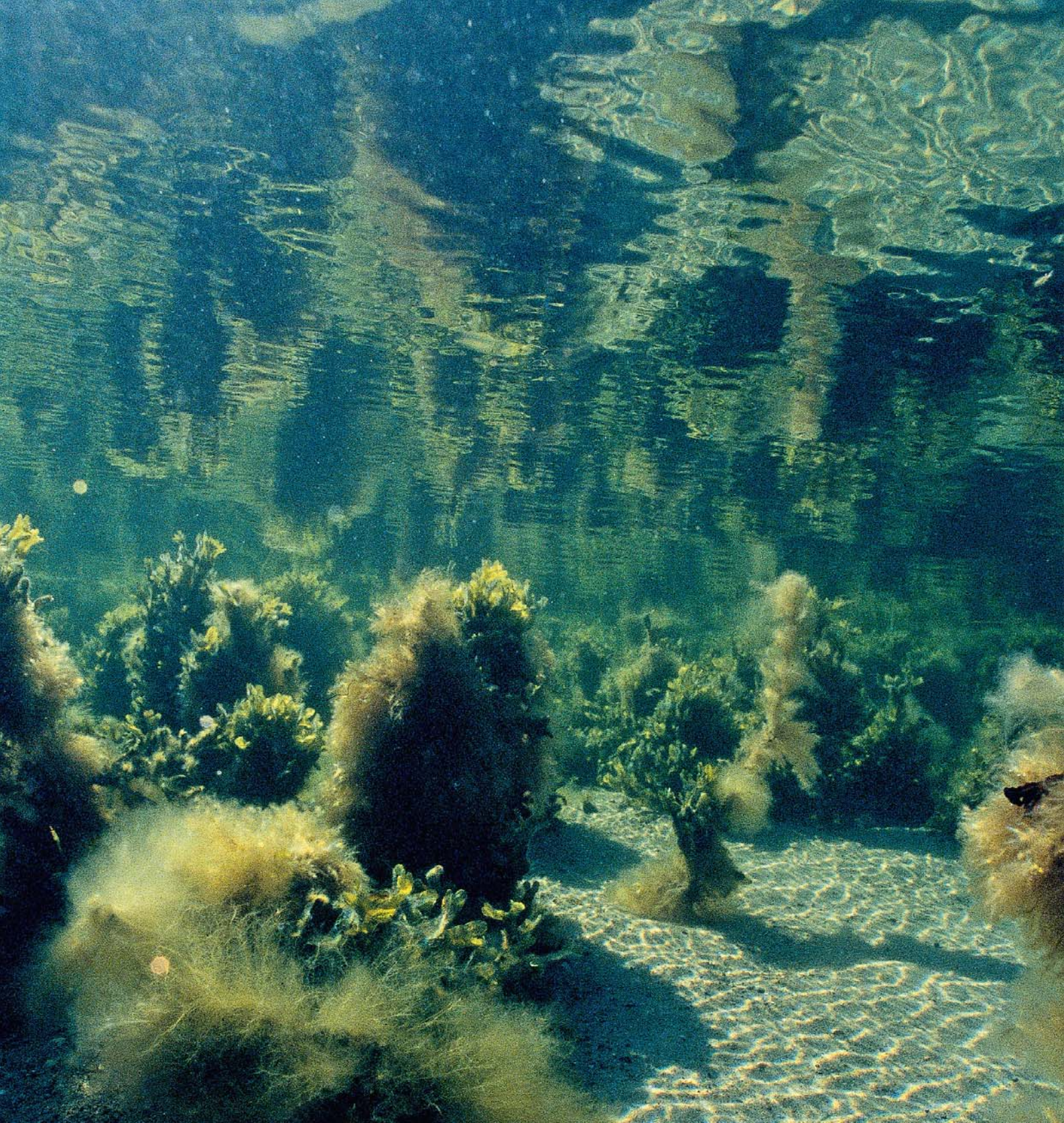




MARINE OMRÅDER 2010

NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 6

2011



AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER
FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

MARINE OMRÅDER 2010

NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 6

2011

Jens Würgler Hansen (red.)

Ditte L. Jansen Petersen (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. 6
Titel:	Marine områder 2010
Undertitel:	NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten
Forfattere:	Jens Würgler Hansen & Ditte L. Jansen Petersen (red.)
Institution, Institut:	Aarhus Universitet, Institut for Bioscience,
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi©
URL:	http://dmu.au.dk/
Udgivelsesår:	December 2011
Redaktion afsluttet:	November 2011
Faglig kommentering:	Benni W. Hansen, Roskilde Universitet; medarbejdere i Naturstyrelsen
Finansiell støtte:	Miljøministeriet
Bedes citeret:	Hansen, J.W. & Petersen, D.L.J. (red.) 2011: Marine områder 2010. NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. 120 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 6. http://www2.dmu.dk/Pub/SR6.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	De betragtelige reduktioner i tilførslen af næringssalte fra land og luft og afledte fald i koncentrationen af næringssalte, der er sket siden vandmiljøplanernes start, har bortset fra et fald i klorofylkoncentrationen i fjorde og kystnære områder endnu ikke ført til de tilsigtede forbedringer af miljøtilstanden i de indre danske farvande. Der er således ikke sket nogen entydig forbedring af parametre som fx sigtdybde, planteplanktons primærproduktion og ålegræssets udbredelse, der ellers kunne forventes at reagere positivt på de lavere næringssaltkoncentrationer i vandet. Ålegræssets dybdegrænse har således ikke vist nogen signifikant udviklingstendens langs de åbne kyster og i yderfjordene siden 1989, mens ålegræsset i inderfjordene generelt er rykket ind på lavere vand siden 1989. Årsagerne til den manglende forbedring af miljøtilstanden er endnu ukendt. De senere års studier af økosystemer peger i retning af, at responsmønstret på reduceret næringssaltbelastning efter længere tids eutrofiering ofte er meget komplekst og sjældent sker som en lineær tilbagevenden til tidligere tiders tilstand. Dette hænger blandt andet sammen med, at eutrofiering ofte er del af en cocktail af påvirkninger, som kan ændre et økosystem fundamentalt og gøre det vanskeligt at vende udviklingen. Klimaændringer modvirker således generelt udviklingen mod en mindre belastning af havmiljøet. Overvågningen i 2010 har dog også vist positive ændringer. Således var der efter mange års tilbagegang en markant forøgelse i bundfaunaens artsdiversitet, individtæthed og biomasse i de mere åbne farvande. Dette skyldes gode forhold for bunddyrslarverne og dermed en succesfuld rekruttering. Desuden var iltsvindet i de indre danske farvande mindre omfattende end gennemsnitligt for perioden 2003-2009, hovedsageligt pga. forholdsvis blæsende vejr i den typiske iltsvindsperiode og usædvanligt lave temperaturer. Endvidere var makroalgernes dækning forbedret markant på nogle rev, og de senere års stigning i antallet af spættet sæl fortsatte i 2010. Indholdet af tungmetaller i muslinger lå generelt tæt på baggrunds niveau, men kviksølv, kobber, krom og arsen blev fundet i forhøjede koncentrationer på enkelte stationer. I sedimenter var niveauet også forholdsvis lavt på en stor del af stationerne, men alle undersøgte metaller, undtagen arsen, forekom på nogle stationer i koncentrationer, hvor der ikke kan udelukkes effekter på sedimentlevende organismer. Indholdet af miljøfarlige organiske forbindelser i muslinger, fisk og sedimenter varierede meget for de enkelte stoffer, og for nogle stoffer, fx pyren, PCB og kviksølv, kan der ikke udelukkes biologiske effekter. Biologiske effekter blev i overensstemmelse hermed påvist hos muslinger og ålekabber i en lang række områder.
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:	Anne van Acker
Illustrationer:	Forfatterne/Anne van Acker
Foto forside:	Havbunden ud for Djursland. Foto: Peter Bondo Christensen
ISBN:	978-87-92825-13-1
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	120
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på http://www2.dmu.dk/Pub/SR6.pdf .
Supplerende oplysninger:	NOVANA er et program for en samlet og systematisk overvågning af både vandig og terrestrisk natur og miljø.

Indhold

Forord 5

Sammenfatning 6

Summary 10

1 Indledning 14

Del 1 – Påvirkninger af de danske farvande 19

2 Klimatiske forhold 21

3 Næringssalttilførsler fra land 27

4 Atmosfærisk kvælstofdeposition 32

Del 2 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten 35

5 Næringssaltkoncentrationer 37

6 Pelagisk produktion og sigtdybde 46

7 Iltforhold 56

8 Bundvegetation: ålegræs og makroalger 62

9 Bundfauna 73

10 Overvågning af sæler 80

11 Metaller i muslinger, fisk og sediment 83

12 Miljøfremmede stoffer i muslinger, fisk og sediment 88

13 Biologisk effektovervågning i muslinger og ålekvabbe 92

Del 3 – Sammenfattende diskussion 95

14 Tilstand og udvikling 96

15 Ordliste 101

16 Referencer 107

Bilag 1 Beskrivelse af anvendte indeks og korrektioner for klimatiske variationer 113

Bilag 2 Dataanalyser - bundvegetation 119

[Tom side]

Forord

Denne rapport udgives af DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet 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 i efteråret 1988. Nærværende rapport omfatter data til og med 2010.

Formålet med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram var at undersøge effekten af de reguleringer og investeringer, som blev gennemført i forbindelse med Vandmiljøplan I (1987). Systematisk indsamling af data gør det muligt at opgøre udledninger af kvælstof og fosfor til vandmiljøet samt at registrere de økologiske effekter, der følger af ændringer i belastningen af vandmiljøet med næringssalte.

Programmet er løbende tilpasset overvågningsbehovene og omfatter såvel overvågning af tilstand og udvikling i vandmiljøet og naturen, herunder den terrestriske natur og luften som udvalgte påvirkninger, miljøfremmede stoffer og tungmetaller.

DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet har som en væsentlig opgave for Miljøministeriet at bidrage til at forbedre og styrke det faglige grundlag for de miljøpolitiske prioriteringer og beslutninger. Som led heri forestår DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi 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 klar arbejdsdeling og ansvarsdeling mellem fagdatacentre og Naturstyrelsens decentrale enheder. Fagdatacentret for grundvand er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland - GEUS, 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 fagdatacenter for atmosfæren hos Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet.

Denne rapport er baseret på data indsamlet af Naturstyrelsens decentrale enheder, Det Marine Fagdatacenter, Aarhus Universitet, 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 2010, som udgives af DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland - GEUS og Naturstyrelsen.

Sammenfatning

Ditte L. Jansen Petersen & Jens Würgler Hansen

Den landsdækkende status for havmiljøet i 2010 kan sammenfattes i nedenstående hovedpunkter.

Klimatiske forhold

- Året 2010 var koldt med relativt lave lufttemperaturer i de fleste måneder og blev dermed det koldeste år i 15 år.
- For året som helhed var vinden generelt svag og hovedsageligt skiftende mellem østlige og vestlige vindretninger. Middelvinden i sensommer og efterår var dog relativt høj.
- Afstrømningen i 2010 var 10 % over normalen. Afstrømningen var meget lav i januar og februar, da nedbøren faldt som sne, men til gengæld høj i marts i tilknytning til snesmeltningen. Fra april til oktober afveg afstrømningen ikke fra det sædvanlige mønster.
- Havtemperaturerne faldt i 2010 sammenlignet med de senere år, mest i overfladevandet og mindre i bundvandet.
- Vandetemperaturen var dog over normalen hele året og i gennemsnit ca. 2°C varmere end luften.
- Havtemperaturen er steget med ca. 1,5°C i løbet af de sidste 40 år.
- Indstrålingen i 2010 var på niveau med gennemsnittet, men overordnet set har der i de seneste 10 år været en tendens til, at indstrålingen er stigende i sommermånederne.

Tilførsler og koncentrationer af næringssalte

- Den samlede atmosfæriske deposition af kvælstof til de danske farvande i 2010 var ca. 15 % lavere end i 2009.
- I gennemsnit kommer 14 % af den atmosfæriske depositionen af kvælstof fra danske kilder.
- Siden 1989 er der sket et fald i den atmosfæriske depositionen af kvælstof til de danske farvande på 33 %.
- Ferskvandsafstrømningen til de danske farvande har varieret betydeligt fra år til år, men var i 2010 tæt på gennemsnittet for hele perioden siden 1990.
- For landet som helhed er der for 2010 målt og beregnet en samlet fosfor- og kvælstoftilførsel til havet omkring Danmark på henholdsvis 2.400 tons fosfor og 55.000 tons kvælstof.
- Korrigeret for variationer i ferskvandsafstrømningen er kvælstofudledningen for hele Danmark faldet 51 % og fosforudledningen 64 % fra 1990 til 2010.
- Reduktionen i fosforudledningen er især sket frem til sidste halvdel af 1990'erne og skyldes forbedret spildevandsrensning.
- Reduktionen i kvælstofudledningen forklares primært af en reduceret udledning af kvælstof fra dyrkede arealer. Forbedret rensning af spildevandet har dog også bidraget signifikant til det samlede fald i kvælstoftilførslerne.
- Koncentrationerne af næringssalte i 2010 var generelt relativt lave, specielt for kvælstof. En forholdsvis stor afstrømning fra land i november betød, at næringssaltkoncentrationerne ved årets slutning var på niveau med tidligere år.
- Der var et ekstraordinært stort optag af alle de uorganiske næringssalte i forbindelse med forårsopblomstringen af kiselalger.
- Indtrængende bundvand fra Skagerrak i 2010 med høj salinitet og et højt DIN-niveau kunne spores i Kattegat, Øresund og Storebælt helt frem til september. Til gengæld var der ingen synlig påvirkning i de åbne indre farvande af vandmasser fra Den jyske Kyststrøm.

- Den potentielle kvælstof- og fosforbegrænsning var høj i 2010 for både fjorde, kystnære områder og åbne farvande.
- Kvælstof- og fosforkoncentrationerne har udvist 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 efter 1997 og et mindre fald for kvælstof siden 2002.
- Uorganisk fosfor- og siliciumkoncentrationer i bundvandet i de indre danske farvande er steget de senere år, hvilket skyldes øget kvælstofbegrænsning og frigivelse fra sedimenterne, foruden ændrede forhold mellem næringssaltene i Østersøen og sandsynligvis også i Nordsøen.

Planteplankton, dyreplankton og sigtgybde

- Den klimakorrigerede sigtgybde har været signifikant faldende siden 2001 i både åbne farvande og kystnære områder og fjorde og lå i 2010 ca. 10 cm under sidste års niveau.
- Sigtdybden i de åbne farvande startede i 2010 med meget lave værdier i januar og februar, og herefter steg sigtdybden, indtil den toppede i maj måned på 8,3 m.
- I 2010 steg koncentrationen af klorofyl i fjordene til et lidt højere niveau end i 2009. Trods denne mindre stigning har der stadig været et signifikant fald i den klimakorrigerede klorofylkoncentration for fjordene set over hele perioden.
- Klorofylkoncentrationen i de åbne farvande var usædvanligt høj både i januar og februar. Den tidlige top i februar omkring forårsopblomstringen var domineret af kiselalgerne *Thalassiosira nordenskiöldii* og efterfølgende de store *Rhizosolenia*-arter *R. setigera* og *R. hebetata*. Herefter fulgte udviklingen stort set mønstret for et normalt år men på et klorofylniveau, der lå noget under langtidsgennemsnittet.
- I fjordene lå klorofylkoncentrationen efter marts ofte en del under den gennemsnitlige koncentration i perioden 1989-2009. Specielt i maj og juni, hvor der blev registreret den hidtil laveste målte koncentration i fjordene på denne tid af året.
- Primærproduktionen fulgte i store træk den normale sæsonudvikling, men toppede i juni, hvilket er tidligere end normalt.
- Kiselalgernes bidrag til den samlede biomasse af planteplankton var i 2010 det højeste registreret i overvågningsperioden. Det høje bidrag skyldtes specielt en kraftig forårsopblomstring af kiselalger i de åbne farvande samt sommer-sensommer opblomstringer i fjordene og de kystnære områder.
- Der var generelt kun beskedne forekomster af potentielt toksiske alger i 2010. Dog blev der registreret høje koncentrationer af de potentielt fisketoksiske stilkalger og enkelte tilfælde af toksinproducerende furealger i koncentrationer over grænseværdien for muslingefiskeriet.
- Sommerbiomassen af flercellet dyreplankton var usædvanligt høj i 2010. Dette skyldtes primært høje biomasser af calanoide vandlopper i maj og juni. Derimod var sommerbiomassen af encellet dyreplankton lavere end i et gennemsnitligt år.

Iltsvind

- Isdækkede farvande og svage østlige vinde førte til iltsvindshændelser tidligt på året.
- Iltforholdene var relativt gode i 2010, idet tiltagende iltsvind blev bremset af blæsevejr og deraf følgende udskiftning af vandmasser.
- Det maksimale totale iltsvindsareal i 2010 var noget lavere end i tidligere år. Halvdelen af dette areal var ramt af kraftigt iltsvind ofte ledsaget af frigivelse af giftig svovlbrinte.

- Særlig berørte områder, hvad angår varighed og intensitet af iltsvind, var det sydlige Lillebælt med de sydjyske fjorde, det Sydfynske Øhav og Øresund. I Limfjorden bevirkede periodisk blæsevejr, at iltsvindet var mindre omfangsrigt og af kortere varighed end normalt.
- I flere områder blev der registreret iltsvind allerede i slutningen af maj, og de sidste registreringer blev gjort i november.

Bundvegetation, bundfauna og sæler

- Langs de åbne kyster og i yderfjordene har ålegræssets dybdegrænse ikke vist nogen signifikant udviklingstendens, mens inderfjordenes og Limfjordens ålegræs generelt er rykket ind på lavere vand siden 1989.
- For Limfjorden er der dog positive tegn, idet den maksimale dybdeudbredelse er forøget med > 20 % og hovedudbredelsen med 10 % fra 2009 til 2010.
- For perioden 1989-2010 er der generelt en tendens til, at ålegræsset dækker en stadig mindre del af bunden langs de undersøgte transekter.
- Den samlede algedækning på dybere dele af udvalgte stenrev i de åbne dele af Kattegat var markant bedre i 2010 end i de foregående år.
- Der er ingen tegn på en stigende trend mht. dybere og mere omfattende algedækning på revene over hele undersøgelsesperioden fra 1994 og frem til i dag.
- Nedgræsning af tangskoven forårsaget af søpindsvin er fortsat et problem på mange rev i Bælthavet, hvor vegetationen stort set er væk på dybder under springlaget.
- Der er sket en markant stigning i bundfaunaens biodiversitet, tæthed og biomasse siden 2008. Denne stigning gør sig gældende i åbne farvande samt i de åbne dele af de kystnære områder, som støder op til Kattegat og Bælthavet, herunder Aarhus Bugt, sydlige Kattegat og i det nordlige Øresund.
- Den markante udvikling for bundfaunaen skyldes en stor rekruttering siden sidste prøvetagning i 2008.
- Udviklingen i fjordene adskiller sig fra de mere åbne områder og var i de fleste tilfælde negativ eller neutral, dvs. fald eller ingen ændring af artsdiversitet, individantal og biomasse. Der var ingen bedring i 2010 bortset fra en væsentlig forøgelse af blåmuslingebiomassen i det centrale Limfjorden.
- Foregående års rapporterede forringelse af faunaen i Roskilde Fjord og især i Isefjord synes stadig at være til stede, selv om der muligvis er sket en vis forbedring i Isefjord.
- Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark og har haft en bestandsfremgang fra ca. 2.000 dyr i 1976 til 15.700 dyr i 2010 som følge af jagtfredningen i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater med adgangsforbud.
- Gråsælen har vist fremgang i de seneste 10 år med op til 67 gråsæler på Rødsand, ca. 80 ved Christiansø og op til 76 i Kattegat. Gråsælen yngler nu regelmæssigt i Danmark efter ca. hundrede års pause – om end i beskedent omfang.

Tungmetaller og miljøfremmede stoffer

- I 33 % af muslingerne var kviksvovlindholdet over grænsen for 'god økologisk status', og 58 % af sedimenterne havde kviksvovlindhold over US-EPA ERL-grænsen, som definerer grænsen for økotoksikologisk effekt på sedimentlevende organismer.
- Der har hen over programperioden været et meget varierende Cu-indhold i blåmuslinger, som i Roskilde Fjord er korreleret med udviklingen i konditionen af blåmuslinger.
- Mindst en fjerdedel af sedimentprøverne i 2010 indeholdt alle metaller, undtagen As, i koncentrationer, der var over ERL-grænsen.

- Fem procent af muslingerne havde et TBT-indhold (Kolding og Odense Fjord), der lå over EU's grænseværdi for fødevarer med 95 % over EAC (det økotoxikologiske vurderingskriterie), altså hvor der ikke kan afvises effekter af TBT.
- I sediment havde kun én (Karrebæk Fjord) af syv stationer koncentrationer, der lå over HELCOMs grænse for signifikant påvirkning af TBT.
- For fisk var koncentrationerne af CB118 kun over EAC for Nivå Bugt, og effekter af PCB kan derfor ikke udelukkes i Øresund. For Vadehavet og Storebælt var koncentrationerne i alle individer under EAC, og der forventes ikke effekter af PCB eller HCB.
- PAH'erne udgjorde det største problem i sedimentet, hvor op til 42 % af prøverne havde koncentrationer, der var over ERL. Effekter af PAH'er kan derfor ikke udelukkes – specielt for Indeno(1,2,3-cd)pyren og Benz(ghi)perylene.
- I ca. halvdelen af de undersøgte kystnære områder viste undersøgelser af blåmuslingernes lysosomale membranstabilitet tegn på celledskader, der tyder på en påvirkning fra miljøfarlige stoffer.
- I fisk viste undersøgelserne af ålekvabbe betydelige forskelle i påvirkningsgrad mellem forskellige områder, både mht. forekomst af fejludviklede unger og CYP1A-enzymaktivitet. De højeste effektniveauer forekom i visse fjordområder, hvor der generelt er en øget belastning fra byer og industri.

Summary

Ditte L. Jansen Petersen & Jens Würgler Hansen

The nationwide status of the Danish marine environment in 2010 is summarised by subject below.

Climate

- The year 2010 was cold with relatively low air temperatures during most months and was thus the coldest year in 15 years.
- The winds were generally weak alternating between easterly and westerly wind directions. During the late summer and autumn months the mean wind was relatively high.
- Freshwater run-off was rather low during January and February as the precipitation fell as snow. On the other hand run-off was high in March because of the melting of snow. The pattern of run-off from April to November was normal, showing a marked increase over the period.
- Sea water temperatures in 2010 were lower than in recent years. This was more pronounced in the surface water than in the bottom water. Despite this, sea water temperatures were still higher than normal throughout the year and on average ca. 2°C higher than air temperatures. Sea water temperatures have increased about 1.5°C during the last 40 years.
- The radiation in 2010 was average, but generally there is a tendency towards increased radiation in the latest 10 years during the summer months.

Nutrient loads and concentrations

- The total atmospheric nitrogen deposition to the Danish waters was 15 % lower in 2010 than in 2009.
- On average 14 % of the atmospheric nitrogen deposition originates from Danish sources.
- Since 1989 the atmospheric nitrogen deposition to the Danish waters has experienced a 33 % decline.
- Freshwater run-off has varied substantially from one year to another. In 2010 run-off was close to the average for the period from 1990 and onwards.
- For Denmark as a whole the total phosphorus and nitrogen loads in 2010 were 2,400 tonnes of phosphorus and 55,000 tonnes of nitrogen.
- When variations in fresh water run-off are taken into consideration, nitrogen loads have decreased by 51 % and phosphorus loads by 64 % from 1990 to 2010.
- A large part of the reduction in the phosphorus loads took place before the end of the 1990s and is primarily a result of improved wastewater treatment.
- The reduction in the nitrogen loads is mainly a result of reductions in nitrogen losses from cultivated land. However, improved wastewater treatment has also contributed significantly to the overall decrease in nitrogen loads.
- Overall, nutrient concentrations in 2010 were relatively low, in particular for nitrogen concentrations. By the end of the year the large freshwater run-off in November had increased nutrient concentrations to similar levels as in previous years.
- During the spring bloom of diatoms, there was an exceptionally large uptake of all types of inorganic nutrient fractions.
- In 2010 intruding bottom water with high salinity and high DIN levels from the Skagerrak was traceable in the Kattegat, the Sound, and in the Great Belt until September. There was no sign of the inner Danish waters being affected by water masses from the Jutland coastal current.

- Potential nitrogen and phosphorus limitation in 2010 was high in fjords and coastal areas as well as in open waters.
- Nitrogen and phosphorus concentrations show a clear decreasing trend since 1989, especially when variation in year to year freshwater run-off is taken into account. There is, however, a tendency of stagnation in phosphorus concentrations after 1997, and a similar stagnation in nitrogen concentrations after 2002.
- Concentrations of inorganic phosphorus and silicon in the bottom water have increased during later years due to increased nitrogen limitation and release from sediments. Changed nutrient ratios in the Baltic Sea – and probably also in the North Sea – add to this increase as well.

Phytoplankton, zooplankton, and water clarity

- Climate corrected water clarity (Secchi depth) has decreased significantly since 2001 in open waters, coastal areas and in fjords. In 2010 the Secchi depth was on average 10 cm lower than in 2009.
- In January and February 2010 the Secchi depths were very low, but began to rise hereafter and reached a maximum in May.
- In 2010 chlorophyll concentration level in the fjords was slightly higher than in 2009. Despite this minor increase, the climate corrected chlorophyll concentration has decreased significantly in the fjords during the entire monitoring period.
- Chlorophyll concentrations in open waters in 2010 were record high in January and February. The early peak concentration in February in connection with the spring bloom was dominated by the diatoms *Thalassiosira nordenskioeldii* and later by the large *Rhizosolenia* species *R. setigera* and *R. hebetata*. The rest of the year the chlorophyll concentrations followed the normal pattern, but at a level somewhat below the long-term mean.
- After March the chlorophyll concentrations in the fjords were lower than the average concentration for the period 1989-2009. This was particularly the case for May and June, where the lowest concentration ever in the fjords for this time of year was measured.
- Primary production generally followed the normal pattern, but peaked in June which is earlier than usual.
- The contribution from diatoms to the total phytoplankton biomass in 2010 was larger than ever registered before in the monitoring period. The large contribution was mainly due to the massive spring bloom of diatoms in open waters and blooms in the fjords and coastal areas during summer and late summer.
- Potential toxic algae were generally not registered in high concentrations in 2010 except for a few incidents of high concentrations of haptophytes and dinoflagellates.
- The summer biomass of multicellular zooplankton was unusually high in 2010, primarily due to large biomasses of calanoid copepods in May and June. On the other hand, the biomass of single-celled zooplankton was smaller than normal.

Oxygen deficiency

- Due to ice cover and weak easterly winds, oxygen deficiency developed early.
- Oxygen conditions in 2010 were relatively good, as accelerating oxygen deficiency was halted by wind episodes, which led to the exchange of water masses.
- The estimated total area affected by oxygen deficiency in 2010 was smaller than in earlier years. Half of the area was affected by severe oxygen deficiency in many cases followed by the release of hydrogen sulphide.

- The main affected areas – with respect to the duration and intensity of oxygen deficiency – were the southern Little Belt, including the fjords of southern Jutland, the archipelago south of Funen and the Sound. In the Limfjord the oxygen deficiency was less extensive and of shorter duration than normal, because of periods of windy weather.
- In several areas oxygen deficiency was registered as early as late May. The last registrations of oxygen deficiency were made in November 2010.

Bottom flora and fauna and seals

- Along the open coastal areas and in the outer fjords, the depth limit of eelgrass has not shown any significant trends, while the eelgrass in the inner fjords and in the Limfjord overall has receded to shallower water.
- In the Limfjord, though, there are positive signs, as the maximum depth distribution has increased by > 20 % and the main coverage by 10 % from 2009 to 2010.
- In the period from 1989 to 2010 the eelgrass show an overall tendency to cover still less of the bottom along the monitored transects.
- For macroalgae on stone reefs there is no trend towards more extensive coverage or spreading to greater depths throughout the monitoring period from 1994 up until today.
- Total macroalgae coverage on the deepest parts of a selection of stone reefs in the open parts of the Kattegat was markedly better in 2010 than in previous years.
- Grazing of macroalgae by sea urchins is still a problem on many reefs in the Belt Sea, where vegetation has to a large extent disappeared at depths below the pycnocline.
- The biodiversity, abundance, and biomass of bottom fauna have increased markedly since 2008. This applies to the open waters and the open coastal waters that connect to the Kattegat and the Belt Sea including Aarhus Bight, southern Kattegat and the northern part of the Sound.
- The significant development of the bottom fauna is attributed to a large recruitment having taken place since 2008.
- In the fjords the development has in most cases been negative or neutral, i.e. a decrease or no changes in biodiversity, abundance, and biomass of bottom fauna. There was no improvement in 2010 except for a substantial increase of the biomass of common mussels in the central parts of the Limfjord.
- The deterioration of the bottom fauna, which has been reported in previous years in Roskilde Fjord and especially in the Isefjord, still seems to be present, even though some improvements may have occurred in the Isefjord.
- Harbor seal is the most common seal in Denmark and the population has increased from approx. 2,000 animals in 1976 to 15,700 animals in 2010 due to a hunting ban in 1977 and the establishment of a number of seal sanctuaries where access is prohibited.
- Grey seal has shown improvement over the past 10 years with up to 67 grey seals at Rødsand, ca. 80 around Christiansø and up to 76 in the Kattegat. The grey seal is now breeding regularly in Denmark after approx. a hundred-year break – albeit modestly.

Heavy metals and environmentally hazardous substances

- Investigations of lysosomal membrane stability in common mussels indicated that approximately 50 % of the investigated coastal areas were affected by hazardous substances.
- Investigations of eelpout showed marked differences in the degree of effects between areas, both concerning presence of malformation in fry and CYP1A enzyme activity. The highest effect levels were observed in certain fjords with a generally increased impact from urban and industrial areas.

- In 33 % of the common mussel samples, the mercury (Hg) content was higher than the 'good ecological status' limit, and 58 % of the sediment samples showed Hg contents above the American Environmental Protection Agency (US EPA) Effect Range Low (ERL), which defines the threshold limit value for ecotoxicological effects on sediment-living organisms.
- During the monitoring period the content of copper (Cu) in common mussels has varied. In Roskilde Fjord the Cu-content and the condition of the common mussels are correlated.
- In 2010 a large proportion of the sediment samples contained metal concentrations higher than the ERL for all metals except for arsenic (As).
- In 5 % of the common mussel samples, the TBT-content was above the quality criteria for food and 95 % had TBT-content, which was higher than the ecotoxicological assessment criteria (EAC).
- For sediment only one out of seven stations had TBT-concentrations which were above the HELCOM limit for significant impact.
- Concentrations of CB118 in fish were above the EAC in Nivå Bight only, which means that effect of PCB in the Sound cannot be ruled out. In the Wadden Sea and the Great Belt concentrations of CB118 were below the EAC in all individuals, and effects of PCB or HCB are therefore not expected.
- PAH poses the largest problem with respect to the sediments, where 42 % of the samples had concentrations above the ERL. Effects of PAH – Indeno(1,2,3-cd)pyrene and Benz(ghi)perylene in particular – cannot be ruled out.

1 Indledning

Ditte L. Jansen Petersen, Jens Würbler Hansen & Martin M. Larsen

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 at reducere udledningerne af kvælstof og fosfor fra landbrug, renseanlæg og industri med hhv. 50 % og 80 %. For fosfors vedkommende omfattede landbrugsdelen dog alene gårdbidraget, da omfanget af udvaskningen af fosfor fra markerne var usikkert. Reduktionsmålene fra Vandmiljøplan I blev fastholdt i Vandmiljøplan II i 1998. Med Vandmiljøplan III fra 2004 kom der fokus på landbrugets øvrige tab af fosfor med krav om en halvering af fosforoverskuddet fra markerne inden 2015 kombineret med, at kvælstofudvaskningen skal reduceres yderligere med mindst 13 % ligeledes inden 2015. Det nyeste politiske tiltag på miljøområdet er 'Grøn Vækst'. Grøn Vækst er en samlelov, der omfatter ændring af i alt syv love på miljøområdet herunder Vandløbsloven, Miljømålsloven og Miljøbeskyttelsesloven. Grøn Vækst skal bl.a. sætte rammerne for gennemførelsen af vand- og naturplanerne.

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 mentes påvirket 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 betydningen 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. Yderligere blev miljøfarlige stoffers forekomst, effekter og skæbne i vandmiljøet en del af det nationale overvågningsprogram. 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, kaldet NOVANA (*Svendson m.fl. 2004*), iværksat med biodiversitet og naturtyper som nye elementer i overvågningsprogrammet. Overvågningsprogrammet for 2010 bygger på de tidligere overvågningsprogrammer og kan betragtes som et overgangsår mellem overvågningsprogrammet NOVANA 2004-2009 og det efterfølgende program NOVANA 2011-2015.

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:

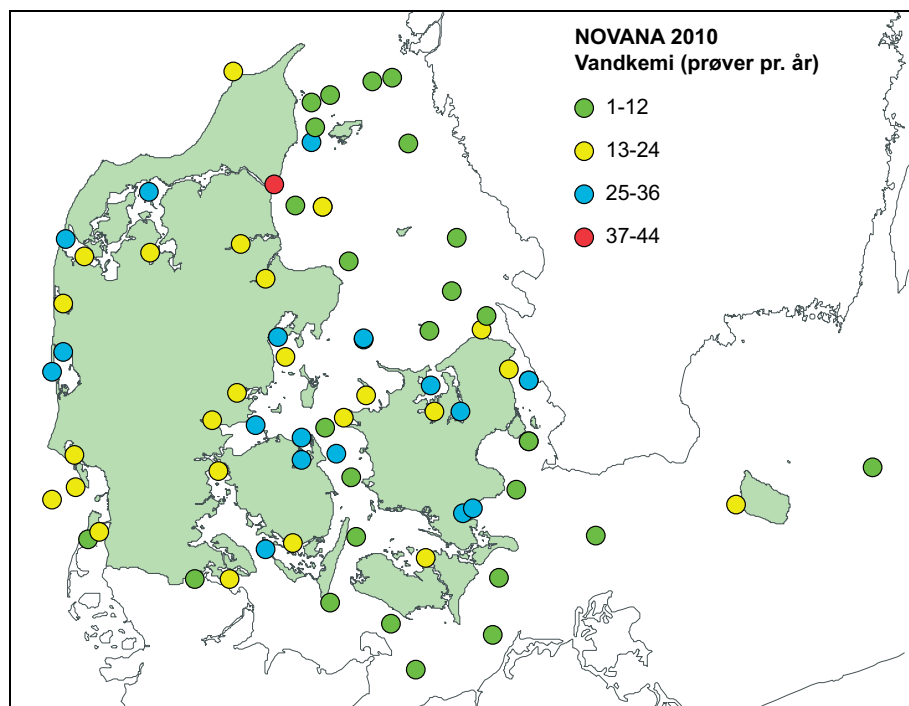
- beskrive den kvantitative udvikling i en række væsentlige fysiske, kemiske og biologiske variable, som bl.a. omfatter blomsterplanter, plankton, makroalger, bundfauna, vandkemi og sedimenter indhold af miljøfarlige stoffer samt forekomst og effekt af miljøfarlige stoffer.
- belyse kvantitative sammenhænge mellem næringssalttilførsel og biologiske effekter og derfra kunne gøre rede for betydningen af variationer i klima og biologisk struktur.
- yde aktuel information om iltsvind.
- beskrive transporten af næringssalte i de åbne danske farvande for bl.a. at kunne udarbejde budgetter for disse stoffer.
- vurdere langsigtede ændringer pga. menneskelige aktiviteter, herunder ændret klima og habitatkvalitet.
- etablere kvantitative sammenhænge mellem udledninger, koncentrationer og effekter af udvalgte miljøfarlige stoffer i biota i udvalgte områder af kystvandene.

Områder og prøvetagningsprogram

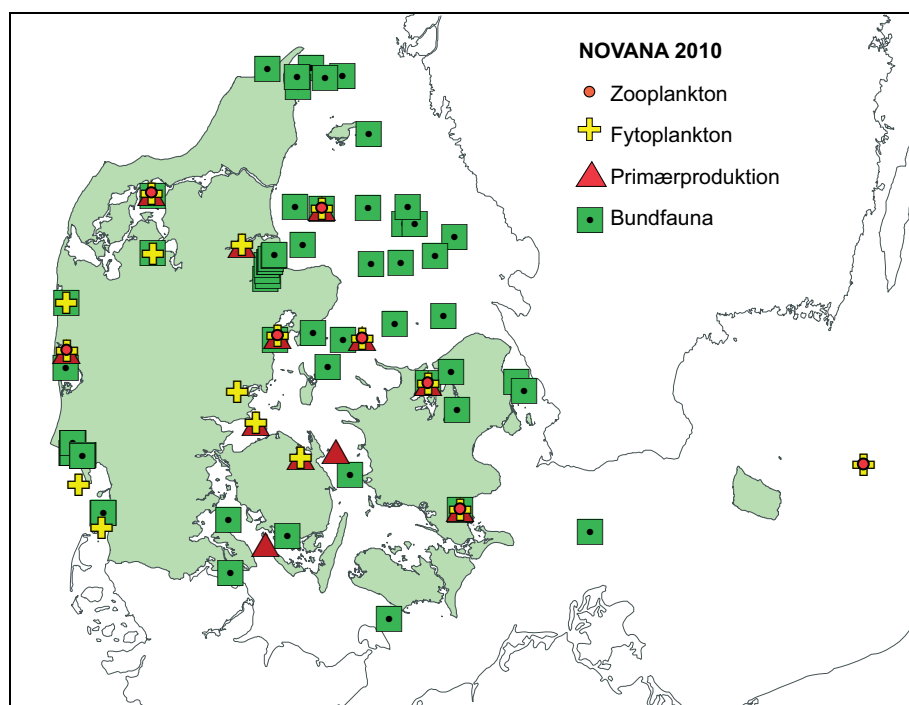
Intensiteten af den nationale overvågning af det marine miljø varierer mellem områderne. Således er tætheden af målestationer større i de kystnære områder end i de åbne farvande. Desuden er målefrekvensen højere, og der måles på flere parametre i en række områder med henblik på at øge økosystemforståelsen og optimere datagrundlaget for modellering.

I de forskellige områder og på de forskellige stationstyper koncentrerer man sig om følgende fire overordnede elementer: i) fysiske og kemiske forhold i vandsøjlen, ii) biologiske forhold i vandsøjlen, iii) strømforhold og massebalance (der er ikke foretaget modellering i 2010 af stoftransporterne til og fra de indre danske farvande, og derfor er dette ikke en del af årets rapport) og iv) biologiske forhold på bunden. Overvågningen af miljøfarlige stoffer finder sted i både biota og sedimenter. *Figur 1.1A-E* viser placeringen af stationerne, hvor de forskellige typer målinger er foretaget, og det er disse data, der danner grundlaget for denne rapport. Overvågningen af spættet sæl samt observationer af gråsæl afrapporteres også i denne rapport.

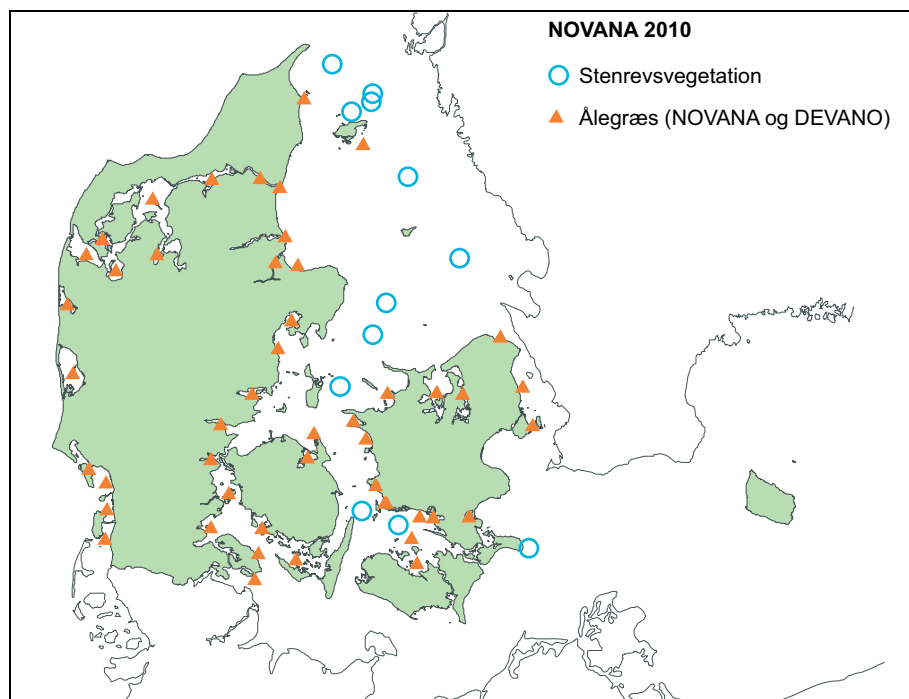
Figur 1.1A. Prøvetagningsstationer for vandkemi-, salinitets-, temperatur-, sigtdybde-, klorofyl- og fluorescensmålinger i 2010, der er anvendt i denne rapportering.



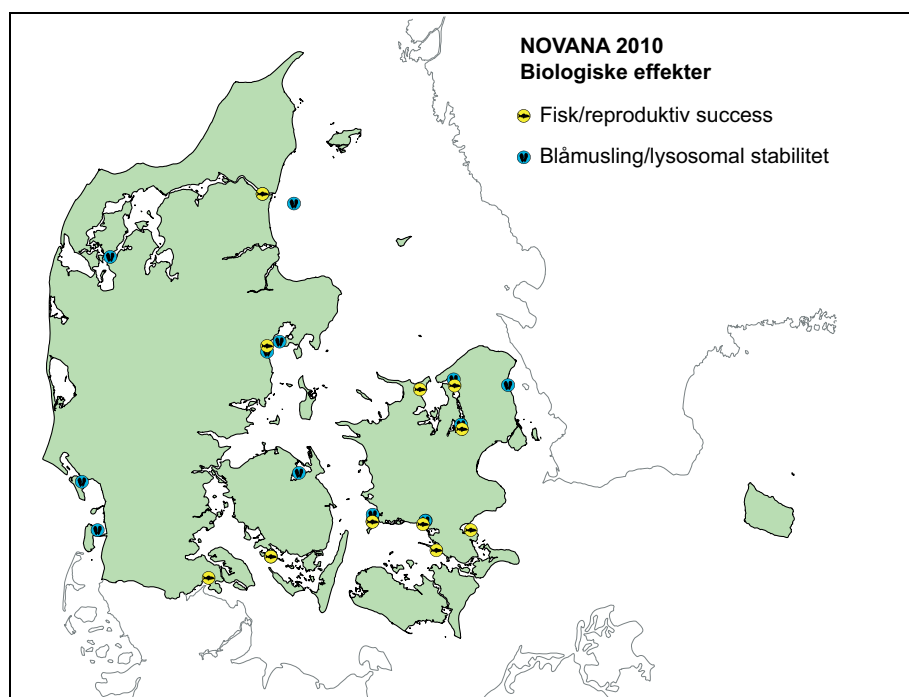
Figur 1.1B. Prøvetagningsstationer for zooplankton, fytoplankton, primærproduktion og bundfauna, som er anvendt i denne rapportering og indsamlet i 2010.



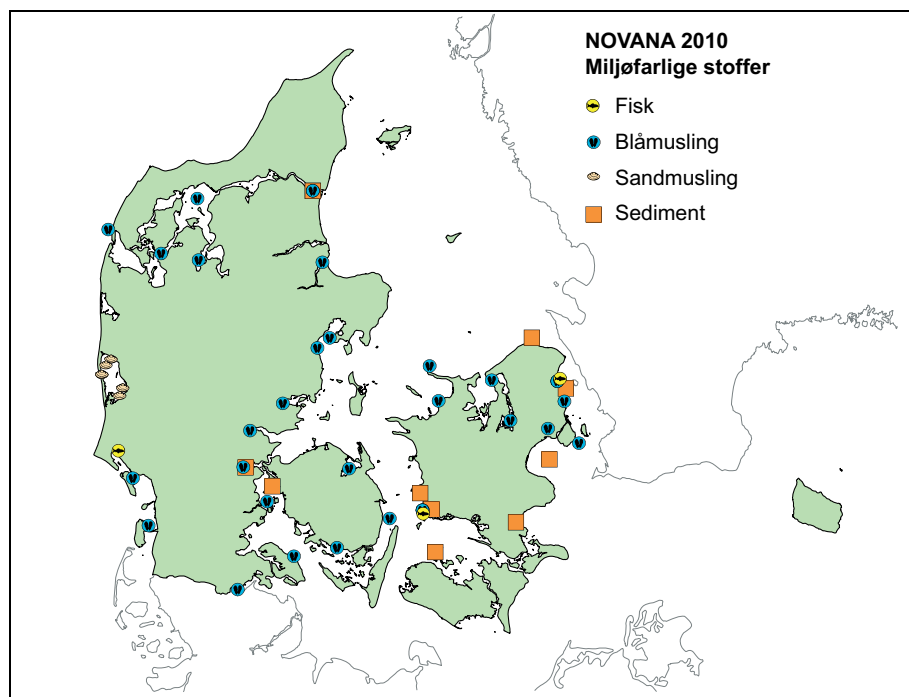
Figur 1.1C. Prøvetagningsstationer 2010 til undersøgelse af makroalgevegetation på stenrev i Natura 2000-områder og ålegræs i kystnære områder.



Figur 1.1D. Prøvetagningsstationer og områder, hvorfra data for biologiske effekter er anvendt i denne rapport.



Figur 1.1E. Prøvetagningsstationer og områder, hvorfra data for miljøfarlige stoffer er anvendt i denne rapport.



Del 1 – Påvirkninger af de danske farvande

Jens Würgler Hansen & Ditte L. Jansen Petersen

Miljø- og naturforholdene i de danske farvande er betinget af de naturlige fysiske forudsætninger og af de menneskelige påvirkninger.

De fysiske forhold som vanddybde og bundstruktur er generelt uændrede, mens der kan forekomme betydelige år til år variationer i andre fysiske forhold som ferskvandstilførsel, vandudveksling, strømforhold, salinitet, temperatur og lagdeling.

Effekterne af de menneskelige påvirkninger varierer i omfang fra år til år dels pga. variation i omfanget og karakteren af de menneskelige aktiviteter, og dels fordi effekten af tab til vandmiljøet afhænger af klimatiske forhold som nedbør, vind og temperatur. Udledning af næringssalte og miljøfarlige stoffer belaster miljøet, men også fiskeri, klappning 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 farvande. Udledning af store mængder næringssalte (eutrofiering) medfører en stor produktion af planteplankton, som gør vandet uklart. Mindre lys når derfor ned til bunden, hvorfor ålegræs samt andre blomsterplanter og 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 iltsvind, så bunddyr og planter dør og fisk flygter.

Øget 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 skaldyrsforgiftning af fugle, sæler og mennesker.

Eutrofiering medfører også en øget vækst af hurtigvoksende makroalger som søsalat og fedtemøg. De skygger for ålegræsset og andre blomsterplanter og udøver fysisk stress på især blomsterplanternes spirer, når algerne skurer hen over bunden som følge af kraftigt 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, bundvegetation, bunddyr og fisk), hvilket ofte resulterer i en lavere biodiversitet og et mere sårbart miljø.

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. Det kan også påvirke systemers følsomhed over for andre presfaktorer som iltsvind, forurening og sygdomsudbrud.

Tilførslen af miljøfarlige stoffer har også indflydelse på økosystemets struktur og funktion. 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, men kan også virke indirekte ved at gøre miljøet mere sårbart over for de andre presfaktorer. Samspillet mellem de direkte og de indirekte effekter af klimaforandringer bringer forstyrrelser i de naturlige forhold og kan bl.a. 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 økosystemerne og gør det vanskeligere at beskrive responsen som følge af en øget såvel som af en reduceret påvirkning.

2 Klimatiske forhold

Jacob Carstensen

Miljøtilstanden i de marine områder er, udover tilførslerne af næringssalte, 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 næringssalte, som udvaskes fra landjorden. Der kan være store år til år variationer i disse klimatiske forhold, som kan medvirke til at forklare den tidlige udvikling i den marine miljøtilstand.

