for Cu, Hg og Ni ca. samme niveau, men for de øvrige noget (5-16 %) lavere. Baggrunden for ERL-grænserne tager ikke hensyn til kornstørrelsen; men i OSPAR anvendes generelt normalisering for at sikre ens behandling af forskellige sedimenttyper og derfor også ved sammenligning med ERL-grænserne.

Tabel 11.6. Indholdet af en række metaller i sediment angivet som procentdel prøver (n = 39) under eller over OSPARs BAC- og ERL-kriterier (n = 39), direkte og efter normalisering til 25 mg/kg Li. Bemærk at BAC = ERL for Cr, og at ERL ikke er defineret for Ni. Bemærk yderligere at 'Under ERL' angiver procentdel af prøver mellem BAC og ERL.

5 % Al	Zn	Cu	Hg	Cd	Ni	Pb	Cr
Under BAC (%)	59	62	56	26	90	38	92
Under ERL (%)	10	3	28	51	Ikke def.	33	BAC = ERL
Over ERL (%)	31	36	15	23	10	28	8
Direkte	Zn	Cu	Hg	Cd	Ni	Pb	Cr
Under BAC (%)	67	59	72	44	92	79	97
Under ERL (%)	18	8	15	44	0	3	0
Over ERL (%)	15	33	13	13	8	18	3

PAH'er

De højeste PAH-koncentrationer i sediment blev fundet i prøver indsamlet ved nogle stationer i Kattegat (øst for Djursland og ved Hirsholmene), hvor PAH-indholdet var på niveau med ERL. Den højeste overskridelse var omkring Hirsholmene, hvor koncentrationen var op til 4 gange ERL-værdien for antracen og 2,4 gange ERL-værdien for benzo(ghi)perylen. Ligesom de sidste to år er benzo(ghi)perylen den PAH-forbindelse, for hvilke flest sedimenter overskred ERL-grænsen (tabel 11.7). Antracen hhv. indeno(1,2,3-cd)-pyren overskred også ERL-grænsen efter normalisering til 2,5 % TOC. På flere stationer (tre for benz(a)anthracen, to for pyren og to for fluoranthen) med højt TOC-indhold var PAH under ERL-grænserne efter normalisering, mens indholdet uden normalisering var over ERL-grænsen. Prøven fra Mariager Inderfjord (Blåkilde) havde det suverænt højeste samlet indhold af

PAH (sum-PAH) på tørstofbasis før normalisering til 2,5 % TOC (ca. faktor 2 højere end ERL-værdien), efterfulgt af Flensborg Fjord (Okseøerne) og Stege Nor, men pga. et højt TOC-indhold på 8-12 % er værdierne justeret ned med en faktor 3-5 gange i den samlede vurdering.

Tabel 11.7. Indholdet af PAH i sediment opgjort som den procentvis andel af prøver (n = 39) under eller over OSPARs BAC- og ERL-kriterier. Dibenzothiophen indgår ikke i tabellen, da den ikke har nogen defineret BAC. * Naphthalen er kun to-ringet, ikke en ægte PAH.

	Naphthalen*	Antracen	Fluoranthen	Pyren	Benz(a)-anthracen	Chrysen/triphenylen	Indeno-(1.2.3-cd)-pyren	Benzo-(ghi)-perylen
Under BAC (%)	51	49	21	15	15	13	69	67
Under ERL (%)	49	49	79	85	85	87	28	3
Over ERL (%)	0	3	0	0	0	0	3	31

Blødgørere og phenoler

De målte koncentrationer af phthalater (DEHP, DEP, DPB, DnOP og DINP) og alkylphenoler (nonylphenol, 4-nonylphenol og dets derivater NPMET og NPDET samt octylphenol og 4t-octylphenol) har ikke nogen kvalitetskriterier for sediment at sammenlignes med (resultater ikke vist). For områder med de højeste niveauer af phthalater var der ofte sammenfald med de højeste PAH-koncentrationer (bl.a. i Mariager Inderfjord (DEHP)) med undtagelse af Flensborg Fjord (DNP) og Augustenborg Fjord, hvor PAH-koncentrationerne ikke var så forhøjede. For nonylphenol og dets derivater forekom højeste koncentrationer af 4-nonylphenol og NPMET i Risgårde Bredning og Odense Fjord samt Augustenborg Fjord for NPDET og nonylphenol. Octylphenol blev detekteret i cirka halvdelen af prøverne, og i reglen i væsentlige lavere koncentrationer sammenlignet med nonylphenol og dets derivater.

Organotin

For TBT var ca. 75 % af prøverne under detektionsgrænsen. Svenskerne har i en nylig risikovurdering kommet frem til miljøkvalitetskrav for TBT i sediment på $0,8 \mu\text{g kg}^{-1}$ tørstof normaliseret til 2,5 % TOC, idet det vurderes, at ved højere koncentrationer kan TBT have alvorlige effekter på bundlevende dyr (*Havs- og Vattenmyndigheten* 2015). Sammenlignet med dette miljøvurderingskriterium var TBT stadig i betænkelige koncentrationsniveauer i 26 % af prøverne. De højeste TBT-koncentrationer med mere end $100 \mu\text{g kg}^{-1}$ tørstof efter normalisering til 2,5 % TOC blev målt i Mariager Inderfjord, ligesom for PAH og phthalater, men også prøverne fra Odense Fjord og Flensborg Fjord indeholdt meget høje koncentrationer af TBT.

Dioxin/furaner og dioxinlignende PCB'er

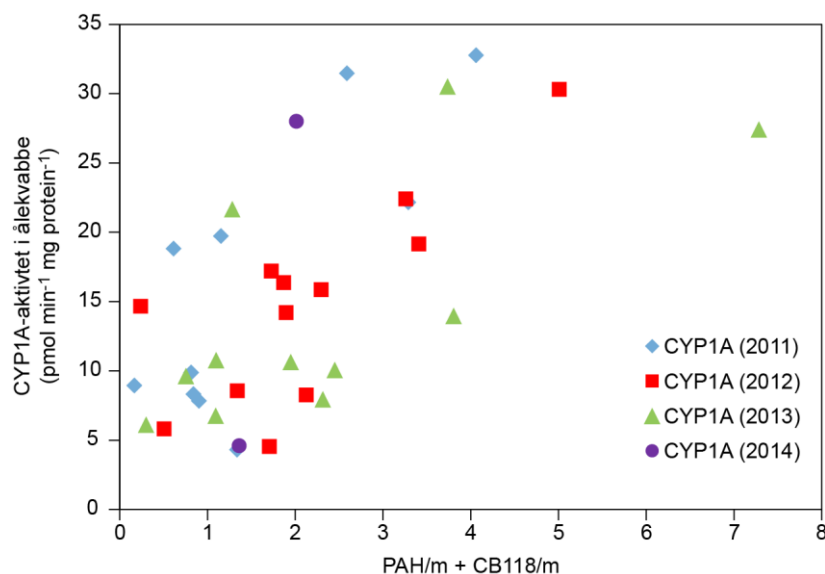
Dioxin måltes i alle sedimentprøver, og fem prøver skilte sig ud med 10-20 gange højere total WHO-TEQ-værdier end medianværdien ($0,9 \text{ ng kg}^{-1}$ tørstof). Prøven fra Krigers Flak i Østersøen havde det højeste indhold af dioxin/furaner (total WHO-TEQ 15-20 gange medianværdien), og prøverne fra Flensborg Fjord havde det højeste indhold af de dioxinlignende co-planare PCB. Dette betød, at total WHO-TEQ var 18 gange højere end medianværdien. Som for de øvrige organiske miljøfarlige stoffer lå Mariager Inderfjord (Blåkilde) noget over medianværdierne, i dette tilfælde en faktor 10 over.

Biologiske effekter i ålekvabbe

Fisken ålekvabbe anvendes i overvågningen som indikator for forekomst af effekter af miljøfarlige stoffer på kystnære fisk, som i perioden 2011-2013 er blevet udført koordineret med undersøgelserne af miljøfarlige stoffer i fisk. I 2014 blev ålekvabbe indsamlet på to stationer under NOVANA, hhv. Roskilde Bredning og Kalvebodløbet ved København. Her blev ålekvabber undersøgt

for forekomst af de biologiske effekter CYP1A-aktivitet, PAH-metabolitter i galde og forekomsten af fejludviklede unger.

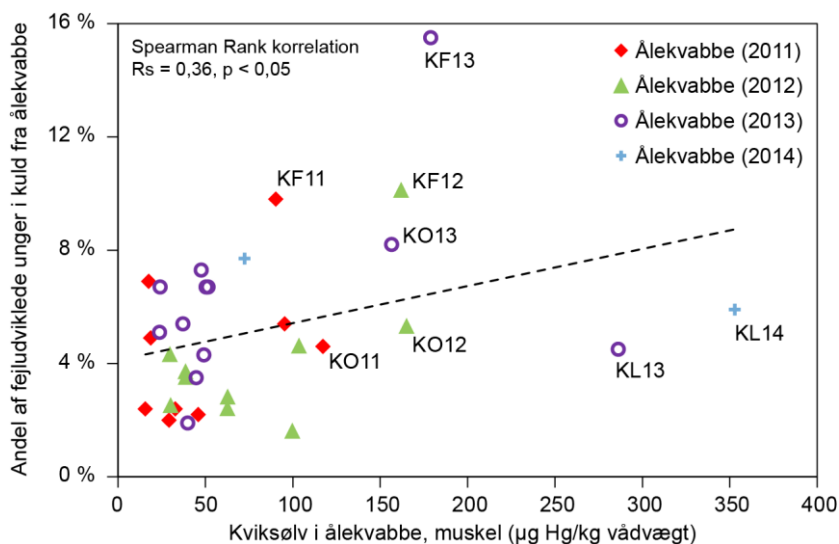
Figur 11.2. Biomarkøren CYP1A-aktivitet ($\text{pmol min}^{-1} \text{mg protein}^{-1}$) i lever fra ålekvalbe-hunner har i perioden 2011-2014 korreleret til en samlet belastning med PAH og PCB udtrykt ved en kombineret faktor af hhv. indholdet af PAH-metabolitter (målt som 1-hydroxypyren ækvivalenter) i galde og den dioxinlignende PCB-congener CB118 (normaliseret til lipid) i muskel. Den kombinerede faktor er beregnet som en sum efter division med midelværdien (m) for hhv. PAH-metabolitter og CB118.



Undersøgelserne af ålekvalbe-biomarkørerne CYP1A-aktivitet i fiskelever og PAH-metabolitter i galde sammenholdt med de kemiske målinger for indholdet af PCB i fiskene i perioden 2011-2014 viste en tydelig kobling mellem CYP1A-aktiviteten og kombination af PAH og CB118, som kan ses som indikator for de dioxinlignende PCB'er (figur 11.2). Denne sammenhæng indikerer, at bl.a. disse organiske miljøfarlige stoffer har potentiale for at kunne forårsage toksiske effekter i fisk fra de kystnære danske farvande.

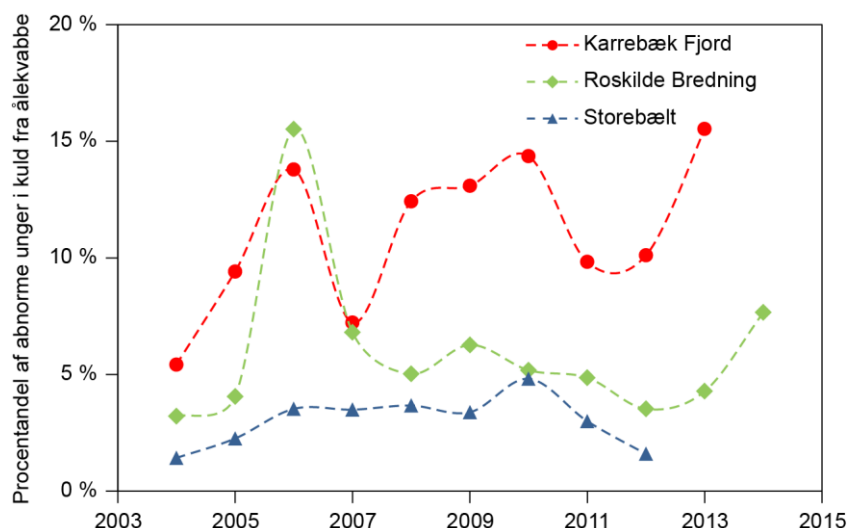
For forekomsten af fejludviklede unger er det noget vanskeligere at koble niveauerne til belastningsgraden af specifikke stoffer (figur 11.3). Når alle sammenhørende data for miljøfarlige stoffer i fisk fra 2011-2014 sammenlægges, ser det dog ud til, at belastningen med kviksølv er korreleret med forekomsten af fejludviklede unger (figur 11.4). Men denne sammenhæng er især drevet af overvågningen på fisk fra Karrebæk Fjord og Knudshoved Odde, mens stationen Kalvebodløbet med særligt højt kviksølvniveau udtrykker ikke tilsvarende forekomst af fejludviklede unger, og gør derved den fundne sammenhæng svagere.

Figur 11.3. Sammenhæng mellem forekomst af fejludviklede unger i kuld fra ålekvalbe sammenholdt med kviksølv målt i muskel fra de voksne hunner i perioden 2011-2014. Prøver er indsamlet ved Karrebæk Fjord (KF) og Knudshoved Odde (KO) og Kalvebodløbet (KL).



Tydelige tegn på områdemæssige forskelle i forekomsten af fejludviklede unger i kuld fra ålekvabbe indikerer dog, at lokale miljøforhold har stor betydning. Tendensen er, at højere niveauer af fejludviklede unger forekommer i fjorde kendetegnet ved større belastning fra byer og opland end i de åbne farvande, hvorfor miljøfarlige stoffer er blevet udpeget som en vigtig potentiel faktor (Dahllöf m.fl. 2011). Af figur 11.4 fremgår det, at der er tydelige områdemæssige forskelle i forekomsten af fejludviklede unger, bl.a. har niveauet været forhøjet i Karrebæk Fjord i overvågningsperioden.

Figur 11.4. Udviklingen i forekomsten af fejludviklede unger i kuld fra ålekvabbe ved tre repræsentative NOVANA-stationer i perioden 2004-2014.