De klimatiske forhold i Danmark i år 2010 beskrives med arealvægtede gennemsnit af temperatur, nedbør og vind for Jylland og øerne fra Danmarks Meteorologiske Instituts klimarapport for 2010 (*Cappelen 2011*), afstrømningsdata sammenlagt af opgørelser fra Hedeselskabet (1942-1989) og DMU (1990-2010) samt middel vandtemperaturer beregnet ud fra de nationale overvågningsdata. Disse værdier er sammenholdt med standardperioden 1961-1990 (anvist af World Meteorological Association). Derudover er der anvendt data for vind og global indstråling målt ved Sprogø (1977-1997) og Risø (1995-2010) (Afdelingen for Vind-energi, Risø), H.C. Ørsted Institut i København (1993-2010) og Højbakkegård ved Høje Taastrup (1974-2000). De meteorologiske tidsserier er sat sammen ved interkalibrering af overlappende perioder. Temperaturen i havet er beskrevet ved hele vandsøjlen for fjorde og kystnære områder, hvorimod den er opdelt i overflade (≤ 10 m) og bundvand (≥ 20 m) for de åbne farvande.

Vinter (januar - februar)

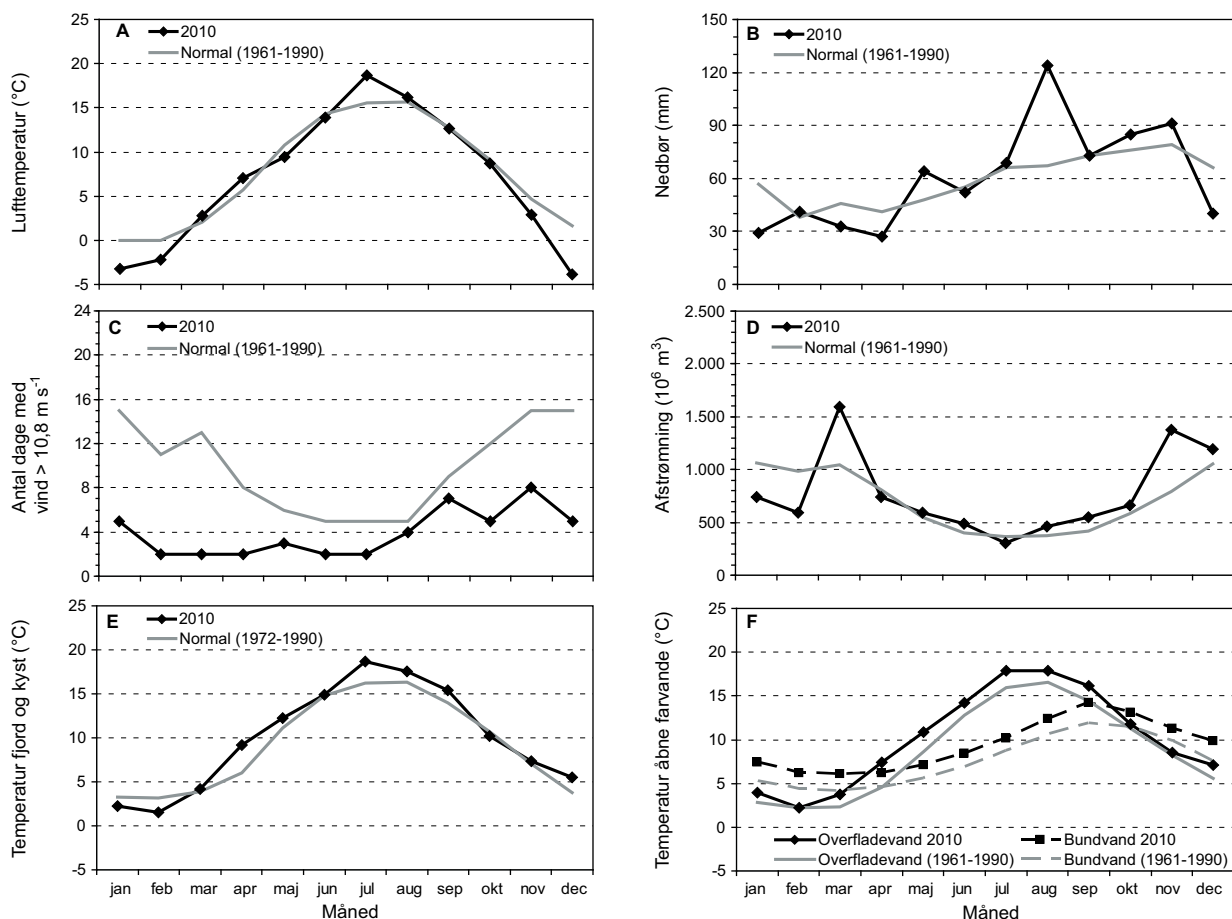
Vinteren 2010 var kold med en gennemsnitlig lufttemperatur på $-2,7^{\circ}\text{C}$. Middeltemperatur var således $2,7^{\circ}\text{C}$ under normalen (*figur 2.1*), og det er den første vinter siden 1997 med en middeltemperatur under frysepunktet. Nedbøren var det halve af normalen i januar og 26 % under normalen for vinteren som helhed, hvilket betød, at vinterafstrømningen blev 35 % under normalen. Vinden var også under middel ($4,8$ mod normalt $6,3 \text{ m s}^{-1}$) og kom hovedsageligt fra øst (*figur 2.2A*). Antallet af kraftige vindhændelser var ligeledes lavt.

Havtemperaturerne i de lavvandede fjorde og kystnære områder var ca. $1,5^{\circ}\text{C}$ under normalen, hvorimod overfladetemperaturen i de åbne farvande var en smule over normalen. Bundvandet i de åbne farvande var dog ca. 2°C varmere end normalt.

Forår (marts - maj)

På trods af den kolde vinter steg temperaturen i marts og april til over middel, og disse måneder var generelt solrige (7 % over normalen). Derimod var maj kold og med mindre sol. Dermed afveg foråret 2010 fra de foregående år, som generelt har været ca. 2°C varmere end normalen. Nedbøren var 23 % under normalen, men afsmeltning af sne resulterede i en høj afstrømning i marts (> 50 % højere end normalt) og gennemsnitlige afstrømninger i april og maj. Vinden var også under normalen i alle tre forårmåned (19 % mindre), og der var kun ganske få kraftige vindhændelser.

Efter de relativt kolde vintermåneder steg havtemperaturen i de lavvandede fjorde og kystnære områder, så den gennemsnitlige temperatur endte $1,1^{\circ}\text{C}$ over normalen. Sammenholdt med normalen var havtemperaturen i de åbne farvande omkring 2°C varmere i overfladen og $1,5^{\circ}\text{C}$ varmere i bundvandet.

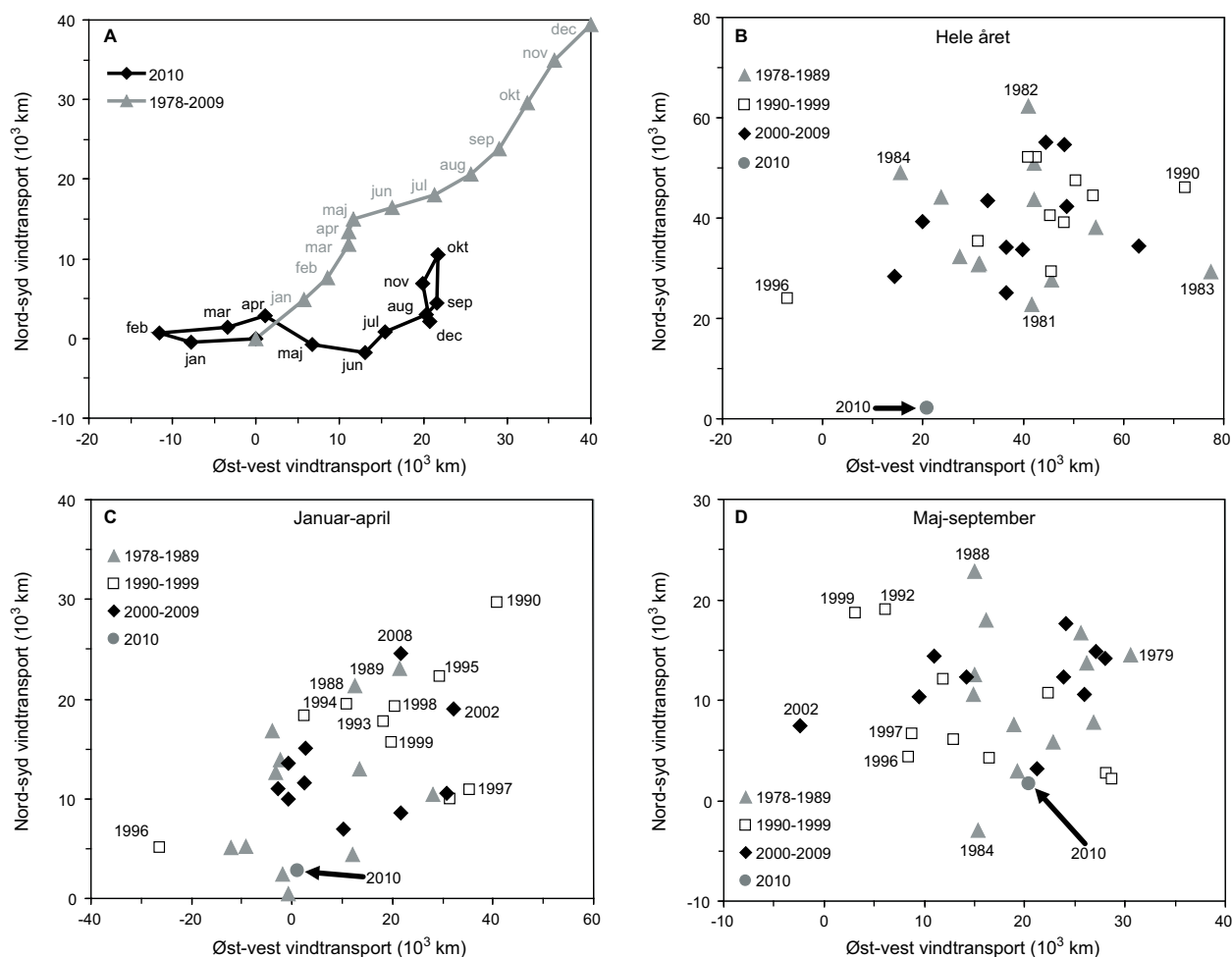


Figur 2.1. Årsvariation i 2010 sammenholdt med standardperioden 1961-1990 for A) lufttemperatur, B) nedbør, C) hyppighed af vindhændelser med døgnmiddelvind over 10,8 m s⁻¹, D) ferskvandsafstrømning til de indre farvande, E) vandtemperatur for fjord- og kystnære stationer og F) vandtemperatur for overflade- og bundvand for stationer i de åbne indre farvande. Datakilder: A - C) DMI og D - F) DMU og Naturstyrelsen.

Sommer (juni - august)

Sommeren 2010 blev ca. 1°C varmere end normalen, men det skyldes udelukkende en varm juli, som var over 3°C varmere end normalen, hvorimod juni og august ikke afveg fra standardperioden. Nedbøren var ligeledes ujævnt fordelt mellem de tre sommermåneder. Der faldt usædvanligt meget regn i august måned (ca. dobbelt mængde), og flere af august måneds regnvejr var skybrud, hvor der faldt meget regn i løbet af ganske kort tid. Den store nedbørsmængde i august resulterede dog ikke umiddelbart i en større afstrømning. Solen skinnede generelt mere i juni og juli og mindre i august. Middelvinden og antallet af kraftige vindhændelser var under normalen, men den 23. august blev landet ramt af hård kuling med vindstød af stormstyrke.

Havtemperaturen i fjorde og kystnære områder var normal i juni, men steg til 2,4°C over normalen i den varme juli måned og var stadig høj i august. I de åbne farvande var både overflade- og bundvandstemperaturen ca. 1,5-2°C over normalen.



Figur 2.2. Den retningsbestemte vindtransport beregnet som vektorsummen af øst-vest og nord-syd hastighedskomponenten. A) årsvariationen 2010 måned for måned sammenholdt med tidligere år, B) den årlige vindtransport, C) vindtransporten i månederne januar til og med april og D) vindtransporten i månederne 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 vintermånederne (jan.-apr.) og en større fornyelse af ilten i bundvandet (maj-sep.). Datakilder: Sund og Bælt Holding, Forskningscenter Risø, H.C. Ørsted Institutet.

Efterår (september - december)

Efter den relativt varme sommer faldt temperaturen til under normalen i resten af året, og efteråret var koldt med en middeltemperatur på ca. 2°C under normalen, hvilket er det koldeste i over 10 år. Nedbørsmængden var normal, hvorimod afstrømningen var 33 % højere end normalt. Dette skyldes formentlig, at den store nedbørsmængde i august har mættet jorden og ferskvandssystemerne og dermed resulteret i en større afstrømning af nedbøren i efterårsmånederne. Vinden var under normalen i løbet af efterårsmånederne, men der var flere kraftige vindhændelser i efteråret sammenlignet med resten af året.

Havtemperaturen i overfladevandet var ca. 1,5°C over normalen i september og december, hvorimod oktober og november havde næsten normale temperaturer. Temperaturen i bundvandet fulgte sæsonudviklingen, dog på et niveau ca. 2°C over normalen.

Året som helhed

Generelt var 2010 et relativt koldt år. Årsmiddelttemperaturen var 7,0°C, og dermed det koldeste år siden 1996. Temperaturen lå under normalen i 8 ud af 12 måneder, og dermed brød 2010 en lang række af varme år. Kun juli måned havde temperaturer væsentlig over normalen. Antallet af solskinstimer var kun

svagt over normalen. Nedbøren fordelte sig normalt hen over året med undtagelse af august måned, som var præget af flere kraftige regnskyl. Afstrømningen fra land var ca. 10 % over normalen. Som i de senere år var vinden generelt lav henover hele året.

Temperaturen i fjorde og kystnære områder var 0,7°C over normalen, mens både overflade- og bundvandet var mindre påvirket af lufttemperaturen og var ca. 1,5°C over normalen.

Tidslig udvikling

Den årlige middelvindhastighed 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 senere år for juli-september (*figur 2.3A*). Der har de sidste ca. 10 år været en tendens til lavere vindhastigheder i juli-september sammenlignet med resten af året, men i 3 af de sidste 4 år har det blæst lige så meget i disse måneder som resten af året. Således var middelvinden i juli-september 2010 på niveau med de mere blæsende somre i 1980'erne og 1990'erne. Denne relativt høje middelvind har formentlig medført en væsentlig opblanding af vandsøjlen i de lavvandede fjorde og kyster i de typiske iltsvindsmåneder og dermed medvirket til at dæmpe iltsvindets styrke og udbredelse. Selvom vinden generelt har været svag siden 2000, er der ingen indikationer af, at vindretningen har ændret sig siden 1978 (*figur 2.2B-D*).

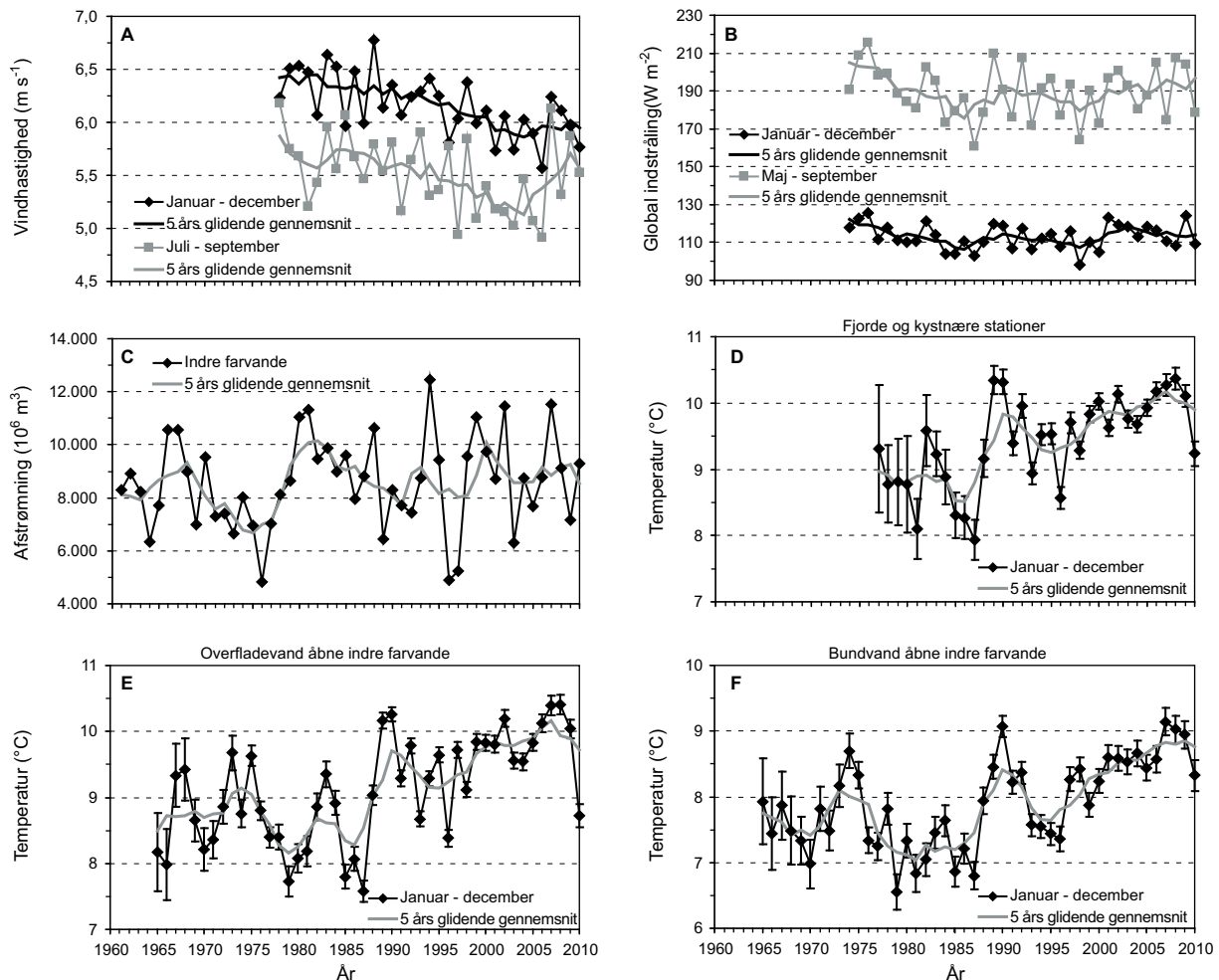
Den dominerede vindretning er stadig fra sydvest, men 2010 var usædvanlig ved, at det først blæste fra øst, dernæst vest det meste af året og endelig svage vinde fra syd og nord i efteråret (*figur 2.2A*). Derfor var 2010 usædvanlig, idet der ingen resulterende vindtransport var i nord-syd komponenten (*figur 2.2B-D*). Vindtransporten i januar-april, som har betydning for transporterne af uorganiske næringssalte gennem de indre danske farvande, var kun svag og endte med en samlet nul-transport. Dette har sandsynligvis medført en jævn og stabil transport af Østersøvand gennem de danske farvande, og at påvirkningen fra vandmasser fra Nordsøen har været mindre. Vindtransporten i maj-september, som kan være afgørende for transporten og opblandingen af bundvand i de indre farvande, var relativt svag og fra vestlig retning, hvilket kan have reduceret transporten af bundvand gennem de indre danske farvande.

I 2010 var indstrålingen lidt under middel for både maj-september og for året som helhed (*figur 2.3B*). Der var ikke nogen perioder i løbet af året, som afveg væsentligt fra det normale mønster. Somrene i midten af 1970'erne var solrige i modsætning til de solfattige 1980'ere. I løbet af de seneste 10-15 år har der været en stigende indstråling i sommerperioden.

Afstrømningen har også udvist forskellige mønstre i løbet af de sidste 5 årtier (*figur 2.3C*). I 1960'erne var middelaflstrømningen 8.500 mio. m³ om året, hvilket 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 standardperioden (1961-1990), om end det karakteristiske ved denne periode er de store variationer mellem årene, som var mest udpræget i 1990'erne. Afstrømningen i 2010 var på niveau med gennemsnittet for de seneste 30 år.

Temperaturen i de danske farvande er steget med ca. 1,5°C i løbet af de sidste 40 år, selvom 2010 var usædvanlig koldt. Målt på overfladevandtemperaturen var 2010 det tredje koldeste siden 1988-89, hvor der skete et skift i temperaturen (*figur 2.3D-E*). Bundvandstemperaturen i 2010 faldt med 0,7°C i forhold til niveauet de tre forrige år, men temperaturfaldet var dog knapt så markant som for overfladevandet (*figur 2.3D-F*). Udviklingstendenserne følger hinanden for fjorde og

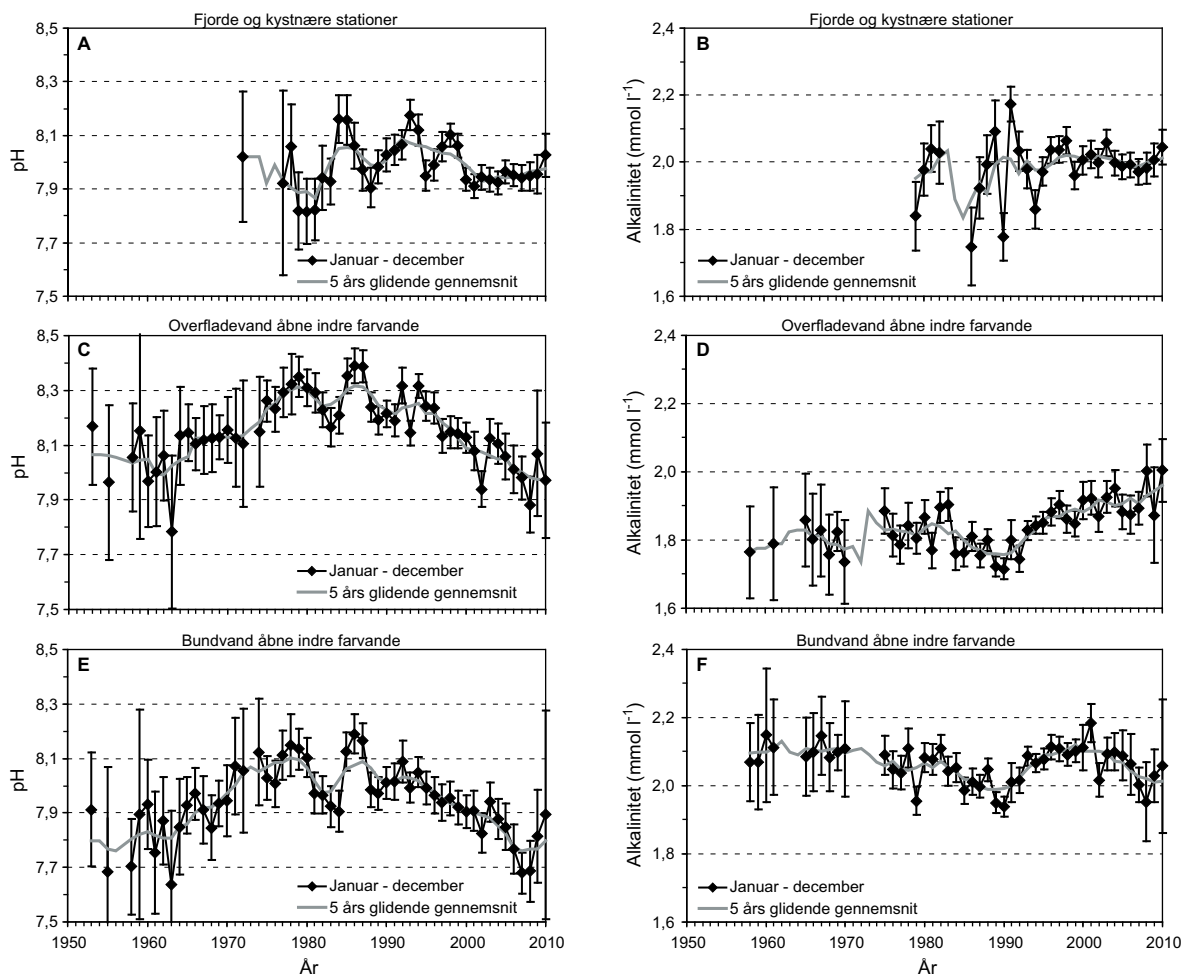
kystnære områder samt for overflade- og bundvand i de indre danske farvande. Temperaturudviklingen er dog ikke konstant tiltagende, men foregår som gradvist stigende oscillationer. Sammenlignes de nuværende temperaturer med niveauet i de relativt kolde 1980'ere, er stigningen mellem 1,5 og 2,0°C.



Figur 2.3. Tidlig udvikling for A) vindhastighed, B) global indstråling, C) afstrømning til de indre farvande, D) vandtemperatur i fjorde og kystnære områder, E) overfladevandtemperatur i de åbne indre farvande og F) bundvandstemperatur i de åbne indre farvande. Datakilder: A - B) Sund og Bælt Holding, Forskningscenter Risø, H.C. Ørsted Institutet, Landbohøjskolen og C) Hede-selskabet og DMU, D - F) DMU og miljøcentrene/amterne. Middelterperaturer er angivet med 95 % konfidensgrænser.

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*). 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. 0,2-0,3 enheder i de 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. 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. I 2010 steg pH dog i fjorde og kystnære områder, hvilket indikerer en højere primærproduktion i forhold til de foregående år og er i overensstemmelse med observationen for primærproduktion (ref. *kapitel 6*). Faldende pH burde medføre et fald i alkaliniteten, medmindre der tilføres andre kemiske komponenter, som kan forskyde ligevægten inden for karbonatsystemet. Den stigende alkalinitet i overfladevandet for de indre danske farvande, hvor 2010 havde det højeste niveau, er formentlig relateret til Østersøens opland, hvor det svenske landbrugsuniversitet (www.slu.se) har rapporteret om stigende

alkalinitet i tilførslerne fra land. En del af den stigende alkalinitet er forbundet med stigende fosfatkoncentrationer i Østersøen.



Figur 2.4. Tidlig udvikling for pH og alkalinitet i fjorde og kystnære områder (A og B), overfladevandet i de åbne indre farvande (C og D), og bundvandet i de åbne indre farvande (E og F). Middelværdier er angivet med 95 % konfidensgrænser. Datakilder: DMU og miljøcentrene.

Sammenfatning

- Året 2010 var koldt med relativt lave temperaturer i de fleste måneder og blev det koldeste år i de sidste 15 år.
- Vinden var svag og hovedsageligt skiftende mellem østlige og vestlige vindretninger.
- Afstrømningen i 2010 var 10 % over normalen. Afstrømningen var meget lav i januar og februar, da nedbøren faldt som sne, men til gengæld høj i marts i tilknytning til snesmeltningen. Fra april til oktober afveg afstrømningen ikke fra det sædvanlige mønster.
- Havtemperaturerne faldt i 2010 sammenlignet med de senere år, mest i overfladevandet og mindre i bundvandet. Vandtemperaturen var dog over normalen hele året og i gennemsnit ca. 2°C varmere end luften.
- Havtemperaturen er steget med ca. 1,5°C i løbet af de sidste 40 år.
- Indstrålingen i 2010 var på niveau med gennemsnittet, men overordnet set har der i de seneste 10 år været en tendens til, at indstrålingen er stigende i sommerperioden.
- Siden midten af 1980'erne er havvandet blevet mere surt (ca. 0,3 pH), selv om pH er steget de sidste par år.
- Overfladevandet i de åbne indre farvande har de senere år haft en stigende alkalinitet, hvilket sandsynligvis skyldes en øget eksport af alkalinitet i Østersøens opland.

3 Næringssalttilførsler fra land

Jørgen Windolf, Jens Bøgestrand & Niels Bering Ovesen

Tilførslen af næringssaltene kvælstof og fosfor styrer i høj grad miljø- og naturkvaliteten i farvandene. Øget tilførsel af næringssalte medfører stigende eutrofiering med stor vækst af planktonalger, som gør vandet uklart. Mindre lys når derfor ned til bunden og begrænser, hvor dybt ålegræs og store alger kan gro. Planktonalgerne synker ned på bunden, hvor bakterier bruger ilt til at nedbryde dem. Dermed kan der opstå iltvind, så bunddyr og planter dør. Eutrofiering ændrer således struktur og funktion af hele det marine økosystem.

Datagrundlag

Gennem det landsdækkende overvågningsprogram er der etableret tidsserier for månedlige udledninger af ferskvand, kvælstof og fosfor fra Danmark til de ni hovedfarvande for perioden 1990-2010.

For omkring halvdelen af landets areal er opgørelsen baseret på målinger af både vandafstrømning og koncentrationer af kvælstof og fosfor i en række vandløb.

For den umålte del af landet er vandafstrømningen modelleret med DK-modellen (*GEUS*, <http://vandmodel.dk/vm/index.html>) som grundlag. Modellen er korrigeret til målte data fra vandløb, hvorefter de modellerede data er aggregeret i GIS.

Kvælstof- og fosfortilførslerne fra det umålte opland er beregnet ved hjælp af empiriske modeller for vandføringsvægtede koncentrationer, som derefter er lagt på den modellerede vandafstrømning.

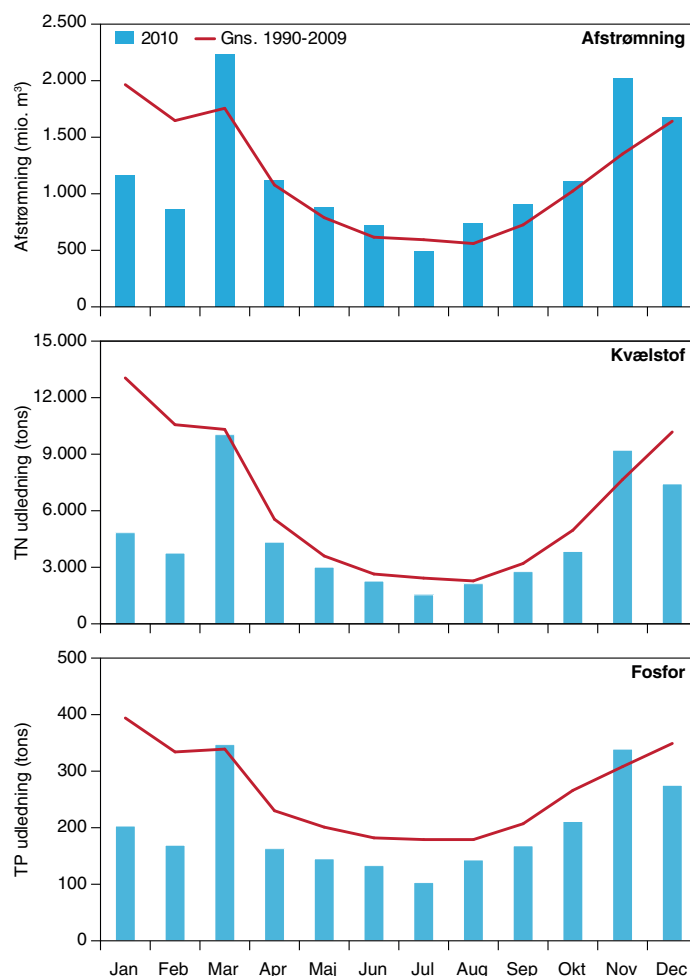
Næringssalttilførsler i 2010

Ferskvandsafstrømningen fra landets areal til de danske kystvande var 13.900 mio. m³ i 2010 og dermed kun en anelse større end gennemsnittet for perioden 1990-2009. Afstrømningen i de enkelte måneder var dog typisk noget forskellig fra gennemsnittet (*figur 3.1*). Frostvejret i januar-februar betød således, at afstrømningen var 40-50 % mindre end normalt for disse måneder. I resten af året var vandafstrømningen – bortset fra i juli måned – derimod større end gennemsnittet. I august-september var vandafstrømningen således 25-30 % større end normalt og i november måned, der var speciel nedbørsrig, var vandafstrømningen omkring 50 % større end gennemsnittet.

Tilførslen af kvælstof fra de danske landarealer til de danske farvande var i 2010 på godt 55.000 tons, hvilket var 28 % mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2009. Også månedsafstrømningerne af kvælstof var i alle måneder - på nær november - mindre end gennemsnittet (*figur 3.1*). Specielt i de frostkolde måneder januar og februar var kvælstofafstrømningen lille – hele 60-65 % mindre end gennemsnittet for 1990-2009. Tøvejret i marts medførte dog som følge af den øgede vandafstrømning en kvælstofafstrømning i denne måned nær gennemsnittet for de tidligere år.

Fosfortilførslen fra land til de danske farvande var 2.400 tons i 2010 og dermed 24 % mindre end gennemsnittet for 1990-2009. På nær i marts og november var fosfortilførslen de enkelte måneder mindre end gennemsnittet i de forudgående år (*figur 3.1*). Som for kvælstof blev fosfortilførslen specielt lille i frostmånederne januar og februar. Tø i marts og specielt den nedbørsrige november bevirkede en større afstrømning af både vand og fosfor fra landarealerne til vandløb i disse måneder.

Figur 3.1. Månedstilførslen af ferskvand, total kvælstof (TN) og total fosfor (TP) via vandløb og direkte spildevandsudledninger til de danske farvande i 2010 sammenlignet med middelværdierne for perioden 1990-2009.

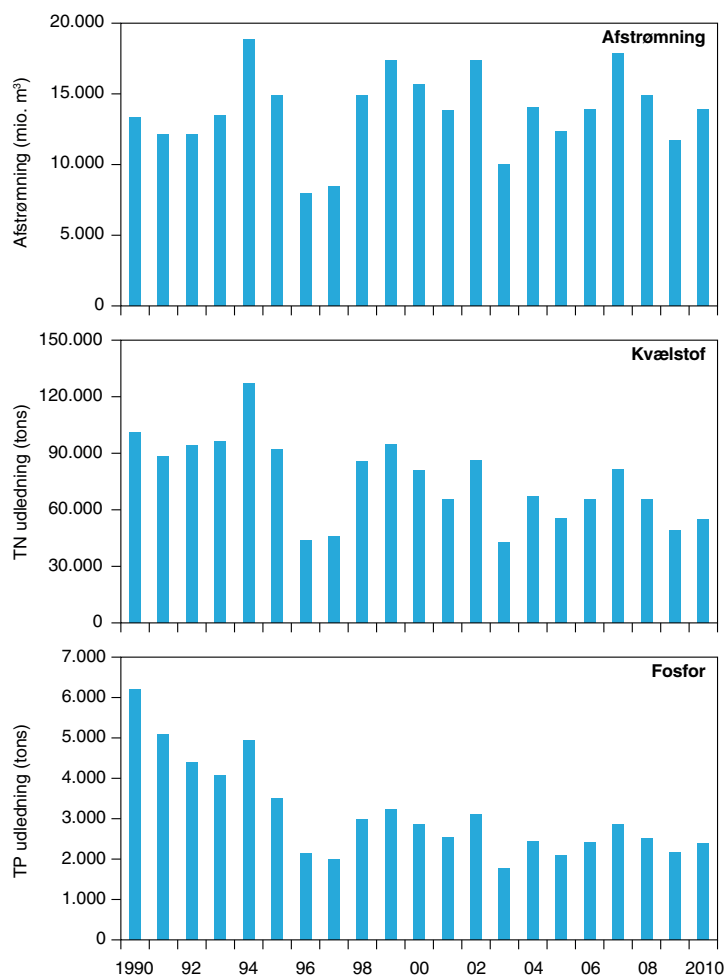


Udvikling i kvælstoftilførslen

Kvælstoftilførslen fra land til havet omkring Danmark har siden 1990 varieret betragteligt fra år til år (*figur 3.2*). Tilførslen har de enkelte år i høj grad fulgt variationerne i vandafstrømningen. I 'tørre' år som 1996 og 1997 var nedbør og vandafstrømningen fra marker og øvrige landarealer til vandløb lille, og det betød også en lille kvælstofafstrømning disse år. Den generelle udvikling siden 1990 illustreres måske bedre ved at se på udviklingen i de koncentrationer af kvælstof, der har været i den samlede vandafstrømning de enkelte år (*figur 3.3*). Kvælstofkoncentrationerne er faldet fra 7-8 mg N/l i starten af 1990'erne til 4 mg N/l i 2010.

Kvælstoftilførslerne fra land til havet omkring Danmark er reduceret med 51 % i årene siden 1990 (95 % konfidensgrænser: -39 %; -61 %), når der korrigeres for variationer i vandafstrømningen. Reduktionen i kvælstoftilførslerne skyldes primært en reduktion i udledningerne fra landbrugsarealerne. For kvælstoftilførslen fra diffuse kilder (dyrkede og udyrkede arealer) er der således beregnet et fald på 41 % siden 1990 (95 % konfidensgrænser: -32 %; -53 %). Den gennemførte forbedrede spildevandsrensning har dog også bidraget signifikant til den samlede reduktion i kvælstoftilførslerne. Således er udledningerne af kvælstof med spildevand fra punktkilder reduceret med 15-20.000 tons siden 1990. I 2010 udgjorde spildevandsudledninger fra punktkilder ca. 10 % af de samlede kvælstoftilførsler fra land til havet omkring Danmark mod typisk 20-25 % i starten af 1990'erne.

Figur 3.2. Den årlige ferskvands-afstrømning og samlede tilførsel af hhv. total kvælstof og total fosfor via vandløb og direkte spildevandsudledninger til de danske farvande i perioden 1990 til 2010.



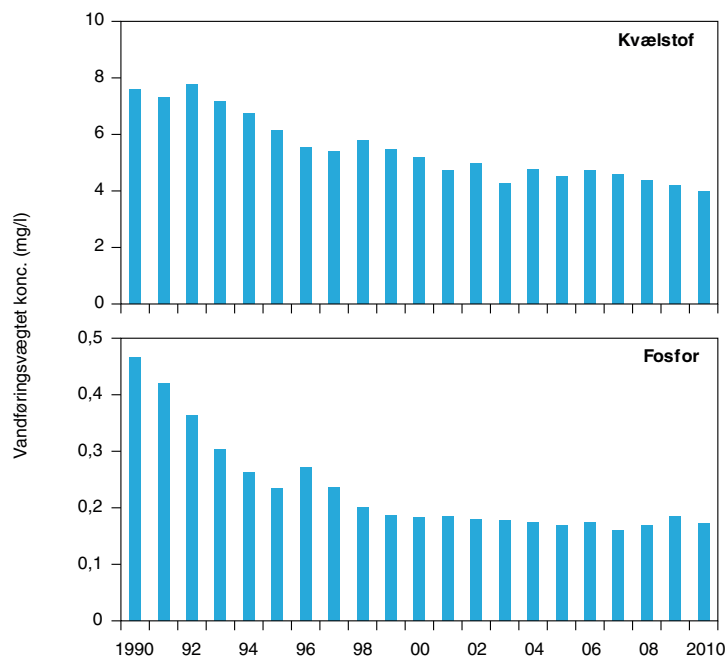
Udvikling i fosfortilførsel

Fosfortilførslerne fra land til havet omkring Danmark stammer fra spildevand udledt fra punktkilder (renseanlæg m.v.) samt fra diffuse kilder (landbrug og natur). Der har gennem perioden været et tydeligt fald i fosfortilførslerne (*figur 3.2*). Fosfortilførslerne er faldet fra omkring 5.000-6.000 tons fosfor om året i starten af 1990'erne til omkring 2.000-2.500 tons de seneste år. Faldet i fosfortilførslerne er relateret til en bedre spildevandsrensning ved primært offentlige renseanlæg. I 2010 udgjorde spildevandsudledningerne fra punktkilder 29 % af de samlede tilførsler af fosfor fra land til havet omkring Danmark. I 1990-91 var spildevandsudledningerne meget større og udgjorde omkring 70-75 % af de samlede fosfortilførsler til havet.

Tilførslerne fra de diffuse kilder i form af fosforafstrømning fra land- og naturarealer ud i vandløbene har dermed fået større relativ betydning de senere år. Denne fosfortilførsel varierer – lige som for kvælstof – med variationer i vandafstrømningen. Korrigeres der for variationen i vandafstrømning, kan der ikke påvises en statistisk signifikant ændring i den diffuse fosfortilførsel. For den samlede fosfortilførsel kan der derimod – som følge af den stærkt forbedrede spildevandsrensning – påvises et sikkert og markant fald. Faldet er for perioden siden 1990 på 64 % (95 % konfidensgrænser: -33 %; -104 %).

Den markante reduktion af fosforindholdet i det ferskvand, der strømmer til havet omkring Danmark, ses også særdeles tydeligt i *figur 3.3*. Koncentrationerne er faldet fra omkring 0,45 mg P/l i starten af 1990'erne til 0,17-0,18 mg P/l i de senere år.

Figur 3.3. Vandføringsvægtede koncentrationer af total kvælstof og total fosfor 1990-2010 for den samlede ferskvandsafstrømning med vandløb og spildevand fra hele landet til havet omkring Danmark.



Vand- og næringssalttilførslerne i vintermåneder

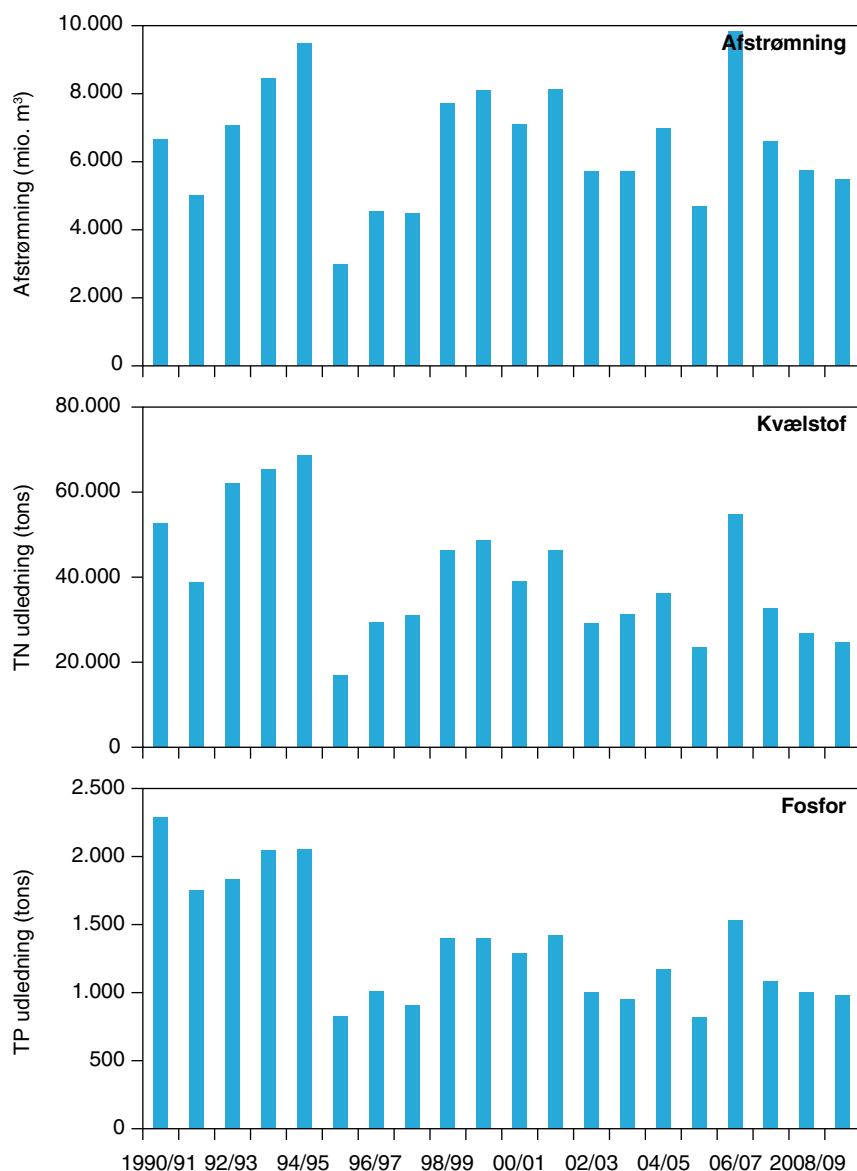
Gennem vinterperioden opbygges den pulje af næringssalte, som udgør grundlaget for væksten af planteplankton det efterfølgende forår. Derfor er der som supplement til opgørelserne over vand- og næringssalttilførsler opgjort på kalenderår også beregnet, hvorledes tilførslerne i vintermånederne (november - februar) har været til havet omkring Danmark samt den udvikling, der har været siden vinteren 1990/91 (*figur 3.4*).

Ferskvandsafstrømningen har som gennemsnit været ca. 6.500 mio. m³. Gennem perioden har de mindste vinterafstrømninger været i vintrene 1995/96-97/98 (46-70 % af gennemsnit) og de højeste afstrømninger i 1994/95 og 2006/07 (140-150 % af gennemsnit). I vinteren 2009/10 var vandafstrømningen relativt lille - ca. 5.500 mio. m³ eller 84 % af gennemsnittet.

Kvælstofafstrømningen har gennem perioden i betydelig grad fulgt variationerne i vandafstrømningen. I vinteren 2009/10 var kvælstofafstrømningen knap 25.000 tons N svarende til 62 % af gennemsnittet for hele perioden. Koncentrationerne af kvælstof i den samlede vandafstrømning (spildevand og diffuse kilder) er faldet fra omkring 8-9 mg N/l i starten af 1990'erne til mellem 4 og 5 mg N/l i vintrene 2006/07-2009/10.

Fosforafstrømningen har også fulgt variationerne i vandafstrømningen. I vinteren 2009/10 var fosfortilførslen fra land til havet omkring Danmark 981 tons P eller 73 % af gennemsnittet for hele perioden siden 1990.

Figur 3.4. Vinterværdier (november-februar) af ferskvandsafstrømning og den samlede tilførsel af hhv. total kvælstof og total fosfor via vandløb og direkte spildevandsudledninger til de danske farvande i perioden 1990/91 til 2009/10.



Sammenfatning

- Ferskvandsafstrømningen til de danske farvande har varieret betydeligt fra år til år, men var i 2010 tæt på gennemsnittet for hele perioden siden 1990.
- For landet som helhed er der for 2010 målt og beregnet en samlet fosfor- og kvælstoftilførsel til havet omkring Danmark på henholdsvis 2.400 tons fosfor og 55.000 tons kvælstof
- Korrigeret for variationer i ferskvandsafstrømningen er kvælstofudledningen for hele Danmark faldet 51 % og fosforudledningen 64 % fra 1990 til 2010.
- Reduktionen i fosforudledningen er især sket frem til sidste halvdel af 1990'erne og skyldes forbedret spildevandsrensning.
- Reduktionen i kvælstofudledningen forklares primært af en reduceret udledning af kvælstof fra dyrkede arealer. Forbedret rensning af spildevandet har dog også bidraget signifikant til det samlede fald i kvælstoftilførslerne.

4 Atmosfærisk kvælstofdeposition

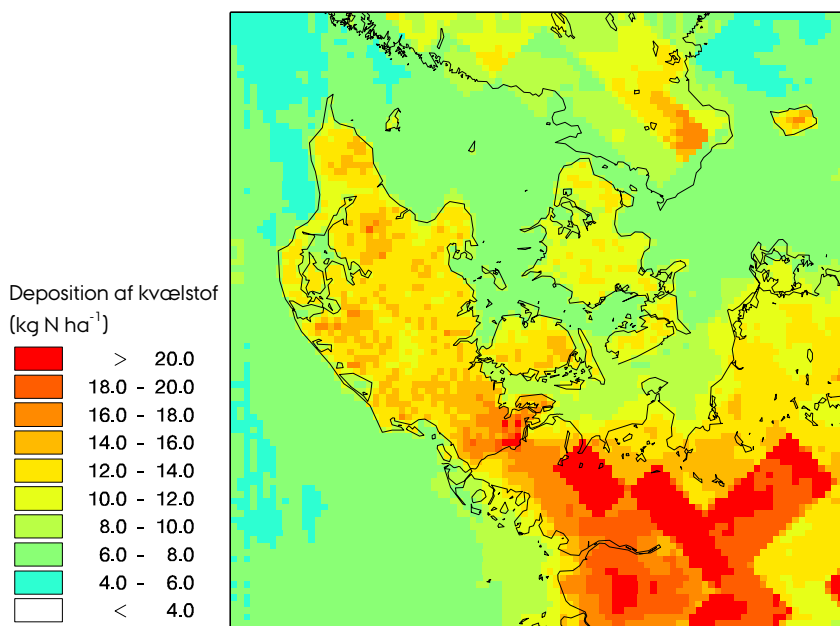
Thomas Ellermann

Farvandene modtager ikke kun næringsstoffer fra land men også ved deposition fra atmosfæren. Depositionen af fosfor er lille og har kun marginal betydning, men depositionen af kvælstof på fx de indre danske farvande er af samme størrelsesorden som udledningen af kvælstof fra Danmark til de samme områder. Udledningen af næringsstoffer fra land sker til fjorde og kystvande og fortrinsvis om vinteren. Kvælstofdepositionen er langt mere ligelig fordelt, både arealmæssigt og over året. Den atmosfæriske kvælstofdeposition har størst betydning for eutrofieringsforholdene i åbne farvande, der har et stort overfladeareal.