Sammenfatning

- I 2014 blev der fundet koncentrationsniveauer af en række miljøfarlige stoffer i sediment, muslinger og/eller fisk fra de danske farvande, som ligger højere end EU's miljøkvalitetskrav (dvs. EQS-værdier) eller andre sammenlignelige internationale miljøvurderingskriterier (dvs. OSPARs EAC- eller ERL-værdier). Dette gjaldt for kviksølv (Hg) og andre tungmetaller, organotin (TBT), tjærestoffer (PAH), bromerede flammehæmmere (for PBDE, men ikke for HCBDD) og poly-chlorerede biphenyler (PCB) (se nedenfor). For disse stoffer er der en risiko for, at de kan have uønskede effekter i vandmiljøet og dermed have betydning for, om lokale danske vandområder kan opnå god økologisk tilstand. For andre stofgrupper som dioxiner, perfluorerede stoffer (PFAS) og klorerede pesticider blev der ikke fundet overskridelser af de anvendte miljøvurderingskriterier, selvom der lokalt var høje niveauer.
- Hg: I 20 % af muslingerne og for alle fisk var niveauet over EQS-værdien.
- Andre tungmetaller: I sediment var indholdet af tungmetallerne Cd, Pb, Cu, Zn, Cr og Zn højere end OSPARs ERL-værdier i 8-36 % af de analyserede prøver. Ved sammenligning med ikke-normaliserede værdier nedbringes antallet af prøver med mulig effekt på miljøet til 3-33 % for de nævnte metaller.
- TBT: Trods forbuddet mod TBT i skibsmaling målt der stadig koncentrationer over detektionsgrænsen både i prøver fra sediment (25 %), muslinger (75 %) og fisk (70 %). For sediment var 25 % af prøverne over det svenske miljøkvalitetskrav svarende til EQS for sediment, mens for muslinger var 65 % af prøverne over EAC.
- PAH: Muslinger var over EU's EQS-værdi for benzo(b,k)fluoranthren i 6 % af prøverne, men ikke for andre PAH'er. For sediment, forekom der overskridelser af OSPARs ERL-værdier for antracen (3 % af prøverne), indeno-

(1,2,3-cd)pyren (3 %) og benzo(ghi)perylene (32 %) efter normalisering af sedimentet til 2,5 % TOC.

- PCB: Indholdet af PCB-congeneren CB118 i fisk lå over OSPARs EAC-værdi i næsten alle prøver, hvilket indikerer, at PCB stadigvæk er et problem i de danske farvande, selv mange år efter at brugen af stoffet er stoppet.
- PBDE: Indholdet af PBDE i fisk overskred med 3–17 gange EU's EQS-værdi i samtlige undersøgte prøver.
- Biologiske effekter: Ålekvalbe udviste betydelige forskelle i påvirkningsgrad mellem forskellige områder, både mht. forekomst af fejludviklede unger, CYP1A-enzymaktivitet og PAH-metabolitter i galde. Der blev fundet en sammenhæng mellem CYP1A-aktivitet og belastningen med PAH og PCB, men ikke mellem fejludviklede unger og de målte miljøfarlige stoffer (måske på nær Hg).

Forkortelser

Forkortelse	Betydning	Anvendelse
OSPAR	Oslo-Paris konvention	Nordsø-havkonvention
EU	Europæiske Union	Europa
US-EPA	Amerikansk miljømyndighed	Nordamerika

Vurderingskriterier

BAC	Baggrundsvurderingskriterie	OSPAR
EAC	Miljøvurderingskriterie	OSPAR
EQS	Miljøkvalitetsstandard	EU
ERL	Effektområde lavt	US-EPA, adopteret OSPAR

Basis for analyse

VV	Vådvægt	Frisk prøve
TV	Tørvægt	Tørret prøve
LV	Lipidvægt	Relativt til fedtindhold

Miljøfarlige stoffer

As, Pb, Cd, Cr, Hg, Ni og Zn	Tungmetaller: arsen (As), bly (Pb), cadmium (Cd), krom (Cr), kviksølv (Hg), nikkel (Ni) og zink (Zn)
DDE, HCB, og HCH	Klorerede pesticider: dichlorodiphenyldichloroethylene (DDE, som er et nedbrydningsprodukt af DDT), hexachlorbenzen (HCB) og hexachlorocyclohexane (HCH)
PAH	Polycykliske aromatiske hydrocarboner
PBDE	Poly-brominated diphenyl ethers
PFAS	Perfluorerede alkylerede stoffer
PFDA, PFHxS, PFNA, PFOA, PFOS, PFOSA og PFUnA	Perfluorerede alkylerede stoffer: PFDA (perfluordecansyre), PFHxS (perfluorhexansulfonsyre), PFNA (perfluorononansyre), PFOA (perfluordecansyre), PFOS (perfluordecansulfonsyre), PFOSA (perfluordecansulfonamid) og PFUnA (perfluorundecansyre)
PCB og CB118	Poly-chlorerede biphenyler, som består af en række kongener, herunder CB118
TBT	Tributyltin
TEQ	Toksicitetsækvivalenter for dioxiner, furaner og dioxinlignende PCB'er, baseret på WHO (2005)
DEHP, DEP, DBP, DnOP og DINP	Phthalater: di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), diethyl phthalate (DEP), di(n-butyl) phthalate (DBP), di-n-octyl phthalate (DnOP) og di-isononyl phthalate (DINP)
NPMET og NPDET	Nonylphenol derivater: NPMET (nonylphenol monoethoxylate), og NPDET (nonylphenol diethoxylate)

Del 3 – Sammenfattende diskussion

Jens Würgler Hansen

I Danmark er der intet sted længere end ca. 50 km til kysten. Danmarks kyststrækning er på godt 7.000 km, hvilket sammenlignet med andre lande er meget i forhold til landets størrelse. Det betyder, at der er en tæt kontakt mellem land og hav og derfor en meget stor og for mange områder relativ hurtig transport af vand og stof fra land til fjorde og øvrige kystnære vandområder. Desuden er de danske farvande generelt lavvandede og påvirkes derfor lettere af tilførsler end dybe havområder med stort vandvolumen.

De danske farvande er desuden karakteriseret ved en stor variation i fysisk-kemiske såvel som biologiske forhold. De ligger i overgangszonen mellem den brakke Østersø og den salte Nordsø og repræsenterer et vidt spænd af forskellige økosystemer fra små lukkede nor med stillestående vand og lav saltholdighed til åbne farvandsområder med høj saltholdighed og stor gennemstrømning. Desuden er de danske farvande kendetegnet ved en stor dynamik som følge af den markante påvirkning fra land, de mange gennemstrømningsområder og den store år til år variation i de klimatiske forhold.

Miljø- og naturkvaliteten er stærkt påvirket af menneskelig aktivitet. Den høje befolkningstæthed, den intensive udnyttelse af det åbne land samt den industrielle produktion resulterer i udledninger af forurenende stoffer til havet. Hertil kommer belastning fra yderligere aktiviteter på havet i form af erhvervsfiskeri, akvakultur, skibstrafik, ral- og sandsugning, klapning, byggeri samt olie- og gasudvinding og anden offshore industri. Endelig er de danske farvande påvirket af belastning fra nabolandene via havstrømme og atmosfærisk deposition.

Det danske overvågningsprogram er i overensstemmelse med vandrammedirektivet og habitatdirektivet tilrettelagt med fokus på 1) eutrofiering, 2) miljøfarlige stoffer og 3) beskyttede naturtyper og arter. Grundet ovenfor omtalte tætte kontakt mellem land og hav, den store variation og dynamik samt den anselige belastning er der i Danmark behov for et relativt omfattende overvågningsprogram med mange målestationer og en høj prøvetagningsfrekvens.

NOVANA-programmet har til formål at tilvejebringe et datagrundlag for en overordnet beskrivelse af tilstanden og udviklingen i miljø- og naturforholdene samt en vurdering af, om miljømålsætningerne for de forskellige farvandsområder er opfyldt. Grundlaget herfor er, at overvågningen er koordineret og landsdækkende, og at alle metoder og procedurer for prøvetagning, analyser, dataoverførsel og rapportering er velbeskrevet og veldokumenteret.

Den viden, som erhverves om miljøtilstanden i kraft af overvågningsprogrammet, er helt afgørende for at kunne vurdere effektiviteten af de politisk besluttede miljøforbedrende tiltag. Kun med et fagligt afbalanceret og geografisk dækkende overvågningsprogram er det muligt at bibeholde en videnbaseret forvaltning af de danske marine områder.

12 Tilstand og udvikling

Jens Würgler Hansen

Denne sammenfattende beskrivelse af miljø- og naturtilstanden i de marine områder giver et landsdækkende billede af situationen i 2014 samt af udviklingen siden iværksættelsen af den første vandmiljøhandlingsplan (slut 80'erne) og diskuterer årsagerne til den nuværende miljø- og naturtilstand.

Klimatiske forhold

Året 2014 var meget varm med en gennemsnitlig lufttemperatur 2,3 °C over langtidsnormalen (1961-1990) og 1,2 °C varmere end i perioden 2001-2010. Lufttemperaturen var højere end normalen i alle årets måneder. Februar og juli var omkring 4 °C varmere end normalt, mens maj, juni og august kun var lidt varmere end normalen.

Vindmæssigt lignede 2014 et normalår ved at være domineret af vinde fra syd men adskilte sig fra et normalår ved i langt højere grad at være præget af vinde fra øst end fra vest. I januar og oktober kom vinden således hovedsageligt fra øst. Som i de senere år var 2014 kendetegnet ved svage vinde, og kun januar var mere blæsende end normalen. I den typiske iltsvindsperiode juni-oktober var vinden usædvanlig svag bortset fra en mere blæsende periode midt i august. Der var kun en storm og to kraftige blæsevejr i henholdsvis marts og december.

Indstrålingen i 2014 var noget over normalen, men på niveau med perioden efter 2001. Indstrålingen var dog relativt høj for maj-september, hvor specielt juli var usædvanlig solrig. Nedbørsmængden og dermed afstrømningen fra land var noget over normalen og lidt over gennemsnittet for perioden 2001-2010, hvilket skyldtes megen nedbør i årets start og slutning.

Havvandstemperaturen var højere end normalen i alle årets måneder, og årsmidlen oversteg normalen med 2,3 °C i fjorde og kystnære områder, med 2,4 °C i overfladevandet i de åbne indre farvande og med 1,8 °C i bundvandet. Havtemperaturen i de danske farvande er steget 1-1½ °C i løbet af de sidste 30-40 år, og 2014 var det hidtil varmest registrerede.

Koncentrationer af næringssalte

Månedsmidlerne for kvælstofkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder og de åbne indre farvande var generelt meget lave i 2014 og lå væsentligt under normalen (1989-2013) bortset fra i årets start og slutning, hvor der var en stor afstrømning fra land. Månedsmidlerne for opløst, uorganisk kvælstof (DIN) i fjorde og kystnære områder var de hidtil lavest registrerede siden 1989 i maj og august. Et næsten tilsvarende mønster gjorde sig gældende for DIN-koncentrationerne i overfladevandet i de åbne indre farvande, hvor der var meget lave kvælstofkoncentrationer i næsten alle måneder med undtagelse af februar og december.

Fosforkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder i 2014 var næsten på niveau med langtidsmidlerne det meste af året, bortset fra forårsperioden, hvor de hidtil laveste niveauer af opløst, uorganisk fosfor (DIP) blev registreret i april og maj. Der var også meget lave niveauer for organisk fosfor og total fosfor fra februar til april, og koncentrationen af organisk fosfor i februar var den hidtil lavest registrerede. Derimod var der relativt høje kon-

centrationer af organisk fosfor fra august frem til slutningen af året, hvilket skyldes påvirkningen fra de åbne indre farvande. I de åbne indre farvande steg koncentrationen af organisk fosfor nemlig markant fra august og nåede de hidtil højeste registrerede niveauer i september og november. De høje niveauer skyldes formentlig, at den reducerede opblanding, som følge af svage vinde, har bevirket en akkumulering i overfladevandet af planteplankton, som ellers ville være sedimenteret til bunden i større udstrækning. I den første halvdel af året var fosforkoncentrationerne i de åbne farvande overordnet på niveau med langtidsmidlerne, dog med lidt lavere koncentrationer i starten af året, og i april var DIP-koncentrationen den hidtil lavest registrerede.

De faldende næringssaltkoncentrationer har bevirket, at både kvælstof og fosfor er blevet potentielt begrænsende for den planktoniske primærproduktion (algevæksten) i en stadig større del af vækstperioden. Det betyder, at en yderligere reduktion af begge næringssalte må forventes at begrænse algevæksten endnu mere. Desuden medfører det, at den interne tilførsel af næringssalte fra bunden i år med meget iltsvind er en stadig mere væsentlig kilde til næringssalte. Men også denne kilde vil mindskes, efterhånden som puljen i bunden langsomt udtyndes, hvilket dog forudsætter en fortsat lav tilførsel af næringssalte fra land og luft.

Kvælstof- og fosforkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder samt i de åbne indre farvande er faldet markant siden 1989, hvilket er en positiv effekt af vandmiljøplanerne og tilsvarende aktiviteter i vores nabolande. Koncentrationerne har dog været stagnerende for DIN siden 2003 og generelt for fosfor siden 1998. Årsmidlerne for total kvælstof og total fosfor var i 2014 lidt over koncentrationerne i 2013, men dog fortsat på det lave niveau kendetegnende for de senere år.

Planteplankton, dyreplankton og vandets klarhed

Sigtedybden (vandets klarhed) i 2014 var større end langtidsmidlen (1989-2013) i det tidlige forår og i sommerperioden både i fjorde og kystnære områder og i de åbne indre farvande. Årsmidlen i 2014 var på niveau med langtidsmidlen i fjorde og kystnære farvande og markant større end langtidsmidlen i de åbne indre farvande. Sigtedybden i de åbne indre farvande steg signifikant i perioden 1989-2005, mens der var en aftagende tendens i perioden 2006-2011 – en udvikling som blev brudt af de høje værdier i 2012, 2013 og 2014. For fjorde og kystnære områder var sigtedybden kun signifikant stigende siden 1989 for de afstrømningskorrigerede værdier.

Klorofylkoncentrationerne i 2014 var lavere end langtidsmidlen (1989-2013) i alle årets måneder for fjorde og kystnære områder og for de fleste af årets måneder i de åbne indre farvande. Årsmidlen for klorofyl i 2014 var på niveau med 2012 og 2013 og markant lavere end middelværdien for langtidsmidlen både i fjorde/kystnære områder og i de åbne indre farvande. Årsmidlen er faldet signifikant siden 1989 for fjorde og kystnære områder, mens dette ikke er tilfældet for de åbne indre farvande. I de åbne indre farvande har der været en signifikant stigning i årsmidlen for 2000-2011, en tendens som blev brudt af de lave værdier i 2012, 2013 og 2014.

Planteplanktonets vækst (primærproduktion) i 2014 var gennem hele året på niveau med eller lavere end langtidsnormalen (1975/1977-2013) både i fjorde og kystnære områder og i de åbne indre farvande. I fjorde og kystnære områder var væksten størst i sensommeren formodentlig pga. næringssaltfrigtelse forårsaget af iltsvind, mens væksten i de åbne indre farvande var for-

øget og tæt på langtidsmidlen i forårsmånederne pga. en stor vinterafstrømning af ferskvand fra land. Årsmidlen for væksten var i fjorde og kystnære områder i 2014 på samme niveau som i 2013, men noget under gennemsnittet for hele overvågningsperioden. I de åbne indre farvande var væksten lidt større end i 2013, men fortsat på et meget lavt niveau. Planteplanktonets vækst er faldet signifikant gennem overvågningsperioden, og ændringen kan statistisk kobles til den reducerede tilførsel af næringssalte.

Biomassen af planteplankton er steget signifikant om end svagt siden 1989 i fjorde og kystnære områder, mens der ikke har været nogen signifikant udvikling i de åbne indre farvande. Kiselalgernes andel af biomassen har tilsvarende været stigende i fjorde og kystnære områder, mens der ikke har været nogen signifikant udvikling i de åbne indre farvande.