Det danske havmiljø modtager kvælstof fra atmosfæren i form af våddeposition og tørdeposition. Depositionen bestemmes ved målinger såvel som ved modelberegninger. Denne kombination giver mulighed for høj geografisk og tidslig opløsning i de rapporterede data. Data indsamles ved syv målestationer, hvoraf to er placeret ved kysten.

Beregningerne af den totale atmosfæriske kvælstofdeposition er foretaget med DMU's luftforureningsmodel, DEHM, til et net af gitterceller på 6 km x 6 km, som dækker de danske farvandsområder (figur 4.1) (Ellermann m.fl. 2011). Dog anvendes gitterceller på 17 km x 17 km for den yderste del af modelområdet, herunder den vestligste del af den danske del af Nordsøen. Beregningerne er foretaget med emissionsopgørelser for år 2009 for Danmark og for år 2008 for de øvrige europæiske lande, hvilket er de senest tilgængelige opgørelser.

Figur 4.1. Den samlede deposition af kvælstofforbindelser til danske farvande og landområder beregnet for 2010. Depositionen angiver en middelværdi for felterne; for felter med både vand- og landoverflade vises altså en middeldeposition for de to typer af overflade. Depositionen er givet i kg N ha^{-1} , hvor 10 kg N ha^{-1} svarer til $1.000 \text{ kg N km}^{-2}$. Gitterfelterne er 6 km x 6 km for den centrale del af modelområdet. I den yderste del af modelområdet anvendes gitterceller på 17 km x 17 km.



Fordeling på tør, våd og total kvælstofdeposition til danske hovedfarvande samt bidrag fra danske kilder er vist i tabel 4.1. Depositionen afspejler især fordelingen i nedbørsfrekvens og -mængde, men også afstand til lokale kildeområder. Deposition til andre farvande kan findes på: <http://www.dmu.dk/Luft/Luftforureningsmodeller/Deposition/>.

Tabel 4.1. Kvælstofdeposition til de danske hovedfarvande (+ svensk del af Øresund og Kattegat) i 2010.

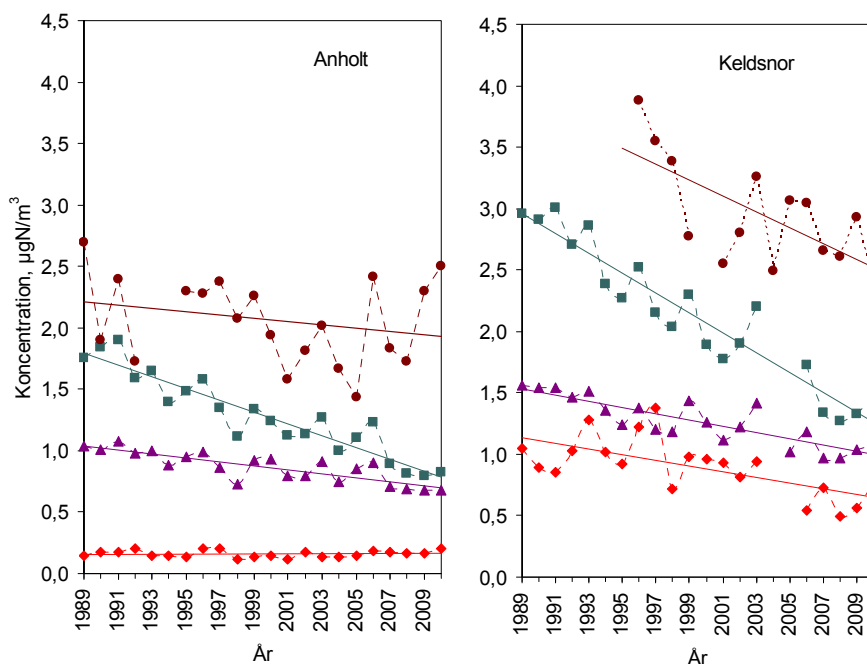
ID	Navn	Tør- deposition (kton N)	Våd- deposition (kton N)	Total deposition (kton N)	Total deposition/ areal		Andel fra danske kilder (%)
					(kg N ha ⁻¹)	Areal (km ²)	
1	Nordsøen - Alle danske områder	6,6	24,6	31,2	6,4	48.754	9
2	Skagerrak - Alle danske områder	1,1	5,3	6,4	6,2	10.329	14
3	Kattegat - Svenske områder	0,7	4,4	5,1	7,5	6.743	12
3	Kattegat - Alle danske områder	2,6	9,3	11,9	7,1	16.830	22
4	Nordlige Bælthav	0,7	2,0	2,8	7,1	3.909	29
5	Lillebælt	0,7	1,4	2,1	9,5	2.170	31
6	Storebælt	0,9	2,6	3,5	7,7	4.519	25
7	Øresund - Alle danske områder	0,2	0,8	1,0	7,4	1.336	17
79	Øresund - Svenske områder	0,1	0,7	0,8	8,5	950	12
8	Sydlig Bælthav	0,5	1,7	2,2	8,5	2.547	13
9	Østersøen - Alle danske områder	2,1	8,3	10,4	7,0	14.926	8
Alle danske farvandsområder		15	56	71	6,8	105.320	14

Den beregnede totale kvælstofdeposition til de danske farvandsområder var i 2010 på 71.000 tons, hvilket er omkring 15 % lavere end rapporteret for 2009 (84.000 tons) og på niveau med depositionen beregnet for 2008 (71.000 tons). Forskellen mellem årene 2008-2010 skyldes hovedsageligt ændringer i de meteorologiske forhold. Når man sammenligner 2009 og 2010, ses navnlig et fald i våddepositionen af kvælstof, hvilket hovedsageligt skyldes et fald i nedbørsmængderne over hav fra 2009 til 2010. Der er imidlertid stor forskel mellem de enkelte farvande. Således ses et fald i depositionen på næsten 30 % for Nordsøen og Skagerrak, mens ændringerne for Øresund og det sydlige Bælthav er betydeligt mindre (omkring 5 % fald). Vurderingen af ændringerne af depositionen fra 2009 til 2010 skal imidlertid vurderes med forbehold for, at ændringerne fra et år til det næste er små set i forhold til usikkerhederne på beregningerne. Usikkerhederne på ændringerne fra 2009 til 2010 skyldes blandt andet, at der på nuværende tidspunkt ikke foreligger emissionsopgørelser for 2010, således at det er antaget, at emissionerne er de samme i 2009 og 2010.

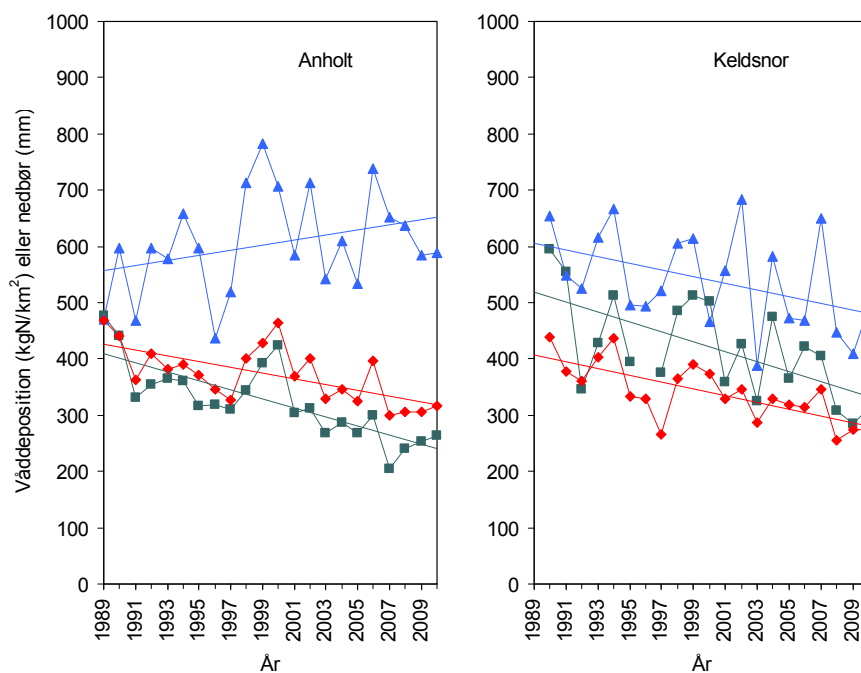
Den danske andel af depositionen er i modelberegningerne vurderet til ca. 14 % men varierer fra 29-31 % i Lillebælt og i det nordlige Bælthav til 8-9 % i Østersøen og Nordsøen (*tabel 4.1*).

Udviklingen i kvælstoftilførslen vurderes primært ud fra målingerne. *Figur 4.2* viser udviklingen i målte luftkoncentrationer af ammoniak, partikulært bundet ammonium, sum nitrat (summen af salpetersyre og partikulært bundet nitrat) og kvælstofdioxid, og *figur 4.3* viser de målte våddepositioner af ammonium og nitrat. Af *figur 4.2* fremgår det, at der er et tydeligt fald i koncentrationerne for hovedparten af de reaktive kvælstofforbindelser i luften. Endvidere er der en faldende våddeposition på målestationerne (*figur 4.3*), og for gennemsnittet af alle målestationerne er der tale om et signifikant fald. Tilsvarende ses et signifikant fald i den samlede deposition af kvælstof som middel over resultaterne fra målestationerne. Det vurderes derfor, at der er sket en reduktion i den atmosfæriske kvælstofbelastning af havmiljøet på ca. 33 % for perioden 1989-2010. Der er dog store variationer mellem årene på grund af variationerne i de meteorologiske forhold.

Figur 4.2. Årsmiddelkoncentrationer af ammoniak (♦), partikelbundet ammonium (■), sumnitrat (▲) og kvælstofdioxid (●) på målestationerne på Anholt og ved Keldsnor. Tendenslinjer er beregnet ved simpel lineær regression. Grundet revision af måleprogrammet er målingerne ved Keldsnor standset i juli 2010. Midelværdierne for ammoniak, ammonium og sumnitrat i 2010 repræsenterer derfor kun et halvt års målinger.



Figur 4.3. Den årlige våddeposition af ammonium (■) og nitrat (♦) og den årlige nedbørsmængde (▲) på målestationerne på Anholt og ved Keldsnor i perioden 1989-2010. 1.000 kg N km⁻² svarer til 10 kg N ha⁻¹.



Faldet i luftens indhold af kvælstofforbindelser og tendensen til et fald i våddepositionen er i overensstemmelse med den udvikling, som ses i emissionsopgørelserne for Danmark og i EMEP's emissionsopgørelser for Europa. Af faktorer, som har indflydelse på denne udvikling, kan nævnes ændret landbrugspraksis i en række lande, katalysatorer, rensning af røggasser m.m.

Sammenfatning

- Den samlede deposition af kvælstof til de danske farvande var i 2010 på 71.000 tons.
- I gennemsnit kommer 14 % af depositionen af kvælstof fra danske kilder.
- Siden 1989 er der sket et fald i depositionen af kvælstof til de danske farvande på 33 %.

Del 2 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

Jens Würgler Hansen & Ditte L. Jansen Petersen

Det overordnede formål med den marine del af NOVANA-programmet er at understøtte prioriterede nationale behov for overvågningsdata om påvirkning, tilstand og udvikling i de danske farvande. Programmet skal således tilvejebringe det nødvendige dokumentations- og videngrundlag til at understøtte overvågningsbehov og -forpligtigelser i forvaltningen af havmiljøet. Denne forvaltning er i en omstillingsproces, hvor fokus i større grad end tidligere er rettet mod at dokumentere havmiljøets status i relation til internationale natur- og miljømål, som angivet i EU-direktiver og internationale konventioner.

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

Påvirkningerne er dynamiske og miljøindikatorerne responderer herpå ved en variation hen over året og en variation mellem år. Som udgangspunkt kan man opdele indikatorernes år til år variation i en naturlig komponent og en komponent, som afhænger af menneskets adfærd og forvaltning af vandmiljøet. 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 udvikling i belastningen tydeliggøres. Dette er tilstræbt for en række indikatorer ved at korrigere for variationer i klimaet. Klimakorrekturene har hovedsageligt omfattet ferskvandsafstrømning, mens der for biomassen af planteplankton også er korigeret for vind og solindstråling.

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 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 farvande), som reagerer meget forskelligt på næringssalttilførsler. Anvendelsen af et generelt indeks betyder, at udviklingen lokalt i nogle tilfælde godt 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. De klimakorrigerede data er således normaliseret i forhold til variationen i ferskvandsafstrømningen (planktonbiomassen er desuden korigeret for variationen i

vind og lys), både hvad angår komponenten naturlig variation og komponenten klimaforandringer. Men klimaforandringer berører også en række andre forhold (fx temperaturen), der har indflydelse på miljøforholdene. En videreudvikling af klimakorrektionerne vil derfor kunne forbedre beskrivelse af den ikke-klimarelaterede menneskeskabte miljøpåvirkning og dermed effekten af de miljøforbedrende tiltag.

5 Næringssaltkoncentrationer

Jacob Carstensen

Eutrofiering skyldes hovedsageligt en øget 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 baseret på de biologiske elementer i vandrammedirektivet. Totalkoncentrationerne 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). Den opløste, uorganiske del af kvælstof (DIN) og fosfor (DIP) optages direkte af planteplankton og bundplanter, hvor det omdannes til partikulært organisk materiale. Uorganisk opløst silicium (DSi) er desuden et nødvendigt næringssalt for kiselalger. Den organiske del af kvælstof og fosfor skal hovedsageligt omsættes bakterielt, før den kan optages af planteplanktonet. Planteplankton har gennemsnitlig behov for kvælstof og fosfor i mol-forholdet 16:1, også kaldet Redfield-forholdet. Lave værdier (< 10) indikerer, at kvælstof er begrænsende for primærproduktionen, og høje værdier (> 20) indikerer fosforbegrænsning.

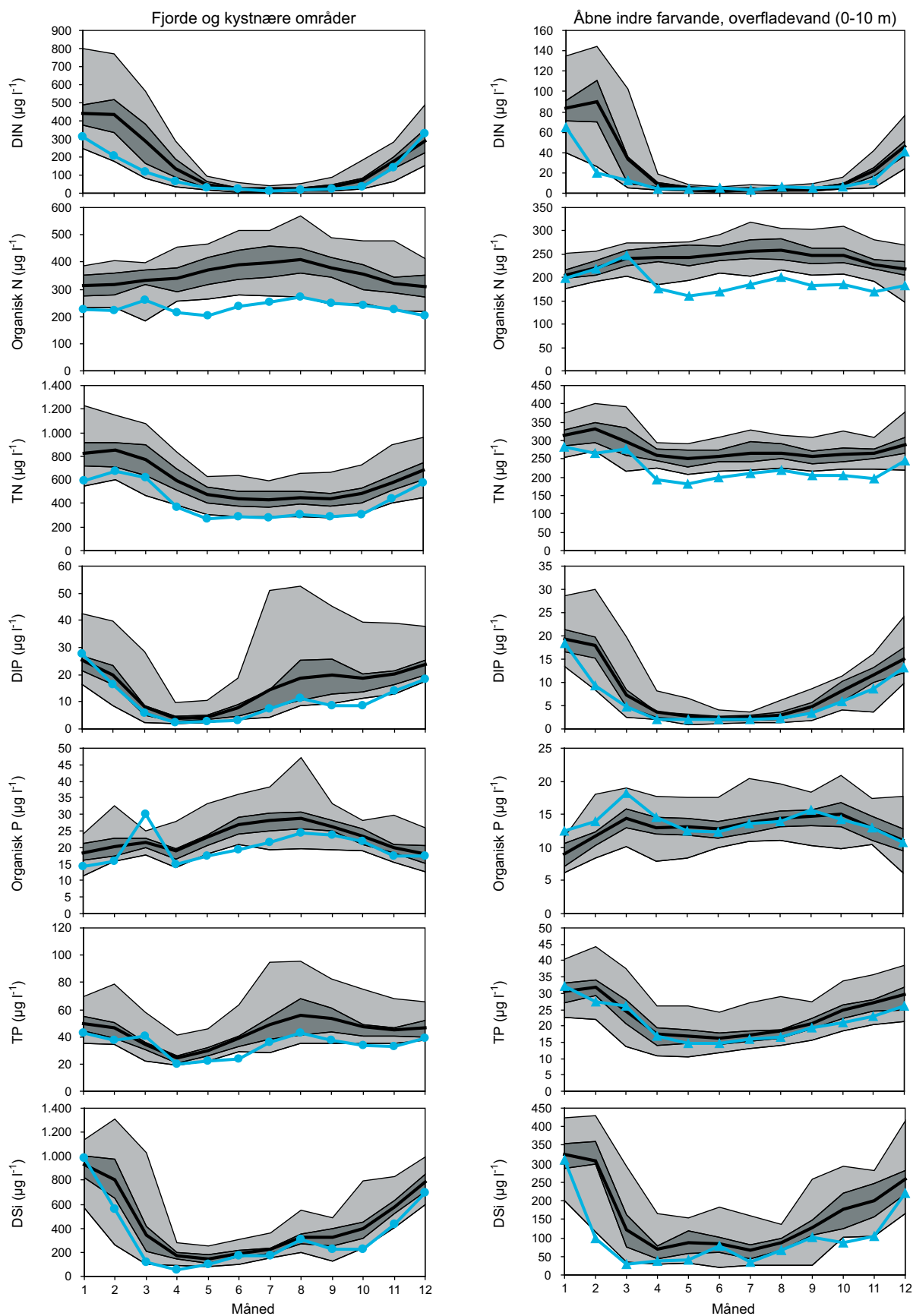
Årsmidler af næringssaltkoncentrationer er beregnet med en tresidet variansanalyse (*Bilag 1*). Stationerne er opdelt i fjorde og kystnære områder samt i de åbne farvande i henhold til prøvetagningsbeskrivelsen fra NOVANA-programmet. Relationen imellem koncentrationerne og ferskvandsafstrømningen er undersøgt og anvendt til korrektioner for klimatiske variationer i analyser af den tidlige udvikling i næringssaltkoncentrationerne (*Bilag 1*). Den tidlige udvikling er analyseret ved Kendalls τ -test for perioden 1989-2010.

Året der gik – 2010

Både kvælstof- og fosforkoncentrationerne har været faldende siden midten af 1990'erne, og niveauerne for 2010 var som forventet lavere end langtidsmidlerne (1989-2009). For at vurdere sæsonfordelingen i 2010 er månedsmidlerne for 2010 sammenholdt med fordelingen af månedsmidler fra de tidligere år (*figur 5.1*).

Kvælstofkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder var generelt lave og væsentlig under langtidsmidlerne i hele året med undtagelse af november og december, hvilket skyldes den forholdsvis store afstrømning i november. TN-månedsmidlerne for april-juli såvel som oktober 2010 var de hidtil laveste, og dette skyldtes hovedsageligt lave koncentrationer i den organiske fraktion. DIN-månedsmidler var ligeledes lave i 2010, omend ikke rekordlave.

Et næsten tilsvarende mønster gjorde sig gældende for kvælstofkoncentrationerne i de åbne farvande, hvor der var rekordlave TN-koncentrationer i alle måneder med undtagelse af januar, marts og december. For DIN var det kun februar, som havde den hidtil laveste månedsmiddel. De forholdsvis høje niveauer af organisk N og lave værdier af DIN i januar-marts indikerer større vinteroptag i planteplankton af uorganisk kvælstof i 2010 sammenlignet med tidligere år. De forholdsvis store afstrømninger i marts og november medførte kun svagt forhøjede kvælstofkoncentrationer i forhold til den forventede sæsonvariation.



Figur 5.1. Månedsmiddelkoncentrationer af DIN, organisk N, TN, DIP, organisk P, TP og DSi i 2010 (blå) sammenholdt med tidligere år (1989-2009) for fjorde og kystnære områder (0-10 m) og overfladevandet i de åbne indre farvande (0-10 m). Fjorde og kystnære områder er i alle grafer for 2010 afbildet med cirkler, mens åbne farvande for 2010 er markeret med trekanter. Variationen i månedsmidlerne for tidligere år er angivet med minimum og maksimum, nedre og øvre kvartil samt middelværdien (fed sort linje).

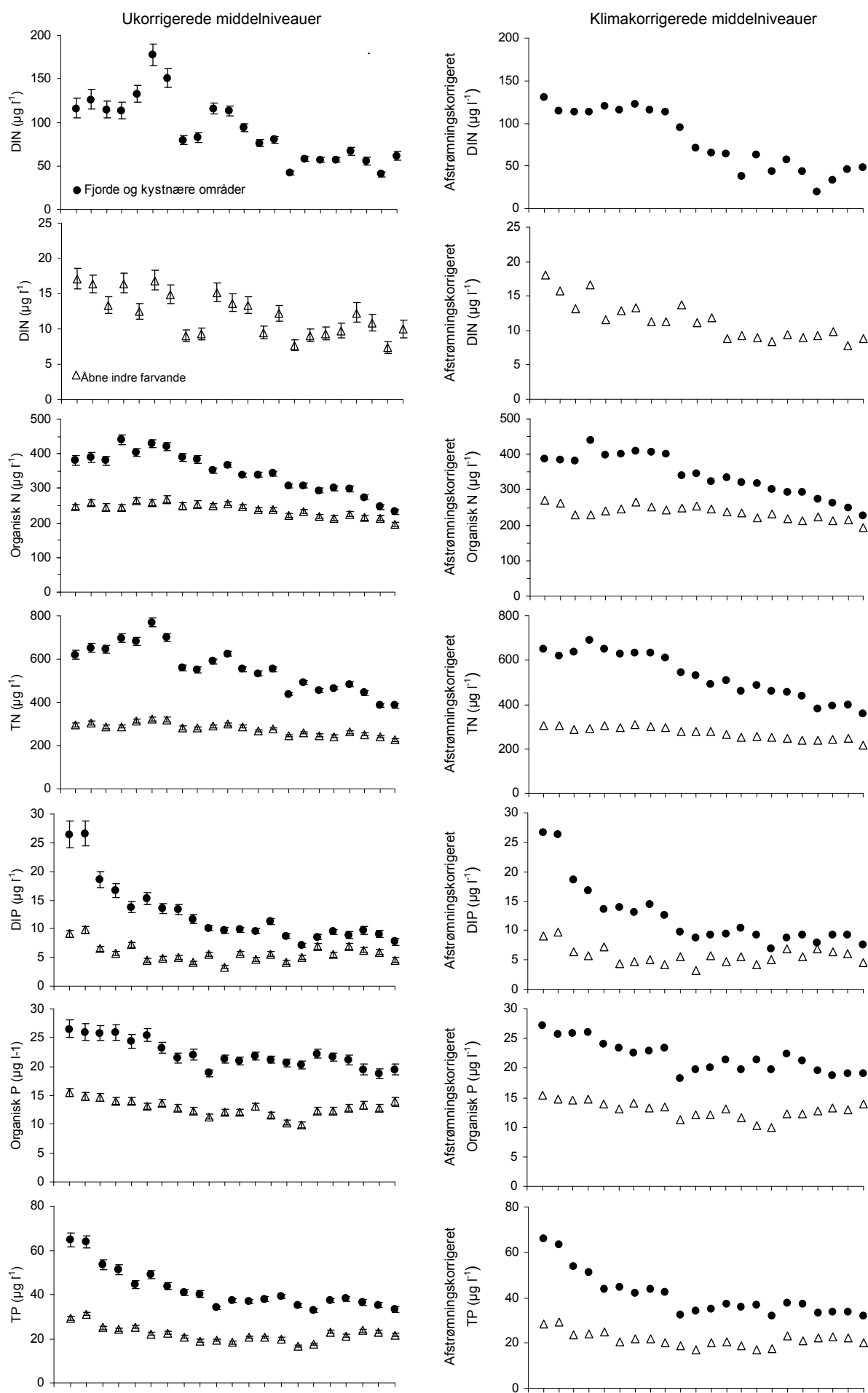
Sammenholdt med tidligere år var fosforkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder også generelt lave i 2010 med undtagelse af marts måned, som havde rekordhøjt niveau for organisk P, hvilket skyldtes et stort optag af DIP i forbindelse med en kraftig forårsopblomstring (ref. *kapitel 6*). DIP-koncentrationerne i juni, september og oktober var de hidtil laveste, ligesom maj og juni havde de hidtil laveste niveauer for organisk P. De lidt højere DIP-koncentrationer i august måned kan skyldes ekstra frigivelse fra sedimenterne forårsaget af iltsvind.

Fosforkoncentrationerne i de åbne farvande i 2010 var mere på niveau med langtidsmidlerne uden bemærkelsesværdige ændringer i fordelingen henover året for TP. Derimod var der i de tre første måneder en forskydning fra DIP til organisk P, tilsvarende det for kvælstof, som ligeledes indikerer et relativt større optag af næringssalte i de første måneder af året.

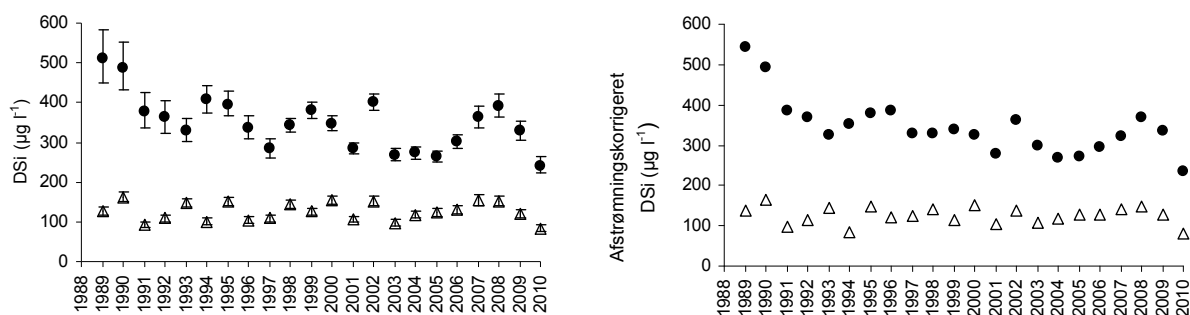
DSi-koncentrationerne i overfladevandet i 2010 var usædvanlig lave i februar-april og oktober-november for både fjorde, kystnære områder og åbne farvande. For fjorde og kystnære områder var DSi-niveauerne de hidtil laveste i april og oktober, og for de åbne farvande var dette tilfældet for februar, marts og oktober. Det kraftige fald i DSi-koncentrationen i forårsmånederne stemmer overens med DIN og DIP og indikerer, i overensstemmelse med observationerne, at forårsopblomstringen i fjorde, kystnære områder og åbne farvande i 2010 var kraftigere end normalt og, som forventelig, domineret af kiselalger (ref. *kapitel 6*). Efterårsopblomstringen var mindre udpræget, men sandsynligvis også domineret af kiselalger, da DSi også var usædvanlig lav i efteråret.

I bundvandet for de åbne farvande var koncentrationerne af DIP noget højere end normalt i juni-september, hvilket formentlig skyldes en øget frigivelse fra sedimenterne som følge af iltsvind. DIN-koncentrationerne afveg også fra det karakteristiske sæsonmønster ved relativt høje niveauer fra maj til oktober. Derimod var alle de uorganiske næringssalte (DIN, DIP og DSi) usædvanligt lave i november, hvilket kan skyldes en større nedblanding af overfladevand, hvor koncentrationerne stadig er meget lave på det tidspunkt af året. Koncentrationerne af organisk N og TN var rekordlave fra april og frem til november, hvorimod organisk P og TP var på niveau med langtidsmidlerne. Dog var der i marts måned en stigning i organisk N og P, og dermed også TN og TP, som formentlig skyldes sedimentation af forårsopblomstringen i februar måned (ref. *kapitel 6*).

I januar var DIN-koncentrationerne i bundvandet i den nordøstlige del af Kattegat over $150 \mu\text{g l}^{-1}$ på dybder $> 50 \text{ m}$ og for salinitet > 35 , hvor koncentrationerne i Kattegats bundvand typisk ligger omkring $120 \mu\text{g l}^{-1}$. Saliniteten og dybdefordelingen af vandmassen med høje DIN-koncentrationer indikerer, at den ikke oprinder fra Den jyske Kyststrøm, men formentlig er bundvand fra Skagerrak. Denne vandmasse kunne videre spores til øst for Anholt i februar måned og ved Griben og Ven i marts og april. Ved Anholt og Ven kunne denne karakteristiske og delvis stationære vandmasse identificeres helt frem til september, hvorimod vandmassen ved Griben fortsatte mod Storebælt, hvor den kunne observeres i det alldybste vandlag i juni. Udover højere DIN-niveauer (hovedsageligt nitrat) adskilte vandmassen sig ikke på de andre vandkemiske parametre (DIP, DSi, temperatur og ilt). Denne vandmasse kan derfor have medvirket til forhøjede DIN-niveauer i bundvandet i de måneder, hvor den har spredt sig ind gennem Kattegat, Øresund og Bælthavet (maj-september).



Figur 5.2 fortsætter på næste side ►



Figur 5.2. Årsmiddelmålinger af DIN, TN, DIP, TP og DSI (figurer i venstre kolonne) i overfladevandet (0-10 m) og tilsvarende koncentrationer korrigeret for variationer i afstrømning (figurer i højre kolonne). Middelmålingerne er afbildet med angivelse af 95 % konfidensgrænser. Fjorde og kystnære områder er i alle grafer afbildet med cirkler, mens åbne farvande er markeret med trekanter. For DIN er fjorde og kystnære områder afbildet adskilt fra åbne farvande og med forskellige akser.

Derimod var der i 2010 ingen indikationer på, at vandmasser med ophav i Den jyske Kyststrøm skulle have påvirket næringssaltkoncentrationerne i bundvandet væsentligt i de indre danske farvande. Den østlige vind i årets to første måneder (ref. *kapitel 2*) har formentlig medført, at Den jyske Kyststrøm var meget svag i 2010.

Som helhed var kvælstofkoncentrationerne i 2010 meget lave for både fjorde, kystnære områder og de indre danske farvande, specielt fra april frem til november. Fosforkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder var også relativt lave, hvorimod de var mere normale i de åbne farvande.

Udvikling i fjorde og andre kystnære områder

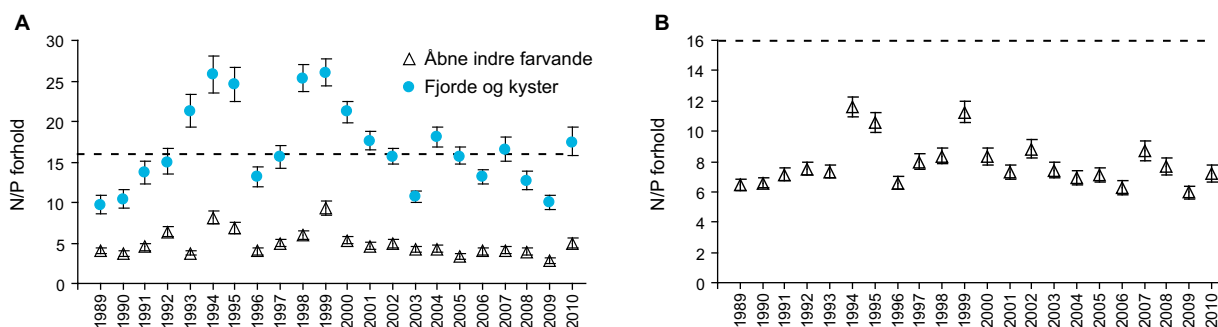
Kvælstofkoncentrationerne er generelt faldet siden midten af 1990'erne, og 2010-årsmidlen for både organisk N og TN var de hidtil laveste (*figur 5.2*), selv om afstrømningen var lige over middel (1989-2010). DIN-årsmidlen i 2010 var gennemsnitlig for de seneste 10 år (*figur 5.2*). Årsmidlen for TN var for andet år i træk under 400 µg l⁻¹, og DIN-, organisk N- og TN-koncentrationerne i 2010 var kun 55 %, 61 % og 62 % af middelniveauet for 1989-2002.

Korrigeres der for år til år variationerne i afstrømningen, var organisk N og TN i 2010 ligeledes de hidtil laveste, og DIN var på niveau med gennemsnittet for 2000-2010. Sammenlignes de afstrømningskorrigerede kvælstofniveauer i 2010 med 1989-2002, er der sket et fald på 51 %, 40 % og 40 % for henholdsvis DIN, organisk N og TN. Der er en stagnerende tendens for de afstrømningskorrigerede DIN-koncentrationer omkring et niveau på 40 µg l⁻¹, hvorimod organisk N og TN fortsat falder.

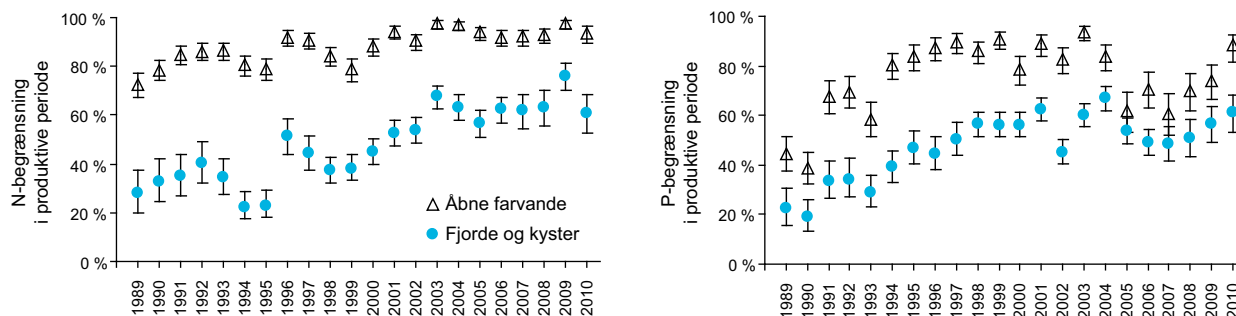
Årsmidlen for TP var den hidtil laveste, og DIP og organisk P havde de næstlaveste årsmidler. Middelniveauet for DIP og TP har ligget stabilt omkring henholdsvis 10 µg l⁻¹ og 35 µg l⁻¹ efter reduktionerne i punktkildebelastningen i starten af 1990'erne. I forhold til 1989 var fosforkoncentrationerne i 2010 dog reduceret betragteligt med 70 % for DIP, 27 % for organisk P og 50 % for TP. Fosforkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder har efterhånden nået niveauer, som kun er svagt højere end koncentrationerne i de åbne farvande.

DSi-niveauerne har varieret mellem 250 og 400 µg l⁻¹ siden starten af 1990'erne, men årsmidlen i 2010 var usædvanlig lav (242 µg l⁻¹). Faktisk var 2010-midlen 29 % lavere end niveauet for perioden 1991-2009. Selv efter afstrømningskorrektur var årsmidlen for 2010 meget lav, og det skyldtes, at de usædvanlig mange kiselalger i fjorde og kystnære områder har optaget DSI (ref. *kapitel 6*).

Forholdet 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. Kvælstof er blevet potentielt mere begrænsende i perioden fra omkring 1998 til 2003, hvorefter kvælstof har været potentielt begrænsende i ca. 60 % af den produktive periode (figur 5.4). Fosfor blev potentielt mere begrænsende fra 1989-1998, hvorefter fosfor har været potentielt begrænsende i ca. 50 % af den produktive periode. Efter et fald i den potentielle fosforbegrænsning fra 2004 til 2007 er den potentielle fosforbegrænsning steget de seneste 3 år.



Figur 5.3. Forholdet mellem opløst uorganisk kvælstof (DIN) og opløst uorganisk fosfor (DIP) i A) overfladevandet (0-10 m) og B) bundvandet (≥ 15 m) (se Bilag 1 vedr. beregning). Forholdet for fjorde og kystnære områder er afbildet med cirkler, mens åbne farvande er markeret med trekanter. Middelværdierne er afbildet med angivelse af 95 % konfidensgrænser. Den stiplede linje angiver Redfield-forholdet.



Figur 5.4. Potentiel begrænsning af kvælstof og fosfor udregnet som sandsynligheden for, at målinger i overfladevandet (0-10 m) i den produktive periode (marts-september) lå under værdierne for potentielt begrænset primærproduktion ($28 \mu\text{g l}^{-1}$ for DIN og $6,2 \mu\text{g l}^{-1}$ for DIP). Fjorde og kystnære områder er afbildet med cirkler, mens åbne farvande er markeret med trekanter. Middelværdierne er afbildet med angivelse af 95 % konfidensgrænser.

De ukorrigerede næringssaltkoncentrationer udviste alle signifikante fald i perioden 1989-2010 – mest signifikant for fosfor. De afstrømningskorrigerede niveauer udviste endvidere alle stærkt signifikante fald ($P < 0,0001$), med undtagelse af DSi ($P = 0,0003$). Den potentielle næringssaltbegrænsning over perioden 1989-2010 var signifikant stigende for både kvælstof og fosfor.

Udvikling i overfladevand i de åbne indre farvande

Ligesom for fjorde og kystnære områder var koncentrationerne i 2010 af organisk N og TN de hidtil laveste for overfladelaget i de indre danske farvande, hvorimod DIN-koncentrationerne svarede til middelniveauet for de seneste 10 år, men var lavere end for perioden 1989-2000. Generelt har DIN-niveauet ligget stabilt omkring $10 \mu\text{g l}^{-1}$ siden 2000, mens TN er aftaget jævnt siden 1989 fra

omkring $250 \mu\text{g l}^{-1}$ til omkring $225 \mu\text{g l}^{-1}$ i 2010. Sammenholdt med perioden 1989-2009 var kvælstofkoncentrationerne i 2010 ca. 19 % lavere for de forskellige kvælstoffraktioner (*figur 5.2*).

De afstrømningskorrigerede koncentrationer i 2010 for organisk N og TN var ligeledes de hidtil laveste, hvorimod de afstrømningskorrigerede DIN-koncentrationer var på niveau med de seneste 10 år. De afstrømningskorrigerede kvælstofniveauer har været faldende stort set siden 1989, dog med en tendens til stagnation i de senere år for DIN og et forsat svagt fald for TN. Dette har for DIN og TN resulteret i et forventet niveau på omkring henholdsvis $9 \mu\text{g l}^{-1}$ og $230 \mu\text{g l}^{-1}$ for et år med middel afstrømning.

DIP og TP har stabiliseret sig omkring $6 \mu\text{g l}^{-1}$ og $20 \mu\text{g l}^{-1}$, dog med en svagt stigende tendens efter 2000, hvilket skyldes stigende fosforniveauer i Østersøen og stigende N-begrænsning i kystzonen, som har øget eksporten af fosfor fra kystzonen.

DSi-niveauet i 2010 var det hidtil laveste niveau (ca. $80 \mu\text{g l}^{-1}$), hvilket formentlig skyldes et stort optag fra kiselalger under forårs- og efterårsopblomstringen. DSi-koncentrationerne har generelt ikke udviklet sig siden 1989, og normalt ligger årsmidlen mellem 100 og $150 \mu\text{g l}^{-1}$.

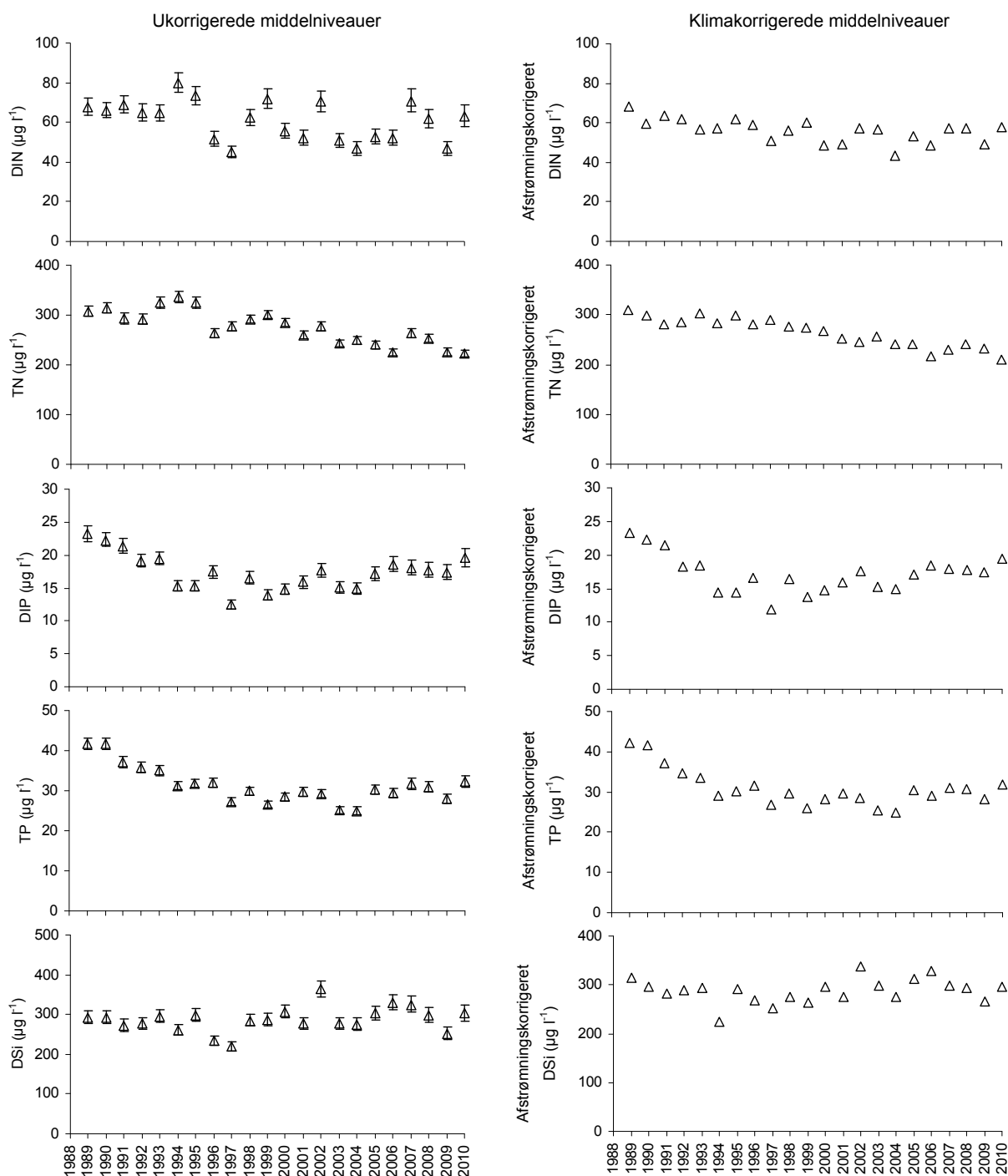
Udviklingen i forholdet mellem DIN og DIP i overfladevandet i de åbne farvande har været langt mindre systematisk end for fjorde og kystnære områder, dog kendetegnet ved høje værdier i afstrømningsrige år og tendens til stabilisering omkring et forhold lige under 4:1 (*figur 5.3A*). N/P-forholdet i 2010 var dog det højeste siden 2000.

De faldende koncentrationer af næringssalte i vandet har resulteret i stigende potentiel næringssaltbegrænsning (*figur 5.4*). Væksten af planteplankton har siden 2001 været potentielt begrænset af kvælstof i > 90 % af den produktive periode. Den potentielle fosforbegrænsning er steget de seneste tre år og var i 2010 på samme niveau som i perioden 1994-2004, hvor den potentielle fosforbegrænsning var højest (86 % af den produktive periode).

Der er 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. Selv om fosforkoncentrationerne faldt i starten af 1990'erne, så er der ingen udvikling for DIP set over hele perioden. Således er den potentielle begrænsning af algevæksten kun signifikant stigende for kvælstof.

Udvikling i bundvand i de åbne indre farvande

TN-koncentrationerne i 2010 var de laveste hidtil, hvorimod DIN-koncentrationerne var sammenlignelig med middelværdien for hele perioden (*figur 5.5*). Således er TN-niveauet faldet fra > $300 \mu\text{g l}^{-1}$ i starten af perioden til ca. $220 \mu\text{g l}^{-1}$ i de seneste par år. DIN-niveauet har ligget stabilt mellem 50 og $70 \mu\text{g l}^{-1}$ det meste af perioden, men var i 2010 relativt højt sammenlignet med de senere år og i forhold til afstrømningen, hvilket formentlig skyldes indtrængning af tungt bundvand fra Skagerrak med høje DIN-koncentrationer (se ovenfor) og måske en større sedimentation og remineralisering af kiselalger efter forårsopblomstringen.



Figur 5.5. Årsmiddelkoncentrationer af DIN, TN, DIP, TP og DSI i bundvandet (≥ 15 m) for de indre farvande (figurer i venstre kolonne) og tilsvarende koncentrationer korrigeret for variationer i afstrømning (figurer i højre kolonne). Middeldkoncentrationerne er afbildet med angivelse af 95 % konfidensgrænser.

DIP-koncentrationerne faldt frem til 1997 til et niveau omkring $13 \mu\text{g l}^{-1}$, hvorefter der har været en stigende tendens til omkring $19 \mu\text{g l}^{-1}$, og niveauet i 2010 var det højeste siden 1991. Disse høje koncentrationer kan skyldes generelt dårlige iltforhold i perioden, øgede DIP-koncentrationer i Østersøen og en større sedimentation og remineralisering af forårsopblomstringen. TP-koncentrationen i 2010 var den højeste siden 1993, og der har været en stigende tendens det seneste årti fra 27 til $32 \mu\text{g P l}^{-1}$, efter at TP-niveauet faldt ca. 30 % fra 1989 til 2000.

Der har ikke været nogen generel tendens for DSi for hele perioden som helhed, hvor niveauet har ligget omkring $290 \mu\text{g l}^{-1}$. Niveauet i 2010 var lidt højere end normalt men inden for den normale variationsbredde. Den højere koncentration af DSi i bundvandet i 2010 kan, tilsvarende DIN og DIP, hænge sammen med en større opblomstring af kiselalger i 2010, som har medført en øget sedimentation og efterfølgende remineralisering af DSi.

Forholdet mellem DIN og DIP har været stigende frem til 1999 og derefter faldende, og i 2010 var forholdet på niveau med de senere år (*figur 5.3B*).

Koncentrationerne af TN og TP er faldet signifikant gennem hele perioden, både uden og med afstrømningskorrektur ($P < 0,05$). Derimod medførte det relativt høje DIN-niveau i 2010, at der kun var et signifikant fald for de afstrømningskorrigerede DIN-koncentrationer.

Sammenfatning

- Koncentrationerne af næringssalte i 2010 var generelt relativt lave, specielt for kvælstof. En forholdsvis stor afstrømning fra land i november betød, at næringssaltkoncentrationerne ved årets slutning var på niveau med tidligere år.
- Der var et ekstraordinært stort optag af alle de uorganiske næringssalte i forbindelse med forårsopblomstringen af kiselalger. I de åbne farvande har dette formentlig medført en relativ stor sedimentation af partikulært organisk materiale, hvilket efterfølgende har beriget bundvandet med uorganiske næringssalte.
- Indtrængende bundvand fra Skagerrak i 2010 med høj salinitet og et højt DIN-niveau kunne spores i Kattegat, Øresund og Storebælt helt frem til september. Til gengæld var der ingen synlig påvirkning i de åbne indre farvande af vandmasser fra Den jyske Kyststrøm.
- Kvælstof- og fosforkoncentrationerne har udvist 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 efter 1997 og et mindre fald for kvælstof siden 2002.
- De aftagende næringssaltkoncentrationer tilskrives i stor udstrækning spildevandsrensning af fosfor (Vandmiljøplan I) og en reduktion i landbrugets kvælstofoverskud (hovedsageligt Handlingsplan for Bæredygtigt Landbrug og Vandmiljøplan II). 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. Eksempelvis er DIN-niveauet i vandmasserne fra Den jyske Kyststrøm reduceret væsentligt gennem årene pga. reducerede tilførsler fra de centraleuropæiske floder.
- Uorganisk fosfor- og siliciumkoncentrationer i bundvandet i de indre danske farvande er steget de senere år, hvilket skyldes øget kvælstofbegrænsning og frigivelse fra sedimenterne, foruden ændrede forhold mellem næringssaltene i Østersøen og sandsynligvis også i Nordsøen.
- Den potentielle kvælstof- og fosforbegrænsning var høj i 2010 for både fjorde, kystnære områder og åbne farvande.

6 Pelagisk produktion og sigtgybde

Peter Henriksen, Lars Mølgaard Storm, Jacob Carstensen & Eva Friis Møller

Introduktion

Planteplankton består af små fritsvævende alger, som er det første led i den pelagiske fødekæde. 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 eller udelukkende som 'dyr' ved at æde andre organismer. Planteplankton er kendetegnede ved en meget kort generationstid. Derfor reagerer disse organismer meget hurtigt på forhold, der påvirker deres vækst, fx ændrede tilførsler af næringssalte og lysindstråling. Primærproduktionen i de frie vandmasser er et mål for planteplanktonets vækst, og vandets koncentration af klorofyl *a*, det grønne farvestof i grønkornene, benyttes som en indikator for den samlede mængde af planteplankton. Mængden af planteplankton i vandet påvirker vandets klarhed og dermed mere generelt miljøtilstanden i havmiljøet.

Kiselalger og furealger (dinoflagellater) er de dominerende algegrupper i de fleste danske fjorde og åbne farvande. Udsynkning af furealger og især kiselalger fra overfladevandet forsyner bundlevende dyr med betydelige mængder af organisk materiale.

Nogle arter af planteplankton producerer giftstoffer, der kan akkumuleres i skal-dyr og kan derigennem potentielt forgifte mennesker, der spiser fx muslinger. Andre giftstoffer har en direkte effekt på andre organismer i det akvatiske miljø.

Vandets klarhed (sigtgybde), mængden af planteplankton i vandet (klorofyl) og algevæksten (primærproduktion) benyttes til at beskrive miljøtilstanden i marine områder. Disse parametre er forbundet, idet en høj primærproduktion ofte medfører en høj klorofylkoncentration og en reduceret sigtgybde. Således kan data for klorofyl hhv. sigtgybde betragtes som afledte effekter af primærproduktion. Dette forsimplede system beskriver dog ikke tabsprocesser såsom fx græsning fra dyreplankton og muslinger. Alle tre parametre påvirkes af variationer i næringssalttilførslen, som igen er relateret direkte til ferskvandsafstrømning (se *kapitel 3*).

I fjorde og kystnære områder vil bundlevende organismer som fx blåmuslinger filtrere en betydelig del af planteplanktonet. I de åbne farvande og i områder med lagdeling vil dyreplankton være 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 og 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, og en stor del vil derfor 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 opnå den højeste biomasse i denne periode. Om sommeren når vandloppebestanden når sit maksimum, og planteplanktonbiomassen samtidig er relativ lav, vil vandloppernes prædation på de encellede dyreplankton være betydelig.

Dyreplankton er et vigtigt led i økosystemet, idet de kobler primærproducenterne 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 væksten, primært temperatur og fødekonzentration, og af tabet på grund af rovdyr.

Data fra den nye fælles database for overfladevandsdata, ODA, og den nationale marine database, MADS (inkl. svenske data for alle måneder i løbet af året fra SMHI), er benyttet til at beskrive udviklingen fra 1989 og frem til og med 2010. Til beskrivelsen af sigtdybde, klorofyl, primærproduktion og dyreplankton er benyttet samme metode til indeksering, som er brugt i forbindelse med beskrivelsen af næringssaltkoncentrationer, hvor årsmidler er blevet beregnet med en tresidet variansanalyse for hhv. fjorde, kystvande og åbne farvande (*Bilag 1*). Beskrivelserne af udviklingen i kiselalgebiomassen er baseret på en anden type indeksering, beskrevet i Bilag 1. Relationen mellem parametrene og afstrømningen blev undersøgt og benyttet til at korrigere for klimaet i de enkelte år, og udviklingen over årene blev analyseret vha. Kendalls τ -test (*Ærtebjerg m.fl. 2005*). Metoden indrager således ikke andre klimatiske forklaringsvariable.

Sigtdybde, klorofyl og primærproduktion 1989-2010

For hele perioden 1989-2010 har sigtdybden ikke ændret sig signifikant. Dette gælder både med og uden klimakorrektion for afstrømning. Klimakorrigeret middelsigtdybde for perioden var hhv. 7,3 m for de åbne farvande og 4,2 m i fjordene inkl. de kystnære områder (*figur 6.1A og B*).

Den gennemsnitlige klimakorrigerede sigtdybde for 2010 var 6,8 m i de åbne farvande og 4,2 m for fjordene, hvilket er en forringelse i forhold til værdierne for 2009 på under 10 cm for hhv. de åbne farvande og fjordene. Den klimakorrigerede sigtdybde har været signifikant faldende siden 2001 ($P < 0,05$) i begge farvandstyper.

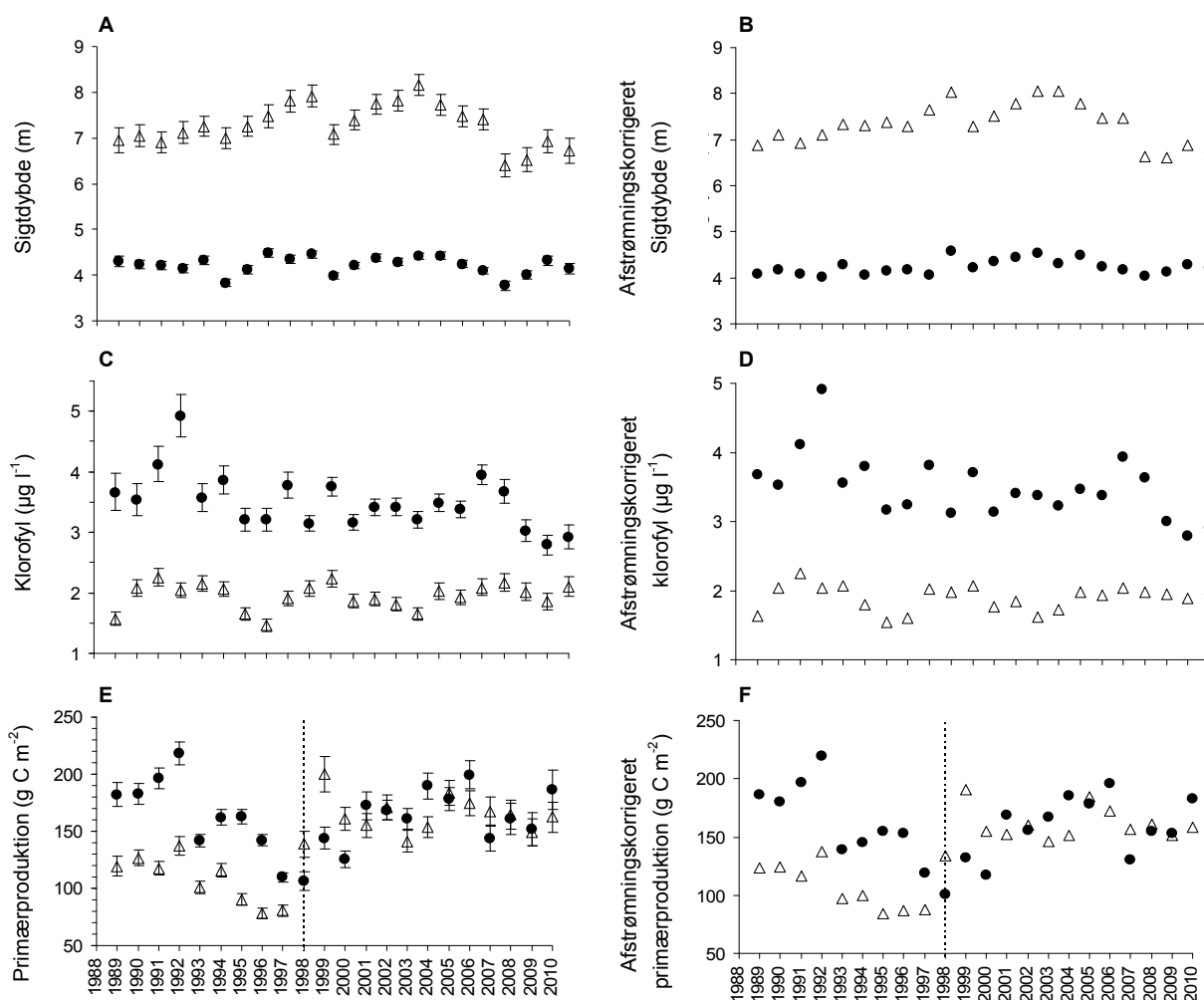
Klorofylkoncentrationerne i de åbne farvande har hidtil ligget tilsvarende jævnt fordelt over årene uden signifikante tendenser for klimakorrigerede værdier. For de åbne farvande var middelkoncentrationen lige over $1,9 \mu\text{g l}^{-1}$ igennem hele perioden 1989-2010, og for 2010 var middelkoncentrationen $2,1 \mu\text{g l}^{-1}$ (*figur 6.1C og D*).

I 2010 steg koncentrationen af klorofyl i fjordene til $2,9 \mu\text{g l}^{-1}$, som er $0,1 \mu\text{g l}^{-1}$ mere end koncentrationen i 2009. Trods denne mindre stigning er der stadig et signifikant fald i den klimakorrigerede klorofylkoncentration ($P < 0,05$) for fjordene set over hele perioden, hvor middelkoncentrationen af de klimakorrigerede værdier fra 1989-2010 var $3,5 \mu\text{g l}^{-1}$.

Primærproduktionsdata er endnu ikke sikret i et fælles fagsystem, som fx vandkemidata. De analyserede data er dem, der er indberettet til MADS-databasen gennem årene. I 1998 blev beregningsmetoden ændret, og det har senere vist sig at have betydning for resultatet, som ligger på et højere niveau end tidligere (*Ærtebjerg 2007*). Det er ikke muligt at genberegne data før 1998, og derfor beskrives kun forløbet fra 1998-2010.

Primærproduktionen har siden 1998 vist en svagt stigende tendens indtil 2007, som blev efterfulgt af et par år med lave værdier, mens værdien for 2010 igen ligger i den høje ende – især for fjordene og de kystnære områder (*figur 6.1E og F*). Den gennemsnitlige primærproduktion for denne i alt 13-årige periode var hhv. $163 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ og $161 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ i de åbne farvande og fjordene.

For de åbne farvande lå den klimakorrigerede primærproduktion i 2010 på $163 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$, hvilket var ca. $12 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ højere end i 2009. I fjordene var den årlige klimakorrigerede primærproduktion i 2010 på $187 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$, og dette var en forøgelse på ca. $35 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ i forhold til 2009. Derved lå primærproduktionen i 2010 en del over den gennemsnitlige produktion for hele perioden i fjordene, mens produktionen i de åbne farvande lå tæt på gennemsnittet.

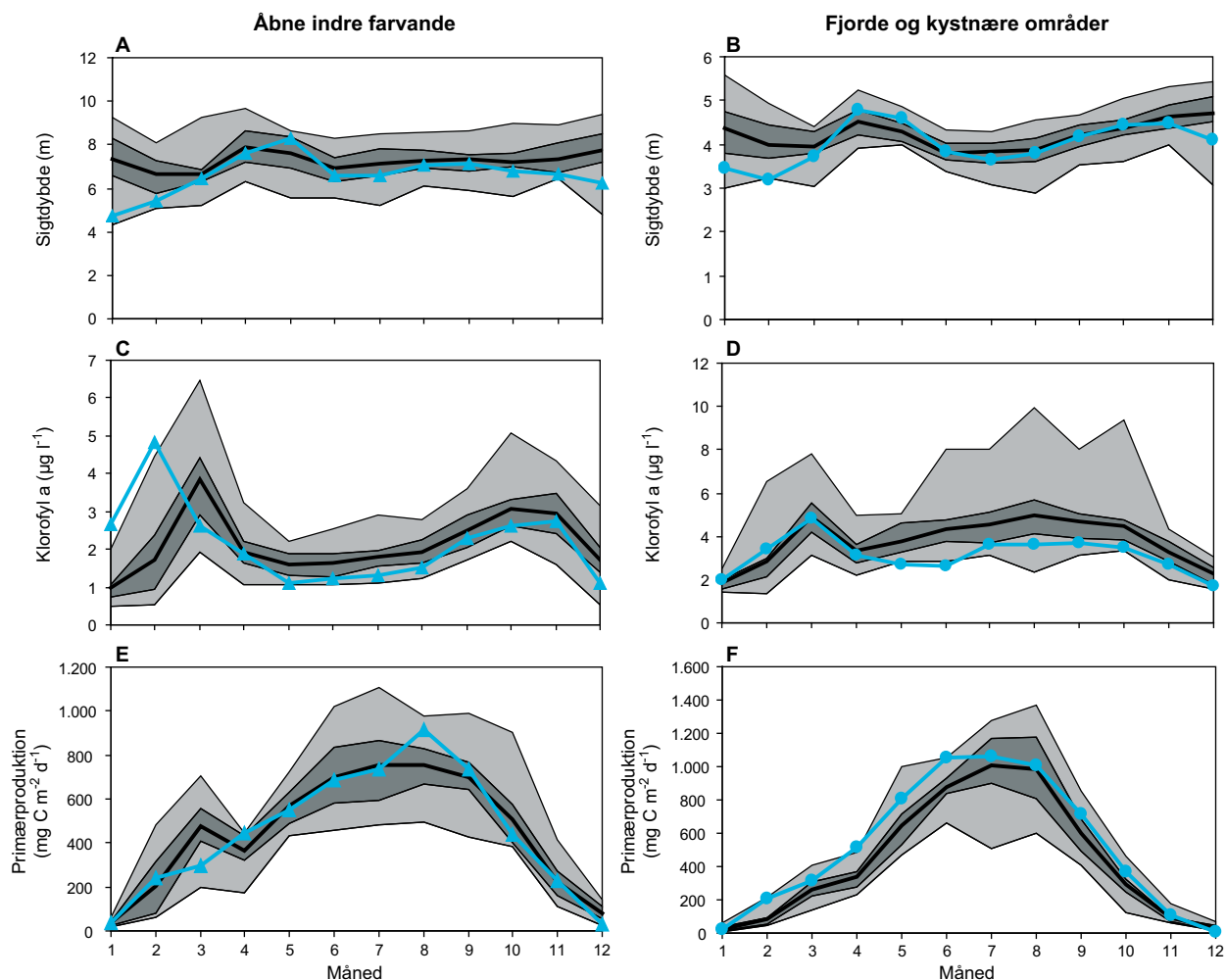


Figur 6.1. Udviklingen af årlige gennemsnitlige værdier for de åbne indre farvande (Δ) og for fjorde/kystvande ($\bullet$). Observerede værdier $\pm$ 95 % konfidensintervaller (A+C+E) og afstrømningskorrigerede værdier (B+D+F) for sigtdybde, klorofylkoncentration og primærproduktion. Stiplet linje ved primærproduktion angiver starten af den periode, som er inkluderet i analysen af sæsonudviklingen.

Udviklingen i sigtdybde, klorofyl og primærproduktion i 2010

Sæsonfordelingen i løbet af 2010 fulgte nogenlunde udviklingen over året, som det har forløbet siden 1989, men var også på flere måder usædvanlig både med hensyn til niveauet og timingen (*figur 6.2*).

For sigtdybde startede året i de to første måneder med lave værdier, hvorefter sigtdybden steg til et niveau tæt på langtidsgennemsnittet (*figur 6.2A og B*). Denne forbedring af sigtdybden kommer normalt som en følge af afslutningen på forårsopblomstringen. I fjordene toppede forårsopblomstringen i 2010 i marts, men alligevel var sigtdybden stigende allerede fra marts og frem til april med en maksimal gennemsnitlig sigtdybde på 4,8 m.



Figur 6.2. Udviklingen af sæson-middelværdier for 2010 (blå kurve) for de åbne indre farvande ($\blacktriangle$ A+C+E) og for fjorde/kystvande ($\bullet$ B+D+F) samt langtidsmiddelværdier for perioden 1989-2009 (sort kurve). Lysegrå skravering: minimum- og maksimumværdier (1989-2009). Mørkegrå skravering: 25 % fraktil og 75 % fraktil. For primærproduktion er langtidsmidlen beregnet for perioden 1998-2009.

I de åbne farvande fortsatte sigtdybde med at stige, indtil den toppede i maj måned med 8,3 m. Derefter lå sigtdybden tæt på langtidsgennemsnittet hen til sent på efteråret, hvorefter sigtdybden var en del under langtidsgennemsnittet især i fjordene.

Klorofylkoncentrationen i de åbne farvande var usædvanlig høj både i januar og februar pga. en tidlig forårsopblomstring. Herefter fulgte udviklingen stort set mønstret for et normalt år men på et niveau, der lå ca. $0,5 \mu\text{g l}^{-1}$ under langtidsgennemsnittet (figur 6.2C).

I fjordene og de kystnære områder var der som normalt en top i marts i forbindelse med forårsopblomstringen, hvorefter niveauet resten af året var mere end $1 \mu\text{g l}^{-1}$ under den gennemsnitlige koncentration (figur 6.2D). Specielt i maj og juni, hvor der kun var ca. $2,6 \mu\text{g l}^{-1}$, hvilket er den hidtil lavest registrerede værdi i fjordene på denne tid af året.

Primærproduktionen udviklede sig næsten som forventet i de åbne farvande med en lidt lavere værdi end normalt i marts efter forårsopblomstringen. Herefter fulgte produktionen normalniveauet resten af året kun afbrudt af et maksimum i august efterfulgt af et fald frem til december (figur 6.2E og F).

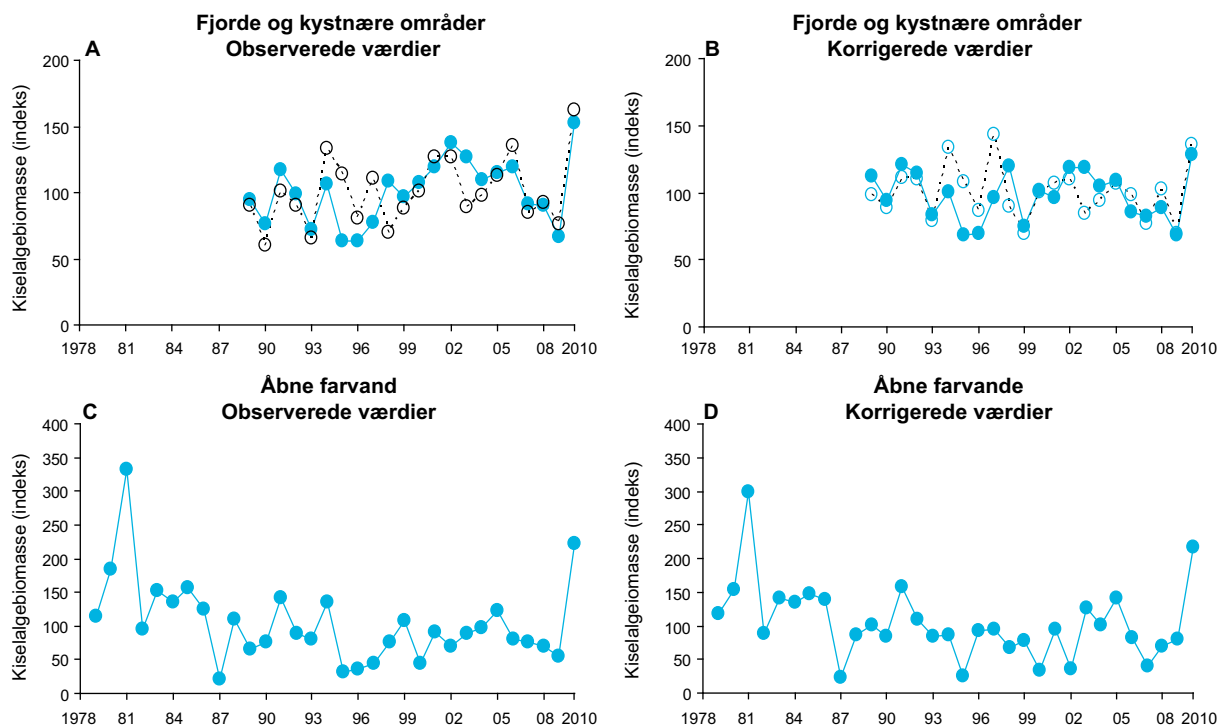
I fjordene og de kystnære områder fulgte primærproduktionen i 2010 den normale sæsonudvikling, dog med et lidt højere niveau. Maksimumværdien for året blev opnået i juni og lå $170 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ over normalniveauet for denne måned. Toppen i primærproduktionen lå lidt tidligere end normalt og faldt sammen med den usædvanlig lave klorofylkoncentration på denne tid.

Biomasse af kiselalger

Udviklingen i klorofylkoncentrationen kan tages som et mål for udviklingen i den samlede biomasse af planteplankton, men viser ikke noget om algesammensætningen. I det følgende beskrives derfor udviklingen i den dominerende gruppe af planteplankton: kiselalger.

Betragtes samtlige fjorde og kystnære områder under ét har biomassen af kiselalger siden 1989 varieret fra år til år uden en signifikant tendens til stigning eller fald (*figur 6.3A og B*; Ringkøbing Fjord er udeladt fra sammenstillingen, da der midt i 1990'erne skete et markant strukturskifte i fjorden som følge af ændret slusepraksis). I perioden fra 2002 til 2009 har der dog været en tendens til faldende biomasser, mens biomassen i 2010 steg til den højeste værdi siden 1989.

I fjorde og kystområder hang kiselalgebiomassen i perioden 1989-2010 signifikant ($P < 0,01$) sammen med afstrømningen og middelvindhastigheden. Kiselalgebiomassen kunne derfor forklares med afstrømningen (positiv sammenhæng) og vind (negativ sammenhæng). Efter korrektion af biomasseindekset for klimatiske variationer (afstrømning og vindhastighed) viste kiselalgeindekserne stadig år til år variationer uden overordnet tendens til fald eller stigning siden 1989 (*figur 6.3B*). Korrektionen af kiselalgebiomassen for klimatiske forhold efterlod dog stadig biomassen i 2010 som den højeste siden 1989.



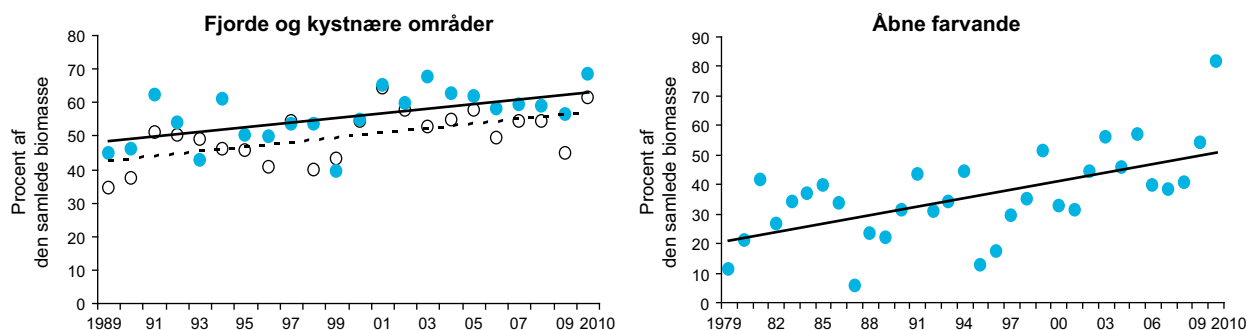
Figur 6.3. Udviklingen i årlige biomasse af kiselalger i fjorde og kystnære områder (A og B) og på havstationer i de åbne indre farvande (C og D). For fjorde og kystnære områder er der i A vist indeks for alle fjorde minus Ringkøbing Fjord (= åbne symboler) samt for østjyske fjorde og kystnære områder (lukkede symboler). Biomassen er beskrevet ved et indeks, der tager højde for forskelle i biomasseniveauer imellem stationer (se *Bilag 1*). Figureerne A og C viser udviklingen i biomasseindeks, og figureerne B og D viser de tilsvarende indeks korrigeret for klimatiske variationer.

I de åbne farvande er biomassen af kiselalger faldet fra 1979 til 2009 (*figur 6.3C*). Mest markant var faldet i perioden indtil midt i 1980'erne. Biomassen af kiselalger har siden 1979 korreleret med afstrømningen ($P < 0,05$). Det tidligere signifikante fald i både den observerede og den klimakorrigerede kiselalgebiomasse (*figur 6.3D*) blev i 2010 afbrudt af usædvanligt høje biomasser. Den samlede tendens gennem hele overvågningsperioden er derfor ikke længere signifikant ($P = 0,06$ for den observerede biomasse og $P = 0,09$ for de korrigerede biomasser).

Den høje biomasse af kiselalger i 2010 skyldes især en meget markant og tidlig forårsopblomstring, der domineredes af *Thalassiosira nordenskioeldii* i februar og de store *Rhizosolenia*-arter *R. setigera* og *R. hebetata* i marts-april samt markante sommeropblomstringer af *Rhizosolenia fragilissima* og *Cerataulina pelagica* i juni-juli i flere fjorde. Disse forhold afspejler sæsonvariationerne i klorofyl, som steg markant fra januar til marts og i mindre grad fra juni til juli (*figur 6.2*). Sommer-sensommer opblomstringerne i fjordene og de kystnære områder forventes af have et lavere klorofylindhold end forårsopblomstringen pga. den højere lysindstråling og deraf følgende mindre behov for klorofyl.

Selvom der set over hele overvågningsperioden både i de åbne farvande, fjordene og de kystnære områder har været en sammenhæng mellem biomassen af kiselalger og afstrømningen, kan afstrømningen i 2010 ikke forklare den usædvanligt høje biomasse. Klimatisk adskilte 2010 sig fra normalen (1960-1991) ved, at der i januar-februar overvejende var vind fra østlig retning og meget få dage med kraftige vindhændelser (se *kapitel 2*). Det er muligt, at disse forhold har været medvirkende til en meget tidlig stabilisering af vandsøjlen og igangsættelse af forårsopblomstringen, der blev helt domineret af kiselalger. Den samlede planteplanktonbiomasse adskilte sig i 2010 ikke lige så markant fra de tidligere år som biomassen af kiselalger.

Der er igennem overvågningsperioden sket ændringer i sammensætningen af planteplankton. Kiselalgernes bidrag til den samlede biomasse af planteplankton har varieret fra år til år (specielt i de åbne farvande) men været signifikant stigende i alle områder (*figur 6.4*). Denne ændring i sammensætning kan have betydning for de dyreplanktonorganismer, der æder 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 planteplankton i højere grad ædes af små encellede dyreplanktonorganismer.



Figur 6.4. Udviklingen i kiselalgers procentvis bidrag til den samlede planktonalgebiomasse (årsbiomasse) i fjorde og på havstationer i de åbne indre farvande. For fjorde og kystnære områder er udviklingen siden 1989 vist for alle fjorde minus Ringkøbing Fjord (= åbne symboler og stiplede linje) samt for østjyske fjorde og kystnære områder (lukkede symboler og fuldt optrukket linje).

Forekomst af potentielt toksiske arter i 2010

Der var generelt kun beskedne forekomster af potentielt toksiske arter i 2010. De potentielt fisketoksiske stilkalger *Chrysochromulina* spp. blev registreret i koncentrationer > 1 mio. celler l^{-1} på en række stationer i perioden fra marts til juni og igen i august-september. De største forekomster var på 5,9 og 4,6 mio. celler l^{-1} i hhv. Ringkøbing Fjord i maj og Mariager Fjord i juni.

Furealger af slægten *Dinophysis*, der er kendt for at producere toksiner, som via opkoncentrering i muslinger kan forårsage diarréfremkaldende skaldyrsforgiftning, blev fundet i mange områder, men på de fleste tidspunkter i koncentrationer lavere end grænseværdierne, der anvendes i muslingefiskeriet (500 og 1.000 celler l^{-1} af hhv. *D. acuminata* og *D. norvegica*). De højeste koncentrationer af *D. acuminata* var 7.400 celler l^{-1} i Præstø Fjord i november og 5.640 celler l^{-1} ved Sønder Ho øst i august. *D. norvegica* blev fundet i koncentrationer op til 5.700 celler l^{-1} i Aarhus Bugt i juli og 2.500 celler l^{-1} i Ålborg Bugt i juni.

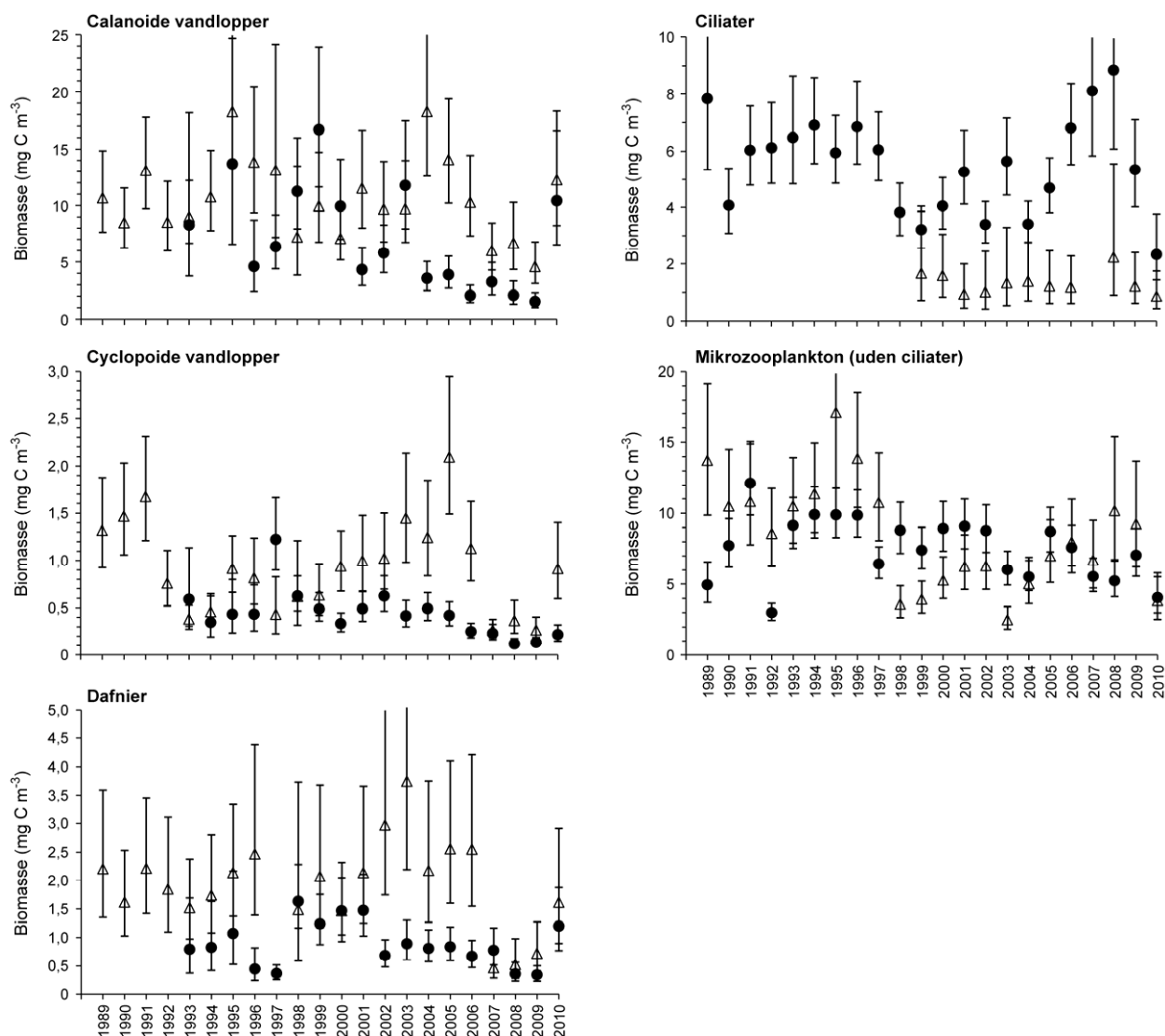
Dyreplankton 1989 til 2010

De flercellede dyreplankton domineres generelt af vandlopper af ordnerne Cyclopoida og Calanoida samt af dafnier. Larveplankton kan til tider specielt i lavvandede områder være talrige, men deres tilstedeværelse er meget varierende og derfor mindre velegnet til at beskrive den tidslige udvikling.

De calanoide vandlopper er de mest almindelige vandlopper både i fjorde og kystnære områder og i de åbne indre farvande (figur 6.5), hvor sommerbiomassen (maj-okt.) i gennemsnit er omkring 10 mg C m^{-3} . De cyclopide vandlopper udgør i gennemsnit under 1 mg C m^{-3} i samme områder, og dafnierne 1 og 2 mg C m^{-3} i hhv. kystnære områder og åbne farvande. Den total dyreplanktonbiomasse er kun opgjort i de åbne danske farvande fra 1998 og udgør her i gennemsnit 19 mg C m^{-3} i forhold til 33 mg C m^{-3} i fjordene og de kystnære områder.

De encellede dyreplankton (mikrozooplankton) består af ciliater og af en række andre grupper blandt andet de relativt store heterotrofe furealger (20-100 μm) og en række mindre flagellater. Generelt er den samlede biomasse højest i de kystnære områder, hvor biomassen om sommeren i gennemsnit er omkring 13 mg C m^{-3} i forhold til omkring 10 mg C m^{-3} i de åbne indre farvande. Ciliater udgør i gennemsnit 40 % af de encellede dyreplankton i de kystnære områder, mens andelen i de åbne farvande er 13 %.

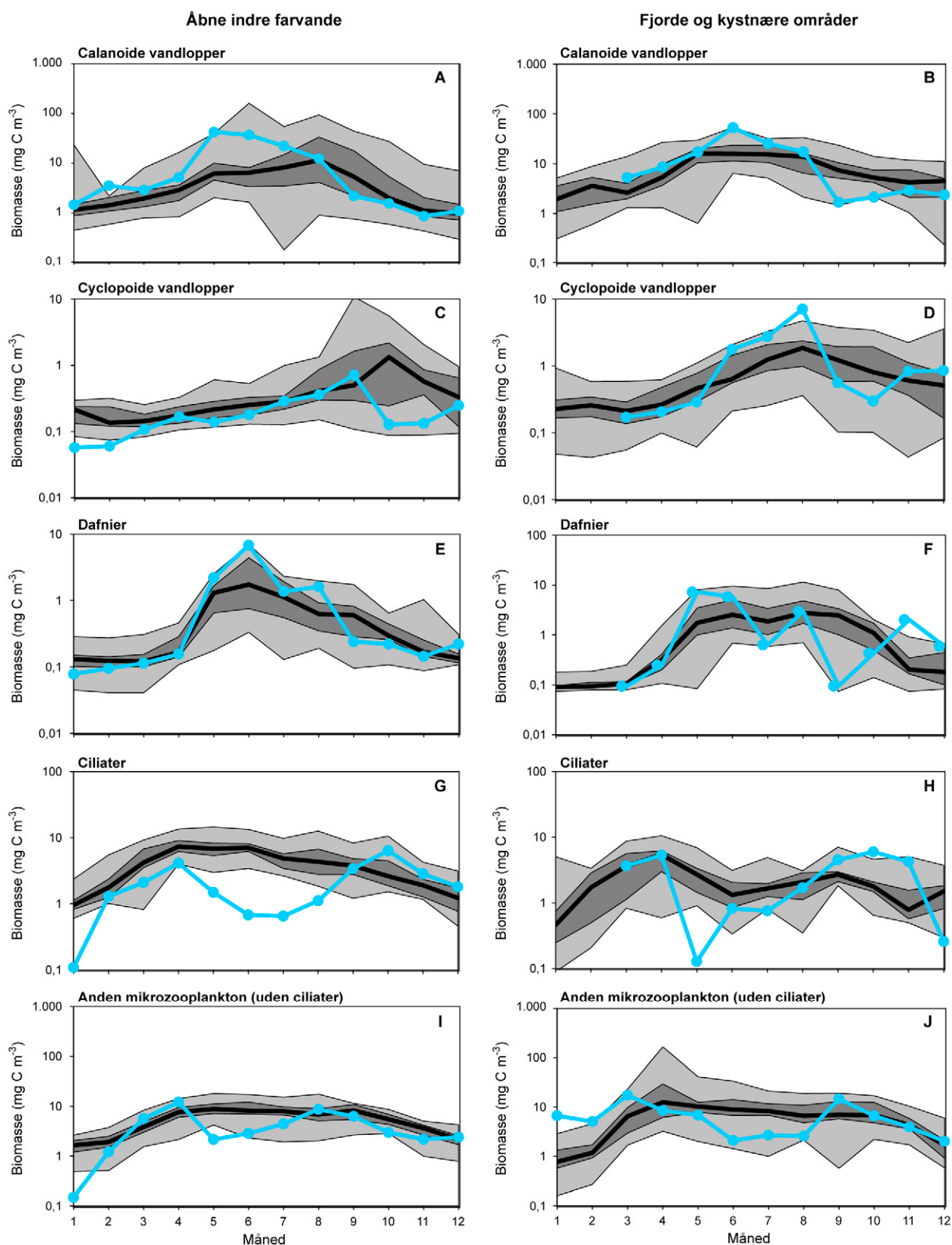
I fjorde og kystnære områder er der i perioden 1989-2010 sket et signifikant fald i biomassen af calanoide og cyclopoide vandlopper, dafnier og mikrozooplankton undtagen ciliater (figur 6.5). Dette falder sammen med et fald i fødegrundlaget målt som klorofyl (figur 6.1). I de åbne farvande er der ikke sket nogen signifikant udvikling. Det kan dog bemærkes, at niveauerne af både de calanoide og de cyclopoide vandlopper og dafnier var usædvanligt lave i 2007-2009, mens de i 2010 lå på niveau med årene før 2007.



Figur 6.5. Udviklingen af gennemsnitlige værdier for de åbne indre farvande (Δ) og for fjorde og kystnære områder ($\bullet$). Observerede værdier $\pm$ 95 % konfidensintervaller for calanoide vandlopper, cyclopoide vandlopper, dafnier, ciliater og andre mikrozooplankton.

Dyreplankton i 2010

Sæsonudvikling i dyreplanktonet i 2010 adskilte sig fra et gennemsnitligt år ved at have høje sommerbiomasser af calanoide vandlopper og dafnier i både kystnære områder og åbne farvande (figur 6.6A, B, E, F). På åbenvandstationerne var også biomassen af cyclopoide vandlopper usædvanlig høj (figur 6.6D). Ydermere lå sommertoppen i biomasse for de calanoide vandlopper tidligt i 2010 i forhold til et gennemsnitligt år. De høje sommerbiomasser af de flercellede dyreplankton har pga. deres græsning formodentlig været medvirkende til, at sommerbiomassen af de encellede dyreplankton var usædvanlig lav i både kystnære områder og åbne farvande (figur 6.6G, H, I, J).



Figur 6.6. Udviklingen af sæson-middelværdier af calanoide vandlopper, cyclopoide vandlopper, dafnier, ciliater og andre mikrozooplankton i 2010 (blå kurve) for de åbne indre farvande (A+C+E+G+I) og for fjorde (B+D+F+H+J) samt langtidsmiddelværdier for perioden 1989-2009 (sort kurve). Lysegrå skravering: minimum- og maksimumværdier (1989-2009). Mørkegrå skravering: 25 % fraktil og 75 % fraktil (1989-2008). Bemærk logaritmiske skala.

Sammenfatning

- Den klimakorrigerede sigtdybde har været signifikant faldende siden 2001 i begge farvandstyper og lå i 2010 ca. 10 cm under sidste års niveau.
- Sigtdybden i de åbne farvande startede i 2010 med meget lave værdier i de to første måneder, og herefter fortsatte sigtdybden med at stige indtil den toppede i maj måned på 8,3 m.
- I 2010 steg koncentrationen af klorofyl i fjordene til et lidt højere niveau end i 2009. Trods denne mindre stigning har der stadig været et signifikant fald i den klimakorrigerede klorofylkoncentration for fjordene set over hele perioden.
- Klorofylkoncentrationen i de åbne farvande var usædvanligt høj både i januar og februar. Den tidlige top i februar omkring forårsopblomstringen var domineret af kiselalgerne *Thalassiosira nordenskiöldii* og efterfølgende de store *Rhizosolenia*-arter *R. setigera* og *R. hebetata*. Herefter fulgte udviklingen stort set mønstret for et normalt år, men på et klorofylniveau, der lå noget under langtidsgennemsnittet.
- I fjordene lå klorofylkoncentrationen efter marts ofte en del under den gennemsnitlige koncentration i perioden 1989-2009. Specielt i maj og juni, hvor der blev registreret den hidtil laveste målte koncentration i fjordene på denne tid af året.
- Primærproduktionen nåede i juni måned en maksimumværdi for året i fjordene, der lå $170 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ over normalniveauet. Dette er lidt tidligere end normalt og faldt sammen med den usædvanlig lave klorofylkoncentration på denne tid.
- Kiselalgernes bidrag til den samlede biomasse af planteplankton var i 2010 det højeste registreret i overvågningsperioden. De høje bidrag skyldtes specielt en kraftig forårsopblomstring af kiselalger i de åbne farvande samt sommersommer opblomstringer i fjordene og de kystnære områder.
- Der var generelt kun beskedne forekomster af potentielt toksiske alger i 2010. Dog blev der registreret høje koncentrationer af de potentielt fisketoksiske stilkalger og enkelte tilfælde af toksinproducerende furealger i koncentrationer over grænseværdien for muslingefiskeriet.
- Sommerbiomassen af flercellet dyreplankton var usædvanligt høj i 2010. Dette skyldtes primært høje biomasser af calanoide vandlopper i maj og juni. Derimod var sommerbiomassen af encellet dyreplankton lavere end i et gennemsnitligt år.

7 Iltforhold

Morten Hjorth & Jacob Carstensen

Faldende iltkoncentrationer ved havbunden skyldes delvist eutrofiering (øget næringssalttilførsel), som leder til øget produktion af planteplankton. Når denne produktion synker til bunds og omsættes mikrobielt, stiger iltforbruget, hvorved der kan udvikles iltvind ved bunden. Iltvind er defineret som en koncentration af ilt i vandet i intervallet $< 4 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, og der er tale om kraftigt iltvind, når koncentrationen er $< 2 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$. Omsætningen af planteplankton øges ved stigende temperatur i bundvandet, hvorfor iltvind typisk optræder sensommer og efterår, når bundvandet er opvarmet. Det betyder også, at klimabetinget temperaturstigning øger risikoen for iltvind. Iltvind forringer livsbetingelserne for bunddyr og bundlevende fisk. Iltkoncentrationen kan dog ikke alene relateres til mængden af tilførte næringssalte, da den aktuelle iltkoncentration er et resultat af både iltforbrug og ilttilførsel til vandet. Ilttilførslen til overfladevandet kommer primært fra luften og afhænger af de meteorologiske og hydrografiske forhold, især af vindens styrke og retning, som også er afgørende for nedblandingen af iltigt overfladevand til bunden. Bidraget fra eutrofiering til udviklingen i iltforholdene kan derfor kun vurderes ud fra analyser af lange tidsserier eller ved modelberegninger, hvor der tages højde for variationerne i ilttilførslen.

Middelkoncentrationen af ilt i lagdelte fjorde og kystvande (densitetsforskel mellem overfladelag og bundlag, $\Delta\sigma_T > 0,5$) er signifikant negativt korreleret med den samlede kvælstoftilførsel (TN) fra land i perioden fra juli året før til juni samme år og signifikant positivt korreleret med vindstyrken i juli til september samme år. Øget TN-tilførsel og svage vinde leder således til sænkede iltkoncentrationer. Vindstyrke og TN-tilførsel forklarer tilsammen 52 % af år til år variationen i iltkoncentrationen (*Conley m.fl. 2007*). I de åbne farvande er middelkoncentrationen af ilt under lagdelte forhold ($\Delta\sigma_T > 1,0$) i juli-november ligeledes signifikant negativt korreleret med TN-tilførslen fra land fra juli året før til juni samme år. Der er en signifikant positiv korrelation mellem iltkoncentrationer i bundvand og indstrømning af bundvand fra Storebælt til Femern Bælt i maj-september. Ydermere er der en signifikant negativ korrelation mellem middelkoncentrationen af ilt og temperaturen i det indstrømmende vand fra Skagerrak i januar-april samme år. Tilsammen forklarer de tre variable 49 % af år til år variationen i iltkoncentrationen i de åbne indre farvande (*Conley m.fl. 2007*).

Året 2010

Som helhed bidrog de klimatiske forhold til, at iltforholdene var relativt gode i de danske farvande i 2010.

Forholdsvis blæsende vejr i den typiske iltvindperiode (sensommer og efterår) og usædvanligt lave temperaturer (ca. 1°C lavere end de senere år (se *kapitel 2*)) betød overordnet set relativt gode iltforhold i 2010. Dog var året kendetegnet ved, at iltvind i flere områder opstod usædvanlig tidligt.

Begyndelsen af året var præget af isdækkede farvande, svage vinde og lav nedbør. Det førte til iltvindshændelser allerede tidligt på året og skabte formodentlig et iltunderskud i bundvandet i flere områder. Den lave nedbør fortsatte igennem foråret dog med regionale forskelle, mens der faldt en del regn i løbet af sommeren, især i august. Lufttemperaturerne lå generelt omkring normalen i løbet af året, dog med højere temperaturer i juli, som sammen med stille vejr i juni-juli førte til de intensive iltvindshændelser.

I juli og august var store områder i de danske farvande hårdt ramt af iltsvind. *Figur 7.7* viser de stationer, der blev besøgt i august og september og omfanget af iltsvind, der blev målt på stationerne. Flere steder var der kraftigt iltsvind og deraf følgende udvikling af giftig svovlbrinte. Limfjorden, det sydlige Lillebælt med fjorde og det Sydfynske Øhav var særligt berørte områder. Især det sydvestlige Bælt-hav var præget af iltsvind i flere måneder i træk. Sensommeren og efteråret havde periodevis noget mere blæsende vejr, som fik sat bundvandet i bevægelse, og i september var det totale område med iltsvind markant reduceret i forhold til foregående år. I løbet af efteråret blev iltsvindsarealet i visse områder reduceret, mens nye iltsvindsområder opstod i andre områder, idet perioderne med stærk vind ikke varede længe nok til helt at fjerne iltsvindet før i oktober-november. Indtil da forsvandt og opstod der nye iltsvindsområder flere steder i de lagdelte vandmasser, idet iltfattigt bundvand blev flyttet rundt af vind og strøm.

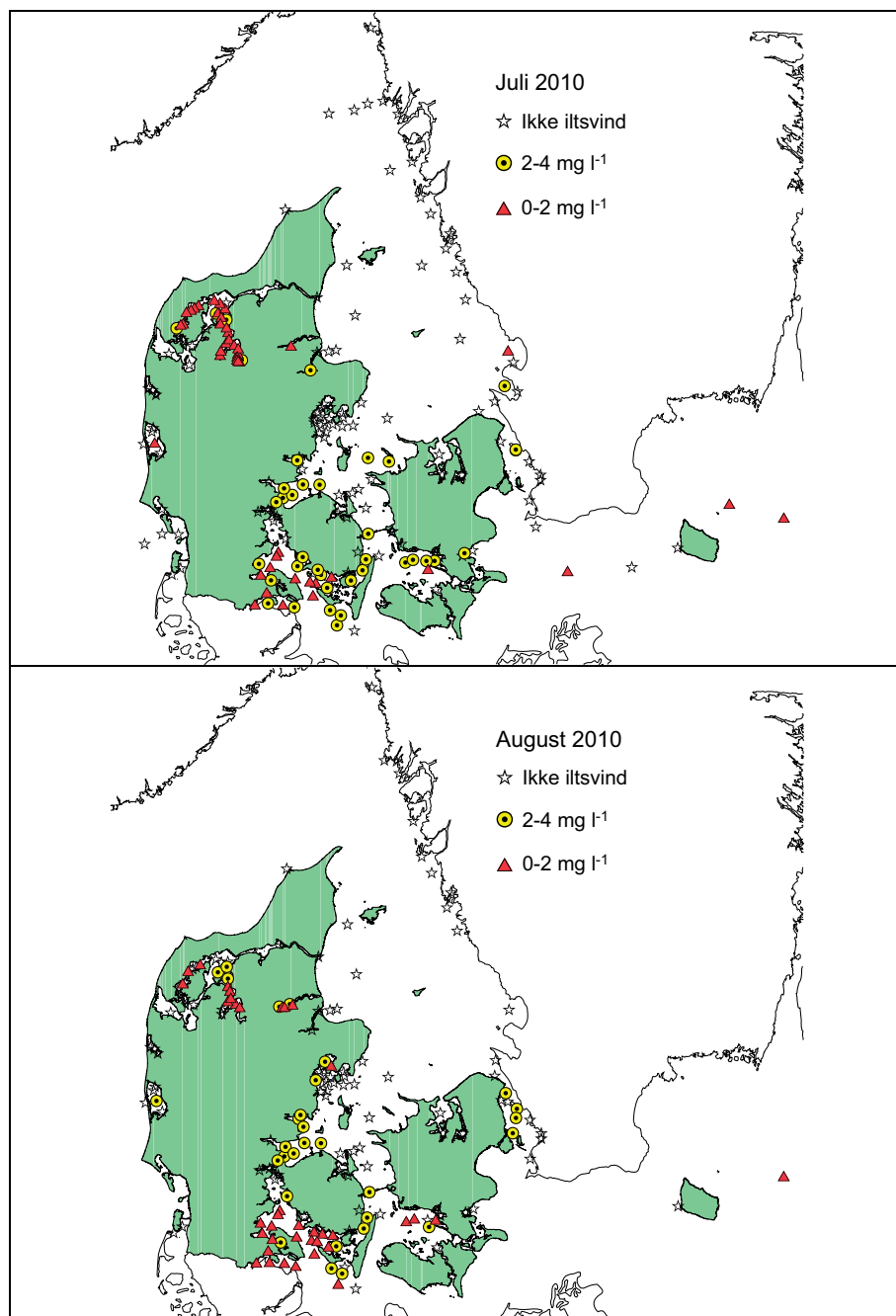
Iltsvind i Limfjorden blev registreret første gang i begyndelsen af juli, hvor 15 % af fjordens areal var påvirket af iltsvind. I Hjarbæk Fjord, Thisted Bredning, Vilsund og Dragstrup Vig var der vedvarende iltsvind igennem juli og august med deraf følgende frigivelse af giftig svovlbrinte. I Lovns Bredning var der kraftigt iltsvind i hele juli, og prøvetagninger viste en kraftig påvirkning af bunddyrene i området. I store dele af fjorden blev iltforholdene genetableret ved en stor vandudskiftning i begyndelsen af august affødt af, at kraftig vind blæste frisk vand ind i fjorden fra vest. Senere i august opstod der atter lagdeling af vandmasserne, og nye iltsvindsområder opstod i Lovns Bredning, Bjørnholm Bugt og dele af Thisted Bredning. I løbet af sensommeren og efteråret var der flere perioder med kraftig blæst og vandudskiftning, som førte til, at den generelle iltsvindsudbredelse i Limfjorden var under middel i 2010. I oktober var der stadig iltsvind i Lovns Bredning og Hjarbæk Fjord.