I 2014 blev der rapporteret forekomster af toksiske arter af planteplankton (*Dinophysis* sp.). I de fleste tilfælde var forekomsterne dog mindre end grænseværdierne for muslingefiskeri.

Biomassen af ciliater i 2014 var reduceret i forhold til 2013, mens biomassen af det øvrige mikro-dyreplankton var på samme lave niveau som de seneste år.

Iltforhold

Iltsvindets udbredelse i 2014 var overordnet på niveau med iltsvindet i 2013 og dermed markant større end for 2010-2012. Iltsvindsperioden i 2014 var i endnu højere grad end året før karakteriseret ved svage vinde og høje temperaturer. De usædvanligt høje vandtemperaturer fra årets start bevirkede sammen med de svage vinde, at iltsvindet startede usædvanlig tidligt og sluttede usædvanlig sent. Iltsvindet udviklede sig meget markant i løbet af sommeren, bort set fra midt i august, hvor en periode med mere vedvarende blæst midlertidigt forbedrede forholdene. De særligt berørte områder, hvad angår varighed og intensitet af iltsvind, var Limfjorden, Mariager Fjord, det sydlige Lillebælt og tilstødende fjorde samt Det Sydfynske Øhav. I disse områder førte iltsvindet til frigivelse af giftig svovlbrinte fra havbunden. Flere steder viste observationer, at bunddyr, fisk og bundplanter var døde eller på anden måde havde taget skade af iltsvindet.

Det samlede areal berørt af iltsvind i 2014 og 2013 var mindre end tidligere år med tilsvarende klima. Det indikerer, at havbundens bufferkapacitet mod udvikling af iltsvind især i de åbne farvande er bedre nu end tidligere. Men iltsvindets forøgede udbredelse i 2014 og 2013 sammenlignet med 2010-2012 viser samtidigt, at især fjorde og kystnære områder fortsat er så eutrofierede, at iltsvind kan udvikle sig meget markant i større områder, når der forekommer perioder med svage vinde og høje temperaturer.

Iltindholdet i bundvandet i de danske farvande har overordnet udvist en tendens til et fald vurderet for hele overvågningsperioden og var i 2014 det laveste registrerede siden starten af 1980'erne i fjorde og kystnære områder. Derimod har der de seneste 10 år været en positiv udvikling i de mere åbne dele af de indre danske farvande. Udviklingen af iltindholdet i bundvandet er dog karakteriseret ved store regionale forskelle.

Bundplanter

Ålegræssets dybdeudbredelse har ikke udvist nogen signifikant udviklingstendens siden 1989 langs de åbne kyster eller i yderfjordene, mens dybde-

udbredelsen generelt er reduceret i inderfjordene og i Limfjorden. Gennem de seneste år er der dog observeret en øget dybdeudbredelse i en række områder. Denne udvikling er fastholdt i 2014 trods udbredt iltsvind og usædvanlig høj vandtemperatur. Ålegræssets dækningsgrad har siden 1989 vist en faldende tendens. Men også for dækningsgraden er der de seneste år konstateret en forbedring i en række områder. Den reducerede tilførsel af næringsalte og de deraf afledte effekter har således bevirket, at udviklingen for ålegræs inden for flere områder går i den rigtige retning.

Makroalgernes dækningsgrad har overordnet udviklet sig positivt siden 1990 både i inderfjorde, yderfjorde, kystområder og på stenrev, mens udviklingen i Limfjorden har været negativ. Makroalgernes dækningsgrad på de undersøgte stenrev var generelt god i 2014, hvilket formodentlig bl.a. hænger sammen med den forøgede sigtddybe de seneste år.

Bunddyr

I overensstemmelse med programbeskrivelsen for den nationale overvågning blev der ikke taget bunddyrsprøver på tidstrendstationerne i 2014. Størstedelen af prøvetagningen i 2014 foregik i habitatområder.

Der kunne lidt overraskende ikke påvises nogen korrelation mellem artsdiversitet og saltholdighed i Limfjorden, hvilket formodentlig skyldes, at Limfjorden var atypisk med en lav artsdiversitet trods en relativ høj saltholdighed. På en station i det centrale Kattegat var der god korrelation mellem artsdiversitet og saltholdighed og den højeste artsdiversitet hidtil registreret i dansk farvand inden for de seneste 30 års overvågning.

Sæler og marsvin

Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark. Bestanden er steget fra ca. 2.000 dyr i 1976 til ca. 16.000 dyr i 2014 overvejende som resultat af jagtfredningen i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater. I overvågningsperioden er spættet sæl blevet ramt af store virus epidemier i 1988 og 2002, som reducerede bestanden med henholdsvis ca. 20 og 40 %, samt en mindre epidemi i 2007 og 2014.

Gråsælen var frem til 1800-tallet en almindelig sælart i de danske farvande, hvor den yngede frem til omkring 1900. Efter at have været udryddet i Danmark i ca. 100 år er gråsælen nu genindvandret og begyndt at yngle igen i de danske farvande. Gråsælen har været i fremgang de seneste godt 10 år, og i 2014 blev der observeret en del gråsæler i både Vadehavet, Kattegat og især i Østersøen.

Marsvin er Danmarks mest almindelige hval, og den eneste som med sikkerhed yngler i landet. I den sydlige del af Nordsøen blev der i 2014 registreret væsentlig flere dyr end i 2013, og tætheden er nu oppe på niveauet i 2011 og 2012. Marsvin er vidt udbredt i de danske farvande, og der blev i overensstemmelse hermed også registreret marsvin i de andre undersøgte farvandsområder.

Miljøfarlige stoffer og biologiske effekter

I 2014 blev der for de fleste stoffer og i de fleste områder fundet lave koncentrationer af miljøfarlige stoffer. Men for en række stoffer var koncentrationsniveauerne i sediment, muslinger og/eller fisk fra de danske farvande i nogle områder højere end de internationale miljøvurderingskriterier. Dette gjaldt for kviksølv (Hg) og andre tungmetaller, organotin (TBT), tjærestoffer (PAH),

bromerede flammehæmmere (ved PBDE) og poly-chlorerede biphenyler (PCB), som derfor udgør en risiko for uønskede effekter i vandmiljøet. For andre stofgrupper som dioxiner, perfluorerede stoffer (PFAS) og klorerede pesticider blev der ikke fundet overskridelser af de anvendte miljøvurderingskriterier, selvom der lokalt var forhøjede niveauer.

Undersøgelse af biologiske effekter i ålekvabbe viste betydelige forskelle i påvirkningsgrad mellem forskellige områder, både mht. forekomst af fejludviklede unger, CYP1A-enzymaktiviteter og PAH-metabolitter i galde. Der blev fundet en sammenhæng mellem CYP1A-aktivitet og belastningen med PAH og PCB, men ikke mellem fejludviklede unger og de målte miljøfarlige stoffer (måske på nær Hg).

Diskussion

Overvågningen i 2014 stadfæstede de fleste af de markante ændringer observeret i 2013 og 2012 i forhold til 2011 og tidligere år, som indikerede en bedring af miljøtilstanden i de danske farvande. I forhold til 2011 var sigtdybden således forøget, og mængden af klorofyl og primærproduktionen var mindsket (primærproduktion dog kun i de åbne indre farvande). Yderligere er der sket en positiv udvikling for ålegræs og makroalger i en lang række områder inden for de seneste år (2008-2014).

Næringssaltkoncentrationerne i de danske farvande i 2014 var som i de senere år meget lave sammenlignet med niveauet i slutningen af 1980'erne og starten af 1990'erne, og for nogles vedkommende de hidtil laveste siden 1989. De lave koncentrationer af næringssalte er et vigtigt grundlag for en positiv udvikling af de biologiske parametre. Trods den markant reducerede belastning med næringssalte og de deraf affødte lave næringssaltkoncentrationer er tilstanden dog stadig ikke tilfredsstillende for langt de fleste af de overvågede biologiske parametre, men udviklingen peger i den rigtige retning.

Ifølge den klassiske systemforståelse forventes reducerede næringssaltkoncentrationer at resultere i lavere primærproduktion og dermed en reduktion i mængden af planteplankton, større sigtdybde, mindre iltsvind og større udbredelse af bundplanter. Selv om næringssaltniveauet har været markant reduceret i en længere årrække, er denne forventede positive udvikling først startet de senere år. Årsagen til den forsinkede respons på de lave koncentrationer af næringssalte er uklar og kan ikke udredes udelukkende på baggrund af overvågningsdata, da det kræver mere detaljerede undersøgelser. Miljøtilstanden bestemmes af et kompleks samspil af faktorer, hvor næringsalte kun er en af dem. Intensivt fiskeri kan fx påvirke størrelsesfordelingen og dominansen af fiskearter og dermed sammensætningen af planteplankton, lige som den fysiske forstyrrelse af havbunden ved trawlfiskeri påvirker havbundens struktur og funktion. Sidst men ikke mindst har grundliggende strukturændringer i økosystemet som følge af mangeårig eutrofiering også været medvirkende til den langsomme respons på den reducerede belastning med næringssalte.

Miljøfarlige stoffer kan have en fundamental og nogle gange meget lokal effekt. En række miljøfarlige stoffer findes i områder på et niveau, hvor der kan forekomme skadelige effekter. Biologiske effekter af miljøfarlige stoffer er påvist i mange områder. Miljøfarlige stoffer kan også påvirke de indikatorer, der traditionelt anvendes til påvisning af effekter af eutrofiering, dvs. primærproduktion, klorofylkoncentration og artsdiversitet. Forholdene kom-

pliceres yderligere af, at de forskellige presfaktorer, fx næringssalte og miljøfarlige stoffer, kan forstærke hinanden og give anledning til yderligere negative effekter på miljøforholdene.

Ålegræs har kun i et vist omfang og ikke i alle områder responderet positivt på det reducerede niveau af næringssalte. Men udbredelsen af ålegræs er også afhængig af iltsvind, lysforhold, temperatur, fysisk forstyrrelse og tilstedeværelsen af egnet substat at vokse i. Ålegræssets rodsystem stabiliserer bunden, så en ændret udbredelse af ålegræs fører til ændret resuspension af bundmaterialet, hvilket ændrer lysforholdene. Sådanne selvforstærkende mekanismer medvirker til at øge kompleksiteten, afkobler sammenhænge mellem biologi og næringssalte og gør det vanskeligere og tidskrævende at vende udviklingen.

Iltsvindssituationen i 2014 var lige som i 2013 værre end de tre foregående år, men dog bedre end tidligere observeret ved tilsvarende klimatiske forhold. Der var således meget begrænset iltsvind i de åbne indre farvande. Der er altså indikationer på, at havbunden er blevet mere robust over for iltsvind, hvilket mindsker risikoen for udvikling af udbredte og kraftige iltsvind med store økologiske konsekvenser. Systemet er dog stadig sårbart, og længerevarende ugunstige klimatiske betingelser kan fortsat udløse markante iltsvind. Desuden er temperaturen steget 1-1½ °C over de sidste 30-40 år og forventes at stige yderligere i årene fremover, hvilket stimulerer udviklingen af iltsvind. Klimaforandringerne kan derfor også få afgørende indflydelse på ikke bare iltsvind, men miljøtilstanden mere generelt.

Sammenfattende er ændringerne i de marine økosystemer og de fortsatte påvirkninger så store og mangeartede, at det ikke kan forventes, at systemerne vender tilbage til tidligere observerede tilstande blot ved at fjerne én af påvirkningerne, fx eutrofiering. De danske marine økosystemer er fortsat sårbare for ændringer i tilførsler med næringsstoffer, miljøfarlige stoffer og effekter af fiskeri. De klimatiske betingede ændringer peger i retning af yderligere reduktioner i tilførsler af næringsstoffer for at opnå en god miljøtilstand. Nyere forskning viser, at selv hvis de væsentligste påvirkninger reduceres, vil marine økosystemer ikke nødvendigvis vende tilbage til den oprindelige tilstand, men i stedet finde en ny balance. Endvidere vil økosystemer, som har været hårdt belastet gennem en længere årrække, ofte have en tidsforsinkelse i deres respons på forbedrede forhold. Udviklingen mod en god miljøtilstand er således en proces, der kan tage mange år, og klimaforandringer vil kunne forsinke eller helt umuliggøre, at tidligere tilstande opnås. Dette komplekse økologiske samspil er vigtigt at dokumentere og forstå til gavn for fremtidens miljøforvaltning.

13 Ordliste

Ordlisten er baseret på NPO-redegørelsen (*Miljøstyrelsen 1984*), temarapporterne om zooplankton (*Nielsen & Hansen 1999*), giftige alger (*Kaas m.fl. 1999*) og bundmaling (*Foverskov m.fl. 1999*). Ordlisten er desuden suppleret af medarbejdere fra Det Marine Fagdatacenter.

A

ammoniak (NH₃) – er en gasart, som er letopløselig i vand. Det er en kemisk forbindelse mellem kvælstof og brint. Ammoniak har en meget kraftig lugt, som kendes fra salmiakspiritus.

ammonium (NH₄⁺) – er en kvælstofforbindelse, der indgår som en positiv ion i salte. Ammonium kan uden brug af energi omdannes til gassen ammoniak, NH₃.

analyser – et stof eller en stofgruppe der analyseres for fx Ni eller PCB'er.

antibegroningsmidler – er giftige kemiske forbindelser, der tilsættes maling. Maling med antibegroningsmiddel bruges på skibsbunde eller andre genstande, der skal være længe i vand eller fugtige miljøer for at undgå, at dyr og planter sætter sig på overfladen.

arter – defineres som en gruppe af organismer der kan parre sig med hinanden og samtidig få afkom, der kan formere sig.

assessment – engelsk for 'vurdering'.

ASP – er en forkortelse for den muslingeforgiftning, der fremkalder hukommelsestab eller amnesi. Forkortelsen er dannet ud fra den engelske betegnelse 'Amnesic Shellfish Poisoning'.

atmosfærisk nedfald – nedfald af næringsstoffer, tungmetaller og andre forurenende stoffer fra luften.

B

BAC – Background Assessment Criteria - baggrundsvurderingskriterium. OSPAR værktøj til statistisk vurdering af om koncentrationen af et miljøfarligt stof er tæt på eller under baggrundskoncentrationen. Værdien er fastsat ud fra en 'baggrundskoncentration' (muslinger fra uforurenede område eller sedimentsøjler dateret til præ-industrialiseret tid), eller lav koncentration for organiske stoffer. Til den lave værdi (LC) eller baggrundsværdien (BC) lægges analyseusikkerheden for at få et tal at foretage de statistiske sammenligninger med.

bioaktivt kvælstof – kvælstoffraktion, som kan udnyttes af alger til vækst.

biomasse – vægten af organismer i et bestemt område, enten rumfang eller areal.

biota – organismer, der anvendes til analyser.

bioturbation – bunddyrenes aktivitet med at rode godt og grundigt rundt i den øverste del af havbunden.

bufferkapacitet – se svovlbrintebufferkapacitet.

bundfauna – dyr som lever på og i havbunden.