I det centrale Kattegat, i Læsø Rende og Aalborg Bugt blev der ikke registreret iltsvind i 2010. I Mariager Fjord blev der, som normalt, registreret iltfrie forhold i den dybe centrale del af fjorden igennem hele observationsperioden (juli-november). Den øvre dybde for iltsvindet varierede igennem perioden fra 15 m's dybde i juli til 12 m i august og ned til 15 m igen i september og frem til november. I den indre del af Randers Fjord blev der kortvarigt registreret iltsvind i begyndelsen af juli. Ligeledes var større områder i den sydøstlige del af Kattegat nord for Sjælland ramt af iltsvind på dybder større end 18 m i august-september.

Iltsvindsforholdene i 2010 i den nordlige del af Lillebælt var præget af en høj dynamik i vandmasserne bestemt af strømforhold og vindretning i området. Generelt var de målte iltkoncentrationer i 2010 under langtidsmidlen med undtagelse af korte perioder i januar, medio maj, i slutningen af juni og igen i begyndelsen af august. Der blev registreret iltsvind i området i slutningen af juni, som fortsatte med undtagelse af en periode i slutningen af juli/starten af august. Det er usædvanligt, at finde iltsvind i dette område så tidligt – i de sidste 15 år er der kun registreret iltsvind tilsvarende tidligt i 2005.

I Kalø Vig og Knebel Vig var der iltsvind fra juli-august og frem til hhv. oktober og november. I Horsens Fjord blev der registreret iltsvind første gang i juli, og det varede ved til september. I Vejle Fjord var der kortvarigt iltsvind i juli-august og igen i slutningen af oktober i den ydre del af fjorden.

Figur 7.1. Kortene viser de stationer, hvor iltforholdene er undersøgt af danske og svenske institutioner, og hvor der blev observeret iltsvind ($< 4 \text{ mg l}^{-1}$) eller kraftigt iltsvind ($< 2 \text{ mg l}^{-1}$) i hhv. juli og perioden 1.-20. august 2010.



Det sydlige Lillebælt og bassinerne i det Sydfynske Øhav – Ringgaardbassinet og det dybe Ærøbassin samt det nordlige Langelands Sund – var ramt af udbredt iltsvind, størstedelen med kraftigt iltsvind fra juli. I det sydlige Lillebælt mellem Als og Ærø blev der observeret iltsvind første gang allerede i maj. Arealet ramt af iltsvind steg gennem juli, og i august var der iltsvind på dybder over 18 m og kraftigt iltsvind på varierende dybder mellem 20 og 29 m. Iltkoncentrationer ved bunden var på det tidspunkt omkring $0,1\text{-}0,5 \text{ mg l}^{-1}$. Iltsvindsarealerne i kystvandet omkring Fyn blev i midten af august estimeret til at omfatte 899 km^2 , hvoraf der var kraftigt iltsvind i 491 km^2 , svarende til ca. 55 %. Der vedblev at være iltsvind i det Sydfynske Øhav frem til oktober, flere steder endda med fortsat frigivelse af svovlbrinte. Blæsende perioder og deraf følgende bevægelser i vandmasserne fjernede alt iltsvind i området i november.

De sydjyske fjorde var i august ramt af et iltsvind, som i omfang og intensitet var kraftigere end på samme tidspunkt i tidligere år. I Lillebælt og de tilstødende sydjyske fjorde blev det maksimale iltsvindsareal i starten af august estimeret til at udgøre 931 km², hvoraf 601 km² var med kraftigt iltsvind. Det skal bemærkes, at der er et vist overlap mellem disse arealangivelser og dem nævnt ovenfor for det sydlige Lillebælt og bassinerne i det Sydfynske Øhav. I slutningen af august var det totale iltsvindsareal i Lillebælt og de sønderjyske fjorde faldet, mens andelen af det ramte areal med kraftigt iltsvind var steget. De meget lave iltkoncentrationer førte flere steder til frigivelse af giftig svovlbrinte fra havbunden. I september skete der en forbedring af iltf forholdene i disse områder, og de ramte arealer blev reduceret med 18 %. Aabenraa Fjord, Als Fjord, Augustenborg Fjord og Nybøl Nor samt Flensborg Fjord var dog alle stadig hårdt påvirket af iltsvind frem til midten og slutningen af oktober.

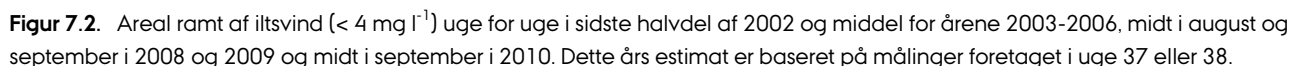
I Storebælt blev der første gang registreret iltsvind i september i et mindre område ved Sprogø og i den dybe rende i Langelands Bælt. Der var periodevis iltsvind ved Sejerø, Kalundborg Fjord og omkring Sjællands Odde igennem september og oktober.

I Øresund begyndte iltsvindet i begrænsede områder omkring Ven på 20 m's dybde i juli. Det bredte sig til at omfatte et større område på ca. 140 km² i september, men på grund af blæsevejr sidst i september blev arealet reduceret kraftigt. I oktober var der dog stadig registreringer af iltsvind, og ved Ven var der iltsvind fra bunden og op til 20 m's dybde. Iltsvindet i Øresund forsvandt i slutningen af oktober, og i november var der ikke længere registreringer af iltsvind nogen steder, dog var der stadig iltkoncentrationer under 5,5 mg l⁻¹ i store dele af vandsøjlen.

Smålandsfarvandet var ramt af iltsvind i juli og august, hvor den vestlige del var ramt længst og hårdest. Den sydlige del af området var også ramt af iltsvind i perioder, men i november ophørte iltsvindet, da det iltfattige bundvand blev udskiftet. Præstø Fjord var også ramt af iltsvind i juli, og dykkerundersøgelser i august viste tegn på iltfattige forhold ved bunden. Døde fisk og liglagen (belægning af bakterier indeholdende hvide svovlkorn) blev observeret flere steder samt hvide skyer af svovlbrinte over bunden. Den dårlige situation kan være forværret af den lange vinter, hvor fjorden var dækket af is. Da fjorden er lavvandet kan lagdeling af vandmasserne relativt nemt nedbrydes af vind og genopbygges i varmt og stille vejr, således at iltsvind hurtigt kan opstå og forsvinde igen. I Præstø Fjord blev der således ikke registreret iltsvind i august men i starten af september og igen i oktober.

Farvandet omkring Bornholm var som normalt ikke påvirket af iltsvind i 2010, undtaget i Bornholmerdybet, hvor der er permanent iltsvind. I november blev der registreret et saltvandsindbrud til Østersøen, dvs. en kraftig indstrømning af koldt bundvand med høj saltholdighed, som formodentlig forbedrede iltf forholdene i de dybe dele af Arkona Bassinet og Bornholmerdybet.

Det totale estimerede iltsvindsareal i 2010 i midten af september var 1.790 km² baseret på målinger foretaget i uge 37 eller 38 (*figur 7.2*). Det er 67 % mindre end på samme tidspunkt i 2009. Antallet af stationer bag værdien for 2010 var dog væsentlig færre end i de tidligere år, og derfor kan arealet være underestimeret.

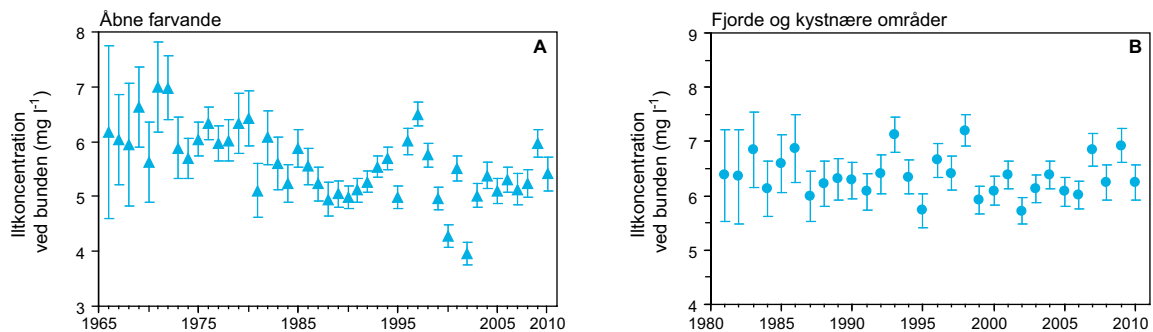


Trendanalyser af middelkoncentrationen af ilt ved havbunden i juli-november under lagdelte forhold er foretaget på baggrund af tidsserier af målinger fra de danske farvande delt op i områder (*tabel 7.7*).

Område	Antal år	Antal stationer	Periode	P-værdi	Udvikling
Vestjylland fjord- og kyststationer	19	5	1989-2010	0,6851	0,008 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Limfjorden	31	9	1980-2010	0,0145	-0,021 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Østjyske fjorde	38	11	1972-2010	0,1777	-0,010 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Fynske fjorde og det Sydfynske Øhav	33	3	1977-2010	0,0442	-0,017 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Sjællandske fjorde og Smålandsfarvandet	25	12	1985-2010	0,0930	0,025 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Kattegat	45	18	1966-2010	< 0,0001	-0,017 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Nordlige Bælthav og Storebælt	39	9	1970-2010	0,1322	-0,008 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Lillebælt og Femer Bælt	45	6	1965-2010	0,0082	-0,020 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Øresund	44	4	1967-2010	0,0134	-0,013 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Østersøen	43	9	1966-2010	< 0,0001	-0,034 mg l ⁻¹ år ⁻¹

DEL 2

og forventes at stige yderligere som følge af klimaforandringer. En øget havtemperatur betyder i sig selv et mindsket iltindhold i havvandet og dermed en øget risiko for iltsvind.



Figur 7.3. Gennemsnitlig iltkoncentration i bundvandet for NOVA/NOVANA-stationer i A) åbne farvande og B) fjorde og kystnære områder. Beregnet på baggrund af prøvetagninger over bunden i juli-november på stationer med et veldefineret springlag ($\Delta \sigma_T > 0,5$ for fjord- og kyststationer, og $\Delta \sigma_T > 1$ for stationer i åbne farvande). Middelværdierne er korrigeret for forskelle mellem stationer, måneder og prøvetagningsdybder ved empirisk modellering.

Den gennemsnitlige iltkoncentration i hhv. åbne farvande og i fjorde og kystnære områder i 2010 var lavere end i 2009 (*figur 7.3*), men på niveau med de sidste 6 år. I de åbne farvande har iltkoncentrationerne været relativt stabile siden 2004 i modsætning til perioderne 2000-2005, hvor der var faldende iltkoncentrationer og 1990-1997, hvor iltkoncentrationer var stigende. En svagt stigende tendens i de senere år blev dog brudt i 2010. Iltkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder var i 2010 på samme niveau som for perioden tilbage til 2003 og dermed lavere end niveauet i 2009 og 2007.

Sammenfatning

- En kold vinter med isdækkede farvande og svage østlige vinde førte til iltsvindshændelser tidligt på året.
- Iltforholdene var relativt gode i 2010, idet tiltagende iltsvind blev bremset af blæsevejr og deraf følgende udskiftning af vandmasser.
- Det maksimale totale iltsvindsareal i 2010 var noget lavere end i tidligere år. Halvdelen af dette areal var ramt af kraftigt iltsvind ofte ledsaget af frigivelse af giftig svovlbrinte.
- Særlig berørte områder, hvad angår varighed og intensitet af iltsvind, var det sydlige Lillebælt med de sydjyske fjorde, det Sydfynske Øhav og Øresund. I Limfjorden bevirkede periodisk blæsevejr, at iltsvindet var mindre omfangsrigt og af kortere varighed end normalt.
- I flere områder blev der registreret iltsvind allerede i slutningen af maj, og de sidste registreringer blev gjort i november.

8 Bundvegetation: ålegræs og makroalger

*Karsten Dahl, Dorte Krause-Jensen, Steffen Lundsteen,
Jacob Carstensen & Karsten Dromph*

Enge af ålegræs og andre blomsterplanter samt buskadser og skove af tang (makroalger) vokser langs vores kyster, når de rette betingelser er til stede. Disse økosystemer kan være meget produktive og er levested og opvækstområde for en lang række organismer, så økosystemerne har stor biodiversitet. Vegetationen fungerer samtidig som et naturligt kystværn, fordi bladene dæmper bølgerne, og nettet af stængler og rødder i sedimentet stabiliserer havbunden. Disse mange nyttige funktioner gør, at havets enge og skove hører til blandt verdens mest værdifulde økosystemer (*Costanza m.fl. 1997*). Men ålegræs og verdens øvrige havgræsser er stærkt truede og forsvinder i øjeblikket med samme hastighed som de tropiske regnskove (*Waycott m.fl. 2009*).

Både ålegræs og makroalger (tang) er væsentlige indikatorer for den økologiske kvalitet i kystnære vandområder i henhold til EU's vandrammedirektiv. Ålegræs og makroalger benyttes også i vurderingen af bevaringstilstanden i habitatdirektivets marine naturtyper såsom 'stenrev', 'boblerev', 'sandbanker' og 'lavvandede bugter og vige'.

Baggrunden for at anvende bundvegetationen som indikator er, at den afspejler kvaliteten af en række naturtypers struktur og funktion integreret over et længere tidsrum.

Et fald i tilførslen af næringssalte forventes at føre til en reduktion i mængden af planteplankton i vandsøjlen og dermed 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 desuden risikoen for, at havbunden hvirvles op, og har dermed en selvforstærkende positiv effekt på lysklimaet. Færre næringssalte resulterer desuden oftest i færre opportunistiske makroalger og dermed bedre lysforhold for ålegræs og flerårige makroalger. Endelig vil færre næringssalte formodentlig føre til færre og mindre alvorlige iltvind og dermed endnu bedre vækstforhold for bundvegetationen.

Dette kapitel analyserer udviklingen i ålegræssets forekomst langs de åbne kyster samt i yder- og inderfjorde gennem perioden 1989-2010. Analyserne omfatter 'dybdegrænsen for ålegræssets maksimale udbredelse' 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'. Analyserne omfatter kun ålegræs, fordi den er langt den mest udbredte plante på den bløde bund i vores kystområder. I nogle fjorde forekommer også anden rodfæstet vegetation såsom havgræs (*Ruppia* spp.), dværgålegræs (*Zostera noltii*) og børstebladet vandaks (*Potamogeton pectinatus*), som altså ikke indgår i analyserne.

Derudover analyserer kapitlet udviklingen i makroalgers dækning på stenrev i de åbne dele af Kattegat.

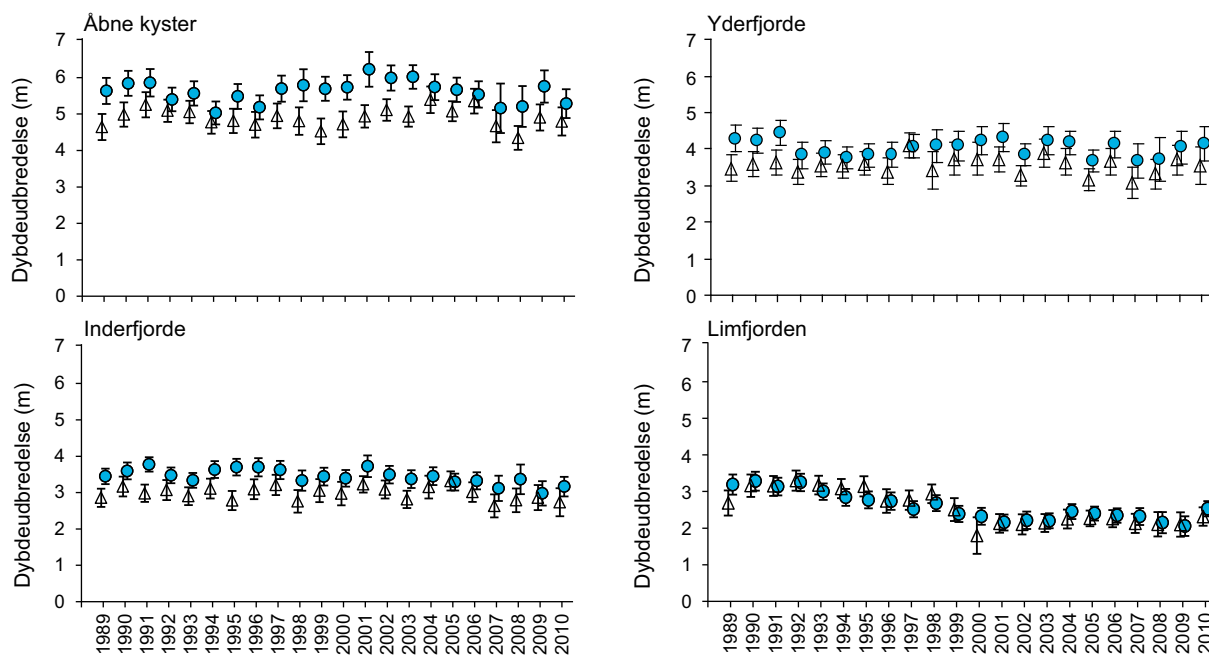
Ålegræssets dybdegrænse

Vi har grupperet data i 'åbne områder', 'yderfjorde' og 'inderfjorde' og analyseret udviklingen i disse områder samlet. Limfjorden er analyseret separat, fordi den opfører sig specielt.

Ålegræssets maksimale dybdegrænse (årsmiddelværdier) var størst langs de åbne kyster (5,0-6,2 m), lidt mindre i yderfjordene (3,6-4,5 m) og mindst i inderfjordene (3,0-3,8 m) og i Limfjorden (2,1-3,3 m) i perioden 1989-2010 (figur 8.1).

Dybdegrænsen for hovedudbredelsen (årsmiddelværdier) fulgte samme mønster som tidligere år med dybeste udbredelse langs de åbne kyster (4,3-5,4 m), mindre dybdeudbredelse i yderfjordene (3,0-4,1 m) og mindste dybdeudbredelse i inderfjordene (2,6-3,3 m) og Limfjorden (1,8-3,3 m) (figur 8.1).

Langs de åbne kyster og i yderfjordene viste hverken ålegræssets hovedudbredelse eller maksimale dybdegrænse nogen signifikant udviklingstendens siden 1989.

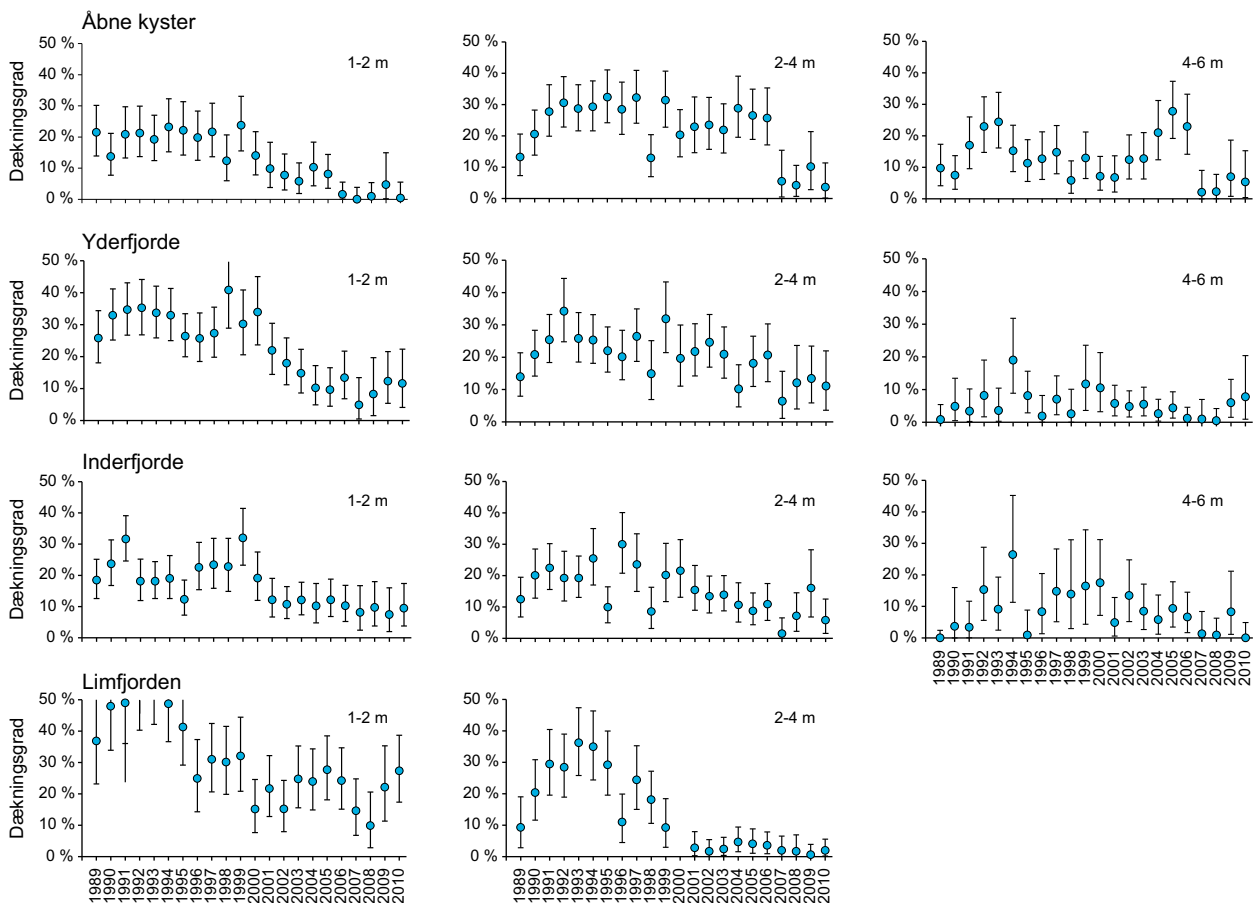


Figur 8.1. Udvikling i dybdegrænsen for ålegræssets maksimale udbredelse (●) og hovedudbredelse (Δ) ($\pm$ 95 % konfidensintervaller) gennem perioden 1989-2010. Udviklingen er vist for åbne kyster, yder- og inderfjorde samt Limfjorden. Dybdegrænsen er modelleret vha. en generaliseret lineær model (se Bilag 2). Det forekommer en gang imellem (i data fra Limfjorden), at hovedudbredelsesdybden tilsyneladende overstiger den maksimale udbredelse. Det er et artefakt, der skyldes, at hovedudbredelsen bliver udregnet/interpoleret for hvert transekt ud fra dækningsgrader langs dybdegradienten (største dybde med mindst 10 % dækning), mens max-dybden bliver vurderet direkte i felten ud fra ca. 7 delprøver pr. dybdegradient. Bilag 2 viser hvilke områder, der indgår i beregningerne for hhv. inderfjorde, yderfjorde og åbne områder.

I inderfjordene er den maksimale dybdegrænse rykket ind på lavere vand i løbet af perioden 1989-2010, mens dybdegrænsen for hovedudbredelsen ikke viser nogen udviklingstendens. I Limfjorden er både den maksimale dybdegrænse og dybdegrænsen for hovedudbredelsen rykket ind på lavere vand gennem overvågningsperioden. Men for Limfjorden er der alligevel positive tegn at spore, idet den maksimale dybdeudbredelse er forøget med > 20 % og hovedudbredelsen med 10 % fra 2009 til 2010 som gennemsnit for Limfjorden. Alle udviklingstendenser er analyseret ved lineær regressionsanalyse for perioden 1989-2010, og p-værdier < 0,05 er betragtet som signifikante.

Ålegræssets dækning i dybdeintervaller

Udviklingen i ålegræssets dækningsgrad er analyseret for 1-2, 2-4 og 4-6 m's dybde (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. isskruning og derfor kun delvist afspejler ændringer i næringssaltbelastningen.



Figur 8.2. Udvikling i ålegræssets dækning ($\pm$ 95 % konfidensintervaller) gennem perioden 1989-2010. Udviklingen er vist for åbne kyster, yder- og inderfjorde samt Limfjorden. 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). Dækningen er modelleret vha. en generaliseret lineær model (Bilag 2). Bilag 2 viser hvilke områder, der indgår i beregningerne for hhv. inderfjorde, yderfjorde og åbne områder.

Ålegræssets dækningsgrad er typisk størst på relativt lavt vand og mellemdybder (1-2 m eller 2-4 m), hvor eksponeringen er begrænset, og hvor lysforholdene er gode for planten (*Krause-Jensen m.fl. 2003*). På 2-4 m's dybde dækkede ålegræsset 4-32 % af bunden langs de åbne kysters ålegræstransekter, 6-34 % i yderfjordene, 1-30 % i inderfjordene og 1-36 % i Limfjorden – intervallerne repræsenterer variationen i dækning inden for perioden 1989-2010 (*figur 8.2*).

Der var generelt en tendens til, at ålegræsset dækkede en stadig mindre del af bunden langs de undersøgte transekter gennem perioden 1989-2010. Dækningen faldt på både 1-2 og 2-4 m's dybde i samtlige områder, mens dækningen på 4-6 m's dybde generelt ikke viste nogen entydig udviklingstendens (*figur 8.2*).

Udviklingen i ålegræssets dybdegrænse og dækningsgrad afspejler endnu ikke det faktum, at kvælstofkoncentrationen er faldet siden 1989 (se *kapitel 5*). Det kan bl.a. hænge sammen med, at vandet ikke er blevet klarere i løbet af denne periode – hverken i de åbne farvande eller i fjordene (se *kapitel 6*).

De generelle udviklingstendenser for ålegræssets dybdegrænse og dækningsgrad i åbne kyster samt yder- og inderfjorde dækker over store forskelle mellem områder. Denne mangfoldighed i økosystemers respons er en stor udfordring i forhold til at forudsige effekter af ændret belastning i det enkelte økosystem. Mens generelle relationer mellem næringsbelastning og ålegræssets respons (fx *Nielsen m.fl. 2002*) er velegnede til at beskrive overordnede tendenser, kræver det

en større lokal forståelse at forudsige udviklingen i enkeltområder. Hvis ålegræsset ikke breder sig på trods af en reduktion i næringssaltbelastningen, er det væsentligt at identificere, om årsagen eksempelvis er dårlige lysforhold og i givet fald identificere, hvad der skaber de dårlige lysforhold, eller om andre faktorer, såsom iltsvind eller muslingeskrab, evt. begrænser udbredelsen.

Sammenhængen mellem belastning og økosystemrespons følger heller ikke nødvendigvis samme forløb gennem perioder, hvor udledningen af næringssalte falder (oligotrofiering) som gennem perioder, hvor udledningen af næringssalte stiger (eutrofiering). Der er eksempler på, at regimeskift eller ændrede referenceforhold forsinker eller forhindrer en tilbagevenden til situationen, før eutrofieringen satte ind (*Duarte m.fl. 2009*). Når ålegræs forsvinder fra et område, hvirvles bunden lettere op og skaber dårligere lysforhold og en mere ustabil forankring for de nye ålegræsplanter, som derfor får vanskeligere ved at etablere sig. Desuden kan rekolonisering af ålegræs være en langsom og proces med tidshorisonter på år til årtier (*Olesen & Sand-Jensen 1994, Duarte 1995*). Nye undersøgelser peger også på, at der er behov for at videreudvikle begrebet 'referencetilstand', så man ikke opererer med en statisk reference fra fortiden, men tænker referencebegrebet sammen med vores viden om, at økosystemer er dynamiske og påvirket af globale forandringer som eksempelvis opvarmning (*Duarte m.fl. 2009*). Højere temperaturer kan påvirke ålegræsset i negativ retning ved at stimulere respirationen mere end fotosyntesen og dermed øge ålegræssets lyskrav (*Olesen & Sand-Jensen 1993*). Høje temperaturer øger også risikoen for iltsvind (*Conley m.fl. 2007*) og gør samtidig ålegræsset mere sårbart overfor iltsvind (*Pulido & Borum 2010*). Men dårlige lysforhold spiller en langt større rolle end temperaturstigninger for ålegræssets dybdeudbredelse langs vores kyster (*Stæhr & Borum 2011*).

I øjeblikket er ålegræssets dybdegrænse Danmarks primære indikator for kystområdernes miljøtilstand i henhold til vandrammedirektivet. Men for at kunne tolke ålegræssets respons er det nyttigt at relatere udviklingen i ålegræsset til udviklingen i andre indikatorer som fx klorofylkoncentration og supplerende indikatorer som TN-koncentration, sigtdybde og iltforhold. Det ville desuden være en stor fordel at supplere analyser på landsniveau med analyser på områdeniveau for dermed at kunne identificere, hvordan område-specifikke forhold påvirker indikatorernes respons.

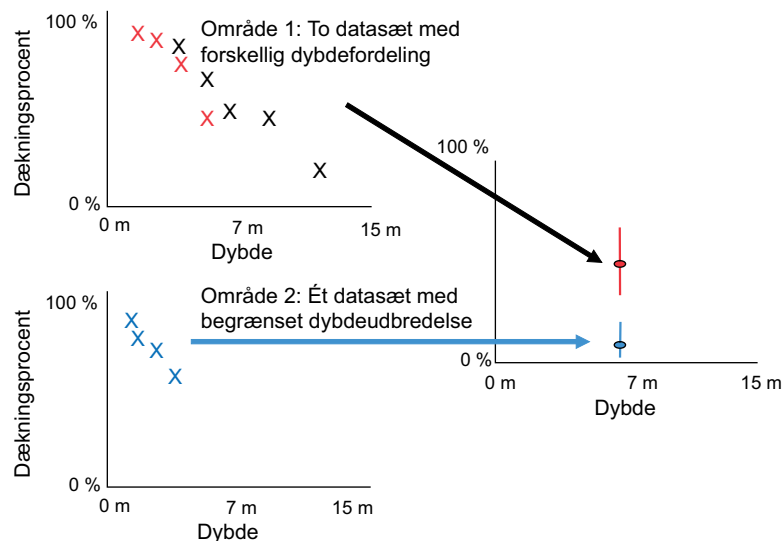
Et samlet billede af bundvegetationens tilstand kræver også indikatorer for makroalger. Næste afsnit analyserer udviklingen i makroalgernes dækningsgrad i kystnære områder og på stenrev i de åbne farvande. Makroalgernes dækningsgrad er ved at blive udviklet til en indikator under vandrammedirektivet (*Carstensen m.fl. 2008*). I den sammenhæng er der etableret en database over makroalgedækning og vandkvalitet i området fra Norges kyster til den indre del af Østersøen og foretaget analyser af sammenhængen mellem algedækning og vandkvalitet, som i øjeblikket er ved at blive rapporteret (*K. Dromph, K. Dahl, D. Krause-Jensen m.fl., under udarbejdelse*).

Kystnære makroalger

Udviklingen af den kystnære makroalgevegetations samlede dækning er analyseret vha. de modeller og principper, som er beskrevet i DMU's tekniske rapport nr. 683 (*Carstensen m.fl. 2008*).

Makroalgerne er indledningsvis inddelt i et farvandsområde, fx indre og ydre fjord (eller blot fjord) og åbne kystnære områder. Herefter er algernes samlede dækning på en given vanddybde normaliseret til en dækning på 7 m's dybde ved hjælp af en lokalitetsspecifik dybdemodel (*figur 8.3*).

Figur 8.3. Eksempel på harmonisering af data, så de udtrykkes for samme dybde, i dette tilfælde 7 m (Carstensen m.fl. 2008).



Den gennemsnitlige dækning ved 7 meter i et farvandsområde er herefter beregnet på baggrund af de enkelte dybdeintervaller på alle transekter. Fremgangsmåden er benyttet for at kunne aggregere og sammenligne data indsamlet på forskellige dybder og i områder med forskellig dybdeudbredelse af egnet substrat.

Makroalgernes dækning er analyseret for perioden 2001-2009, hvor undersøgelserne har omfattet tre dykkerobservationer pr. dybdeinterval langs transekterne i modsætning til tidligere år, hvor dykkeren vurderede den gennemsnitlige dækning i hvert dybdeinterval. Makroalgernes dækning på 7 m's dybde varierede betydeligt mellem de 14 undersøgte områder med laveste dækning i Limfjorden og højeste dækning i Flensborg Fjord, Augustenborg Fjord og Isefjord (figur 8.4). I nogle områder – fx Augustenborg Fjord og Limfjorden – lå makroalgernes dækning på omtrent samme niveau fra år til år, mens områder som Karrebæksminde Bugt, Horsens Fjord, Køge Bugt og Roskilde Fjord udviste betydelig år til år variation (figur 8.4). Samlet set er der dog ingen systematisk udvikling i makroalgernes dækning gennem perioden 2001-2009.

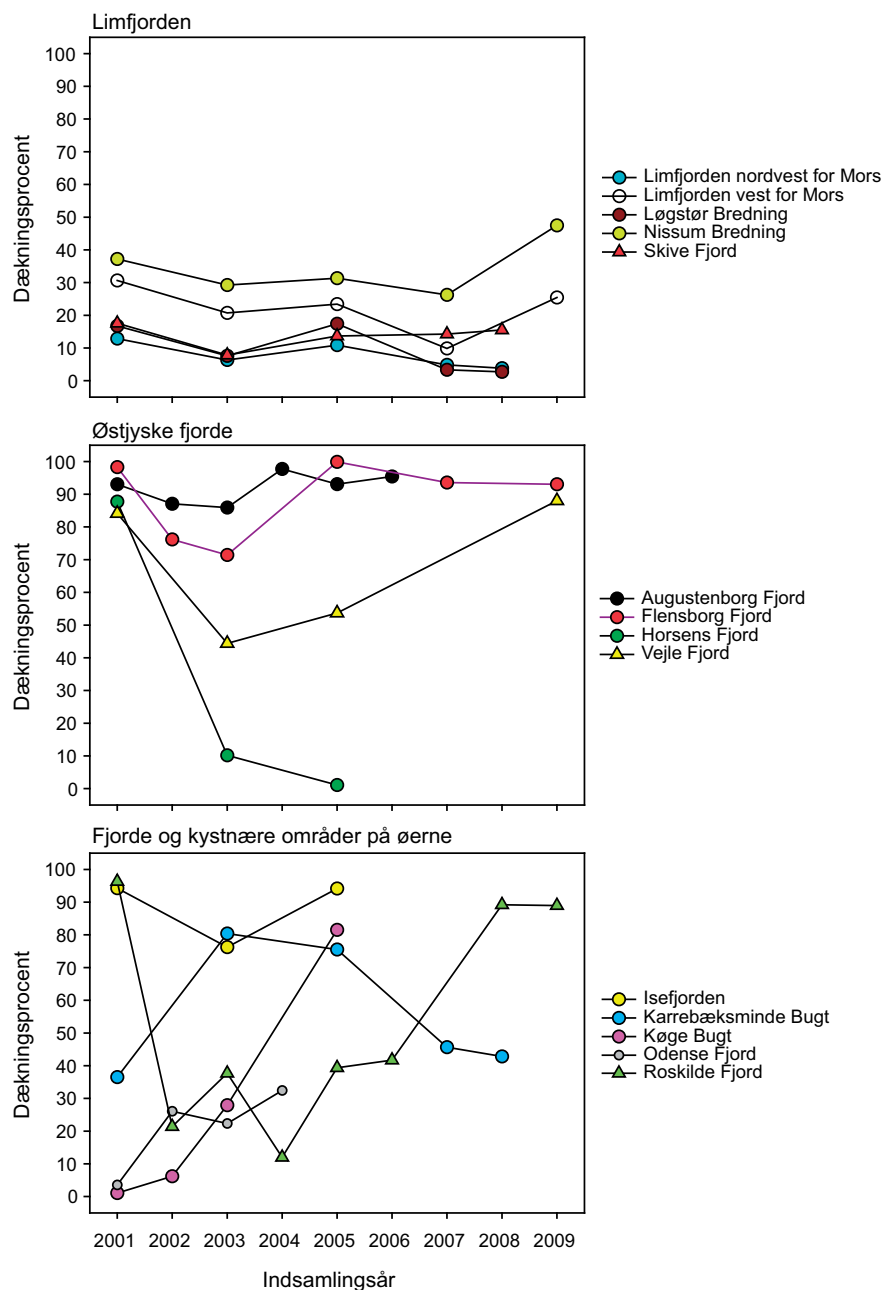
Makroalger på stenrev i åbne farvande

NOVANA-programmet overvåger årligt algevegetationen på hård bund på 12 stenrev i de indre danske farvande og hvert 6. år på yderligere 28 sten- og boblerev i et ekstensivt program.

Sten- og boblerevene, der indgår i det nationale overvågningsprogram, er alle omfattet af EU's habitatdirektiv og ligger i Natura 2000-områder, hvor de udgør en del af udpegningsgrundlaget.

I 2010 blev der kun indsamlet data på revlokaliteter med intensive stationer. Vegetationen beskrives med en samlet dækningsprocent for de oprettede alger og i form af specifikke dækningsprocenter for de enkelte arter, inkl. skorpeformede alger.

Figur 8.4. Makroalgernes samlede dækningsprocent fra 2001 til 2009 opdelt på Limfjorden, de østjyske fjorde samt fjorde og kystnære områder på øerne.



Vegetationen på stenrevne i de åbne indre farvande består af en flerlaget rød- og brunalgevegetation, der dækker det stabile substrat fuldstændigt ned til 10-12 m's dybde. På dybder større end 12-14 m aftager algerne samlede dækning til et enkelt lag oprette alger, der ikke dækker hele substratet. De oprette algers dækning aftager med stigende dybde, hvorimod skorpeformede algebelægninger, der kan vokse ved meget lidt lys, fortsat træffes med stor dækning på 24 m's dybde.

Dybden, solindstrålingen og eutrofieringsniveauet har en afgørende indflydelse på algevegetationen på revne i åbne danske farvande (Dahl & Carstensen 2008).

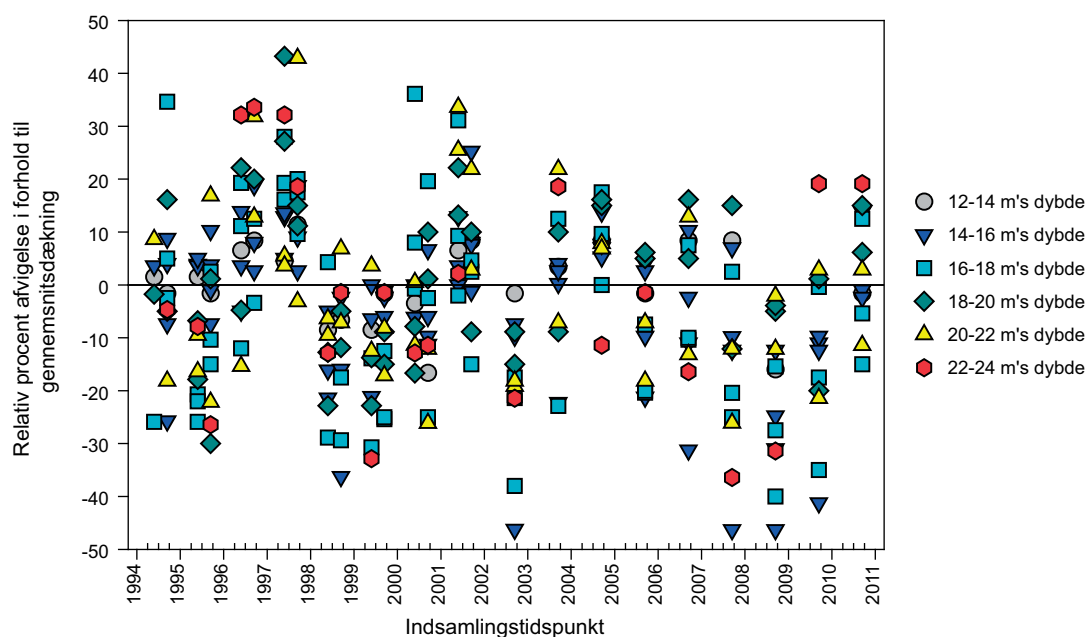
Fysiske forstyrrelser af havbunden og biologiske interaktioner, som fx græsning af søpindsvin, kan også have en markant effekt på vegetationens udbredelse lokalt og regionalt.

Søpindsvins nedgræsning af tangskove kendes også fra andre dele af verden, og langs den norske kyst fra Trondheim til den russiske grænse skønnes 2.000 km² tangskov nedgræsset siden 1970'erne (*Norderhaug & Christie 2009*). Masseforekomst af søpindsvin er sat i forbindelse med reduceret prædationspres fra havoddere og hummere (*Little & Kitching 1996*) samt fisk (*Tegner & Dayton 2000*). Undersøgelser har vist, at fiskearter som store torsk, havkat og fladfisk også ernærer sig af søpindsvin (*Vadas & Steneck 1995, Keats m.fl. 1986, Keats 1991*). En sammenhæng mellem de væsentligt reducerede fiskebestande og de observerede masseforekomster af søpindsvin kan være en forklaring på det regimeskift fra tangskov til nedgræsset stenbund, som er observeret på flere danske stenrev.

Fysisk påvirkning af havbunden – fx i form af trawlfiskeri – er også en presfaktor, der kan influere naturkvaliteten. En undersøgelse på Store Middelgrund har påvist væsentlige fysiske forstyrrelser på de dele af stenrevet, som er omfattet af overvågningsprogrammet (*Dahl 2005*). Jævnlig forstyrrelse, sandsynligvis forårsaget af trawlfiskeri, er den mest sandsynlige årsag til, at vegetationens samlede dækning indtil for nylig har været væsentlig ringere end forudsagt med en model for området. En ny undersøgelse fra Hatter Barn området har også påvist, at hyppig skibspassager kan påvirke vegetationens udbredelse negativt (*Dahl m.fl., i trykken*).

Udviklingstendenser

Den generelle udvikling i den oprette algevegetations dækning på 5 stenrev på større vanddybder i indre danske farvande er fulgt gennem en lang tidsperiode. Algedækningen på et givet stenrev i et givet år er relateret til gennemsnittet for de første 8 års undersøgelser på det pågældende stenrev (1994-2001), og denne periode fungerer derved som en slags referenceperiode. I 2010 var algerne dækning på de enkelte stationer fordelt ligeligt over og under gennemsnittet for de samme stationer for perioden 1994-2001 (*figur 8.5*). Algerne dækningsgrad i 2010 var derfor ikke signifikant forskellig fra gennemsnittet i perioden 1994-2001 (*tabel 8.1*).



Figur 8.5. Den relative afvigelse i algedækningen i forhold til gennemsnitsværdien for de enkelte stationer og undersøgelsestidspunkter for perioden 1994-2001. Afvigelserne er angivet pr. 2 m's dybdeintervaller. Stationer, hvor algevegetationens udbredelse er begrænset af andre faktorer end lyset, fx søpindsvin, substratets beskaffenhed eller påviste fysiske forstyrrelser af havbunden, er udeladt. På grund af mindre metodeændringer i 1994, er tidligere undersøgelser ikke medtaget i sammenligningen.

Tabel 8.1. Den oprette algevegetations dækning på de undersøgte stationer på en række stenrev i Kattegat i forhold til gennemsnittet for perioden 1994-2001. ↑ og ↓ angiver, at flertallet af de undersøgte stationer har en mere henholdsvis mindre udviklet vegetationsdækning end gennemsnittet. ← → angiver, at antallet af stationer over og under gennemsnittet højest afviger med en observation. P-værdierne er beregnet med en såkaldt fortegnstest for, om fordelingen af de observerede dækninger er signifikant bedre eller ringere end gennemsnittet for perioden 1994-2001. Stationer, hvor algevegetationens udbredelse er begrænset af andre faktorer end lyset, fx søpindsvin eller substratets beskaffenhed, er udeladt.

* = $P < 5\%$, ** = $P < 1\%$, *** = $P < 0,1\%$.

Undersøgelsesår	Måned	Antal observationer	Samlet vegetationsdækning i forhold til		P-værdi
			gennemsnit for 1994-2001		
1994	juni	5	← →		ej sign.
	august	12	↓		ej sign.
1995	juni	12		↓	ej sign.
	august	13		↓	ej sign.
1996	juni	11	↑		ej sign.
	august	11	↑		**
1997	juni	12	↑		***
	august	12	↑		**
1998	juni	11		↓	**
	august	11		↓	**
1999	juni	11		↓	*
	august	12		↓	***
2000	juni	11		↓	ej sign.
	august	13		↓	ej sign.
2001	juni	12	↑		*
	august	12	↑		ej sign.
2002	august	13		↓	***
2003	august	12	↑		ej sign.
2004	august	13	↑		*
2005	august	13		↓	ej sign.
2006	august	13	← →		ej sign.
2007	august	13		↓	ej sign.
2008	august	13		↓	***
2009	august	12		↓	ej sign.
2010	august	12	← →		ej sign.

Vurdering af revenes natur- og miljøtilstand baseret på tilstandsvurderingsværktøj for makroalgevegetation

Da de overvågede stenrev indgår som udpegningsgrundlag for de danske Natura 2000-områder, skal de i henhold til habitatdirektivet opnå en 'gunstig bevaringsstatus'. Gunstig bevaringsstatus omfatter både, at arealerne med hård bund bevares, og at de biologiske forhold, som er afgørende for revenes 'struktur og funktion', er i orden. En veludviklet dybdeudbredelse og høj dækningsgrad af den bentiske algevegetation anses som et centralt element for revenes struktur og funktion. Da der mangler robuste kvantitative oplysninger om makroalgevegetationens tilstand fra perioder før eutrofiering og anden menneskelig påvirkning for alvor blev et problem, må de målsætninger, der er brug for til vurdering af miljøtilstanden, findes på anden vis.

Analyser har vist, at både makroalgernes samlede vegetationsdække og summen af de enkelte arters dækning på dybvandede stenrev i Kattegat er korreleret med tilførslen af kvælstof til Kattegat i det forudgående halvår fra januar-juni (Dahl & Carstensen 2008). Herudover kan solindstråling, vanddybde og forekomst af søpindsvin på de enkelte rev forklare en stor del af variationen i makro-

algernes dækning. Modellerne har overordnet stor forklaringskraft, idet deres korrelationskoefficienter og signifikansniveauer generelt er høje ($r^2 > 0,80$, $P < 0,0001$). Responsen på næringssalttilførslen til Kattegat er tydeligst på revlokaliteter i det centrale Kattegat.

Andre modeller viser, at også sigtdybde korrelerer fint med det samlede vegetationsdække på de dybvandede stenrev i Kattegat ($r^2 = 0,67$, $P < 0,0001$, *Dahl & Carstensen 2005*).

I mangel på data, som kan beskrive en gunstig bevaringsstatus for et stenrev, kan modelværktøjet bruges til at estimere den algedækning, der repræsenterer grænsen mellem gunstig og ikke gunstig bevaringsstatus. En sådan estimering forudsætter fastlagte grænseværdier for kvælstoftilførsel eller alternativt sigtdybde.

Modellerne giver mulighed for at beregne stenrevenes vegetationsdække i relation til kvælstoftilførsel og solindstråling for de enkelte stenrev. Dermed er det muligt eksempelvis at modellere vegetationens dybdeudbredelse i scenarier, hvor kvælstoftilførslen er ændret, mens klimatiske forhold og græsningstryk er konstante.

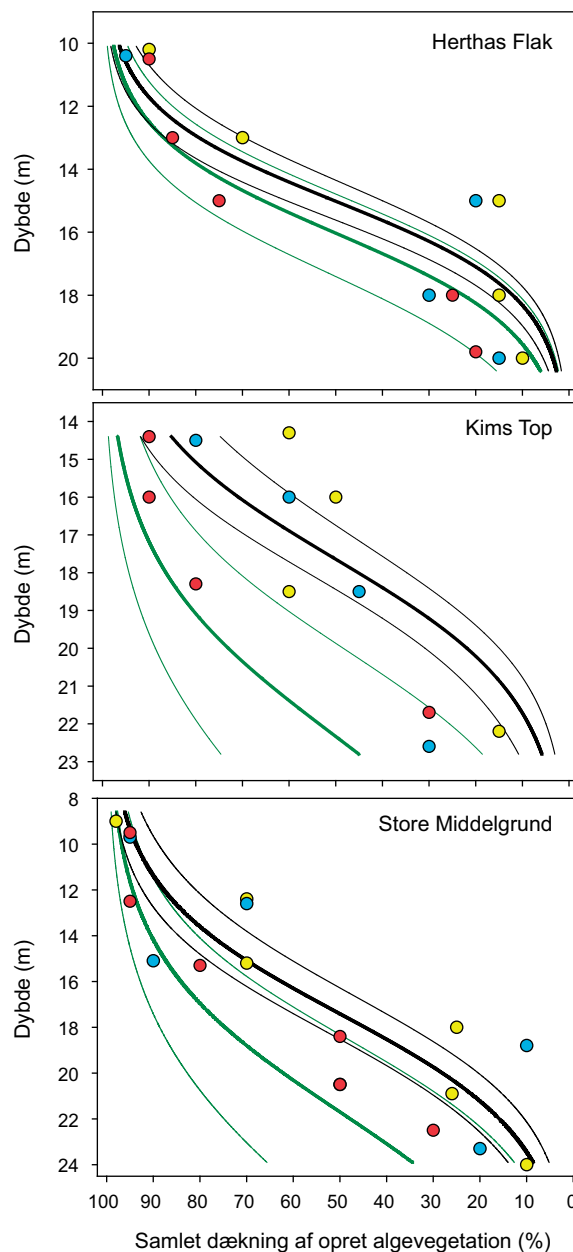
Algevegetationens dækning langs dybdegradienter på tre rev i Kattegat er modelleret for to scenarier for kvælstoftilførsel (*figur 8.6*). Det ene scenarium repræsenterer den gennemsnitlige tilførsel af næringssalte til Kattegat i forårshalvåret for perioden 1994-2006, mens det andet repræsenterer en referencelignende tilstand med stærkt reduceret næringssalttilførsel i forårshalvåret. I begge scenarier er der tilladt et mindre græsningstryk af søpindsvin. De observerede dækningsprocenter på de undersøgte stationer i 2008, 2009 og 2010 er også vist, dog uden at data er korrigeret for variation i indstråling i forårshalvåret.

Det ses tydeligt på de modellerede dækninger, at en reduktion af kvælstoftilførsler vil have en gunstig effekt på den samlede dækning af opret algevegetation på stenrev og tillige øge algernes dybdeudbredelse.

Det ses også, at vegetationens dækning er markant forbedret i 2010 på de tre rev sammenlignet med de foregående to år. På 14 ud af 15 undersøgte lokaliteter var makroalgernes samlede dækning markant bedre end forudsat af scenariet, modelleret på baggrund af den gennemsnitlige tilførsel for perioden 1994-2006. På fire stationer var vegetationen faktisk bedre end forudsat ved en referencelignende tilstand med meget lave kvælstoftilførsler.

De to stationer på 15 og 18 m's vanddybde på Store Middelgrund har gennem mange år siden undersøgelsestart været karakteriseret ved manglende algevegetation og manglende større bunddyr. En undersøgelse i 2004 (*Dahl 2005*) viste, at der forekom gentagende fysiske forstyrrelser af havbunden, hvilket sandsynligvis skyldes trawlfiskeri. Siden 2008 er vegetationsforholdene forbedret på begge stationer, og i 2010 var der ingen tegn på, at forholdene skulle være ringere på de pågældende steder i forhold til resten af revet. Det må derfor formodes, at de fysiske forstyrrelser er ophørt.

Figur 8.6. Aktuelle dækninger af den samlede oprette algevegetation på undersøgelsesstationer på tre rev i Kattegat (røde cirkler: 2010-data, blå cirkler: 2009-data og gule cirkler: 2008-data) og modellerede dækninger for to forskellige senarier med kvælstof-tilførsel. De sorte linjer angiver den gennemsnitlige modellerede algedækning med tilhørende 95 % konfidensintervaller svarende til den gennemsnitlige TN-tilførsel for forårshalvåret i perioden 1994-2006 på 48.000 tons. Det andet senarium (grønne linjer) svarer til en referencelignende situation med en tilførsel på 10.000 tons i forårshalvåret. Begge senarier 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.



Algevegetationen på stenrevne var veludviklet i 2010 sammenlignet med de foregående to år. Ser man imidlertid på udviklingstendensen siden 1994, er der dog ingen tegn på, at vegetationsforholdene generelt er blevet bedre gennem perioden. Men der er markante år til år variationer, som har vist sig signifikant sammenfaldende med år til år variationer i solindstrålingen og kvælstoftilførslen for perioden 1994-2006. Kvælstof begrænser den benthiske tangskovs udbredelse på dybere vand via lyssvækkelse forårsaget af planteplankton i de øvre vandlag. Sigtdybden de sidste fire år i åbne farvande har været markant ringere end tidligere målinger fra 1989 på trods af de generelt faldende næringssalttilførsler (*figur 6.1*). I 2010 var planteplanktons forårsopblomstring meget tidlig, og sigtdybden særligt ringe i januar-februar. Derimod var sigtdybden på det normale niveau (1989-2009) fra det tidlige forår til og med oktober, dvs. i hovedvækstsæsonen (*figur 6.2*).

I relation til de gennemførte modelsenarier for de dybvandede stenrev i Kattegat var vegetationen markant bedre udviklet med større dækning på en given dybde, end hvad der svarede til en gennemsnitlig kvælstoftilførsel for perioden

1994-2006. På adskillige undersøgte stationer var forholdene sammenlignelige med en referencelignende kvælstoftilførsel.

Grønne søpindsvins græsning har udgjort en væsentlig begrænsende faktor for algevegetationen under springlaget på revet Schultz' Grund i det sydvestlige Kattegat, siden overvågning blev iværksat i begyndelsen af 90'erne. Tangskoven på andre lokaliteter i det nordlige Bælthav, havbunden ud for Vejrhø, Sjællands Rev og Munkegrunde og visse områder omkring Hatter Barn (*Dahl m.fl., under udarbejdelse*) er også kraftigt påvirket af masseforekomst af det grønne søpindsvin. Et væsentligt øget græsningstryk af søpindsvinet tangborre blev observeret på Store Middelgrund på 12 m's dybde i 2007, hvor vegetationen var reduceret fra normalt 70-80 % dækning til blot 20 %. I 2008 var græsningstrykket tilsyneladende reduceret, og i 2010 var vegetationen genetableret.

Sammenfatning

- Langs de åbne kyster og i yderfjordene har ålegræssets dybdegrænse ikke vist nogen signifikant udviklingstendens siden 1989, mens inderfjordenes og Limfjordens ålegræs generelt er rykket ind på lavere vand.
- For Limfjorden er der dog positive tegn, idet den maksimale dybdeudbredelse er forøget med > 20 % og hovedudbredelsen med 10 % fra 2009 til 2010.
- For perioden 1989-2010 er der generelt en tendens til, at ålegræsset dækker en stadig mindre del af bunden langs de undersøgte transekter. Faldet i tilførsel af næringssalte har altså endnu ikke markant forbedret ålegræssets udbredelse i vores farvande. Det kan bl.a. hænge sammen med, at vandet ikke er blevet klarere gennem overvågningsperioden, og at ålegræsbestandene er reduceret så markant, at de har vanskeligt ved at reetablere sig.
- Den samlede algedækning på dybere dele af udvalgte stenrev i de åbne dele af Kattegat var markant bedre i 2010 end de foregående år.
- Der er dog ingen tegn på en stigende trend mht. dybere og mere omfattende algedækning på revene over hele undersøgelsesperioden fra 1994 og frem til i dag.
- Nedgræsning af tangskoven forårsaget af søpindsvin er fortsat et problem på mange rev i Bælthavet, hvor vegetationen stort set er væk på dybder under springlaget.

9 Bundfauna

Jørgen L. S. Hansen & Alf B. Josefson

Havbunden i de danske farvande er det naturlige levested for et artsrigt dyresamfund, som udgør en meget vigtig del af havets økosystem. Størstedelen af den danske havbund er dækket af forskellige typer af sedimenter. Den fauna, som er tilknyttet den bløde bund (blødbundsfauna eller infauna) har en arts-sammensætning, der adskiller sig fra de dyresamfund, som findes på steder med hård bund som fx epifaunaen på stenrev. Her beskrives blødbundfaunaen, som er blevet undersøgt i områder, hvor havbunden hovedsageligt er dækket af sedimenter, der spænder fra ler og blødt mudder til groft sand. Bundfaunaen spiller en vigtig rolle for hele det marine økosystem, idet den omsætter en stor del af havets primærproduktion (planteproduktion). Den gruppe af bunddyr, som lever af at filtrere vandet som fx muslinger, er nogle steder i stand til at kontrollere mængden af fytoplankton (planteplankton) i vandsøjlen. Det gælder især i lavvandede områder, hvor tætheden af muslinger og andre filtratorer oftest er høj, vandet ikke er lagdelt og hvor filtratorerne derfor kan filtrere hele vandsøjlen. De enkelte arter af bunddyr repræsenterer vidt forskellige livsformer og tilpasninger, og på baggrund af deres ernæring kan de opdeles i forskellige grupperinger. Filtratorer filtrerer, som beskrevet, vandet for partikulært organisk stof, mens græssere, som typisk findes på lavere vand med planteproduktion på bunden, ernærer sig ved at græsse på plantebelægningen på bunden. Desuden er der rovdyr og endelig sedimentædere, som ernærer sig af det organiske materiale, der er blandet ned i sedimentet eller ligger på sedimentoverfladen. I de dybere områder, hvor nedtrængningen af lys er så ringe, at der ikke eller kun i meget ringe grad foregår primærproduktion (typisk på vanddybder større end 15 m), er hele økosystemet baseret på det organiske materiale, som synker ned fra den belyste del af vandsøjlen og derefter optages i bundens fødekæde. Jo mere organisk stof og dermed potentielt føde der sedimenteres ned til bunden, desto større biomasser af bunddyr vil der kunne opretholdes i økosystemet. Dermed kan eutrofiering give grundlag for en højere biomasse af bunddyr. Men tilførsel af meget organisk materiale til bunden øger samtidig iltforbruget i bundvandet, og dermed risikoen for iltsvind. Iltsvind kan skade bundfaunaen og i værste fald udslutte hele faunasamfundet. 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.

Bundfaunaen udgør en vigtig fødekilde for de højere led i fødekæden. Især bundlevende fisk, men tillige en række andefugle (og i tidevandszonen vade-fugle) er helt afhængige af det fødegrundlag, som bundfaunaen udgør. Herudover er nogle arter af muslinger og krebsdyr kommercielt vigtige for erhvervsfiskeriet. Den vitale betydning af bundfaunaen for fiskebestanden og for fiskeriet har længe været kendt. Allerede for 100 år siden kortlagde C. G. J. Petersen bundfaunaen i de indre danske farvande med det formål at vurdere fødegrundlaget for fiskebestandene – nogle af stationerne fra dengang indgår i det nuværende overvågningsprogram.

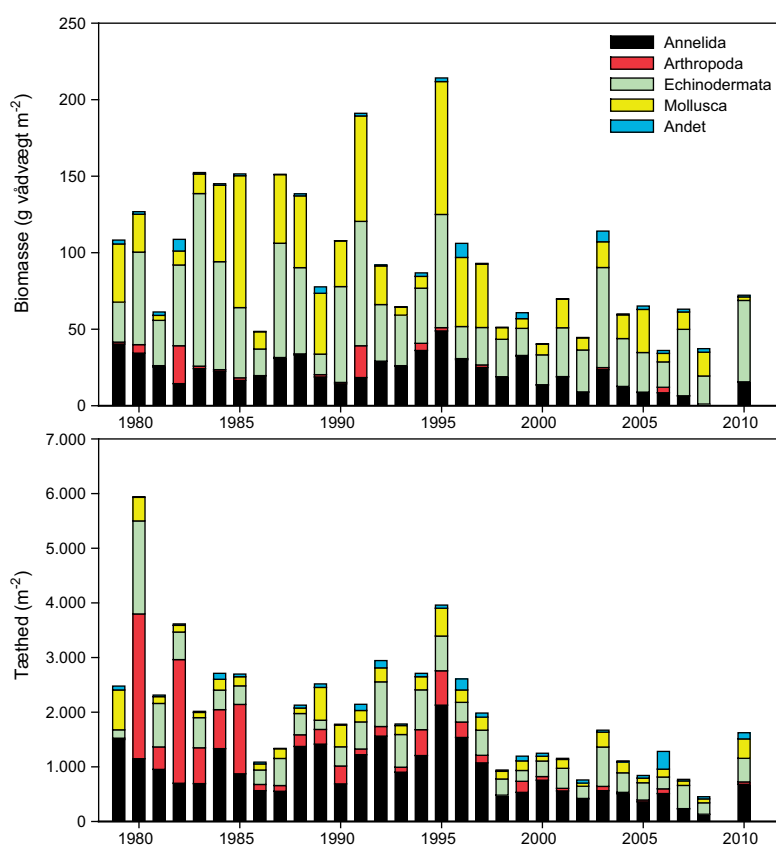
Når det omgivende miljø ændrer sig, påvirker det bundfaunaens sammensætning og diversitet. Desuden udgør bundfaunaen en betydelig del af den samlede biodiversitet i havet. Derfor har de seneste årtiers overvågningsprogrammer fokuseret på bundfaunaen som indikator for den generelle miljøkvalitet.

Åbne farvande

Som en del af overvågningsprogrammet blev der i 2010 taget prøver på i alt 24 stationer i de indre danske farvande. Fra 22 af disse stationer er der sammenlignelige data, der går tilbage til 1994, og for fire af stationerne, beliggende i henholdsvis Kattegat, Bælthavet, Øresund og Arkonahavet, går de kontinuerte årlige dataserier tilbage til 1979. For alle stationerne i de åbne farvande gælder dog, at der ikke findes data fra 2009, hvor der ikke var programsat indsamling af bundfauna.

På stationen i Arkonahavet varierer forekomsten af bunddyr meget fra år til år afhængig af iltsvindets udbredelse og styrke. På de tre øvrige stationer, som har været overvåget igennem de sidste 31 år, ses der markante ændringer i sammensætningen af bundfaunaen i denne periode (*figur 9.1*). Gruppen af artropoder (hovedsageligt krebsdyr) er gået markant tilbage og næsten forsvundet efter 1998. Den samlede biomasse og tæthed har ligeledes været faldende i perioden. Indtil slutningen af 1990'erne lå den totale biomasse på ca. 100 g vådvægt m^{-2} , og individtætheden svingede omkring 2.000 m^{-2} . Herefter ses en halvering i både biomassen og individtætheden til omkring årtusindskiftet, hvorefter biomassen har ligget på ca. 50 g vådvægt m^{-2} og tætheden omkring 1.000 individer m^{-2} . I 2010 var tætheden imidlertid mere end tredoblet siden foregående prøvetagning i 2008, og biomassen var tilsvarende fordoblet.

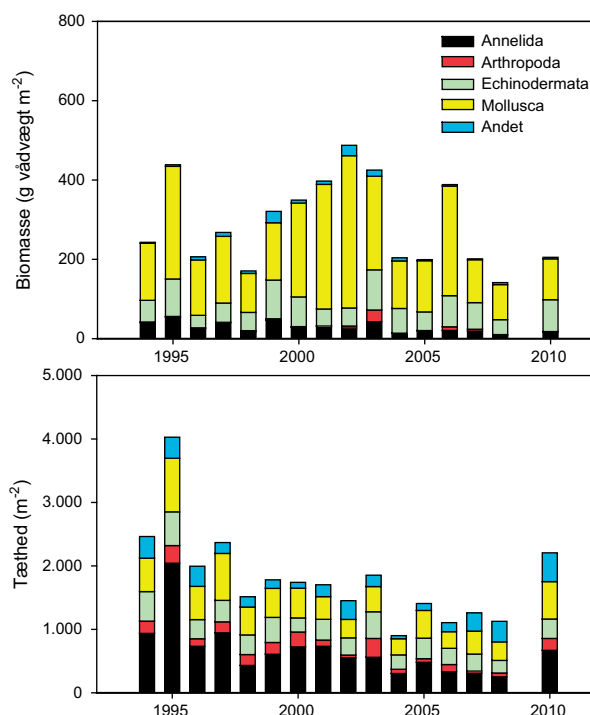
Figur 9.1. Udvikling i biomasse (øverst) og tæthed (nederst) fordelt på taksonomiske hovedgrupper i perioden 1979-2010 vist som gennemsnit for de tre stationer i de åbne danske farvande. Annelida udgøres hovedsageligt af havbøsteorme. Arthropoda = krebsdyr m.m. Echinodermata = pighude, herunder søstjerner og sømus. Mollusca = muslinger og snegle.



Udviklingen på de øvrige stationer, hvor data går tilbage til 1994, viste samlet set det samme mønster (*figur 9.2*). I perioden fra midten af 90'erne til 2009 er den samlede individtæthed faldet fra ca. 2.500 til ca. 1.100. Nedgangen har omfattet alle dyregrupper, men især artropoder og polychaeter har i de senere år været reduceret til ca. 30 % af niveauet fra midten af 90'erne. Udviklingen i den samlede biomasse har i samme periode været mindre entydig. Biomassen var højest i perioden 2000-2003 med ca. 400 g vådvægt m^{-2} , hvorefter den faldt til ca. 200 g vådvægt m^{-2} . Hovedparten af biomassen udgøres imidlertid af mollusker, hvis

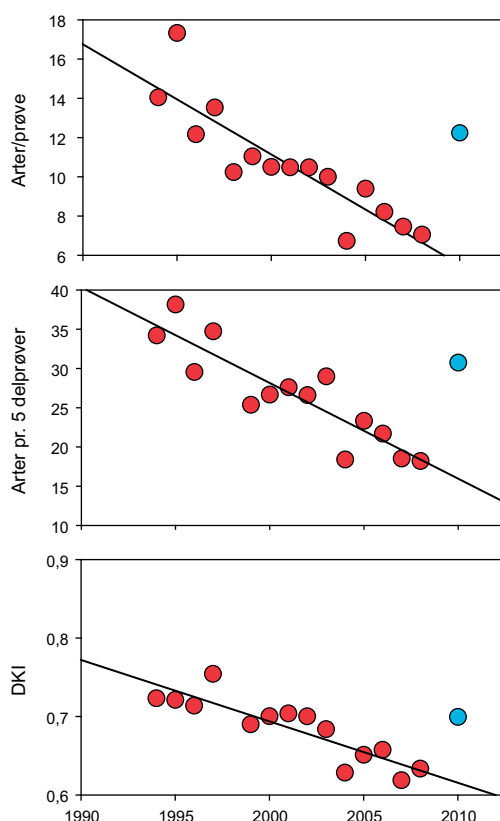
andel varierer meget fra år til år afhængig af antallet af store molbøsters i prøverne. Prøverne fra 2010 viste en markant stigning i biomassen og især individtætheden. Den samlede tæthed er gennemsnitligt set fordoblet, og fremgangen gælder alle taksonomiske hovedgrupper. Endnu mere bemærkelsesværdigt er det imidlertid, at stigningen i forhold til foregående prøvetagning er sket på samtlige 24 stationer, der repræsenterer meget forskellige habitater mht. dybde, salinitet og sedimentforhold. Den generelle stigning i både individtæthed og biomasse viser, at der har foregået en kraftig rekruttering siden sidste prøvetagning. Det forhold, at biomassen er steget mindre end tætheden, viser, at individerne endnu er relativt små. Da der ikke findes data fra 2009, er det imidlertid uvist, om rekrutteringen er foregået i sommeren 2008 eller sommeren 2009.

Figur 9.2. Udvikling i biomasse (øverst) og tæthed (nederst) fordelt på taksonomiske hovedgrupper i perioden 1994-2010 vist som årsgennemsnit for 22 stationer i de åbne danske farvande. Annelida udgøres hovedsageligt af havbørsteorme. Arthropoda = krebsdyr m.m. Echinodermata = pighude, herunder søstjerner og sømus. Mollusca = muslinger og snegle.



Artsrigdommen viser det samme konsistente mønster. Fra 1994 og frem til 2008 faldt det gennemsnitlige antal arter pr. prøve (143 cm²) næsten lineært fra ca. 14 til 7 (figur 9.3). I 2010 var det gennemsnitlige antal arter 12 pr. prøve på de 20 stationer i Kattegat, Bælthavet og Øresund. Dette tal er næsten det dobbelte af artsrigdommen i 2008 og det højeste antal siden 1997 (figur 9.3). Ligesom det var tilfældet med individtætheden, er der tale om en synkron udvikling i hele det undersøgte område. Kun én station viste en uændret artsrigdom fra 2008 til 2010, mens der på de resterende stationer skete en markant fremgang. Artsrigdommen i en lidt større rumlig skala kan vurderes ud fra summen af arter i de 5 delprøver fra hver station, og her ses et tilsvarende mønster med et fald i artsantallet fra ca. 35 til 15 i perioden 1994 til 2008 efterfulgt af en stigning til 30 i 2010. Endelig viste DKI (Dansk Kvalitets Indeks), som er et mål for miljøkvaliteten på havbunden, en tilsvarende stigning, og dermed må områdets tilstand som helhed vurderet ud fra bundfaunaen betegnes som god i 2010. Den højere DKI-værdi i 2010 er imidlertid alene et resultat af den højere artsdiversitet, eftersom sammensætningen af arter ikke viste nogen ændring i retning af flere følsomme arter.

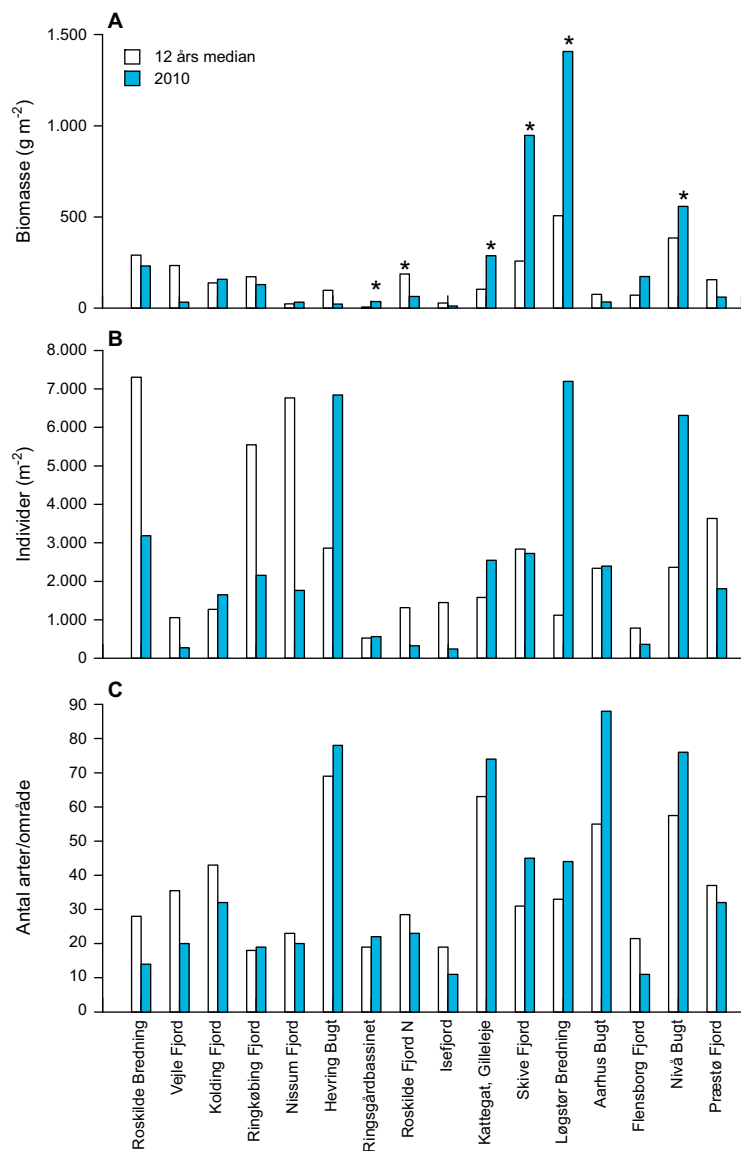
Figur 9.3. Øverst: udviklingen i perioden 1994-2010 i det gennemsnitlige antal arter pr. delprøve (143 cm²) for 20 stationer i Kattegat, Bælthavet og Øresund. Seneste års data fra 2010 er markeret med blåt symbol. Den rette linje er fremkommet ved lineær regression for perioden 1994 til 2008. Midt: som ovenstående figur, men angiver det kumulerede antal arter i de 5 delprøver pr. station. Nederst: som ovenstående figurer, men viser udviklingen i DKI (Dansk Kvalitets Indeks) udregnet på baggrund af AMBI og Shannon-diversiteten for 5 delprøver.



Bundfaunaen i kystnære områder

Vurderingen af bundfaunaens udvikling i fjorde og de kystnære områder er baseret på miljøcentrenes (og de tidligere amters) overvågning. Af det samlede datamateriale er behandlet 16 områder, hvorfra der er sammenlignelige tidsserier 12 år tilbage i tiden. De undersøgte kystnære bundfaunaområder er spredt over hele Danmark, og 12 af dem ligger i mere eller mindre lukkede fjordområder, mens 4 (Hevring Bugt, Sjællands nordkyst ud for Gilleleje, Aarhus Bugt og Nivå Bugt) alle ligger i åbne områder grænsende op til Kattegat og Bælthavet (*figur 1.1B*). Samlet set viste data fra de kystnære områder i 2010 ingen generel forandring af bundfaunaens artsantal, individtæthed eller biomasse sammenlignet med tidligere år. For at vurdere om der er sket en ændring af de tre variable i 2010, er middelværdien for 2010 for hvert af 16 kystområder sammenlignet med medianværdien for de 12 foregående år (*figur 9.4*). Af de tre variable kan individtæthed og biomasse direkte sammenlignes med tidligere års data. Det gælder dog ikke for artsdiversiteten, som er meget afhængig af prøveantallet – jo flere prøver der tages, desto højere antal arter vil man samlet set finde. I de fleste områder er der taget færre prøver i 2010 end tidligere. I områder, hvor prøveantallet er reduceret, vil fundet af flere arter bestyrke, at forøgelsen i artsantallet er reel og måske endda undervurderet. Hvis det omvendte er tilfældet, vil man ikke kunne afgøre, om fundet af færre arter er et artefakt eller ej.

Figur 9.4. Søjlediagram hvor middelværdien for 2010 (fyldte søjler) er sammenlignet med medianværdien for de forløbende 12 år for de 16 kystnære områder (åbne søjler). A: biomasse (inkl. skaldele) målt som tørvægt. Stjerne markerer områder, hvor biomassen er målt som (vådvægt). B: indvidtæthed; C: antal arter pr. område, typisk summeret over 20-40 individuelle prøver.



Selv om der overordnet vurderet ikke er nogen generel udvikling i de kystnære områder, bør det bemærkes, at de områder, som er beliggende i mere åbne farvande (dvs. Hevring Bugt, Gilleleje, Nivå Bugt og Aarhus Bugt), viste samme udvikling med højere tæthed og artsantal som de øvrige 24 stationer i de åbne farvande. Dermed er udviklingen i de åbne områder endnu mere entydig, og bundfaunasamfundet i de pågældende mere åbne dele af de kystnære områder samvarierer tydeligvis med de åbne områder. Herudover er der kun fundet en stigning i tætheden i Løgstør Bredning i 2010, mens tætheden i Roskilde Fjord, Isefjord, Vejle Fjord, de vestjyske fjorde Ringkøbing og Nissum Fjord, Flensborg Fjord og Præstø Fjord alle viste en tilbagegang i tætheden (figur 9.4B). Biomassen viste heller ikke noget generelt mønster. Stigende biomasse blev især fundet i to områder i Limfjorden (sandsynligvis forårsaget af blåmuslinger), mens forøgelsen i biomassen i Nivå Bugt og Flensborg Fjord skyldtes en anden musling: molboesters (*Arctica islandica*). I Vejle Fjord, Roskilde Fjord, Isefjord, Præstø Fjord, Hevring Bugt og Aarhus Bugt er der sket en reduktion i den samlede biomasse. Ud over stigningen i artsantallet i de fire kystnære områder, som støder op til de åbne farvande, er artsantallet faldet bortset fra i Limfjorden. I både Limfjorden og Hevring Bugt er det imidlertid usikkert, om der er tale om en reel forøgelse, eftersom antallet af prøver på disse stationer var væsentligt forøget i 2010 (fordoblet). DK1, der måler både følsomhed og diversitet (Borja m.fl. 2007; Josefson m.fl. 2009),

blev ikke beregnet, idet der endnu ikke eksisterer fastsatte grænser til at vurdere miljøtilstanden i fjorde og kystnære områder disse områder.

Året 2010 adskiller sig markant fra udviklingen igennem de seneste år, når det gælder de åbne områder samt de kystnære områder, som ligger ud til de åbne dele af Kattegat og Bælthavet. Stigningen i artsrigdommen er tæt koblet til stigningen i tætheden af dyr og dermed til den rekruttering, som har foregået siden sidste prøvetagning i 2008. En lignende hændelse, hvor tætheden og artsrigdommen steg i hele området, foregik fra 1994 til 1995, hvor der skete en fordobling fra ca. 2.000 til ca. 4.000 individer m^{-2} , og artsrigdommen steg fra 14 til 17 arter pr. prøve. Selvom tætheden også dengang blev fordoblet, så var udviklingen dog mindre entydig end i 2010, idet stigningen dengang kun blev observeret på 19 ud af 26 stationer. Hvis rekruttering er sket allerede i 2008, er det muligt, at stigningen i tætheden har været endnu større og derefter er faldet igen, således som det skete i 1996 efter rekrutteringshændelsen i 1995. Stigningen i både tæthed og artsrigdom skyldes hovedsageligt arter, der har et pelagisk larvestadium. Rekrutteringen efter 2008 tyder derfor på, at forholdene har været gunstige for rekruttering til bundfaunasamfundene. Det er velkendt, at der er store variationer i mængden af de enkelte arter af bunddyrlarver fra år til år (*Blanner 1982*). Den langvarige tilbagegang i tætheden og artsrigdommen kan ses som et resultat af en meget ringe rekruttering til bundfaunasamfundet igennem en lang periode, da tætheden og artsrigdommen i det tilfælde gradvist reduceres som konsekvens af den naturlige dødelighed i populationen. Hvorvidt det er et naturligt fænomen, at der kan gå 14-15 år mellem rekrutteringshændelser, som dem i 1995 og 2010, er uvist da data for de fleste stationer kun går tilbage til 1994. Den absolutte rekruttering fra 2008 til 2010 var på ca. 1.100 individer m^{-2} . For de tre lange tidsserier fra 1979 på de åbne stationer i Kattegat, Bælthavet og Øresund ses der flere tilfælde før 1994, hvor tætheden er steget med mere end 1.000 individer fra det ene år til det næste. Dette tyder på, at rekrutteringshændelserne tidligere har været hyppigere. Men datamaterialet i denne periode er meget begrænset, og en sådan udvikling kan derfor ikke eftervises. Årsagen til at der med års mellemrum kan optræde gunstige forhold for rekruttering til bundfaunasamfundet, kan især skyldes, at overlevelsen af de pelagiske larvestadier har været høj, dvs. rigelig og tilgængelig føde på det rigtige tidspunkt i vandsøjlen og/eller fravær af predation. Forholdene på bunden, når larverne bundfælder sig, er også vigtige, men i dette tilfælde, hvor der sker en synkron udvikling i hele området i forskellige typer af habitater, er det næppe sandsynligt, at der er sket en samtidig bedring af habitaterne på tværs af hele området. Den mest sandsynlige årsag til den succesfulde rekruttering skal dermed formodentlig findes i de pelagiske forhold. Men hvilke forhold, som i givet fald har sikret en høj overlevelse i 2008 eller 2009 i pelagiale, må indtil videre stå hen i det uvisse. I og med at der mangler data fra 2009, kan det blot konstateres, at der efter en lang år-række med tilbagegang i såvel artsrigdom, tæthed og biomasse er sket en markant bedring i 2010. I de kommende år vil det være meget interessant af følge udviklingen og se, hvorvidt biodiversiteten er blevet stabiliseret, og om biomassen vil stige, efterhånden som denne årgang/årgange af bunddyr vokser.

Sammenfatning

- Der er sket en markant stigning i bundfaunaens biodiversitet, tæthed og biomasse siden 2008. Denne stigning gør sig gældende i åbne farvande samt i de åbne dele af de kystnære områder, som støder op til Kattegat og Bælthavet herunder Aarhus Bugt, sydlige Kattegat og i det nordlige Øresund.

- Årsagen til den synkrone stigning i biodiversiteten er formodentlig, at forholdene i de frie vandmasser har været gunstige for overlevelsen af bundfaunens pelagiske larver, hvilket har sikret en stor rekruttering siden sidste prøvetagning i 2008.
- Udviklingen i fjordene adskiller sig fra de mere åbne områder og var i de fleste tilfælde negativ eller neutral, dvs. fald eller ingen ændring af artsdiversitet, individantal og biomasse. Der var ingen bedring i 2010 bort set fra en væsentlig forøgelse af blåmuslingebiomassen i det centrale Limfjorden.
- Foregående års rapporterede forringelse af faunaen i Roskilde Fjord og især i Isefjord synes stadig at være til stede, selv om der muligvis er sket en vis forbedring i Isefjord.

10 Overvågning af sæler

Anders Galatius Jørgensen & Jonas Teilmann

Overvågning af spættet sæl fra fly begyndte i 1976 og blev standardiseret i 1979. Fra 2011 er marsvin og dedikerede tællinger af gråsæl i yngle- og fældeperioderne også inkluderet i den systematiske overvågning under NOVANA (hidtil er registrering af gråsæl kun sket i tilknytning til tælling af spættet sæl). I henhold til habitatdirektivet er der for spættet sæl og gråsæl udpeget hhv. 22 og 9 Natura 2000-områder. Af disse i alt 22 områder (9 områder er udpeget for begge sælarter) kan spættet sæl observeres på land i 17 af områderne, mens gråsælerne opholder sig på land i 8 af de samme områder (*Anon. 2011*). Disse områder har indgået i den nationale overvågning i Kattegat og Vadehavet siden 1979 og i Limfjorden og Østersøen siden 1990. I det følgende beskrives udviklingen af bestanden af spættet sæl i de danske farvande, samt de observationer der er gjort af gråsæler.

Spættet sæl

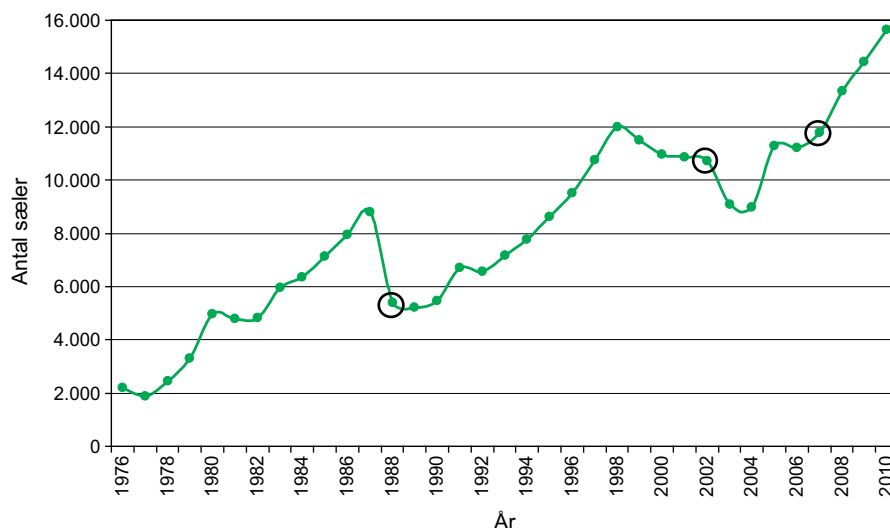
Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark. Spættet sæl forekommer især i kystnære farvande, hvor der er rigelig føde, og hvor der findes uforstyrrede yngle-/hvilepladser på sandbanker, rev, holme og øer. Den danske bestand er opdelt i fire forvaltningsområder på baggrund af genetiske forskelle og satellitmærkede dyrs brug af farvandene (*Andersen & Olsen m.fl. 2010, Olsen m.fl. 2010*): Vadehavet, Limfjorden, Kattegat og den vestlige Østersø. I Kattegat er der to bestande, som dog er genetisk meget ens. 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. I Limfjorden har der været store udsving i populationen, og der er ikke sket en vækst i bestanden over de seneste 10 år. Dette kan skyldes et ustabilt økosystem, hvor sælerne forlader Limfjorden i visse perioder, når fødemængden er knap. I de andre områder er der stadig betydelige vækstrater, som tyder på, at bestandene endnu er et stykke fra områdernes bæreevne.

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 (*Härkönen & Harding 2001*)) har udviklet sig fra ca. 2.000 dyr i 1976 til 15.700 dyr i 2010 (*figur 10.1*). Bestandsfremgangen tilskrives jagtfredningen af arten i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater med adgangsforbud (*Jepsen 2005*).

I 1988 og 2002 ramte de to store epidemier af phocine distemper virus (PDV) de spættede sæler og slog 20-50 % ihjel med betydelige forskelle mellem lokaliteter (*Härkönen m.fl. 2006*). Efter 1988 og indtil 2002 steg bestanden i gennemsnit med 11 % hvert år. Efter 2002 har den gennemsnitlige årlige stigning været 8 %. En mindre epidemi, som ikke skyldtes PDV, blev registreret i 2007 (*Härkönen m.fl. 2008*).

Det kan forventes, at de store PDV-epidemier vender tilbage med > 10 års intervaller, når andelen af sæler uden immunitet (dvs. født efter 2002), når en vis størrelse (*Härkönen m.fl. 2007a*). Effekten af epidemierne på antallet af sæler har været, eller forventes at være, 5-10 år afhængig af den enkelte bestands størrelse (*Olsen m.fl. 2010*).

Figur 10.1. Total antal af spættet sæl i Danmark i perioden 1976-2010 – opgjort ud fra tællinger på hvilepladser samt antagelse om antal sæler i vandet (yderligere 43 %). Fra 1976-1978 er antallet estimeret ud fra forskellige typer tællinger, som ikke er standardiserede. De tre epidemier i 1988, 2002 og 2007 er vist med cirkler. I 2002 ramte epidemien flere lokaliteter efter tællingerne i august, således at den samlede nedgang i bestanden først ses i 2003. I 2007 døde kun et mindre antal sæler i Kattegat og effekten på den samlede danske bestand kan ikke ses.



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

Gråsæl

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 yngede frem til omkring 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 op til fem årlige fødsler, mens der kun er konstateret spredte yngleforsøg på andre lokaliteter (*Härkönen m.fl. 2007b*). I det østatlantiske område forekommer gråsæl i to adskilte bestande, den ene i Nordsøen omkring Storbritannien og i Vadehavet og den anden i Østersøen. Østersøbestanden af gråsæl føder unger i februar-marts, mens Nordsø-bestanden føder om efteråret og tidlig vinter (*Härkönen m.fl. 2007b*).

I forbindelse med NOVANA-optællingerne af spættet sæl er gråsælerne også optalt. Gråsælerne opholder sig fortrinsvis på land i yngle- og fældeperioderne (henholdsvis februar-marts og maj-juni i de indre danske farvande og november-januar og marts-april for Vadehavet). I perioden 2007-2010 har DMU forsøgsvis gennemført nogle flyttællinger under gråsælernes yngletid i februar-marts og under pelsskiftet i maj-juni. Fra 2011 er dedikerede flyttællinger af gråsæl i yngle- og fældeperioderne implementeret som en fast del af overvågningen. I forbindelse med overvågning af miljøeffekter af vindmølleparken ved Rødsand syd for Lolland er der anvendt fjernstyret og internetbaseret videoovervågning af sælreservatet ved Rødsand. Desuden er der foretaget satellitsporing af både spættet sæl og gråsæl ved Rødsand, som har vist, at gråsælerne ved Rødsand er en del af Østersø-bestanden, der deles mellem Finland, Estland og Sverige (*Dietz m.fl. 2003*).

Ved tællinger i 2009 og 2010 blev der registreret op til 48 gråsæler i Kattegat og 60 på Rødsand. Ved Christiansø ved Bornholm er der fra 2001 blevet observeret gråsæler. I 2008 sås op til 8 gråsæler ad gangen, i 2010 op til 80 sæler på én

gang ved Christiansø. Denne voldsomme stigning skyldes et skift i udbredelsen af gråsæler på visse årstider fra den nordlige del af Østersøen til den sydlige del. Årsagen til ændringen i udbredelsen er muligvis bedre fødetilgang i takt med den stigende torskebestand i Østersøen. I Vadehavet er antallet af gråsæler voldsomt stigende i Holland og Tyskland, og i den danske del blev der set 28 gråsæler i juni 2008.

Siden marts 2003 er der årligt observeret levende gråsælunger på Rødsand ved Gedser (*Edrén m.fl. 2010*). I marts 2008 blev der for første gang set en levende gråsælunge ved Læsø. 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 strejfere fra Vadehavet eller farvandene ved de britiske øer.

Den positive udvikling i forekomsten af gråsæler i Danmark skønnes at være en tilgang fra nabobestande snarere end reproduktion i danske farvande, selvom det i de senere år er konstateret, at arten igen er begyndt at yngle i Danmark regelmæssigt, om end i beskedent antal i forhold til forekomsten af ikke-ynglende gråsæler.

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 NOVANA overvågningsprogrammet.
- Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark og har haft en bestandsfremgang fra ca. 2.000 dyr i 1976 til 15.700 dyr i 2010 som følge af jagt-fredningen i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater med adgangsforbud.
- Gråsælen har vist fremgang i de seneste 10 år med op til 67 gråsæler på Rødsand, ca. 80 ved Christiansø og op til 76 i Kattegat. Gråsælen yngler nu regelmæssigt i Danmark efter ca. hundrede års pause – om end i beskedent omfang.

11 Metaller i muslinger, fisk og sediment

Martin M. Larsen & Jakob Strand

NOVANA-programmet omfatter analyser af tilstedeværelsen af tung-metallerne zink (Zn), kobber (Cu), nikkel (Ni), bly (Pb), cadmium (Cd) og kviksølv (Hg) i det marine miljø. Analyserne udføres årligt i biota (blåmuslinger, sandmuslinger og skrubber) og sediment. Krom (Cr) og arsen (As) er inddraget i den kommende monitoring fra 2011, da de står som potentielt problematiske stoffer på EU's vandrammedirektivliste – derfor er de også medtaget i årets afrapportering.

Alle metallerne forekommer naturligt i havmiljøet med et såkaldt baggrundsniveau. Alle tungmetaller er ved forhøjede niveauer skadelige for organismer i vandmiljøet. Menneskeskabt forurening kan give forhøjede værdier, både gennem diffus- og punktkildeforurening. Cd og Hg er begge giftige selv i meget lave koncentrationer for de fleste former af liv og opkoncentreres bl.a. i leveren af fisk. 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 af miljøfarlige stoffer som fx tungmetaller i havmiljøet, da de generelt opkoncentrerer miljøfarlige stoffer og metaller i forhold til de koncentrationer, der findes i havvand. Derved repræsenterer koncentrationen i muslinger typisk et integreret niveau eller langtidsmiddel 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 evnen til at nedbryde de fleste organiske miljøfarlige stoffer (se *kapitel 12*). De 'nye' metaller, Cr og As, er begge naturligt forekommende og har tidligere været anvendt i imprægnering af træ eller i pesticider. As forekommer som organiske forbindelser, fortrinsvis arsenobetain, der er ugiftig for mennesker (*Fødevaredirektoratet 2003*). Cr indgår i en række metalartikler, som ved vandpåvirkning eller slibning kan bidrage med væsentlige lokale forureninger.

En række tidligere regionale stationer (DEVANO) er medtaget i denne rapport. Det er stationer, som Naturstyrelsens decentrale enheder udtog prøver fra for at få information fra områder, der manglede data i vandrammedirektiv-sammenhæng, eller som var potentielt belastede. I NOVANA-programmet for 2010 blev der kun udtaget prøver fra tre fiskestationer mod normalt seks, og der er i alt 46 muslingereresultater fordelt på 35 NOVANA- og DEVANO-stationer (på tidstrendstationer tages 2-3 delprøver). I alt er der 13 regionale sedimentstationer, heraf en dobbeltprøve.

Vurdering af målte koncentrationer

Den nordatlantiske havkonvention OSPAR udgav i 2010 en kvalitetsstatus for Nordsøen, QSR 2010, og vurderingskriterierne fra denne (*OSPAR 2009a*) er anvendt i denne rapport. Vurderingskriterierne består af flere niveauer:

- Baggrundsniveau, baseret på et baggrundsvurderingskriterium (BAC, Background Assessment Criteria)
- EQS i fisk og muslinger for beskyttelse af top-predatorer mod Hg
- Økotoxikologisk kriterium (ERL) for sediment
- EU grænseværdi for fødevarer (*EU 2006*) for fisk og muslinger
- Hvor ovenstående kriterier ikke findes, anvendes et norsk klassificeringssystem fra *SFT (2007)*.

BAC bestemmes ud fra et 'naturligt' baggrundsniveau, som bestemmes som medianværdien af prøver fra 'upåvirkede' områder (*OSPAR 2009b*). Til denne baggrundsværdi lægges usikkerheden på analyserne for at frembringe en BAC, som så statistisk kan holdes op mod de målte koncentrationer. Det har ikke været muligt inden for OSPAR at blive enige om et miljøvurderingskriterium for metaller i biota (dog undtaget Hg, se nedenfor), men for sediment er der anvendt Effect Range Low (ERL) værdier fra den amerikanske Environmental Protection Agency (*US-EPA*). Der er fastsat BAC og EU fødevarekriterier for de tre klassiske tungmetaller Pb, Cd og Hg, og herudover BAC for Cu og Zn. For også at vurdere Ni, Zn, Cu, Cr og As anvendes derfor desuden det norske Klima- og forurensningsdirektorats vurderingskriterier (hed tidligere Statens forurensningstilsyn, SFT).

EU har i vandrammedirektivet fastsat en grænseværdi for Hg i biota til $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt. EQS'en for biota er sat for at beskytte top-predatorer pga. kviksølvs opkoncentrering i fødekæden. For metaller i vand er det muligt at lægge en baggrundsværdi til EQS'en, men dette gælder ikke for biota-kriteriet. Det betyder, at ca. en tredjedel af de undersøgte muslinger i Danmark ligger over 'god økologisk status', og ca. halvdelen ligger på baggrundsniveau for kviksølv (*tabel 11.1*).

Vurderingskriterierne er i QSR 2010 anvendt på det øvre konfidensinterval for tidstrends, dvs. det er sværere at komme under BAC end som her, hvor det er de målte koncentrationer, der er sammenlignet direkte med vurderingskriterierne.

For bly og cadmium var hhv. 76 og 90 % af muslingernes bløddele på baggrundsniveau eller lavere, og for en enkelt station ved Røsnæs var blyindholdet i muslingebløddele meget tæt på, men ikke over EU's fødevaregrænse (*tabel 11.1*).

Tabel 11.1. Vurdering af koncentrationen af metaller i muslinger efter OSPAR QSR 2010 vurderingskriterier, baggrunds-vurderings-kriteriet (BAC i tørstof) og EU's fødevarekrav (omregnet fra vådvægt (VV) med faktor 5 til tørstof (TS), dvs. $\text{Hg} = 0,5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ VV} = 2,5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$). For Hg er desuden angivet EQS for biota og andelen af prøver, der ligger over denne værdi; der er p.t. ikke EQS fastsat for Cd og Pb.