C

celle – en celle er den mindste komplekse del af en organisme. Cellen består af en kerne med arvemateriale, som ligger i cellevæsken eller cytoplasma, omgivet af en cellemembran. Blågrønalger og bakterier har ikke nogen kerne, og arvematerialet ligger frit i cytoplasma.

ciliater – dyregruppe, der er meget almindelig i dyreplankton. Nogle ciliater kan udnytte kloroplasterne hos de alger, som de spiser. De kan derfor udføre fotosyntese og fungerer derved ligesom de mixotrofe alger.

co-variabel – en faktor, som forventes at følge med den undersøgte faktor. Kan normalt anvendes som normalisator. Fx Li som bindes til ler- og siltpartikler som andre metaller.

congen-mønster – se PCB.

copepoder – se vandlopper.

CYP1A – en familie af cytochromer, hvor niveauet øges/ induceres ved eksponering til især PAH og dioxiner. Biomarkør for tidlige tegn på uønskede effekter i fisk. Måles vha. EROD-metode.

D

DDT – pesticid, dichlordiphenyltriklorethan. Forbudt i Nordeuropa, bruges stadig mod malaria-myg i troperne. Persistent og med mulighed for lufttransport.

denitrifikation – at omdanne eller reducere nitrat (NO₃⁻) til luftformig kvælstof (N₂).

deposition – se atmosfærisk nedfald.

DEVANO-programmet (DEcentral VAnd og NaturOvervågning) - understøtter miljømålsloven og er en væsentlig aktivitet i forbindelse med opfyldelse af forpligtelserne i vandrammedirektivets operationelle overvågning og Natura 2000-direktivernes behov. I DEVANO indgår 5 delfprogrammer for henholdsvis søer, vandløb, kystvande, grundvand og naturtyper.

diffuse kilder - større geografiske områder (åbent land og områder med spredt bebyggelse), hvorfra næringsalte eller miljøfarlige stoffer udvaskes til vandområder (se også punktkilder).

DIN - opløst uorganisk kvælstof, som indbefatter summen af nitrat, nitrit og ammonium, som kan optages af planter til primærproduktion.

dinoflagellater - eller furealger er mikroskopiske alger, tilhører den taksonomiske gruppe Dinophyceae. Furealger kan groft taget deles i nøgne og pansrede og er alle karakteriseret ved en længdefure og tværfure med hver sin flagel. Furealgerne kaldes også panserflagellater, dinoflagellater eller dinophyceer.

dioxin - oprindeligt navnet på 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin; dækker nu en række lignende klorerede forbindelser, der typisk opstår i forbindelse med afbrænding af plastholdige stoffer men også naturlige processer. Dioxinerne er måske de mest giftige og bioakkumulerbare forbindelser man kender, med grænseværdier i fødevarer i $\mu\text{g g}^{-1}$ fedt.

DIP - opløst uorganisk fosfor, dvs. fosfat, som kan optages af planter til primærproduktion.

DMU - Danmarks Miljøundersøgelser - hedder nu Aarhus Universitet.

DSi - opløst uorganisk silicium, dvs. silikat, som kiselalger bruger til opbygning af deres kiselskal.

DSP - er en forkortelse for diarréfremkaldende muslingeforgiftning. Forkortelsen er dannet ud fra den engelske betegnelse 'Diarrhetic Shellfish Poisoning'.

dyreplankton - eller planktondyr er små organismer i havvand og ferskvand, som kun har lille eller ingen svømmekraft. De føres derfor vilkårligt rundt med vandbevægelser. Dyreplankton kaldes også for zooplankton og består blandt andet af vandlopper og ciliater.

E

EAC - Ecotoxicological Assessment Criteria. Økotoxikologisk vurderingskriterium som bruges af OSPAR til vurdering af risikoen for graden af forurening af miljøfarlige stoffer ud fra deres koncentration i miljøet.

ekstern belastning - den (næringsstof)transport, der foregår til et givet geografisk område fx en fjord. Kan omfatte atmosfærisk nedfald, tilførsler fra vandløb og punktkilder, tilførsel fra tilgrænsende vandområder.

emission - udslip til luft.

EMEP - European Monitoring and Evaluation Programme er et internationalt forskningsbaseret overvågningsprogram, som arbejder under FN konventionen for at begrænse langtrækkende grænseoverskridende luftforurening (LRTAP).

epifyt - en plante, som vokser på en anden plante uden at tage næring fra denne. Epifytter er meget udbredt i regnskove og i næringsrige vandmiljøer. I vandmiljøet gror epifytter i form af alger på havgræsser og tang.

EQS - Ecological Quality Standard er et vandkvalitetskriterium fastsat i EU's vandrammedirektiv. Overholdelse af EQS-kriterier regnes som opnåelse af 'god økologisk tilstand', som er målsætningen for vandrammedirektivet. EQS gælder generelt for vandfasen, bortset fra 3 stoffer (se afsnit 11 for kviksølv og afsnit 12 for hexachlorbenzen og hexachlorobutadien), hvor EQS er fastsat for biota.

ERL - Effect Range Low. US-EPA udviklet kriterium der angiver den nedre grænse for koncentrationen af et miljøfarligt stof, hvor det ikke vurderes at udgøre en risiko for uønskede effekter på miljøet.

EROD - Ethoxyresorufin-O-deethylase er en biomarkør, der måler aktivitet af afgiftsenzymer i fisk. Et mål for CYP1A der induceres/øges ved eksponering til især PAH og dioxiner.

eutrofiering - at tilføre organisk stof eller næringsstoffer, dvs. at gøre et område næringsrigt. Det kan være en naturlig proces, men udtrykket bruges hyppigst om menneskeskabte tilførsler af organisk stof eller kvælstof og fosfor. Kommer af græsk og betyder 'velnæret'.

F

farvande - store havområder som Kattegat, Storebælt, Østersøen. Til tider bruges udtrykket dog om alle havområder, inklusive fjorde, bugter o.l., men oftest tænkes der kun på de dybere områder med stor geografisk udstrækning. Sidstnævnte betegnes nogle gange åbne farvande for at tydeliggøre, at der ikke er tale om fjorde og bugter.

farvandsområder - se farvande.

fauna - dyr.

fedt – indholdet af fedt (lipid) er typisk 1-2 % i muslinger og 20-30 % i fiskelever. Mange organiske forureninger opkoncentreres i fedtvæv, fx PCB og dioxin, og ofte angives indholdet af disse stoffer omregnet til fedtbasis.

flagellater – er mikroskopiske encellede organismer, som lever i vand. De kan bevæge sig vha. en eller flere svingtråde også kaldet flageller.

flageller – er en eller flere lange tynde trådlignende udvækster hos flagellater, sædceller og andre celler. Flagellerne laver rytmiske bølgeformede bevægelser, der gør cellen i stand til at bevæge sig. Hos fastsiddende former laver flagellen en vandstrøm, som bringer føde hen til cellen.

flux – transport af (nærings)stof mellem fx bunden og vandfasen.

fosfat (PO_4) – er et vigtigt fosforholdigt næringsstof og den kemiske form, planter optager deres fosfor i.

fosfor – grundstoffet fosfor, som kemisk betegnes P, indgår fx i fosfater (se dette).

fotosyntese – den proces, hvorved planter omdanner vand og kuldioxid til organisk materiale og ilt ved hjælp af solens energi.

fytoplankton – se planktonalger.

fødekæde – kæde af organismer, som beskriver, hvorledes føden føres gennem økosystemet fra primærproducenterne til de største byttedyr: Eksempel fra marint økosystem: alger → ciliater → vandlopper → fisk → sæler.

fødenet – beskrivelse af, hvem der spiser hvem i et økosystem. I sin simpleste form en fødekæde, men hyppigst et net, hvor flere grupper af organismer kan spise den samme føde.

G

græsning – når nogle organismer æder andre organismer. I plankton kaldes de organismer, der spiser, for græssere.

græsningstryk – fjernelse af planktonalgebiomasse pr. tidsenhed af græssere.

gårdbidrag – den del af landbrugets forurening, som skyldes udledninger, udslip eller tab fra gård eller stald (se også markbidrag).

H

habitatdirektivet – EU direktiv fra 1992 der forpligter EU's medlemsstater til at bevare naturtyper og arter, som er af betydning for EU.

HCB – pesticid, hexaklorbenzen, persistent og med mulighed for lufttransport.

HCBD – hexachlorbutadien.

HCH – pesticid, også kaldet lindan, hexaklorcyclohexan. Forbudt i Nordeuropa. Persistent og med mulighed for lufttransport.

hektar – er et flademål. En hektar er 10.000 kvadratmeter.

HELCOM – Helsinki Kommissionen, samarbejde om Østersøens havmiljø (www.helcom.fi).

hormonforstyrrelse – hormoner er stoffer i dyr og planter, der har en regulerende funktion. Ved hormonforstyrrelser ødelægges balancen mellem forskellige hormoner, og de processer de styrer, bringes ud af balance.

I

ICES – International Council for the Exploration of the Sea, fungerer som rådgiver for medlemsstaterne og indsamler data om havmiljøet.

iltoptag – når dyr og planter ånder, skal de optage ilt fra omgivelserne, enten fra luften eller vandet.

iltsvind – situationer, hvor iltkoncentrationen er meget lav. Hvornår koncentrationen af O_2 bliver kritisk, afhænger af vandområdets vandtemperaturer og saltholdigheder. I Danmark defineres koncentrationer under 4 mg O_2 pr. liter som iltsvind og koncentrationer under 2 mg O_2 pr. liter som kraftigt iltsvind. Lave iltkoncentrationer opstår normalt kun i de bundnære vandlag. Det er derfor primært dyr og planter, der lever ved og i bunden, der er udsatte. Når koncentrationen falder under 4 mg O_2 pr. liter, søger de mest følsomme fisk væk, og bunddyrene bliver mindre aktive. Ved koncentrationer under 2 mg O_2 pr. liter flygter de fleste fisk. Hvis det kraftige iltsvind fortsætter i længere tid, begynder bunddyrene at dø. Det er dog meget forskelligt, hvor følsomme dyrene er.

immunforsvar – er en samlet betegnelse for de forskellige stoffer og specialiserede celler, en organisme har til at beskytte sig mod infektioner fra mikroorganismer.

imposex – synlige kønsændringer i havsnegle, hvor hunnen udvikler hanlige køns karakterer som penis og sædleder i tillæg til hunnens normale køns karakterer. Skyldes hormonforstyrrelser pga. miljøgiften TBT.

indre danske farvande – de farvandsområder der mod nord afgrænses af Skagerrak og mod syd af hhv. det sydlige Øresund (ved Drogen Tærsklen) og Arkona Bassinet (ved Darss Tærsklen).

intern omsætning/tilførsel/transport/belastning – den omsætning, tilførsel eller transport, der foregår inden for et givent vandlag eller et givent geografisk område, fx en fjord.

intersex – synlige kønsændringer i alm. strandsnegl, hvor hunnens normale køns karakterer (pallial ovidukt) omdannes til hanlige karakterer som prostatakirtel. Skyldes hormonforstyrrelser pga. miljøgiften TBT.

ISI – intersex-indeks er et mål for, hvor fremskredent udviklingen af intersex er i alm. strandsnegl.

K

kiselalger – er mikroskopiske alger, der tilhører den taksonomiske gruppe Bacillariophyceae. Kiselalgerne er specielle ved at have to skaller af kisel, der passer sammen som æske og låg. Kiselalger kaldes også diatomeer.

klorofyl – kemisk forbindelse, som er nødvendig for fotosyntesen og derfor findes i alle autotrofe organismer. Det er klorofylet, der gør lysets energi brugbart for de kemiske processer. Klorofyl er et grønt pigment.

klorofyl a – et plantepigment (kemisk forbindelse), som er nødvendig for fotosyntese.

kloroplaster – organel hos fototrofe eukaryote organismer. Det indeholder fotosynteseapparatet med klorofyl og andre pigmenter.

konfidensinterval – angiver den statistiske usikkerhed ved en talstørrelse. Stor usikkerhed medfører brede intervaller, og lille usikkerhed medfører smalle intervaller.

korrelation – et mål mellem -1 og 1 for den lineære sammenhæng mellem to variable. Positive værdier angiver en positiv sammenhæng, og negative værdier angiver en negativ sammenhæng.

kvartil – en fjerdedel af et datasæt. For eksempel er den nedre kvartil den mindste observation, hvor alle de observationer der er mindre end den, udgør mindst en fjerdedel af datasættet.

kvælstof (N) – er et grundstof. Det kaldes også nitrogen. Omkring 80 % af atmosfæren består af kvælstof. Kvælstof er en væsentlig del af proteiner og er derfor livsnødvendig for alle levende organismer. Kvælstof indgår fx i nitrat og ammonium.

kvælstofdeposition – proces hvormed atmosfæriske kvælstofpartikler aflægges via nedbør eller vind i havet eller på land. Se også tørdeposition og våddeposition.

L

lagdeling – se skilleflade.

landovervågning – overvågning af næringsstofftab og dyrkningspraksis i repræsentative landbrugsdominerede oplandsområder.

lipid – se fedt.

LMP – forkortelse for Institut for Miljøvidenskabs (Aarhus Universitet, DCE) landsdækkende måleprogram i byerne.

M

makroalger – store alger, tang.

markbidrag – den del af landbrugets forurening, som skyldes aktiviteter på markerne (se også gårdbidrag).

matrice – noget der analyseres i typisk sediment, blåmuslingekød, fiskemuskel eller lever. Matricen kan enten være 'frisk', dvs. inklusive det naturlige vandindhold (VV-basis) eller tørret ved fjernelse af vandet ved tørring i ovn eller frysetørrer (TS-basis), eller eventuelt baseret på indholdet af fedt for dyr eller organisk kulstof for sediment.

metabolisme – stofskifte. Summen af alle kemiske processer der foregår i en organisme.

mg – forkortelse for milligram, dvs. 1/1.000 g.

mg/kg = mg kg^{-1} – også kaldet ppm (parts per million) eller $\mu\text{g/g}$; angiver antallet af mg af en analysant i 1 kg af matricen (fx blåmuslinger eller sediment). kg kan erstattes af l for målinger i vand, mg l^{-1} .

μg – forkortelse for mikrogram, dvs. 1/1.000.000 g.

$\mu\text{g/kg}$ = $\mu\text{g kg}^{-1}$ – også kaldet ppb (parts per billion) eller ng/g ; angiver antallet af μg af en analysant i 1 kg af matricen (fx blåmuslinger eller sediment). kg kan erstattes af l for målinger i vand, $\mu\text{g l}^{-1}$.

ml – forkortelse for milliliter, dvs. 1/1.000 l.

μl – forkortelse for mikroliter, dvs. 1/1.000.000 l.

miljøfarlige stoffer – er stoffer, som er giftige for levende organismer. De fleste af stofferne er svære at nedbryde i miljøet. De miljøfarlige stoffer kaldes også miljøskadelige eller miljøfremmede stoffer.

miljøfremmede stoffer – anvendes om stoffer, der er industrielt produceret og som ikke forekommer naturligt i miljøet. Anvendes ofte som 'slang' for organiske forureninger, også PAH og dioxiner, der kan forekomme ved naturlige processer som fx skovbrænde. Inkluderer IKKE metaller. Se også miljøfarlige stoffer.

miljøkvalitetskrav – konkrete miljøkrav for tilstanden i et vandområde opstillet af myndigheder. Typiske kvalitetskrav er koncentrationsgrænser for miljøfremmede stoffer i sediment eller organismer.

mixotrof – betegnelse for ernæring både ved fotosyntese og optagelse af andre organismer.

monitering – samlebetegnelse, der dækker over tilsyns- og overvågningsaktiviteter, se også 'tilsyn' og 'overvågning'.

N

N – se kvælstof.

Nationalt program for overvågning af vandmiljøet – se NOVA-2003.

ng – forkortelse for nanogram, dvs. 1/1.000.000.000 g (10^{-9} g).

ng/kg = ng kg⁻¹ – også kaldet ppt (parts per trillion) eller pg/g; angiver antallet af ng af en analysant i 1 kg af matricen (fx blåmuslinger eller sediment). kg kan erstattes af l for målinger i vand, ng l⁻¹.

nitrat (NO₃) – er et vigtigt kvælstofholdigt næringsstof og den kemiske form, planter optager det meste af deres kvælstof i. Nitrat er saltet af salpetersyre.

nl – forkortelse for nanoliter, dvs. 1/1.000.000.000 l (10⁻⁹ l).

nonylphenol – vaskeaktivt stof, der kan holde det fangede snavs i vandfasen.

normalisator – en parameter, der kan anvendes til at forudsige det 'naturlige' indhold af analysanter.

normalisering – at omregne værdier mod en fysisk/kemisk størrelse, der kan anvendes som udtryk for et 'naturlig'/'normalt' niveau for udgangsstoffet.

NOVA-2003 – er en forkortelse af 'Det Nationale Program for Overvågning af Vandmiljøet 1998-2003'. NOVA-2003 afløser Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, se dette.

NPO – en betegnelse for kvælstof (N), fosfor (P) og organisk stof (o).

næringssalte – se næringsstoffer.

næringsstoffer – er stoffer, som er nødvendige for, at levende organismer kan opretholde deres livsfunktioner. I miljøsammenhæng taler man oftest om planternes næringsstoffer. Her er kvælstof- og fosforforbindelser de vigtigste.

O

oligotrofiering – den modsatte proces af eutrofiering, dvs. at et miljø bliver mere næringsfattigt.

opportunistisk art – er en art, hvis levevis er tilpasset omskiftelige forhold med en hurtig vækst og en hurtig reproduktionsrespons.

OSPAR – Oslo-Paris Kommissionen, samarbejde om Nordsøens havmiljø (www.ospar.org).

organisk – organiske forbindelser er forbindelser, der indeholder grundstoffet kulstof. Undtaget er dog karbonater og kulilte. Tidligere blev betegnelsen organisk stof anvendt om stof, som stammede fra levende væsner.

organisme – et levende væsen; det kan være et dyr eller en plante.

overvågning – en betegnelse for en samlet proces, der indbefatter prøvetagning (monitering) og vurdering (assessment) med det formål at kunne vurdere fx miljøtilstanden.

oxidativ nedbrydning – kemisk opdeling af sammensatte stoffer til deres bestanddele ved hjælp af en elektronoverførsel fra fx ilt og frigørelse af energi.

P

PAH – polycykliske aromatiske hydrocarboner er tjærestoffer fra bl.a. forbrændingsprocesser og oliespild.

PCB – polychlorede biphenyler, kemisk stofgruppe med klor-atomer, der bl.a. dannes ved afbrænding af plast i saltholdige miljøer. Anvendtes desuden tidligere i kondensatorer. Sammensætning af de enkelte PCB-forbindelser kaldes congen-mønster og kan afspejle forureningskilden.

P – se fosfor.

pelagisk – 'pelag' betyder det åbne hav. Dyr, der lever i de fri vandmasser og ikke kommer ned på bunden, lever pelagisk.

pg – forkortelse for pikogram, dvs. 1/1.000.000.000.000 g (10⁻¹²g).

pigmenter – farvestoffer. I organismer, der udfører fotosyntese, er det pigmenter, der fanger lysets energi. Pigmenterne giver planktonalgerne deres farve. Det vigtigste pigment er klorofyl.

pl – forkortelse for pikoliter, dvs. 1/1.000.000.000.000 l (10⁻¹²l).

plankton – de organismer, der svæver rundt i vandet i havet, søer eller vandløb. Plankton inddeles i planteplankton eller dyreplankton.

planktonalger – eller algeplankton er mikroskopiske og ofte encellede organismer i havvand og ferskvand, som kun har lille eller ingen svømmekraft. De føres derfor vilkårligt rundt med vandets bevægelser. Planktonalger kaldes også for fytoplankton.

planteplankton – se planktonalger.

population – samling af organismer af samme art, som lever sammen.

primærproduktion – opbygning af organisk stof vha. fotosyntese.

punktkilder – en betegnelse, der her dækker over udledninger i et punkt. Kildetyperne omfatter renseanlæg, industrier, regnvandsoverløb, ferskvandsdambrug, udledninger fra saltvandsbaseret fiskeopdræt (havbrug og saltvandsdambrug).

R

reduktionsmålsætning – målsætningerne i Vandmiljøplan I og II med hensyn til reduktion af udledninger, udslip og tab af kvælstof og fosfor betegnes 'reduktionsmålsætninger'.

repræsentative områder – NOVA 2003-terminologi, som dækker over 34 kystområder jævnt fordelt ud over de forskellige danske farvandsområder. Overvågningsaktiviteterne fokuserer først og fremmest på eutrofiering.

respiration – ånding.

resuspension – havbundens opblanding i vandet som følge af, at havbunden bliver rodet rundt af bølgepåvirkning eller en stærk vandstrøm hen over bunden.

S

salinitet – se saltholdighed.

saltholdighed – mængden af salte i vandet. Ofte angivet som gram salt pr. kilo vand = saltpromille (‰). I havvand er natriumklorid det salt, der findes i størst mængde og derfor også det salt, som stort set bestemmer saltholdigheden. Natriumklorid er også det vigtigste salt i køkkensalt.

sediment – havbundsmateriale dannet ved sedimentation, dvs. mere eller mindre permanent aflejring af materiale, som er faldet ned på havbunden.

SFT – Statens forurensningstilsyn (Norge, www.klif.no), navn ændret i 2009 til Klima og forurensningsdirektoratet. Står bag udviklingen af klassifikationsværktøj anvendt til afsnit om metaller.

signifikans – er et udtryk for graden af væsentlighed i en sammenhæng. Signifikans for en sammenhæng udtrykkes ved, at sandsynligheden for ingen sammenhæng er meget lille (oftest < 5 %).

sigtdybde – mål for vandets klarhed.

skilleflade – eller springlag – er en vandret grænse mellem to vandmasser med forskellig vægtfylde. Skillefladen dannes typisk på grund af forskelle i temperatur eller saltholdighed.

SMHI – Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.

springlag – se skilleflade.

standard error (eller spredning på dansk) – et mål for variationen på en stokastisk variabel, som estimeres ved standardafvigelsen. Spredning og standardafvigelse forveksles ofte i den videnskabelige litteratur. Betegnelsen spredning forudsætter implicit en modelantagelse for data.

stofskifte – de kemiske og fysiske processer i et levende væsen, som skaffer energi til omsætning og vedligeholdelse af celler og væv.

T

TBT – tributyltin er et biocid, der er blevet tilsat skibsmalinger for at forhindre begroning på skibe.

tilsyn – den overvågning, som kommuner og staten udfører i medfør af Miljøbeskyttelsesloven eller Planloven.

TN – total kvælstof, som indbefatter DIN og organisk bundet kvælstof.

total oplukning – en oplukningsmetode, der inkluderer flussyre for at destruere silikater inden metalanalyser.

TP – total fosfor, der indbefatter DIP og organisk bundet fosfor.

TS – tørstofbasis; angiver også indholdet af tørstof; fx 15 % TS for muslingekød viser, at der er 85 % vand og 15 % tilbage, når vandet er fjernet.

tungmetaller – er alle de metaller, som er tungere end jern, dvs. at de har en større vægtfylde. Tungmetaller er fx kobber (Cu), bly (Pb), cadmium (Cd) eller kviksølv (Hg). Bruges ofte som 'slang' for giftige metaller, dvs. letmetallet zink (Zn) og metalloider (halvmetaller) som arsen (As).

tørdeposition – nedfald af stof fra atmosfæren i tørvejr (se også våddeposition).

U

uorganisk – mineralske stoffer. Se organisk.

US-EPA – United States Environmental Protection Agency – den amerikanske miljøstyrelse. Står bag udviklingen af ERL-vurderingskriterier anvendt til sedimenter i afsnit 11.

V

vandlopper – er små krebsdyr, typisk 0,5–4 mm lange, der lever i de frie vandmasser, på bunden eller som parasitter. Deres navn skyldes, at de ofte svømmer i små hop ved at bevæge deres lange antenner. Vandlopper kaldes også copepoder.

Vandmiljøplan I – plan vedtaget af Folketinget i 1987 med formålet at reducere udledningerne af kvælstof og fosfor med hhv. 50 og 80 %.

Vandmiljøplan II – opfølgning på Vandmiljøplan I med fokus på yderligere virkemidler til begrænsning af kvælstofudvaskning fra dyrkede arealer.

Vandmiljøplan III – opfølgning på Vandmiljøplan I og II med fokus på fosfor fra dyrkede arealer. Landbrugets fosforoverskud skal halveres og kvælstofudvaskningen reduceres med yderligere 13 % frem til 2015.

Vandmiljøplanens overvågningsprogram – ved Vandmiljøplan I's vedtagelse i 1987 blev der etableret et landsdækkende overvågningsprogram. Programmet blev i 1998 afløst af det nationale program for overvågning af vandmiljøet 1998-2003 (se under NOVA-2003).

VDSI – Vas deferens sekvens indeks er et mål for, hvor fremskredent udviklingen af imposex er i konksnegle. Vas deferens betyder sædleder.

VV – vådvægtsbasis.

våddeposition – nedfald af stof fra atmosfæren i regnvejr (se også tørdeposition).

Z

zooplankton – se dyreplankton.

Å

ålegræs (*Zostera marina*) – en blomsterplante, som lever under vandet langs hovedparten af de danske kyster.

14 Referencer

- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C. & Silliman, B.R. 2011: The value of estuarine and coastal ecosystem services. - Ecological Monographs 81: 169-193.
- Bartsch, I., Wiencke, C., Bischof, K., Buchholz, C.M., Buck, B.H., Eggert, A., Feuerpfeil, P., Hanelt, D., Jacobsen, S., Karez, R., Karsten, U., Molis, M., Roleda, M.Y., Schubert, H., Schumann, R., Valentin, K., Weinberger, F., Wiese, J. 2008: The genus *Laminaria* sensu lato: recent insights and developments. - European Journal of Phycology 43(1): 1-86.
- Blossom, H.E., Daugbjerg, N. & Hansen, P.J. 2012: Toxic mucus traps: A novel mechanism that mediates prey uptake in the mixotrophic dinoflagellate *Alexandrium pseudogonyaulax*. - Harmful Algae 17(0): 40-53.
- Bodewes, R., Bestebroer, T.M., van der Vries, E., Verhagen, J.H., Herfst, S., Koopmans, M.P., Fouchier, R.A.M., Pfankuche, V. M., Wohlsein, P., Siebert, U., Baumgärtner, W. & Osterhaus, A.D.M.E. 2015: Avian influenza A (H10N7) virus-associated mass deaths among harbor seals. - Emerging Infectious Diseases 21E: <http://dx.doi.org/10.3201/eid2104.141675>.
- Borja, A., Franco, J. & Perez, V. 2000: A marine biotic index to establish the ecological quality of soft bottom benthos within European estuarine and coastal environments. - Marine Pollution Bulletin 40: 1100-1114.
- Borja, A., Muxika, I. & Franco, J. 2003: The application of a marine biotic index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. - Marine Pollution Bulletin 46: 835-845.
- Boutrup, S., Holm, A.G., Bjerring, R., Johansson, L.S., Strand, J., Thorling, L., Brüsch, W., Ernsten, V., Ellermann, T. & Bossi, R. 2015: Miljøfremmede stoffer og metaller i vandmiljøet. NOVANA. Tilstand og udvikling 2004-2012. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 242 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 142.
- Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., Borchers, D.L. & Thomas, L. 2001: Introduction to distance sampling. Estimating abundance of biological populations. Oxford University Press, New York.
- Cappelen, J. 2015: Danmarks klima 2014. Teknisk Rapport 15-01. Danmarks Meteorologiske Institut. http://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2015/Tr15-01.pdf.
- Carr, J., D'Odorico, P., McGlathery, K. & Wiberg, P. 2010: Stability and bi-stability of seagrass ecosystems in shallow coastal lagoons: Role of feedbacks with sediment resuspension and light attenuation. - Journal of Geophysical Research 115: G03011. doi 10.1029/2009JG001103.
- Carstensen, J., Krause-Jensen, D., Dahl, K. & Henriksen, P. 2008: Macroalgae and phytoplankton as indicators of ecological status of Danish coastal waters. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 90 pp. - NERI Technical Report No. 683.

Carstensen, J., Sánchez-Camacho, M., Duarte, C.M., Krause-Jensen, D. & Marbà, M. 2011a: Connecting the dots: downscaling responses of coastal ecosystems to changing nutrients concentrations. - *Environmental Science and Technology* 45: 9122-9132. doi 10.1021/es202351y.

Carstensen, J., Andersen, J.H., Gustafsson, B.G. & Conley, D.J. 2014a: Deoxygenation of the Baltic Sea during the last century. - *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 5628-5633.

Carstensen, J., Krause-Jensen, D., Josefson, A. 2014b: Development and testing of tools for intercalibration of phytoplankton, macrovegetation and benthic fauna in Danish coastal areas. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 85 pp. - Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 93.

Cloern, J.E., Grenz, C. & VidegarLucas, L. 1995: An empirical model of the phytoplankton chlorophyll:carbon ratio - The conversion factor between productivity and growth rate. - *Limnology and Oceanography* 40(7), 1313-1321.

Conley, D.J., Carstensen, J., Ærtebjerg, G., Christensen, P.B., Dalsgaard, T., Hansen, J.L.S. & Josefson, A.B. 2007: Long-term changes and impacts of hypoxia in Danish coastal waters. - *Ecological Applications*. Supplement 17(5): 165-184.

Costanza R. m.fl. 1997: The value of the world's ecosystem services and natural capital. - *Nature* 387: 253-260.

Dahl, K. 2005: Effekter af fiskeri på stenrevs algevegetation. Et pilotprojekt på Store Middelgrund i Kattegat. Danmarks Miljøundersøgelser. 16 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 526.

Dahl, K. & Carstensen, J. 2008: Tools to assess conservation status on open water reefs in Nature-2000 areas. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 25 pp. - NERI Technical Report No. 663.