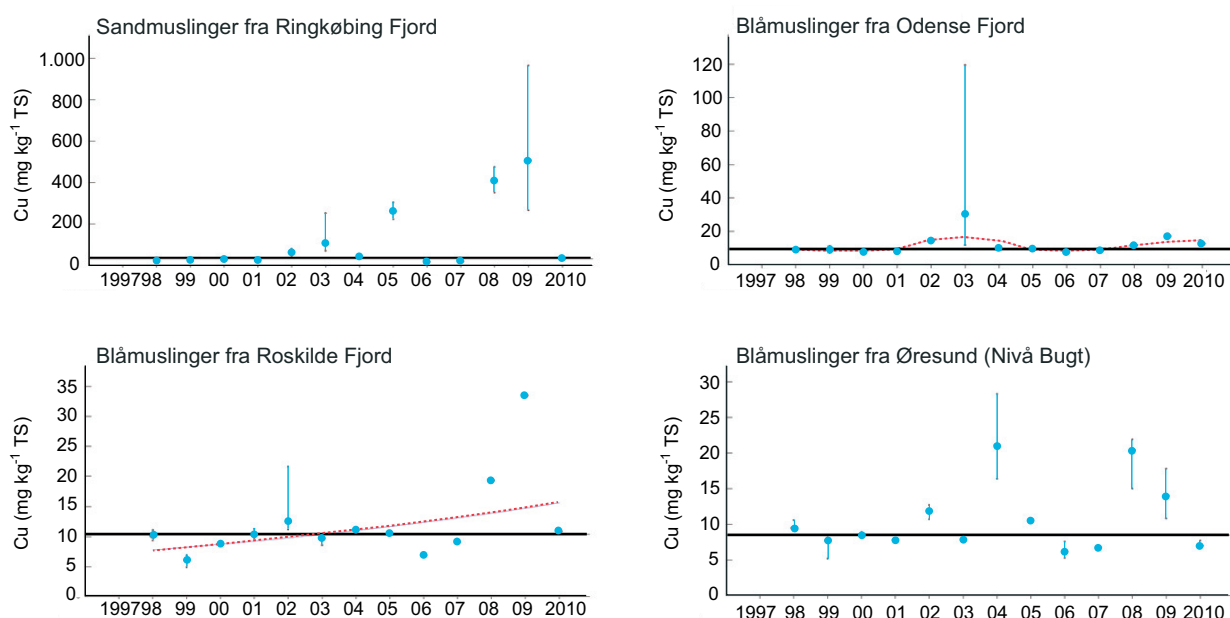
Metal	Hg	Cd	Pb
BAC ($\text{mg kg}^{-1} \text{ TS}$)	0,14	1,94	1,52
% under BAC	52 %	90 %	76 %
EQS ($\text{mg kg}^{-1} \text{ TS}$)	0,2		
% over EQS	32 %	Ikke defineret	Ikke defineret
Krav ($\text{mg kg}^{-1} \text{ TS}$)	2,5	5,0	7,5
% under EU's fødevarekrav	100 %	100 %	100 %
Over EU's fødevarekrav	0 %	0 %	0 %

Siden starten af NOVA 1998 har de norske kvalitetsklasser været anvendt til vurdering af resultaterne, og sammenholdes dette års resultater med *SFT 2007*'s resultaterne i *tabel 11.2* for de metaller, der ikke indgår i OSPARs QSR.

Tabel 11.2. Procentvis andel af muslinger, der er i hver af de fire første kvalitetsklasser efter *SFT (2007)*. Ingen muslinger havde koncentrationer over klasse 4 (grænsen er angivet før %-andel).

Tilstand	Zn	Cu	Ni	Pb	Cr	As
Klasse 1 ($\text{mg kg}^{-1} \text{ TS}$)	< 200	< 10	< 5	< 3	< 3	< 10
Meget god	97,8 %	50,0 %	93,5 %	89,1 %	89,1 %	47,8 %
Klasse 2 ($\text{mg kg}^{-1} \text{ TS}$)	< 400	< 30	< 20	< 15	< 10	< 30
God	2,2 %	45,7 %	6,5 %	10,9 %	8,7 %	50,0 %
Klasse 3 ($\text{mg kg}^{-1} \text{ TS}$)	< 1000	< 100	< 50	< 40	< 30	< 50
Mindre god	-	4,3 %	-	-	2,2 %	2,2 %

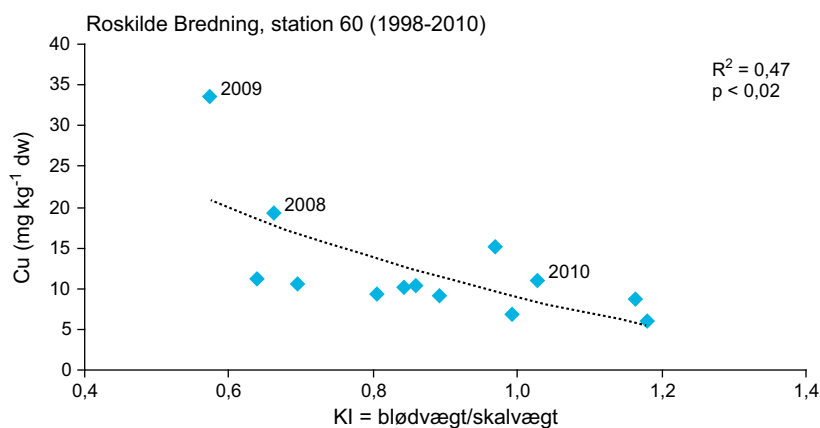
I forhold til 2009 var der generelt tale om en forbedring, idet der i 2010 ikke var resultater i klasse 4 (dårlig), og Ni og Pb kun fandtes i klasse 2 (god), og kun 1-2 prøver for Cr, As og Cu var i klassen 'mindre god'. De 'mindre gode' resultater for Cr, As og Cu stammede i alle tilfælde fra sandmuslinger i Ringkøbing Fjord – sandmuslinger har generelt højere metalbelastning end blåmuslinger, sandsynligvis pga. deres levevis nedgravet i sedimentet.



Figur 11.1. Kobberkoncentrationen i mg kg^{-1} TS for fire udvalgte tidstrendstationer i hele NOVA/NOVANA programperioden (1998-2010). Standardafvigelsen mellem 2-3 prøver fra stationen er markeret med vertikale barer. I Odense Fjord var der i 2003 meget stor spredning i de tre delprøver ($12 - 30 - 120 \text{ mg kg}^{-1}$), en afvigelse der ikke genfindes for de øvrige metaller. Medianværdien er angivet som horisontal linje, og tidstrenden er angivet som en udglattet værdi beregnet med AMAPs tidstrendprogram "PIA" (Bignert 2007). Bemærk de forskellige skalaer.

For NOVANA 2009 var der Cu-resultater i kvalitetsklasse 4 fra Ringkøbing Fjord (sandmuslinger), og niveauerne var så høje, at der i år er gjort en særlig indsats med prøvetagning tre andre steder i Ringkøbing Fjord for at se nærmere på udbredelsen. Generelt var resultaterne væsentligt lavere i 2010, og selvom sandmuslinger fortsat generelt har de højeste værdier af Cu, Ni og Pb, kom niveauet ned på samme niveau som i 2006-2007 (figur 11.1). En nærmere gennemgang af data fra Roskilde Fjord har også vist en top i kobberkoncentrationen i 2007-2009 (figur 11.1), og der var en signifikant korrelation med konditionsindekset, angivet som vægten af bløddele i forhold til skallerne (figur 11.2).

Figur 11.2. Årligt sammenfald af kobberindholdet i blåmuslingers bløddele og deres konditionsindeks (defineret som vægten af bløddele i forhold til skallen).



Om det forhøjede kobberindhold gav anledning til lavere konditionsindeks, eller om det lave konditionsindeks var årsagen til det høje kobberindhold, er ikke umiddelbart klart, da optaget delvist er kontrolleret af muslingernes behov.

Sedimenter

Indholdet af metaller i sediment er kraftigt knyttet til de små partikler som ler og silt med en kornstørrelse < 63 µm, mens sand fungerer som en 'fortynder', idet der ikke kan sidde metaller (eller organiske forureninger) fast på sandkornene. Derfor er det nødvendigt at normalisere koncentrationerne til et standardsediment med 5 % aluminium (Al) ifølge OSPARs retningslinjer (*OSPAR 2002*). Normaliseringen betyder, at koncentrationer i sedimenter med mindre end 5 % Al bliver justeret op og vice versa.

Sedimenters baggrundskoncentration er baseret på daterede sedimentsøjler, således at koncentrationerne gælder for de dele af søjlerne, der er fra præ-industrialiseringen (før 1850). Som øvre kriterium for 'god' tilstand blev QSR 2010 enige om at bruge US-EPA Effect Range Low (ERL; *OSPAR 2009b, US-EPA 2002*), altså det niveau hvor der er lidt eller ingen økotoksikologisk effekt på sedimentlevende organismer. For Ni, Cr og As er der ikke defineret ERL-værdier, så i *tabel 11.3* er der kun relateret til BAC for disse metaller. Data for 2010 ligger væsentligt over 2009, hvor kun 7-14 % (2-4 af 29 prøver) lå over ERL. Da sedimenterne tages i DEVANO-programmet, var der tale om andre stationer end i 2009, og lokaliteterne er ofte udvalgt for at afdække evt. problemområder i forhold til vandrammedirektivet.

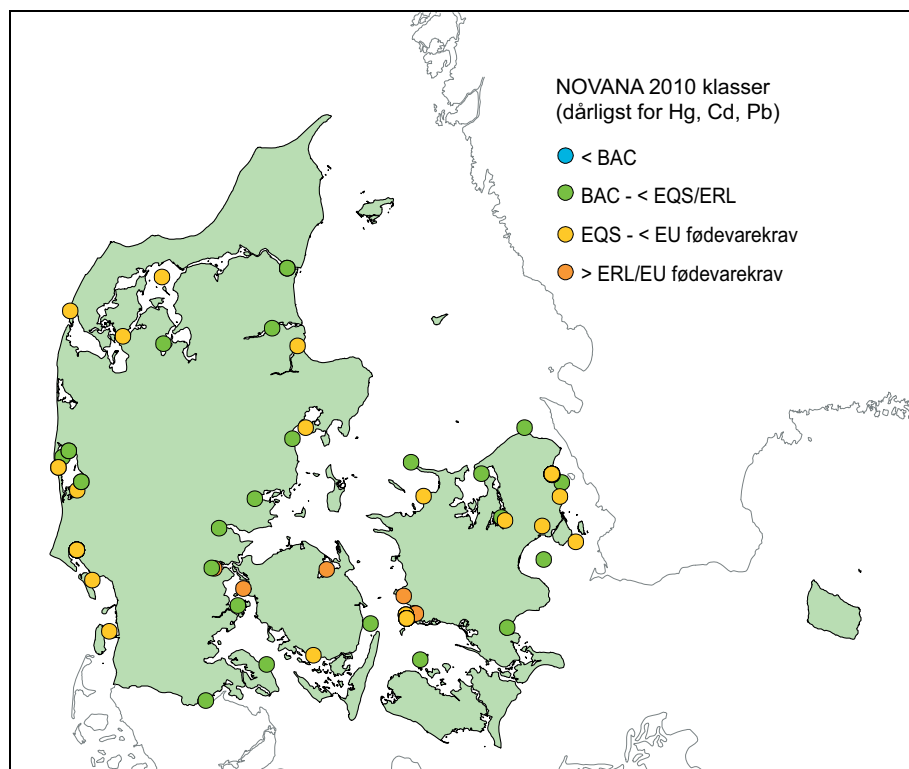
Tabel 11.3. Vurdering af koncentrationen af metaller i sediment efter OSPAR QSR 2010 vurderingskriterierne: baggrundsvurderingskriteriet (BAC, normaliseret til 5 % Al) og US-EPA ERL.

Tilstand	Zn	Cu	Hg	Cd	Pb	Ni, Cr, As
BAC (mg kg ⁻¹ 5 % Al)	< 122	< 27	< 0,07	< 0,31	< 38	< 36, < 81, < 25
% under BAC	42 %	50 %	33 %	33 %	67 %	67, 75, 100 %
% mellem BAC og ERL	0 %	8 %	9 %	33 %	8 %	Ikke defineret
ERL (mg kg ⁻¹ 5 % Al)	> 150	>34	>0,091	>1,2	>47	> 36, > 81, > 25
% større end ERL	58 %	42 %	58 %	33 %	25 %	33, 25, 0 %

For Hg og Zn og i færre tilfælde for Cd og Pb lå en stor del af resultaterne over ERL (*figur 11.3* og *tabel 11.3*, orange tilstand). Farvekodningen angiver det såkaldte one-out-all-out princip, dvs. det er det dårligst klassificerede metal af Hg, Cd, Pb som angiver farvekoden for hver station. Data for de øvrige metaller er ikke afbildet.

Bemærk at de røde markeringer (over ERL) alle er sedimentprøver, hvorimod en del orange er overskridelse af BAC/EQS men under EU's fødevarekrav. Desuden er der endnu ikke defineret nogen EQS-værdi for Cd og Pb, så her går farveskalaen direkte fra blå til orange. Der arbejdes internationalt på en revision af EQS-værdier for biota i vandrammedirektivregi, ligesom OSPARs EAC-system er under revurdering. Samtidig er et projekt (HARMONY) i gang med at udvikle en bedre måde at vurdere data fra flere metaller/MFS på samme station/område, som skal forbedre HELCOM Chase-værktøjet anvendt i HELCOMs integrerede assessment (*HELCOM 2010a, b*). De fleste af disse forbedringer af vurderingsværktøjer forventes færdige i starten af 2012, og skal herefter godkendes på ministermøderne, før de træder i kraft officielt.

Figur 11.3. Vurdering af metallerne Hg, Cd og Pb efter OSPARs kriterier (BAC, ERL/EQS og fødevarekvalitet) i fisk, muslinger og sediment. Den dårligste klasse for stationen er angivet ved farven, som i *tabel 11.1* samt grøn for værdier mellem BAC og EQS. Se *figur 1.1E* for oversigt over stationstyper vist på figuren.



Sammenfatning

- I 32 % af muslingerne var kviksølvindholdet over grænsen for 'god økologisk status', og 58 % af sedimenterne havde kviksølvindhold over US-EPA ERL-grænsen.
- Der har hen over programperioden været et meget varierende Cu-indhold i blåmuslinger, som i Roskilde Fjord er korreleret med udviklingen i konditionen af blåmuslinger.
- Mindst en fjerdedel af sedimentprøverne indeholdt alle metallerne, undtagen As, i koncentrationer, der var over ERL-grænsen.
- Nye værktøjer til vurdering af koncentrationsniveau i muslinger og sediment er under udarbejdelse i OSPAR, og de forventes tidligst klar til brug fra midten af 2012, men bliver afprøvet på overvågningsdata i december 2011.

12 Miljøfremmede stoffer i muslinger, fisk og sediment

Martin M. Larsen & Jakob Strand

De miljøfremmede stoffer, som indgår i NOVANA, er udvalgt på baggrund af viden om deres forekomst og skadelige effekter i det marine miljø samt ud fra internationale forpligtelser i henhold til EU, OSPAR og HELCOM. Mange af disse stoffer kan påvirke dyrs vækst, reproduktion, adfærd eller på anden måde deres overlevelse. En del af stofferne er også sat i forbindelse med fx hormonforstyrrende effekter. De miljøfremmede stoffer måles i muslinger og fiskelever hvert år. Der analyseres for miljøfremmede stoffer i de samme prøver, som beskrevet for metaller (*kapitel 11*).

Som supplement til NOVANA blev der igen i 2010 udtaget prøver i det tidligere regionale DEVANO-program, hvori der de sidste to år også har indgået sedimentprøver.

I sedimenter, muslinger og fisk blev der analyseret for de forbudte organoklorforbindelser PCB samt de klorerede pesticider DDT, HCH, HCB og chlordan (trans-nonachlor). I muslinger og sediment blev der desuden analyseret for antibegrovningsmidlet tributyltin (TBT), bromerede flammehæmmere (PBDE), dioxin, furaner og coplanare PCB'er, tjærestoffer fra forbrænding, oliespild, skovbrande og vulkanudbrud (PAH) og i sediment desuden nonylphenoler og hexachlorbutadien (HCBd). De bromerede flammehæmmere blev kun målt i én prøve i 2010, da de normalt ligger under detektionsgrænsen, og fra 2011 vil de blive målt i fisk, som har et højere niveau.

De seneste år er der foretaget en del screeningsundersøgelser af stoffer, som potentielt kan udgøre en fare i det marine miljø. I 2009 har der været særlig fokus på ålekvabber (hunner og yngel) og relationen mellem biologiske effekter og miljøfremmede stoffer (*Dahlöf & Strand 2010*).

Vurdering af målte koncentrationer

Koncentrationen af miljøfremmede stoffer i muslinger og fisk vurderes i denne rapport primært i forhold til det nye sæt kriterier fra OSPARs QSR 2010 (*kapitel 11*). For muslinger og fisk anvendes økotoxikologiske- eller miljø-vurderingskriterier (EAC), hvorimod der for sedimenter er anvendt både OSPARs EAC-kriterier for chlorerede pesticider og PCB, og de amerikanske miljøkriterier (US-EPA, koncentrationer i 'Effect range low').

Endelig har EU i 2008 vedtaget et direktiv, der sætter grænser for hexachlorobenzen (HCB) på $10 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt og hexachlorbutadien (HCBd) på $55 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt for den mest velegnede indikator blandt fisk, bløddyr, krebsdyr og anden biota. HCBd blev målt i sediment i 2010. Der blev ikke fundet nogen overskridelser af EQS for HCB i 2010, og koncentrationen af HCBd i alle sedimentprøver lå under eller på detektionsgrænsen ($\sim 0,02 \mu\text{g kg}^{-1}$ tørstof).

Oversigtsmæssigt anvendes altså følgende kriterier:

- Baggrunds niveau (BAC)
- Miljøkvalitetskrav for biota (EQS) for HCB og HCBd
- Økotoxikologisk baserede miljøvurderingsgrænser EAC (eller ERL for sediment)

- EU grænseværdier for fødevarer hvor de findes (TBT/Benzo(a)pyren)

Der arbejdes i øjeblikket på revision af både EAC-kriterierne, og på at indføre EU EQS-værdier for en række stoffer i biota (fisk og muslinger), ligesom HARMONY-projektet udvikler værktøjer til vurdering af miljøtilstanden baseret på data for forskellige parametre. Disse værktøjer forventes klar i løbet af foråret 2012, som omtalt i *kapitel 11*.

Muslinger

De fleste PAH'er lå imellem BAC- og EAC-værdien med 8-33 % af værdierne under BAC-niveau. Kun for pyren fandtes resultater over EAC-værdien. For PCB og de øvrige klorerede pesticider fandtes en del under BAC-niveau (op til 80-94 % for CB28, CB52, CB105 og CB180), og kun CB105 og CB118 var over EAC med hhv. 3 og 44 % af prøverne (*tabel 12.1, kun CB118 vist*). For de klorerede pesticider er der kun for gamma-HCH fastsat en EAC, som 13 % af prøverne lå over. TBT er fortsat det miljøfremmede stof, som i flest områder giver højest risiko for effekt, med 95 % over EAC-værdien, og 5 % endog over fødevarekriteriet fra EU (Kolding og Odense Fjord). Trods forbud mod anvendelse af TBT i skibsmaling findes TBT altså fortsat i forstyrrende mængder i havmiljøet, og forventes ikke at nå ned omkring BAC foreløbig. Bemærk for Benzo(a)pyren, at fødevarekravet på $10 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt for toskallede organismer (muslinger) er ca. 10 gange lavere end EAC værdien der angives i tørstof, men ingen af de to kriterier er overskredet (maximale koncentration fundet er $1,2 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt eller $8,9 \mu\text{g kg}^{-1}$ tør-vægt).

Tabel 12.1. Vurdering af koncentrationen af udvalgte miljøfremmede stoffer i muslinger efter OSPAR QSR 2010 vurderings-kriterier, baggrunds-vurderings-kriteriet (BAC), OSPAR miljøvurderingskriterium (EAC) og EU's grænseværdier for fødevarer eller vandrammedirektiv EQS (VV).

Stofgruppe	Organotin	PAH'er		Chlorerede forbindelser		
Tilstand	TBT-Sn	Pyren	Benzo(a)pyren	PCB-118	gamma-HCH	HCB
BAC ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TS)	2	9	1,4	0,7	0,6	0,63
% under BAC	0 %	8 %	17 %	34 %	56 %	100 %
EAC ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TS)	5	100	600	6	80	-
% > BAC < EAC	5 %	86 %	83 %	19 %	28 %	-
Over EAC	95 %	6 %	0 %	44 %	13 %	-
Over EU's grænseværdi for fødevarer eller VRD	6,1 (VV)	10 (VV)		10 (EQS)		
EQS ($\mu\text{g kg}^{-1}$ VV)	5 %	Ingen krav	0 %	Ingen krav	Ingen krav	0 %

Fisk

Der er analyseret chlorerede forbindelser i 29 fisk i alt. For de to stationer (Vadehavet og Storebælt) var alle over BAC, men under EAC (i lipidvægt). Alle HCB'er var under EQS-værdien sat af vandrammedirektivet (vådvægtsbasis) for de tre stationer. Normalt vurderes HCB'er på lipidvægt, og her var de også under EQS-værdien for Vadehavet (Ho Bugt) og Storebælt. For Nivå Bugt prøverne fandtes CB118 dog på niveauer, der lå over EAC-kriteriet, og målt på lipidvægt var værdierne over EQS-værdien. Lipidindholdet var 1,4-16,8 % i fiskeleverne fra Nivå Bugt, så angivelsen i lipidvægt svarer til en 6-74 gange højere koncentration.

Sediment

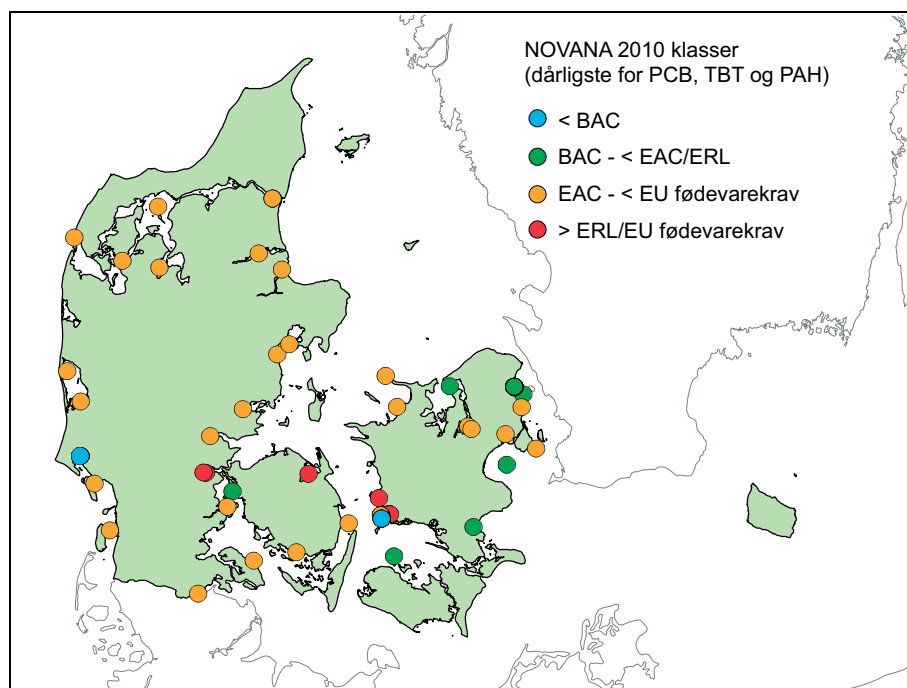
I sediment blev der for næsten alle prøver målt PAH og HBCD, og i syv tilfælde TBT, og endelig i fire tilfælde desuden dioxin/furaner. Opsummering af resultaterne for PAH'erne vurderet i forhold til ERL (se *kapitel 11*), og TBT vurderet i forhold til kriterierne, der blev anvendt i HELCOMs 2010 assessment rapport, er vist i *tabel 12.2*. Indeno(1,2,3-cd)pyren og benz(ghi)perylene var i 42 % af resultaterne

over det lave effektområde, så effekter kan ikke udelukkes. Af de PAH'er, der er ERL-kriterier for, var kun fluoranthen under ERL. For TBT var kun Karrebæk Fjord over HELCOMs grænse for signifikant påvirkning. Der blev målt dioxin på tre stationer (heraf en dobbeltprøve) med WHO-TEQ total-værdier på 1-6 ng/kg TS, lavest i Langerak (østlige del af Limfjorden) og højest i Kolding Fjord. I alle tilfælde udgjorde dioxin/furaner hovedparten af toxiciteten; under 10 % af toxiciteten kan tilskrives coplanare PCB'er.

Tabel 12.2. Vurdering af koncentrationen af udvalgte miljøfremmede stoffer i sediment efter OSPAR QSR 2010 vurderingskriterier, baggrundsassessment-kriteriet (BAC), og US-EPA's Effect Range Low (ERL). * for TBT anvendes grænserne fastsat i *HELCOM 2010b* (BSAP 120B) omregnet til TBT-Sn.

Stofgruppe	PAH'er					Organotin
	Naphtalen/ Pyren	Anthracen	Indeno(1,2,3- cd)pyren	Benz(a)- anthrazen	Benzo(a)- pyren	TBT-Sn*
Tilstand						
BAC ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TS)	8/24	5	103	16	30	0,5
% under BAC	25 %	17 %	50 %	17 %	33 %	14,5 %
ERL ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TS >)	160/665	85	240	240	430	12,5
% > BAC < ERL	58 %	58 %	8 %	50 %	50 %	71 %
Over ERL	17 %	25 %	42 %	33 %	17 %	14,5 %

Figur 12.1. Oversigt for MFS stationer med angivelse af kvalitetsklassen, efter one-out-all-out-princippet. Bemærk at de orange/røde områder mest skyldes TBT for muslingeprøver, og PAH for sedimenter. Se figur 1.1E for prøvetypen på de enkelte stationer.

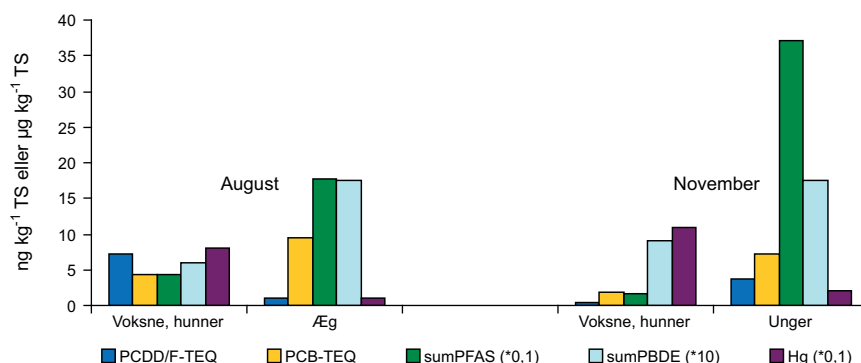


Miljøfremmede stoffer i ålekvabbe

Ålekvabber, der blev indsamlet i 2009 ved tre NOVANA-lokaliteter, blev undersøgt for forskellige typer af miljøfremmede stoffer. Desuden blev det undersøgt, i hvilket omfang stofferne overføres til fiskens æg og unger hos den levendefødende fisk (*Dahllöf & Strand 2010*) i forbindelse med et miljøprojekt, kaldet FORMÅL, under Naturstyrelsen i samarbejde med BONUS+-projektet BALCOFISH.

Undersøgelsen viste, at sammensætningen af miljøfremmede stoffer i æg og unger ikke var konstant, men ændrede sig gennem den reproduktive periode fra august til november. Det indikerer, at fluktuationer i den ydre miljøbelastning påvirker overførslen fra moderfisk til dens unger eller den generelle metabolisme. Især for stofgrupper som de dioxinlignende stoffer PCDD/F og coplanare PCB'er samt perfluorerede forbindelser (PFAS) gav undersøgelsen evidens for en markant overførsel fra moderfisk til dens unger, der gav sig udslag i fald i koncentrationerne i muskel hos moderfisk og en stigning hos ungerne fra august til

november. Derimod var overførslen til unger ikke umiddelbart lige så markant for andre stofgrupper som metaller og bromerede flammehæmmere (PBDE) i forhold til de nominelle koncentrationsniveauer. Overførslen blev dog først evident ud fra en samlet mængdebetragtning, idet gonadevægten stiger med ca. en faktor 10 fra august (kun æg) til november (store unger) (figur 12.2).



Figur 12.2. Sæsonmæssige forskelle i koncentrationsniveauer af miljøfremmede stoffer i moderfisk (muskel) og hhv. æg og unger fra august og november i Roskilde Fjord 2009. Enheden ng kg⁻¹ TS gælder for de toksiske ækvivalenter (TEQ) af summen for de dioxinlignende stoffer (PCDD/F) og PCB'er. Enheden µg kg⁻¹ TS gælder for de perfluorede forbindelser (PFAS), bromerede flammehæmmere (PBDE) og kviksølv (Hg), skaleret op eller ned med en faktor 10 som angivet i parentes bagved stoffet.

På grund af denne betydelige overførsel af miljøfremmede stoffer fra ålekvabehunner og til dens unger, vil det være en fordel at undersøge hanner frem for hunner for at reducere individvariationen, hvilket er vigtigt, når områdemæssige forskelle og tidlige udviklinger fremover skal vurderes i forbindelse med NOVANA-programmet. Derudover sikrer det også sammenlignelighed med eksisterende svenske og tyske overvågningsprogrammer, der også anvender hanner til analyser af miljøfremmede stoffer i ålekvabbe i Østersøområdet.

Sammenfatning

- TBT er det stof i muslinger, som i flest områder giver højst risiko for effekter, dels med niveauer over miljøkvalitetskriteriet (EAC), hvor effekter ikke kan afvises på 95 % af stationerne, dels med niveauer over EU's grænseværdi for fødevarer på 5 % af stationerne (Kolding og Odense Fjord).
- For sediment havde kun én (Karrebæk Fjord) af syv stationer koncentrationer, der lå over HELCOMs grænse for signifikant risiko for påvirkning med TBT.
- For fisk var koncentrationerne af CB118 kun over EAC i Nivå Bugt, og effekter af PCB kan derfor ikke udelukkes i Øresund. For Vadehavet og Storebælt var koncentrationerne i alle individer under EAC, og der forventes ikke effekter af PCB eller HCB.
- PAH'erne blev i sediment fundet med den største hyppighed og højeste koncentrationer i forhold til vurderingskriterierne. Op til 42 % af prøverne havde koncentrationer, der var over ERL. Effekter af PAH'er kan derfor ikke udelukkes – specielt ikke for Indeno(1,2,3-cd)pyren og Benz(ghi)perylen.
- Ålekvabehunner overfører miljøfremmede stoffer til deres unger i løbet af efteråret, specielt for klorerede og fluorerede stoffer, men ikke påviseligt for Hg og bromerede forbindelser. Dette gør hunnerne mindre egnede som monitoringsorganismer, og monitoring af miljøfremmede stoffer bør foretages i hanner, som angivet i HELCOMs COMBINE program.
- Nye værktøjer til vurdering af koncentrationsniveau i muslinger, fisk og sediment er under udarbejdelse i OSPAR og forventes tidligst klar til midten af 2012, men testes på 2010-data i OSPAR regi i december 2011.

13 Biologisk effektovervågning i muslinger og ålekvabbe

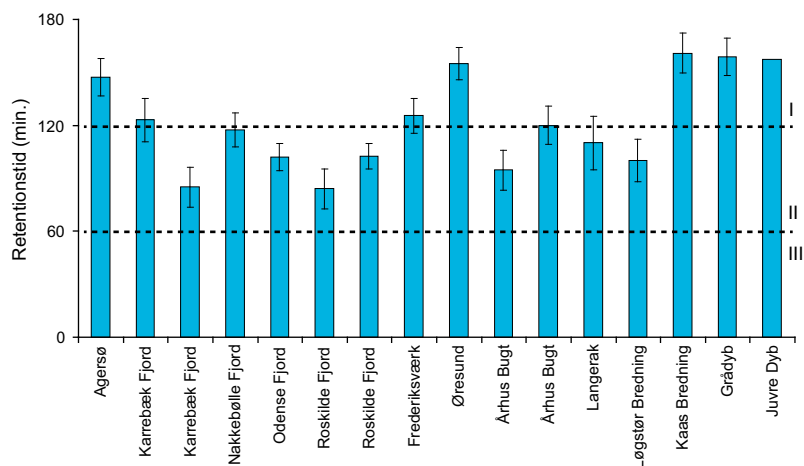
Jakob Strand & Ingela Dahllöf

Forskellige biologiske indikatorer kan anvendes til at vurdere, om miljøfarlige stoffer udgør en risiko for dyrelivet i vore farvande. I NOVANA-programmet 2010 blev blåmuslinger og ålekvabber undersøgt ved brug af biomarkører for at identificere tidlige tegn på skadelige effekter i individer. De tidlige tegn på effekter har dog ikke nødvendigvis betydning på populationsniveau. Biomarkørerne anvendes som indikatorer for de rumlige og tidlige variationer i påvirkninger af både specifikke stofgrupper og blandinger af miljøfarlige stoffer. For eksempel betragtes CYP1A-enzymaktivitet i fisk som en markør for effekter af bl.a. PAH og dioxinlignende stoffer, men effekterne er dog umiddelbart ikke lige så stofspecifikke som tidligere års overvågning af TBT-effekter i havsnegle. Til gengæld anses biomarkørerne lysosomal membranstabilitet i muslinger og forekomsten af fejludviklet fiskeyngel som værende mere generelle stressmarkører for den samlede påvirkning af de forskellige typer af miljøfarlige stoffer, der findes i havmiljøet. Afhængig af typen af biomarkør ses effekterne med forskellig forsinkelse i forhold til det reelle tidspunkt for påvirkning. Derfor kan man heller ikke forvente, at alle effekttyper viser de samme billeder af påvirkningsgrad for alle områder.

Biologiske effekter i blåmuslinger

I blåmusling (*Mytilus edulis*) anvendes lysosomal membranstabilitet som en generel stressmarkør for tegn på celledskader, der kan være forårsaget af forskellige typer af miljøfarlige stoffer. Effektniveauet vurderes ved at måle tiden, det tager membraner i celler fra muslingernes hæmolymfe ('blod') at gå i stykker. Undersøgelserne udføres på flere af de stationer, hvor der også indgår miljøfremmede stoffer og metaller i overvågningen (kapitel 11 og 12).

Figur 13.1. Biomarkøren lysosomal membranstabilitet i blåmuslinger fra forskellige kystnære områder (middel $\pm$ 95 % konfidensinterval). Desuden er de foreslåede miljøkriterier I - III for lysosomal membranstabilitet angivet: I) upåvirket (≥ 120 min.), II) påvirket men kompenserende ($60 - < 120$ min.) og III) stærkt påvirket (< 60 min.).



Kun i ca. halvdelen af de undersøgte områder (47 %) syntes blåmuslingerne at være upåvirkede (retentionstid > 120 min.) i henhold til de af OSPAR/ICES foreslåede vurderingskriterier (Lyons m.fl. 2010). Derimod var der tegn på en vis påvirkningsgrad hos muslingerne (60-120 min.) i de resterende områder, fx Roskilde Fjord, Karrebæk Fjord og Aarhus Bugt. I ingen områder vurderes muslingerne at være stærkt påvirkede (figur 13.1).

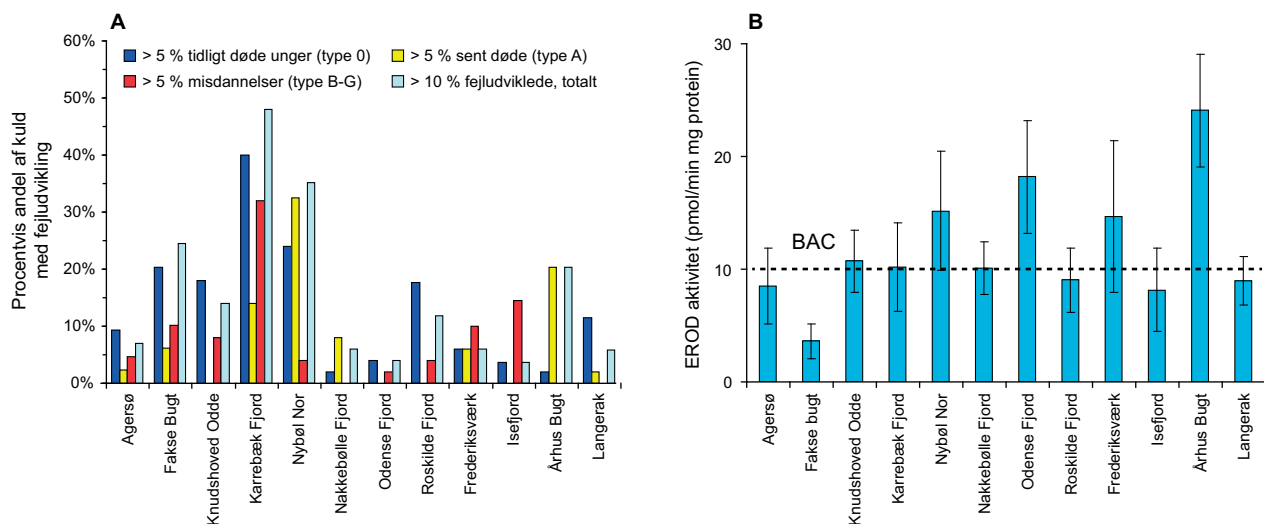
Biologiske effekter i ålekvabbe

Ålekvabbe (*Zoarces viviparus*) anvendes i NOVANA som indikator for forekomst af effekter af miljøfarlige stoffer på kystnære fisk. De undersøgte effekter er ikke alle stofspecifikke, men kan skyldes påvirkninger fra en række forskellige miljøfarlige stoffer, alene eller i kombination. Ålekvabbe er en velegnet bioindikator, da den er udbredt og let kan indsamles i de fleste kystnære områder og anses for at være en stationær fisk. Sidstnævnte er for nyligt blevet understøttet af en populationsgenetisk undersøgelse (*Simonsen & Strand 2010*). Yderligere er den levedefødende, hvor drægtige hunner bærer op til 200 unger i et kuld. Hermed kan eventuelle effekter på dens reproduktion, herunder forekomst af fejludviklet yngel, let undersøges. De voksne ålekvabber undersøges herudover også for forskellige fysiologiske parametre så som størrelsesfordeling, kondition, lever- og gonade-somatisk indeks etc.

Flere typer af fejludviklede unger er fundet i kuld fra ålekvabbe i de danske farvande, og især alvorlige misdannelser af indvolde, skelet (bl.a. spiralformet ryggrad), hoved, øjne og siamesiske tvillinger kan tyde på en skadelig påvirkning af miljøfarlige stoffer. Karakteriseringen af typer af fejludvikling er beskrevet i *Strand & Dahllöf 2011*. De hyppigste forekomster af misdannede unger (type B-G) blev i 2010 fundet i Karrebæk Fjord, Knudshoved Odde, Frederiksværk, Roskilde Fjord, Langerak og Fakse Bugt. Her havde 10-26 % af kuldene en øget forekomst af misdannelser defineret ved > 5 % af type B-G pr. kuld. Derudover forekom der også andre typer af fejludviklede unger, og især Karrebæk Fjord, Nybøl Fjord, Knudshoved Odde, Roskilde Bredning, Langerak og Frederiksværk havde forhøjede niveauer af hhv. tidligt døde unger (type 0) og sent døde unger (type A) (*figur 13.2A*). Det kan dog ikke udelukkes, at bl.a. den høje andel af sent døde unger ved Nybøl Nor skyldes en uhensigtsmæssig håndtering i forbindelse med indsamlingen af moderfiskene. De fleste områder med øgede forekomster af fejludviklede unger var generelt kendetegnet ved at være kystnære områder med en lille vandudskiftning og en betragtelig øget menneskelig påvirkning fra byer og industri. Det er derfor sandsynligt, at misdannelserne bl.a. skyldes påvirkning af miljøfarlige stoffer, herunder dioxin, PAH eller tungmetaller (*Stuer-Lauridsen m.fl. 2008*).

De voksne ålekvabber undersøges desuden for andre forhold, der kan være tegn på, at fiskene er påvirkede af miljøfarlige stoffer. Udover almindelige mål som længde, kondition, lever- og gonade-somatisk indeks, undersøges de bl.a. også for aktiviteten af CYP1A-afgiftningenszymer (målt som EROD). CYP1A-afgiftningenszymer findes i alle fisk, hvor de indgår i den oxidative nedbrydning og kaldes fase-I-enzym. Udover at omdanne en del af organismens egne stoffer, omdanner disse enzymer organiske miljøfarlige stoffer såsom PAH og dioxinlignende stoffer, så de bliver mere vandopløselige og nemmere at udskille. En vigtig egenskab ved disse enzymer er, at de er inducérbare, dvs. at aktiviteten øges som respons på en stigende påvirkning. En forhøjet enzymaktivitet medfører en øget produktion af reaktive metabolitter med særlig høj toksicitet, fx epoxider af PAH, der kan have en mutagen og kræftfremkaldende virkning ved at forvolde skader på DNA. Disse egenskaber gør CYP1A brugbar som biomarkør.

De højeste CYP1A-aktiviteter blev ligesom i flere tidligere år fundet i ålekvabbe fra Aarhus Bugt, Odense Fjord og Nybøl Nor, hvilket tyder på en vis påvirkning fra PAH og/eller dioxinlignende stoffer. I disse områder er niveauet af EROD-aktivitet også signifikant højere end det foreslåede baggrundsresponsniveau (BAC) for ålekvabbe (*BEAST 2011*). De laveste enzymaktiviteter forekom ved Fakse Bugt, Agersø og Isefjord (*figur 13.2B*). Der synes dog ikke at være en direkte sammenhæng mellem CYP1A og fejludvikling af unger hos ålekvabbe.



Figur 13.2. A) Andel af ålekvabbe-kuld med en øget forekomst (dvs. > 5 %) af fejludviklede unger, hhv. som tidligt døde unger (type 0) og sent døde unger (type A), synligt misdannede unger (type B-G) og > 10 % fejludviklede unger, totalt. B) Biomarkøren EROD som mål for CYP1A-enzymaktivitet i leveren fra hunner af ålekvabbe i kystnære områder (middel $\pm$ 95 % konfidensinterval), sammenlignet med et foreslået baggrundsresponsniveau (BAC) for EROD-aktivitet i ålekvabbe.

Sammenfatning

- I ca. halvdelen af de undersøgte kystnære områder viste undersøgelser af blåmuslingernes lysosomale membranstabilitet tegn på celledskader, der tyder på en påvirkning fra miljøfarlige stoffer.
- I fisk viste undersøgelserne af ålekvabbe betydelige forskelle i påvirkningsgrad mellem forskellige områder, både mht. forekomst af fejludviklede unger og CYP1A-enzymaktiviteter. De højeste effektniveauer forekom i visse fjordområder, hvor der generelt er en øget belastning fra byer og industri.

Del 3 – Sammenfattende diskussion

Jens Würgler Hansen & Ditte L. Jansen Petersen

Danmark er omgivet af hav. 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.

De danske farvande er 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 veludviklede industri resulterer i udledninger af forurenende stoffer til havet (se *Del 1*). Hertil kommer belastning fra yderligere aktiviteter på havet i form af erhvervsfiskeri, akvakultur, skibstrafik, ral- og sandsugning, klaphning, byggeri samt olie- og gasudvinding. 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 gør det muligt at beskrive tilstanden og udviklingen i miljø- og naturforholdene samt vurdere, 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. Hertil kommer, at NOVANA dækker miljø- og naturforhold og påvirkninger i bredeste forstand.

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.

14 Tilstand og udvikling

Jens Würgler Hansen & Ditte L. Jansen Petersen

Denne sammenfattende beskrivelse af miljø- og naturtilstanden i de marine områder giver et landsdækkende billede af situationen i 2010 samt af udviklingen siden iværksættelsen af Vandmiljøplan I og diskuterer årsagerne til den nuværende miljø- og naturtilstand.

Klimatiske forhold

2010 var et relativt koldt år, hvor luftens årsmiddeltemperatur var den laveste siden 1996. Således lå lufttemperaturen under normalen (1961-1990) i 8 ud af 12 måneder. Kun juli havde temperaturer væsentligt over normalen, hvilket dog var tilstrækkeligt til, at sommeren blev ca. 1°C varmere end normalt. Så overordnet set var 2010 temperaturmæssigt kendetegnet ved lave temperaturer ved årets start og afslutning, mens sommeren var varm.

Vindmæssigt lå 2010 lige som 2009 under normalen i alle måneder. Vindforholdene var yderligere kendetegnet ved svage vinde fra øst i årets første måneder. Indstrålingen i 2010 var gennemsnitlig, men overordnet har der i de senere år været en stigende tendens i sommerperioden. Afstrømningen i 2010 var lidt over normalen med en fordeling over året, som overordnet set ikke afveg fra det normale mønster. Dog var der en usædvanlig stor afstrømning i marts og november.

Temperaturen i både overfladevand og bundvand var påvirket af de relativt lave lufttemperaturer, og årsmidlen for 2010 er markant lavere end i 2009. Temperaturen i overfladevandet fulgte i store træk forløbet i lufttemperaturen, mens bundvandets temperatur var mindre påvirket af sæsonvariationen i lufttemperaturen. Årsmidlen for 2010 i fjorde og kystnære områder var 0,7°C over normalen, mens både overflade- og bundvand i de åbne farvande var ca. 1,5°C over normalen. Trendanalyser viser, at havtemperaturen i de danske farvande er steget ca. 1,5°C i løbet af de sidste 40 år.

Tilførsler og koncentrationer af næringssalte

Tilførslen af næringssalte fra land til havet afhænger af ferskvandstilførslen. Ferskvandstilførslen var i 2010 på niveau med gennemsnittet for perioden 1990-2009. Alligevel var både tilførslen af kvælstof og fosfor i 2010 markant mindre end gennemsnittet for perioden. Det skyldes en betydelig reduktion i udledningen af kvælstof fra især landbruget og i udledningen af fosfor fra især byspildevandet. Sammenlignet med 1990 er den landbaserede tilførsel af kvælstof og fosfor til de marine områder reduceret med henholdsvis 51 % og 64 %, når der korrigeres for variationen i afstrømning.

Den beregnede totale atmosfæriske kvælstofdeposition til de danske farvande var lavere i 2010 end i 2009 og på niveau med 2008. Denne variation hænger overvejende sammen med nedbørsforholdene. Målinger af kvælstofdepositionen indikerer en reduktion i belastningen på ca. 33 % siden 1989.

Kvælstofkoncentrationerne i fjorde/kystnære områder og de åbne farvande var generelt lave i 2010 og lå under langtidsmidlerne (1989-2009) med undtagelse af november og december, hovedsagelig på grund af stor afstrømning i november. TN-månedsmidlerne for april-juli såvel som oktober var de hidtil laveste. Et næsten tilsvarende mønster var gældende for de åbne farvande, hvor der var rekordlave TN-koncentrationer alle måneder undtagen i januar, marts og december.

Fosforkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder var også lave i 2010 sammenholdt med langtidsmidlerne. Dog var der en rekord høj koncentration af organisk P i marts, hvilket skyldtes planteplanktons store optag af DIP under forårsopblomstring samme måned. DIP-koncentrationerne var de hidtil laveste i juni, september og oktober. I de åbne farvande var fosforkoncentrationerne mere på niveau med langtidsmidlerne. Men det organiske P var væsentligt over og DIP væsentligt under langtidsmidlerne i årets første måneder, som konsekvens af planteplanktons store optag af DIP under den tidlige og kraftige forårsopblomstring.

Kvælstof- og fosforkoncentrationerne er faldet markant siden 1989, hvilket er en positiv effekt af vandmiljøplanerne og tilsvarende aktiviteter i vores nabolande. Koncentrationsfaldet har dog været aftagende siden 2002 og har vist en tendens til stagnation for fosfor siden 1997. Årsmidlen for TN i 2010 var således på det laveste niveau siden 1989, mens årsmidlen for TP lå på samme niveau som de senere år.

Planteplankton, dyreplankton og sigtddybde

I de åbne farvande steg koncentrationen af klorofyl brat fra årets start som følge af en meget tidlig og meget markant forårsopblomstring af planteplankton og opnåede usædvanligt høje værdier i årets første måneder. I fjorde og kystnære områder var der som normalt en top i marts i forbindelse med forårsopblomstringen. Herefter fulgte koncentrationen sæsonmønstret for langtidsmidlen (1989-2009) for begge farvandstyper, dog på et niveau under normalen – således var koncentrationerne i fjorde og kystnære områder i maj og juni de hidtil lavest registrerede for årstiden. Årsmidlen for klorofyl i 2010 var på et lidt højere niveau end i 2009 for begge farvandstyper, men forsat på de sidste par års lavere niveau, således at der stadig er tale om et signifikant fald i den klimakorrigerede klorofylkoncentration siden 1989.

Primærproduktionen fulgte i 2010 overordnet set det normale sæsonmønster både i fjorde/kystnære områder og i de åbne farvande, men niveauet var generelt højere end langtidsmidlen for fjorde og kystnære områder. Årsmidlen for primærproduktionen i 2010 var højere end i 2009, specielt markant for fjorde og kystnære områder, og svarende til niveauet for de senere år.