Dahl, K., Göke, C., Lundsteen, S., Carstensen, J., Al-Hamdani, Z., Leth, J.O., Havesteen, C.W. & von Qualen, S. 2011: Seabed and habitat mapping in the Hatter Barn area - a high risk area for shipping in the Danish Straits. BaltSeaPlan - www.baltseaplan.eu. 54 pp. - BaltSeaPlan Report, no. 27. http://www.baltseaplan.eu/index.php?cmd=download&subcmd=downloads/0_BaltSeaPlan_27_final.pdf.

Dahllöf, I., Strand, J., Gustavson, K. & Bjerregaard, P. 2011: Miljøfarlige stoffer og ålekvalbe. Samlet analyse. Rapport fra Naturstyrelsen. 40 s.

Dietz, R., Teilmann, J., Damsgaard Henriksen, O. & Laidre, K. 2003: Movements of seals from Rødsand seal sanctuary monitored by satellite telemetry. Relative importance of the Nysted Offshore Wind Farm area to the seals. National Environmental Research Institute. - NERI Technical Report 429. 44 pp.

Dietz, R., Galatius, A., Mikkelsen, L., Nabe-Nielsen, J., Rigét, F.F., Schack, H., Skov, H., Sveegaard, S., Teilmann, J. & Thomsen, F. 2015: Marine mammals – Investigations and preparation of environmental impact assessment for Kriegers Flak. Report commissioned by EnergiNet.dk. 184 pp.

Dinesen, G.E., Timmermann, K. Roth, E. Markager, S., Ravn-Jensen, L., Jensen, M.H., Holmer, M. & Støttrup, J. 2011: Mussel production and Water Framework Directive targets in the Limfjord, Denmark: an integrated assessment for use in system-based management. - *Ecology and Society* 16(4): 26. doi: 10.5751/ES-04259-160426.

Doney, S.C. 2010: The growing human footprint on coastal and open ocean biogeo-chemistry. - *Science* 328: 1512-1516.

Duarte, C.M. 1995: Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. - *Ophelia* 41: 87-112.

Duarte, C.M., Conley, D.J., Carstensen, J. & Sánchez-Camacho, M. 2009: Return to Neverland: Shifting baselines affect eutrophication restoration targets. - *Estuaries and Coasts* 32: 29-36.

Duarte, C. M., Hendriks, I. E., Moore, T.S., Olsen, Y.S., Steckbauer, A., Ramajo, L., Carstensen, J., Trotter, J.A. & McCulloch, M. 2013: Is Ocean Acidification an Open-Ocean Syndrome? Understanding the drivers and impacts of pH variability in the coastal ocean. - *Estuaries and Coasts* 36: 221-236.

Ellermann m.fl. 2015: Atmosfærisk deposition 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 163.

EU 2006: KOMMISSIONENS FORORDNING (EF) Nr. 1881/2006 af 19. december 2006 om fastsættelse af grænseværdier for bestemte forurenende stoffer i fødevarer, L 364 Den Europæiske Unions Tidende, 20.12.2006.

EU 2008: EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2008/105/EF af 16. december 2008 om miljøkvalitetskrav inden for vandpolitikken, om ændring og senere ophævelse af Rådets direktiv 82/176/EØF, 83/513/EØF, 84/156/EØF, 84/491/EØF og 86/280/EØF og om ændring af Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/60/EF. Den Europæiske Unions Tidende 24.12.2008.

EU 2011: KOMMISSIONENS FORORDNING (EU) Nr. 1259/2011 af 2. december 2011 om ændring af forordning (EF) nr. 1881/2006 for så vidt angår grænseværdier for dioxiner, dioxinlignende PCB'er og ikke-dioxinlignende PCB'er i fødevarer. L 320/18 Den Europæiske Unions Tidende 3.12.2011.

EU 2013: EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2013/39/EU af 12. august 2013 om ændring af direktiv 2000/60/EF og 2008/105/EF for så vidt angår prioriterede stoffer inden for vandpolitikken. Den Europæiske Unions Tidende L 226/1, 23.8.2013.

EU 2014: COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC). Guidance Document No. 32 on Biota Monitoring (the Implementation of EQS_{biota}) under the Water Framework Directive. - Technical Report - 2014 - 083.

Faxneld, S., Danielsson, S. & Nyberg, E. 2014: Distribution of PFAS in liver and muscle of herring, perch, cod, eelpout, arctic char, and pike from limnic and marine environments in Sweden. - Report no. 9. Swedish Museum of Natural History, Department of Environmental Research and Monitoring. 33 pp. <http://nrm.diva-portal.org/smash/get/diva2:767385/FULLTEXT01.pdf>.

Fietz, K., Galatius, A., Frie, A.K., Teilmann, J., Dietz, R., Jensen, L.F., Graves, J.A., Hall, A., McConnell, B., Gilbert, M.T.P. & Olsen, M.T. (*under udarbejdelse*): Fall and rise of grey seal (*Halichoerus grypus*) populations in northern Europe – genetic and demographic consequences of local extinctions and recolonizations.

Fossing, H. & Hansen, J.W. 2015: Vandkemi. - Teknisk anvisning nr. M02 fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 19 s.

Fossing, H., Hansen, J.W., Jacobsen, H.H., Markager, S. & Møller, E.F. 2015: Indsamling af vand- og planktonprøver i felten. - Teknisk anvisning nr. M01 fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 17 s.

Foverskov, S., Strand, J., Jacobsen, J.A., Riemann, B., Pritzl, G., Nielsen, P.Ø. & Aagaard, A. 1999: Bundmaling til skibe - et miljøproblem. Danmarks Miljøundersøgelser. - TEMA-rapport fra DMU 30/1999. 48 s.

Gilles, A., Scheidat, M. & Siebert, U. 2009: Seasonal distribution of harbour porpoises and possible interference of offshore wind farms in the German North Sea. - Marine Ecology Progress Series 383: 295-307.

Hammond, P.S., Macleod, K., Berggren, P., Borchers, D.L., Burt, L., Cañadas, A., Desportes, G., Donovan, G.P., Gilles, A., Gillespie, D., Gordon, J., Hiby, L., Kuklik, I., Leaper, R., Lehnert, K., Leopold, M., Lovell, P., Øien, N., Paxton, C.G.M., Ridoux, V., Rogan, E., Samarra, F., Scheidat, M., Sequeira, M., Siebert, U., Skov, H., Swift, R., Tasker, M.L., Teilmann, J., Van Canneyt, O. & Vázquez, J.A. 2013: Cetacean abundance and distribution in European Atlantic shelf waters to inform conservation and management. - Biological Conservation 164: 107-122.

Hansen, B.W., Bjørnsen, P.K. & Hansen, P.J. 1994: The size ratio between planktonic predators and their prey. - Limnology and Oceanography 39(2): 395-403.

Hansen, J.L.S. & Josefson, A. 2014: Blødbundsfauna. - Teknisk anvisning nr. M19 fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 15 s.

Hansen, J.L.S., Dinesen, G., Bastardie, F., Eigaard, O. R. & Gislason, H. 2015: Notat om effekter af fiskeri med bundslæbende redskaber på bundfaunaen i de indre danske farvande. DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 13 s.

Hansen, J.W. (red.) 2012: Marine områder 2011. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 154 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 34.

Hansen, J.W. (red.) 2015: Marine områder 2013. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 142 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 123.

Hansen, P.J., Bjørnsen, P.K. & Hansen, B.W. 1997: Zooplankton grazing and growth: scaling within the 2-2000 μm body range. -Limnology and Oceanography 42(4): 687-704.

Härkönen, T., Harding, K.C. & Lunneryd S.G. 1999: Age- and Sex-Specific Behaviour in Harbour Seals *Phoca vitulina* Leads to Biased Estimates of Vital Population Parameters. - Journal of Applied Ecology 36 (5): 825-841.

Härkönen, T., Harding, K.C. & Heide-Jørgensen, M.-P. 2002: Rates of increase in age-structured populations: A lesson from the European harbour seals. - Canadian Journal of Zoology 80(9): 1498-1510.

Härkönen, T., Dietz, R., Reijnders, P., Teilmann, J., Harding, K., Hall, A., Brasseur, S., Siebert, U., Goodman, S.J., Jepson, P.D., Rasmussen, T.D. & Thompson, P. 2006: A review of the 1988 and 2002 phocine distemper virus epidemics in European harbour seals. - Diseases of Aquatic Organisms 68: 115-130.

Härkönen, T., Harding, K., Rasmussen, T.D., Teilmann, J. & Dietz, R. 2007a: Age- and Sex-specific Mortality Patterns in an Emerging Wildlife Epidemic: the Phocine Distemper in European Harbour Seals. - PLoS ONE 9: 1-4.

Härkönen, T., Brasseur, S., Teilmann, J., Vincent, C., Dietz, R., Abt, K., Reijnders, P., Thompson, P., Harding, K. & Hall, A. 2007b: Status of grey seals along mainland Europe from the Southwestern Baltic to France. - NAMMCO Scientific Publications 6: 57-68.

Härkönen, T., Bäcklin, B.M., Barrett, T., Bergman, A., Corteyn, M., Dietz, R., Harding, K.C., Malmsten, J., Roos, A. & Teilmann, J. 2008: Mass mortality in harbour seals and harbour porpoises caused by an unknown pathogen. - Veterinary Record 162: 155-156.

Havs- och vattenmyndigheten 2015: Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om ändring i Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2013:19) om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten. HVMFS 2015:4.
<https://www.havochvatten.se/download/18.39e6d68414ca353051f2d15d/1429085661024/HVMFS+2015-4-ev.pdf>.

Høgslund, S., Dahl, K., Krause-Jensen, D., Lundsteen, S., Rasmussen, M.B. & Windelin, A. 2013: Ålegræs og anden vegetation på kystnær blød bund. Teknisk anvisning nr. M18 fra DCE - National Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 23 s.

Høgslund, S., Dahl, K., Krause-Jensen, D., Lundsteen, S., Rasmussen, M.B. & Windelin, A. 2014: Makroalger på kystnær hårbund. Teknisk anvisning nr. M12 fra DCE -National Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 27 s.

Jakobsen, H.H. & Fossing, H. 2015: Fytoplankton. Teknisk anvisning nr. M09 fra DCE - National Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 29 s.

Jakobsen, H.H. & Hansen, P.J. 1997: Prey size selection, grazing and growth response of the small heterotrophic dinoflagellate *Gymnodinium* sp. and the ciliate *Balanion comatum* - a comparative study. - Marine Ecology Progress Series 158: 75-86.

Jensen, L.F., Galatius, A. & Teilmann, J. (*i trykken*): First record of a new born grey seal pup (*Halichoerus grypus*) in the Danish Wadden Sea since the 16th century. - Marine Biodiversity Records 8: e131.

Jepsen, P.U. 2005: Forvaltningsplan for spættet sæl (*Phoca vitulina*) og gråsæl (*Halichoerus grypus*) i Danmark. Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen.

Josefson, A.B., Hansen, J.L.S., Lundsteen, S. 2015: Bundfauna. I: Marine områder 2013: NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. s. 77-86. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 123.

Kaas, H. & S. Markager (red.) 1998: Teknisk anvisning for marin overvågning. Danmarks miljøundersøgelser.

Kaas, H., Moestrup, Ø., Larsen, J. & Henriksen, P. 1999: Giftige alger og algeopblomstringer. Danmarks Miljøundersøgelser. - TEMA-rapport fra DMU 27/1999. 64 s.

Krause-Jensen, D., Pedersen, M.F. & Jensen, C. 2003: Regulation of eelgrass (*Zostera marina*) cover along depth gradients in Danish coastal waters. - Estuaries 26: 866-877.

Krause-Jensen, D., Carstensen, J., & Dahl, K. 2007: Total and opportunistic algal cover in relation to environmental variables. - Marine Pollution Bulletin 55: 114-125.

Krause-Jensen, D., Greve, T.M. & Nielsen, K. 2005: Eelgrass as a bioindicator under the European Water Framework Directive. - Water Resources Management 19: 63-75.

Krause-Jensen, D., Markager, S. & Dalsgaard, T. 2012: Benthic and pelagic primary production in different nutrient regimes. - Estuaries and Coasts 35: 527-545.

Krog, J.S., Hansen, M.S., Holm, E., Hjulsager, C.K., Chriél, M., Pedersen, K., Andresen, L.O., Abildstrøm, M., Jensen, T.H. & Larsen, L.E. 2015: Influenza A (H10N7) virus in dead harbor seals, Denmark. - Emerging Infectious Diseases 21(4): 684-687. <http://dx.doi.org/10.3201/eid2104.141484>.

Larsen, Martin Mørk 2013a: Miljøfarlige stoffer i fisk. Teknisk anvisning nr. M25 fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 15 s.

Larsen, Martin Mørk 2013b: Miljøfarlige stoffer i muslinger. Teknisk anvisning nr. M22 fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 12 s.

Larsen, Martin Mørk 2013c: Miljøfarlige stoffer i sediment. Teknisk anvisning nr. M24 fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 12 s.

- Lassus, P., Bardouil, M., Truquet, I., Le Baut, C. & Pierre, M.J. 1985: *Dinophysis acuminata* distribution and toxicity along the southern Brittany coast (France): Correlation with hydrological parameters. - In Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, G.D. (Eds.); Toxic Dinoflagellates. Elsevier, New York, pp. 159-164.
- Little, C. & Kitching, J.A. 1996: The biology of rocky shores. Oxford University Press Inc., New York, 240 pp.
- Loring, D.H. 1990: Lithium - A new approach for the granulometric normalization of trace metal data. - Marine Chemistry 29: 155-168.
- Lundsteen, S. & Dahl, K. (under udarbejdelse): Håndbundssamfund. Teknisk anvisning nr. M17 fra DCE -National Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet.
- Lyngsgaard, M.M., Markager, S. & Richardson, K. 2014: Changes in the vertical distribution of primary production in response to land-based nitrogen loading. - Limnology and Oceanography 59 (5): 1679-1690.
- Markager, S. & Fossing, F. 2015: Primærproduktion. Teknisk anvisning nr. M08 fra DCE -National Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 18 s.
- McGlathery, K.J., Reynolds, L.K., Cole, L.W., Orth, R.J., Marion, S.R. & Schwarzschild, A. 2012: Recovery trajectories during state change from bare sediment to eelgrass dominance. - Marine Ecology Progress Series 448: 209-221.
- Miljøstyrelsen 1984: NPO-redegørelsen.
- Miljøstyrelsen 1989: Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Miljøprojekt nr. 115, 64 s.
- Miljøstyrelsen 1993: Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1993-1997. Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. 2/1993, 168 s.
- Miljøstyrelsen 2000: NOVA. Nationalt program for overvågning af vandmiljøet 1998-2003. - Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. 1/2000, 397 s.
- Nielsen, T.G. & Hansen, P.J. 1999: Dyreplankton i danske farvande. Danmarks Miljøundersøgelser. - TEMA-rapport fra DMU 28/1999. 64 s.
- Nyström, M., Norström, A.V., Blenckner, T., de la Torre-Castro, M., Eklöf, J.S., Folke, C., Österblom, H., Steneck, R.S., Thyresson, M. & Troell, M. 2012: Confronting feedbacks of degraded marine ecosystems. - Ecosystems 15: 695-710. doi 10.1007/s10021-012-9530-6.
- Olesen, B. & Sand-Jensen, K. 1994: Patch dynamics of eelgrass. - Marine Ecology Progress Series 106: 147-156.
- Olsen, M.T., Andersen, S.M., Teilmann, J., Dietz, R., Edrén, S.M.C., Linnet, A. & Harkonen, T. 2010: Status of the harbour seal (*Phoca vitulina*) in southern Scandinavia. - NAMMCO Scientific Publications 8: 77-94.

Olsen, M.T., Andersen, L.W., Dietz, R., Teilmann, J., Härkönen, T. & Siegismund, H.R. 2014: Integrating genetic data and population viability analyses for the identification of harbor seal (*Phoca vitulina*) populations and management units. - *Molecular Ecology* 23: 815-831.

OSPAR 2005: 2005 Assessment of data collected under the Co-ordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP). OSPAR Commission. - Assessment and Monitoring Series, Publication Number 2005/235, 115 pp.
http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00235/p00235_cemp%20report.pdf.

OSPAR 2009: CEMP assessment report: 2008/2009. Assessment of trends and concentrations of selected hazardous substances in sediments and biota. Monitoring and Assessment Series, Publication Number 309/2009, 78 pp.
http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00390/p00390_2009%20%20cemp%20assessment%20report.pdf.

Pedersen, M.F. & Borum, J. 1997: Nutrient control of estuarine macroalgae: growth strategy and the balance between nitrogen requirements and uptake. - *Marine Ecology Progress Series* 161: 155-163.

Pedersen, T.M., Sand-Jensen, K., Markager, S. & Nielsen, S.L. 2014: Optical changes in a eutrophic estuary during reduced nutrient loadings. - *Estuaries and Coast* 37: 880-892. doi: 10.1007/s12237-013-9732-y

Pulido, C. & Borum, J. 2010: Eelgrass (*Zostera marina*) tolerance to anoxia. - *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 385: 8-13.

Remane, A. 1934: Die Brackwasserfauna (Mit besondere Beruecksichtigung der Ostsee). - *Zoologischer Anzeiger* 7 (suppl.): 34-74.

Riemann, B., Carstensen, J., Dahl, K., Fossing, H., Hansen, J.W., Jakobsen, H.H., Josefson, A.B., Krause-Jensen, D., Markager, S., Stæhr, P.A., Timmermann, K., Windolf J. & Andersen, J.H. 2015: Recovery of Danish coastal ecosystems after reductions in nutrient loading: A holistic ecosystem approach. - *Estuaries and Coast*. doi 10.1007/s12237-015-9980-0.

Ries, E.H., Hiby, L.R. & Reijnders, P. J. H. 1998: Maximum likelihood population size estimation of harbour seals in the Dutch Wadden Sea based on a mark-recapture experiment. - *Journal of Applied Ecology* 35: 332-339.

Scheidat, M., Gilles, A., Kock, K.-H. & Siebert, U. 2008: Harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) abundance in the south-western Baltic Sea. - *Endangered Species Research* 5: 215-223.

SFT 2007: Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sediment 2229/2007. Statens Forurensningstilsyn, Norge.

Strand, Jakob 2013: Biologisk effektmonitoring i fisk. Teknisk anvisning nr. M26 fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 30 s.

Strand, J., Bossi, R., Sortkjær, O., Landkildehus, F. & Larsen, M.M. 2007: PFAS og organotinforbindelser i punktkilder og det akvatiske miljø. NO-VANA screeningsundersøgelse. Danmarks Miljøundersøgelser. 49 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 608.

Stæhr, P. & Borum, J. 2011: Seasonal acclimation in metabolism reduces light requirements of eelgrass (*Zostera marina*). - Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 407: 139-146.

Svendsen, L.M., Bijl, L. van der, Boutrup, S. & Norup, B. (red.) 2004: NO-VANA. Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse - del 2. Danmarks Miljøundersøgelser. 128 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 508.

Tegner, M.J. & Dayton, P.K. 2000: Ecosystem effects of fishing in kelp forest communities. - ICES Journal of Marine Science 57 (3): 579-589.

Teilmann, J., Riget, F. & Härkönen, T. 2010: Optimising survey design for Scandinavian harbour seals: Population trend as an ecological quality element. - ICES Journal of Marine Science 67: 952-958.

Van den Berg, M., Birnbaum, L.S., Denison, M., De Vito, M., Farland, W., Feeley, M., Fiedler, H., Hakansson, H., Hanberg, A., Haws, L., Rose, M., Safe, S., Schrenk, D., Tohyama, C., Tritscher, A., Tuomisto, J., Tysklind, M., Walker, N. & Peterson, R.E. 2006: The 2005 World Health Organization reevaluation of human and Mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. - Toxicological Sciences 93(2): 223-41.

Vang, T. & Hansen, J.W. 2015. Ilt i vandsøjlen. Teknisk anvisning nr. M04 fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 12 s.

Vorkamp, K., Bossi, R. & Bester, K. 2014: Screening for miljøfarlige forurenende stoffer i vandmiljøet. Miljøministeriet Naturstyrelsen.

Vinther, M. & Larsen, F. 2004: Updated estimates of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) bycatch in the Danish North Sea bottom-set gillnet fishery. - Journal of Cetacean Research and Management 6: 19-24.

Wasmund, N., Goebel, J. & Bodungen, B.v. 2008: 100-years-changes in the phytoplankton community of Kiel Bight (Baltic Sea). - Journal of Marine Systems 73: 300-322.

Wasmund, N., Nausch, G. & Matthaus, W. 1998: Phytoplankton spring blooms in the southern Baltic Sea - spatio-temporal development and long-term trends. - Journal of Plankton Research 20(6): 1099-1117.

Waycott, M., Duarte, C.M., Cattuthers, T.J.B., Orth, R.J., Dennison, W.C., Olayarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J.W., Heck, K.L., Hughes, A.R., Kenrick, G.A., Kenworthy, W.J., Short, F.T. & Williams, S. 2009: Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. - PNAS 106 (30): 12377-12381.

WHO 2005: The 2005 World Health Organization Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compounds. - Toxicological Sciences 93(2): 223-241, 2006.

Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Bøgestrand, J., Baattrup-Pedersen, A., Kristensen, E.A., Larsen, S.E., Thodsen, H., Ovesen, N.B., Bjerring, R., Kronvang, B. & Kjeldgaard, A. 2015: Vandløb 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 165.

Zettler, M.L., Schiedek D. & Bobertz, B. 2007: Benthic biodiversity indices versus salinity gradient in the southern Baltic Sea. – Marine Pollution Bulletin 55: 258-270.

Ærtebjerg, G. & Andersen, J.H. (red.), Bendtsen, J., Carstensen, J., Christiansen, T., Dahl, K., Dahllöf, I., Ellermann, T., Fossing, H., Greve, T.M., Gustafsson, K., Hansen, J.L.S., Henriksen, P., Josefson, A.B., Krause-Jensen, D., Larsen, M.M, Markager, S., Nielsen, T.G., Ovesen, N.B., Petersen, J.K., Riemann, B., Risgaard-Petersen, N., Ambelas Skjøth, C., Stedmon, C., Strand, J., Nielsen, S.P., Jensen, J.B & Madsen, H.B. 2004: Marine områder 2003 – Miljøtilstand og udvikling. 97 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 513.

Bilag 1 - Beskrivelse af anvendte indeks og korrektioner for klimatiske variationer

Jacob Carstensen

Næringssaltskoncentrationer, klorofyl og sigtdybde

Tresidet variansanalyse for stations-, måneds- og årsvariation

Koncentrationer af næringssalte blev analyseret ved hjælp af en tresidet variansanalyse. Alle koncentrationer er før analysen blevet logaritmisk transformeret af følgende årsager:

- Stations-, måneds- og årsvariation (tre faktorer) forventes at have en multiplikativ effekt på koncentrationerne af næringssalte og klorofyl, hvilket betyder, at sæsonvariationen skalerer med år til år variationen og stationer. Dette har erfaringsmæssigt vist sig at være en bedre beskrivelse end additive effekter. Ved logaritmisk transformation kan multiplikative effekter analyseres med en additiv model.
- Store koncentrationer har større variationer end små koncentrationer. Ved logaritmisk transformering opnås varianshomogenitet.
- Residualerne fra en variansanalyse uden transformation vil have en højreskæv fordeling. Ved logaritmisk transformation bliver residualerne fra variansanalysen tilnærmelsesvis normalfordelte.

De logaritmisk transformerede koncentrationer deles op i variationer, som kan tilskrives stationsafhængighed (STATION), sæsonvariation (MÅNED) og år til år variation (ÅR). Der er kun medtaget hovedeffekter i modellen, dvs. ingen krydseffekter.

$$\log(C) = \text{STATION}_i + \text{ÅR}_j + \text{MÅNED}_k + e_{ijk} \quad \text{hvor } e_{ijk} \in N(0, \sigma^2)$$

Hovedeffekterne, som estimeres ved hjælp af modellen, har følgende fortolkning:

- STATION_i er middelniveauet for de enkelte stationer, når der er taget højde for år til år variationen og sæsonvariationen.
- ÅR_j er middelniveauet for de enkelte år, som indgår i analysen, når der er taget højde for den stationsafhængige variation og sæsonvariationen.
- MÅNED_k er middelniveauet for årets 12 måneder, når der er taget højde for den stationsafhængige variation og år til år variationen.

Hovedvariationerne er signifikante for alle næringssalte og klorofyl. Residualerne fra variansanalysen er dernæst afbildet i histogrammet, hvilket har vist, at residualerne tilnærmelsesvist er normalfordelte.

Efterfølgende er de estimerede hovedeffekter transformeret tilbage vha. exponential funktionen. Hvis α er middelværdien og β er spredningen på de estimerede hovedeffekter af de log-transformerede data, bliver den geometriske middelværdi μ for de utransformerede data

$$\mu = \exp(\alpha)$$

Et approksimativt 95 % konfidensinterval for den geometriske middelværdi fås som:

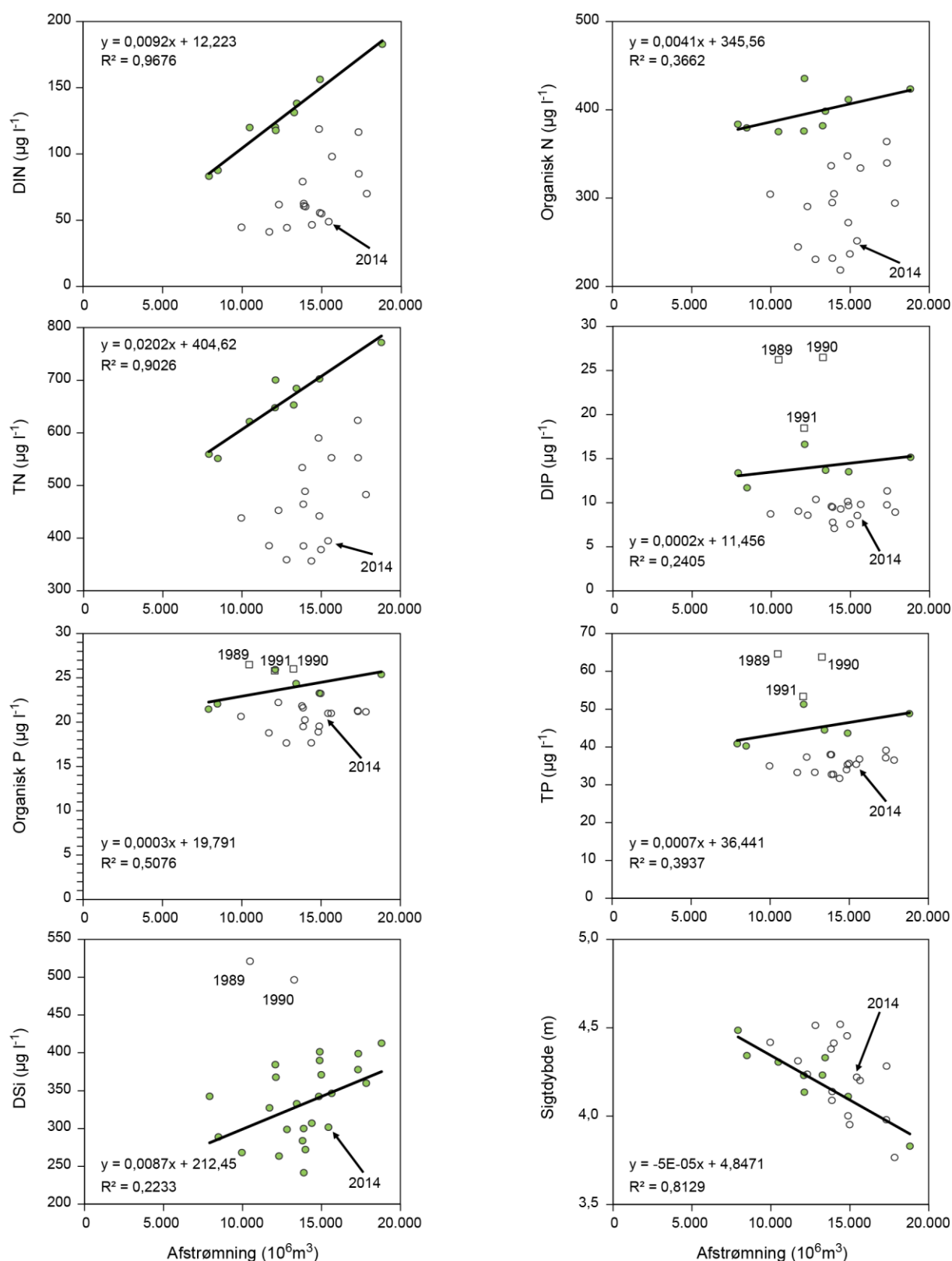
$$[\exp(\alpha - 2 \times \beta); \exp(\alpha + 2 \times \beta)]$$

Eksempelvis estimeres af variansanalysen, at middelniveauet for $\log(\text{DIN})$ i bundvandet i 2014 var normalfordelt $N(4,05; 0,044^2)$, hvilket ved transformationen ovenfor giver, at middelniveauet for DIN er $57,46 \mu\text{g N l}^{-1}$ med et 95 % konfidensinterval på $[52,57; 62,81]$.