Der var generelt kun beskedne forekomster af potentielt toksiske alger i 2010. Dog blev der registreret høje koncentrationer af de potentielt fisketoksiske stilkalger og enkelte tilfælde af toksinproducerende furealger i koncentrationer over grænseværdien for muslingefiskeriet.

Sigtddybden i 2010 var markant under langtidsmidlen (1989-2009) i årets start og slutning. Den dårligere sigtddybde i starten af året skyldes formodentlig den tidlige og kraftige forårsopblomstring af planteplankton, som var speciel markant i de åbne farvande. Årsmidlen for sigtddybden i 2010 var lidt lavere end i 2009 og på samme lave niveau som de senere år. Den klimakorrigerede sigtddybde har således været signifikant faldende siden 2001 i begge farvandstyper.

Sæsonudviklingen i dyreplanktonet i 2010 adskilte sig fra normalen ved usædvanligt høje sommerbiomasser af vandlopper og dafnier i både fjorde/kystnære områder og de åbne farvande. Disse flercellede dyreplankton har via deres græsning formodentlig bidraget væsentligt til det udsædvanlige lave sommerniveau for encellet dyreplankton i begge farvandstyper. I fjorde og kystnære områder har der siden 1989 været et signifikant fald i biomassen af vandlopper, dafnier og encellet plankton (fratrasket ciliater, hvis udvikling ikke har været signifikant).

Iltsvind

Ilthforholdene var overordnet set relativt gode i 2010. Det skyldes hovedsageligt de klimatiske forhold med usædvanlig lave temperaturer og forholdsvis blæsende vejr i den typiske iltsvindperiode (sensommer og efterår). Året var dog kendetegnet ved, at iltsvind i flere områder opstod tidligere end normalt, formodentlig fordi kombination af isdække og svage østlige vinde betød en dårlig iltning af vandet i årets første måneder. Det samlede iltsvindsareal blev kun opgjort i september, hvor det var lavere end opgørelserne for 2008 og 2009. Særlig berørte områder var det sydlige Lillebælt med de sydjyske fjorde, det Sydfynske Øhav og Øresund, hvad angår varighed og intensitet af iltsvind. Derudover var der som sædvanlig markante iltsvind i flere områder af Limfjorden og de dybe dele af Mariager Fjord. Flere steder førte iltsvindet til frigivelse af giftig svovlbrinte.

Bundvegetation, bunddyr og sæler

Ålegræssets dybdegrænse har ikke udvist nogen signifikant udviklingstendens siden 1989 langs de åbne kyster eller i yderfjordene. I Limfjorden og i inderfjordene er ålegræs overordnet set rykket ind på lavere vand. I fjordene var der dog positive tegn i 2010, eftersom den maksimale dybdegrænse var steget lidt i forhold til 2009. Ålegræssets dækningsgrad er generelt blevet mindre på lavt vand (1-2 m) og på mellemdybder (2-4 m) i fjordene og på lavt vand i de åbne områder i perioden 1989-2010. Faldet i tilførsel af næringssalte har altså endnu ikke forbedret ålegræssets udbredelse i vore farvande.

Makroalgernes dækningsgrad på undersøgte stenrev i 2010 var overordnet set ikke forskellig fra niveauet for perioden 1994-2001. Den samlede algedækning på dybere dele af udvalgte stenrev i de åbne dele af Kattegat var dog markant bedre i 2010 end de to foregående år. Nedgræsning af tangskoven forårsaget af søpindsvin er fortsat et problem på mange stenrev i Bælthavet.

Bundfaunaen i de åbne farvande og de åbne dele af de kystnære områder har gennemgået en negativ udvikling siden midt i 1990'erne. Men i 2010 var både artsdiversitet, individtæthed og biomasse steget markant. Der er således sket en succesfuld rekruttering siden sidste opgørelse i 2008, som tyder på gode forhold for bundfaunaens pelagiske larver i en af eller begge somre 2008 og 2009. Udviklingen i fjordene adskiller sig fra de mere åbne farvande ved at være langt mere variabel fra område til område og fra år til år. I de fleste områder har den overordnede tendens dog været enten negativ eller neutral. I 2010 var billedet også meget broget med fremgang i nogle områder og stilstand eller tilbagegang i andre områder.

Bestanden af spættet sæl var i 2010 på det højeste niveau siden registreringerne startede i 1976. Dermed fortsatte de senere års positive udvikling for spættet sæl. Gråscælen synes også i fremgang, men en national systematisk overvågning af gråscæl og marsvin er først igangsat i 2011.

Miljøfarlige stoffer og biologiske effekter

Indholdet af tungmetaller i muslinger var oftest lavere end den fastsatte værdi for baggrunds niveau. Men kviksølv var i en del tilfælde over grænsen for EU's kvalitetskrav for 'god økologisk tilstand', og kobber, krom og arsen blev på enkelte stationer fundet i koncentrationer svarende til kvalitetsklassen 'mindre god'. I sedimenter var indholdet af tungmetaller også på et rimelig lavt niveau i forhold til vurderingskriterierne på en stor del af stationerne. Dog forekom alle de undersøgte tungmetaller, undtagen arsen, på nogle stationer i koncentrationer, hvor der ikke kan udelukkes effekter på sedimentlevende organismer. Værst stod det til med kviksølv og zink, som på mere end halvdelen af stationerne forekom i koncentrationer over effekt-grænseværdien.

Indholdet af miljøfarlige organiske forbindelser i muslinger vurderet i forhold til grænseværdier varierede meget for de enkelte stoffer. For nogle stoffer, fx pyren og PCB, havde en stor del af muslingerne et indhold, hvor der ikke kan udelukkes biologiske effekter. For kviksølv havde muslingerne på 5 % af stationerne (Kolding og Odense Fjord) et indhold over grænseværdien for fødevarer. I fisk blev der i Nivå Bugt fundet klorerede forbindelser i et niveau over vurderingskriterierne, mens koncentrationerne var under grænseværdien i Vadehavet og Storebælt. I sedimenterne fandtes de undersøgte stoffer i koncentrationer over grænseværdierne på en stor del af stationerne.

I overvågningsprogrammet blev også undersøgt for biologiske effekter af miljøfarlige stoffer hos ålekvabbe og blåmusling. I ca. halvdelen af de undersøgte kystnære områder viste blåmusling tegn på celledskader. Resultaterne for ålekvabbe varierede meget mellem områderne, men der var en tendens til, at effekterne var mest udtalte i de mest belastede områder.

Diskussion

De mest iøjnefaldende ændringer i miljøforholdene i 2010 var den markante forøgelse af bundfaunaens artsdiversitet, individtæthed og biomasse i de mere åbne dele af farvandene samt den store stigning i mængden af kiselalger og flercellet dyreplankton. De øvrige overvågningsparametre lå i store træk på samme niveau som de senere år undtagen temperaturen, som var relativt lav. Næringssaltkoncentrationerne var forsat lave sammenlignet med niveauet i slutningen af 1980'erne og starten af 1990'erne, men den mindske belastning har stadig ikke forbedret miljøforholdene markant.

Ifølge den klassiske systemforståelse forventes reducerede næringssaltkoncentrationer at resultere i lavere primærproduktion og dermed en reduktion i mængden af planteplankton, hvilket burde føre til forbedringer af parametre som fx sigtddybden, iltsvind og ålegræssets udbredelse. Denne forsimplede årsagssammenhæng understøttes dog ikke i særlig stor udstrækning af de data, der er præsenteret i denne rapport. Primærproduktionen er ikke reduceret de senere år trods faldene koncentration af kvælstof. Alligevel er der sket en reduktion i mængden af planteplankton (koncentrationen af klorofyl) i fjordene, hvilket dog ikke har bevirket en større sigtddybde, lige som udbredelsen af ålegræs ikke er øget. Så der er flere ting, som ikke stemmer overens med en forsimplet lærebogsbeskrivelse af årsagssammenhænge.

Årsagen til disse paradokser er uklar og kan ikke udredes udelukkende på baggrund af overvågningsdata, da det kræver mere detaljerede undersøgelser. Fx er sigtddybden ud over mængden af planteplankton påvirket af blandt andet tilførslen af organisk stof fra land og resuspension af bundmateriale. Desuden afhænger sigtddybden af det suspenderede materiales sammensætning, herunder ikke mindst fordelingen mellem den organiske og uorganiske fraktion (*Markager m.fl. 2010*). Mere viden om sådanne parametre, deres dynamik og udvikling og variation i tid og rum er nødvendig for at opnå en bedre forståelse af årsager og sammenhænge.

Et andet eksempel på kompleksiteten i økosystemerne er planteplanktons stadig større dominans af kiselalger, hvilket blev yderligere forstærket i 2010. Årsagen til denne udvikling har ikke kunnet udredes, og konsekvenserne af denne udvikling kendes heller ikke. Men forandringer i artssammensætningen kan påvirke fødekvaliteten af planteplankton for højere trofiske niveauer, såvel som respiration og transporten af organisk stof fra de frie vandmasser til bunden. Mængden og artsammensætningen af havets planter reguleres ikke kun af koncentrationen og tilgængeligheden af næringssalte. I Østersøen har det intensive fiskeri efter torsk

således fremkaldt et skift i dominansen af fiskearter, som har påvirket plankton-dynamikken (*Casini m.fl. 2008*), lige som søpindsvins græsning har haft stor indflydelse på udbredelsen af makroalger i nogle områder i de indre danske farvande.

Ålegræs har endnu ikke eller kun i begrænset omfang responderet positivt på det reducerede niveau af næringssalte. I dette tilfælde kompliceres billedet af, at udbredelsen af ålegræs også er afhængig af iltsvind, lysforhold, temperatur, eksponering og tilstedeværelsen af egnet substans til at vokse i. Ålegræssets rodsystem stabiliserer bunden, så en mindre udbredelse af ålegræs fører til øget resuspension af bundmaterialet, hvilket yderligere forværrer lystilgængeligheden og sigtdybden. Sådanne selvforstærkende mekanismer medvirker til at øge kompleksiteten og kan gøre det vanskeligt at vende en negativ udvikling.

Iltsvindssituationen i 2010 var bedre end de foregående år, primært på grund af mere blæsende vejr på kritiske tidspunkter i iltsvindets udvikling og lavere temperatur end de senere år. Set over de sidste 40 år er temperaturen dog steget ca. 1,5°C, hvilket øger respirationen og dermed iltforbruget. Selv hvis eutrofieringen i fremtiden fastholdes på det nuværende niveau, vil en temperaturstigning på 3-4 grader medføre, at arealudbredelsen af iltsvind bliver 2-3 gange større end i dag, og at 10-20 % af de indre danske farvande hvert år vil blive ramt af kraftigt iltsvind (*Ærtebjerg m.fl. 2007*).

Næringssalte påvirker havmiljøet, men også miljøfarlige stoffer kan have en fundamental og nogle gange meget lokal effekt. En række miljøfarlige stoffer findes i mange områder på et niveau, hvor der kan forekomme skadelige effekter. Det gælder især for tungmetallerne kviksølv, cadmium og kobber, tjærestofferne PAH og anti-begroningsmidlet TBT. Biologiske effekter af miljøfarlige stoffer er påvist i mange områder. Det drejer sig især om hormonforstyrrelser i havsnegle forårsaget af TBT, men der ses også ændringer i lysosomal membranstabilitet hos blåmuslinger som følge af organiske miljøgifte som PAH og PCB samt forekomst af misdannet yngel og øget aktivitet af afgiftningenszymer hos ålekvabbe. Miljøfarlige stoffer kan også påvirke de indikatorer, der traditionelt anvendes til påvisning af effekter af eutrofiering, dvs. primærproduktion, klorofylkoncentration og artsdiversitet. Forholdene kompliceres yderligere af, at de forskellige presfaktorer, fx næringssalte og miljøfarlige stoffer, kan forstærke hinanden og give anledning til en såkaldt cocktaileffekt.

Sammenfattende er ændringerne i de marine økosystemer og de fortsatte påvirkninger så store, at det ikke kan forventes, at systemerne vender tilbage til tidligere observerede tilstande blot ved at fjerne én af påvirkningerne, fx eutrofiering. Nyere forskning viser, at selv hvis de væsentligste påvirkninger reduceres, vil komplekse marine økosystemer ikke nødvendigvis vende tilbage til en oprindelig tilstand, men finde hen imod en ny balance. Det er en proces, der kan tage mange år og fortsat global opvarmning vil yderligere forsinke eller forhindre, at tidligere tilstande opnås. Dette komplekse samspil er vigtigt at dokumentere og forstå til gavn for fremtidens miljøforvaltning.

15 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.

analysant – 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 - baggrundsvurderingskriterie. 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. Blågrøn-alger 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 malariamyg i tropene. 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 delprogrammer for henholdsvis søer, vandløb, kystvande, grundvand og naturtyper.

diffuse kilder – større geografiske områder (åbent land og områder med spredt bebyggelse), hvorfra næringssalte 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 – oprindelig 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, Aarhus Universitet.

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

DSP – er en forkortelse for diarréfremskaldende 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 vurderingskriterie 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).

EQS – Ecological Quality Standard er et vandkvalitetskriterie 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 næringsstoffer, dvs. at gøre et område næringsrigt. Det kan være en naturlig proces, men udtrykket bruges hyppigst om menneskeskabte tilførsler af 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 forureningsstoffer 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 fastsidende 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 prostata-kirtel. 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.

kloroplast – 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 Afdeling for Atmosfærisk Miljø (DMU) måleprogram i byerne. Det landsdækkende luftkvalitetsmåleprogram.

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. Typiske kvalitetskrav er koncentrationsgrænser for miljøfremmede stoffer i sediment eller organismer.

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

monitoring – 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 (NO_3^-) – 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).

næringsalte – 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 fosforbindelser de vigtigste.

O

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 tjære-stoffer 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^{-12} g).

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^{-12} l).

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

planktonalger – eller algeplankton er mikroskopiske og ofte encellede organismer i havvand og fersk-vand, 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 ud-ledninger i et punkt. Kildetyperne omfatter rensean-læg, industrier, regnvandsoverløb, ferskvandsdam-brug, udledninger fra saltvandsbaseret fiskeopdræt (havbrug og saltvandsdambrug).

R

reduktionsmålsætning – målsætningerne i Vandmiljø-plan I og II med hensyn til reduktion af udledninger, udslip og tab af kvælstof og fosfor betegnes 'reduk-tionsmålsætninger'.

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

respiration – ånding.

resuspension – havbundens opblanding i vandet som følge af, at havbunden bliver rodet rundt af bølge-påvirkning eller en stærk vandstrøm hen over bun-den.

S

salinitet – se saltholdighed.

saltholdighed – mængden af salte i vandet. Ofte an-givet 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 be-stemmer saltholdigheden. Natriumklorid er også det vigtigste salt i køkkensalt.

sediment – havbundsmateriale dannet ved sedimen-tation, 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 forurensningsdirek-toratet. Står bag udviklingen af klassifikationsværk-tøj anvendt til metaller i afsnit 11.

signifikans – er et udtryk for graden af væsentlighed i en sammenhæng. Signifikans for en sammenhæng udtrykkes ved, at sandsynligheden for ingen sam-menhæng er meget lille (ofte $< 5\%$).

sigtdybde – mål for vandets klarhed.

skilleflade – eller springlag – er en vandret grænse mel-lem to vandmasser med forskellig vægtfylde. Skillefla-den 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 standardaf-vigelse forveksles ofte i den videnskabelige litteratur. Betegnelsen spredning forudsætter implicit en mo-delantagelse 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 sediment i afsnit 11 og 12.

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 NO-VA-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.

16 Referencer

Andersen, L.W. & Olsen, M.T. 2010: Distribution and population structure of North Atlantic harbour seals (*Phoca vitulina*). - NAMMCO Scientific Publications 8: 15-36.

Anon. 2011: Programbeskrivelse for NOVANA 2011-2015. Findes på følgende hjemmeside:

http://www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/865F26DE-5C14-4439-9943-339A647FAEC4/121155/NOVANA_2del.pdf

BEAST 2011: CORESET Hazardous Substances – Biological Effects Indicators, Agenda Item 3: Review of core indicators. HELCOM CORESET Expert Workshop on Hazardous Substances Indicators, Third Meeting, Klaipeda, Lithuania, 31 May - 1 June 2011.

Bignert, A. 2007: PIA - statistical application developed for use by the Arctic Monitoring and Assessment Programme (available from www.amap.no).

Blanner, P. 1982: Composition and seasonal variation of the zooplankton in the Limfjord (Denmark) during 1973-1974. - *Ophelia* 21(1): 1-40.

Borja, A., Josefson, A.B., Miles, A., Muxika, I., Olsgaard, F., Phillips, G., Rodríguez, J.G., & Rygg, B. 2007: An approach to the intercalibration of benthic ecological status assessment in the North Atlantic eco-region, according to the European Water Framework Directive. - *Marine Pollution Bulletin* 55: 42-52.

Cappelen, J. 2011: Danmarks Klima 2010 med Tórshavn, Færøerne og Nuuk, Grønland. - Teknisk rapport 11-01.

<http://www.dmi.dk/dmi/tr11-01.pdf>

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.

<http://www.dmu.dk/Pub/FR683.pdf>

Casini, M., Lövgren, J., Hjelm, J., Cardinale, M., Molinero, J.-C. & Kornilovs, G. 2008: Multi-level trophic cascades in a heavily exploited open marine ecosystem. - *Proceeding of the Royal Society B*. 275: 1793-1801.

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.

http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR526.pdf

Dahl, K. & Carstensen, J. 2005: Hårdbundsvegetation som indikator for naturkvalitet og bevaringsstatus på stenrev. I: Dahl, C.(red.), Andersen, J. H.(red.), Riemann, B.(red.), Carstensen, J., Christiansen, T., Krause-Jensen, D., Josefson, A.B., Larsen, M.M., Petersen, J.K., Rasmussen, M.B. & Strand, J. : Redskaber til vurdering af miljø- og naturkvalitet i de danske farvande. Typeinddeling, udvalgte indikatorer og eksempler på klassifikation. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU 535: 26-53.

http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR535.PDF

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.

<http://www.dmu.dk/Pub/FR663.pdf>

Dahllöf, I. & Strand, J. 2010: Miljøfarlige stoffer i ålekvalbe - Delrapport I. By- og Landskabsstyrelsen (Naturstyrelsen), Miljøministeriet. 38 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.

http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR429.pdf

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.

Edrén, S.M.C., Andersen, S.M., Teilmann, J., Carstensen, J., Harders, P.B., Dietz, R. & Miller, L. 2010: The effect of a large Danish offshore wind farm on harbour and grey seal haul-out behaviour. - *Marine Mammal Science* 26(3): 614-634.

Ellermann m.fl. 2011: Atmosfærisk deposition 2010. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 2. <http://www2.dmu.dk/Pub/SR2.pdf>.

EU 2006: Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal L364.

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.

Fødevaredirektoratet 2003: Helhedssyn på fisk og fiskevarer. FødevareRapport 2003:17.

<http://www.foedevarestyrelsen.dk/fdir/pub/2003017/rapport.pdf>

Härkönen, T. & Harding, K.C. 2001: Spatial structure of harbour seal populations and the implications thereof. - *Canadian Journal of Zoology* 79 (12): 2115-2127.

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.

HELCOM 2010a: Hazardous Substances in the Baltic Sea – An integrated thematic assessment of hazardous substances in the Baltic Sea. Executive Summary. - Balt. Sea Environ. Proc. No. 120A.

HELCOM 2010b: Hazardous substances in the Baltic Sea – An integrated thematic assessment of hazardous substances in the Baltic Sea. - Balt. Sea Environ. Proc. No. 120B.

Jepsen, P.U. 2005: Forvaltningsplan for spættet sæl (*Phoca vitulina*) og gråsæl (*Halichoerus grypus*) i Danmark. Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen.
<http://www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/509BDCEF-E6BB-4D84-896F-2628146CEEC1/6904/Saelforvaltningsplan2005.pdf>

Josefson, A.B., Blomkvist, M., Hansen, J.L.S., Rosenberg, R. & Rygg, B. 2009: Assessment of marine benthic quality change in gradients of disturbance: comparison of multi-metric indices. - Marine Pollution Bulletin 58: 1263-1277.

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

Keats, D.W. 1991: American plaice, *Hippoglossoides platessoides* (fabricius), predation on green sea urchins, *Strongylocentrotus droebachiensis* (muller, of), in eastern Newfoundland. - Journal of Fish Biology 38 (1): 67-72.

Keats, D.W., Steele, D.H. & South, G.R. 1986: Atlantic wolffish (*Anarhichas lupus* L.; Pisces: Anarhichidae) predation on green sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis* (O.F.Mull.); Echinodermata: Echinoidea) in eastern Newfoundland. - Canadian Journal of Zoology 64 (9): 1920-1925.

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.

Little, C. & Kitching, J.A. 1996: The biology of rocky shores. Oxford University Press Inc., New York, 240 pp.

Lyons, B.P., Thain, J.E., Stentiford, G.D., Hylland, K., Davies, I.M. & Vethaak, A.D. 2010: Using biological effects tools to define Good Environmental Status under the European Union Marine Strategy Framework Directive. - Marine Pollution Bulletin 60: 1647-1651.

Markager, S., Carstensen, J., Krause-Jensen, D., Windolf, J. & Timmermann, K. 2010: Effekter af øgede kvælstoftilførsler på miljøet i danske fjorde. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 54 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 787.
<http://www.dmu.dk/Pub/FR787.pdf>

Miljøstyrelsen 1984: NPO-redegørelsen.
<http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/1984/87-503-5102-8/pdf/87-503-5102-8.pdf>

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.

Nielsen, S.L., Sand-Jensen, K., Borum, J. & Geertz-Hansen, O., 2002: Depth colonisation of eelgrass (*Zostera marina*) and macroalgae as determined by water transparency in Danish coastal waters. - Estuaries 25: 1025-1032.

Norderhaug, K.M. & Christie, H.C. 2009: Sea urchin grazing and kelp re-vegetation in the NE Atlantic. - Marine Biology Research 5: 515-528.

Olesen, B. & Sand-Jensen, K. 1993: Seasonal acclimatization of eelgrass *Zostera marina* growth to light. - Marine Ecology Progress Series 94: 91-99.

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.

OSPAR 2002: JAMP guidelines for monitoring contaminants in sediments. - Monitoring guidelines. Ref. no. 2002-16. Technical Annex 5.
http://www.ospar.org/documents/dbase/decrecs/agreements/02-16e_JAMP%20guidelines%20contaminants%20in%20sediments.doc

OSPAR 2009a: CEMP assessment report: 2008/2009. Assessment of trends and concentrations of selected hazardous substances in sediments and biota. - OSPAR publication number 390/2009. Monitoring and Assessment Series. ISBN 978-1-906840-30-3. 80 pp.
http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00390_2009%20CEMP%20assessment%20report.pdf

OSPAR 2009b: Background document on assessment criteria for QSR 2010. - OSPAR publication number 461/2009. Monitoring and Assessment Series. ISBN 978-1-907390-08-1. 25 pp.
http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00461_Background%20Doc%20CEMP_Assessmt%20Criteria_Haz_Subst.pdf

Petersen, D.L.J. & Hjorth, M. (red.) 2010: Marine områder 2009. NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 127 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 800.

<http://www.dmu.dk/Pub/FR800.pdf>

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

SFT 2007: TA-2229/2007. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. Statens Forurensningstilsyn, Norge.

<http://www.sft.no/publikasjoner/2229/ta2229.pdf>

Simonsen, V. & Strand, J. 2010: Genetic variation of *Zoarces viviparus*: six populations revisited after about 35 years. - Hereditas 147: 250-255.

Strand, J. & Dahllöf, I. 2011: Biologisk effektmonitoring - fisk. Kap. 6.3, NOVANA teknisk anvisning.

Stuer-Lauridsen, F., Gustavson, K., Møhlenberg, F., Dahllöf, I., Strand, J., Bjerregaard, P., Korsgaard, B., Rasmussen, T.H., Halling-Sørensen, B., 2008: Misdannet ålekvabbeyngel og andre biologiske effekter i danske vandområder. Litteraturudredning. Miljøprojekt 1151. Rapport fra By- og Landskabsstyrelsen, Miljøministeriet. 208 s.

<http://www2.blst.dk/udgiv/Publikationer/2008/978-87-7052-384-4/html/default.htm>

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: NOVANA. Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse - del 2. Danmarks Miljøundersøgelser. 128 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 508.

http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_Publikationer/3_Fagrapporter/rapporter/FR508.pdf

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

US-EPA (Environmental Protection Agency) 2002: Mid-Atlantic Integrated Assessment (MAIA) Estuaries 1997-98. Summary Report. EPA/ 620/R-02/003. 115 pp.

http://www.epa.gov/emap/maia/html/docs/maiasr_9798.html

Vadas, Sr.R.L. & Steneck, R.S. 1995: Overfishing and inferences in kelp-sea urchin interactions. - In: Skjoldal, C., Hopkins, C., Erickstad, K.E. & Leinaas, H.P. (Eds.); Ecology of fjords and coastal waters. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 509-524.

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.

Ærtebjerg, G., Bendtsen, J., Carstensen, J., Christiansen, T., Dahl, K., Dahllöf, I., El-lermann, T., Gustafsson, K., Hansen, J.L.S., Henriksen, P., Josefson, A.B., Krause-Jensen, D., Larsen, M.M., Markager, S.S., Ovesen, N.B., Ambelas Skjøth, C., Strand, J., Söderkvist, J., Mouritsen, L.T., Bråten, S., Hoffmann, E. & Richardson, K. 2005: Marine områder 2004 - Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser. 94 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 551.

http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR551.PDF

Ærtebjerg, G. (red.) 2007: Marine områder 2005-2006 - Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 95 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 639.

<http://www.dmu.dk/Pub/FR639.pdf>

Ærtebjerg, G., Carstensen, J. & Christensen, P.B. 2007: Varmere klima giver iltsvind. - *Aktuel Naturvidenskab* 3: 7-11.

Bilag 1 Beskrivelse af anvendte indeks og korrektioner for klimatiske variationer

Jacob Carstensen & Peter Henriksen

Næringssaltkoncentrationer, klorofyl, primærproduktion, dyreplankton og sigtdybde

Tresidet variansanalyse for stations-, måneds- og årsvariation

Koncentrationer af næringssalte, klorofyl, primærproduktion, dyreplankton og sigtdybde 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:

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

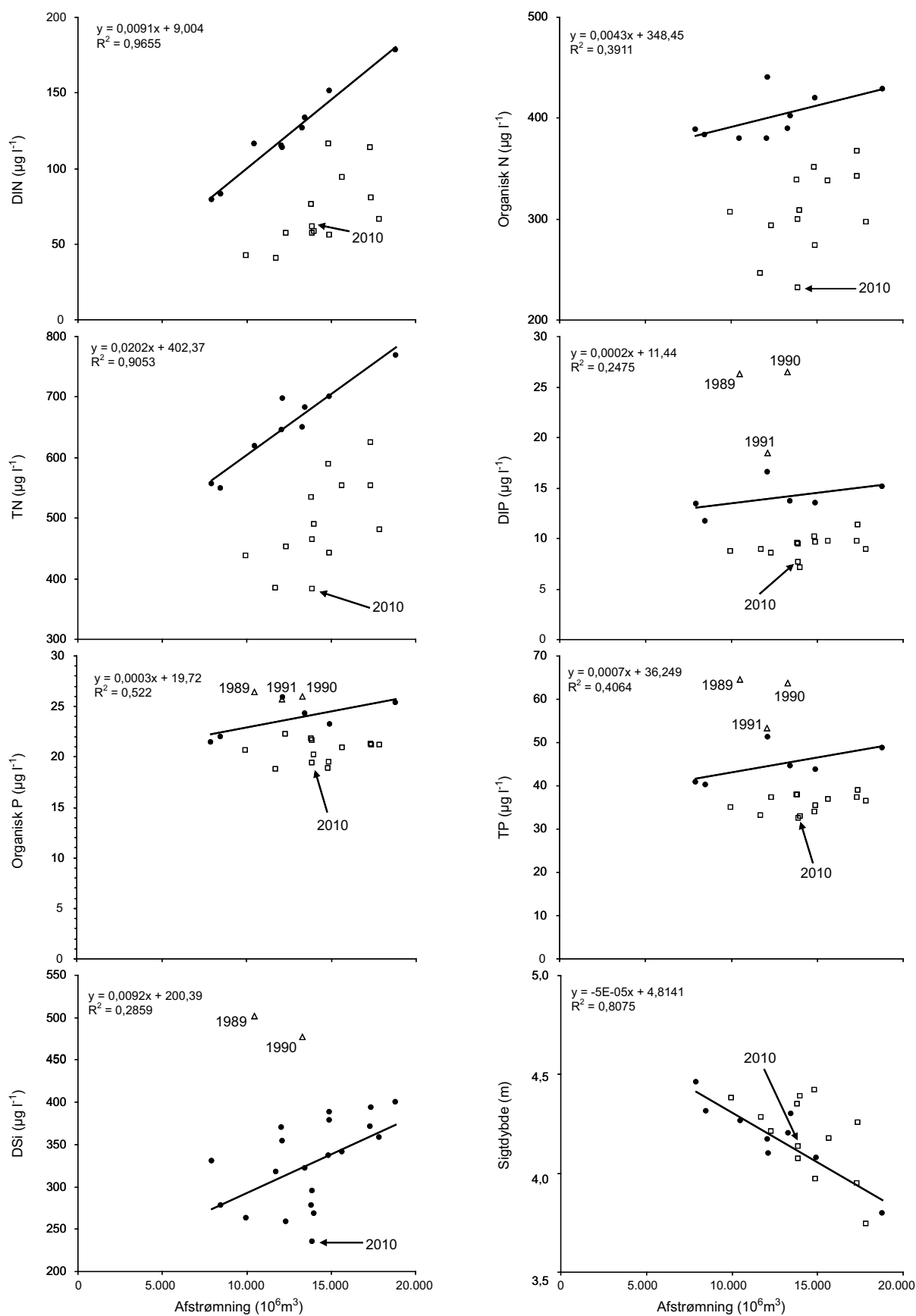
Eksempelvis estimeres af variansanalysen, at middelniveauet for log(DIN) i bundvandet i 2010 var normalfordelt $N(4,15;0,042^2)$, hvilket ved transformationen ovenfor giver, at middelniveauet for DIN er $63,18 \mu\text{g N l}^{-1}$ med et 95 % konfidensinterval på $[58,04;68,78]$.

Korrektioner for klimatiske variationer

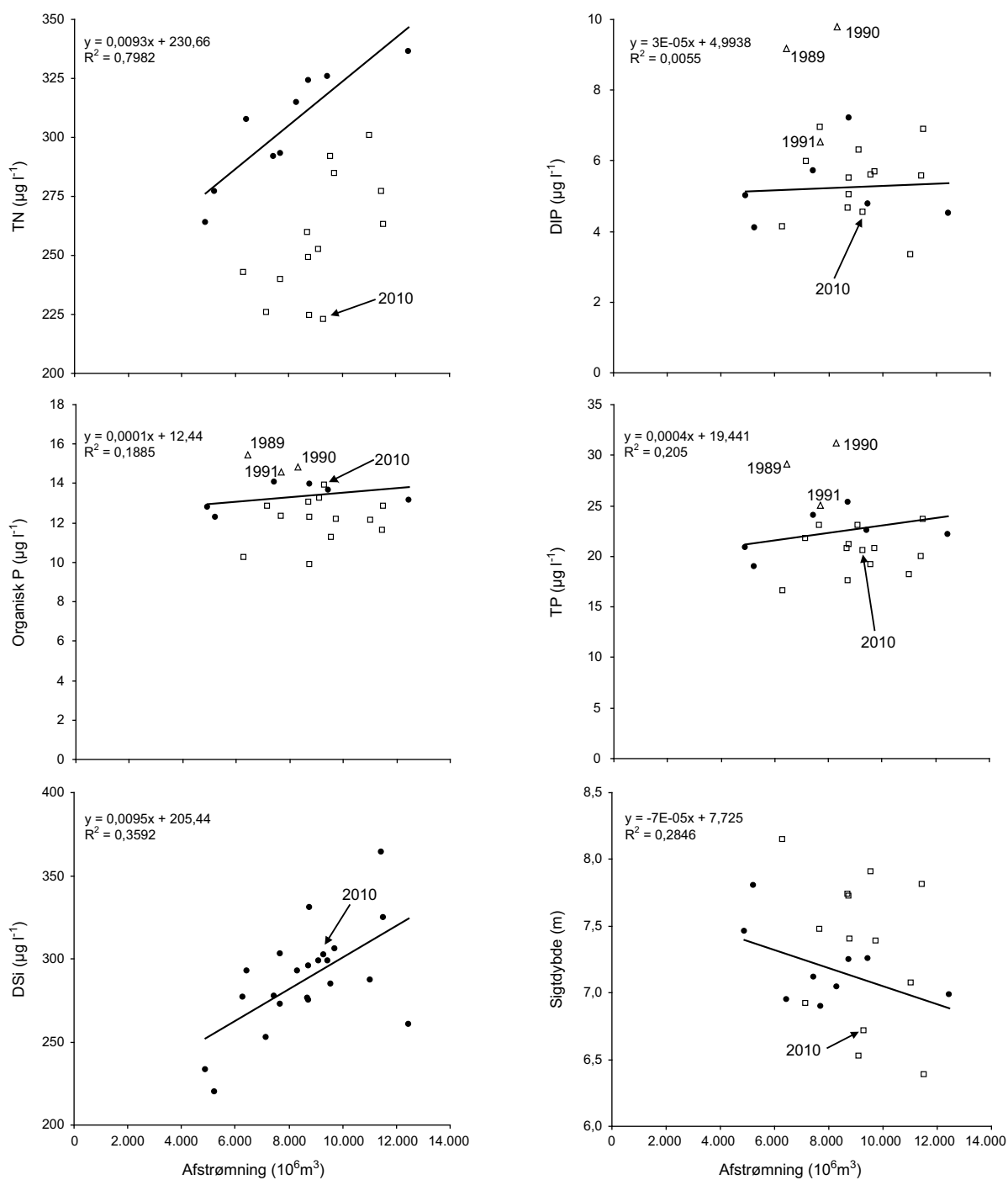
Ferskvandsafstrømningen er den vigtigste klimatiske faktor, som påvirker nærings-saltkoncentrationerne, og afstrømningen blev derfor anvendt til at korrigere for klimatiske variationer. Der er udvalgt perioder for de forskellige næringsalte, hvor der med rimelighed kan forventes at være en forholdsvis 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 1998-2010 udeladt af samme årsag som for kvælstof sammen med årene 1989-1991, hvor punktkildebidraget 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 amsstationerne var meget høje og derfor påvirker middelkoncentrationerne.

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.

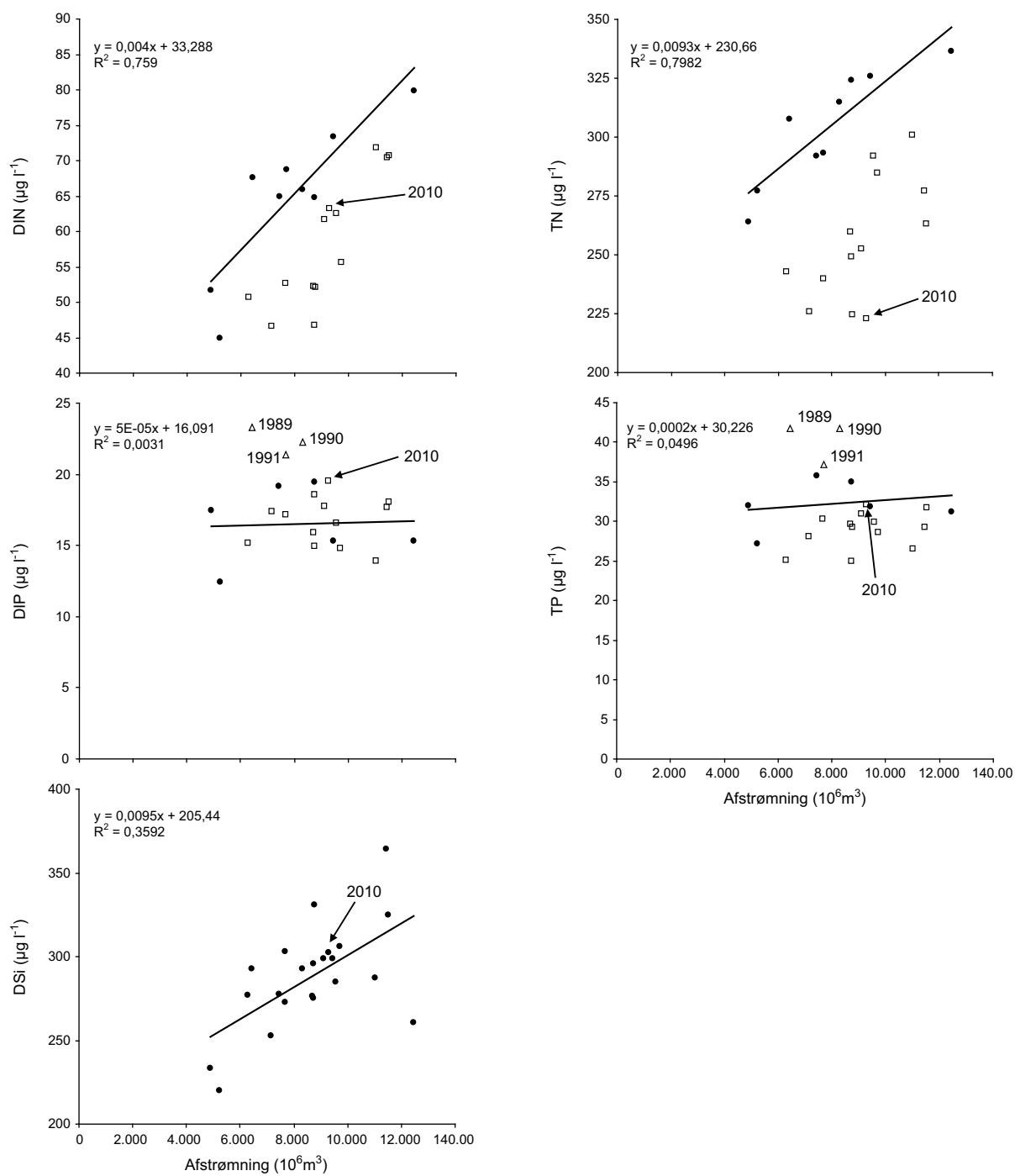


Figur B1.1. Årsmiddelkoncentrationer for DIN, TN, DIP, TP, DSI og sigtdybde i fjorde og kystnære områder mod afstrømning. Årene 1998-2009 er markeret med firkanter for DIN, TN, DIP, TP og sigtdybde. For DIP og TP er årene 1989-1991 markeret med trekanter, og for DSI er årene 1989 og 1990 markeret med trekanter.



Figur B1.2. Årsmiddelkoncentrationer for DIN, TN, DIP, TP, DSI og sigtdybde i overfladevand for åbne farvande (0-10 m) mod afstrømning. Årene 1988-2009 er markeret med firkanter for DIN, TN, DIP, TP og sigtdybde, og for DIP og TP er årene 1989, 1990 og 1991 markeret med trekanter.

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: 1989-2010). 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 og TP for bundvand (≥ 15 m) i åbne indre farvande mod afstrømning.

Årene 1998-2009 er markeret med firkanter for DIN, TN, DIP og TP, og for DIP og TP er årene 1989, 1990 og 1991 markeret med trekanter.

Kiselalgebiomasse

Beregning af observerede indeks

Resultater og konklusioner af nærværende beregninger er præsenteret i årets statusrapport for marine områder, *kapitel 6*. Baggrund for beregning og sammenhæng med øvrige parametre er behandlet der. Dette bilag beskriver primært den tekniske udførsel af beregningerne.

Beregning af observerede indeks

I alle beregninger er fjorde/kystnære områder og åbne farvande behandlet hver for sig. Fjorde er alle stationer, som har en fjordkode i MADS. Alle øvrige stationer er betragtet som tilhørende åbne farvande.

Alle beregninger er udført på tidsvægtede årsmiddelværdier. For hver station er der beregnet en global middelværdi for alle år, og en middelværdi for hvert enkelt år. En indekssværdi for det enkelte år er derefter beregnet som:

$$\text{Indeks (år, station)} = \frac{\text{middelværdi (år, station)} * 100}{\text{global middel (station)}}$$

Derefter er der beregnet en national indekssværdi for året som middelværdien af indekser på alle stationer det pågældende år. Dette er det observerede indeks for den pågældende parameter for henholdsvis fjorde og åbne farvande.

Metoden er i princippet en normalisering af værdierne til middelværdien på den pågældende station. Dette sikrer, at alle stationer bidrager med samme vægt til det nationale indeks, uanset deres numeriske værdi og uanset antallet af observationer det pågældende år.

Beregning af klimakorrigerede indeks

De observerede indeks indgår nu som den afhængige variabel i en multipel lineær regressionsmodel, hvor forklaringsvariable (uafhængige variable) potentielt er værdier for afstrømning, vindhastighed og solindstråling:

$$\text{Indeks (år)} = \text{intercept} + k_1 * \text{afstrømningsindeks} + k_2 * \text{vindindeks} + k_4 * \text{indstrålingsindeks}$$

I den optimale model er kun medtaget parametre, som bidrager signifikant til modellen ($P < 0,05$).

Bilag 2 Dataanalyser – bundvegetation

Dorte Krause-Jensen & Jacob Carstensen

Beregning af dybdegrænsen for 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 dybdegradier, hvilket gør det muligt at fastlægge hovedudbredelsen mere præcist. For data frem til 2001 har vi omsat dækningen i intervaller til punktobservationer ved følgende regler:

- Den gennemsnitlige dækning i et interval repræsenterer intervallets middeldybde. Eksempel: Hvis intervallet 4-6 m har en dækning på 15 %, har intervallets midtpunkt, dvs. dybden 5 m, præcis 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 de sjældne tilfælde, hvor den dybeste punktobservation er større end 10 %, repræsenterer denne dybde hovedudbredelsesdybden. (Teoretisk set burde man tilpasse punktobservationerne med en eksponentielt aftagende funktion, svarende til lysets svækkelse, men denne metode er for usikker for data før 2001, fordi vi er nødt til at fastsætte dækningen for det yderste ålegræsstrå som en arbitrær lav værdi (fx 0,1 eller 0,01 %), og det ville give en kæmpe forskel, om vi valgte det ene eller det andet).

Modellering

Samtlige data er analyseret områdevist, hvor alle stationer inden for et område indgår som tilfældige replikater (stokastisk effekt). Hvert område er kategoriseret som 'åben kyst', 'yderfjord' eller 'inderfjord'. Analyserne inkluderer samtlige data om ålegræssets dybdegrænse og dækning i MADS-databasen, eksklusiv dybdegrænser der falder sammen med transektets maksimale dybde samt dybdegrænser lavere end 1,5 m, da vi går ud fra, at disse er bestemt af fysiske forhold snarere end af lysbegrænsning. Analyserne omfatter også områder, 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:

$$X_{ijk} = \text{område}_i + \text{år}_j + e_{ijk}$$

For dækningsgraden (Y) inden for intervallerne 1-2, 2-4, 4-6 og 6-8 m antager modellen en lineær dybdeafhængighed af punktmålingerne inden for intervallerne, 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.

Til sidst er den tidslige udvikling i middelværdierne for dybdegrænse og dækningsgrad analyseret vha. lineær regressionsanalyse.

Inddeling af ålegræstransekter

Ålegræstransekterne blev inddelt i tre områdetyper: 'åbne kyster', 'yderfjorde' og 'inderfjorde'. Inddelingen blev lavet ud fra det hydrologiske referencesystem. Mange af områderne indgår i flere områdetyper, hvilket skyldes, at inddelingen er foretaget baseret på de enkelte transekter:

Åbne kyster	Yderfjorde	Inderfjorde
Aabenraa Fjord	Aabenraa Fjord	Aabenraa Fjord
Bornholm	Als Fjord	Als Fjord
Ebeltoft Vig	Det Sydfynske Øhav	Augustenborg Fjord
Endelave	Flensborg Fjord	Dybsø Fjord
Fakse Bugt	Guldborg Sund	FH Tornen
Hevring Bugt	Holckenhavn Fjord	Flensborg Fjord
Hjelm Bugt	Horsens Fjord	Gamborg Fjord
Horsens Fjord	Kalundborg Fjord	Genner Fjord
Jammerland Bugt	Kertinge Nor/Kerteminde Fjord	Grønsund
Karrebæksminde Bugt	Kolding Fjord	Guldborg Sund
Kattegat N	Mariager Fjord	Haderslev Fjord
Køge Bugt	Nakskov Fjord	Helnæs Bugt
Langelandssund	Odense Fjord	Hjarbæk Fjord
Lillebælt nord	Randers Fjord	Holbæk Fjord
Lillebælt syd	Roskilde Fjord	Holckenhavn Fjord
Læsø	Stege Bugt	Holsteinborg Nor
Nivå Bugt	Vejle Fjord	Horsens Fjord
Nord for Sjælland	Yderbredning	Inderbredning
Odense Fjord	Århus Bugt	Kalundborg Fjord
Sejerø Bugt		Karrebæk Fjord
Smålandsfarvandet		Kertinge Nor/Kerteminde Fjord
Storebælt		Knebel Vig
Århus Bugt		Kolding Fjord
Øresund		Korsør Nor
		Lammefjord
		Lindelse Nor
		Mariager Fjord
		Nakkebølle Fjord
		Nakskov Fjord
		Nisum Fjord
		Odense Fjord
		Præstø Fjord
		Randers Fjord
		Ringkøbing Fjord
		Roskilde Fjord
		Skælskør Fjord
		Skælskør Nor
		Stege Nor
		Tempelkrog
		Vadehavet
		Vejle Fjord
		Århus Bugt

MARINE OMRÅDER 2010

NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

De betragtelige reduktioner i tilførslen af næringssalte fra land og luft og afledte fald i koncentrationen af nærings-salte, der er sket siden vandmiljøplanernes start, har bortset fra et fald i klorofylkoncentrationen i fjorde og kystnære områder endnu ikke ført til de tilsigtede forbedringer af miljøtilstanden i de indre danske farvande. Der er således ikke sket nogen entydig forbedring af parametre som fx sigtddybde, planteplanktons primærproduktion og ålegræssets udbredelse, der ellers kunne forventes at reagere positivt på de lavere næringssaltkoncentrationer i vandet. Ålegræssets dybdegrænse har således ikke vist nogen signifikant udviklingstendens langs de åbne kyster og i yderfjordene siden 1989, mens ålegræsset i inderfjordene generelt er rykket ind på lavere vand siden 1989. Årsagerne til den manglende forbedring af miljøtilstanden er endnu ukendt. De senere års studier af økosystemer peger i retning af, at responsmønstret på reduceret næringssaltbelastning efter længere tids eutrofiering ofte er meget komplekst og sjældent sker som en lineær tilbagevenden til tidligere tiders tilstand. Dette hænger blandt andet sammen med, at eutrofiering ofte er del af en cocktail af påvirkninger, som kan ændre et økosystem fundamentalt og gøre det vanskeligt at vende udviklingen. Klimaændringer modvirker således generelt udviklingen mod en mindre belastning af havmiljøet. Overvågningen i 2010 har dog også vist positive ændringer. Således var der efter mange års tilbagegang en markant forøgelse i bundfaunaens artsdiversitet, individtæthed og biomasse i de mere åbne farvande. Dette skyldes gode forhold for bunddyrslarverne og dermed en succesfuld rekruttering. Desuden var iltsvindet i de indre danske farvande mindre omfattende end gennemsnitligt for perioden 2003-2009, hovedsageligt pga. forholdsvis blæsende vejr i den typiske iltsvindspe-riode og usædvanligt lave temperaturer. Endvidere var makroalgerne dækning forbedret markant på nogle rev, og de senere års stigning i antallet af spættet sæl fortsatte i 2010. Indholdet af tungmetaller i muslinger lå generelt tæt på baggrundsniveau, men kviksølv, kobber, krom og arsen blev fundet i forhøjede koncentrationer på enkelte stationer. I sedimenter var niveauet også forholdsvis lavt på en stor del af stationerne, men alle undersøgte metaller, undtagen arsen, forekom på nogle stationer i koncentrationer, hvor der ikke kan udelukkes effekter på sedimentlevende organismer. Indholdet af miljøfarlige organiske forbindelser i muslinger, fisk og sedimenter varierede meget for de enkelte stoffer, og for nogle stoffer, fx pyren, PCB og kviksølv, kan der ikke udelukkes biologiske effekter. Biologiske effekter blev i overensstemmelse hermed påvist hos muslinger og ålekvabber i en lang række områder.