Korrektioner for klimatiske variationer

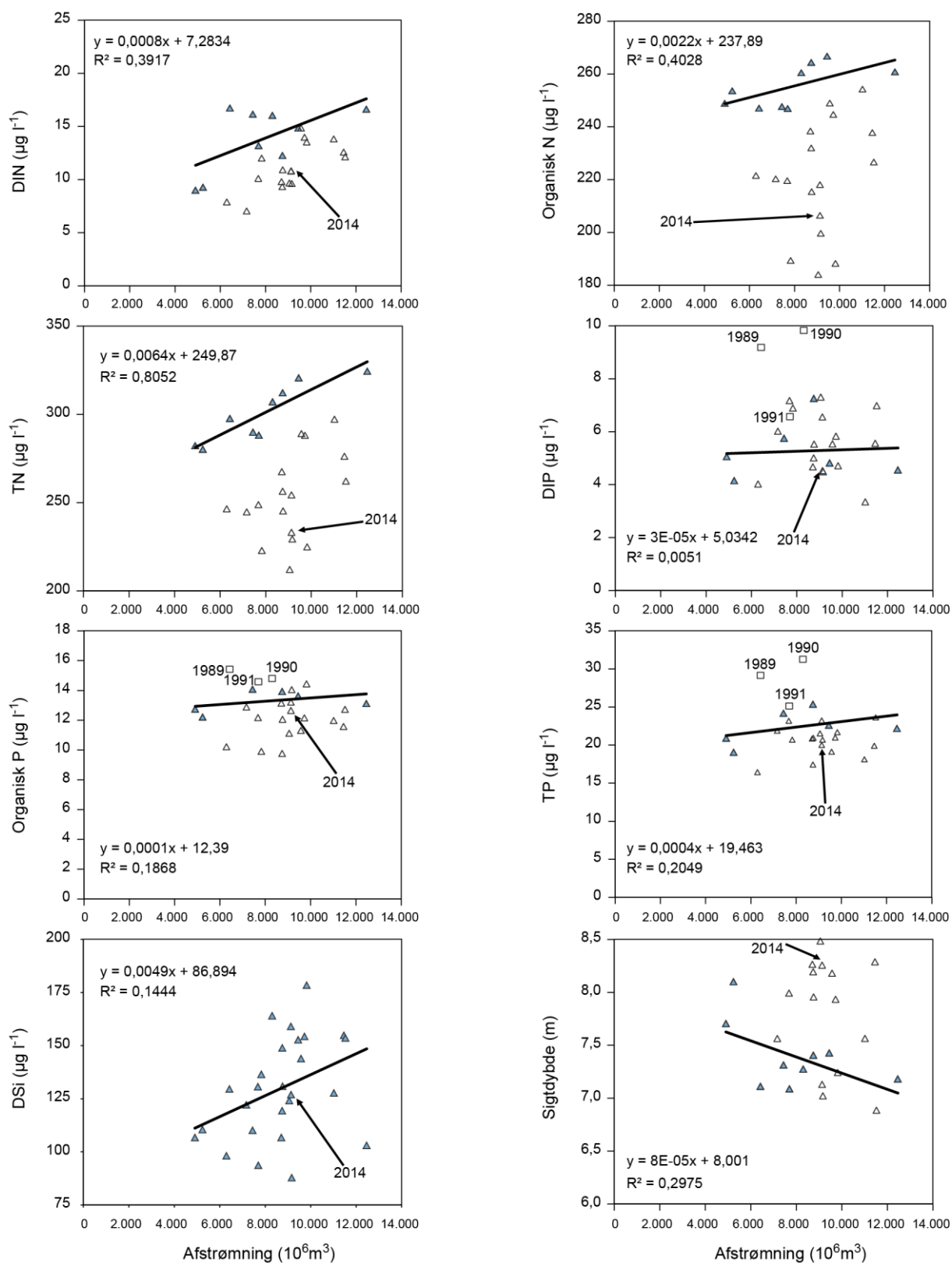
Ferskvandsafstrømningen er den vigtigste klimatiske faktor, som påvirker næringssaltkoncentrationerne, og afstrømningen blev derfor anvendt til at korrigere for klimatiske variationer. Der er udvalgt perioder for de forskellige næringssalte, hvor der med rimelighed kan forventes at være en forholdsvis entydig sammenhæng mellem koncentrationer og ferskvandsafstrømning.

Relationerne mellem afstrømning og middelkoncentrationerne af DIN og TN på basis af årene 1989-97 var særdeles gode i fjorde og kystnære områder (*figur B1.1*), hvilket er forventeligt, idet størstedelen af kvælstoftilførslen stammer fra diffuse kilder og dermed afstrømningen. Det må ligeledes forventes, at virkemidlerne i Handlingsplanen for Bæredygtigt Landbrug (vedtaget i 1991) først har haft en effekt på den diffuse tilførsel af kvælstof og fosfor fra midten af 1990'erne. For DIP og TP blev årene 1998-2012 udeladt af samme årsag som for kvælstof sammen med årene 1989-1991, hvor punkt-kildebidraget stadig var relativt stort. Det markante skift omkring 1998 er ikke observeret for DSi, men til gengæld er 1989 og 1990 udeladt, da detektionsgrænserne for mange af målingerne på amtsstationerne var meget høje og derfor påvirker middelkoncentrationerne.



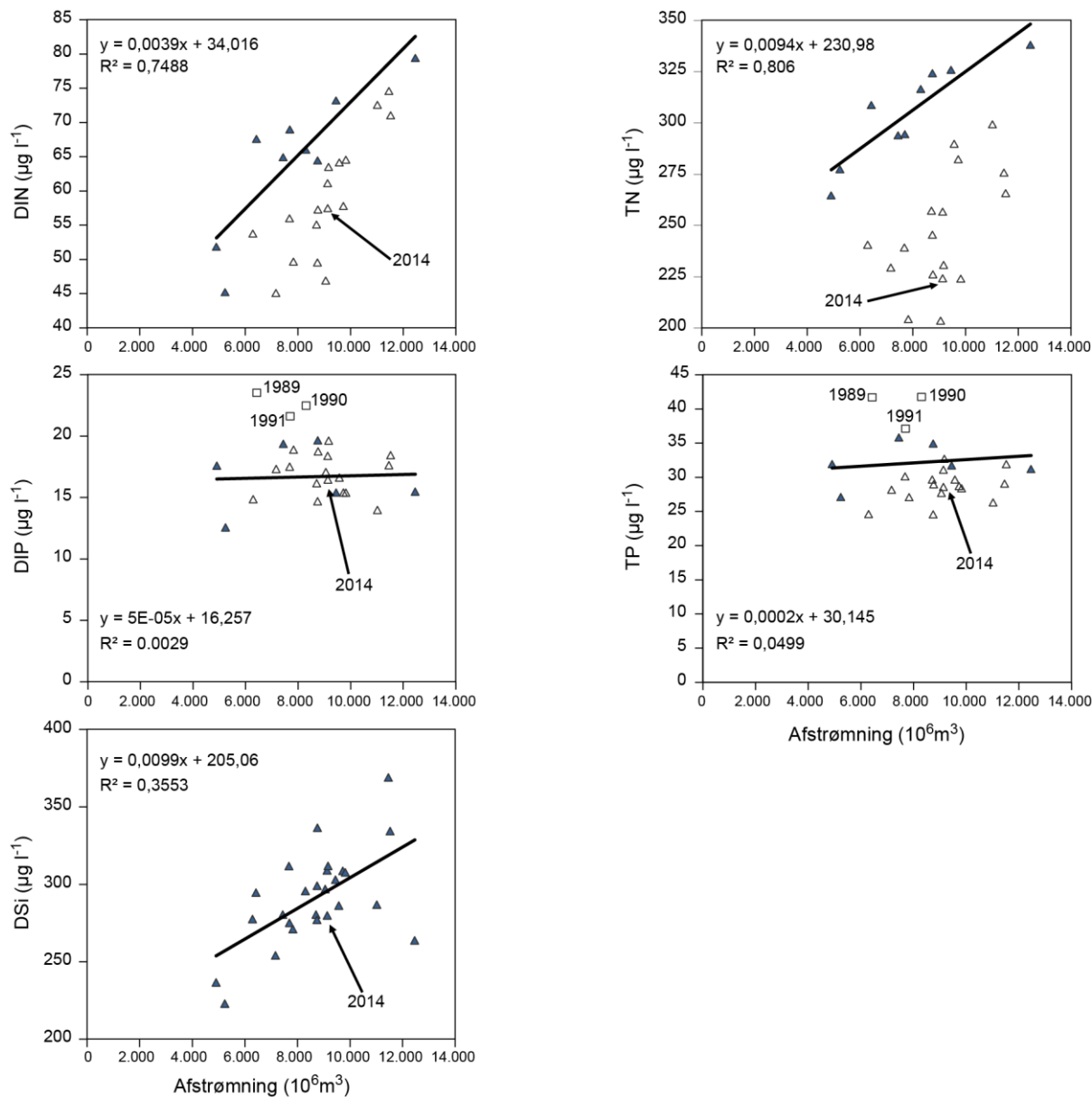
Figur B1.1. Årsmiddelkoncentrationer for DIN, TN, DIP, TP, DSI og sigtdybde i fjorde og kystnære områder mod afstrømning. Årene 1998-2014 er markeret med åbne symboler for DIN, TN, DIP, TP og sigtdybde. For DIP og TP er årene 1989-1991 markeret med firkanter, og for DSI er årene 1989 og 1990 markeret med åbne symboler.

Da næringssaltkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder havde et meget karakteristisk skift i forhold til afstrømningen efter 1997, blev de samme kriterier for valg af data til bestemmelse af relationer benyttet for åbne farvande (DIN, TN: 1989-97; DIP, TP: 1992-97). For TN gav dette statistisk signifikante sammenhænge med afstrømningen, og for DIN, DIP og TP blev relationerne forbedret, men blev dog ikke statistisk signifikante (*figur B1.2*). Alle år blev benyttet for DSi, da der ikke var noget karakteristisk skift omkring 1998.



Figur B1.2. Årsmiddelkoncentrationer for DIN, TN, DIP, TP, DSi og sigtdybde i overfladevand for åbne havområder (0-10 m) mod afstrømning. Årene 1998-2014 er markeret med åbne symboler for DIN, TN, DIP, TP og sigtdybde, og for DIP og TP er årene 1989, 1990 og 1991 markeret med firkanter.

I de åbne indre farvandes bundvand (≥ 15 m) blev de samme kriterier for valg af data til bestemmelse af relationer benyttet som for overfladevand (DIN, TN: 1989-97; DIP, TP: 1992-97; DSi: 1989-2014). For DIN, TN og DSi gav dette statistisk signifikante sammenhænge med afstrømningen, hvorimod DIP og TP ikke viste nogen stærk sammenhæng mod afstrømningen (figur B1.3).



Figur B1.3. Årsmiddelkoncentrationer for DIN, TN, DIP, TP og DSi for bundvand (≥ 15 m) i åbne indre havområder mod afstrømning. Årene 1988-2014 er markeret åbne symboler for DIN, TN, DIP og TP, og for DIP og TP er årene 1989, 1990 og 1991 markeret med firkanter.

Bilag 2 - Dataanalyser – bundplanter

Jacob Carstensen & Annette Bruhn

Inddeling af ålegræstransektorer i områder og farvandstyper

Ålegræstransektorerne blev inddelt i fire farvandstyper: 'åbne kyster', 'yderfjorde', 'inderfjorde' og 'Limfjorden'. Inddelingen blev lavet ud fra det hydrologiske referencesystem. Mange af områderne indgår i flere farvandstyper, hvilket skyldes, at inddelingen er foretaget baseret på de enkelte transektorer.

Åbne kyster	Yderfjorde	Inderfjorde	Limfjorden
Aabenraa Fjord	Aabenraa Fjord	Aabenraa Fjord	Nissum Bredning
Bornholm	Als Fjord	Als Fjord	Limfjorden syd for Mors
Ebeltoft Vig	Det Sydfynske Øhav	Augustenborg Fjord	Limfjorden nord for Mors
Endelave	Flensborg Fjord	Dybsø Fjord	Løgstør Bredning
Fakse Bugt	Guldborg Sund	FH Tornen	Bjørnholm Bugt/
Hevring Bugt	Horsens Fjord	Flensborg Fjord	Risgårde Bredning
Hjelm Bugt	Kalundborg Fjord	Gamborg Fjord	Skive Fjord/Lovns Bredning
Horsens Fjord (ud for)	Kertinge Nor/Kerteminde Fjord	Genner Fjord	Hjarbæk Fjord
Jammerland Bugt	Kolding Fjord	Grønsund	Nibe-Gjøl Bredning
Karrebæksmunde Bugt	Mariager Fjord	Guldborg Sund	Langerak
Kattegat N	Nakskov Fjord	Haderslev Fjord	
Køge Bugt	Nyborg Fjord	Helnæs Bugt	
Langelandsund	Odense Fjord	Holbæk Fjord	
Lillebælt nord	Randers Fjord	Holsteinborg Nor	
Lillebælt syd	Roskilde Fjord	Horsens Fjord	
Læsø	Stege Bugt	Isefjord Inderbredning	
Nivå Bugt	Vejle Fjord	Kalundborg Fjord	
Nord for Sjælland	Yderbredning	Karrebæk Fjord	
Odense Fjord	Aarhus Bugt	Kertinge Nor/Kerteminde Fjord	
Sejerø Bugt		Knebel Vig	
Smålandsfarvandet		Kolding Fjord	
Storebælt		Korsør Nor	
Øresund		Lammefjord	
Aarhus Bugt		Lindelse Nor	
		Mariager Fjord	
		Nakkebølle Fjord	
		Nakskov Fjord	
		Nissum Fjord	
		Nyborg Fjord	
		Odense Fjord	
		Præstø Fjord	
		Ringkøbing Fjord	
		Roskilde Fjord	
		Skælskør Fjord	
		Skælskør Nor	
		Stege Nor	
		Tempelkrog	
		Vadehavet	
		Vejle Fjord	
		Aarhus Bugt	

MARINE OMRÅDER 2014

NOVANA

I 2014 blev de senere års positive udvikling i havmiljøet fastholdt til trods for, at året var karakteriseret ved forøget afstrømning og dermed tilførsel af næringssalte fra land i starten af året samt usædvanligt høje temperaturer og generelt svage vinde hen over sommeren. Disse forhold forstærkede lagdelingen af vandsøjlen og stimulerede udvikling af iltsvindet i bundvandet. Til trods for den relativt store afstrømning i årets start var næringssaltkoncentrationerne meget lave, og i nogle tilfælde de hidtil laveste siden 1989. Væksten (primærproduktionen) og mængden (klorofyl) af planteplankton var på et lavt niveau, lige som vandet var relativt klart – forholdene i de frie vandmasser var dog lidt dårligere end i 2013. Ålegræssets generelt positive udvikling de senere år blev i de fleste områder fastholdt eller forstærket i 2014, og dybdeudbredelsen af makroalger ved de åbne kyster og på stenrev var markant forøget i forhold til tidligere. Iltsvindets udbredelse i de åbne indre farvande var beskedent trods de ugunstige klimatiske forhold, mens iltsvindet i fjorde og kystnære områder startede tidligere, sluttede senere og var mere intenst end i de senere år. Bestanden af spættet sæl og gråsæl var væsentlig større end for bare få år siden.

Til trods for de observerede forbedringer af miljøtilstanden er de danske farvande fortsat meget sårbare over for påvirkninger og endnu langt fra målet om en god miljøtilstand. Ud over belastningen med næringssalte (eutrofiering) påvirkes miljøtilstanden af mange andre forhold såsom miljøfarlige stoffer, fiskeri og klimaforandringer. De fleste miljøfarlige stoffers koncentration var på niveau med eller lavere end tidligere, men koncentrationerne af især kviksølv, TBT, PCB'er og et enkelt tjærestof (PAH) var flere steder så høje, at negative biologiske effekter kan forekomme.

Sammenfattende viser dataene fra det nationale overvågningsprogram, at indsatsen for at sikre et bedre havmiljø virker, selvom havmiljøets respons på en mindsket påvirkning er meget kompleks og tager lang tid.